

Deklaratív Programozás

Szeredi Péter¹ Kápolnai Richárd²

¹szeredi@cs.bme.hu
BME Számítástudományi és Informatikai Tanszék

²kapolnai@iit.bme.hu
BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék

2011 ősz

Az előadók köszönetüket fejezik ki Hanák Péternek, a tárgy alapítójának

I. rész

Bevezetés

- 1 Bevezetés
- 2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban
- 3 Prolog alapok
- 4 Erlang alapok
- 5 Haladó Prolog
- 6 Haladó Erlang

A tárgy témája

- Deklaratív programozási nyelvek – gyakorlati megközelítésben
- Két fő irány:
 - funkcionális programozás **Erlang** nyelven
 - logikai programozás **Prolog** nyelven
- Bevezetesként foglalkozunk a C++ egy deklaratív résznyelvével, a Cékla nyelvvel – C(É) deKLAratív része
- A két fő nyelv (lásd követelmények): Erlang és Prolog

(BME)

Deklaratív Programozás

2011 ősz 2 / 459

Bevezetés

Követelmények, tudnivalók

Tartalom

- 1 Bevezetés
 - Követelmények, tudnivalók
 - Egy bevezető példa

- Honlap: <http://dp.iit.bme.hu>
a jelen félév honlapja: <http://dp.iit.bme.hu/dp-current>
- ETS, az Elektronikus TanárSegéd
<http://dp.iit.bme.hu/ets>
- Levelezési lista:
<http://www.iit.bme.hu/mailman/listinfo/dp-1>
- A listára automatikusan felvesszük a tárgy hallgatóit az ETS-beli címükkel. Címet módosítani csak az ETS-ben lehet.
- A listára levelet küldeni a dp-1@iit.bme.hu címre lehet.
- Csak a feliratkozási címről küldött levelek jutnak el moderátori jóváhagyás nélkül a listatagokhoz.

- Szeredi Péter, Benkő Tamás: Deklaratív programozás. Bevezetés a logikai programozásba. Budapest, 2005
 - Elektronikus változata letölthető a honlapról (ps, pdf)
 - Nyomatott változata kifogyott
 - Kellő számú további igény esetén megszervezzük az újranyomatást
- A SICStus Prolog kézikönyve (angol):
<http://www.sics.se/isl/sicstuswww/site/documentation.html>

Magyar nyelvű Prolog szakirodalom

- Farkas Zsuzsa, Futó Iván, Langer Tamás, Szeredi Péter:
Az MProlog programozási nyelv.
Műszaki Könyvkiadó, 1989
jó bevezetés, sajnos az MProlog beépített eljárásai nem szabványosak.
- Márkus Zsuzsa: Prologban programozni könnyű.
Novotrade, 1988
mint fent
- Futó Iván (szerk.): Mesterséges intelligencia. (9.2 fejezet, Szeredi Péter)
Aula Kiadó, 1999
csak egy rövid fejezet a Prologról
- Peter Flach: Logikai Programozás. Az intelligens következtetés példákon keresztül.
Panem — John Wiley & Sons, 2001
jó áttekintés, inkább elméleti érdeklődésű olvasók számára

Angol nyelvű Prolog szakirodalom

- Logic, Programming and Prolog, 2nd Ed., by Ulf Nilsson and Jan Maluszynski, Previously published by John Wiley & Sons Ltd. (1995)
Letölthető a <http://www.ida.liu.se/~ulfni/lpp> címről.
- Prolog Programming for Artificial Intelligence, 3rd Ed., Ivan Bratko, Longman, Paperback - March 2000
- The Art of PROLOG: Advanced Programming Techniques, Leon Sterling, Ehud Shapiro, The MIT Press, Paperback - April 1994
- Programming in PROLOG: Using the ISO Standard, C.S. Mellish, W.F. Clocksin, Springer-Verlag Berlin, Paperback - July 2003

Erlang-szakirodalom (angolul)

- Joe Armstrong: Programming Erlang. Software for a Concurrent World. The Pragmatic Bookshelf, 2007.
<http://www.pragprog.com/titles/jaerlang/programming-erlang>
- Joe Armstrong, Robert Virding, Claes Wikström, Mike Williams: Concurrent Programming in Erlang. Second Edition. Prentice Hall, 1996. Az első rész szabadon letölthető PDF-ben:
<http://erlang.org/download/erlang-book-part1.pdf>

További irodalom:

- On-line Erlang documentation
<http://erlang.org/doc.html>
- On-line help (csak unix/linux rendszeren)
`man erl` vagy `erl -man <module>`
- Wikibooks on Erlang Programming
http://en.wikibooks.org/wiki/Erlang_Programming
- Francesco Cesarini, Simon Thompson: Erlang Programming. O'Reilly, 2009. <http://oreilly.com/catalog/9780596518189/>

Fordító- és értelmezőprogramok

- SICStus Prolog — 4.2.0 verzió (licenz az ETS-en keresztül kérhető)
- Erlang (szabad szoftver)
- Letöltési információ a honlapon (Linux, Windows)
- Webes Prolog gyakorló felület az ETS-ben (ld. honlap)
- Kézikönyvek HTML-, ill. PDF-változatban
- Más programok: SWI Prolog <http://www.swi-prolog.org/>, Gnu Prolog <http://www.gprolog.org/>
- emacs-szövegszerkesztő Erlang-, ill. Prolog-módban (Linux, Win95/98/NT/XP/Vista/7)
- Eclipse fejlesztői környezet (SPIDER, erlide)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények

Nagy házi feladat (NHF)

- Programozás mindkét fő nyelven (Prolog, Erlang)
- Mindenkinek önállóan kell kódolnia (programoznia)!
- Hatékony (időlimit!), jól dokumentált („kommentezett”) programok
- A két programhoz közös, 5–10 oldalas fejlesztői dokumentáció (TXT, HTML, PDF, PS; de nem DOC vagy RTF)
- Kiadás legkésőbb a 6. héten, a honlapon, letölthető keretprogrammal
- Beadás a 12. héten; elektronikus úton (ld. honlap)
- A beadáskor és a pontozáskor külön-külön teszt sorozatot használunk (nehézségben hasonlókat, de nem azonosakat)
- Azok a programok, amelyek megoldják a tesztesetek 80%-át *létraversenyen* vesznek részt (hatékonyság, gyorsaság plusz pontokért)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Nagy házi feladat (folyt.)

- A beadási határidőig többször is beadható, csak az utolsót értékeljük
- Pontozása mindkét fő nyelvből:
 - helyes (azaz jó eredményt időkorláton belül adó) futás esetén a 10 teszteset mindegyikére 0,5-0,5 pont, összesen max. 5 pont
 - a dokumentációra, a kód olvashatóságára, kommentezettségére max. 2,5 pont
 - tehát nyelvenként összesen max. 7,5 pont szerezhető
- A NHF súlya az osztályzatban: 15% (a 100 pontból 15)
- A megajánlott jegy előfeltétele, hogy a hallgató nagy házi feladata mindkét fő nyelvből bejusson a létraversenybe (minimum 80%-os teljesítmény)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Kis házi feladatok (KHF)

- 3 feladat Prologból, 3 Erlangból, 1 Céklából
- Beadás elektronikus úton (ld. honlap)
- Egy KHF beadása érvényes, ha minden tesztesetre lefut
- Kötelező a KHF-ek legalább 50%-ának érvényes beadása, és legalább egy érvényes KHF beadása Prologból is és Erlangból is.
- Minden feladat jó megoldásáért 1-1 jutalompont jár

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Gyakorlatok

- Kéthetente 2 órás gyakorlatok (páros heteken, beosztás hamarosan)
- Időpontok:
 - 1 Szeptember 16.
 - 2 Szeptember 30.
 - 3 Október 14.
 - 4 Október 28.
 - 5 November 11.
 - 6 December 9.
 (November 25. oktatási szünet)
- Laptop használata megengedett
- Kötelező részvétel a gyakorlatok 70 %-án (pontosabban n gyakorlat esetén legalább $\lfloor 0.7n \rfloor$ gyakorlaton)
- További Prolog gyakorlási lehetőség az ETS rendszerben (gyakorló feladatok, lásd honlap)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Nagyzárthelyi, pótzárthelyi (NZH, PZH, PPZH)

- A zárthelyi kötelező, semmilyen jegyzet, segédlet nem használható!
- 40%-os szabály (nyelvenként a maximális részpontszám 40%-a kell az eredményességhez)
- NZH: 2011. október 26. 8:00, PZH: 2011. november 23. 8:00
- A PPZH-ra indokolt esetben a pótlási időszakban egyetlen alkalommal adunk lehetőséget
- Az NZH anyaga az addig előadott tananyag
- A PZH, ill. a PPZH anyaga azonos az NZH anyagával
- A zárthelyi súlya az osztályzatban: 15% (a 100 pontból 15)

Az aláírás megszerzésének feltételei (összefoglalás)

- Részvétel a gyakorlatok legalább 70%-án
- Zárthelyi sikeres megírása, azaz mindkét fő nyelvből legalább 40%-os eredmény elérése
- A 7 kis házi közül legalább 3 érvényes beadása úgy, hogy mindkét fő nyelvből legalább egy érvényes kis házi van

Deklaratív programozás: vizsga

- Feltétel: aláírás a jelen félévben vagy korábban
- A vizsga szóbeli, felkészülés írásban
- Prolog, Erlang: több kisebb feladat (programírás, -elemzés) kétszer 35 pontért
- A vizsgán szerzhető max. 70 ponthoz adjuk hozzá a félévközi munkával szerzett pontokat: ZH: max. 15 pont, NHF: max. 15 pont, továbbá a pluszpontokat (KHF, létraverseny)
- A vizsgán semmilyen jegyzet, segédlet nem használható, de lehet segítséget kérni
- Nyelvenként a max. részpontszám 40%-a kell az eredményességhez
- Elővizsga a pótlási héten – minden, a tárgyból vizsgára bocsátható hallgató jelentkezhet
- Megajánlott vizsgajegy
 - Alapfeltételek: aláírás; NHF „megvédése” az elővizsgán
 - Jó (4): a nagy házi feladat mindkét fő nyelvből bejut a létraversenybe
 - Jeles (5): legalább 40%-os eredmény a létraversenyben, mindkét fő nyelvből

1 Bevezetés

- Követelmények, tudnivalók
- Egy bevezető példa

- A feladat: írjunk Prolog programot a következő feladvány megoldására:
 - Adott számokból a négy alapművelet (+, -, *, /) segítségével építsünk egy megadott értékű kifejezést!
 - A számok nem „tapaszthatók” össze hosszabb számokká
 - Mindegyik adott számot pontosan egyszer kell felhasználni, sorrendjük tetszőleges lehet
 - Nem minden alapműveletet kell felhasználni, egyfajta alapművelet többször is előfordulhat
 - Zárójelek tetszőlegesen használhatók
- Példák a fenti szabályoknak megfelelő, az 1, 3, 4, 6 számokból felépített kifejezések: $1 + 6 * (3 + 4)$, $(1 + 3)/4 + 6$
- Viszonylag nehéz megtalálni egy olyan kifejezést, amely az 1, 3, 4, 6 számokból áll, és értéke 24

Aritmetikai kifejezések kezelése Prologban – ellenőrzés

Írjunk egy `kif` nevű egyargumentumú Prolog eljárást!

- `kif(X)` ellenőrzi, hogy `X` egy olyan kifejezés-e, amely számokból a négy alapművelet (+, -, *, /) segítségével épül fel.

```
% kif(K): K számokból, a négy alapművelettel képzett kifejezés.
kif(K) :- number(K).
kif(X+Y) :- kif(X), kif(Y).      kif(X-Y) :- kif(X), kif(Y).
kif(X*Y) :- kif(X), kif(Y).      kif(X/Y) :- kif(X), kif(Y).
```

- Betöltése: `| ?- compile(file).` vagy `| ?- consult(file).`
- Futtatás nyomkövetés nélkül és nyomkövetéssel (`consult`-ot követően):

```
| ?- kif(alma).           | ?- trace, kif(alma).
no                        % The debugger will first creep
| ?- kif(1+2).           1      1 Call: kif(alma) ?
yes                        2      2 Call: number(alma) ?
| ?-                     2      2 Fail: number(alma) ?
                           1      1 Fail: kif(alma) ?
                           no
                           | ?-
```

Aritmetikai kifejezések ellenőrzése – továbbfejlesztett változat

- A `kif` Prolog eljárás segédeljárás használó változata (javasolt formázással):

```
% kif2(K): K számokból, a négy alapművelettel képzett kifejezés.
kif2(Kif) :-
    number(Kif).
kif2(Kif) :-
    alap4(X, Y, Kif),
    kif2(X),
    kif2(Y).
```

- Az `alap4` segédeljárás:

```
% alap4(X, Y, Kif): A Kif kifejezés az X és Y kifejezésekből
% a négy alapművelet egyikével áll elő.
alap4(X, Y, X+Y).
alap4(X, Y, X-Y).
alap4(X, Y, X*Y).
alap4(X, Y, X/Y).
```

Aritmetikai kifejezés levéllistájának előállítása

- A kif_levelek eljárás ellenőrzi a kifejezést és előállítja levéllistáját

```
% kif_levelek(Kif, L): A számokból alapműveletekkel felépülő Kif
% kifejezés leveleiben levő számok listája L.
```

```
kif_levelek(Kif, L) :-
    number(Kif), L = [Kif]. % L egyelemű, Kif-ből álló lista
kif_levelek(Kif, L) :-
    alap4(K1, K2, Kif),
    kif_levelek(K1, LX),
    kif_levelek(K2, LY),
    append(LX, LY, L).
```

```
| ?- kif_levelek(2/3-4*(5+6), L).    → L = [2,3,4,5,6]
```

- Az append egy beépített eljárás, fejkomentje és példafutása

```
% append(L1, L2, L3): Az L1 és L2 listák összefűzése az L3 lista.
```

```
| ?- append([1,2], [3,4], L).    → L = [1,2,3,4]
```

Az append eljárás többirányú használata

- Az append eljárás a fejkomentje által leírt *relációt* valósítja meg, több választ is adhat (új válasz kérése a ; karakterrel)

```
% append(L1, L2, L3): Az L1 és L2 listák összefűzése az L3 lista.
```

```
| ?- append(L, [3], [1,2,3]).    % [1,2,3] utolsó eleme-e 3,
L = [1,2] ? ;                    % és milyen L lista van előtte?
no                                 % nincs TÖBB válasz
| ?- append([1,2], L, [1,2,3]). % [1,2,3,4] prefixuma-e [1,2]?
L = [3] ? ; no
| ?- append(L1, L2, [1,2,3]).    % [1,2,3] hogyan bontható két részre?
L1 = [], L2 = [1,2,3] ? ;
L1 = [1], L2 = [2,3] ? ;
L1 = [1,2], L2 = [3] ? ;
L1 = [1,2,3], L2 = [] ? ; no
| ?- append(L, [2], L2).
L = [], L2 = [2] ? ;
L = [_A], L2 = [_A,2] ? ;
L = [_A,_B], L2 = [_A,_B,2] ? ; % végtelen sok válasz, problémás ...
...
```

Adott levéllistájú aritmetikai kifejezések előállítása

- A kif_levelek eljárás sajnos nem használható „visszafelé”, végtelen ciklusba esik, lásd pl. | ?- kif_levelek(Kif, [1]).
- Ez javítható a hívások átrendezésével és új feltételek beszúrásával

```
% kif_levelek(+Kif, -L):           % levelek_kif(+L, -Kif):
% Kif levéllistája L.              % Kif levéllistája L.
kif_levelek(Kif, L) :-             levelek_kif(L, Kif) :-
    number(Kif),                    L = [Kif],
    L = [Kif].                      number(Kif).
kif_levelek(Kif, L) :-             levelek_kif(L, Kif) :-
    alap4(K1, K2, Kif),              append(L1, L2, L),
                                     L1 \= [], L2 \= [],
                                     % L1, L2 nem-üres listák
    kif_levelek(K1, L1),             levelek_kif(L1, K1),
    kif_levelek(K2, L2),             levelek_kif(L2, K2),
    append(L1, L2, L).               alap4(K1, K2, Kif).

| ?- levelek_kif([1,3,4], K).
K = 1+(3+4) ? ; K = 1-(3+4) ? ; K = 1*(3+4) ? ; K = 1/(3+4) ? ;
K = 1+(3-4) ? ; K = 1-(3-4) ? ; K = 1*(3-4) ? ; K = 1/(3-4) ? ; ...
```

Adott értékű kifejezés előállítása

- Bevezető példánk megoldásához szükséges további nyelvi elemek
 - A lists könyvtárban található permutation eljárás:


```
% permutation(L, PL): PL az L lista permutációja.
```
 - Az := (=) beépített aritmetikai eljárás mindkét argumentumában aritmetikai kifejezést vár, azokat kiértékeli, és csak akkor sikerül, ha az értékek aritmetikailag megegyeznek (különböznek), pl.


```
| ?- 4+2 =\= 3*2. → no           | ?- 2.0 := 2. → yes
| ?- 8/3 := 2.6666666666666666. → no
```

- A példa „generál és ellenőriz” (generate-and-test) stílusú megoldása:

```
% levelek_ertek_kif(L, Ertek, Kif): Kif az L listabeli számokból
% a négy alapművelet segítségével felépített olyan kifejezés,
% amelynek értéke Ertek.
```

```
levelek_ertek_kif(L, Ertek, Kif) :-
    permutation(L, PL), levelek_kif(PL, Kif), Kif := Ertek.
```

```
| ?- levelek_ertek_kif([1,3,4], 11, Kif).
Kif = 3*4-1 ? ; Kif = 4*3-1 ? ; no
```

Adott értékű kifejezés előállítás – a teljes kód

```
:- use_module(library(lists), [permutation/2]). % importálás

% levelek_ertek_kif(L, Ertek, Kif): Kif az L listabeli számokból
% a négy alapművelettel felépített, Ertek értékű kifejezés.
levelek_ertek_kif(L, Ertek, Kif) :-
    permutation(L, PL), levelek_kif(PL, Kif), Kif == Ertek.

% levelek_kif(L, Kif): Az alapműveletekkel felépített Kif levéllistája L.
levelek_kif(L, Kif) :-
    L = [Kif], number(Kif).
levelek_kif(L, Kif) :-
    append(L1, L2, L),
    L1 \= [], L2 \= [], levelek_kif(L1, K1), levelek_kif(L2, K2),
    alap4(K1, K2, Kif).

% alap4(X, Y, Kif): Kif X-ből és Y-ből a 4 alapművelet egyikével áll elő.
alap4(X, Y, X+Y).
alap4(X, Y, X-Y).
alap4(X, Y, X*Y).
alap4(X, Y, X/Y) :- Y =\= 0. % a 0-val való osztás kiküszöbölése
```

Tartalom

- 2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban
 - Néhány deklaratív paradigma C nyelven
 - Jobbrekurzió
 - A Cékla programozási nyelv
 - Listakezelés Céklában
 - Magasabb rendű függvények

II. rész

Cékla: deklaratív programozás C++-ban

- 1 Bevezetés
- 2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban
- 3 Prolog alapok
- 4 Erlang alapok
- 5 Haladó Prolog
- 6 Haladó Erlang

A deklaratív programozás jelmondata

- MIT és nem HOGYAN (WHAT rather than HOW):
a *megoldás módja* helyett **inkább**
a megoldandó *feladat leírását* kell megadni
- A gyakorlatban mindkét szemponttal foglalkozni kell

Kettős szemantika:

- deklaratív szemantika
MIT (milyen feladatot) old meg a program;
- procedurális szemantika
HOGYAN oldja meg a program a feladatot.
- Új gondolkodási stílus, dekomponálható, verifikálható programok
- Új, magas szintű programozási elemek
 - rekurzió (algoritmus, adatstruktúra)
 - mintaillesztés
 - visszalépéses keresés
 - magasabb rendű függvények

Imperatív és deklaratív programozási nyelvek

● Imperatív program

- felszólító módú, utasításokból áll
- változó: változtatható értékű memóriahely
- C nyelvű példa:

```
int pow(int A, int N) { // pow(A,N) = A^N
    int P = 1;         // Legyen P értéke 1!
    while (N > 0) {    // Amíg N>0 ismételd ezt:
        N = N-1;      // Csökkentsd N-et 1-gyel!
        P = P*A;      // Szorozd P-t A-val!
    }                 // Add vissza P végértékét
    return P;
}
```

● Deklaratív program

- kijelentő módú, egyenletekből, állításokból áll
- változó: egyetlen, fix, a programírás idején ismeretlen értékkel bír
- Erlang példa:

```
pow(A,N) -> if                % Elágazás
    N==0 -> 1;                % Ha N == 0, akkor 1
    N>0 -> A*pow(A, N-1)     % Ha N>0, akkor A*A^{N-1}
end.                          % Elágazás vége
```

Deklaratív programozás imperatív nyelven

Lehet pl. C-ben is deklaratívan programozni

ha nem használunk: értékadó utasítást, ciklust, ugrást stb.,
amit használhatunk: csak konstans változók, (rekurzív) függvények,
if-then-else

- Példa (a pow függvény deklaratív változata a powd):

```
// powd(A,N) = A^N
int powd(const int A, const int N) {
    if (N > 0)           // Ha N > 0
        return A * powd(A,N-1); // akkor A^N = A*A^{N-1}
    else                 // egyébként A^N = 1
        return 1;
}
```

- A (fenti típusú) rekurzió költséges, nem valósítható meg konstans tárigénnyel :-(
powd(10,3) : 10*powd(10,2) : 10*(10*powd(10,1)) : $10 * (10 * (10*1))$
tárolni kell

Tartalom

2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban

- Néhány deklaratív paradigma C nyelven
- Jobbrekurzió
- A Cékla programozási nyelv
- Listakezelés Céklaiban
- Magasabb rendű függvények

Hatékony deklaratív programozás

- A rekurzióknak van egy hatékonyan megvalósítható változata
- Példa: döntsük el, hogy egy A szám előáll-e egy B szám hatványaként:

```
/* ispow(A,B) = 1 <=> létezik i, melyre B^i = A.
```

```
* Előfeltétel: A > 0, B > 1 */
```

```
int ispow(const int A, const int B) {
```

```
    // again:
```

```
    if (A == 1) return 1;
```

```
    else if (A%B==0) return ispow(A/B, B); // {A=A/B; goto again;}
```

```
    else return 0;
```

```
}
```

- Itt a színezett rekurzív hívás átírható iteratív kódra: a kommentben jelzett értékadással és ugrással helyettesíthető!
- Ez azért tehető meg, mert a rekurzióból való visszatérés után *azonnal* kilépünk az adott függvényhívásból.
- Az ilyen függvényhívást **jobbrekurzió**nak vagy **terminális rekurzió**nak vagy **farok rekurzió**nak nevezzük („tail recursion”)
- A Gnu C fordító megfelelő optimalizálási szint mellett a rekurzív definícióból is a nem-rekurzív (jobboldali) kóddal azonos kódot generál!

Jobbrekurzív függvények

- Lehet-e jobbrekurzív kódot írni a hatványozási ($\text{pow}(A, N)$) feladatra?
 - A gond az, hogy a rekurzióból „kifelé jövet” már nem csinálhatunk semmit,
 - Tehát a végeredménynek az utolsó hívás belsejében elő kell állnia!
 - A megoldás: segédfüggvény definiálása, amelyben egy vagy több ún. gyűjtőargumentumot (*akkumulátort*) helyezünk el.

- A $\text{pow}(A, N)$ jobbrekurzív (iteratív) megvalósítása:

```
// Segédfüggvény: powi(A, N, P) = P * A^N
int powi(const int A, const int N, const int P) {
    if (N > 0)
        return powi(A, N-1, P*A);
    else
        return P;
}

int powi(const int A, const int N){
    return powi(A, N, 1);
}
```

Imperatív program átírása jobbrekurzív, deklaratív programmá

- Minden ciklusnak egy segédfüggvényt feleltetünk meg (Az alábbi példában: while ciklus \implies powi függvény)
- A segédfüggvény argumentumai a ciklus által tartalmazott változóknak felelnek meg (powi argumentumai az A, N, P értékek)
- A segédfüggvény eredménye a ciklus által az őt követő kódnak továbbadott változó(k) értéke (powi eredménye a P végértéke)
- Példa: a hatványszámító program

```
int pow(int A, int N) {
    int P = 1;

    while (N > 0) {
        N = N-1;
        P = P*A;
    }

    return P;
}

int powi(int A, int N) {
    return powi(A, N, 1);
}

int powi(int A, int N, int P) {
    if (N > 0) return powi(A,
                           N-1,
                           P*A);
    else
        return P;
}
```

Példák: jobbrekurzióra átíráható rekurziók

Általános rekurzió	Jobbrekurzió
<pre>// fact(N) = N! int fact(const int N) { if (N==0) return 1; return N * fact(N-1); }</pre>	<pre>// facti(N, I) = N! * I int facti(const int N, const int I) { if (N==0) return I; return facti(N-1, I*N); } int facti(const int N) { return facti(N, 1); }</pre>
<pre>// fib(N) = // N. Fibonacci szám int fib(const int N) { if (N<2) return N; return fib(N-1) + fib(N-2); }</pre>	<pre>int fibi(const int N, // Segédfv const int Prev, const int Cur) { if (N==0) return 0; if (N==1) return Cur; return fibi(N-1, Cur, Prev + Cur); } int fibi(const int N) { return fibi(N, 0, 1); }</pre>

Tartalom

- Cékla: deklaratív programozás C++-ban
 - Néhány deklaratív paradigma C nyelven
 - Jobbrekurzió
 - A Cékla programozási nyelv
 - Listakezelés Cékla-ban
 - Magasabb rendű függvények

Cékla 2: A „Cé++” nyelv egy deKLAratív része

- Megszorítások:
 - Típusok: csak `int`, lista vagy függvény (lásd később)
 - Utasítások: `if-then-else`, `return`, blokk
 - Változók: csak egyszer, deklarálásukkor kaphatnak értéket
 - Kifejezések: változókból és konstansokból kétargumentumú operátorokkal és függvényhívásokkal épülnek fel
 - \langle aritmetikai-op \rangle : `+` | `-` | `*` | `/` | `%` |
 - \langle hasonlító-op \rangle : `<` | `>` | `==` | `!=` | `>=` | `<=`
- C++ fordítóval is fordítható a `cekla.h` fájl birtokában: láncolt lista kezelése, függvénytípusok és kiírás
- Kiíró függvények: főleg nyomkövetéshez, ugyanis *mellékhatusuk* van!
 - `write(X)`; Az `X` kifejezés kiírása a standard kimenetre
 - `writeln(X)`; Az `X` kifejezés kiírása és soremelés
- Korábban készült egy csak az `int` típust és a C résznyelvét támogató Cékla 1 fordító (Prologban íródott és Prologra is fordít)
- A (szintén Prologos) Cékla 2.x fordító letölthető a tárgy honlapjáról

Cékla Hello world!

- `hello.cc`:


```
#include "cekla.h"           // így C++ fordítóval is fordítható
int main() {                 // bárhogy nevezhetnénk a függvényt
    writeln("Hello World!"); // nem-deklaratív utasítás
}
```
- Fordítás és futtatás a `cekla` programmal:


```
$ cekla hello.cc           Cékla parancssori indítása
Welcome to Cékla 2.238: a compiler for a declarative C++ sublanguage
* Function 'main' compiled
* Code produced
To get help, type:        |* help;
|* main()                 Kiértékelendő kifejezés
Hello World!              a mellékhatus
|* ^D                     end-of-file (Ctrl+D v Ctrl+Z)
Bye
$ g++ hello.cc && ./a.out  Szabályos C++ program is
Hello World!
```

A Cékla nyelv szintaxisa

- A szintaxist BNF jelöléssel adjuk meg, kiterjesztés:
 - ismétlés (0, 1, vagy többszöri): \langle ismétlendő \rangle ...
 - zárójelezés: `[...]`
 - `< >` jelentése: semmi
- A program szintaxisa

```
<program> ::=          <preprocessor_directive>...
                   <function_definition>...
<function_definition> ::= <head> <block>
<head> ::=           <type> <identifier>( <formal_args> )
<type> ::=           [ <const | < > ] [ <int | list | fun1 | fun2 > ]
<formal_args> ::=    <formal_arg> [ , <formal_arg> ] ... | < >
<formal_arg> ::=     <type> <identifier>
<block> ::=         { [ <declaration> | <statement> ] ... }
<declaration> ::=   <type> <declaration_elem>
                   [ , <declaration_elem> ] ... ;
<declaration_elem> ::= <identifier> = <expression>
```

Cékla szintaxis folytatás: utasítások, kifejezések

```
<statement> ::=      if ( <expression> ) <statement> <else_part>
                   | <block>
                   | <expression> ;
                   | return <expression> ;
                   | ;
<else_part> ::=      else <statement> | < >
<expression> ::=    <expression_3> [ ? <expression> : <expression> | < > ]
<expression_3> ::=  <expression_2> [ <comp_op> <expression_2> ] ...
<expression_2> ::=  <expression_1> [ <add_op> <expression_1> ] ...
<expression_1> ::=  <expression_0> [ <mul_op> <expression_0> ] ...
<expression_0> ::=  <identifier>
                   | <constant>
                   | <identifier>( <actual_args> )
                   | ( <expression> )
<constant> ::=     <integer> | <string> | ' <char> '
<actual_args> ::=   <expression> [ , <expression> ] ... | < >
<comp_op> ::=      < | > | == | != | >= | <=
<add_op> ::=       + | -
<mul_op> ::=       * | / | %
```

Tartalom

2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban

- Néhány deklaratív paradigma C nyelven
- Jobbrekurzió
- A Cékla programozási nyelv
- Listakezelés Cékla-ban
- Magasabb rendű függvények

Lista építése

- Egészeket tároló láncolt lista
- Üres lista: nil (globális konstans)
- Lista építése:

```
// Visszaad egy új listát: első eleme Head, farka a Tail lista.
list cons(int Head, list Tail);
```

- Példaprogram:

```
#include "cekla.h" // így szabályos C++ program is
int main() { // szabályos függvénydeklaráció
    const list L1 = nil; // üres lista
    const list L2 = cons(30, nil); // [30]
    const list L3 = cons(10, cons(20, L2)); // [10,20,30]
    writeln(L1); // kimenet: []
    writeln(L2); // kimenet: [30]
    writeln(L3); // kimenet: [10,20,30]
}
```

Futtatás Cékla-val

```
$ cekla
Welcome to Cekla 2.238: a compiler for a declarative C++ sublanguage
To get help, type:      |* help;
|* load "pelda.c";
* Function 'main' compiled
* Code produced
|* main();
[]
[30]
[10,20,30]
|* cons(10,cons(20,cons(30,nil)));
[10,20,30]
|* ^D
Bye
$
```

Lista szétbontása

- Első elem lekérdezése:


```
int hd(list L) // Visszaadja a nemüres L lista fejét.
```
- Többi elem lekérdezése:


```
list tl(list L) // Visszaadja a nemüres L lista farkát.
```
- Egyéb operátorok: = (inicializálás), ==, != (összehasonlítás)

```
int sum(const list L) { // az L lista elemeinek összege
    if (L == nil) return 0; // ha L üres, akkor 0,
    else { // különben hd(L) + sum(tl(L))
        const int X = hd(L); // segédváltozókat használhatunk,
        const list T = tl(L); // de csak konstansokat
        return X + sum(T); // rekurzió (ez nem jobbrekurzió!)
    } // Fejtörő: csak akkor lehet jobbrekurzióvá alakítani, ha a
} // tl(L) objektumot nem kell felszabadítani (destruktor)

int main() {
    const int X = sum(cons(10,cons(20,nil))); // sum([10,20]) == 30
    writeln(X); // mellékhatás: kiírjuk a 30-at
}
```

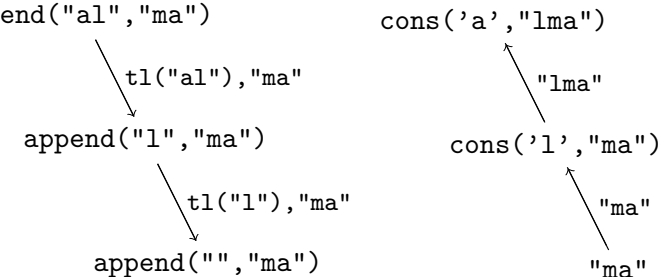
Sztringek Céklában

- Sztring: karakterkódok listája, „szintaktikus édesítőszer”
- A lista a C nyelvből ismert „lezáró nullát” (`'\0'`) nem tárolja!
- `write` heurisztikája: ha a lista csak nyomtatható karakterek kódját tartalmazza (32..126), sztring formában íródik ki:

```
int main() {
    const list L4 = "abc";           // abc
    const list L5 =
        cons(97, cons(98, cons(99, nil))); // abc
    writeln(L4 == L5);              // 1
    writeln(97 == 'a');             // 1
    writeln(nil == "");            // 1
    writeln(nil);                   // []
    writeln(L5);                    // abc
    writeln(cons(10, L5));          // [10, 97, 98, 99]
    writeln(tl(L4));                // bc
}
```

Listák összefűzése: append

- `append(L1, L2)` visszaadja `L1` és `L2` elemeit egymás után fűzve
 $// \text{append}(L1, L2) = L1 \oplus L2$ ($L1$ és $L2$ összefűzése)
- Például `append("al", "ma") == "alma"` (vagyis `[97, 108, 109, 97]`).



- $O(n)$ lépésszámú (`L1` hossza), ha a lista átadása, `cons`, `hd`, `tl` $O(1)$
- Megjegyzés: a fenti megvalósítás nem jobbrekurzív!

Lista megfordítása: `nrev`, `reverse`

- Naív (négyzetes lépésszámú) megoldás
 $// \text{nrev}(L) = \text{az } L \text{ lista megfordítva}$

```
list nrev(const list L) {
    if (L == nil) return nil;
    return append(nrev(tl(L)), cons(hd(L), nil));
}
```
- Lineáris lépésszámú megoldás
 $// \text{reverse}(L) = \text{az } L \text{ lista megfordítva}$

```
list reverse(const list L) {
    return revapp(L, nil);
}
```

 $// \text{revapp}(L, L0) = \text{az } L \text{ lista megfordítása } L0 \text{ elé fűzve}$

```
list revapp(const list L, const list L0) {
    if (L == nil) return L0;
    return revapp(tl(L), cons(hd(L), L0));
}
```
- Egy jobbrekurzív `appendi(L1, L2)`: `revapp(revapp(L1, nil), L2)`

További általános listakezelő függvények

- Elem keresése listában
 $// \text{ismember}(X, L) = 1$, ha az X érték eleme az L listának

```
int ismember(const int X, const list L) {
    if (L == nil) return 0;
    if (hd(L) == X) return 1;
    return ismember(X, tl(L));
}
```
- Két, ismétlődésmentes listaként ábrázolt halmaz metszete
 $// \text{intersection}(L1, L2) = L1$ és $L2$ közös elemeinek listája.

```
list intersection(const list L1, const list L2) {
    if (L1 == nil) return nil;
    const list L3 = intersection(tl(L1), L2);
    const int X = hd(L1);
    if (ismember(X, L2))
        return cons(X, L3);
    else return L3;
}
```

Műveletek számlistákkal

- Döntsük el, hogy egy számlista csupa negatív számból áll-e!

```
// allneg(L) = 1, ha az L lista minden eleme negatív.
int allneg(const list L) {
    if (L == nil) return 1;
    if (hd(L) >= 0) return 0;
    return allneg(tl(L));
}
```

- Állítsuk elő egy számlista negatív elemeiből álló listát!

```
// filterneg(L) = Az L lista negatív elemeinek listája.
list filterneg(const list L) {
    if (L == nil) return nil;
    const int X = hd(L); const list TL = tl(L);
    if (X >= 0) return filterneg(TL);
    else return cons(X, filterneg(TL));
}
```

- Állítsuk elő egy számlista elemeinek négyzeteiből álló listát!

```
// sqliist(L) = az L lista elemeinek négyzeteit tartalmazó lista.
list sqliist(const list L) {
    if (L == nil) return nil;
    const int HD = hd(L);
    const list TL = tl(L);
    return cons(HD*HD, sqliist(TL));
}
```

Imperatív C programok átírása Céklába gyűjtőargumentumokkal

- Példafeladat: Hatékony hatványozási algoritmus

- Alaplépés: a kitevő felezése, az alap négyzetre emelése.
- A kitevő kettes számrendszerbeli alakja szerint hatványoz.

- A megoldás imperatív C-ben és Céklában:

```
// hatv(A, H) = A^H
int hatv(int A, int H) {
    int E = 1;
    while (H > 0) {
        if (H % 2) E *= A;
        A *= A; H /= 2;
    }
    return E;
}

// hatv(A, H, E) = E * A^H
int hatv(const int A, const int H, const int E) {
    if (H <= 0) return E; // ciklus vége
    const int E1 = H%2 ? E*A : E;
    return hatv(A * A, H / 2, E1);
}
```

- A jobboldalon a while ciklusnak megfelelő segédfüggvény van, meghívása: `hatv(A, H, 1)`
- A segédfüggvény argumentumai a ciklusban szereplő változók: A, H, E
- Az A és H változók végértékére nincs szükség
- Az E változó végső értéke szükséges (ez a függvény eredménye)

Gyűjtőargumentumok: több kimenő változót tartalmazó ciklus

- A segéd eljárás kimenő változóit egy listába „csomagolva” adjuk vissza
- A segéd eljárás visszatérési értékét szétszedjük.

```
// poznegki(L): kiírja
// L >0 és <0 elemeinek
// a számát
int poznegki(list L) {
    int P = 0, N = 0;
    while (L != nil)
        { int Fej = hd(L);
          P += (Fej > 0);
          N += (Fej < 0);
          L = tl(L);
        }
    write(P); write("-");
    writeln(N);
}

// pozneg(L, P0, N0) = [P,N], ahol P-P0, ill.
// N-N0 az L >0, ill. <0 elemeinek a száma
list pozneg(list L, int P0, int N0) {
    if (L == nil) return cons(P0, cons(N0, nil));
    const int Fej = hd(L);
    const int P = P0+(Fej>0);
    const int N = N0+(Fej<0);
    return pozneg(tl(L), P, N);
}

int poznegki(const list L) {
    const list PN = pozneg(L, 0, 0);
    const int P = hd(PN), N = hd(tl(PN));
    write(P); write("-");
    writeln(N);
}
```

Gyűjtőargumentumok: append kiküszöbölése

- A feladat: adott N-re N db a, majd N db b karakterből álló sztring előállítás
- Első változat, append felhasználásával

```
list anbn(int N) {
    list LA = nil, LB = nil;
    while (N-- > 0)
        { LA = cons('a', LA);
          LB = cons('b', LB);
        }
    return append(LA, LB);
}

// an(A, N) = [A, <-N->, A]
list an(const int A, const int N) {
    if (N == 0) return nil;
    else return cons(A, an(A, N-1));
}

list anbn(const int N) {
    return append(an('a', N), an('b', N));
}
```

- Második változat, append nélkül

```
list anbn(int N) {
    list L = nil; int M = N;
    while (N-- > 0)
        L = cons('b', L);
    while (M-- > 0)
        L = cons('a', L);
    return L;
}

// an(A, N, L) = [A, <-N->, A] ⊕ L
list an(int A, int N, list L) {
    if (N == 0) return L;
    else return an(A, N-1, cons(A, L));
}

list anbn(const int N) {
    return an('a', N, an('b', N, nil));
}
```

- A gyűjtőargumentumok előnye nemcsak a jobb rekurzió, hanem az append kiküszöbölése is.

Tartalom

2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban

- Néhány deklaratív paradigma C nyelven
- Jobbrekurzió
- A Cékla programozási nyelv
- Listakezelés Cékla-ban
- Magasabb rendű függvények

Magasabb rendű függvények Cékla-ban

- Magasabb rendű függvény: paramétere vagy eredménye függvény
- A Cékla két függvénytípust támogat:

```
typedef int(* fun1 )(int) // Egy paraméteres egész fv
typedef int(* fun2 )(int, int) // Két paraméteres egész fv
```

- Példa: ellenőrizzük, hogy egy lista számjegykarakterek listája-e

```
// Igaz, ha L minden X elemére teljesül a P(X) predikátum
int for_all(const fun1 P, const list L) {
    if (L == nil) return 1; // triviális
    else {
        if (P(hd(L)) == 0) return 0; // ellenpélda?
        return for_all(P, tl(L)); // többire is teljesül?
    }
}

int digit(const int X) { // Igaz, ha X egy számjegy kódja
    if (X < '0') return 0; // 48 == '0'
    if (X > '9') return 0; // 57 == '9'
    return 1; }

int szamjegyek(const list L) { // Igaz, ha L egy szám sztringje
    return for_all(digit, L); }
```

Gyakori magasabb rendű függvények: map, filter

- $\text{map}(F, L)$: az $F(X)$ elemekből álló lista, ahol X végigfutja az L lista elemeit

```
list map(const fun1 F, const list L) {
    if (L == nil) return nil;
    return cons(F(hd(L)), map(F, tl(L)));
}
```

- Például az $L=[10,20,30]$ lista elemeit négyzetre emelve: $[100,400,900]$

```
int sqr(const int X) { return X*X; }
```

Így a $\text{map}(\text{sqr}, L)$ kifejezés értéke $[100,400,900]$.

- $\text{filter}(P, L)$: az L lista azon X elemei, melyekre $P(X)$ teljesül

```
list filter(const fun1 P, const list L) {
    if (L == nil) return nil;
    if (P(hd(L))) return cons(hd(L), filter(P, tl(L)));
    else return filter(P, tl(L));
}
```

- Például keressük meg a "X=100;" sztringben a számjegyeket:

A $\text{filter}(\text{digit}, "X=100;")$ kifejezés értéke "100" (azaz $[49,48,48]$)

Gyakori magasabb rendű függvények: a fold család

- Hajtogatás balról – Erlang stílusban

```
// foldl(F, a, [x1,...,xn]) = F(xn, ..., F(x1, a)...)
int foldl(const fun2 F, const int Acc, const list L) {
    if (L == nil) return Acc;
    else return foldl(F, F(hd(L), Acc), tl(L)); // (*)
}
```

- Hajtogatás balról – Haskell stílusban (csak a (*) sor változik)

```
// foldlH(F, a, [x1,...,xn]) = F(...(F(a, x1), x2), ..., xn)
int foldlH(const fun2 F, const int Acc, const list L) {
    if (L == nil) return Acc;
    else return foldlH(F, F(Acc, hd(L)), tl(L));
}
```

- Futási példák, $L = [1,5,3,8]$

```
int xmy(int X, int Y) { return X-Y; }
int ymx(int X, int Y) { return Y-X; }

foldl (xmy, 0, L) = (8-(3-(5-(1-0)))) = 9
foldlH(xmy, 0, L) = (((0-1)-5)-3)-8 = -17
foldl (ymx, 0, L) = (((0-1)-5)-3)-8 = -17
foldlH(ymx, 0, L) = (8-(3-(5-(1-0)))) = 9
```

A fold család – folytatás

- Hajtogatás jobbról (Haskell és Erlang egyaránt:-)

```
// foldr(F, a, [x1, ..., xn]) = F(x1, ..., F(xn, a)...)
int foldr(const fun2 F, const int Acc, const list L) {
    if (L == nil) return Acc;
    else
        return F(hd(L), foldr(F, Acc, tl(L)));
}
```

- Futási példa, $L = [1, 5, 3, 8]$,

```
int xmy(int X, int Y) { return X-Y; }
```

```
foldr(xmy, 0, L) = (1-(5-(3-(8-0)))) = -9
```

- Egyes funkcionális nyelvekben (pl. Haskell-ben) a hajtogató függvényeknek létezik 2-argumentumú változata is: `foldl1` ill. `foldr1`

- Itt a lista első vagy utolsó eleme lesz az `Acc` akkumulátor-argumentum kezdőértéke, pl.

```
foldr1(F, [x1, ..., xn]) = F(x1, F(x2, ..., F(xn-1, xn) ...))
```

Cékla kis házi feladat

Egy S szám A alapú *kevertje*:

- Képezzük az S szám A alapú számrendszerben vett jegyeinek sorozatát (balról jobbra), legyen ez $J_1, J_2, J_3, J_4, \dots, J_N$
- Átrendezzük: a páratlan sorszámúakat előre vesszük:
 - Ha N páros: $J_1, J_2, J_3, J_4, \dots, J_N \rightarrow J_1, J_3, \dots, J_{N-1}, J_2, J_4, \dots, J_N$
 - Ha N páratlan: $J_1, J_2, J_3, J_4, \dots, J_N \rightarrow J_1, J_3, \dots, J_N, J_2, J_4, \dots$
- Az előállt számjegysorozatot A számrendszerbeli számnak tekintjük, és képezzük ennek a számnak az értékét

```
|* kevert(12345, 10);
```

```
13524
```

```
|* kevert(123456, 10);
```

```
135246
```

```
|* kevert(10, 2);
```

```
12
```

- A 10 (decimális) szám 2-es alapú számjegyei $1, 0, 1, 0$
- átszortrendezve $1, 1, 0, 0$
- ezek 2-es számrendszerben a 12 (decimális) szám számjegyei.

Deklaratív programozási nyelvek — a Cékla tanulságai

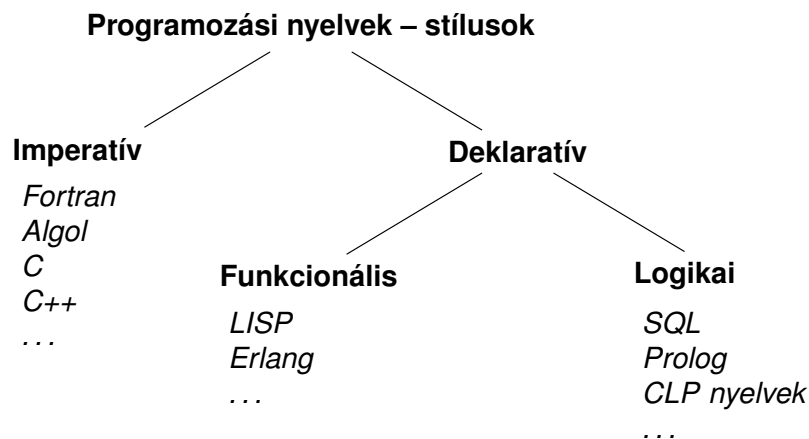
- Mit veszítettünk?
 - a megváltoztatható változókat,
 - az értékadást, ciklus-utasítást stb.,
 - általánosan: a megváltoztatható állapotot
- Hogyan tudunk mégis állapotot kezelni deklaratív módon?
 - az állapotot a (segéd)függvény paraméterei tárolják,
 - az állapot változása (vagy helybenmaradása) explicit!
- Mit nyertünk?
 - Állapotmentes szemantika: egy nyelvi elem értelme nem függ a programállapottól
 - Hivatkozási átlátszóság (referential transparency) — pl. ha $f(x) = x^2$, akkor $f(a)$ **helyettesíthető** a^2 -tel.
 - Egyszeres értékadás (single assignment) — párhuzamos végrehajthatóság.
 - A deklaratív programok **dekomponálhatók**:
 - A program részei egymástól **függetlenül** megírhatók, tesztelhetők, verifikálhatók.
 - A programon könnyű következtetéseket végezni, pl. helyességét bizonyítani.

III. rész

Prolog alapok

- Bevezetés
- Cékla: deklaratív programozás C++-ban
- Prolog alapok**
- Erlang alapok
- Haladó Prolog
- Haladó Erlang

Programozási nyelvek osztályozása



Deklaratív programozási nyelvek

- A funkcionális nyelvek alapja a matematika függvényfogalma
- A logikai nyelvek alapja a matematika relációfogalma
- Közös tulajdonságaik
 - Deklaratív szemantika – a program jelentése egy matematikai állításként olvasható ki.
 - Deklaratív változó \equiv matematikai változó – egy ismeretlen értéket jelöl, vö. egyszeres értékadás
- Jelmondat
 - MIT és nem HOGYAN (WHAT rather than HOW): a *megoldás módja* helyett inkább a megoldandó *feladat leírását* kell megadni
 - A gyakorlatban mindkét szemponttal foglalkozni kell – kettős szemantika:
 - deklaratív szemantika – MIT (milyen feladatot) old meg a program;
 - procedurális szemantika – HOGYAN oldja meg a program a feladatot.

A logikai programozás alap gondolata

Az előadás LP részének áttekintése

- Logikai programozás (LP):
 - Programozás a matematikai logika segítségével
 - egy logikai program nem más mint **logikai állítások halmaza**
 - egy logikai **program futása** nem más mint **következtetési folyamat**
 - De: a logikai következtetés óriási keresési tér bejárását jelenti
 - szorítsuk meg a logika nyelvét
 - válasszunk egyszerű, ember által is követhető következtetési algoritmusokat
 - Az LP máig legelterjedtebb megvalósítása a **Prolog = Programozás logikában (Programming in logic)**
 - az elsőrendű logika egy erősen megszorított résznyelve az ún. **definit-** vagy **Horn-klózik** nyelve,
 - végrehajtási mechanizmusa: **mintaillesztéses** eljárásíváson alapuló **visszalépéses** keresés.

- **1. blokk:** A Prolog nyelv alapjai
 - Szintaxis
 - Deklaratív szemantika
 - Procedurális szemantika (végrehajtási mechanizmus)
- **2. blokk:** Prolog programozási módszerek
 - A legfontosabb beépített eljárások
 - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek
- Kitekintés: Új irányzatok a logikai programozásban

A Prolog/LP rövid történeti áttekintése

1960-as évek	Első tételbizonyító programok
1970-72	A logikai programozás elméleti alapjai (R A Kowalski)
1972	Az első Prolog interpreter (A Colmerauer)
1975	A második Prolog interpreter (Szeredi P)
1977	Az első Prolog fordítóprogram (D H D Warren)
1977–79	Számos kísérleti Prolog alkalmazás Magyarországon
1981	A japán 5. generációs projekt a logikai programozást választja
1982	A magyar MProlog az egyik első kereskedelmi forgalomba kerülő Prolog megvalósítás
1983	Egy új fordítási modell és absztrakt Prolog gép (WAM) megjelenése (D H D Warren)
1986	Prolog szabványosítás kezdete
1987–89	Új logikai programozási nyelvek (CLP, Gödel stb.)
1990–...	Prolog megjelenése párhuzamos számítógépeken Nagyhatékonyágú Prolog fordítóprogramok

Tartalom

- 3 Prolog alapok
 - Prolog bevezetés
 - Az eljárás-redukciós modell
 - Az eljárás-doboz modell
 - Az egyesítési algoritmus
 - A Prolog nyelv alapszintaxisa
 - Szintaktikus „édesítőszerek”: operátorok, listák
 - További vezérlési szerkezetek
 - Programozási példák

Néhány alapvető példafeladat

- Tényállítások, szabályok: *családi kapcsolatok*
- Adatstruktúrák: *bináris fák*
- Aritmetika: *faktoriális*
- Szimbolikus feldolgozás: *deriválás*

A Prolog alapelemei: a családi kapcsolatok példája

- Adatok

Adottak gyerek–szülő kapcsolatra vonatkozó állítások, pl.

<i>gyerek</i>	<i>szülő</i>
<i>Imre</i>	<i>István</i>
<i>Imre</i>	<i>Gizella</i>
<i>István</i>	<i>Géza</i>
<i>István</i>	<i>Sarolta</i>
<i>Gizella</i>	<i>Civakodó Henrik</i>
<i>Gizella</i>	<i>Burgundi Gizella</i>

- A feladat:

- Definiálandó az unoka–nagyözülő kapcsolat, pl. keressük egy adott személy nagyözüleit.

```
% szuloje(Gy, Sz):Gy szülője Sz.
% Tényállításokból álló predikátum
szuloje('Imre', 'István'). % (sz1)
szuloje('Imre', 'Gizella'). % (sz2)
szuloje('István', 'Géza'). % (sz3)
szuloje('István', 'Sarolt'). % (sz4)
szuloje('Gizella',
        'Civakodó Henrik'). % (sz5)
szuloje('Gizella',
        'Burgundi Gizella'). % (sz6)

% Gyerek nagyszülője Nagyszulo.
% Egyetlen szabályból álló predikátum
nagyszuloje(Gyerek, Nagyszulo) :-
    szuloje(Gyerek, Szulo),
    szuloje(Szulo, Nagyszulo). % (nsz1)
```

```
% Kik Imre nagyszülei?
| ?- nagyszuloje('Imre', NSz).
NSz = 'Géza' ? ;
NSz = 'Sarolt' ? ;
NSz = 'Civakodó Henrik' ? ;
NSz = 'Burgundi Gizella' ? ;
no
% Kik Géza unokái?
| ?- nagyszuloje(U, 'Géza').
U = 'Imre' ? ;
no
```

- A **szabály** jelentése implikáció: a törzsbeli célok **konjunkciójából** következik a fej.
 - Példa: $\text{nagyszuloje}(U, N) :- \text{szuloje}(U, Sz), \text{szuloje}(Sz, N).$
 - Logikai alak:

$$\forall UNSz (\text{nagyszuloje}(U, N) \leftarrow \text{szuloje}(U, Sz) \wedge \text{szuloje}(Sz, N))$$
 - Ekvivalens alak:

$$\forall UN (\text{nagyszuloje}(U, N) \leftarrow \exists Sz (\text{szuloje}(U, Sz) \wedge \text{szuloje}(Sz, N)))$$
- A **tényállítás** feltétel nélküli állítás, pl.
 - Példa: $\text{szuloje}('Imre', 'István').$
 - Logikai alakja változatlan
 - A tényállításban is lehetnek változók, ezeket is univerzálisan kell kvantálni

A Prolog deklaratív szemantikája

- **Példány**: Egy kifejezésből változók behelyettesítésével előálló kifejezés
- Egy célsorozat lefutása **sikeres**, ha a célsorozat egy példánya logikai **következménye** a programnak (a programbeli klózek konjunkciójának).
- A futás eredménye a példányt előállító **behelyettesítés**.
- Egy célsorozat többféleképpen is lefuthat sikeresen.
- Egy célsorozat futása **sikertelen**, ha egyetlen példánya sem következménye a programnak.

A Prolog végrehajtási mechanizmusa (procedurális szemantika)

- Egy eljárás: azon klózek összesége, amelyek fejének neve és argumentumszáma azonos.
- Egy klóz: $\text{Fej} :- \text{Törzs}$, ahol Törzs egy célsorozat
- Egy célsorozat: C_1, \dots, C_n , célok (eljáráshívások) sorozata, $n \geq 0$
- Végrehajtás: adott egy program és egy futtatandó célsorozat
- Redukciós lépés:
 - a célsorozat *első* tagjához keresünk egy vele *egyesíthető* klózfejet,
 - az egyesítéshez szükséges *változó-behelyettesítéseket* elvégezzük,
 - az első célt helyettesítjük az adott klóz törzsével
- Egyesítés: két Prolog kifejezés azonos alakra hozása változók behelyettesítésével, a lehető legáltalánosabb módon
- Keresés:
 - a redukciós lépésben a klózeket a felírás sorrendjében (felülről lefele) nézzük végig,
 - ha egy cél több klózfejjel is egyesíthető, akkor a Prolog *minden* lehetséges redukciós lépést megpróbál (meghiúsulás, visszalépés esetén)

Adatstruktúrák Prologban – a bináris fák példája

Bináris fák összegzése

- A bináris fa adatstruktúra
 - vagy egy csomópont (`node`), amelynek két részfája van (`left`, `right`)
 - vagy egy levél (`leaf`), amely egy egészt tartalmaz
- Binárisfa-struktúrák különböző nyelveken

```
% Struktúra deklarációk C-ben
enum treetype {Node, Leaf};
struct tree {
  enum treetype type;
  union {
    struct { struct tree *left;
             struct tree *right;
            } node;
    struct { int value;
            } leaf;
  } u;
};
```

```
% Adattípus-leírás Prologban
% (ún. Mercury jelölés):
% :- type tree --->
%      node(tree, tree)
%      | leaf(int).
```

```
% C nyelvű (deklaratív) függvény
int tree_sum(struct tree *tree)
{
  switch(tree->type) {
    case Leaf:
      return tree->u.leaf.value;
    case Node:
      return
        tree_sum(tree->u.node.left) +
        tree_sum(tree->u.node.right);
  }
}
```

```
% Prolog eljárás (predikátum)
% tree_sum(Tree, S): A Tree fa
% leveleiben levő számok
% összege S
tree_sum(leaf(Value), Value).
tree_sum(node(Left,Right), S) :-
  tree_sum(Left, S1),
  tree_sum(Right, S2),
  S is S1+S2.
```

Aritmetika Prologban – faktoriális

```
% fakt(N, F): F = N!.
fakt(0, 1).
fakt(N, F) :-
  N > 0,
  N1 is N-1,
  fakt(N1, F1),
  F is F1*N.
```

Klasszikus szimbolikuskifejezés-feldolgozás: deriválás

- Írjunk olyan Prolog predikátumot, amely számokból és az x névkonstansból a $+$, $-$, $*$ műveletekkel képzett kifejezések deriválását elvégzi!

```
% deriv(Kif, D): Kif-nek az x szerinti deriváltja D.
deriv(x, 1).
deriv(C, 0) :-
  number(C).
deriv(U+V, DU+DV) :-
  deriv(U, DU), deriv(V, DV).
deriv(U-V, DU-DV) :-
  deriv(U, DU), deriv(V, DV).
deriv(U*V, DU*V + U*DV) :-
  deriv(U, DU), deriv(V, DV).
| ?- deriv(x*x+x, D).
  => D = 1*x+x*1+1 ? ; no

| ?- deriv((x+1)*(x+1), D).
  => D = (1+0)*(x+1)+(x+1)*(1+0) ? ; no

| ?- deriv(I, 1*x+x*1+1).
  => I = x*x+x ? ; no

| ?- deriv(I, 0).
  => no
```

A Prolog adatfogalma, a Prolog kifejezés

Néhány beépített predikátum

- konstans (`atomic`)
 - számkonstans (`number`) – egész vagy lebegőp, pl. `1`, `-2.3`, `3.0e10`
 - névkonstans (`atom`), pl. `'István'`, `szuloje`, `+`, `-`, `<`, `tree_sum`
- összetett- vagy struktúra-kifejezés (`compound`)
 - ún. kanonikus alak: $\langle \text{struktúranév} \rangle (\langle \text{arg}_1 \rangle, \dots, \langle \text{arg}_n \rangle)$
 - a $\langle \text{struktúranév} \rangle$ egy névkonstans, az $\langle \text{arg}_i \rangle$ argumentumok tetszőleges Prolog kifejezések
 - példák: `leaf(1)`, `person(william,smith,2003)`, `<(X,Y)`, `is(X, +(Y,1))`
 - szintaktikus „édesítőszerek”, pl. operátorok:

$$X \text{ is } Y+1 \equiv \text{is}(X, +(Y,1))$$
- változó (`var`)
 - pl. `X`, `Szulo`, `X2`, `_valt`, `_`, `_123`
 - a változó alaphelyzetben behelyettesítetlen, értékkel nem bír, az egyesítés (mintaillesztés) művelete során egy tetszőleges Prolog kifejezést vehet fel értékül (akár egy másik változót)

- Kifejezések egyesítése
 - $X = Y$: az X és Y **szimbolikus** kifejezések változók behelyettesítésével azonos alakra hozhatók
 - $X \backslash= Y$: az X és Y kifejezések nem hozhatók azonos alakra
- Aritmetikai predikátumok
 - $X \text{ is } Kif$: A Kif **aritmetikai** kifejezés **értékét** egyesíti X -szel.
 - $Kif1 < Kif2$: $Kif1$ **aritmetikai értéke** kisebb $Kif2$ értékénél.
 - Hasonlóan: $Kif1 <= Kif2$, $Kif1 > Kif2$, $Kif1 >= Kif2$, $Kif1 = Kif2$ (aritmetikailag egyenlő), $Kif1 \backslash= Kif2$ (aritmetikailag nem egyenlő)
 - Fontos aritmetikai operátorok: `+`, `-`, `*`, `/`, `rem`, `//` (egész-osztás)
- További hasznos predikátumok
 - `true`, `fail`: Mindig sikerül ill. mindig meghiúsul.
 - `write(X)`: Az X Prolog kifejezést kiírja, `n1`: kiír egy újsort.
 - `trace`, `notrace`: A (teljes) nyomkövetést be- ill. kikapcsolja.

Programfejlesztési beépített predikátumok

Tartalom

- `consult(File)`: A `File` állományban levő programot beolvassa és értelmezendő alakban eltárolja. (`File = user` \Rightarrow terminálról olvas.)
- `listing` vagy `listing(Predikátum)`: Az értelmezendő alakban eltárolt összes ill. adott nevű predikátumokat kilistázza.
- `compile(File)` vagy `[File]`: A `File` állományban levő programot beolvassa, lefordítja.
- A lefordított alak gyorsabb, de nem listázható, kevésbé nyomkövethető.
- `halt`: A Prolog rendszer befejezi működését.

```
> sicstus
SICStus 4.1.2 (x86-linux-glibc2.7): Wed Apr 28 22:42:37 CEST 2010
| ?- consult(deriv).
% consulted /home/user/szulo.pl in module user, 0 msec 376 bytes
yes
| ?- deriv(x*x+x, D).
D = 1*x+x*1+1 ? ;
no
| ?- listing(deriv).
(...)
yes
| ?- halt.
>
```

3 Prolog alapok

- Prolog bevezetés
- Az eljárás-redukciós modell
- Az eljárás-doboz modell
- Az egyesítési algoritmus
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Szintaktikus „édesítőszerek”: operátorok, listák
- További vezérlési szerkezetek
- Programozási példák

Az eljárás-redukciós végrehajtási modell

- A Prolog végrehajtás:
 - egy adott célsorozat futtatása egy adott programra vonatkozóan,
 - eredménye lehet:
 - siker – változó-behelyettesítésekkel
 - megghiúsulás (változó-behelyettesítések nélkül)
- A végrehajtás egy állapota: egy célsorozat
- A végrehajtás kétféle lépésből áll:
 - redukciós lépés: egy célsorozat + klóz \rightarrow új célsorozat
 - zsákutca esetén visszalépés: visszatérés a legutolsó választási ponthoz és a **további** (eddig nem próbált) klózzal próbálunk redukciós lépést
- A végrehajtási algoritmus leírásában használt adatstruktúrák:
 - CS – célsorozat
 - egy verem, melynek elemei $\langle CS, I \rangle$ alakú párok – ahol CS egy célsorozat, I a célsorozat első céljának redukálásához használt legutolsó klóz sorszáma.
 - a verem a visszalépést szolgálja: minden választási pontnál létrehozunk egy $\langle CS, I \rangle$ párt

A redukciós modell alapeleme: redukciós lépés

- Redukciós lépés: egy célsorozat redukálása egy újabb célsorozattá
 - egy programklóz segítségével (az első cél felhasználói eljárást hív):
 - A klózt **lemásoljuk**, minden változót szisztematikusan új változóra cserélve.
 - A célsorozatot szétbontjuk az első hívásra és a maradékra.
 - Az első hívást **egyesítjük** a klózfejjel
 - A szükséges behelyettesítéseket elvégezzük a klóz **törzsén** és a **célsorozat** maradékán is
 - Az új célsorozat: a klóztörzs és utána a maradék célsorozat
 - Ha a hívás és a klózfej nem egyesíthető \Rightarrow megghiúsulás
 - egy beépített eljárás segítségével (az első cél beépített eljárást hív):
 - A célsorozatot szétbontjuk az első hívásra és a maradékra.
 - A beépített eljárás hívást végrehajtjuk
 - Siker esetén a behelyettesítéseket elvégezzük a célsorozat maradékán ez lesz az új célsorozat
 - Ha a beépített eljárás hívása sikertelen \Rightarrow megghiúsulás

A Prolog végrehajtási algoritmus

- 1 (Kezdeti beállítások:) A verem üres, $CS :=$ célsorozat
- 2 (Beépített eljárások:) Ha CS első hívása beépített akkor hajtsuk végre,
 - a. Ha sikertelen \Rightarrow 6. lépés.
 - b. Ha sikeres, $CS :=$ a redukciós lépés eredménye \Rightarrow 5. lépés.
- 3 (Klózzámláló kezdőértékezése:) $I = 1$.
- 4 (Redukciós lépés:) Tekintsük CS első hívására alkalmazható klózzok listáját. Ez indexelés nélkül a predikátum összes klóza lesz, indexelés esetén ennek egy megszárt részsorozata. Tegyük fel, hogy ez a lista N elemű.
 - a. Ha $I > N \Rightarrow$ 6. lépés.
 - b. Redukciós lépés a lista I-edik klóza és a CS célsorozat között.
 - c. Ha sikertelen, akkor $I := I+1 \Rightarrow$ 4a. lépés.
 - d. Ha $I < N$ (nem utolsó), akkor veremljük $\langle CS, I \rangle$ -t.
 - e. $CS :=$ a redukciós lépés eredménye
- 5 (Siker:) Ha CS üres, akkor sikeres vég, egyébként \Rightarrow 2. lépés.
- 6 (Sikertelenség:) Ha a verem üres, akkor sikertelen vég.
- 7 (Visszalépés:) Ha a verem nem üres, akkor leemeljük a veremből $\langle CS, I \rangle$ -t, $I := I+1$, és \Rightarrow 4. lépés.

Indexelés (előzetes)

- Mi az indexelés?
 - egy hívásra alkalmazható (illeszhető fejű) klózzok gyors kiválasztása,
 - egy eljárás klózzainak **fordítási idejű** csoportosításával.
- A legtöbb Prolog rendszer, így a SICStus Prolog is, az első fej-argumentum alapján indexel (first argument indexing).
- Az indexelés alapja az első fejarumentum külső funktora:
 - C szám vagy névkonstans esetén C/O ;
 - R nevű és N argumentumú struktúra esetén R/N ;
 - változó esetén nem értelmezett (minden funktorhoz besoroljuk).
- Az indexelés megvalósítása:
 - Fordításkor minden funktor \Rightarrow az alkalmazható klózzok listája
 - Futáskor konstans idő alatt elő tudjuk venni a megfelelő klózzlistát
 - **Fontos:** ha egyelemű a lista, nem hozunk létre választási pontot!
- Például `szuloje('István', X)` kételemű klózzlistára szűkít, de `szuloje(X, 'István')` mind a 6 klózt megtartja (mert a SICStus Prolog csak az első argumentum szerint indexel)

A faösszegző program változatai

- A bináris fákat összegző predikátum adott fa levélösszegét állítja elő
- Egy `tree_sum(T, 3)` hívás hibát jelez a 3 is `S1+S2` hívásnál.
- Az is beépített eljárás helyett egy saját `plus` eljárást használva egészek korlátos tartományon megoldható a kétirányú működés.

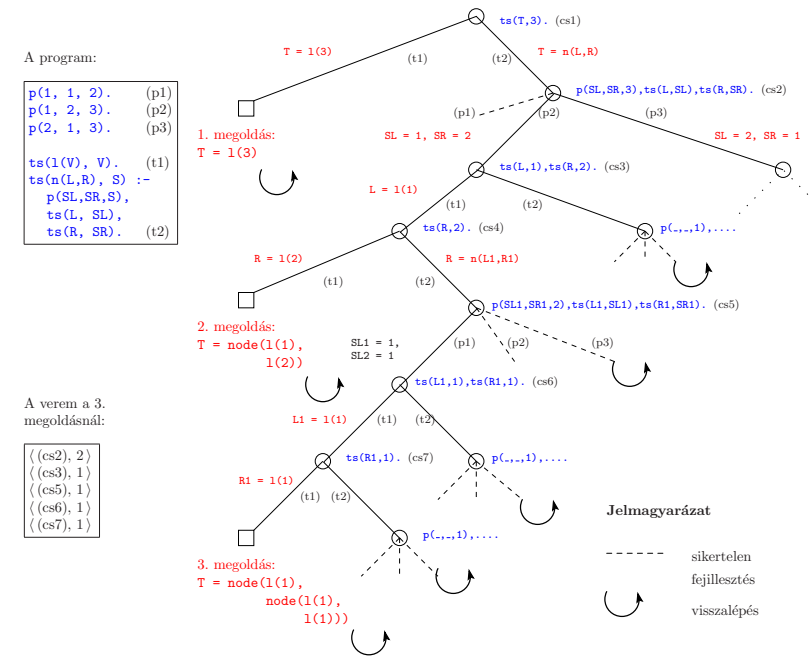
```
% plus(A, B, C): A+B=C, ahol 0 < A,B,C =< 4 egész számok,
plus(1, 1, 2).      plus(1, 2, 3).      plus(2, 1, 3).
```

```
% tree_sum(Tree, S): A Tree fa leveleiben levő számok összege S.
```

<pre>% tree_sum(+Tree, ?S): tree_sum(leaf(Value), Value). tree_sum(node(Left,Right), S) :- tree_sum(Left, SL), tree_sum(Right, SR), S is SL+SR.</pre>	<pre>% tree_sum(?Tree, ?S): tree_sum(leaf(Value), Value). tree_sum(node(Left,Right), S) :- plus(SL, SR, S), tree_sum(Left, SL), tree_sum(Right, SR).</pre>
---	--

- Az argumentumok **input-output módjának** jelölése:
 + – bemenő (nem változó), – – kimenő (változó), ? – tetszőleges

A faösszegző program keresési tere



Tartalom

3 Prolog alapok

- Prolog bevezetés
- Az eljárás-redukciós modell
- Az eljárás-doboz modell
- Az egyesítési algoritmus
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Szintaktikus „édesítőszerek”: operátorok, listák
- További vezérlési szerkezetek
- Programozási példák

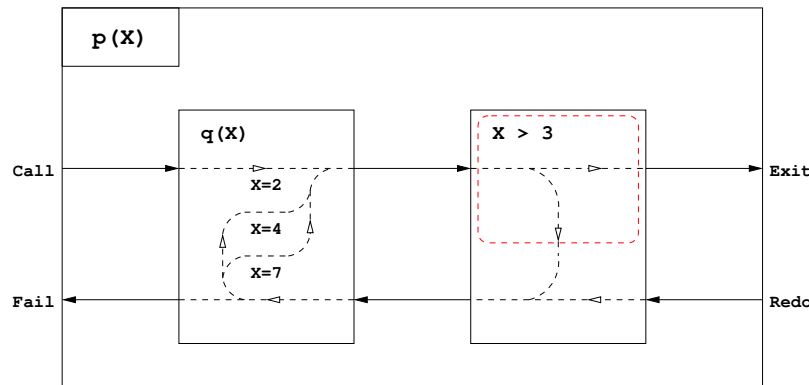
A Prolog nyomkövető által használt eljárás-doboz modell

- A Prolog eljárás-végrehajtás két fázisa
 - előre menő: egymásba skatulyázott eljárás-belépések és -kilépések
 - visszafelé menő: újabb megoldás kérése egy már lefutott eljárástól
- Egy egyszerű példaprogram, hívása `?- p(X)`.
`q(2). q(4). q(7). p(X) :- q(X), X > 3.`
- Példafutás: belépünk a `p/1` eljárásba (Hívási kapu, Call port)
 - Belépünk a `q/1` eljárásba (Call port)
 - `q/1` sikeresen lefut, `q(2)` eredménnyel (Kilépési kapu, Exit port)
 - `A > /2` eljárásba belépünk a `2>3` hívással (Call)
 - `A > /2` eljárás sikertelenül fut le (Meghiúsulási kapu, Fail port)
 - (visszafelé menő futás): visszatérünk (a már lefutott) `q/1`-be, újabb megoldást kérve (Újra kapu, Redo Port)
 - A `q/1` eljárás újra sikeresen lefut a `q(4)` eredménnyel (Exit)
 - A `4>3` hívással a `> /2`-be belépünk majd kilépünk (Call, Exit)
- A `p/1` eljárás sikeresen lefut `p(4)` eredménnyel (Exit)

Eljárás-doboz modell – grafikus szemléltetés

q(2). q(4). q(7).

p(X) :- q(X), X > 3.



Eljárás-doboz modell – egyszerű nyomkövetési példa

- ?...Exit jelzi, hogy maradt választási pont a lefutott eljárásban
- Ha nincs ? az Exit kapunál, akkor a doboz törlődik (lásd a szaggatott piros téglalapot az előző dián)

q(2). q(4). q(7).

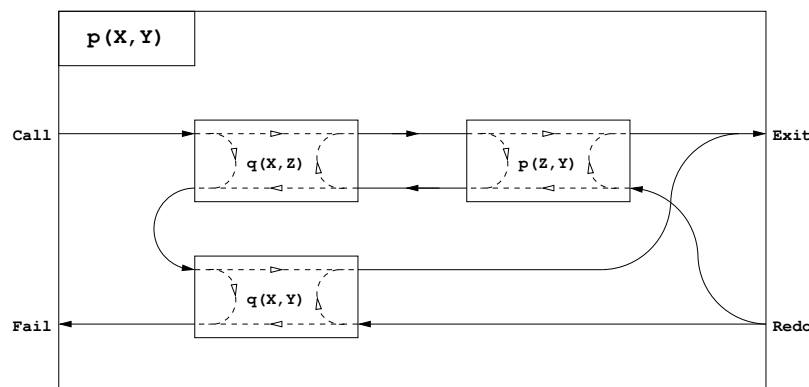
p(X) :- q(X), X > 3.

```
| ?- trace, p(X).
      1 1 Call: p(_463) ?
      2 2 Call: q(_463) ?
?      2 2 Exit: q(2) ?           % ? ≡ maradt választási pont q-ban
      3 2 Call: 2>3 ?
      3 2 Fail: 2>3 ?           % visszafelé menő végrehajtás
      2 2 Redo: q(2) ?           % visszafelé menő végrehajtás
?      2 2 Exit: q(4) ?
      4 2 Call: 4>3 ?
      4 2 Exit: 4>3 ?           % nincs ? ⇒ a doboz törlődik (*)
?      1 1 Exit: p(4) ?
X = 4 ? ;
      1 1 Redo: p(4) ?
      2 2 Redo: q(4) ?
      2 2 Exit: q(7) ?
      5 2 Call: 7>3 ?
      5 2 Exit: 7>3 ?
      1 1 Exit: p(7) ?
X = 7 ? ; no
```

Eljárás-doboz: egy összetettebb példa

p(X,Y) :- q(X,Z), p(Z,Y).
p(X,Y) :- q(X,Y).

q(1,2). q(2,3). q(2,4).



Eljárás-doboz modell – „kapcsolási” alapelvek

- A „szülő” eljárásdoboz és a „belső” eljárások dobozainak összekapcsolása
- Előfeldolgozás: a klózfejekben csak változók legyenek, a fej-egyesítéseket alakítsuk hívásokká, pl.
fakt(0,1). ⇒ fakt(X,Y) :- X=0, Y=1.
- Előre menő végrehajtás (balról-jobbra menő nyilak):
 - A szülő Call kapuját az 1. klóz első hívásának Call kapujára kötjük.
 - Egy belső eljárás Exit kapuját
 - a következő hívás Call kapujára, vagy,
 - ha nincs következő hívás, akkor a szülő Exit kapujára kötjük
- Visszafelé menő végrehajtás (jobbról-balra menő nyilak):
 - Egy belső eljárás Fail kapuját
 - az előző hívás Redo kapujára, vagy, ha nincs előző hívás, akkor
 - a következő klóz első hívásának Call kapujára, vagy
 - ha nincs következő klóz, akkor a szülő Fail kapujára kötjük
 - A szülő Redo kapuját mindegyik klóz utolsó hívásának Redo kapujára kötjük
 - mindig abba a klózra térünk vissza, amelyben legutoljára voltunk

SICStus nyomkövetés – legfontosabb parancsok

- Beépített eljárások
 - trace, debug, zip – a c, l, z paranccsal indítja a nyomkövetést
 - notrace, nodebug, nozip – kikapcsolja a nyomkövetést
 - spy(P), nospy(P), nospyall – töréspont be/ki a P eljárásra, \forall ki.
- Alapvető nyomkövetési parancsok, ujsorral (<RET>) kell lezárni
 - h (help) – parancsok listázása
 - c (creep) vagy csak <RET> – lassú futás (minden kapunál megáll)
 - l (leap) – csak töréspontnál áll meg, de a dobozokat építi
 - z (zip) – csak töréspontnál áll meg, dobozokat nem épít
 - + ill. - – töréspont be/ki a kurrens eljárásra
 - s (skip) – eljárástörzs átlépése (Call/Redo \Rightarrow Exit/Fail)
 - o (out) – kilépés az eljárástörzsből (\Rightarrow szülő Exit/Fail kapu)
- A Prolog végrehajtást megváltoztató parancsok
 - u (unify) – a kurrens hívást helyettesíti egy egyesítéssel
 - r (retry) – újakezdi a kurrens hívás végrehajtását (\Rightarrow Call)
- Információ-megjelenítő és egyéb parancsok
 - < n – a kiírási mélységet n-re állítja ($n = 0 \Rightarrow \infty$ mélység)
 - n (notrace) – nyomkövető kikapcsolása
 - a (abort) – a kurrens futás abbahagyása

Eljárás-doboz modell – OO szemléletben (kiegészítő anyag)

- Minden eljáráshoz tartozik egy osztály, amelynek van egy konstruktor függvénye (amely megkapja a hívási paramétereket) és egy next „adj egy (következő) megoldást” metódusa.
- Az osztály nyilvántartja, hogy hányadik klózban jár a vezérlés
- A metódus első meghívásakor az első klóz első Hívás kapujára adja a vezérlést
- Amikor egy rész-eljárás Hívás kapujához érkezünk, **létrehozunk** egy példányt a meghívandó eljárásból, majd
- meghívjuk az eljáráspéldány „következő megoldás” metódusát (*)
 - Ha ez sikerül, akkor a vezérlés átkerül a következő hívás Hívás kapujára, vagy a szülő Kilépési kapujára
 - Ha ez meghiúsul, **megszüntetjük** az eljáráspéldányt majd ugrunk az előző hívás Újra kapujára, vagy a következő klóz elejére, stb.
- Amikor egy Újra kapuhoz érkezünk, a (*) lépésnél folytatjuk.
- A szülő Újra kapuja (a „következő megoldás” nem első hívása) a tárolt klózsorszámoknak megfelelő klózban az utolsó Újra kapura adja a vezérlést.

OO szemléletű dobozok: p/2 C++ kódrészlet (kieg. anyag)

A p/2-nek megfeleltetett C++ osztály „következő megoldás” metódusa:

```

boolean p::next()      { // Return next solution for p/2
  switch(clno)        {
  case 0:              // first call of the method
    clno = 1;          // enter clause 1:          p(X,Y) :- q(X,Z), p(Z,Y).
    qpnr = new q(x, &z); // create a new instance of subgoal q(X,Z)
  redo11:
    if(!qpnr->next()) { // if q(X,Z) fails
      delete qpnr;     // destroy it,
      goto cl2;        // and continue with clause 2 of p/2
    }
    ppnr = new p(z, py); // otherwise, create a new instance of subgoal p(Z,Y)
  case 1:              // (enter here for Redo port if clno==1)
    /* redo12: */
    if(!ppnr->next()) { // if p(Z,Y) fails
      delete ppnr;     // destroy it,
      goto redo11;     // and continue at redo port of q(X,Z)
    }
    return TRUE;      // otherwise, exit via the Exit port
  cl2:
    clno = 2;          // enter clause 2:          p(X,Y) :- q(X,Y).
    qpnr = new q(x, py); // create a new instance of subgoal q(X,Y)
  case 2:              // (enter here for Redo port if clno==2)
    /* redo21: */
    if(!qpnr->next()) { // if q(X,Y) fails
      delete qpnr;     // destroy it,
      return FALSE;    // and exit via the Fail port
    }
    return TRUE;      // otherwise, exit via the Exit port
  } }

```

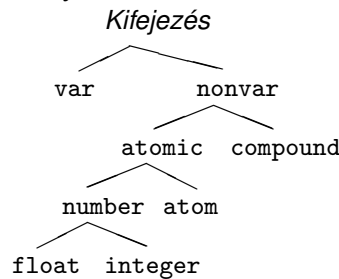
Tartalom

3 Prolog alapok

- Prolog bevezetés
- Az eljárás-redukciós modell
- Az eljárás-doboz modell
- Az egyesítési algoritmus
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Szintaktikus „édesítőszerek”: operátorok, listák
- További vezérlési szerkezetek
- Programozási példák

A Prolog adatfogalma – ismétlés

- Prolog kifejezések osztályozása – kanonikus alak (belső ábrázolás)



var(X)	X változó
nonvar(X)	X nem változó
atomic(X)	X konstans
compound(X)	X struktúra
atom(X)	X névkonstans
number(X)	X szám
integer(X)	X egész szám
float(X)	X lebegőpontos szám

A Prolog alapvető adatkezelő művelete: az egyesítés

- Egyesítés (*unification*): két Prolog kifejezés (pl. egy eljárás-hívás és egy klózfej) azonos alakra hozása, változók esetleges behelyettesítésével, a lehető legáltalánosabban (a legkevesebb behelyettesítéssel)
- Az egyesítés **szimmetrikus**: mindkét oldalon lehet – és behelyettesíthető – változó
- Példák
 - Bemenő paraméterátadás – a fej változóit helyettesíti be:


```

          hívás:      nagyszuloje('Imre', Nsz),
          fej:        nagyszuloje(Gy, N),
          behelyettesítés: Gy = 'Imre', N = Nsz
          
```
 - Kimenő paraméterátadás – a hívás változóit helyettesíti be:


```

          hívás:      szuloje('Imre', Sz),
          fej:        szuloje('Imre', 'István'),
          behelyettesítés: Sz = 'István'
          
```
 - Kétirányú paraméterátadás – fej- és hívásváltozókat is behelyettesít:


```

          hívás:      tree_sum(leaf(5), Sum)
          fej:        tree_sum(leaf(V), V)
          behelyettesítés: V = 5, Sum = 5
          
```

Az egyesítési algoritmus feladata

- Az egyesítési algoritmus
 - bemenete: két Prolog kifejezés: A és B (általában egy klóz fej és egy célsorozat első tagja)
 - feladata: a két kifejezés egyesíthetőségének eldöntése
 - matematikailag az eredménye: megghiúsulás, vagy siker és a legáltalánosabb egyesítő – *most general unifier*, $mgu(A, B)$ – előállítása
 - praktikusan nem az mgu egyesítő előállítása szükséges, hanem az egyesítő behelyettesítés végrehajtása (a szóbanforgó klóz törzsén és a célsorozat maradékán)
- A legáltalánosabb egyesítő az, amelyik nem helyettesít be „feleslegesen”
 - példa: $tree_sum(leaf(V), V) = tree_sum(T, S)$
 - egyesítő behelyettesítés: $V \leftarrow 1, T \leftarrow leaf(1), S \leftarrow 1$
 - legáltalánosabb egyesítő behelyettesítés: $T \leftarrow leaf(V), S \leftarrow V$, vagy $T \leftarrow leaf(S), V \leftarrow S$
 - az mgu – változó-átnevezéstől (pl. $V \leftarrow S$) eltekintve – **egyértelmű**
 - minden egyesítő előállítható a legáltalánosabból további behelyettesítéssel, pl. $V \leftarrow 1$ ill. $S \leftarrow 1$

A „praktikus” egyesítési algoritmus

- Ha A és B azonos változók vagy konstansok, akkor kilép sikerrel, behelyettesítés nélkül
- Egyébként, ha A változó, akkor a $\sigma = \{A \leftarrow B\}$ behelyettesítést elvégzi, és kilép sikerrel
- Egyébként, ha B változó, akkor a $\sigma = \{B \leftarrow A\}$ behelyettesítést elvégzi, és kilép sikerrel (a 2. és 3. lépések sorrendje változhat)
- Egyébként, ha A és B azonos nevű és argumentumszámú összetett kifejezések és argumentum-listáik A_1, \dots, A_N ill. B_1, \dots, B_N , akkor
 - A_1 és B_1 egyesítését elvégzi (azaz az ehhez szükséges behelyettesítéseket végrehajtja), ha ez sikertelen, akkor kilép megghiúsulással;
 - A_2 és B_2 egyesítését elvégzi, ha ez sikertelen, akkor kilép megghiúsulással;
 - ...
 - A_N és B_N egyesítését elvégzi, ha ez sikertelen, akkor kilép megghiúsulással
- Kilép sikerrel
- Minden más esetben kilép megghiúsulással (A és B nem egyesíthető)

Egyesítési példák a gyakorlatban

Az egyesítés kiegészítése: előfordulás-ellenőrzés, *occurs check*

- Az egyesítéssel kapcsolatos beépített eljárások:
 - $X = Y$ egyesíti a két argumentumát, megghiúsul, ha ez nem lehetséges.
 - $X \backslash= Y$ sikerül, ha két argumentuma nem egyesíthető, egyébként megghiúsul.
- Példák:


```
| ?- 3+(4+5) = Left+Right.
      Left = 3, Right = 4+5 ?
| ?- node(leaf(X), T) = node(T, leaf(3)).
      T = leaf(3), X = 3 ?
| ?- X*Y = 1+2*3.                % mert 1+2*3 ≡ 1+(2*3)
      no
| ?- X*Y = (1+2)*3.
      X = 1+2, Y = 3 ?
| ?- f(X, 3/Y-X, Y) = f(U, B-a, 3).
      B = 3/3, U = a, X = a, Y = 3 ?
| ?- f(f(X), U+2*2) = f(U, f(3)+Z).
      U = f(3), X = 3, Z = 2*2 ?
```

- Kérdés: X és $s(X)$ egyesíthető-e?
 - A matematikai válasz: *nem*, egy változó nem egyesíthető egy olyan struktúrával, amelyben előfordul (ez az előfordulás-ellenőrzés).
 - Az ellenőrzés költséges, ezért alaphelyzetben nem alkalmazzák, így ciklikus kifejezések keletkezhetnek.
 - Szabványos eljárásaként rendelkezésre áll: `unify_with_occurs_check/2`
 - Kiterjesztés (pl. SICStus): az előfordulás-ellenőrzés elhagyása miatt keletkező ciklikus kifejezések tisztességes kezelése.
- Példák:


```
| ?- X = s(1,X).
      X = s(1,s(1,s(1,s(1,s(...)))))) ?
| ?- unify_with_occurs_check(X, s(1,X)).
      no
| ?- X = s(X), Y = s(s(Y)), X = Y.
      X = s(s(s(s(s(...))))), Y = s(s(s(s(s(...)))))) ?
```

Az egyesítési algoritmus matematikai megfogalmazása

Egyesítés: a legáltalánosabb egyesítő előállítás

- A *behelyettesítés* egy olyan σ függvény, amely a $Dom(\sigma)$ -beli változókhoz kifejezéseket rendel. Általában posztfix jelölést használunk, pl. $X\sigma$
 - Példa: $\sigma = \{X \leftarrow a, Y \leftarrow s(b, B), Z \leftarrow C\}$, $Dom(\sigma) = \{X, Y, Z\}$, $X\sigma = a$
- A behelyettesítés-függvény természetesen módon kiterjeszthető:
 - $K\sigma$: σ alkalmazása egy *tetszőleges* K kifejezésre: σ behelyettesítéseit *egyidejűleg* elvégezzük K -ban.
 - Példa: $f(g(Z, h), A, Y)\sigma = f(g(C, h), A, s(b, B))$
- Kompozíció: $\sigma \otimes \theta = \sigma$ és θ egymás utáni alkalmazása: $X(\sigma \otimes \theta) = X\sigma\theta$
 - A $\sigma \otimes \theta$ behelyettesítés az $x \in Dom(\sigma)$ változókhoz az $(X\sigma)\theta$ kifejezést, a többi $y \in Dom(\theta) \setminus Dom(\sigma)$ változóhoz $y\theta$ -t rendeli ($Dom(\sigma \otimes \theta) = Dom(\sigma) \cup Dom(\theta)$):

$$\sigma \otimes \theta = \{x \leftarrow (X\sigma)\theta \mid x \in Dom(\sigma)\} \cup \{y \leftarrow y\theta \mid y \in Dom(\theta) \setminus Dom(\sigma)\}$$
 - Pl. $\theta = \{X \leftarrow b, B \leftarrow d\}$ esetén $\sigma \otimes \theta = \{X \leftarrow a, Y \leftarrow s(b, d), Z \leftarrow C, B \leftarrow d\}$
- Egy G kifejezés **általánosabb** mint egy S , ha létezik olyan ρ behelyettesítés, hogy $S = G\rho$
 - Példa: $G = f(A, Y)$ általánosabb mint $S = f(1, s(Z))$, mert $\rho = \{A \leftarrow 1, Y \leftarrow s(Z)\}$ esetén $S = G\rho$.

- A és B kifejezések egyesíthetőek ha létezik egy olyan σ behelyettesítés, hogy $A\sigma = B\sigma$. Ezt az $A\sigma = B\sigma$ kifejezést A és B egyesített alakjának nevezzük.
- Két kifejezésnek általában több egyesített alakja lehet.
 - Példa: $A = f(X, Y)$ és $B = f(s(U), U)$ egyesített alakja pl.
 - $K_1 = f(s(a), a)$ a $\sigma_1 = \{X \leftarrow s(a), Y \leftarrow a, U \leftarrow a\}$ behelyettesítéssel
 - $K_2 = f(s(U), U)$ a $\sigma_2 = \{X \leftarrow s(U), Y \leftarrow U\}$ behelyettesítéssel
 - $K_3 = f(s(Y), Y)$ a $\sigma_3 = \{X \leftarrow s(Y), U \leftarrow Y\}$ behelyettesítéssel
- A és B legáltalánosabb egyesített alakja egy olyan C kifejezés, amely A és B minden egyesített alakjánál általánosabb
 - A fenti példában K_2 és K_3 legáltalánosabb egyesített alakok
- **Tétel:** A legáltalánosabb egyesített alak, változó-átnevezéstől eltekintve egyértelmű.
- A és B legáltalánosabb egyesítője egy olyan $\sigma = mgu(A, B)$ behelyettesítés, amelyre $A\sigma$ és $B\sigma$ a két kifejezés legáltalánosabb egyesített alakja. Pl. σ_2 és σ_3 a fenti A és B legáltalánosabb egyesítője.
- **Tétel:** A legáltalánosabb egyesítő, változó-átnevezéstől eltekintve egyértelmű.

A „matematikai” egyesítési algoritmus

Egyesítési példák

- Az egyesítési algoritmus
 - bemenete: két Prolog kifejezés: A és B
 - feladata: a két kifejezés egyesíthetőségének eldöntése
 - eredménye: siker esetén az $mgu(A, B)$ legáltalánosabb egyesítő
- A rekurzív egyesítési algoritmus $\sigma = mgu(A, B)$ előállítására
 - 1 Ha A és B azonos változók vagy konstansok, akkor $\sigma = \{\}$ (üres).
 - 2 Egyébként, ha A változó, akkor $\sigma = \{A \leftarrow B\}$.
 - 3 Egyébként, ha B változó, akkor $\sigma = \{B \leftarrow A\}$.
(A (2) és (3) lépések sorrendje felcserélődhet.)
 - 4 Egyébként, ha A és B azonos nevű és argumentumszámú összetett kifejezések és argumentum-listáik A_1, \dots, A_N ill. B_1, \dots, B_N , és
 - a. A_1 és B_1 legáltalánosabb egyesítője σ_1 ,
 - b. $A_2\sigma_1$ és $B_2\sigma_1$ legáltalánosabb egyesítője σ_2 ,
 - c. $A_3\sigma_1\sigma_2$ és $B_3\sigma_1\sigma_2$ legáltalánosabb egyesítője σ_3 ,
 - d. ...

akkor $\sigma = \sigma_1 \otimes \sigma_2 \otimes \sigma_3 \otimes \dots$

- 5 Minden más esetben a A és B nem egyesíthető.

- $A = \text{tree_sum}(\text{leaf}(V), V)$, $B = \text{tree_sum}(\text{leaf}(5), S)$
 - (4.) A és B neve és argumentumszáma megegyezik
 - (a.) $mgu(\text{leaf}(V), \text{leaf}(5))$ (4., majd 2. szerint) = $\{V \leftarrow 5\} = \sigma_1$
 - (b.) $mgu(V\sigma_1, S) = mgu(5, S)$ (3. szerint) = $\{S \leftarrow 5\} = \sigma_2$
 - tehát $mgu(A, B) = \sigma_1 \otimes \sigma_2 = \{V \leftarrow 5, S \leftarrow 5\}$
- $A = \text{node}(\text{leaf}(X), T)$, $B = \text{node}(T, \text{leaf}(3))$
 - (4.) A és B neve és argumentumszáma megegyezik
 - (a.) $mgu(\text{leaf}(X), T)$ (3. szerint) = $\{T \leftarrow \text{leaf}(X)\} = \sigma_1$
 - (b.) $mgu(T\sigma_1, \text{leaf}(3)) = mgu(\text{leaf}(X), \text{leaf}(3))$ (4, majd 2. szerint) = $\{X \leftarrow 3\} = \sigma_2$
 - tehát $mgu(A, B) = \sigma_1 \otimes \sigma_2 = \{T \leftarrow \text{leaf}(3), X \leftarrow 3\}$

Tartalom

3 Prolog alapok

- Prolog bevezetés
- Az eljárás-redukciós modell
- Az eljárás-doboz modell
- Az egyesítési algoritmus
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Szintaktikus „édesítőszerek”: operátorok, listák
- További vezérlési szerkezetek
- Programozási példák

Predikátumok, klózok

• Példa:

```
% két klózból álló predikátum definíciója, funktora: tree_sum/2
tree_sum(leaf(Val), Val).           %                1. klóz, tényáll.
tree_sum(node(Left,Right), S) :- %      fej      \
    tree_sum(Left, S1),           % cél      \      |
    tree_sum(Right, S2),          % cél      | törzs | 2. klóz, szabály
    S is S1+S2.                   % cél      /      /
```

• Szintaxis:

```
< Prolog program > ::= < predikátum > ...
< predikátum >     ::= < klóz > ...           {azonos funktorú}
< klóz >          ::= < tényállítás > . ⊣ |
                  < szabály > . ⊣           {klóz funktora = fej funktora}

< tényállítás >   ::= < fej >
< szabály >      ::= < fej > :- < törzs >
< törzs >        ::= < cél >, ...
< cél >          ::= < kifejezés >
< fej >          ::= < kifejezés >
```

Prolog programok formázása

- Megjegyzések (comment)
 - A % százalékjeltől a sor végéig
 - A /* jelpártól a legközelebbi */ jelpárig.
- Formázó elemek (komment, szóköz, újsor, tabulátor stb.) szabadon használhatók
 - kivétel: struktúrakifejezés neve után tilos formázó elemet tenni;
 - prefix operátor (ld. később) és „(” között kötelező a formázó elem;
 - klózt lezáró pont (␣): önmagában álló pont (előtte nem tapadó jel áll) amit egy formázó elem követ
- Programok javasolt formázása:
 - Az egy predikátumhoz tartozó klózok legyenek egymás mellett a programban, közük ne tegyünk üres sort.
 - A predikátum elé tegyünk egy üres sort és egy fejkomentet:


```
% predikátumnév(A1, ..., An): A1, ..., An közötti
% összefüggést leíró kijelentő mondat.
```
 - A klózfejet írjuk sor elejére, minden célt lehetőleg külön sorba, néhány szóközzel beljebb kezdve

Prolog kifejezések

- Példa – egy klózfej mint kifejezés:

```
% tree_sum(node(Left,Right), S)      % összetett kif., funktora
% -----
%          |           |           |
% struktúranév \         argumentum, változó
%          \- argumentum, összetett kif.
```

- Szintaxis:

```
< kifejezés > ::= < változó > | {Nincs funktora}
                < konstans > | {Funktora: < konstans >/0}
                < összetett kif. > | {Funktora: < struktúranév >/< arg.sz. >}
                < egyéb kifejezés > | {Operátoros, lista, stb.}

< konstans > ::= < névkonstans > |
                < számkonstans >

< számkonstans > ::= < egész szám > |
                  < lebegőp. szám >

< összetett kif. > ::= < struktúranév > ( < argumentum >, ... )
< struktúranév > ::= < névkonstans >
< argumentum > ::= < kifejezés >
```

Lexikai elemek: példák és szintaxis

```
% változó: Fakt FAKT _fakt X2 _2 _
% névkonstans: fakt ≡ 'fakt' 'István' [] ; ', ' += ** \= ≡ '\\='
% számkonstans: 0 -123 10.0 -12.1e8
% nem névkonstans: !=, Istvan
% nem számkonstans: 1e8 1.e2
```

```
< változó > ::= < nagybetű > < alfanum. jel > ... |
              _ < alfanum. jel > ...
< névkonstans > ::= ' < idézett kar. > ... ' |
                  < kisbetű > < alfanum. jel > ... |
                  < tapadó jel > ... | ! | ; | [ | { }
< egész szám > ::= {előjeles vagy előjeltelen számjegysorozat}
< lebegőp.szám > ::= {belsejében tizedespontot tartalmazó
                    számjegysorozat esetleges exponenssel}
< idézett kar. > ::= {tetszőleges nem ' és nem \ karakter} |
                  \ < escape szekvencia >
< alfanum. jel > ::= < kisbetű > | < nagybetű > | < számjegy > | _
< tapadó jel > ::= + | - | * | / | \ | $ | ^ | < | > | = | ' | ~ | : | . | ? | @ | # | &
```

Tartalom

3 Prolog alapok

- Prolog bevezetés
- Az eljárás-redukciós modell
- Az eljárás-doboz modell
- Az egyesítési algoritmus
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Szintaktikus „édesítőszer”: operátorok, listák
- További vezérlési szerkezetek
- Programozási példák

Operátor-kifejezések

- Példa: S is $-S_1+S_2$ ekvivalens az $is(S, +(-(S_1), S_2))$ kifejezéssel
 - Operátoros kifejezések
 - ⟨összetett kif.⟩ ::=
 - ⟨struktúranév⟩ (⟨argumentum⟩, ...)
 - ⟨argumentum⟩ ⟨operátornév⟩ ⟨argumentum⟩
 - ⟨operátornév⟩ ⟨argumentum⟩
 - ⟨argumentum⟩ ⟨operátornév⟩
 - (⟨kifejezés⟩)
- {eddig csak ez volt}
- {infix kifejezés}
- {prefix kifejezés}
- {posztfix kifejezés}
- {zárójeles kif.}
- ⟨operátornév⟩ ::= ⟨struktúranév⟩ {ha operátorként lett definiálva}
- Operátort az alábbi beépített predikátummal definiálhatunk:
 - $op(Prioritás, Fajta, OpNév, op(Prioritás, Fajta, [OpNév_1, \dots]))$:
 - Prioritás: 1–1200 közötti egész
 - Fajta: az $yfx, xfy, xfx, fy, fx, yf, xf$ névkonstansok egyike
 - $OpNév$: tetszőleges névkonstans
 - Az $op/3$ beépített predikátum meghívását általában a programot tartalmazó file elején, *direktívában* helyezzük el:


```
:- op(800, xfx, [szuloje]).          'Imre' szuloje 'István'.
```
 - A direktívák a programfile *betöltésekor* azonnal végrehajtnak.

Operátorok jellemzői

- Egy operátort jellemez a fajtája és prioritása
- A fajta meghatározza az írásmódot és az asszociativitás irányát:

Fajta			Írásmód	Értelmezés
bal-assz.	jobb-assz.	nem-assz.		
yfx	xfy	xfx	infix	$X f Y \equiv f(X, Y)$
	fy	fx	prefix	$f X \equiv f(X)$
yf		xf	posztfix	$X f \equiv f(X)$

- A zárójelezést a prioritás és az asszociativitás együtt határozza meg, pl.
 - $a/b+c*d \equiv (a/b)+(c*d)$ mert / és * prioritása $400 < 500$ (+ prioritása) (**kisebb prioritás = erősebb kötés**)
 - $a+b+c \equiv (a+b)+c$ mert a + operátor fajtája yfx , azaz bal-asszociatív – balra köt, balról jobbra zárójelez (a fajtánévben az y betű mutatja az asszociativitás irányát)
 - $a^b^c \equiv a^(b^c)$ mert a ^ operátor fajtája xfy , azaz jobb-asszociatív (jobbra köt, jobbról balra zárójelez)
 - $a=b=c$ szintaktikusan hibás, mert az = operátor fajtája xfx , azaz nem-asszociatív

Szabványos, beépített operátorok

Szabványos operátorok

```
1200 xfx :- -->
1200 fx  :- ?-
1100 xfy ;
1050 xfy ->
1000 xfy ', '
900 fy  \+
700 xfx < = \= =..
      =:= =< == \==
      =\= > >= is
      @< @=< @> @>=
500 yfx + - /\ \
400 yfx * / // rem
      mod << >>
200 xfx **
200 xfy ^
200 fy  - \
```

További beépített operátorok SICStus Prologban

```
1150 fx  mode public dynamic
      volatile discontiguous
      initialization multifile
      meta_predicate block
1100 xfy do
900 fy  spy nospy
550 xfy :
500 yfx \
200 fy  +
```

Operátorok implicit zárójelezése – általános szabályok

- Egy $X op_1 Y op_2 Z$ zárójelezése, ahol op_1 és op_2 prioritása n_1 és n_2 :
 - ha $n_1 > n_2$ akkor $X op_1 (Y op_2 Z)$;
 - ha $n_1 < n_2$ akkor $(X op_1 Y) op_2 Z$;
 - ha $n_1 = n_2$ és op_1 jobb-asszociatív (xfy), akkor $X op_1 (Y op_2 Z)$;
 - **egyébként**, ha $n_1 = n_2$ és op_2 bal-assz. (yfx), akkor $(X op_1 Y) op_2 Z$;
 - egyébként szintaktikus hiba
- Érdekes példa: $:- op(500, xfy, +^)$.


```
| ?- :- write((1 +^ 2) + 3), nl. => (1+^2)+3
| ?- :- write(1 +^ (2 + 3)), nl. => 1+^2+3
```

 tehát: konfliktus esetén az első operátor asszociativitása „győz”.
- Alapszabály: egy n prioritású operátor zárójelezetlen operandusaként
 - legfeljebb $n - 1$ prioritású operátort fogad el az x oldalon
 - legfeljebb n prioritású operátort fogad el az y oldalon
- Az alapszabály segítségével a prefix és posztfix operátorok zárójelezése is meghatározható
- Explicit zárójelekkel az implicit zárójelezés felülbíráható

Operátorok – kiegészítő megjegyzések

- A „vessző” kettős szerepe
 - a struktúra-kifejezés argumentumait választja el
 - 1000 prioritású `xfy` op. pl.: $(p:-a,b,c) \equiv :- (p, ', '(a, ', '(b,c))$
 - Egyértelműsítés: egy struktúra-kifejezés argumentumaként szereplő, 999-nél nagyobb prioritású kifejezést zárójellezni kell:


```
| ?- write_canonical((a,b,c)). => ', '(a, ', '(b,c))
| ?- write_canonical(a,b,c). => ! write_canonical/3 does not exist
```
 - Megjegyzés: a vessző (,) névkonstansként csak ', ' alakban használható, de operátorként önmagában is állhat.
 - Használható-e ugyanaz a név többféle fajtájú operátorként?
 - Nyilván nem lehet egy operátor egyszerre `xfy` és `xfx` is, stb.
 - De pl. a + és - operátorok `yfx` és `fy` fajtával is használhatók
 - A könnyebb elemezhetőség miatt a Prolog szabvány kiköti, hogy
 - operátort operandusként zárójelbe kell tenni, pl. `Comp=(>)`
 - egy operátor nem lehet egyszerre infix és posztfix.
- Sok Prolog rendszer (pl. a SICStus) nem követeli meg ezek betartását

Operátorok törlése, lekérdezése

- Egy vagy több operátor törlésére az `op/3` beépített eljárást használhatjuk, ha első argumentumként (prioritásként) 0-t adunk meg.


```
| ?- X = a+b, op(0, yfx, +). => X = +(a,b) ? ; no
| ?- X = a+b. => ! Syntax error
! operator expected after expression
! X = a <<here>> + b .

| ?- op(500, yfx, +). => yes
| ?- X = +(a,b). => X = a+b ? ; no
```
- Az adott pillanatban érvényes operátorok lekérdezése:


```
current_op(Prioritás, Fajta, OpNév)

| ?- current_op(P, F, +).
F = fy, P = 200 ? ;
F = yfx, P = 500 ? ;
no
| ?- current_op(_P, xfy, Op), write_canonical(Op), write(' '), fail.
; do -> ', ' : ^
no
```

Operátorok felhasználása

- Mire jók az operátorok?
 - aritmetikai eljárások kényelmes írására, pl. $X \text{ is } (Y+3) \bmod 4$
 - szimbolikus kifejezések kezelésére (pl. szimbolikus deriválás)
 - klózok leírására (`:-` és `','` is operátor), és meta-eljárásoknak való átadására, pl `asserta((p(X):-q(X),r(X)))`
 - eljárásfejek, eljáráshívások olvashatóbbá tételére:


```
:- op(800, xfx, [nagyszülője, szülője]).
```

Gy nagyszülője N :- Gy szülője Sz, Sz szülője N.
 - adatstruktúrák olvashatóbbá tételére, pl.


```
sav(kén, h*2-s-o*4).
```
- Miért rossz a Prolog operátorfogalma?
 - A modularitás hiánya miatt:
 - Az operátorok egy globális erőforrást képeznek, ez nagyobb projektben gondot okozhat.

Aritmetika Prologban

- Az operátorok teszik lehetővé azt is, hogy a matematikában megszokott módon írassunk le aritmetikai kifejezéseket.
- Például (ismétlés): az `is` beépített predikátum egy aritmetikai kifejezést vár a jobboldalán (2. argumentumában), azt kiértékeli, és az eredményt egyesíti a baloldali argumentummal
- (Az első Prolog rendszerekben is voltak operátorok, de $X \text{ is } Y+Z$ helyett a `plus(Y, Z, X)` hívást kellett használni.)
- Példák:


```
| ?- X = 1+2, write(X), write(' '), write_canonical(X), Y is X.
=> 1+2 + (1,2) ==> X = 1+2, Y = 3 ? ; no
| ?- X = 4, Y is X/2, Y := 2. ==> X = 4, Y = 2.0 ? ; no
| ?- X = 4, Y is X/2, Y = 2. ==> no
```
- **Fontos:** az aritmetikai operátorokkal (+, -, ...) képzett kifejezések **struktúra-kifejezések**. Csak az aritmetikai beépített predikátumok értékelik ki ezeket!
- A Prolog kifejezések szimbolikusak, az aritmetikai kiértékelés a „kivétel”.

Operátoros példa: polinom behelyettesítési értéke

- Formula: számokból és az 'x' névkonstansból '+' és '*' operátorokkal felépülő kifejezés.
- A feladat: Egy formula értékének kiszámolása egy adott x érték esetén.

% erteke(Kif, X, E): A Kif formula x=X helyen vett értéke E.

```
erteke(x, X, E) :-
```

```
    E = X.
```

```
erteke(Kif, _, E) :-
```

```
    number(Kif), E = Kif.
```

```
erteke(K1+K2, X, E) :-
```

```
    erteke(K1, X, E1),
```

```
    erteke(K2, X, E2),
```

```
    E is E1+E2.
```

```
erteke(K1*K2, X, E) :-
```

```
    erteke(K1, X, E1),
```

```
    erteke(K2, X, E2),
```

```
    E is E1*E2.
```

```
| ?- erteke((x+1)*x+x+2*(x+x+3), 2, E).
```

```
E = 22 ? ;
```

```
no
```

A Prolog lista-fogalma

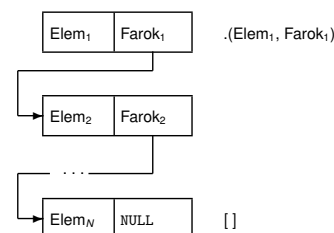
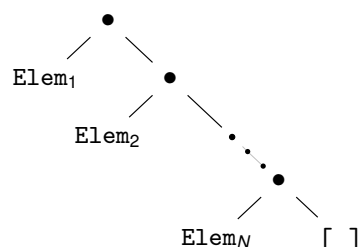
- A Prolog lista
 - Az üres lista a [] névkonstans.
 - A nem-üres lista a '.' (Fej, Farok) struktúra (vö. cons(...)) Céklában), ahol
 - Fej a lista feje (első eleme), míg
 - Farok a lista farka, azaz a fennmaradó elemekből álló lista.
 - A listákat egyszerűsített alakban is leírhatjuk („szintaktikus édesítés”).
 - Megvalósításuk optimalizált, időben és helyben is hatékonyabb, mint a „közönséges” struktúráké.

Példák

```
| ?- write(.(1,.(2,[]))).      => [1,2]
| ?- write_canonical([1,2]).  => '.'(1,'.'(2,[]))
| ?- [1|[2,3]] = [1,2,3].    => yes
| ?- [1,2|[3]] = [1,2,3].    => yes
```

Listák írásmódjai

- Egy N elemű lista lehetséges írásmódjai:
 - alapstruktúra-alak: $.(Elem_1, .(Elem_2, \dots, .(Elem_N, [])) \dots)$
 - ekvivalens lista-alak: $[Elem_1, Elem_2, \dots, Elem_N]$
 - kevésbé kényelmes ekvivalens alak: $[Elem_1 | [Elem_2 | \dots | [Elem_N | []]] \dots]$
- A listák fastruktúra alakja és megvalósítása



Listák jelölése – szintaktikus édesítőszerek

- Az alapvető édesítés: $[Fej|Farok] \equiv .(Fej, Farok)$
 - Kiterjesztés N „fej”-elemre: $[Elem_1, \dots, Elem_N | Farok] \equiv [Elem_1 | \dots | [Elem_N | Farok] \dots]$
 - Ha a farok []: $[Elem_1, \dots, Elem_N] \equiv [Elem_1, \dots, Elem_N | []]$
- ```
| ?- [1,2] = [X|Y]. => X = 1, Y = [2] ?
| ?- [1,2] = [X,Y]. => X = 1, Y = 2 ?
| ?- [1,2,3] = [X|Y]. => X = 1, Y = [2,3] ?
| ?- [1,2,3] = [X,Y]. => no
| ?- [1,2,3,4] = [X,Y|Z]. => X = 1, Y = 2, Z = [3,4] ?
| ?- L = [1|_], L = [_|2|_]. => L = [1,2|_A] ? % nyílt végű
| ?- L = .(1,[2,3|[]]). => L = [1,2,3] ?
| ?- L = [1,2|. (3,[])]. => L = [1,2,3] ?
| ?- [X|[3-Y/X|Y]] =
 .(A,[A-B,6]). => A=3, B=[6]/3, X=3, Y=[6] ?
```

## Tartalom

## 3 Prolog alapok

- Prolog bevezetés
- Az eljárás-redukciós modell
- Az eljárás-doboz modell
- Az egyesítési algoritmus
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Szintaktikus „édesítőszer”: operátorok, listák
- További vezérlési szerkezetek
- Programozási példák

## Diszjunkció

- Ismétlés: klóztörzsben a vessző (‘,’) jelentése „és”, azaz konjunkció
- A ‘;’ operátor jelentése „vagy”, azaz diszjunkció
 

|                                                                                                                    |                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre>% fakt(+N, ?F): F = N!. fakt(0, 1). fakt(N, F) :-     N &gt; 0, N1 is N-1,     fakt(N1, F1), F is F1*N.</pre> | <pre>fakt(N, F) :-     ( N = 0, F = 1       ; N &gt; 0, N1 is N-1,         fakt(N1, F1), F is F1*N       ).</pre> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
- A diszjunkciót nyitó zárójel elérésekor választási pont jön létre
  - először a diszjunkciót az első ágára redukáljuk
  - visszalépés esetén a diszjunkciót a második ágára redukáljuk
- Tehát az első ág sikeres lefutása után kilépünk a diszjunkcióból, és az utána jövő célokkal folytatjuk a redukálást
  - azaz a ‘;’ elérésekor a ‘)’-nél folytatjuk a futást
- A ‘;’ skatulyázható (jobbról-balra) és gyengébben köt mint a ‘,’
- Konvenció: a diszjunkciót mindig zárójelbe tesszük, a skatulyázott diszjunkciót és az ágakat feleslegesen nem zárójelezzük. Pl. (a felesleges zárójelek pirossal jelölve): (p; (q;r)), (a; (b,c);d)

## A diszjunkció mint szintaktikus édesítőszer

- A diszjunkció egy segéd-predikátummal kiküszöbölhető, pl.:

```
a(X, Y, Z) :-
 p(X, U), q(Y, V),
 (r(U, T), s(T, Z)
 ; t(V, Z)
 ; t(U, Z)
),
 u(X, Z).
```

- Kigyűjtjük a diszjunkcióban és azon kívül is előforduló változókat
- A segéd-predikátumnak ezek a változók lesznek az argumentumai
- A segéd-predikátum minden klóza megfelel a diszjunkció egy ágának

```
seged(U, V, Z) :- r(U, T), s(T, Z). a(X, Y, Z) :-
seged(U, V, Z) :- t(V, Z). p(X, U), q(Y, V),
seged(U, V, Z) :- t(U, Z). seged(U, V, Z),
 u(X, Z).
```

## Diszjunkció – megjegyzések

- Az egyes klózek ‘ÉS’ vagy ‘VAGY’ kapcsolatban vannak?
  - A program klózai **ÉS** kapcsolatban vannak, pl.
 

```
szuloje('Imre', 'István'). szuloje('Imre', 'Gizella'). % (1)
```

 azt állítja: Imre szülője István **ÉS** Imre szülője Gizella.
  - Az (1) klózek alternatív (VAGY kapcsolatú) válaszokhoz vezetnek:
 

```
:- szuloje('Imre' Ki). => Ki = 'István' ? ; Ki = 'Gizella' ? ; no
```

 „Ki Imre szülője?” akkor **és csak akkor** ha Ki = István vagy Ki = Gizella.
- Az (1) predikátum átalakítható egyetlen, diszjunkciós klózzá:
 

```
szuloje('Imre', Sz) :- (Sz = 'István'
 ; Sz = 'Gizella'
). % (2)
```

 Vö. De Morgan azonosságok:  $(A \leftarrow B) \wedge (A \leftarrow C) \equiv (A \leftarrow (B \vee C))$
- Általánosan: tetszőleges predikátum egyklózosá alakítható:
  - a klózokat azonos fejűvé alakítjuk, új változók és =-ek bevezetésével:
 

```
szuloje('Imre', Sz) :- Sz = 'István'.
szuloje('Imre', Sz) :- Sz = 'Gizella'.
```
  - a klóztörzseket egy diszjunkcióvá fogjuk össze, lásd (2).



## A megghiúsulásos negáció (NF – Negation by Failure)

- A  $\backslash+$  Hívás vezérlési szerkezet (vö.  $\neg$  – nem bizonyítható) procedurális szemantikája
  - végrehajtja a Hívás hívást,
  - ha Hívás sikeresen lefutott, akkor megghiúsul,
  - egyébként (azaz ha Hívás megghiúsult) sikerül.
- $\backslash+$  Hívás futása során Hívás legfeljebb egy megoldása áll elő
- $\backslash+$  Hívás sohasem helyettesít be változót
- Példa: Keressünk (adatbázisunkban) olyan gyermeket, aki **nem** szülő!
- Ehhez negációra van szükségünk, egy megoldás:
 

```
| ?- sz(X, _Sz), \+ sz(Gy, X). % negált cél $\equiv \neg(\exists Gy.sz(Gy, X))$
X = 'Imre' ? ; no
```
- Mi történik ha a két hívást megcseréljük?
 

```
| ?- \+ sz(Gy, X), sz(X, _Sz).% negált cél $\equiv \neg(\exists Gy.X.sz(Gy, X))$
no
```
- $\backslash+$  H deklaratív szemantikája:  $\neg\exists\vec{X}(H)$ , ahol  $\vec{X}$  a H-ban a **hívás pillanatában** behelyettesítetlen változók felsorolását jelöli.
 

```
| ?- \+ X = 1, X = 2. ----> no
| ?- X = 2, \+ X = 1. ----> X = 2 ?
```

## Gondok a megghiúsulásos negációval

- A negált cél jelentése függ attól, hogy mely változók bírnak értékkel
- Mikor nincs gond?
  - Ha a negált cél **tömör** (nincs benne behelyettesítetlen változó)
  - Ha nyilvánvaló, hogy mely változók behelyettesítetlenek (pl.  $\_$ ), és a többi tömör.
 

```
% nem_szulo(+Sz): adott Sz nem szulo
nem_szulo(Sz) :- \+ szuloje(_, Sz).
```
- További gond: „zárt világ feltételezése” (Closed World assumption – CWA): ami nem bizonyítható, az nem igaz.
 

```
| ?- \+ szuloje('Imre', X). ----> no
| ?- \+ szuloje('Géza', X). ----> true ? (*)
```

  - A klasszikus matematikai logika következményfogalma **monoton**: ha a premisszák halmaza bővül, a következmények halmaza nem szűkülhet.
  - A CWA alapú logika nem monoton, példa: bővítsük a programot egy `szuloje('Géza', xxx).` alakú állítással  $\Rightarrow(*)$  megghiúsul.

## Példa: együttható meghatározása lineáris kifejezésben

- Formula: számokból és az 'x' atomból '+' és '\*' operátorokkal épül fel.
- Lineáris formula: a '\*' operátor (legalább) egyik oldalán szám áll.

```
% egyhat(Kif, E): A Kif lineáris formulában az x együtthatója E.
egyhat(x, 1).
egyhat(Kif, E) :-
 number(Kif), E = 0.
egyhat(K1+K2, E) :-
 egyhat(K1, E1),
 egyhat(K2, E2),
 E is E1+E2.
egyhat(K1*K2, E) :-
 number(K1),
 egyhat(K2, E0),
 E is K1*E0.
egyhat(K1*K2, E) :-
 number(K2),
 egyhat(K1, E0),
 E is K2*E0.
```

- Van amikor többszörös megoldást kapunk:

```
| ?- egyhat(((x+1)*3)+x+2*(x+x+3), E). | ?- egyhat(2*3+x, E).
E = 8 ? ; E = 1 ? ;
no E = 1 ? ; no
```

## Többszörös megoldások kiküszöbölése

- A többszörös megoldás oka: az `egyhat(2*3, E)` hívás esetén a 4. és 5. klóz is sikeresen lefut.
- A többszörös megoldás kiküszöbölése:

- negáció alkalmazásával:

```
(...)
egyhat(K1*K2, E) :-
 number(K1), egyhat(K2, E0), E is K1*E0.
egyhat(K1*K2, E) :-
 \+ number(K1),
 number(K2), egyhat(K1, E0), E is K2*E0.
```

- hatékonyabban, feltételes kifejezéssel:

```
(...)
egyhat(K1*K2, E) :-
 (number(K1) -> egyhat(K2, E0), E is K1*E0
 ; number(K2), egyhat(K1, E0), E is K2*E0
).
```

## Feltételes kifejezések

- Szintaxis (felt, akkor, egyébként tetszőleges célsorozatok):

```
(...) :-
 (...),
 (felt -> akkor
 ; egyébként
),
 (...).
```

- Deklaratív szemantika: a fenti alak jelentése megegyezik az alábbival, ha a felt egy egyszerű feltétel (nem oldható meg többféleképpen):

```
(...) :-
 (...),
 (felt, akkor
 ; \+ felt, egyébként
),
 (...).
```

## Feltételes kifejezés – példák

- Faktoriális

```
% fakt(+N, ?F): N! = F.
fakt(N, F) :-
 (N = 0 -> F = 1 % N = 0, F = 1
 ; N > 0, N1 is N-1, fakt(N1, F1), F is N*F1
).
```

- Jelentése azonos a sima diszjunkciós alakkal (lásd **komment**), de annál hatékonyabb, mert nem hagy maga után választási pontot.

- Szám előjele

```
% Sign = sign(Num)
sign(Num, Sign) :-
 (Num > 0 -> Sign = 1
 ; Num < 0 -> Sign = -1
 ; Sign = 0
).
```

## Feltételes kifejezések (folyt.)

- Procedurális szemantika

A (felt->akkor; egyébként), folytatás célsorozat végrehajtása:

- Végrehajtjuk a felt hívást.
- Ha felt sikeres, akkor az akkor, folytatás célsorozatra redukáljuk a fenti célsorozatot, a felt első megoldása által eredményezett behelyettesítésekkel. A felt cél többi megoldását nem keressük meg.
- Ha felt sikertelen, akkor az egyébként, folytatás célsorozatra redukáljuk, behelyettesítés nélkül.

- Többszörös elágaztatás skatulyázott feltételes kifejezésekkel:

```
(felt1 -> akkor1 (felt1 -> akkor1
; felt2 -> akkor2 ; (felt2 -> akkor2
; ... ; ...
)))
```

A piros zárójelkes feleslegesek (a ';' egy xfy írásmódú op.).

- Az egyébként rész elhagyható, alapértelmezése: fail.
- \+ felt ekvivalens alakja: ( felt -> fail ; true )

## Tartalom

### 3 Prolog alapok

- Prolog bevezetés
- Az eljárás-redukciós modell
- Az eljárás-doboz modell
- Az egyesítési algoritmus
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Szintaktikus „édesítőszerek”: operátorok, listák
- További vezérlési szerkezetek
- Programozási példák

## Listák összefűzése: az append/3 eljárás

- `append(L1, L2, L3)`: Az L3 lista az L1 és L2 listák elemeinek egymás után fűzése ( $L3 = L1 \oplus L2$ ) – Cékla megoldás, és Prolog fordítása:

```
list append(list L0, list L2) {
 if (L0 == nil) return L2;
 int X = hd(L0);
 list L1 = tl(L0);
 list L3 = append(L1, L2);
 return cons(X, L3);
}
append__(L0, L2, R) :-
 (L0=[] -> R=L2
 ; hd(L0, X),
 ; tl(L0, L1),
 ; append__(L1, L2, L3),
 ; cons(X, L3, R)
).
```

- Itt  $'hd(L0, X), tl(L0, L1)' \equiv 'L0 = [X|L1]'$ ,  $'cons(X, L3, R)' \equiv 'R = [X|L3]'$ ; ez a feltételes szerk.  $\equiv$  diszjunkció ( $'->' \Rightarrow ', '$ )  $\equiv$  `app0`  $\equiv$  `app1` pred.

```
app0([], L2, R) :- R = L2.
app0([X|L1], L2, R) :-
 app0(L1, L2, L3), R = [X|L3].
app1([], L, L).
app1([X|L1], L2, R) :-
 R = [X|L3], app1(L1, L2, L3).
```

- Az `appi`(L1, ...) komplexitása: a futási idő arányos L1 hosszával
- Miért jobb az `app1/3` mint az `app0/3`?
  - `app1/3` **jobbrekurzív**, ciklussal ekvivalens (nem fogyaszt vermet)
  - `app1([1,...,1000],[0],[2,...])` 1, `app0(...)` 1000 lépésben hiúsul meg.
  - `app1/3` használható szétszedésre is (lásd később), míg `app0/3` nem.

## Lista építése előről – nyílt végű listákkal

- Egy x Prolog kif. **nyílt végű lista**, ha x változó, vagy  $X = [_|Farok]$  ahol Farok nyílt végű lista.  
 $| \text{?- } L = [1|_], L = [_ , 2|_]. \Rightarrow L = [1, 2|_A] ?$

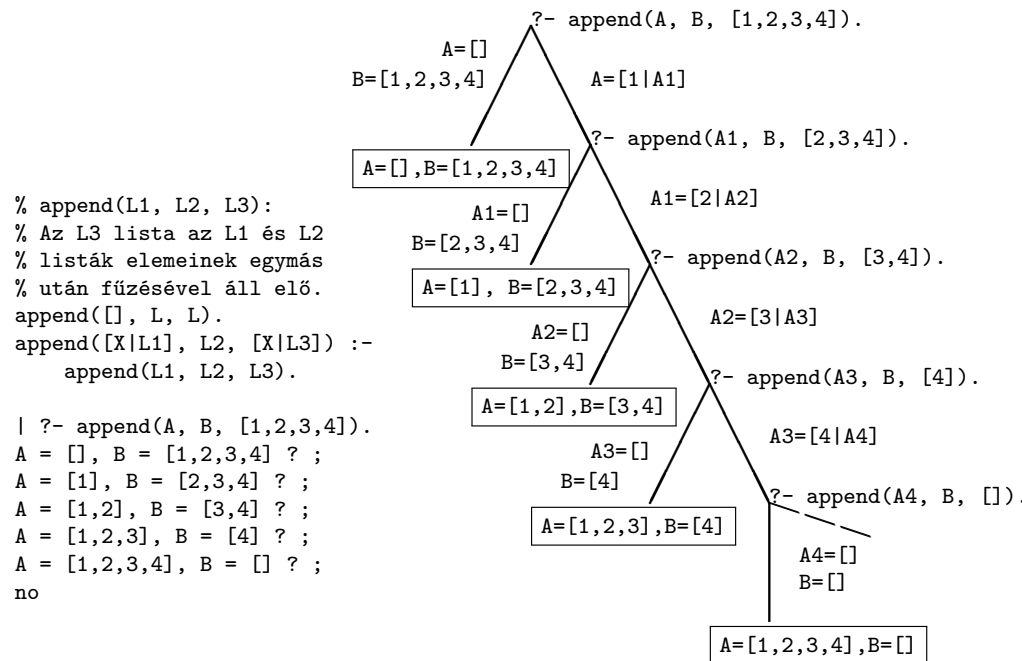
- Az `app1/3` eljárás ekvivalens a beépített `append/3`-mal:
 

```
app1([], L, L).
app1([X|L1], L2, R) :-
 R = [X|L3], app1(L1, L2, L3).
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :-
 append(L1, L2, L3).
```

- Az `append` eljárás már az első redukciónál felépíti az eredmény fejét!
  - Célok (pl.): `append([1,2,3], [4], Ered), write(Ered).`
  - Fej: `append([X|L1], L2, [X|L3])`
  - Behelyettesítés: `X = 1, L1 = [2,3], L2 = [4], Ered = [1|L3]`
  - Új célsorozat: `append([2,3], [4], L3), write([1|L3]).` (Ered nyílt végű lista, farka még behelyettesítetlen.)
  - A további redukciós lépések behelyettesítése és eredménye:
 

```
L3 = [2|L3a] append([3], [4], L3a), write([1|[2|L3a]]).
L3a = [3|L3b] append([], [4], L3b), write([1,2|[3|L3b]]).
L3b = [4] write([1,2,3|[4]]).
```

## Listák szétbontása az append/3 segítségével



## Milyen módon használhatók az append változatok?

- `app0`: Logikai változó (nyílt végű lista) használata: `app0`: nem `append`: igen.
 

```
app0([], L, L).
app0([X|L1], L2, R) :-
 app0(L1, L2, L3), R = [X|L3].
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :-
 append(L1, L2, L3).
```
- `app0(L1, _, _)` korlátos futású, ha L1 zárt végű: max. `len(L1)` mélység.  
`| ?- app0([1,2], L2, L3).`  
`L3 = [1,2|L2] ? ; no`
- `app0(_, L2, _)` esetén (még ha L2 zárt végű is)  $\infty$  sok megoldás van:  
`| ?- app0(L1, [1,2], L3).`  
`L1 = [], L3 = [1,2] ? ; L1 = [A], L3 = [A,1,2] ? ; (*)`  
`L1 = [A,B], L3 = [A,B,1,2] ? ; L1 = [A,B,C], L3 = [A,B,C,1,2] ? ; ...`
- `app0(_, L2, L3)` esetén (L2, L3 zárt végű)  $\infty$  ciklust kapunk:  
`app0(L, [1,2], [])` redukálva a 2. klózzal `app0(L1, [1,2], L3), [X|L3] = []`.
- `append(L1, L2, L3)` keresési tere véges, ha L1 **vagy** L3 zárt végű!  
 Ha L1 **és** L3 nyílt végű, akkor  $\infty$  sok megoldás lehet, lásd (\*).

## Variációk appendre 1. – Három lista összefűzése

- `append(L1,L2,L3,L123): L1 ⊕ L2 ⊕ L3 = L123`  
`append(L1, L2, L3, L123) :-`  
`append(L1, L2, L12), append(L12, L3, L123).`
- Nem hatékony, pl.: `append([1,...,100],[1,2,3],[1],L)` 103 helyett 203 lépés!
- Szétszedésre nem alkalmas – végtelen választási pontot hoz létre
- Szétszedésre is alkalmas, hatékony változat  
`% L1 ⊕ L2 ⊕ L3 = L123,`  
`% ahol vagy L1 és L2, vagy L123 adott (zárt végű).`  
`append(L1, L2, L3, L123) :-`  
`append(L1, L23, L123), append(L2, L3, L23).`
  - Az első `append/3` hívás nyílt végű listát állít elő:  
`| ?- append([1,2], L23, L). ⇒ L = [1,2|L23] ?`
  - Az `L3` argumentum behelyettesítettsége (nyílt vagy zárt végű lista-e) nem számít.

## Mintakeresés append/3-mal

- Párban előforduló elemek  
`% párban(Lista, Elem): A Lista számlistának Elem olyan`  
`% eleme, amelyet egy ugyanilyen elem követ.`  
`párban(L, E) :-`  
`append(_, [E,E|_], L).`  
`| ?- párban([1,8,8,3,4,4], E).`  
`E = 8 ? ; E = 4 ? ; no`
- Dadogó részek  
`% dadogó(L, D): D olyan nem üres részlistája L-nek,`  
`% amelyet egy vele megegyező részlista követ.`  
`dadogó(L, D) :-`  
`append(_, Farok, L),`  
`D = [_|_],`  
`append(D, Vég, Farok),`  
`append(D, _, Vég).`  
`| ?- dadogó([2,2,1,2,2,1], D).`  
`D = [2] ? ; D = [2,2,1] ? ; D = [2] ? ; no`

## Listák megfordítása

- Naív (négyzetes lépésszámú) megoldás  
`% nrev(L, R): Az R lista az L megfordítása.`  
`nrev([], []).`  
`nrev([X|L], R) :-`  
`nrev(L, RL),`  
`append(RL, [X], R).`
- Lineáris lépésszámú megoldás  
`% reverse(R, L): Az R lista az L megfordítása.`  
`reverse(R, L) :- revapp(L, [], R).`  
`% revapp(L1, L2, R): L1 megfordítását L2 elé fűzve kapjuk R-t.`  
`revapp([], R, R).`  
`revapp([X|L1], L2, R) :-`  
`revapp(L1, [X|L2], R).`
- A `lists` könyvtár tartalmazza a `reverse/2` eljárás definícióját.
- A könyvtár betöltése:  
`:- use_module(library(lists)).`

Listák gyűjtési iránya – `append` és `revapp` Prolog és C++ nyelven

- Prolog  
`append([], L, L).`  
`append([X|L1], L2, [X|L3]) :-`  
`append(L1, L2, L3).`
- C++  

```

struct link { link *next;
 char elem;
 link(char e): elem(e) {} };
typedef link *list;

list append(list L1, list L2)
{ list L3, *lp = &L3;
 for (list p=L1; p; p=p->next)
 { list newl = new link(p->elem);
 *lp = newl; lp = &newl->next;
 }
 *lp = L2; return L3;
}

list revapp(list L1, list L)
{ list l = L;
 for (list p=L1; p; p=p->next)
 { list newl = new link(p->elem);
 newl->next = l; l = newl;
 }
 return l;
}

```

## Keresés listában – a member/2 beépített eljárás

- member(E, L): E az L lista eleme

```
member(Elem, [Elem|_]).
member(Elem, [_|Farok]) :-
 member(Elem, Farok).

member(Elem, [Fej|Farok]) :-
 (Elem = Fej
 ; member(Elem, Farok)
).
```

- Eldöntendő (igen-nem) kérdés:

```
| ?- member(2, [1,2,3,2]). => yes DE
| ?- member(2, [1,2,3,2]),X=X. => true ? ; true ? ; no
```

- Lista elemeinek felsorolása:

```
| ?- member(X, [1,2,3]). => X = 1 ? ; X = 2 ? ; X = 3 ? ; no
| ?- member(X, [1,2,1]). => X = 1 ? ; X = 2 ? ; X = 1 ? ; no
```

- Listák közös elemeinek felsorolása – az előző két hívásformát kombinálja:

```
| ?- member(X, [1,2,3]),
 member(X, [5,4,3,2,3]). => X = 2 ? ; X = 3 ? ; X = 3 ? ; no
```

- Egy értéket egy (nyílt végű) lista elemévé tesz, végtelen választás!

```
| ?- member(1, L). => L = [1|_A] ? ; L = [_A,1|_B] ? ;
 L = [_A,_B,1|_C] ? ; ...
```

- A member/2 keresési tere **véges**, ha 2. argumentuma zárt végű lista.

## Listák permutációja

- perm(Lista, Perm): Lista permutációja a Perm lista.

```
perm([], []).
perm(Lista, [Elso|Perm]) :-
 select(Elso, Lista, Maradek),
 perm(Maradek, Perm).
```

- Felhasználási példák:

```
| ?- perm([1,2], L).
 L = [1,2] ? ; L = [2,1] ? ; no

| ?- perm([a,b,c], L).
 L = [a,b,c] ? ; L = [a,c,b] ? ; L = [b,a,c] ? ;
 L = [b,c,a] ? ; L = [c,a,b] ? ; L = [c,b,a] ? ; no

| ?- perm(L, [1,2]).
 L = [1,2] ? ; végtelen keresési tér
```

- Ha perm/2-ben az első argumentum ismeretlen, akkor a select hívás keresési tere végtelen!
- A lists könyvtár tartalmaz egy kétirányban is működő permutation/2 eljárást.

## A member/2 predikátum általánosítása: select/3

- select(E, Lista, Marad): E-t a Listából elhagyva marad Marad.

```
select(E, [E|Marad], Marad). % Elhagyjuk a fejet, marad a farok.
select(E, [X|Farok], [X|MO]) :- % Marad a fej,
 select(E, Farok, MO). % a farokból hagyunk el elemet.
```

- Felhasználási lehetőségek:

```
| ?- select(1, [2,1,3,1], L). % Adott elem elhagyása
 L = [2,3,1] ? ; L = [2,1,3] ? ; no

| ?- select(X, [1,2,3], L). % Akármelyik elem elhagyása
 L=[2,3], X=1 ? ; L=[1,3], X=2 ? ; L=[1,2], X=3 ? ; no

| ?- select(3, L, [1,2]). % Adott elem beszúrása!
 L = [3,1,2] ? ; L = [1,3,2] ? ; L = [1,2,3] ? ; no

| ?- select(3, [2|L], [1,2,7,3,2,1,8,9,4]).
 % Beszúrható-e 3 az [1,...]-ba
 no
 % úgy, hogy [2,...]-t kapjunk?

| ?- select(1, [X,2,X,3], L).
 L = [2,1,3], X = 1 ? ; L = [1,2,3], X = 1 ? ; no
```

- A lists könyvtárban a fenti módon definiált select/3 eljárás keresési tere **véges**, ha vagy a 2., vagy a 3. argumentuma zárt végű lista.

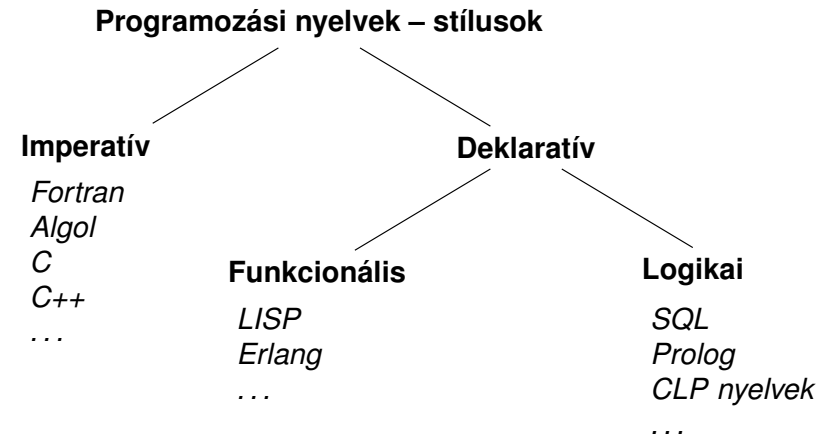
## IV. rész

## Erlang alapok

- 1 Bevezetés
- 2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban
- 3 Prolog alapok
- 4 Erlang alapok
- 5 Haladó Prolog
- 6 Haladó Erlang

#### 4 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Őr
- Típusspecifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Gyakori könyvtári függvények



## Funkcionális programozás: mi az?

## Az Erlang nyelv

- Programozás *függvények alkalmazásával*
- Kevésbé elterjedten *applikatív programozásnak* is nevezik (vö. function application)
- A függvény: leképezés – az argumentumából állítja elő az eredményt  
A tiszta (matematikai) függvénynek nincs *mellékhatása*.

Példák funkcionális programozási nyelvekre, nyelvcsaládokra:

- Lisp, Scheme
- SML, Caml, Caml Light, OCaml, Alice
- Clean, Haskell
- Erlang
- F#

- 1985: megszületik „Ellemtelben” (Ericsson–Televerket labor)
  - Agner Krarup Erlang dán matematikus, ERicsson LANGUage
- 1991: első megvalósítás, első projektek
- 1997: első OTP (Open Telecom Platform)
- 1998-tól: nyílt forráskódú, szabadon használható
- Funkcionális alapú (Functionally based)
- Párhuzamos programozást segítő (Concurrency oriented)
- Gyakorlatban használt

„Programming is fun!”

- **Joe Armstrong: Programming Erlang. Software for a Concurrent World. The Pragmatic Bookshelf, 2007. ISBN-13 978-1-934356-00-5**  
http://www.pragprog.com/titles/jaerlang/programming-erlang
- Francesco Cesarini, Simon Thompson: Erlang Programming. O'Reilly, 2009. ISBN 978-0-596-51818-9 http://oreilly.com/catalog/9780596518189/
- Joe Armstrong, Robert Virding, Claes Wikström, Mike Williams: Concurrent Programming in Erlang. Second Edition. Prentice Hall, 1996. ISBN 0-13-508301-X. **Első része szabadon letölthető.**  
http://erlang.org/download/erlang-book-part1.pdf
- **On-line Erlang documentation** (Tutorial, Reference Manual stb.)  
http://erlang.org/doc.html  
Pl. listafüggvények: http://www.erlang.org/doc/man/lists.html
- Wikibooks on Erlang Programming  
http://en.wikibooks.org/wiki/Erlang\_Programming
- On-line help (csak unix/linux rendszeren) `man erl` vagy `erl -man <module>`

- Erlang shell (interaktív értelmező) indítása

```
$ erl
Erlang R13B03 (erts-5.7.4) [source] [smp:...]

Eshell V5.7.4 (abort with ^G)
1>
1> 3.2 + 2.1 * 2. % Lezárás és indítás ,,pont-bevitel''-lel!
7.4
2> atom.
atom
3> 'Atom'.
'Atom'
4> "string".
"string"
5> {ennes, 'A', a, 9.8}.
{ennes, 'A', a, 9.8}
6> [lista, 'A', a, 9.8].
[lista, 'A', a, 9.8]
7> q().
ok
```

## Erlang shell: parancsok

```
1> help().
** shell internal commands **
b() -- display all variable bindings
e(N) -- repeat the expression in query <N>
f() -- forget all variable bindings
f(X) -- forget the binding of variable X
h() -- history
v(N) -- use the value of query <N>
rr(File) -- read record information from File (wildcards allowed)
...
** commands in module c **
c(File) -- compile and load code in <File>
cd(Dir) -- change working directory
help() -- help info
l(Module) -- load or reload module
lc([File]) -- compile a list of Erlang modules
ls() -- list files in the current directory
ls(Dir) -- list files in directory <Dir>
m() -- which modules are loaded
m(Mod) -- information about module <Mod>
pwd() -- print working directory
q() -- quit - shorthand for init:stop()
...
```

## Erlang shell: ^G és ^C

- ^G hatása

User switch command

```
--> h
c [nn] - connect to job
i [nn] - interrupt job
k [nn] - kill job
j - list all jobs
s - start local shell
r [node] - start remote shell
q - quit erlang
? | h - this message
--> c
```

- ^C hatása

```
BREAK: (a)bort (c)ontinue (p)roc info (i)nfo (l)oaded
(v)ersion (k)ill (D)b-tables (d)istribution
```

## Saját program lefordítása

## bevezeto.erl – Faktoriális számítása

```
-module(bevezeto). % A modul neve (kötelező; modulnév = fájlnev)
-export([fac/1]). % Látható függvények (praktikusan kötelező)

% @spec fac(N::integer()) -> F::integer().
% F = N! (F az N faktoriálisa).
fac(0) -> 1; % ha az N=0 mintaillesztés sikeres
fac(N) -> N * fac(N-1). % ha az N=0 mintaillesztés nem volt sikeres
```

- Fordítás, futtatás

```
1> c(bevezeto).
{ok,bevezeto}
2> bevezeto:fac(5).
120
3> fac(5).
** exception error: undefined shell command fac/1
4> bevezeto:fac(5)
4>
4> .
120
```

## Listakezelés – rövid példák (1)

```
1> L1 = [10,20,30]. % új változó kötése, '=' a mintaillesztés
[10,20,30]
2> H = hd(L1). % hd: Built-in function (BIF)
10
3> T = tl(L1). % tl: Built-in function
[20,30]
4> b(). % kötött változók kiírása, lásd help().
H = 10
L1 = [10,20,30]
T = [20,30]
ok
5> T ::= [20|[30|[]]]. % egyenlőségvizsgálat
true
6> tl([]).
** exception error: bad argument
in function tl/1
called as tl([])
7> c(bevezeto).
{ok,bevezeto}
```

## Listakezelés – rövid példák (2)

## bevezeto.erl – folytatás

*% sum(L) az L lista összege.*

```
sum([]) -> 0;
sum(L) -> H = hd(L), T = tl(L), H + sum(T).
```

*% append(L1, L2) az L1 lista L2 elé fűzve.*

```
append([], L2) -> L2;
append(L1, L2) -> [hd(L1)|append(tl(L1), L2)].
```

*% revapp(L1, L2) az L1 megfordítása L2 elé fűzve.*

```
revapp([], L2) -> L2;
revapp(L1, L2) -> revapp(tl(L1), [hd(L1)|L2]).
```

```
8> bevezeto:sum(L1).
60
9> bevezeto:append(L1, [a,b,c,d]).
[10,20,30,a,b,c,d]
10> bevezeto:revapp(L1, [a,b,c,d]).
[30,20,10,a,b,c,d]
```

## Prolog és Erlang: néhány eltérés és hasonlóság

- Néhány eltérés:

| Prolog                                      | Erlang                                                          |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| predikátum, kétféle érték                   | függvény, értéke tetsz. típusú                                  |
| siker esetén változóbehelyettesítés         | csak bemenő argumentum és visszatérési érték van                |
| választási pontok, többféle megoldás        | determinizmus, egyetlen mo.                                     |
| összetett kifejezés (struktúra), a lista is | ennes, lista típusok (tuple, list)                              |
| operátor definiálása                        | -                                                               |
| egyesítés szimmetrikus                      | jobb oldalon tömör kif., bal oldalon mintakif.; őrfeltételekkel |

- Néhány hasonlóság:

- a függvény is klózokból áll, kiválasztás mintaillesztéssel, sorrendben
- a függvényt is a funktora (pl. `bevezeto:fac/1`) azonosítja
- változóhoz csak egyszer köthető érték
- lista szintaxisa (de: Erlangban önálló típus), sztring (fűzér), atom



## Tartalom

## 4 Erlang alapok

- Bevezetés
- **Típusok**
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Őr
- Típusspecifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Gyakori könyvtári függvények

## Típusok

- Az Erlang erősen típusos nyelv, bár nincs típusdeklaráció
- A típusellenőrzés dinamikus és nem statikus
  - Alaptípusok

| <i>magyarul</i>            | <i>angolul</i>          |
|----------------------------|-------------------------|
| Szám (egész, lebegőpontos) | Number (integer, float) |
| Atom                       | Atom                    |
| Függvény                   | Fun                     |
| Ennes (rekord)             | Tuple (record)          |
| Lista                      | List                    |

- További típusok

|            |                          |
|------------|--------------------------|
| Pid        | Pid (Process identifier) |
| Port       | Port                     |
| Hivatkozás | Reference                |
| Bináris    | Binary                   |

## Atom

- Szövegkonstans **(nem füzér!)**
- Kisbetűvel kezdődő, bővített alfanumerikus<sup>1</sup> karaktersorozat, pl. `sicstus`, `erlang_OTP`
- Bármilyen<sup>2</sup> karaktersorozat is az, ha egyszeres idézőjelbe tesszük, pl. `'SICStus'`, `'erlang OTP'`, `'35 May'`
- Hossza tetszőleges, vezérlőkaraktereket is tartalmazhat, pl. `'ez egy hosszú atom, ékezetes betűkkel spékelve'`  
`'formázókarakterekkel \n\c\f\r'`
- Saját magát jelöli
- Hasonló a Prolog névkonstanshoz (atom)
- C++, Java nyelvekben a legközelebbi rokon: enum

<sup>1</sup>Bővített alfanumerikus: kis- vagy nagybetű, számjegy, aláhúzás (`_`), kukac (`@`).

<sup>2</sup>bármilyen latin-1 kódolású karaktert tartalmazó (R14B)

## Szám (number)

- Egész
  - Pl. 2008, -9, 0
  - Tetszőleges számrendszerben `radix#szám` alakban, pl. `2#101001`, `16#fe`
  - Az egész korlátlan pontosságú, pl. `12345678901234567890123456789012345678901234`
- Lebegőpontos
  - Pl. `3.14159`, `0.2e-22`
  - IEEE 754 64-bit
- Karakterkód
  - Ha nyomtatható: `$z`
  - Ha vezérlő: `$_n`
  - Oktális számmal: `$_012`

## Ennes (tuple)

- Rögzített számú, tetszőleges kifejezésből álló sorozat
- Példák: {2008, erlang}, {'Joe', 'Armstrong', 16.99}
- Nullás: {}
- Egyelemű ennes  $\neq$  ennes eleme, pl. {elem}  $\neq$  elem

## Lista (list)

- Korlátlan számú, tetszőleges kifejezésből álló sorozat
- Lineáris rekurzív adatszerkezet:
  - vagy üres ([]) jellel jelöljük,
  - vagy egy elemből áll, amelyet egy lista követ: [Elem|Lista]
- Első elemét, ha van, a lista *fejének* nevezzük
- Első eleme utáni, esetleg üres részét a lista *farkának* nevezzük
  - Egyelemű lista: [elem]
  - Fejből-farokból létrehozott lista: [elem|[]], ['első'|['második']]
  - Többelemű lista:
    - [elem,123,3.14,'elem']
    - [elem,123,3.14|['elem']]
    - [elem,123|[3.14,'elem']]
- A konkatenáció műveleti jele: ++
 

```
11> ['egy'|['két']] ++ [elem,123|[3.14,'elem']]
[egy,két,elem,123,3.14,elem]
```

## Füzér (string)

- Csak rövidítés, tkp. karakterkódok listája, pl.
 

```
"erl" \equiv [$e,$r,$l] \equiv [101,114,108]
```
- Az Eshell a nyomtatható karakterkódok listáját füzérként írja ki:
 

```
12> [101,114,108]
"erl"
```
- Ha más érték is van a listában, listaként írja ki:
 

```
13> [31,101,114,108]
[31,101,114,108]
14> [a,101,114,108]
[a,101,114,108]
```
- Egymás mellé írással helyettesíthető, pl.
 

```
15> "erl" "ang".
"erlang"
```

## Tartalom

- 4 Erlang alapok
  - Bevezetés
  - Típusok
  - Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
  - Mintaillesztés
  - Magasabbrendű függvények, függvényérték
  - Listanézet
  - Műveletek, beépített függvények
  - Őr
  - Típus-specifikáció
  - Kivételkezelés
  - Rekord
  - Gyakori könyvtári függvények

## Term, változó

### Term

- *Közelítő rekurzív definíció*: szám; atom; vagy termekből ennes- és listakonstruktorokkal felépített kifejezés.
- Néhány típussal (ref., port, pid, binary) egyelőre nem foglalkozunk
- Tovább nem egyszerűsíthető kifejezés, érték a programban
- Minden termnek van típusa
- Pl. 10 vagy {'Diák Detti', [{khf, [cekla, prolog, erlang, prolog]}]}
- Pl. nem term: 5 + 6
- Termek összehasonlítási sorrendje (v.ö. típusok)  
number < atom < ref. < fun < port < pid < tuple < list < binary

### Változó

- Nagybetűvel kezdődő, bővített alfanumerikus karaktersorozat, más szóval *név*
- A változó lehet *szabad* vagy *kötött*
- A szabad változónak nincs értéke, típusa
- A kötött változó értéke, típusa valamely konkrét term értéke, típusa
- Minden változóhoz *csak egyszer* köthető érték, azaz kötött változó nem kaphat értéket

## Kifejezés

### Lehet

- term
- változó
- minta
  - Minta: term alakú kifejezés, amelyben szabad változó is lehet
  - $\text{term} \subseteq \text{minta}$ <sup>3</sup>
  - $\text{változó} \subseteq \text{minta}$

### továbbá

- összetett kifejezés
- szekvenciális kifejezés
- függvényalkalmazás
- egyéb: if, case, try/catch, catch stb.
- Kifejezés kiértékelése alapvetően: **mohó** (eager vagy strict evaluation).

```
16> Nevező = 0.
```

```
0
```

```
17> (Nevező > 0) and (1 / Nevező > 1).
```

```
** exception error: bad argument in an arithmetic expression
```

<sup>3</sup>néhány nem túl gyakorlatias ellenpéldától eltekintve

## Kifejezés: összetett és szekvenciális

### Összetett kifejezés

- Kiértékelhető műveleteket, függvényeket is tartalmazó, kifejezés, pl. 5+6, vagy: `[{5+6, math:sqrt(2+fib(X))}, alma]`

### Szekvenciális kifejezés

- Kifejezések sorozata, szintaxisa:
  - `begin exp1, exp2, ..., expn end`
  - `exp1, exp2, ..., expn`
- A `begin` és `end` párt akkor kell kiírni, ha az adott helyen egyetlen kifejezésnek kell állnia
- Értéke az utolsó kifejezés értéke, `expn`
- `18> begin a, "a", 5, [1,2] end.`  
`[1,2]`
- `19> L2 = [10,20,30], H2 = hd(L2), T2 = tl(L2), H2 + bevezeto:sum(T2).`  
60

## Kifejezés: függvényalkalmazás

### Függvényalkalmazás

- Szintaxisa
  - `fnév(arg1, arg2, ..., argn)`  
vagy
  - `modul:fnév(arg1, arg2, ..., argn)`
- Például
 

```
20> length([a,b,c]).
```

```
3
```

```
21> erlang:tuple_size({1,a,'A',"1aA"}).
```

```
4
```

## Függvénydeklaráció

- Egy vagy több, pontosvesszővel (;) elválasztott *klózból* állhat.
- Alakja:
 

```
fnév(A11, ..., A1m) [when ŐrSz1] -> SzekvenciálisKif1;
...
fnév(An1, ..., Anm) [when ŐrSzn] -> SzekvenciálisKifn.
```
- A függvényt a neve, az „aritása” (paramétereinek száma), valamint a moduljának a neve azonosítja.
- Az azonos nevű, de eltérő aritású függvények nem azonosak!
- Példák:
 

```
fac(0) -> 1;
fac(N) -> N*fac(N-1).

fac(0,R) -> R;
fac(N,R) -> fac(N-1,N*R).
```
- (Őrök bemutatása kicsit később)

## Tartalom

- 4 Erlang alapok
  - Bevezetés
  - Típusok
  - Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
  - Mintaillesztés
  - Magasabbrendű függvények, függvényérték
  - Listanézet
  - Műveletek, beépített függvények
  - Őr
  - Típusspecifikáció
  - Kivételkezelés
  - Rekord
  - Gyakori könyvtári függvények

## Minta, mintaillesztés (egyesítés)

- Minta (pattern): term alakú kifejezés, amelyben szabad változó is lehet
- Sikeres illesztés esetén a szabad változók kötötté válnak, értékük a megfelelő részkifejezés értéke lesz.
- A mintaillesztés (egyesítés) műveleti jele: =  
Alakja: MintaKif = TömörKif
- Mintaillesztés  $\neq$  értékadás!
- Példák:
 

|                                     |                    |                                       |
|-------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| $Pi = 3.14159$                      | $\rightsquigarrow$ | $^4 Pi \mapsto 3.14159^5$             |
| $[H1 T1] = [1,2,3]$                 | $\rightsquigarrow$ | $H1 \mapsto 1, T1 \mapsto [2,3]$      |
| $[1,2 T2] = [1,2,3]$                | $\rightsquigarrow$ | $T2 \mapsto [3]$                      |
| $[H2 [3]] = [1,2,3]$                | $\rightsquigarrow$ | meghiúsulás, hiba                     |
| $\{A1,B1\} = \{\{a\}, 'Beta'\}$     | $\rightsquigarrow$ | $A1 \mapsto \{a\}, B1 \mapsto 'Beta'$ |
| $\{\{a\}, B2\} = \{\{a\}, 'Beta'\}$ | $\rightsquigarrow$ | $B2 \mapsto 'Beta'$                   |

## Mintaillesztés függvény klózaira – 1. példa

- Függvény alkalmazásakor a klóz kiválasztása is mintaillesztéssel történik
- Máshol is, pl. a case vezérlési szerkezetnél is történik illesztés

### khf.erl – DP kisházik ellenőrzése

```
-module(khf).
-compile(export_all). % mindent exportál, csak teszteléshez!
%-export([kiadott/1, ...]). % tesztelés után erre kell cserélni
```

```
% kiadott(Ny) az Ny nyelven kiadott kisházik száma
```

```
kiadott(cekla) -> 1; % 1. klóz
kiadott(prolog) -> 3; % 2. klóz
kiadott(erlang) -> 3. % 3. klóz
```

```
2> khf:kiadott(cekla). % sikeres illesztés az 1. klózra
1
3> khf:kiadott(erlang). % sikertelen: 1-2. klóz, sikeres: 3. klóz
3
4> khf:kiadott(java). % 3 sikertelen illesztés után hiba
** exception error: no function clause matching ...
```

<sup>4</sup>Kif  $\rightsquigarrow$  jelentése: „Kif kiértékelése után”.

<sup>5</sup>X  $\mapsto$  V jelentése: „X a V értékhez van kötve”.

## Mintaillesztés függvény klózaira – 2. példa

- Hányszor szerepel egy elem egy listában? Első megoldásunk:

## khf.erl – folytatás

```
% @spec elofordul1(E::term(), L::[term()]) -> N::integer().
% E elem az L listában N-szer fordul elő.
elofordul1(E, []) -> 0; % 1.
elofordul1(E, [E|Farok]) -> 1 + elofordul1(E, Farok); % 2.
elofordul1(E, [_Fej|Farok]) -> elofordul1(E, Farok). % 3.
```

```
5> khf:elofordul1(a, [a,b,a,1]). % 2. klóz, majd 3., 2., 3., 1.
2
6> khf:elofordul1(java, [cekla,prolog,prolog]). % 3., 3., 3., 1.
0
```

- A minták összekapcsolhatóak, az E változó több argumentumban is szerepel: `elofordul1(E, [E|Farok]) -> ...`
- Számít a klózok sorrendje, itt pl. a 3. általánosabb, mint a 2.!

## Mintaillesztés függvény klózaira – 3. példa

- Teljesítette-e egy hallgató a khf követelményeket?

```
7> Hallgato1 = {'Diák Detti',
 [{khf, [cekla,prolog,erlang,prolog]},
 {nzh, 59}]}.
```

## khf.erl – folytatás

```
% @spec megfelelt(K::kovetelmeny(), H::hallgato()) -> true | false.
megfelelt(khf, {_Nev, [{khf, L}|_]}) ->
 C = elofordul1(cekla, L),
 P = elofordul1(prolog, L),
 E = elofordul1(erlang, L),
 (P >= 1) and (E >= 1) and (C + P + E >= 3);
megfelelt(K, {_Nev, [_|F]}) ->
 megfelelt(K, {_Nev, F});
megfelelt(_, {_, []}) ->
 false.
```

## „Biztonságos” illesztés: ha egyik mindig sikerül

- Mit kezdünk a kiadott(java) kiértékelésekor keletkező hibával?
- Erlangban gyakori: jelezzük a sikert vagy a hibát az eredményben

## khf.erl – folytatás

```
% @spec safe_kiadott(Ny::atom()) -> {ok, Db::integer()} | error.
% Az Ny nyelven Db darab kisházit adtak ki.
safe_kiadott(cekla) -> {ok, 1};
safe_kiadott(prolog) -> {ok, 3};
safe_kiadott(erlang) -> {ok, 3};
safe_kiadott(_Ny) -> error. % e klóz mindig illeszthető
```

- Az ok és az error atomokat konvenció szerint választottuk
- Kötés: ha a minta egyetlen szabad változó (\_Ny), az illesztés sikeres
- De hogy férjük hozzá az eredményhez?

```
8> khf:safe_kiadott(cekla).
{ok,1}
9> khf:safe_kiadott(java).
error
```

## Feltételes kifejezés mintaillesztéssel (case)

- ```
case Kif of
  Minta1 [when ŪrSz1] -> SzekvenciálisKif1;
  ...
  Mintan [when ŪrSz1n] -> SzekvenciálisKifn
end.
```
- Kiértékelés: balról jobbra
- Értéke: az első illeszkedő minta utáni szekvenciális kifejezés
- Ha nincs ilyen minta, hibát jelez

```
10> X=2, case X of 1 -> "1"; 3 -> "3" end.
** exception error: no case clause matching 2
11> X=2, case X of 1 -> "1"; 2 -> "2" end.
"2"
12> Y=fagylalt, 3 * case Y of fagylalt -> 100; tolcser -> 15 end.
300
13> Z=kisauto, case Z of fagylalt -> 100;
13> tolcser -> 15;
13> Barmi -> 99999 end.
99999
```

case példa

- Az adott nyelvből hány százalékot adtunk be?

khf.erl – folytatás

```
% @spec safe_teljesitmeny(Nyelv::atom(), Beadott_db::integer()) ->
%   {ok, Teljesitmeny::float()} | error.
safe_teljesitmeny(Nyelv, Beadott_db) ->
  case safe_kiadott(Nyelv) of
    {ok, Kiadott_db} -> {ok, Beadott_db / Kiadott_db};
    error             -> error
  end.
```

- Függvény klózai összevonhatóak a case segítségével:

```
kiadott(cekla)  -> 1;
kiadott(prolog) -> 3;
kiadott(erlang) -> 3.

                    kiadott(Ny) ->
                    case Ny of
                    cekla -> 1;
                    prolog -> 3;
                    erlang -> 3
                    end.
```

helyett írható:

4 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Őr
- Típusspecifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Gyakori könyvtári függvények

Függvényérték

- A funkcionális nyelvekben a függvény is *érték*:
 - leírható (jelölhető)
 - van típusa
 - névhez (változóhoz) köthető
 - adatszerkezet eleme lehet
 - paraméterként átadható
 - **függvényalkalmazás eredménye lehet** (zárójelezni kell!)
- Névtelen függvény (függvényjelölés) mint érték


```
fun (A11, ..., A1m) [when ŐrSz1] -> SzekvenciálisKif1;
  ...;
  (An1, ..., Anm) [when ŐrSzn] -> SzekvenciálisKifn
end.
```
- Már deklarált függvény mint érték


```
fun Modul:Fnev/Aritas % például fun bevezeto:sum/1
fun Fnev/Aritas      % ha az Fnev „látható”, pl. modulból
```

„Programming is fun!”

Függvényérték: példák

```
2> Area1 = fun ({circle,R}) -> R*R*3.14159;
              ({rectan,A,B}) -> A*B;
              ({square,A}) -> A*A
              end.
#Fun<erl_eval.6.13229925>
3> Area1({circle,2}).
12.56636
4> Osszeg = fun bevezeto:sum/1.
#Fun<bevezeto.sum.1>
5> Osszeg([1,2]).
3
6> fun bevezeto:sum/1([1,2]).
3
7> F1 = [Area1, Osszeg, fun bevezeto:sum/1, 12, area].
[#Fun<erl_eval.6.13229925>,#Fun<bevezeto.sum.1>,...]
8> (hd(F1))({circle, 2}). % külön zárójelezni kell!
12.56636
% hd/1 itt magasabbrendű függvény, zárójelezni kell értékét
```

Magasabb rendű függvények alkalmazása – map, filter

- **Magasabb rendű függvény:** paramétere vagy eredménye függvény
- **Leképzés:** `lists:map(Fun, List)` A List lista Fun-nal transzformált elemeiből álló lista

```
9> lists:map(fun erlang:length/1, ["alma", "korte"]).
[4,5]           % erlang:length/1: Built-In Function, lista hossza
10> lists:map(Osszeg, [[10,20], [10,20,30]]).
[30,60]
11> L = [{'Diák Detti', [{khf, [...]}]}, {'Lusta Ludvig', []}].
[{'Diák Detti', [{khf, [...]}]}, {'Lusta Ludvig', []}]
12> lists:map(fun(Hallg) -> khf:megfelelt(khf, Hallg) end, L).
[true,false]

• Szűrés: lists:filter(Pred, List)
  A List lista Pred-et kielégítő elemeinek listája

13> lists:filter(fun erlang:is_number/1, [x, 10, L, 20, {}]).
[10,20]
14> lists:filter(fun(Hallg) -> khf:megfelelt(khf, Hallg) end, L).
[{'Diák Detti', [{khf, [...]}]}
```

Redukálás a fold függvényekkel

- Jobbról balra haladva: `lists:foldr(Fun, Acc, List)`
- Balról jobbra haladva: `lists:foldl(Fun, Acc, List)`
- A List lista elemeiből és az Acc elemből a kétoperandusú Fun-nal képzett érték

```
lists:foldr(fun(X, Acc) -> X - Acc end, 0, [1,2,3,4]) ≡ -2
lists:foldl(fun(X, Acc) -> X - Acc end, 0, [1,2,3,4]) ≡ 2
```

- Példa `foldr` kiértékelési sorrendjére: $1 - (2 - (3 - (4 - \text{Acc}))) = -2$
- Példa `foldl` kiértékelési sorrendjére: $4 - (3 - (2 - (1 - \text{Acc}))) = 2$

% plus(X, Sum) -> X + Sum.

R	<pre>sum(Acc, []) -> Acc; sum(Acc, [H T]) -> plus(H, sum(Acc, T)).</pre>	<pre>foldr(Fun, Acc, []) -> Acc; foldr(Fun, Acc, [H T]) -> Fun(H, foldr(Fun, Acc, T)).</pre>
---	--	--

L	<pre>sum(Acc, []) -> Acc; sum(Acc, [H T]) -> sum(plus(H, Acc), T)).</pre>	<pre>foldl(Fun, Acc, []) -> Acc; foldl(Fun, Acc, [H T]) -> foldl(Fun, Fun(H, Acc), T)).</pre>
---	---	---

Magasabb rendű függvények alkalmazása – filter példa

- Hányszor szerepel egy elem egy listában? Új megoldásunk:

`khf.erl` – folytatás

```
% @spec elofordul2(E::term(), L::[term()]) -> N::integer().
% E elem az L listában N-szer fordul elő.
```

```
elofordul2(Elem, L) ->
  length(filter(fun(X) -> X == Elem end, L)).
```

```
15> khf:elofordul2(prolog, [cekla,prolog,prolog]).
2
```

- A névtelen függvényben felhasználhatjuk az Elem lekötött változót!
- A filter/2 egy lehetséges megvalósítása:

```
filter(_, []) -> [];
filter(P, [Fej|Farok]) -> case P(Fej) of
                            true -> [Fej|filter(P, Farok)];
                            false -> filter(P, Farok)
                        end.
```

- *Fejtörő: hogyan lehetne megvalósítani a filtert case nélkül, klózillesztéssel?*

Tartalom

4 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Őr
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Gyakori könyvtári függvények

Listanézet (List Comprehensions)

- Listanézet (List Comprehensions): `[Kif || Minta <- Lista, Feltétel]`
Közelítő definíció: Kif kifejezések listája, ahol a Minta a Lista olyan eleme, melyre Feltétel igaz.
- Feltétel tetszőleges logikai kifejezés lehet. A Mintában előforduló változónevek elfedik a listakifejezésen kívüli azonos nevű változókat.
- Kis példák


```
1> [2*X || X <- [1,2,3]]. % { 2·x | x ∈ {1,2,3} }
[2,4,6]
2> [2*X || X <- [1,2,3], X rem 2 /= 0, X > 2].
[6]
3> lists:seq(1,3). % egészek 1-től 3-ig
[1,2,3]
4> [{X,Y} || X <- [1,2,3,4], Y <- lists:seq(1,X)].
[{1,1},
 {2,1},{2,2},
 {3,1},{3,2},{3,3},
 {4,1},{4,2},{4,3},{4,4}]
```
- Pontos szintaxis: `[X || Q1, Q2, ...]`, ahol X tetszőleges kifejezés, Q_i lehet generátor (`Minta <- Lista`) vagy szűrőfeltétel (predikátum)

Listanézet: példák

- Pitagoraszai számhármások, melyek összege legfeljebb N

```
pitag(N) ->
  [{A,B,C} ||
   A <- lists:seq(1,N),
   B <- lists:seq(1,N),
   C <- lists:seq(1,N),
   A+B+C =< N,
   A*A+B*B =:= C*C]
].
```

- Hányszor fordul elő egy elem egy listában?

```
elofordul3(Elem, L) ->
  length([X || X <- L, X:=Elem]).
```

- A khf követelményeket teljesítő hallgatók

```
L = [{'Diák Detti', [{khf, [...]}]}, {'Lusta Ludvig', []}],
[Nev || {Nev, M} <- L, khf:megfelelt(khf, {Nev, M})].
```

Listanézet: érdekes példák

- Quicksort

```
qsort([]) -> [];
qsort([Pivot|Tail]) ->
  qsort([X || X <- Tail, X < Pivot])
  ++ [Pivot] ++
  qsort([X || X <- Tail, X >= Pivot]).
```

- Permutáció

```
perms([]) -> [[]];
perms(L) ->
  [[H|T] || H <- L, T <- perms(L--[H])].
```

Tartalom

4 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Őr
- Típusspecifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Gyakori könyvtári függvények

Listaműveletek

- Listák összefűzése ($A_s \oplus B_s$): `As++Bs` vagy `lists:append(As,Bs)`
 $C_s = A_s++B_s \rightsquigarrow C_s \mapsto$ az A_s összes eleme a B_s elé fűzve az eredeti sorrendben
- Példa

```
1> [a,'A',[65]]++[1+2,2/1,'A'].
[a,'A',"A",3,2.0,'A']
```
- Listák különbsége: `As--Bs` vagy `lists:subtract(As,Bs)`
 $C_s = A_s--B_s \rightsquigarrow C_s \mapsto$ az A_s olyan másolata, amelyből ki van hagyva a B_s -ben előforduló összes elem balról számított első előfordulása, feltéve, hogy volt ilyen elem A_s -ben
- Példa

```
1> [a,'A',[65],'A']--[ "A",2/1,'A' ].
[a,'A']
2> [a,'A',[65],'A']--[ "A",2/1,'A',a,a,a].
['A']
3> [1,2,3]--[1.0,2]. % erős típusosság: 1 ≠ 1.0
[1,3]
```

Aritmetikai műveletek

- Matematikai műveletek
 - Előjel: +, - (precedencia: 1)
 - Multiplikatív: *, /, `div`, `rem` (precedencia: 2)
 - Additív: +, - (precedencia: 3)
- Bitműveletek
 - `bnot`, `band` (precedencia: 2)
 - `bor`, `bxor`, `bsl`, `bsr` (precedencia: 3)
- Megjegyzések
 - + , - , * és / egész és lebegőpontos operandusokra is alkalmazhatók
 - + , - és * eredménye egész, ha mindkét operandusuk egész, egyébként lebegőpontos
 - / eredménye mindig lebegőpontos
 - `div` és `rem`, valamint a bitműveletek operandusai csak egészek lehetnek

Relációk

- Termek összehasonlítási sorrendje (v.ö. típusok):
`number < atom < ref. < fun < port < pid < tuple < list < binary`
- Kisebb-nagyobb reláció
`<, =<, >=, >`
- Egyenlőségi reláció (aritmetikai egyenlőségre is):
`==, /=` **ajánlás: helyette azonosan egyenlőt használjunk!**
- Azonosan egyenlő (különbséget tesz integer és float közt):
`:=, :=/=` Példa:

```
1> 5.0 := 5.
false
```
- Az összehasonlítás eredménye a `true` vagy a `false` atom
- Lebegőpontos értékre kerülendő:

```
1> (10.1 - 9.9) * 10 == 2.
false
2> 0.0000000000000001 + 1 == 1.
true
```

 Elrettentő példák: `true`
- Kerekítés (`float` \mapsto `integer`), explicit típuskonverzió (`integer` \mapsto `float`):
`erlang:trunc/1, erlang:round/1, erlang:float/1`

Logikai műveletek

- Logikai művelet:
`not, and, or, xor`
- Csak a `true` és `false` atomokra alkalmazhatóak
- Lusta kiértékelésű („short-circuit”) logikai művelet:
`andalso, orelse`
- Példák:

```
1> false and (3 div 0 == 2).
** exception error: bad argument in an arithmetic expression

2> false andalso (3 div 0 == 2).
false
```

Beépített függvények (BIF)

- BIF (Built-in functions)
 - a futtatórendszerbe beépített, rendszerint C-ben írt függvények
 - többségük az **erts**-könyvtár erlang moduljának része
 - többnyire rövid néven (az erlang: modulnév nélkül) hívhatók
- Az alaptípusokon alkalmazható leggyakoribb BIF-ek:
 - Számok:


```
abs(Num), trunc(Num), round(Num), float(Num)
```
 - Lista:


```
length(List), hd(List), tl(List)
```
 - Ennes:


```
tuple_size(Tuple),
element(Index, Tuple),
setelement(Index, Tuple, Value)
```

Megjegyzés: $1 \leq \text{Index} \leq \text{tuple_size}(\text{Tuple})$

További BIF-ek

- Rendszer:


```
date(), time(), erlang:localtime(), halt()
```
- Típusvizsgálat
 - `is_integer(Term), is_float(Term),`
 - `is_number(Term), is_atom(Term),`
 - `is_boolean(Term),`
 - `is_tuple(Term), is_list(Term),`
 - `is_function(Term), is_function(Term, Arity)`
- Típuskonverzió
 - `atom_to_list(Atom), list_to_atom(String),`
 - `integer_to_list(Int), list_to_integer(String),`
`erlang:list_to_integer(String, Base),`
 - `float_to_list(Float), list_to_float(String),`
 - `tuple_to_list(Tuple), list_to_tuple(List)`
- Érdekeség: a BIF-ek mellett megtalálhatóak az operátorok az erlang modulban, lásd az `m(erlang). kimenetét`, pl. `fun erlang:'*/2'(3,4)`.

Tartalom

- 4 Erlang alapok
 - Bevezetés
 - Típusok
 - Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
 - Mintaillesztés
 - Magasabbrendű függvények, függvényérték
 - Listanézet
 - Műveletek, beépített függvények
 - Ór
 - Típusspecifikáció
 - Kivételkezelés
 - Rekord
 - Gyakori könyvtári függvények

Őrszekvencia (Guard sequence)

- Nézzük újra a következő definíciót:


```
fac(0) -> 1;
fac(N) -> N * fac(N-1).
```

 - Mi történik, ha megváltoztatjuk a klózik sorrendjét?
 - Mi történik, ha -1 -re alkalmazzuk?
 - És ha 2.5 -re?

A baj az, hogy a `fac(N) -> ...` klóz túl általános.
- Megoldás: korlátozzuk a mintaillesztést őrszekvencia alkalmazásával


```
fac(0) ->
  1;
fac(N) when is_integer(N), N>0 ->
  N*fac(N-1).
```

- Függvénydeklaráció:

```
fnév(A11, ..., A1m) [when ŐrSz1] -> SzekvenciálisKif1;
...
fnév(An1, ..., Anm) [when ŐrSzn] -> SzekvenciálisKifn.
```

- Feltételes mintaillesztés (case):

```
case Kif of
  Minta1 [when ŐrSz1] -> SzekvenciálisKif1;
  ...
  Mintan [when ŐrSz1n] -> SzekvenciálisKifn
end.
```

Őrkifejezés, mintaillesztés

Őrkifejezés:

- Őrkifejezés \subset Erlang-kifejezés
- Garantáltan mellékhatás nélküli, hatékonyan kiértékelhető
- Vagy sikerül, vagy meghiúsul
- Hibát (kivételet) **nem** jelezhet; ha hibás az argumentuma, meghiúsul

A mintaillesztés lépései klózválasztásnál, case-nél:

- Strukturális mintaillesztés (hasonló a Prolog illesztésére)
- Őrszekvencia kiértékelése

Őr, őrszekvencia, őrkifejezés

- Az őrszekvenciával olyan tulajdonságot írunk elő, amit strukturális mintaillesztéssel nem tudunk leírni
- Az őrszekvenciát a when kulcsszó vezeti be
- Az őrszekvenciában előforduló összes változónak *kötöttnek* kell lennie

Elnevezések:

- **Őrkifejezés (Guard expression):** korlátozott Erlang-kifejezés, mellékhatás nélküli
- **Őr (Guard):** egyetlen őrkifejezés vagy őrkifejezések vesszővel (,) elválasztott sorozata
 - true, ha az összes őrkifejezés true (ÉS-kapcsolat)
- **Őrszekvencia (Guard sequence):** egyetlen őr vagy örök pontosvesszővel (;) elválasztott sorozata
 - true, ha legalább egy őr true (VAGY-kapcsolat)
 - Ha értéke true \leadsto *sikerül*, bármely más term \leadsto *meghiúsul*
 - Sokszor helytelenül őrnek rövidítik; mentség: az őr tipikusan elegendő, őrszekvencia ritka

Őrkifejezés

Őrkifejezés lehet:

- Term (vagyis konstans érték)
- Kötött változó
- Őrkifejezésekből aritmetikai, összehasonlító és logikai műveletekkel felépített kifejezés
- Bizonyos BIF-ek őrkifejezéssel paraméterezve:
 - Típust vizsgáló predikátumok (is_TÍPUS)
 - abs(Number) round(Number) trunc(Number) float(Term)
 - element(N, Tuple) tuple_size(Tuple)
 - hd(List) length(List) tl(List)
 - bit_size(Bitstring) byte_size(Bitstring) size(Tuple|Bitstring)
 - node() node(Pid|Ref|Port) self()

Őrkifejezés **nem** lehet:

- Függvényalkalmazás, mert esetleg mellékhatása lehet vagy lassú
- ++ (lists:append/2), -- (lists:subtract/2)

Őrszekvencia: példák

orok.erl – *kategoria(V) a V term egy lehetséges osztályozása.*

```
kategoria(V) ->
  case V of
    X when is_atom(X) ->
      atom;
    X when is_number(X), X < 0 ->
      negativ_szam;
    X when is_integer(X) ;
      is_float(X), abs(X-round(X)) < 0.0001 ->
      kerek_szam;
    X when is_list(X), length(X) > 5 ->
      hosszu_lista;
    ...
```

```
2> orok:kategoria(true).
```

```
atom
```

```
3> [{K,orok:kategoria(K)} || K <- [haho, -5, 5.000001, "kokusz" ]].
[{haho,atom}, {-5,negativ_szam}, {5.000001,kerek_szam},
 {"kokusz",hosszu_lista}]
```

Feltételes kifejezés őrszekvenciával

- if


```
ŐrSz1 -> SzekvenciálisKif1;
...
ŐrSzn -> SzekvenciálisKifn
end.
```

- Kiértékelés: balról jobbra.
- Értéke: az első teljesülő őrszekvencia utáni szekvenciális kifejezés
- Ha nincs ilyen őrszekvencia, futáskor hibát jelez.
- Példák

```
1> X=2.
2> if X<2 -> "<"; X>2 -> ">" end.
** exception error: no true branch...
3> if X<2 -> "<"; X>2 -> ">=" end.
">="
4> if X<2 -> "<"; true -> ">=" end.
">="
```

khf.erl – folytatás

```
elofordul4(_, []) -> 0;
elofordul4(E, [Fej|Farok]) ->
  if
    Fej == E -> 1;
    true -> 0
  end
+ elofordul4(Elem, Farok).
```

Őrszekvencia: példák – folytatás

orok.erl – *kategoria(V) folytatása*

```
...
{X,Y,Z} when X*X+Y*Y == Z*Z, is_integer(Z) ;
          Z*Z+Y*Y == X*X, is_integer(X) ;
          X*X+Z*Z == Y*Y, is_integer(Y) ->
  pitagoraszi_szamharmas;
{Nev, []} when is_atom(Nev) ->
  talan_hallgato;
{Nev, [{Tipus,_}|_]} when is_atom(Nev), is_atom(Tipus) ->
  talan_hallgato;
[Ny1|_] when Ny1==cekla ; Ny1==prolog ; Ny1==erlang ->
  talan_programozasi_nyelvek_listaja;
{tort, Sz, N} when abs(Sz div N) >= 0 -> % Ha Sz vagy N nem
  racionalis; % egész, vagy ha N:=0, hiba miatt meghíúsul
_ -> egyeb
end.
```

```
4> [orok:kategoria(K) || K <- [{3,5,4}, {'D.D.', []}, {tort,1,a}]].
[pitagoraszi_szamharmas,talan_hallgato,egyeb]
```

Az if a case speciális esete

- case: kifejezést illeszt mintákra őrszekvenciával, if: csak őrszekvenciák
- if helyettesítése case-zel (az Alapértelmezés sora opcionális):

```
case 1 of % _=1 mindig sikeres lenne
  _ when ŐrSz1 -> Kif1;
  ...
  _ when ŐrSzn -> Kifn;
  - -> Alapértelmezés
end

if
  ŐrSz1 -> Kif1;
  ...
  ŐrSzn -> Kifn;
  true -> Alapért
end
```

- Fordítva: pl. használhatunk-e case helyett if-et?

```
filter(_, []) -> [];
filter(P, [Fej|Farok]) -> case P(Fej) of
  true -> [Fej|filter(P, Farok)];
  false -> filter(P, Farok)
end.
```

Vigyázat! if P(Fej) -> Kif... hibás lenne, űrben nem lehet függvény „illegal guard expression”

4 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Ör
- Típusspecifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Gyakori könyvtári függvények

- Csak *dokumentációs konvenció*, nem nyelvi elem az Erlangban
- Készültek programok a típusspecifikáció és a programkód összevetésére
- A *typeName* típust is jelöljük: `typeName()`.
- Típusok: előre definiált és felhasználó által definiált

Előre definiált típusok

- `any()`, `term()`: bármely Erlang-típus
- `atom()`, `binary()`, `float()`, `function()`, `integer()`, `pid()`, `port()`, `reference()`: Erlang-alaptípusok
- `bool()`: a `false` és a `true` atomok
- `char()`: az `integer` típus karaktereket ábrázoló része
- `iolist()` = `[char() | binary() | iolist()]`⁶: karakter-io
- `tuple()`: ennestípus
- `list(L)`: `[L]` listatípus szinonimája
- `nil()`: `[]` üreslista-típus szinonimája
- `string()`: `list(char())` szinonimája
- `deep_string()` = `[char() | deep_string()]`
- `none()`: a „nincs típusa” típus; nem befejeződő függvény „eredményének” megjelölésére

Új (felhasználó által definiált) típusok

- Szintaxis: `@type newType() = Típuskifejezés.`
- Típuskifejezés az előre definiált típus, a felhasználó által definiált típus és a típusváltozó
- Uniótípus
`T1 | T2` típuskifejezés, ha `T1` és `T2` típuskifejezések
`% @type nyelv() = cekla | prolog | erlang.`
- Listatípus
`[T]` típuskifejezés, ha `T` típuskifejezés
`% @type nyelvlista() = [nyelv()].`
- Ennestípus
`{T1, ..., Tn}` típuskifejezés, ha `T1, ..., Tn` típuskifejezések
`% pl. {'Diák Detti', [{khf, [cekla, prolog, prolog]}}] :`
`% @type hallgato() = {atom(), [{atom(), munka()}]}.`
`% @type munka() = nyelvlista() | integer() | ...`
- Függvénytípus
`fun(T1, ..., Tn) -> T` típuskifejezés, ha `T1, ..., Tn` és `T` típuskifejezések

⁶ ... | ... választási lehetőség a szintaktikai leírásokban.

Függvénytípus specifikálása

Egy függvény típusát az argumentumainak (formális paramétereinek) és az eredményének (visszatérési értékének) a típusa határozza meg.

- Szintaxis: `@spec funcName(T1,...,Tn) -> Tret.`

- T_1, \dots, T_n és T_{ret} háromféle lehet:

- TypeVar

Típusváltozó, tetszőleges típus jelölésére

- Type

Típuskifejezés

- `Var::Type`

Paraméterváltozóval bővítve dokumentációs célra

- Paraméterváltozó: a term részeinek nevet is adhatunk, pl.:

```
% @spec safe_last(Xs::[term()]) -> {ok, X::term()} | error.
%     X az Xs lista utolsó eleme.
% @spec split(N::integer(), List::[term()]) ->
%     {Prefix::[term()], Suffix::[term()]}
```

Tartalom

4 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Őr
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Gyakori könyvtári függvények

Típus-specifikáció: példák

```
@type onOff() = on | off.
@type person() = {person, name(), age()}.
@type people() = [person()].
@type name() = {firstname, string()}.
@type age() = integer().

@spec file:open(FileName, Mode) -> {ok, Handle} | {error, Why}.
@spec file:read_line(Handle) -> {ok, Line} | eof.

@spec lists:map(fun(A) -> B, [A]) -> [B].
@spec lists:filter(fun(X) -> bool(), [X]) -> [X].

@type sspec() = {size(), board()}.
@type size() = integer().
@type board() = [[field()]].
@type field() = [info()].
@type info() = e | o | s | w | integer().
@type ssol() = [[integer()]].
@spec sudoku:sudoku(SSpec::sspec()) -> SSols::[ssol()]
```

Kivételkezelés

- Kivétel jelzése háromféle *kivételtípus* lehetséges
 - `throw(Why)`
Olyan hiba jelzésére, amelynek kezelése várható az alkalmazástól
 - `exit(Why)`
A futó processz befejezésére
 - `erlang:error(Why)`
Súlyos rendszerhiba jelzésére, amelynek kezelése nem várható az alkalmazástól
- Kivétel elkapása kétféleképpen lehetséges
 - `try ... catch` kifejezéssel
 - `catch` kifejezéssel:
 - visszaadja a keletkező kivétel termjét, vagy ha nincs hiba, a kifejezés kiértékelését
 - debughoz hasznos, könnyen felderíthető a kivétel pontos értéke

Kivételkezelés: try ... catch

```
try Kifejezés [of
  Minta1 [when ŐrSz1] -> Kif1;
  ...
  Mintan [when ŐrSzn] -> Kifn]
catch
  ExTípus1: ExMinta1 [when ExŐrSz1] -> ExKif1;
  ...
  ExTípusn: ExMintan [when ExŐrSzn] -> ExKifn
[after
  AfterKif]
end
```

- Ha a Kifejezés kiértékelése sikeres, az értékét az Erlang megpróbálja az of és catch közötti mintákra illeszteni
- Ha a kiértékelés sikertelen, az Erlang a jelzett kivételt próbálja meg illeszteni a catch és after közötti mintákra
- Minden esetben kiértékeli az after és end közötti kifejezést
- A try szerkezet speciális esete a case, amelyben nincs kivételkezelés

Példa try ... catch és catch használatára

kiv.erl – folytatás

```
genExc(A,1) -> A;
genExc(A,2) -> throw(A);
genExc(A,3) -> exit(A);
genExc(A,4) -> erlang:error(A).
```

```
tryGenExc(X,I) -> try genExc(X,I) of
  Val -> {I, 'Lefutott', Val}
catch
  throw:X -> {I, 'Kivetelt dobott', X};
  exit:X -> {I, 'Befejezodott', X};
  error:X -> {I, 'Sulyos hibát jelzett', X}
end.
```

```
7> [kiv:tryGenExc(X,I) || {X,I} <- [{'No',1},{'Th',2},{'Ex',3},{'Er',4}]].
[{1,'Lefutott','No'}, {2,'Kivetelt dobott','Th'}, {3,'Befejezodott','Ex'},
 {4,'Sulyos hibát jelzett','Er'}]
8> [catch kiv:genExc(X,I) || {X,I}<-[{ 'No',1},{'Th',2},{'Ex',3},{'Er',4}]].
['No','Th', {'EXIT','Ex'}, {'EXIT','Er',[% stack trace]]]
```

Példák try ... catch és catch használatára

kiv.erl – Példák kivételkezelésre

```
% Ha Fun(Arg) hibát ad, 'error', különben {ok, Fun(Arg)}.
safe_apply(Fun, Arg) -> try Fun(Arg) of
  V -> {ok,V}
catch throw:_Why -> error;
      error:_Why -> error
end. % például error:function_clause
```

```
2> lists:last([a,b,c]).
c
3> lists:last([]).
** exception error: no function clause matching lists:last([])
4> catch lists:last([]).
{'EXIT',{function_clause,[...% stack trace]}}
5> kiv:safe_apply(fun lists:last/1, [a,b,c]).
{ok,c}
6> kiv:safe_apply(fun lists:last/1, []).
error
```

Tartalom

4 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Őr
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- **Rekord**
- Gyakori könyvtári függvények

- Modul: attribútumok és függvénydeklarációk sorozata

- Attribútumok

```
-module(modname).
-export([f1/arity1,...]).
-import(modname,[f1/arity1,...])

-compile(Opciók).
-include("filename.hrl").
-define(makrónév,helyettesítés).
-undef,-ifdef,-ifndef,-else,-endif
-vsn(verzióleírás).
-saját_attribútum(info).
```

Modulnév: atom
 Kívülről is látható függvények listája
 Más modulok modulnév nélkül használható függvényeinek listája
 Fordítási opciók
 Rekord definíciós fájl beemelése
 Makró manipuláció
 Feltételes fordítás
 Verzióinfó
 Bővíthető saját attribútummal

- Modulinformációk lekérdezése: `m(modname)`, `modname:module_info()`

```
2> m(khf).
...
3> khf:module_info().
...
```

- Ha egy ennesnek sok a tagja, nehéz felidézni, melyik tag mit jelent
- Ezért vezették be a rekordot - bár önálló rekordtípus nincs
- Rekord = címkézett ennes; szintaktikai édesítőszer
- n mezejű rekord = $n + 1$ elemű ennes: $\{\text{rekordnév}, m_1, \dots, m_n\}$
- Rekord deklarálása (csak modulban!):
`-record(rn, {p1=d1, ..., pn=d1}),`
 ahol
 - `rn`: rekordnév,
 - `pj`: mezőnév,
 - `dj`: alapértelmezett érték (opcionális).
- Rekord létrehozása és változóhoz kötése:
`X=#rn{m1=v1, ..., mn=vn}`
- Egy mezőérték lekérdezése: `X#rn.mi`
- Egy/több mezőérték változóhoz kötése: `#rn{m2=V, m4=W} = X`

Rekord: példák

A `todo.hrl` rekorddefiníciós fájl tartalma:

```
-record(todo, {sts=remind, who='HP', txt}).
```

- Csak így használhatja több Erlang modul ugyanazt a rekorddefiníciót (`-include("todo.hrl"). attribútum`)
- Deklaráció beolvasása

```
1> rr("todo.hrl").
[todo]
```
- Új, alapértelmezett rekord (`X`) létrehozása

```
2> X = #todo{}.
#todo{sts = remind, who = 'HP', txt = undefined}
```
- `X1` is új

```
3> X1 = #todo{sts=urgent, who='KR', txt="Fóliák!"}.
#todo{sts = urgent, who = 'KR', txt = "Fóliák!"}
```
- Rekord (`X1`) másolása frissítéssel; `X2` is új

```
4> X2 = X1#todo{sts=done}.
#todo{sts = done, who = 'KR', txt = "Fóliák!"}
```

Rekord: további példák

- Mezőértékek lekérdezése

```
5> #todo{who=W,txt=T} = X2.
#todo{sts = done, who = 'KR', txt = "Fóliák!"}

6> W.
'KR'

7> T.
"Fóliák!"

>8 X1#todo.sts.
urgent
```

- Rekorddeklaráció elfelejtetése

```
9> rf(todo).
ok

10> X2.
{todo,done, 'KR', "Diák!"}
```

A rekord az Erlangon belül: ennes.

4 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Az Erlang nyelv szintaxisának alapjai
- Mintaillesztés
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Listanézet
- Műveletek, beépített függvények
- Ór
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Gyakori könyvtári függvények

- `len(Str)`, `equal(Str1, Str2)`, `concat(Str1, Str2)`
- `chr(Str, Chr)`, `rchr(Str, Chr)`, `str(Str, SubStr)`, `rstr(Str, SubStr)`
A karakter / részfüzér első / utolsó előfordulásának indexe, vagy 0, ha nincs benne
- `span(Str, Chrs)`, `cspan(Str, Chrs)`
Az `Str` ama prefixumának hossza, amelyben kizárólag a `Chars`-beli karakterek fordulnak / nem fordulnak elő
- `substr(Str, Strt, Len)`, `substr(Str, Strt)`
Az `Str` specifikált részfüzére

További füzérkezelő függvények (string modul)

- `tokens(Str, SepList)`
A `SepList` karakterei mentén füzérek listájára bontja az `Str`-t
- `join(StrList, Sep)`
Füzérré fűzi össze, `Sep`-vel elválasztva, az `StrList` elemeit
- `strip(Str)`, `strip(Str, Dir)`, `strip(Str, Dir, Char)`
A formázó / `Char` karaktereket levágja a füzér elejéről / végéről

Részletek és továbbiak: Reference Manual.

Listakezelő függvények (lists modul)

- `nth(N, Lst)`, `nthtail(N, Lst)`, `last(Lst)`
A `Lst` `N`-edik karaktere / ott kezdődő farka / utolsó eleme
- `append(Lst1, Lst2) (++)`, `append(LstOfLsts)`
Az `Lst1` és `Lst2` / `LstOfLsts` elemei egy listába fűzve
- `concat(Lst)`
Az `Lst` összes eleme füzérré alakítva és egybefűzve
- `reverse(Lst)`, `reverse(Lst, Tl)`
Az `Lst` megfordítva / megfordítva a `Tl` elé fűzve (más deklaratív nyelvekben `reverse/2`-nek `revAppend` a neve)
- `flatten(DeepList)`, `flatten(DeepList, Tail)`
A `DeepList` kisimítva / kisimítva `Tail` elé fűzve
- `max(Lst)`, `min(Lst)`
Az `Lst` legnagyobb / legkisebb eleme

További listakezelő függvények (`lists` modul)

- `filter(Pred,Lst)`, `delete(Elem,Lst)`
A `Lst` `Pred`-et kielégítő elemek / `Elem` nélküli másolata
- `takewhile(Pred,Lst)`, `dropwhile(Pred,Lst)`,
`splitwith(Pred,Lst)`
Az `Lst` `Pred`-et kielégítő prefixumát tartalmazó / nem tartalmazó másolata; ilyen listákból álló pár
- `partition(Pred,Lst)`, `split(N,Lst)`
A `Lst` elemei `Pred` / `N` szerint két listába válogatva
- `member(Elem,Lst)`, `all(Pred,Lst)`, `any(Pred,Lst)`
Igaz, ha `Elem` / `Pred` szerinti minden / `Pred` szerinti legalább egy elem benne van az `Lst`-ben
- `prefix(Lst1,Lst2)`, `suffix(Lst1,Lst2)`
Igaz, ha az `Lst2` az `Lst1`-gyel kezdődik / végződik

Továbbra is: listakezelő függvények (`lists` modul)

- `sublist(Lst,Len)`, `sublist(Lst,Strt,Len)`
Az `Lst` 1-től / `Strt`-től kezdődő, `Len` hosszú része
- `subtract(Lst1,Lst2) (--)`
Az `Lst1` `Lst2` elemeinek első előfordulását nem tartalmazó másolata
- `zip(Lst1,Lst2)`, `unzip(Lst)`
Az `Lst1` és `Lst2` elemeiből képzett párok listája; az `Lst`-ben lévő párok szétválasztásával létrehozott két lista
- `sort(Lst)`, `sort(Fun,Lst)`
Az `Lst` alapértelmezés / `Fun` szerint rendezett másolata
- `merge(LstOfLsts)`
Az `LstOfLsts` listában lévő rendezett listák alapértelmezés szerinti összefuttatása

Még mindig: listakezelő függvények (`lists` modul)

- `merge(Lst1,Lst2)`, `merge(Fun,Lst1,Lst2)`,
A rendezett `Lst1` és `Lst2` listák alapértelmezés / `Fun` szerinti összefuttatása
- `map(Fun,Lst)`
Az `Lst` `Fun` szerinti átalakított elemeiből álló lista
- `foreach(Fun,Lst)`
Az `Lst` elemeire a mellékhatást okozó `Fun` alkalmazása
- `sum(Lst)`
Az `Lst` elemeinek összege, ha az összes elem számot eredményező kifejezés
- `foldl(Fun,Acc,Lst)`, `foldr(Fun,Acc,Lst)`
Az `Acc` akkumulátor és az `Lst` elemeinek `Fun` szerinti redukálása, balról jobbra, illetve jobbról balra haladva

Részletek és továbbiak: Reference Manual.

Néhány további könyvtári modul és függvény

- `math` modul: `pi()`, `sin(X)`, `acos(X)`, `tanh(X)`, `asinh(X)`, `exp(X)`, `log(X)`,
`log10(X)`, `pow(X,Y)`, `sqrt(X)`
 - `io` modul: `write([IoDev,]Term)`, `fwrite(Format)`,
`fwrite([IoDev,]Format,Data)`, `nl([IoDev])`, `format(Format)`,
`format([IoDev,]Format,Data)`, `get_line([IoDev,]Prompt)`,
`read([IoDev,]Prompt)`
 - Formázójelek (`io` modul)

~	~jel	~c	az adott kódú karakter
~s	füzér	~f, ~e, ~g	lebegőpontos szám
~b, ~x	egész	~w, ~p	Erlang-term
~n	újsor		
- ```
1> io:format("~s ~b ~c ~f~n", [[1,2,3],[1,2,3],math:exp(1)]).
abc 97 b 2.718282
ok
3> X={"abc", [1,2,3], at}, io:format(" p w n", [X,X]).
{"abc", [1,2,3], at} { [97,98,99], [1,2,3], at}
ok
```

## Haladó Prolog

- 1 Bevezetés
- 2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban
- 3 Prolog alapok
- 4 Erlang alapok
- 5 Haladó Prolog**
- 6 Haladó Erlang

- Az előző Prolog előadás-blokk (jegyzetbeli 3. fejezet) célja volt:
  - a Prolog nyelv alapjainak bemutatása,
  - a logikailag „tisztá” résznyelvre koncentrálni.
- A jelen előadás-blokk (jegyzetben a 4. fejezet) célja: olyan
  - beépített eljárások,
  - programozási technikák
 bemutatása, amelyekkel
  - hatékony Prolog programok készíthetők,
  - esetleg a tiszta logikán túlmutató eszközök alkalmazásával.

### Prolog programozási módszerek: tartalomjegyzék

- Megoldásgyűjtő eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió, akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

### Tartalom

- 5 Haladó Prolog**
  - **Megoldásgyűjtő beépített eljárások**
    - Meta-logikai eljárások
    - A keresési tér szűkítése
    - Vezérlési eljárások
    - A Prolog megvalósítási módszereiről
    - Determinizmus és indexelés
    - Jobbrekurzió és akkumulátorok
    - Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
    - Listák és fák akkumulálása – példák
    - Imperatív programok átírása Prologba
    - Modularitás
    - Magasabbrendű eljárások
    - Dinamikus adatbáziskezelés
    - Egy összetettebb példaprogram
    - „Hagyományos” beépített eljárások
    - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Visszalépéses keresési feladatok – egy aritmetikai példa

- Példa: a SEND+MORE=MONEY feladat
- A program:

```
% dec1(J): J egy pozitív decimális számjegy.
dec1(1). dec1(2). dec1(3). dec1(4).
dec1(5). dec1(6). dec1(7). dec1(8). dec1(9).
```

```
% dec(J): J egy decimális számjegy.
dec(0).
dec(J) :- dec1(J).
```

```
% sendmory(L): L a SEND+MORE=MONEY feladatmegoldása
sendmory(L):-
 L = [S,E,N,D,M,O,R,Y], all_different(L),
 dec1(S), dec1(E), dec1(N), dec1(D),
 dec1(M), dec1(O), dec1(R), dec1(Y),
 S*1000+E*100+N*10+D + M*1000+O*100+R*10+E ==
 M*10000+O*1000+N*100+E*10+Y.
```

## Visszalépéses keresés – számintervallum felsorolása

- `dec(J)` felsorolta a 0 és 9 közötti egész számokat
- Általánosítás: soroljuk fel az  $N$  és  $M$  közötti egészeket ( $N$  és  $M$  maguk is egészek)

```
% between(M, N, I): M <= I <= N, I egész.
between(M, N, M) :-
 M <= N.
between(M, N, I) :-
 M < N,
 M1 is M+1,
 between(M1, N, I).
```

```
% dec(X): X egy decimális számjegy
dec(X) :- between(0, 9, X).
```

```
| ?- between(1, 2, _X), between(3, 4, _Y), Z is 10*_X+_Y.
Z = 13 ? ; Z = 14 ? ; Z = 23 ? ; Z = 24 ? ;
no
```

- A fenti eljárás (optimalizált változata) elérhető a `between` könyvtárban.

## Keresési feladat Prologban – felsorolás vagy gyűjtés?

- Keresési feladat: adott feltételeknek megfelelő dolgok meghatározása.
- Prolog nyelven egy ilyen feladat alapvetően kétféle módon oldható meg:
  - gyűjtés – az összes megoldás összegyűjtése, pl. egy listába;
  - felsorolás – a megoldások visszalépéses felsorolása: egyszerre egy megoldást kapunk, de visszalépéssel sorra előáll minden megoldás.
- Egyszerű példa: egy lista páros elemeinek megkeresése:

**% Gyűjtés:**

```
% páros_elemei(L, Pk): Pk az L
% lista páros elemeinek listája.
páros_elemei([], []).
páros_elemei([X|L], Pk) :-
 X mod 2 =:= 0,
 páros_elemei(L, Pk).
páros_elemei([P|L], [P|Pk]) :-
 P mod 2 =:= 0,
 páros_elemei(L, Pk).
```

**% Felsorolás:**

```
% páros_eleme(L, P): P egy páros
% eleme az L listának.
páros_eleme([X|L], P) :-
 X mod 2 =:= 0, P = X.
páros_eleme([_X|L], P) :-
 % _X akár páros, akár páratlan
 % folytatjuk a felsorolást:
 páros_eleme(L, P).
```

**% egyszerűbb megoldás:**

```
páros_eleme2(L, P) :-
 member(P, L), P mod 2 =:= 0.
```

## Gyűjtés és felsorolás kapcsolata

- Vizsgáljuk meg, hogyan lehet egy felsoroló eljárást visszavezetni a gyűjtőre, és fordítva:
  - felsorolás gyűjtésből: a `member/2` könyvtári eljárás segítségével, pl.
 

```
páros_eleme(L, P) :-
 páros_elemei(L, Pk), member(P, Pk).
```

 Természetesen ez így nem hatékony!
  - gyűjtés felsorolásból: a megoldásgyűjtő beépített eljárások segítségével, pl.
 

```
páros_elemei(L, Pk) :-
 findall(P, páros_eleme(L, P), Pk).
% A páros_eleme(L, P) cél
% összes P megoldásának listája Pk.
```
  - a `findall/3` beépített eljárás – és társai – az Erlang listanézetnek felelnek meg, pl.:
 

```
% seq(+A, +B, ?L): L = [A,...,B], A és B egészek.
seq(A, B, L) :-
 B >= A-1
 findall(X, between(A, B, X), L).
```

## A findall(?Gyűjtő, :Cél, ?Lista) beépített eljárás

- Az eljárás végrehajtása (procedurális szemantikája):
  - a Cél kifejezést eljáráshívásként értelmezi, meghívja (A : annotáció meta- (azaz eljárás) argumentumot jelez);
  - minden egyes megoldásához előállítja Gyűjtő egy *másolatát*, azaz a változókat, ha vannak, szisztematikusan újakkal helyettesíti;
  - Az összes Gyűjtő másolat listáját egyesíti Lista-val.

- Példák az eljárás használatára:

```
| ?- findall(X, (member(X, [1,7,8,3,2,4]), X>3), L).
 => L = [7,8,4] ? ; no
| ?- findall(X-Y, (between(1, 3, X), between(1, X, Y)), L).
 => L = [1-1,2-1,2-2,3-1,3-2,3-3] ? ; no
```

- Az eljárás jelentése (deklaratív szemantikája):

Lista = { Gyűjtő **másolat** |  $(\exists X \dots Z) \text{Cél igaz}$  }  
 ahol X, ..., Z a findall hívásban levő szabad változók (azaz olyan, a hívás pillanatában behelyettesítetlen változók, amelyek a Cél-ban előfordulnak de a Gyűjtő-ben nem).

## A bagof(?Gyűjtő, :Cél, ?Lista) beépített eljárás

- Az eljárás végrehajtása (procedurális szemantikája):
  - a Cél kifejezést eljáráshívásként értelmezi, meghívja;
  - összegyűjti a megoldásait (a Gyűjtő-t és a szabad változók behelyettesítéseit);
  - a szabad változók összes behelyettesítését *felsorolja* és mindegyik esetén a Lista-ban megadja az összes hozzá tartozó Gyűjtő értéket.

- Példák az eljárás használatára:

```
gráf([a-b,a-c,b-c,c-d,b-d]).
| ?- gráf(_G), findall(B, member(A-B, _G), VegP).
 => VegP = [b,c,c,d,d] ? ; no
| ?- gráf(_G), bagof(B, member(A-B, _G), VegP).
 => A = a, VegP = [b,c] ? ;
 A = b, VegP = [c,d] ? ;
 A = c, VegP = [d] ? ; no
```

- A bagof eljárás jelentése (deklaratív szemantikája):

Lista = { Gyűjtő | Cél igaz }, Lista  $\neq$  [].

## A bagof megoldásgyűjtő eljárás (folyt.)

- Explicit egzisztenciális kvantorok
  - bagof(Gyűjtő,  $V_1 \wedge \dots \wedge V_n \wedge \text{Cél}$ , Lista) alakú hívása a  $V_1, \dots, V_n$  változókat egzisztenciálisan kvantálnak tekinti, így ezeket nem sorolja fel.
  - jelentése: Lista = { Gyűjtő |  $(\exists V_1, \dots, V_n) \text{Cél igaz}$  }  $\neq$  [].  

```
| ?- gráf(_G), bagof(B, A~member(A-B, _G), VegP).
 => VegP = [b,c,c,d,d] ? ; no
```

- Egymásba ágyazott gyűjtések

- szabad változók esetén a bagof nemdeterminisztikus lehet, így skatulyázható:

```
% A G irányított gráf fokszámlistája FL:
% FL = { A-N | N = |{ V | A-V ∈ G }|, N > 0 }
fokszámai(G, FL) :-
 bagof(A-N, Vk^(bagof(V, member(A-V, G), Vk),
 length(Vk, N)
), FL).
| ?- gráf(_G), fokszámai(_G, FL).
 => FL = [a-2,b-2,c-1] ? ; no
```

## A bagof megoldásgyűjtő eljárás (folyt.)

- Fokszámlista hatékonyabb előállítás
  - meta-argumentumban a célsorozat interpretáltan fut
  - segéd eljárás bevezetésével a kvantor is szükségtelenné válik:

*% Az A pont foka a G irányított gráfban N, N>0.*

```
pont_foka(A, G, N) :-
 bagof(V, member(A-V, G), Vks), length(Vks, N).
```

*% A G irányított gráf fokszámlistája FL:*

```
fokszámai(G, FL) :- bagof(A-N, pont_foka(A, G, N), FL).
```

- Példák a bagof/3 és findall/3 közötti kisebb különbségekre:

```
| ?- findall(X, (between(1, 5, X), X<0), L). => L = [] ? ; no
| ?- bagof(X, (between(1, 5, X), X<0), L). => no
| ?- findall(S, member(S, [f(X,X),g(X,Y)]), L).
 => L = [f(_A,_A),g(_B,_C)] ? ; no
| ?- bagof(S, member(S, [f(X,X),g(X,Y)]), L).
 => L = [f(X,X),g(X,Y)] ? ; no
```

- A bagof/3 logikailag tisztább mint a findall/3, de időigényesebb!

## A setof(?Gyűjtő, :Cél, ?Lista) beépített eljárás

- az eljárás végrehajtása:
  - ugyanaz mint: bagof(Gyűjtő, Cél, L0), sort(L0, Lista),
  - itt sort/2 egy univerzális rendező eljárás (lásd később), amely
  - az eredménylistát rendezzi (az ismétlődések kiszűrésével).

- Példa a setof/3 eljárás használatára:

```
gráf([a-b,a-c,b-c,c-d,b-d]).
```

```
% Gráf egy pontja P.
```

```
pontja(P, Gráf) :- member(A-B, Gráf), (P = A ; P = B).
```

```
% A G gráf pontjainak listája Pk.
```

```
gráf_pontjai(G, Pk) :- setof(P, pontja(P, G), Pk).
```

```
| ?- gráf(_G), gráf_pontjai(_G, Pk). => Pk = [a,b,c,d] ? ; no
```

## Tartalom

### 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások**
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## A meta-logikai, azaz a logikán túlmutató eljárások fajtái:

- A Prolog kifejezések pillanatnyi behelyettesítettségi állapotát vizsgáló eljárások (értelemszerűen logikailag nem tiszták):
  - kifejezések osztályozása (1)
 

```
| ?- var(X) /* X változó? */, X = 1. => X = 1
```

```
| ?- X = 1, var(X). => no
```
  - kifejezések rendezése (4)
 

```
| ?- X @< 3 /* X megelőzi 3-t? */, X = 4. => X = 4
```

```
% a változók megelőzik a nem változó kifejezéseket
```

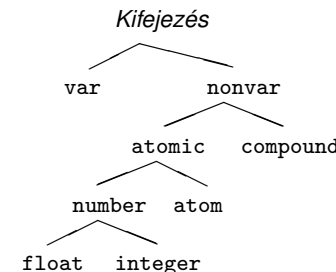
```
| ?- X = 4, X @< 3. => no
```
- Prolog kifejezéseket szétszedő vagy összerakó eljárások:
  - (struktúra) kifejezés  $\iff$  név és argumentumok (2)
 

```
| ?- X = f(alma,körte), X =.. L => L = [f,alma,körte]
```
  - névkonstansok és számok  $\iff$  karaktereik (3)
 

```
| ?- atom_codes(A, [0'a,0'b,0'a]) => A = aba
```

## Kifejezések osztályozása

- Kifejezésfajták – osztályozó beépített eljárások (ismétlés)



|             |                     |
|-------------|---------------------|
| var(X)      | X változó           |
| nonvar(X)   | X nem változó       |
| atomic(X)   | X konstans          |
| compound(X) | X struktúra         |
| atom(X)     | X atom              |
| number(X)   | X szám              |
| integer(X)  | X egész szám        |
| float(X)    | X lebegőpontos szám |

- SICStus-specifikus osztályozó eljárások:
  - simple(X): X nem összetett (konstans vagy változó);
  - callable(X): X atom vagy struktúra (nem szám és nem változó);
  - ground(X): X tömör, azaz nem tartalmaz behelyettesíthető változót.
- Az osztályozó eljárások használata – példák
  - var, nonvar – többirányú eljárásokban elágaztatásra
  - number, atom, ... – nem-megkülönböztetett úniók feldolgozása (pl. szimbolikus deriválás)

## Osztályozó eljárások: elágaztatás behelyettesíttség alapján

- Példa: a `length/2` beépített eljárás megvalósítása

```
% length(?L, ?N): Az L lista N hosszú.
```

```
length(L, N) :- var(N), length(L, 0, N).
```

```
length(L, N) :- nonvar(N), dlength(L, 0, N).
```

```
% length(?L, +IO, -I):
```

```
% Az L lista I-IO hosszú.
```

```
length([], I, I).
```

```
length(_|L, IO, I) :-
```

```
 I1 is IO+1,
```

```
 length(L, I1, I).
```

```
% dlength(?L, +IO, +I):
```

```
% Az L lista I-IO hosszú.
```

```
dlength([], I, I).
```

```
dlength(_|L, IO, I) :-
```

```
 IO < I, I1 is IO+1,
```

```
 dlength(L, I1, I).
```

```
| ?- length([1,2], Len). (length/3) => Len = 2 ? ; no
```

```
| ?- length([1,2], 3). (dlength/3) => no
```

```
| ?- length(L, 3). (dlength/3) => L = [_A,_B,_C] ? ;no
```

```
| ?- length(L, Len). (length/3) => L = [], Len = 0 ? ;
L = [_A], Len = 1 ? ; L = [_A,_B], Len = 2 ?
```

Struktúrák szétszedése és összerakása: az *univ* eljárás

- Az *univ* eljárás hívási mintái: `+Kif =.. ?Lista`  
`-Kif =.. +Lista`
- Az eljárás jelentése:
  - `Kif = Fun(A1, ..., An)` és `Lista = [Fun, A1, ..., An]`, ahol *Fun* egy névkonstans és *A<sub>1</sub>, ..., A<sub>n</sub>* tetszőleges kifejezések; vagy
  - `Kif = C` és `Lista = [C]`, ahol *C* egy konstans.

- Példák

```
| ?- el(a,b,10) =.. L. => L = [el,a,b,10]
| ?- Kif =.. [el,a,b,10]. => Kif = el(a,b,10)
| ?- alma =.. L. => L = [alma]
| ?- Kif =.. [1234]. => Kif = 1234
| ?- Kif =.. L. => hiba
| ?- f(a,g(10,20)) =.. L. => L = [f,a,g(10,20)]
| ?- Kif =.. [/X,2+X]. => Kif = X/(2+X)
| ?- [a,b,c] =.. L. => L = ['.',a,[b,c]]
```

Struktúrák szétszedése és összerakása: a *functor* eljárás

- `functor/3`: kifejezés funktorának, adott funktorú kifejezésnek az előállítás
- Hívási minták: `functor(-Kif, +Név, +Argszám)`  
`functor(+Kif, ?Név, ?Argszám)`
- Jelentése: `Kif` egy `Név/Argszám` funktorú kifejezés.
  - A konstansok 0-argumentumú kifejezésnek számítanak.
  - Ha `Kif` kimenő, az adott funktorú legáltalánosabb kifejezéssel egyesíti (argumentumaiban csupa különböző változóval).

- Példák:

```
| ?- functor(el(a,b,1), F, N). => F = el, N = 3
| ?- functor(E, el, 3). => E = el(_A,_B,_C)
| ?- functor(alma, F, N). => F = alma, N = 0
| ?- functor(Kif, 122, 0). => Kif = 122
| ?- functor(Kif, el, N). => hiba
| ?- functor(Kif, 122, 1). => hiba
| ?- functor([1,2,3], F, N). => F = '.', N = 2
| ?- functor(Kif, ., 2). => Kif = [_A|_B]
```

Struktúrák szétszedése és összerakása: az *arg* eljárás

- `arg/3`: kifejezés adott sorszámú argumentuma.
  - Hívási minta: `arg(+Sorszám, +StrKif, ?Arg)`
  - Jelentése: A `StrKif` struktúra `Sorszám`-adik argumentuma `Arg`.
  - Végrehajtása: `Arg`-ot az adott sorszámú argumentummal **egyesíti**.
  - Az `arg/3` eljárás így nem csak egy argumentum elővételére, hanem a struktúra változó-argumentumának behelyettesítésére is használható (ld. a 2. példát alább).

- Példák:

```
| ?- arg(3, el(a, b, 23), Arg). => Arg = 23
| ?- K=el(_,_,_), arg(1, K, a),
 arg(2, K, b), arg(3, K, 23). => K = el(a,b,23)
| ?- arg(1, [1,2,3], A). => A = 1
| ?- arg(2, [1,2,3], B). => B = [2,3]
```

- Az *univ* visszavezethető a *functor* és *arg* eljárásokra (és viszont), például:

```
Kif =.. [F,A1,A2] <=> functor(Kif, F, 2),
 arg(1, Kif, A1), arg(2, Kif, A2)
```

Az *univ* alkalmazása: ismétlődő sémák összevonása

- A feladat: egy szimbolikus aritmetikai kifejezésben a kiértékelhető (infix) részkifejezések helyettesítése az értékükkel.

- 1. megoldás, *univ* nélkül:

*% Az X szimbolikus kifejezés egyszerűsítése EX.*

```
egysz0(X, X) :- atomic(X).
```

```
egysz0(U+V, EKif) :-
 egysz0(U, EU), egysz0(V, EV),
 kiszamol(EU+EV, EU, EV, EKif).
```

```
egysz0(U*V, EKif) :-
 egysz0(U, EU), egysz0(V, EV),
 kiszamol(EU*EV, EU, EV, EKif).
```

*%...*

*% EU és EV részekből képzett EUV egyszerűsítése EKif.*

```
kiszamol(EUV, EU, EV, EKif) :-
 (number(EU), number(EV) -> EKif is EUV.
 ; EKif = EUV
).
```

```
| ?- deriv((x+y)*(2+x), x, D), egysz0(D, ED).
 => D = (1+0)*(2+x)+(x+y)*(0+1), ED = 1*(2+x)+(x+y)*1 ? ; no
```

Az *univ* alkalmazása: ismétlődő sémák összevonása (folyt.)

- Kifejezés-egyszerűsítés, 2. megoldás, *univ* segítségével

```
egysz(X, EX) :-
```

```
 atomic(X), EX = X.
```

```
egysz(Kif, EKif) :-
```

```
 Kif =.. [Muv,U,V], % Kif = Muv(U,V)
```

```
 egysz(U, EU), egysz(V, EV),
```

```
 EUV =.. [Muv,EU,EV], % EUV = Muv(EU,EV)
```

```
 kiszamol(EUV, EU, EV, EKif).
```

- Kifejezés-egyszerűsítés, általánosítás tetszőleges *tömör* kifejezésre:

```
egysz1(Kif, EKif) :-
```

```
 Kif =.. [M|ArgL], egysz1_lista(ArgL, EArgL), EKif0 =.. [M|EArgL],
```

```
 % catch(:Cél,?Kiv,:KCél): ha Cél kivételt dob, KCél-t futtatja:
```

```
 catch(EKif is EKif0, _, EKif = EKif0).
```

```
egysz1_lista([], []).
```

```
egysz1_lista([K|Kk], [E|Ek]) :-
```

```
 egysz1(K, E), egysz1_lista(Kk, Ek).
```

```
| ?- egysz1(f(1+2+a, exp(3,2), a+1+2), E). => E = f(3+a,9.0,a+1+2)
```

Általános kifejezés-bejárás *univ*-val: kiírás

- A feladat: egy tetszőleges kifejezés kiírása úgy, hogy
  - a kétargumentumú operátorok zárójelezett infix formában,
  - minden más alap-struktúra alakban jelenjen meg.

```
ki(Kif) :- compound(Kif), Kif =.. [Func, A1|ArgL],
 (% kétargumentumú kifejezés, funktora infix operátor
 ArgL = [A2], current_op(_, Kind, Func), infix_fajta(Kind)
 -> write('('), ki(A1),
 write(' '), write(Func), write(' '), ki(A2), write(')')
 ; write(Func), write('('), ki(A1), listaki(ArgL), write(')')
).
```

```
ki(Kif) :- simple(Kif), write(Kif).
```

*% infix\_fajta(F): F egy infix operátorfajta.*

```
infix_fajta(xfx). infix_fajta(xfy). infix_fajta(yfx).
```

*% Az [A1,...,An] listát ",A1,...,An" alakban kiírja.*

```
listaki([]).
```

```
listaki([A|AL]) :- write(','), ki(A), arglistaki(AL).
```

```
| ?- ki(f(+a, X*c*X, e)). => f(+a),((117 * c) * 117),e
```

Általános kifejezés-bejárás *univ*-val: változómentesítés

- A SICStus Prologban beépített `numbervars(?Kif, +NO, ?N)` eljárás:
  - A tetsz. `Kif` minden változóját helyettesíti egy `'$VAR'(I)` struktúrával, `I = NO, ..., N-1` (azaz `Kif`-ben `N-NO` különböző változó van).
- A `'$VAR'(0), '$VAR'(1), ...` kifejezések `write`-tal való kiírásakor változónévként (`A, B ...`) jelennek meg.
- A `write_term(Kif, Opciók)` beépített eljárás kiírja a `Kif` kifejezést, az `Opciók` által meghatározott módon.
- A `numbervars/3` által létrehozott `'$VAR'/1` struktúrák „eredetiben” is megjeleníthetők:
 

```
| ?- _K = [f(_X),g(_),_X], numbervars(_K, 0, N), write(_K), nl,
 write_term(_K, [quoted(true),numbervars(false)]), nl.
 ==> [f(A),g(B),A]
 [f('$VAR'(0)),g('$VAR'(1)),$VAR'(0)]
 N = 2
```
- A feladat: elkészítendő egy `numbervars1/3` eljárás, amely `'$VAR'` helyett `'$myvar'` funktort használ.



## Változómentesítés (folyt.)

- A változómentesítés egy saját megvalósítása:

```
% A Term kifejezésben levő változókat '$myvar(I)' stb.
% struktúrákkal helyettesíti be, I = NO, ... N-1.
numbervars1(Term, NO, N) :-
 (var(Term) ->
 Term = '$myvar'(NO), N is NO+1.
 ; Term =.. [_|Args],
 numbervars1_list(Args, NO, N)
).

% numbervars1_list(L, NO, N): Az L listában levő változókat
% '$myvar(I)' stb. struktúrákkal helyettesíti be, I = NO, ... N-1.
numbervars1_list([], N, N).
numbervars1_list([A|As], NO, N) :-
 numbervars1(A, NO, N1), numbervars1_list(As, N1, N).

| ?- Kif = [f(_X),g(_),_X], numbervars1(Kif, 0, N).
====> N = 2,
 Kif = [f('$myvar'(0)),g('$myvar'(1)),'$myvar'(0)]
```

## A numbervars1 eljárás egy alkalmazása

Két kifejezés azonossága

- A és B azonosak, ha változó-behelyettesítés *nélkül* egyesíthetőek; így:
- ha A változót tartalmaz, akkor B-ben ugyanott ugyanaz a változó áll, és viszont.
- azonos/2 == néven, nem\_azonos/2 \== néven beépített eljárás és operátor.

```
nem_azonos(X, Y) :-
 (numbervars1(X, 0, N), numbervars1(Y, N, _), X = Y -> fail
 ; true
).
```

```
azonos(X, Y) :- \+ nem_azonos(X, Y).
```

```
% azonos2/2 és azonos/2 teljesen ekvivalens.
```

```
% \+ \+ Hívás ≡ Hívás, de változóbehelyettesítést nem okoz
```

```
azonos2(X, Y) :-
 \+ \+ (numbervars1(foo(X,Y), 0, _), X = Y).
```

```
| ?- azonos(X, 1). ---> no
| ?- azonos(X, Y). ---> no
| ?- azonos(X, X). ---> true ?
| ?- append([], L1, L2), azonos(L1, L2). ---> L2 = L1 ?
```

## Univ alkalmazása: részkifejezések keresése

- A feladat: egy tetszőleges kifejezéshez soroljuk fel a benne levő számokat, és minden szám esetén adjuk meg annak a *kiválasztóját!*
- Egy részkifejezés kiválasztója egy olyan lista, amely megadja, mely argumentumpozíciók mentén juthatunk el hozzá.
- Az  $[i_1, i_2, \dots, i_k]$  lista egy Kif-ből az  $i_1$ -edik argumentum  $i_2$ -edik argumentumának, ...  $i_k$ -adik argumentumát választja ki.
- Pl.  $a*b+f(1,2,3)/c$ -ben b kiválasztója [1,2], 3 kiválasztója [2,1,3].

```
% kif_szám(?Kif, ?N, ?Kiv): Kif Kiv kiválasztójú része az N szám.
```

```
kif_szám(X, X, []) :-
 number(X).
kif_szám(X, N, [I|Kiv]) :-
 compound(X), % a változó kizárása miatt fontos!
 functor(X, _F, ArgNo), between(1, ArgNo, I), arg(I, X, X1),
 kif_szám(X1, N, Kiv).
```

```
| ?- kif_szám(f(1,[b,2]), N, K).
====> K = [1], N = 1 ? ;
 K = [2,2,1], N = 2 ? ; no
```

## Atomok szétszedése és összerakása

- atom\_codes/2: névkonstans és karakterkód-lista közötti átalakítás
  - Hívási minták: atom\_codes(+Atom, ?KódLista)
  - atom\_codes(-Atom, +KódLista)
  - Jelentése: Atom karakterkódjainak a listája KódLista.
  - Végrehajtása:
    - Ha Atom adott (bemenő), és a  $c_1 c_2 \dots c_n$  karakterekből áll, akkor KódLista-t egyesíti a  $[k_1, k_2, \dots, k_n]$  listával, ahol  $k_i$  a  $c_i$  karakter kódja.
    - Ha KódLista egy adott karakterkód-lista, akkor ezekből a karakterekből összerak egy névkonstanst, és azt egyesíti Atom-mal.

- Példák:

```
| ?- atom_codes(ab, Cs). => Cs = [97,98]
| ?- atom_codes(ab, [0'a|L]). => L = [98]
| ?- Cs="bc", atom_codes(Atom, Cs). => Cs = [98,99], Atom = bc
| ?- atom_codes(Atom, [0'a|L]). => hiba
```

## Atomok szétszedése és összerakása – példák

## ● Keresés névkonstansokban

*% Atom-ban a Rész nem üres részatom kétszer ismétlődik.*

```
dadogó_rész(Atom, Rész) :-
 atom_codes(Atom, Cs),
 Ds = [_|_],
 append([_,Ds,Ds,_], Cs),
 atom_codes(Rész, Ds).
```

```
| ?- dadogó_rész(babaruhaha, R). => R = ba ? ; R = ha ? ; no
```

## ● Atomok összefűzése

*% atom\_concat(+A, +B, ?C): A és B névkonstansok összefűzése C.*

*% (Szabványos beépített eljárás atom\_concat(?A, ?B, +C) módban is.)*

```
atom_concat(A, B, C) :-
 atom_codes(A, Ak), atom_codes(B, Bk),
 append(Ak, Bk, Ck),
 atom_codes(C, Ck).
```

```
| ?- atom_concat(abra, kadabra, A). => A = abrakadabra ?
```

## Számok szétszedése és összerakása

## ● number\_codes/2: szám és karakterkód-lista közötti átalakítás

- Hívási minták: `number_codes(+Szám, ?KódLista)`  
`number_codes(-Szám, +KódLista)`

- Jelentése: Igaz, ha Szám tízes számrendszerbeli alakja a KódLista karakterkód-listának felel meg.

## ● Végrehajtása:

- Ha Szám adott (bemenő), és a  $c_1 c_2 \dots c_n$  karakterekből áll, akkor KódLista-t egyesíti a  $[k_1, k_2, \dots, k_n]$  kifejezéssel, ahol  $k_i$  a  $c_i$  karakter kódja.
- Ha KódLista egy adott karakterkód-lista, akkor ezekből a karakterekből összerak egy számot (ha nem lehet, hibát jelez), és azt egyesíti Szám-mal.

## ● Példák:

```
| ?- number_codes(12, Cs). => Cs = [49,50]
| ?- number_codes(0123, [0'1|L]). => L = [50,51]
| ?- number_codes(N, " - 12.0e1"). => N = -120.0
| ?- number_codes(N, "12e1"). => hiba (nincs .0)
| ?- number_codes(120.0, "12e1"). => no (mert a szám adott! :-)
```

## Kifejezések rendezése: szabványos sorrend

- A Prolog szabvány definiálja két tetszőleges Prolog kifejezés sorrendjét.
- Jelölés:  $X \prec Y$  – az  $X$  kifejezés megelőzi az  $Y$  kifejezést.
- A szabványos sorrend definíciója:
  - 1  $X$  és  $Y$  azonos  $\Leftrightarrow X \prec Y$  és  $Y \prec X$  egyike sem igaz.
  - 2 Ha  $X$  és  $Y$  különböző osztályba tartozik, akkor az osztály dönt: *változó*  $\prec$  *lebegőpontos szám*  $\prec$  *egész szám*  $\prec$  *név*  $\prec$  *struktúra*.
  - 3 Ha  $X$  és  $Y$  változó, akkor sorrendjük rendszerfüggő.
  - 4 Ha  $X$  és  $Y$  lebegőpontos vagy egész szám, akkor  $X \prec Y \Leftrightarrow X < Y$ .
  - 5 Ha  $X$  és  $Y$  név, akkor a lexikografikus (abc) sorrend dönt.
  - 6 Ha  $X$  és  $Y$  struktúrák:
    - 1 Ha  $X$  és  $Y$  aritása ( $\equiv$  argumentumszáma) különböző, akkor  $X \prec Y \Leftrightarrow X$  aritása kisebb mint  $Y$  aritása.
    - 2 Egyébként, ha a struktúrák neve különböző, akkor  $X \prec Y \Leftrightarrow X$  neve  $\prec Y$  neve.
    - 3 Egyébként (azonos név, azonos aritás) balról az első nem azonos argumentum dönt.
- (A SICStus Prologban kiterjesztésként megengedett végtelen (ciklikus) kifejezésekre a fenti rendezés nem érvényes.)

## Kifejezések összehasonlítása – beépített eljárások

## ● Két tetszőleges kifejezés összehasonlítását végző eljárások:

| hívás                         | igaz, ha                                         |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| <code>Kif1 == Kif2</code>     | $Kif1 \not\prec Kif2 \wedge Kif2 \not\prec Kif1$ |
| <code>Kif1 \== Kif2</code>    | $Kif1 \prec Kif2 \vee Kif2 \prec Kif1$           |
| <code>Kif1 @&lt; Kif2</code>  | $Kif1 \prec Kif2$                                |
| <code>Kif1 @=&lt; Kif2</code> | $Kif2 \not\prec Kif1$                            |
| <code>Kif1 @&gt; Kif2</code>  | $Kif2 \prec Kif1$                                |
| <code>Kif1 @&gt;= Kif2</code> | $Kif1 \not\prec Kif2$                            |

- Az összehasonlítás mindig a belső ábrázolás (kanonikus alak) szerint történik:

```
| ?- [1, 2, 3, 4] @< struktúra(1, 2, 3). => sikerül (6.1 szabály)
```

Meta-logikai eljárások alkalmazása:  $\prec$  megvalósítása

```
% T1 megelőzi T2-t. Ekvivalens T1 @< T2 -vel, kivéve a változókat.
precedes(T1, T2) :- \+ \+ (numbervars(T1-T2, 0, _), prec(T1, T2)).
```

```
% class(+T, -C): A T kifejezés a C-edik kifejezőosztályba tartozik.
```

```
class(T, C) :-
 (T='$_VAR'(_) -> C=0 % változó
 ; float(T) -> C=1 % lebegőpontos szám
 ; integer(T) -> C=2 % egész szám
 ; atom(T) -> C=3 % névkonstans
 ; compound(T) -> C=4 % összetett kifejezés
).
```

```
% T1 megelőzi T2-t, a változók helyett már '$VAR'(n) áll.
```

```
prec(T1, T2) :- class(T1, C1), class(T2, C2),
 (C1 == C2 ->
 (C1 == 1 -> T1 < T2 % 4. szabály (lebegőpontos szám)
 ; C1 == 2 -> T1 < T2 % 4. szabály (egész szám)
 ; struct_prec(T1, T2) % 3., 5. és 6. szabály
) % (változó, név, struktúra)
 ; C1 < C2 % 2. szabály
).
```

A  $\prec$  reláció megvalósítása (folyt.)

```
% S1 megelőzi S2-t (S1 és S2 struktúra-kifejezés vagy névkonstans).
```

```
struct_prec(S1, S2) :-
 functor(S1, F1, N1), functor(S2, F2, N2),
 (N1 < N2 -> true
 ; N1 = N2,
 (F1 = F2 -> args_prec(1, N1, S1, S2)
 ; atom_prec(F1, F2)
)
).
```

```
% Az S1 struktúra-kifejezés NO, ..., N sorszámú argumentumai
```

```
% lexikografikusan megelőzik S2 azonos sorszámú argumentumait.
```

```
args_prec(NO, N, S1, S2) :- NO =< N,
 arg(NO, S1, A1), arg(NO, S2, A2),
 (A1 = A2 -> N1 is NO+1, args_prec(N1, N, S1, S2)
 ; prec(A1, A2)
).
```

```
% Az A1 névkonstans megelőzi az A2 névkonstanst.
```

```
atom_prec(A1, A2) :-
 atom_codes(A1, C1), atom_codes(A2, C2), struct_prec(C1, C2).
```

## Összefoglalás: a Prolog egyenlőség-szerű beépített eljárásai

- $U = V$ :  $U$  egyesítendő  $V$ -vel. Soha sem jelez hibát.

```
| ?- X = 1+2. => X = 1+2
| ?- 3 = 1+2. => no
| ?- X == 1+2. => no
| ?- 3 == 1+2. => no
| ?- +(1,2)==1+2 => yes
```

- $U == V$ :  $U$  azonos  $V$ -vel. Soha sem jelez hibát és soha sem helyettesít be.

- $U := V$ : Az  $U$  és  $V$  aritmetikai kifejezések értéke megegyezik. Hibát jelez, ha  $U$  vagy  $V$  nem (tömör) aritmetikai kifejezés.

```
| ?- X := 1+2. => hiba
| ?- 1+2 := X. => hiba
| ?- 2+1 := 1+2. => yes
| ?- 2.0 := 1+1. => yes
```

- $U is V$ :  $U$  egyesítendő a  $V$  aritmetikai kifejezés értékével. Hiba, ha  $V$  nem (tömör) aritmetikai kifejezés.

```
| ?- 2.0 is 1+1. => no
| ?- X is 1+2. => X = 3
| ?- 1+2 is X. => hiba
| ?- 3 is 1+2. => yes
| ?- 1+2 is 1+2. => no
```

- $(U =.. V$ :  $U$  „szétszedettje” a  $V$  lista)

```
| ?- 1+2 =.. X. => X = [+ , 1, 2]
| ?- X =.. [f,1]. => X = f(1)
```

## Összefoglalás: a Prolog nem-egyenlőség jellegű beépített eljárásai

A nem-egyenlőség jellegű eljárások soha sem helyettesítenek be változót!

- $U \neq V$ :  $U$  nem egyesíthető  $V$ -vel. Soha sem jelez hibát.

```
| ?- X \= 1+2. => no
| ?- +(1,2) \= 1+2. => no
```

- $U \neq V$ :  $U$  nem azonos  $V$ -vel. Soha sem jelez hibát.

```
| ?- X \== 1+2. => yes
| ?- 3 \== 1+2. => yes
| ?- +(1,2)\==1+2 => no
```

- $U \neq V$ : Az  $U$  és  $V$  aritmetikai kifejezések értéke különbözik. Hibát jelez, ha  $U$  vagy  $V$  nem (tömör) aritmetikai kifejezés.

```
| ?- X \= 1+2. => hiba
| ?- 1+2 \= X. => hiba
| ?- 2+1 \= 1+2. => no
| ?- 2.0 \= 1+1. => no
```

## A Prolog (nem-)egyenlőség jellegű beépített eljárásai – példák

|     |        | Egyesítés |                    | Azonosság |                     | Aritmetika |                    |                   |
|-----|--------|-----------|--------------------|-----------|---------------------|------------|--------------------|-------------------|
| $U$ | $V$    | $U = V$   | $U \backslash = V$ | $U == V$  | $U \backslash == V$ | $U := V$   | $U \backslash = V$ | $U \text{ is } V$ |
| 1   | 2      | no        | yes                | no        | yes                 | no         | yes                | no                |
| a   | b      | no        | yes                | no        | yes                 | error      | error              | error             |
| 1+2 | +(1,2) | yes       | no                 | yes       | no                  | yes        | no                 | no                |
| 1+2 | 2+1    | no        | yes                | no        | yes                 | yes        | no                 | no                |
| 1+2 | 3      | no        | yes                | no        | yes                 | yes        | no                 | no                |
| 3   | 1+2    | no        | yes                | no        | yes                 | yes        | no                 | yes               |
| X   | 1+2    | X=1+2     | no                 | no        | yes                 | error      | error              | X=3               |
| X   | Y      | X=Y       | no                 | no        | yes                 | error      | error              | error             |
| X   | X      | yes       | no                 | yes       | no                  | error      | error              | error             |

Jelmagyarázat: *yes* – siker; *no* – meghiúsulás, *error* – hiba.

## Tartalom

## 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszer elemek

## Prolog nyelvi eszközök a keresési tér szűkítésére

- Eszközök
  - Az első Prolog rendszerektől kezdve: vágó, szabványos jelölése !
  - Későbbi kiterjesztés: az ( `if -> then ; else` ) feltételes szerk.
- Feltételes szerkezet – procedurális szemantika (ismétlés)  
A ( `felt->akkor; egyébként` ), `folyt` célsorozat végrehajtása:
  - Végrehajtjuk a `felt` hívást (egy önálló végrehajtási környezetben).
  - Ha `felt` sikeres  $\implies$  „`akkor, folyt`” célsorozattal folytatjuk, a `felt` első megoldása által eredményezett behelyettesítésekkel. A `felt` cél többi megoldását nem keressük meg!
  - Ha `felt` meghiúsul  $\implies$  „`egyébként, folyt`” célsorozattal folytatjuk.
- Feltételes szerkezet – alternatív procedurális szemantika:
  - A feltételes szerkezetet egy speciális diszjunkciónak tekintjük:
 

```
(felt, {vágás}, akkor
; egyébként
)
```
  - A **{vágás}** jelentése: megszünteti a `felt`-beli választási pontokat, és egyébként választását is letiltja.

## Feltételes szerkezet: választási pontok a feltételben

- Eddig főleg determinisztikus (választásmentes) feltételeket mutattunk.
- Példafeladat: `első_poz_elem(L, P)`: P az L lista első pozitív eleme.
  - Első megoldás, rekurzióval (mérnöki)
 

```
első_poz_elem([X|_], X) :- X > 0.
első_poz_elem([X|L], EP) :- X <= 0, első_poz_elem(L, EP).
```
  - Második megoldás, visszalépéses kereséssel (matematikus)
 

```
első_poz_elem(L, EP) :-
 append(NemPozL, [EP|_], L), EP > 0,
 \+ van_poz_eleme(NemPozL).
van_poz_eleme(L) :- member(P, L), P > 0.
```
  - Harmadik megoldás, feltételes szerkezettel (Prolog hekker)
 

```
első_poz_elem(L, EP) :-
 (member(EP, L), EP > 0 -> true
; fail % ez a sor elhagyható
).
```
- Figyelem: a harmadik megoldás épít a `member/2` felsorolási sorrendjére, és `első_poz_elem(+,+)` módban hibásan működhet!

## A vágó eljárás

- A vágó beépített eljárás (!) végrehajtása:
  - 1 letiltja az adott predikátum további klózainak választását,
 

```
első_poz_elem([X|_], X) :- X > 0, !.
első_poz_elem([X|L], EP) :- X =< 0, első_poz_elem(L, EP).
```
  - 2 megszünteti a választási pontokat az előtte levő eljáráshívásokban.
 

```
első_poz_elem(L, EP) :- member(EP, L), EP > 0, !.
```
- Miért vágunk le ágakat a keresési térben?
  - Mi tudjuk, hogy nincs megoldás, de a Prolog nem – **zöld** vágó
    - (Például, a legtöbb Prolog megvalósítás „nem tudja”, hogy a  $X > 0$  és  $X \leq 0$  feltételek kizárják egymást.)
  - Eldobunk megoldásokat – **vörös** vágó, ez a program jelentését megváltoztatja
    - (Vörös vágó lesz a zöldből ha a „felesleges” feltételeket elhagyjuk (pl. az  $X \leq 0$  feltételt a fenti 2. klózban)

## Példák a vágó eljárás használatára

```
% fakt(+N, ?F): N! = F.
fakt(0, 1) :- !.
fakt(N, F) :- N > 0, N1 is N-1, fakt(N1, F1), F is N*F1.
```

zöld

```
% last(+L, ?E): L utolsó eleme E.
last([E], E) :- !.
last(_|L, Last) :- last(L, Last).
```

zöld

```
% pozitívak(+L, -P): P az L pozitív elemeiből áll.
pozitívak([], []).
pozitívak([E|Ek], [E|Pk]) :-
 E > 0, !,
 .
 pozitívak(Ek, Pk).
pozitívak(_|Ek, Pk) :-
 /* \+ _E > 0, */ pozitívak(Ek, Pk). Ha nincs kikommentezve
 akkor zöld
```

vörös

Figyelem: a fenti példák nem tökéletesek, hatékonyabb ill. általánosabban használható változatukat később ismertetjük!

## A vágó definíciója

- Segédfogalom: egy cél **szülőjének** az őt tartalmazó klóz fejével illesztett hívást nevezzük
  - A 4-kapus modellben a szülő a körülvevő dobozhoz rendelt cél.
  - Pl. `last([E], E) :- !.` – a vágó szülője lehet a `last([7], X)` hívás.
  - A `g` nyomkövető parancs a cél őseit listázza ki.
- A vágó végrehajtása:
  - mindig sikerül; de mellékhatásként a végrehajtás adott állapotától visszafelé egészen a szülő célíg – azt is beleértve – megszünteti a választási pontokat.
- A vágás kétféle választási pontot szüntet meg:
 

```
r(X) :- s(X), !. % az s(X)-beli választási pontokat – a vágót megelőző
 % cél(ok)nak az első megoldására való megszorítás
r(X) :- t(X). % az r(X) további klózainak választását – a vágót tartalmazó
 % klóz mellett való elköteleződés (commit)
```
- A vágó szemléltetése a 4-kapus doboz modellben: a vágó Redo kapujából a körülvevő (szülő) doboz Fail kapujára megyünk.

## A vágó által megszüntetett választási pontok

```
% vágó nélküli példa
q(X) :- s(X).
q(X) :- t(X).
```

```
% ugyanaz a példa vágóval
r(X) :- s(X), !.
r(X) :- t(X).
```

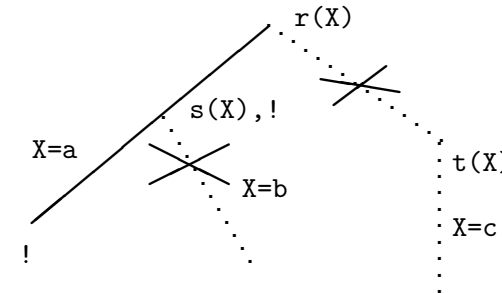
```
s(a). s(b). t(c).
```

```
% a vágó nélküli példa futása
:- q(X), write(X), fail.
```

```
--> abc
```

```
% a vágót tartalmazó példa futása
:- r(X), write(X), fail.
```

```
--> a
```



## A diszjunktív feltételes szerkezet visszavezetése vágóra

- A diszjunktív feltételes szerkezet, a diszjunkcióhoz hasonlóan egy segédjárással váltható ki:

```

p :-
 aaa,

 (felt1 -> akkor1
 ; felt2 -> akkor2
 ; ...
 ; egyébként
),
 zzz.

p :-
 aaa, segéd(...), zzz.

segéd(...) :- felt1, !, akkor1.
segéd(...) :- felt2, !, akkor2.
...
segéd(...) :- egyébként.

```

- Az egyébként ág elmaradhat, ilyenkor a megfelelő klóz is elmarad.
- A felt részekben értelmetlen vágót használni
- Az akkor részekben lehet vágó. Ennek hatásköre, a  $\rightarrow$  nyílból generált vágóval ellentétben, a teljes  $p$  predikátum (ilyenkor a Prolog megvalósítás egy speciális, ún. távolbaható vágót használ).
- Vágót rendkívül ritkán szükséges feltételes szerkezetben szerepeltetni.

## Feltételes szerkezetek és fejlesztés

- Vigyázat: a tényleges feltétel részét képezik a fejbeli egyesítések!

```

% abs(X, A): A = |X| (A az X abszolút értéke).
abs(X, X) :- X >= 0, !.
abs(X, A) :- A is -X.

% a vágó előtt van fej-egyesítés
abs(X, A) :- A = X, X >= 0, !.
abs(X, A) :- A is -X.
% az egyesítés explicitté téve

```

- A fej-egyesítés gondot okozhat, ha az eljárást ellenőrzésre használjuk:
 

```
| ?- abs(10, -10). --> yes
```
- A megoldás a **vágás alapszabálya**:

- A kimenő paraméterek értékadását mindig a vágó után végezzük!**

```

abs(X, A) :- X >= 0, !, A = X.
abs(X, A) :- A is -X.

```

- Ez nemcsak általánosabban használható, hanem hatékonyabb kódot is ad: csak akkor helyettesíti be a kimenő paramétert, ha már tudja, mi az értéke (nincs „előre-behelyettesítés”, mint a fenti példákban).
- „**kimenő**” paraméterek – vágó alkalmazásakor általában nincs többirányú használat :-)

## A vágás első alapesete – klóz mellett való elkötelezés

- A klóz melletti elkötelezés egy egyszerű feltételes szerkezetet jelent.

```

szülő :- feltétel, !, akkor.
szülő :- egyébként.

```

- A vágó szükségtelenné teszi a feltétel negációjának végrehajtását a többi klózban. A logikailag tiszta, de nem hatékony alak:

```

szülő :- feltétel, akkor.
szülő :- \+ feltétel, egyébként.

```

De: a fenti két alak csak akkor ekvivalens, ha feltétel egyszerű, nincs benne választás.

- Analógia: ha  $a$ ,  $b$  és  $c$  Boole-értékű változók, akkor

```

if a then b else c \equiv a \wedge b \vee \neg a \wedge c

```

- A vágó által kiváltott negált feltételt célszerű kommentként jelezni:

```

szülő :- feltétel, !, akkor.
szülő :- /* \+ feltétel, */ egyébként.

```

## A bevezető példák a vágás alapszabályát betartó változata

```

% fakt(+N, ?F): N! = F.
fakt(0, F) :- !, F = 1.
fakt(N, F) :- N > 0, N1 is N-1, fakt(N1, F1), F is N*F1.

```

```

% last(+L, ?E): az L nem üres lista utolsó eleme E.
last([E], Last) :- !, Last = E.
last(_|L, Last) :- last(L, Last).

```

```

% pozitívak(+L, ?Pk): Pk az L pozitív elemeiből áll.
pozitívak([], []).
pozitívak([E|Ek], Pk) :-
 E > 0, !, Pk = [E|Pk0], pozitívak(Ek, Pk0).
pozitívak(_|Ek, Pk) :-
 /* \+ _E > 0, */ pozitívak(Ek, Pk).

```

**Megjegyzés:** a diszjunktív alakban a feltételek eleve explicitek, nincs fejlesztesi probléma, ezért **a diszjunktív feltételes szerkezet használatát javasoljuk a vágó helyett.**

Példa:  $\max(X, Y, Z)$ : X és Y maximuma Z.

- 1. változat, tiszta Prolog. Lassú (előre-behelyettesítés, két hasonlítás), választási pontot hagy.

```
max(X, Y, X) :- X >= Y.
max(X, Y, Y) :- Y > X.
```

- 2. változat, zöld vágóval. Lassú (előre-behelyettesítés, két hasonlítás), nem hagy választási pontot.

```
max(X, Y, X) :- X >= Y, !.
max(X, Y, Y) :- Y > X.
```

- 3. változat, vörös vágóval. Gyorsabb (előre-behelyettesítés, egy hasonlítás), nem hagy választási pontot, de nem használható ellenőrzésre, pl. `?- max(10, 1, 1)` sikerül.

```
max(X, Y, X) :- X >= Y, !.
max(X, Y, Y).
```

- 4. változat, vörös vágóval. Helyes, nagyon gyors (egy hasonlítás, nincs előre-behelyettesítés) és nem is hoz létre választási pontot.

```
max(X, Y, Z) :- X >= Y, !, Z = X.
max(X, Y, Y) /* :- Y > X */.
```

## A vágás második alapesete – első megoldásra való megszorítás

- Mikor használjuk az első megoldásra megszorító vágót?
  - behelyettesítést nem okozó, eldöntendő kérdés esetén;
  - feladatspecifikus optimalizálásra (hekkelésre `:-`);
  - végtelen választási pontot létrehozó eljárások megszelidítésére.
- Eldöntendő kérdés: eljáráshívás csupa bemenő paraméterrel
 

```
% egy_komponensbeli(+A, +B, +Gráf):
% Az A és B pontok a G gráfnak ugyanabban a komponensében vannak.
egy_komponensbeli(A, B, Gráf) :-
 utvonal(A, B, Gráf), !.
```
- Eldöntendő kérdés esetén általában nincs értelme többszörös választ adni/várni.

## Feladatspecifikus optimalizálás

- A feladat: megállapítandó egy lista első fennsíkjának a hossza. (*Fennsík*nek nevezzük egy számlista olyan folytonos, nem üres részlistáját, amelyik pozitív számokból áll és semelyik irányban sem terjeszthető ki.)

% Az L lista első fennsíkjának a hossza H.

```
efhossz(L, H) :-
 append(_NemFennsik, FennsikMaradek, L),
 FennsikMaradek = [X|_], X > 0, !,
 append(Fennsik, Maradek, FennsikMaradek),
 (Maradek = []
 ; Maradek = [Y|_], Y <= 0
), !,
 length(Fennsik, H).
```

- a fenti **diszjunkció** kiváltható egy negációval:

```
\+!(Maradek = [Y|_], Y > 0)
```

Végtelen választás megszelidítése: `memberchk`

- A `memberchk/2` beépített eljárás Prolog definíciója:

```
% memberchk(X, L): "X eleme az L listának" kérdés első megoldása.
```

```
% 1. változat % 2. ekvivalens változat
memberchk(X, L):- memberchk(X, [X|_]) :- !.
 member(X, L), !. memberchk(X, [_|L]) :-
 memberchk(X, L).
```

- `memberchk/2` használata

- Eldöntő kérdésben (visszalépéskor nem keresi végig a lista maradékát.)

```
| ?- memberchk(1, [1,2,3,4,5,6,7,8,9]).
```

- Nyílt végű lista elemévé tesz, pl.:

```
| ?- memberchk(1,L), memberchk(2,L), memberchk(1,L).
 L = [1,2|_A] ?
```

## Nyílt végű listák kezelése memberchk segítségével: szótárprogram

## Tartalom

```
szótáraz(Sz):-
 read(M-A), !,
 % A read(X) beépített eljárás egy kifejezést
 % olvas be és egyesíti X-szel
 memberchk(M-A,Sz),
 write(M-A), nl,
 szótáraz(Sz).
szótáraz(_).
```

## Egy futása:

```
| ?- szótáraz(Sz).
|: alma-apple. |: alma-X.
alma-apple alma-apple
|: korte-pear. |: X-pear.
korte-pear korte-pear
 |: vege. % nem egyesíthető M-A-val

Sz = [alma-apple,korte-pear|_A] ?
```

## 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Vezérlési eljárások, a call/1 beépített eljárás

## Vezérlési szerkezetek mint eljárások

- Vezérlési eljárás: A Prolog végrehajtáshoz kapcsolódó beépített eljárás.
- A vezérlési eljárások többsége **magasabbrendű** eljárás, azaz olyan eljárás, amely egy vagy több argumentumát eljáráshívásként értelmezi. (A magasabbrendű Prolog eljárásokat szokás **meta-eljárásnak** is hívni.)
- A meta-eljárások fő képviselője és alapvető építőeleme a call/1:
  - Hívási minta: call(+Cél)
  - Cél egy „meghívható kifejezés” (callable, vö. callable/1), azaz struktúra, vagy névkonstans.
  - Jelentése (deklaratív szemantika): Cél igaz.
  - Hatása (procedurális szemantika): a Cél kifejezést eljáráshívássá alakítja és meghívja.
- A klóztörzsben célként megengedett egy X változó használata, ezt a rendszer egy call(X) hívássá alakítja át.

```
| kétszer(Hívás) :- call(Hívás), Hívás.

| ?- kétszer(write(ba)), nl. => baba
| ?- listing(kétszer). => kétszer(A) :-
 call(user:A), call(user:A).
```

- A call/1 argumentumában szerepelhetnek vezérlési szerkezetek is, mert ezek maguk beépített eljárásként is jelen vannak a Prolog rendszerben:
  - (', ')/2: konjunkció.
  - (;)/2: diszjunkció.
  - (->)/2: if-then.
  - (;)/2: if-then-else.
- A call-ban szereplő vezérlési szerkezetek lényegében ugyanúgy futnak, mint az interpretált (consult-tal betöltött) kód.
- Példák:

```
| ?- _Cél = (kétszer(write(ba)), write(' ')), kétszer(_Cél), nl.
baba baba
| ?- kétszer((member(X, [a,b,c,d]), write(X), fail ; nl)).
abcd
abcd
```



## call/1 példa: futási időt mérő meta-eljárás

```
% Kiírja Goal első megoldásának előállításához vagy a meghiúsuláshoz
% szükséges időt, a Txt szöveg kíséretében.
time(Txt, Goal) :-
 statistics(runtime, [T0,_]), % T0 az indítás óta eltelt CPU idő,
 % msec-ban (szemétyűjtés nélkül).
 (
 call(Goal) -> Res = true
 ; Res = false
),
 statistics(runtime, [T1,_]), T is T1-T0,
 format('~w futási idő = ~3d sec\n', [Txt,T]),
 % ~w formázó: kiírás a write/1 segítségével
 % ~3d formázó: I egész kiírása I/1000-ként, 3 tizedesre
 Res = true.
```

A call/1 költséges: egy 4472 hosszú lista megfordítása nrev-vel (kb. 10 millió append hívás), minden append körül egy felesleges call-lal ill. anélkül:

|               | call nélkül | call-lal | Lassulás |
|---------------|-------------|----------|----------|
| lefordítva    | 0.47 sec    | 2.46 sec | 5.23     |
| interpretálva | 6.97 sec    | 8.66 sec | 1.24     |

## További beépített vezérlési eljárások

- \+ Cél: Cél „nem bizonyítható”. A beépített eljárás definíciója:  
`\+ X :- call(X), !, fail.`  
`\+ _X.`
- once(Cél): Cél igaz, és csak az első megoldását kérjük. Definíciója:  
`once(X) :- call(X), !.` vagy  
`once(X) :- ( call(X) -> true ).`
- true: azonosan igaz, fail: azonosan hamis (mindig meghiúsul).
- repeat: végtelen sokszor igaz (végtelen választási pont). Definíciója:  
`repeat.`  
`repeat :- repeat.`
- A repeat eljárást egy mellékhatásos eljárás ismétlésére használhatjuk. A végtelen választási pontot kötelező egy vágóval semlegesíteni!
- Példa (egyszerű kalkulátor):  
`bc :- repeat, read(Expr),`  
`( Expr = end_of_file -> true`  
`; Res is Expr, write(Expr = Res), nl, fail`  
`),`  
`!.`

## Példa: magasabbrendű reláció definiálása

- Az implikáció ( $P \Rightarrow Q$ ) megvalósítása negáció segítségével:

```
% P minden megoldása esetén Q igaz.
forall(P, Q) :-
 \+ (P, \+Q). % Szintaktikus emlékeztető:
 % az első \+ után kötelező a szóköz!

| ?- _L = [1,2,3],
 % _L minden eleme pozitív:
 forall(member(X, _L), X > 0).
true ?
| ?- _L = [1,-2,3], forall(member(X, _L), X > 0).
no
| ?- _L = [1,2,3],
 % _L szigorúan monoton növény:
 forall(append(_, [A,B|_], _L), A < B).
true ?
```

- forall/2 csak eldöntendő kérdés esetén használható.

## Tartalom

## 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
  - Determinizmus és indexelés
  - Jobbrekurzió és akkumulátorok
  - Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
  - Listák és fák akkumulálása – példák
  - Imperatív programok átírása Prologba
  - Modularitás
  - Magasabbrendű eljárások
  - Dinamikus adatbáziskezelés
  - Egy összetettebb példaprogram
  - „Hagyományos” beépített eljárások
  - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## A Prolog megvalósítás néhány mérföldköve

- 1973: Marseille Prolog (A. Colmerauer et al.)
  - értelmező (interpreter), Fortran nyelven
  - kifejezések ábrázolása: struktúra-osztásos (structure-sharing)
  - veremszervezés: egyetlen verem (csak visszalépéskor szabadul fel)
- 1977: DEC-10 Prolog (D. H. D. Warren)
  - fordítóprogram Prolog és assembly nyelven (+ értelmező Prologban)
  - kifejezések ábrázolása: struktúra-osztásos
  - veremszervezés: három verem (visszalépéskor felszabadulnak)
    - globális verem (global): struktúra-beli változók, személygyűjtött
    - fő/lokális verem (main/local): eljárások, választási pontok, változók, determinisztikus lefutáskor felszabadul
    - nyom (trail): változó-behelyettesítések (vágónál felszabadítható)
- 1983: WAM — Warren Abstract Machine (D. H. D. Warren)
  - absztrakt gép Prolog programok végrehajtására
  - kifejezések ábrázolása: struktúra-másolásos (structure-copying)
  - három verem, (ld. DEC-10), a struktúrákat a globális verem tárolja
  - A legtöbb mai Prolog WAM alapú (SICStus, SWI, GNU Prolog, ...)

## Struktúrák ábrázolása

- A kétféle kifejezés-ábrázolás összehasonlítása:

|                        | struktúra-osztásos         | struktúra-másolásos          |
|------------------------|----------------------------|------------------------------|
| tárigény:              | $O(\text{változók száma})$ | $O(\text{struktúra mérete})$ |
| struktúra-építés ideje | konstans                   | $O(\text{struktúra mérete})$ |
| struktúra-szétszedés   | költségesebb               | kevésbé költséges            |

- Struktúra **építése**: egy változónak és egy **programszövegbeli** struktúrának az egyesítése
- FONTOS: egy változó értékeként megjelenő struktúra egyesítése egy behelyettesítetlen változóval mindenképpen konstans költségű!
- Példa:
 

```
hosszabbít(L, [1,2,3,...,n|L]).
sokszoroz(0, L) :- !, L = [].
sokszoroz(N, L) :-
 hosszabbít(L0, L), N1 is N-1, sokszoroz(N1, L0).
```
- `sokszoroz(n, L)` idő- és tárigénye struktúra-osztásnál  $O(n)$ , struktúra-másolásnál  $O(n^2)$
- A gyakorlatban mégis a struktúra-másolásos megoldás a hatékonyabb.

## WAM: Prolog kifejezések tárolása (LBT – low bit tagging scheme)

- Behelyettesítetlen változó:
 

|           |     |
|-----------|-----|
| saját cím | REF |
|-----------|-----|
- Változóra való utalás:
 

|                  |     |
|------------------|-----|
| másik vált. címe | REF |
|------------------|-----|
- Névkonstans:
 

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| atom tábla index | A | CON |
|------------------|---|-----|
- Egész szám:
 

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| egész érték | I | CON |
|-------------|---|-----|
- Lista:
 

|     |      |
|-----|------|
| cím | LIST |
|-----|------|
- Struktúra:
 

|     |      |
|-----|------|
| cím | STRU |
|-----|------|
- A SICStus 3.x rendszer a 4 legmagasabb helyiértékű biten tárolja jelzőket (tag) — ezért a veremterületek mérete 256 Mbyte-ban korlátozott. (SICStus 4-ben már LBT séma van.)
 

|      |                 |
|------|-----------------|
| cím: | fej-kifejezés   |
|      | farok-kifejezés |

|      |                     |
|------|---------------------|
| cím: | funktor tábla index |
|      | argumentum-kif.     |
|      | ...                 |

## WAM: néhány további részlet

- Változók kezelése
  - Két változó egyesítése: a fiatalabbik = az öregebbre utaló **REF**
  - **Utalástalanítás**: az (esetleg többtagú) REF-lánc követése
  - Behelyettesítetlen változó  $\equiv$  önmagára mutató utalás  $\Rightarrow$  egyszerűbb utalástalanítás
- Visszalépés
  - **Feltételes változó**: olyan behelyettesítetlen változó, amely öregebb mint a legfrissebb választási pont
  - Feltételes változó behelyettesítése esetén a változó címét beírjuk a nyom-verembe
  - Visszalépéskor a nyom alapján „visszacsináljuk” a változó-behelyettesítéseket, majd a vermeket visszahúzzuk
- SICStus WAM visszafejtő (nem dokumentált, változhat):
 

```
| ?- use_module(library(disassembler)).
(...).
| ?- disassemble(<predikátum>/<argumentumszám>).
```
- A WAM bemutatása (tutorial): <http://wambook.sourceforge.net/>

## Tartalom

## 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- **Determinizmus és indexelés**
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Determinizmus

- Egy hívás **determinisztikus**, ha (legfeljebb) egyféleképpen sikerülhet.
- Egy eljáráshívás egy sikeres végrehajtása **determinisztikusan futott le**, ha nem hagyott választási pontot a híváshoz tartozó részében:
  - vagy **választásmentesen** futott le, azaz létre sem hozott választási pontot (figyelem: ez a Prolog megvalósítástól függ!);
  - vagy létrehozott ugyan választási pontot, de megszüntette (kimerítette, levágta).
- A SICStus Prolog nyomkövetésében **?** jelzi a **nem**determinisztikus lefutást:

```

p(1, a). | | ?- p(1, X). | | % det. hívás,
p(2, b). | | 1 1 Exit: p(1,a) | | % det. lefutás
p(3, b). | | ?- p(Y, a). | | % det. hívás,
| | ? 1 1 Exit: p(1,a) | | % nemdet. lefutás
| | ?- p(Y, b), Y > 2. | | % nemdet. hívás
| | ? 1 1 Exit: p(2,b) | | % nemdet. lefutás
| | 1 1 Exit: p(3,b) | | % det. lefutás

```

## A determinisztikus lefutás és a választásmentesség

## Választásmentesség feltételes szerkezetek esetén

- Mi a **determinisztikus lefutás** haszna?
  - a futás gyorsabb lesz,
  - a tárigény csökken,
  - más optimalizálások (pl. jobbrekurzió) alkalmazható.
- Hogyan ismerheti fel a fordító a **választásmentességet**
  - egyszerű feltételes szerkezet (vö. Erlang őrfeltétel)
  - indexelés (indexing)
  - vágó és indexelés kölcsönhatása
- Az alábbi definíciók esetén a  $p(\text{Nonvar}, Y)$  hívás **választásmentes**, azaz nem hoz létre választási pontot:

## Egyszerű feltétel

```

p(X, Y) :-
 (X := 1 -> Y = a
 ; Y = b
).

```

## Indexelés

```

p(1, a).
p(2, b).

```

## Indexelés és vágó

```

p(1, Y) :- !,
 Y = a.
p(_, b).

```

- Feltételes szerkezet végrehajtásakor általában választási pont jön létre.
- A **SICStus Prolog** a „( felt -> akkor ; egyébként )” szerkezetet választásmentesen hajtja végre, ha a **felt** konjunkció tagjai csak:
  - aritmetikai összehasonlító eljáráshívások (pl. <, =, =:=), és/vagy
  - kifejezés-típust ellenőrző eljáráshívások (pl. atom, number), és/vagy
  - általános összehasonlító eljáráshívások (pl. @<, @=<, ==).
- Választásmentes kód keletkezik a „fej :- felt, !, akkor.” klózból, ha **fej** argumentumai különböző változók, és **felt** olyan mint fent.
- Például választásmentes kód keletkezik az alábbi definíciókból:

```

vektorfajta(X, Y, Fajta) :-
 (X := 0, Y := 0
 % X=0, Y=0 nem lenne jó
 -> Fajta = null
 ; Fajta = nem_null
).

```

```

vektorfajta(X, Y, Fajta) :-
 X := 0, Y := 0, !,
 Fajta = null.
vektorfajta(_X, _Y, nem_null).

```

## Indexelés

- Mi az indexelés?
  - egy adott hívásra illeszthető klózik gyors kiválasztása,
  - egy eljárás klózainak **fordítási idejű** csoportosításával.
- A legtöbb Prolog rendszer, így a SICStus Prolog is, az első fej-argumentum alapján indexel (first argument indexing).
- Az indexelés alapja az első fejargumentum külső funktora:
  - C szám vagy névkonstans esetén C/0;
  - R nevű és N argumentumú struktúra esetén R/N;
  - változó esetén nem értelmezett.
- Az indexelés megvalósítása:
  - Fordítási időben: funktor  $\Rightarrow$  illeszthető fejjű klózik részhalmaza .
  - Futási időben: a részhalmaz lényegében konstans idejű kiválasztása (hash tábla használatával).
  - **Fontos:** ha egyelemű a részhalmaz, nincs választási pont!

## Példa indexelésre

|                  |           |       |
|------------------|-----------|-------|
| p(0, a).         | /* (1) */ | q(1). |
| p(X, t) :- q(X). | /* (2) */ | q(2). |
| p(s(0), b).      | /* (3) */ |       |
| p(s(1), c).      | /* (4) */ |       |
| p(9, z).         | /* (5) */ |       |

- A p(A, B) hívással illesztendő klózhalmaz:
  - {(1) (2) (3) (4) (5)} ha A változó;
  - {(1) (2)} ha A = 0;
  - {(2) (3) (4)} ha A fő funktora s/1;
  - {(2) (5)} ha A = 9;
  - {(2)} minden más esetben.
- Példák hívásokra:
  - p(1, Y) nem hoz létre választási pontot.
  - p(s(1), Y) létrehoz választási pontot, de determinisztikusan fut le.
  - p(s(0), Y) nemdeterminisztikusan fut le.

## Struktúrák, változók a fejargumentumban

- Ha a klózik szétválasztásához szükség van az első (struktúra) argumentum részeire is, akkor érdemes segédeljárást bevezetni.
- Pl. p/2 és q/2 ekvivalens, de q(Nonvar, Y) determinisztikus lefutású!

|             |                 |                 |
|-------------|-----------------|-----------------|
| p(0, a).    | q(0, a).        | q_segged(0, b). |
| p(s(0), b). | q(s(X), Y) :-   | q_segged(1, c). |
| p(s(1), c). | q_segged(X, Y). |                 |
| p(9, z).    | q(9, z).        |                 |

- Az indexelés figyelembe veszi a törzs elején szereplő egyenlőséget: p(X, ...) :- X = Kif, ... esetén Kif funktora szerint indexel.
- Példa: lista hosszának reciproka, üres lista esetén 0:

```
rhossz([], 0).
rhossz(L, RH) :- L = [_|_], length(L, H), RH is 1/H.
```

- A 2. klóz kevésbé hatékony változatai

```
rhossz([X|L], RH) :- length([X|L], H), RH is 1/H.
 % ^ újra felépíti [X|L]-t.
rhossz(L, RH) :- L \= [], length(L, H), RH is 1/H.
 % L=[] esetén választási pontot hagy.
```

## Indexelés – további tudnivalók

- Indexelés és aritmetika
  - Az indexelés nem foglalkozik aritmetikai vizsgálatokkal.
  - Pl. az  $N = 0$  és  $N > 0$  feltételek esetén a SICStus Prolog nem veszi figyelembe, hogy ezek kizárják egymást.
  - Az alábbi fakt/2 eljárás lefutása nem-determinisztikus:
 

```
fakt(0, 1).
fakt(N, F) :- N > 0, N1 is N-1, fakt(N1, F1), F is N*F1.
```
- Indexelés és listák
  - Gyakran kell az üres és nem-üres lista esetét szétválasztani.
  - A bemenő lista-argumentumot célszerű az első argumentum-pozícióba tenni.
  - Az [] és [...|...] eseteket az indexelés megkülönbözteti (funktora: ' [] ' / 0 ill. ' . ' / 2).
  - A két klóz sorrendje nem érdekes (feltéve, hogy zárt listával hívjuk az első pozíción) – de azért tegyük a leálló klózt mindig előre.

## Listakezelő eljárások indexelése: példák

- Az append/3 választásmentesen fut le, ha első argumentuma zárt végű.  

```
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :- append(L1, L2, L3).
```
- A last/2 közvetlen megfogalmazása nemdeterminisztikusan fut le:  

```
% last(L, E): Az L lista utolsó eleme E.
last([E], E).
last(_|L, E) :- last(L, E).
```
- Érdemes segédeljárást bevezetni, last2/2 választásmentesen fut  

```
last2([X|L], E) :- last2(L, X, E).

% last2(L, X, E): Az [X|L] lista utolsó eleme E.
last2([], E, E).
last2([X|L], _, E) :- last2(L, X, E).
```
- Az utolsó listaelemet választásmentesen felsoroló member/2:  

```
member(E, [H|T]) :- member_(T, H, E).

% member_(L, X, E): Az [X|L] lista eleme E.
member_(_, E, E).
member_([H|T], _, E) :- member_(T, H, E).
```

## Az indexelés és a vágó kölcsönhatása

- Hogyan vehető figyelembe a vágó az indexelés fordításakor?
- Példa: a  $p(1, A)$  hívás választásmentes, de a  $q(1, A)$  nem!  

```
p(1, Y) :- !, Y = 2. % (1)
p(X, X). % (2)
Arg1=1 → (1), Arg1≠1 → (2)

q(1, 2) :- !. % (1)
q(X, X). % (2)
Arg1=1 → {(1),(2)}, Arg1≠1 → (2)
```
- A fordító figyelembe veszi a vágót az indexelésben, ha garantált, hogy egy adott fő funktor esetén a vágót elérjük. Ennek feltételei:
  - 1. arg. változó, konstans, vagy csak változókat tartalmazó struktúra,
  - a további argumentumok változók,
  - a fejben az összes változóelőfordulás különböző,
  - a törzs első hívása a vágó (előtte megengedve egy fejillesztést kiváltó egyenlőséget).
- Ekkor az adott funktorhoz tartozó listából kihagyja a vágó utáni klózoikat.
- Példa:  $p(X, D, E) :- X = s(A, B, C), !, \dots$   $p(X, Y, Z) :- \dots$
- Ez egy újabb érv a vágás alapszabálya mellett:

A kimenő paraméterek értékadását mindig a vágó után végezzük!

## A vágó és az indexelés hatékonysága

- Fibonacci-szerű sorozat:  $f_1 = 1; f_2 = 2; f_n = f_{\lfloor 3n/4 \rfloor} + f_{\lfloor 2n/3 \rfloor}, n > 2$   

```
% determ. % determ. lefutású % választásmentes
fib(1, 1). fibc(1, 1) :- !. fibci(1, F) :- !, F = 1.
fib(2, 2). fibc(2, 2) :- !. fibci(2, F) :- !, F = 2.
fib(N, F) :- fibc(N, F) :- fibci(N, F) :-
 N > 2, N2 is N*3//4, N3 is N*2//3,
 fibxx(N2, F2), fibxx(N3, F3),
 F is F2+F3.
```

- Futási idők  $N = 6000$  esetén

|                   | fib       | fibc       | fibci    |
|-------------------|-----------|------------|----------|
| futási idő        | 1.25 sec  | 1.22 sec   | 1.13 sec |
| meghiúsulási idő  | 0.29 sec  | 0.03 sec   | 0.00 sec |
| összesen          | 1.54 sec  | 1.25 sec   | 1.13 sec |
| nyom-verem mérete | 37.4Mbyte | 18.7 Mbyte | 240 byte |

- fibc esetén a meghiúsulási idő azért nem 0, mert a rendszer a nyom-vermet (trail-stack) dolgozza fel. (A nyom-verem tárolja a változó-értékadások visszacsinalási információit.)

## Tartalom

- 5 Haladó Prolog
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
  - Meta-logikai eljárások
  - A keresési tér szűkítése
  - Vezérlési eljárások
  - A Prolog megvalósítási módszereiről
  - Determinizmus és indexelés
  - Jobbrekurzió és akkumulátorok
  - Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
  - Listák és fák akkumulálása – példák
  - Imperatív programok átírása Prologba
  - Modularitás
  - Magasabbrendű eljárások
  - Dinamikus adatbáziskezelés
  - Egy összetettebb példaprogram
  - „Hagyományos” beépített eljárások
  - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Jobbrekurzió (farok-rekurzió, tail-recursion) optimalizálás

- Az általános rekurzió költséges, helyben és időben is.
- Jobbrekurzióról beszélünk, ha
  - a rekurzív hívás a klóztörzs utolsó helyén van, vagy az utolsó helyen szereplő diszjunkció egyik ágának utolsó helyén stb., és
  - a rekurzív hívás pillanatában **nincs választási pont a predikátumban** (a rekurzív hívást megelőző célok determinisztikusan futottak le, nem maradt nyitott diszjunkciós ág).
- Jobbrekurzió optimalizálás: az utolsó hívás végrehajtása **előtt** az eljárás által lefoglalt hely felszabadul ill. személygyűjtésre alkalmassá válik.
- Ez az optimalizálás nemcsak rekurzív hívás esetén, hanem minden **utolsó** hívás esetén megvalósul – a pontos név: utolsó hívás optimalizálás (last call optimisation).
- A jobbrekurzió így tehát nem növeli a memória-igényt, korlátlan mélységig futhat – mint a ciklusok az imperatív nyelvekben. Példa:
 

```
ciklus(Állapot) :- lépés(Állapot, Állapot1), !, ciklus(Állapot1).
ciklus(_Állapot).
```

## Predikátumok jobbrekurzív alakra hozása – listaösszeg

- A listaösszegzés „természetes”, nem jobbrekurzív definíciója:
 

```
% sum0(+L, ?S): L elemeinek összege S (S = 0+Ln+Ln-1+...+L1).
sum0([], 0).
sum0([X|L], S):- sum0(L,S0), S is S0+X.
```
- Jobbrekurzív lista-összegző:
 

```
% sum(+L, ?S): L elemeinek összege S (S = 0+L1+L2+...+Ln).
sum(L, S):- sum(L, 0, S).
% sum(+L, +S0, ?S): L elemeit S0-hoz adva kapjuk S-t. (≡ Σ L = S-S0)
sum([], S, S).
sum([X|L], S0, S):- S1 is S0+X, sum(L, S1, S).
```
- A jobbrekurzív sum eljárás több mint **3-szor gyorsabb** mint a sum0!
- Az **akkumulátor** az imperatív (azaz megváltoztatható értékű) változó fogalmának deklaratív megfelelője:
  - A sum/3-ban az S0 és S argumentumok akkumulátorpárt alkotnak.
  - Az akkumulátorpár két része az adott változó mennyiség (a példában az összeg) különböző időpontokban vett értékeit mutatja:
    - S0 az összeg a sum/3 **meghívásakor**: a változó kezdőértéke;
    - S az összeg a sum/3 **lefutása után**: a változó végértéke.

## Az akkumulátorok használata

- Az akkumulátorokkal általánosan több egymás utáni változtatást is leírhatunk:
 

```
p(..., A0, A):-
 q0(..., A0, A1), ...,
 q1(..., A1, A2), ...,
 qn(..., An, A).
```
- A sum3/3 második klóza ilyen alakra hozva:
 

```
sum3([X|L], S0, S):- plus(X, S0, S1), sum3(L, S1, S).
plus(X, S0, S) :- S is S0+X.
```
- Akkumulátorváltozók elnevezési konvenciója: kezdőérték: *Vált0*; közbülső értékek: *Vált1*, ..., *Vált<sub>n</sub>*; végérték: *Vált*.
- A Prolog akkumulátorpár nem más mint a funkcionális programozásból ismert gyűjtőargumentum és a függvény eredményének együttese.
- A DCG formalizmus – akkumulátorpárok automatikus „átszövése”:
 

```
sum3([X|L]) --> plus(X), sum3(L).
```

## Akkumulátorok használata – folytatás

- Többszörös akkumulálás – lista összege és négyzetösszege
 

```
% sum2(+L, +S0, ?S, +Q0, ?Q): S-S0 = Σ Li, Q-Q0 = Σ Li2
sum2([], S, S, Q, Q).
sum2([X|L], S0, S, Q0, Q):-
 S1 is S0+X, Q1 is Q0+X*X, sum2(L, S1, S, Q1, Q).
```
- Többszörös akkumulátorok összevonása egyetlen **állapotváltozóvá**

```
% sum3(+L, +S0/Q0, ?S/Q): S-S0 = Σ Li, Q-Q0 = Σ Li2
sum3([]) --> []. % DCG "tényállítítás"
sum3([X|L]) -->
 plus3(X), sum3(L).

plus3(X, S0/Q0, S/Q) :- S is S0+X, Q is Q0+X*X.

| ?- listing(sum3).

sum3([], A, B) :- B=A.
sum3([X|L], A, C) :-
 plus3(X, A, B), sum3(L, B, C).
```

## Különbséglisták

- A revapp mint akkumuláló eljárás  
`% revapp(Xs, L0, L): Xs megfordítását L0 elé fűzve kapjuk L-t.`  
`% Másképpen: Xs megfordítása L-L0.`  
`revapp([], L, L).`  
`revapp([X|Xs], L0, L) :-`  
`L1 = [X|L0], revapp(Xs, L1, L).`
- Az L-L0 jelölés (különbséglista): az a lista, amelyet úgy kapunk, hogy L végéről elhagyjuk L0-t (ez feltételezi, hogy L0 szuffixuma L-nek).
- Például az [1,2,3] listának megfelelő különbséglisták:
  - [1,2,3,4]-[4], [1,2,3,a,b]-[a,b], [1,2,3]-[], ...
  - A legáltalánosabb (nyílt) különbséglistában a „kivonandó” változó:  
`[1,2,3|L]-L`
- Egy nyílt különbséglista konstans időben összefűzhető egy másikkal:  
`% app_dl(DL1, DL2, DL3): DL1 és DL2 különbséglisták összefűzése DL3.`  
`app_dl(L-L0, L0-L1, L-L1).`  
`| ?- app_dl([1,2,3|L0]-L0, [4,5|L1]-L1, DL).`  
`=> DL = [1,2,3,4,5|L1]-L1, L0 = [4,5|L1]`
- A nyílt különbséglista „egyszer használatos”, egy hozzáfűzés után már nem lesz nyílt!

## Különbséglisták (folyt.)

- Példa: lineáris idejű listafordítás, nrev stílusában, különbséglistával:  
`% nrev(L, DR): Az L lista megfordítása a DR különbséglista.`  
`nrev_dl([], L-L). % L-L ≡ üres különbséglista`  
`nrev_dl([X|L], DR) :-`  
`nrev_dl(L, DR0),`  
`app_dl(DR0, [X|T]-T, DR). % [X|T]-T ≡ egyelemű különbséglista`  
`% app_dl(DL1, DL2, DL3): DL1 és DL2 különbséglisták összefűzése DL3.`  
`app_dl(L-L0, L0-L1, L-L1).`  
`% Az L lista megfordítása R`  
`rev(L, R) :- nrev_dl(L, R-[]).`
- Az nrev\_dl/2 eljárás törzsében érdemes a két hívást megcserélni (jobbrekurzió!).
- `nrev_dl(L, R-R0) => rev2(L, R0, R)` átalakítással és `app_dl` kiküszöbölésével a fenti `nrev_dl/2` eljárásból kapunk egy `rev2/3`-t, amely azonos `revapp/3`-mal!
- Ettől az átalakítástól kb **3-szor gyorsabb** lesz a program => érdemes a különbséglisták helyett akkumulátorpárokat használni!
- A továbbiakban a különbséglista jelölést csak a fejkomentek megfogalmazásában használjuk.

## Az append mint akkumuláló eljárás

- Írjunk egy `eleje_marad(Eleje, L, Marad)` eljárást!  
`% eleje_marad(Eleje, L, Marad): Az L lista prefixuma az Eleje lista,`  
`% ennek L-ből való elhagyása után marad a Marad lista.`  
`eleje_marad([], L, L).`  
`eleje_marad([X|Xs], L0, L) :-`  
`L0 = [X|L1], eleje_marad(Xs, L1, L).`
- Az akkumulálási lépés: `L0 = [X|L1]`, egy elem **elhagyása** a lista elejéről.
- A 2. és 3. argumentum felcserélésével az `eleje_marad` eljárás átalakul az `append` eljárássá!
- Tehát az `append` is tekinthető akkumuláló eljárásnak (a 2. és 3. argumentum a szokásos akkumulátorpárokhoz képest fel van cserélve):  
`% append(Xs, L, L0): L0 elejéről Xs elemeit hagyva marad L.`  
`% Másképpen: Xs = L0-L.`  
`append([], L, L).`  
`append([X|Xs], L, L0) :-`  
`L0 = [X|L1], append(Xs, L, L1).`
- Az akkumulálási lépés: az `L0` változó értékül kap egy listát, melynek farka `L1`, az akkumulált mennyiség: az a változó, amelyben az összefűzés eredményét várjuk.

## Tartalom

- 5 Haladó Prolog
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
  - Meta-logikai eljárások
  - A keresési tér szűkítése
  - Vezérlési eljárások
  - A Prolog megvalósítási módszereiről
  - Determinizmus és indexelés
  - Jobbrekurzió és akkumulátorok
  - Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
  - Listák és fák akkumulálása – példák
  - Imperatív programok átírása Prologba
  - Modularitás
  - Magasabbrendű eljárások
  - Dinamikus adatbáziskezelés
  - Egy összetettebb példaprogram
  - „Hagyományos” beépített eljárások
  - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## A DCG (Definite Clause Grammars) formalizmus

- DCG: előfeldolgozó eszköz nyelvtani elemzők írásához.
- DCG szabály:  $Fej \rightarrow Törzs. \implies Fej(A_0, A_m) :- Törzs(A_0, A_m)$ . A törzsben:
  - $\{Cél\} \implies Cél$  (akkumulálást nem végző cél)
  - $[E_1, E_2, \dots, E_k], k \geq 0 \implies A_n = [E_1, E_2, \dots, E_k | A_{n+1}]$  (elemek akk.-a)
  - $p(X_1, X_2, \dots, X_j), l \geq 0 \implies p(X_1, X_2, \dots, X_j, A_n, A_{n+1})$  (akk.-t végző cél)
  - Vezérlés: konj. (.), diszj. (;), ha-akkor ( $\rightarrow$ ), vágó (!), negáció ( $\backslash +$ )
- Példa: egy lista pozitív elemeinek kigyűjtése

```
% pe(L, Pk0, Pk): Az L számlista pozitív elemeinek listája Pk0-Pk.
% Másszóval: L pozitív elemeinek listáját Pk elé fűzve kapjuk Pk0-t
pe([], Pk0, Pk) :- Pk0 = Pk.
pe([X|L], Pk0, Pk) :- (X > 0 -> Pk0 = [X|Pk1], pe(L, Pk1, Pk)
 ; pe(L, Pk0, Pk)
).
```

- A DCG jelölést használó, a fentivel azonos kódot eredményező eljárás:

```
pe2([]) --> [].
pe2([X|L]) --> ({X > 0} -> [X], pe2(L)
 ; pe2(L)
).
```

## A DCG formalizmus használata nyelvtani elemzésre

- Példa – decimális számok elemzését végző szám(L0, L) Prolog eljárás
- Az L0, L paraméterek: karakterkódok listái
  - % szám(L0, L): Az L0-L különbséglista számjegykódok nem-üres listája
  - % Másszóval: L0 elejéről **leelemezhető** egy szám, és marad L szám --> számjegy, számmaradék.
  - % számmaradék(L0, L): Az L0-L különbséglista számjegykódok listája számmaradék --> számjegy, számmaradék ; "" . % ""  $\equiv$  []
  - % számjegy(L0, L): L0 - [K|L], ahol K egy számjegy kódja számjegy --> "0";"1";"2";"3";"4";"5";"6";"7";"8";"9". % "9"  $\equiv$  [0'9]
- A számjegy/2 eljárás egy másik megvalósítása
  - számjegy --> [K], {decimális\_jegy\_kódja(K)}.
  - % K egy számjegy kódja.
  - decimális\_jegy\_kódja(K) :- K >= 0'0, K <= 0'9.
- A fenti DCG szabály Prolog megfelelője:
  - számjegy(L0, L) :-
    - L0 = [K|L], % K a következő listaelem
    - decimális\_jegy\_kódja(K). % megfelelő-e a K?

## DCG nyelvtani elemzés – további részletek

- Az elemzés – a Prolog végrehajtás miatt – nem-determinisztikus, pl.

```
| ?- szám("123 abc", L).
L = " abc" ? ; % leelemeztük a 123 számot
L = "3 abc" ? ; % leelemeztük a 12 számot
L = "23 abc" ? ; % leelemeztük az 1 számot
no
```

- A számmaradék eljárás determinisztikus változata

```
% számmaradék2(L0, L): L0-L számjegykódok maximális listája
számmaradék2 --> (számjegy -> számmaradék2
 ; ""
).
```

vagy

```
számmaradék3 --> számjegy, !, számmaradék3. % A vágó köré nem kell {}
számmaradék3 --> "".
```

- Futás:

```
| ?- szám2("123 abc", L).
L = " abc" ? ; % leelemeztük a (lehető leghosszabb) 123 számot
no
```

## Az elemző kiegészítése jelentéshordozó argumentumokkal

- Egy DCG szabály az elemzéssel párhuzamosan további (kimenő) argumentum(ok)ban felépítheti a kielemezett dolog „jelentését”
- Példa: szám elemzése és értékének kiszámítása:
  - % Leelemezhető egy Sz értékű nem-üres számjegysorozat szám(Sz) --> számjegy(J), számmaradék(J, Sz).
  - % Leelemezhető számjegyek egy esetleg üres listája, amelynek % az eddig leelemezett Sz0-val együtt vett értéke Sz. számmaradék(Sz0, Sz) -->
    - számjegy(J), !, {Sz1 is Sz0\*10+J}, számmaradék(Sz1, Sz).
    - számmaradék(Sz0, Sz0) --> [].
  - % leelemezhető egy J értékű számjegy. számjegy(J) --> [K], {decimális\_jegy\_kódja(K), J is K-0'0}.
  - | ?- szám(Sz, "102 56", L).  $\implies$  L = " 56", Sz = 102; no
- A számmaradék DCG szabály Prolog alakja:
  - számmaradék(Sz0, Sz, L0,L) :-
    - számjegy(J, L0,L1), !, Sz1 is Sz0\*10+J, számmaradék(Sz1, Sz, L1,L).
    - számmaradék(Sz0, Sz0, L0,L) :- L=L0.
- Itt két akkumulátorpár van: egy „kézi” (Sz) és egy DCG-ből generált (L).



## Aritmetikai kifejezések elemzése

- Egyszerű aritmetikai kifejezések elemzése és kiértékelése.

```
% kif0(Z, L0, L): L0-L egy Z aritmetikai kifejezéssé elemezhető ki
kif0(X+Y) --> tag0(X), "+", !, kif0(Y).
kif0(X-Y) --> tag0(X), "-", !, kif0(Y).
kif0(X) --> tag0(X).
tag0(X) --> szám(X). % egyelőre
| ?- kif0(Z, "4-2+1", []). => Z = 4-(2+1) Jobbról balra elemez!
```

- Egy lehetséges javítás

```
kif(Z) --> tag(X), kifmaradék(X, Z).
kifmaradék(X, Z) --> "+", tag(Y), !, kifmaradék(X+Y, Z).
kifmaradék(X, Z) --> "-", tag(Y), !, kifmaradék(X-Y, Z).
kifmaradék(X, X) --> [].
tag(Z) --> szám(X), tagmaradék(X, Z).
tagmaradék(X, Z) --> "*", szám(Y), !, tagmaradék(X*Y, Z).
tagmaradék(X, Z) --> "/", szám(Y), !, tagmaradék(X/Y, Z).
tagmaradék(X, X) --> [].
```

```
| ?- kif(Z, "5*4-2+1", []), Val is Z. => Z = 5*4-2+1, Val = 19 ? ; no
```

## Do-ciklusok (do-loops)

- Szintaxis: (*Iterátor<sub>1</sub>, ..., Iterátor<sub>m</sub> do Célsorozat*)

- Az L lista minden elemét megnövelve 1-gyel kapjuk az NL listát:

```
novel(L, NL) :-
 (foreach(X, L), foreach(Y, NL)
 do Y is X+1
).
```

- Az L lista minden elemét megszorozva N-nel kapjuk az NL listát:

```
szoroz(L, N, NL) :-
 (foreach(X, L), foreach(Y, ML), param(N)
 do Y is N*X
).
```

## Do-ciklusok: további iterátorok

- Példák:

```
| ?- (for(I,1,5), foreach(I,List)
 do true
).
 List = [1,2,3,4,5] ? ; no

| ?- (foreach(X,[1,2,3]), fromto(0,In,Out,Sum)
 do Out is In+X
).
 Sum = 6 ? ; no

| ?- (foreach(X,[a,b,c,d,e]), count(I,1,N), foreach(I-X,Pairs)
 do true
).
 N = 5, Pairs = [1-a,2-b,3-c,4-d,5-e] ? ; no

| ?- (foreacharg(A,f(a,b,c,d,e),I), foreach(I-A,List)
 do true
).
 List = [1-a,2-b,3-c,4-d,5-e] ? ; no
```

## Tartalom

### 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák**
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

Egy mintafeladat:  $a^n b^n$  alakú sorozat előállítás● Első megoldás,  $3n$  lépés

```
% anbn(N, L): Az L lista N db a-ból
% és azt követő N db b-ből áll.
anbn(N, L) :-
 an(N, a, AN),
 an(N, b, BN),
 append(AN, BN, L).

% an(N, A, L): L az A elemet N-szer
% tartalmazó lista
an(0, _A, L) :- !, L = [].
an(N, A, [A|L]) :-
 N > 0,
 N1 is N-1,
 an(N1, A, L).
```

● Második megoldás,  $2n$  lépés

```
anbn(N, L) :-
 an(N, b, [], BN),
 an(N, a, BN, L).

% an(N, A, L0, L): L-L0 az A
% elemet N-szer tartalmazó lista
an(0, _A, L0, L) :- !, L = L0.
an(N, A, L0, [A|L]) :-
 N > 0,
 N1 is N-1,
 an(N1, A, L0, L).
```

 $a^n b^n$  alakú sorozatok (folyt.)● Harmadik megoldás,  $n$  lépés

```
anbn(N, L) :-
 anbn(N, [], L).

% anbn(N, L0, L): Az L-L0 lista N db a-ból és azt követő N db b-ből áll.
anbn(0, L0, L) :- !, L = L0.
anbn(N, L0, [a|L]) :-
 N > 0,
 N1 is N-1,
 anbn(N1, [b|L0], L).
```

## ● A második klóz nem jobbrekurzív változata

```
anbn(N, L0, L) :-
 N > 0, N1 is N-1,
 L1 = [b|L0], % 1. lépés: L0 elé b => L1
 anbn(N1, L1, L2), % 2. lépés: L1 elé a^N1 b^N1 => L2
 L = [a|L2]. % 3. lépés: L2 elé a => L
```

 $a^n b^n$  alakú sorozatok – C++ megoldás

## ● C++ megoldás

```
link *anbn(unsigned n) {
 link *l = 0, *b = 0; // ez elé építjük a b-ket
 link **a = &l; // ebbe tesszük az a-kat
 for (; n > 0; --n) {
 *a = new link('a'); // előlről
 a = &(*a)->next; // hátra épít
 b = new link('b', b); // hátulról előre épít
 }
 *a = b; return l;
}
```

## Összetettebb adatstruktúrák akkumulálása

- Az adatstruktúra:
 

```
% :- type bfa -> ures ; bfa(int, bfa, bfa).
```
- A fa csomópontjaiban tároljuk a számértékeket, a levelek nem tárolnak információt.
- Egészek gyűjtése **rendezett** bináris fában
  - beszur(BFa0, E, BFa): Az E egész számnak a BFa0 fába való beszúrása a BFa bináris fát eredményezi.
  - Itt BFa0 és BFa egy akkumulátorpár, de az indexelés érdekében BFa0 az első argumentum-pozícióba kerül.
- Példafutás:
 

```
| ?- beszur(ures, 3, Fa0),
 beszur(Fa0, 1, Fa1),
 beszur(Fa1, 5, Fa2).
```

```
Fa0 = bfa(3,ures,ures),
Fa1 = bfa(3,bfa(1,ures,ures),ures),
Fa2 = bfa(3,bfa(1,ures,ures),bfa(5,ures,ures)) ?
```

## Akkumulálás bináris fákkal

## ● Elem beszúrása bináris fába

```
% beszur(BF0, E, BF): E beszúrása BF0 rendezett fába
% a BF rendezett fát adja
% :- pred beszur(bfa::in, int::in, bfa::out).
beszur(ures, Elem, bfa(Elem, ures, ures)).
beszur(BF0, Elem, BF):-
 BF0 = bfa(E,B,J), % az indexelés működik!
 (Elem == E -> BF = BF0
 ; Elem < E ->
 BF = bfa(E,B1,J),
 beszur(B, Elem, B1)
 ; BF = bfa(E,B,J1),
 beszur(J, Elem, J1)
).
```

## Akkumulálás bináris fákkal – folyt.

## ● Lista konverziója bináris fává

```
% lista_bfa(L, BF0, BF): L elemeit beszúrva BF0-ba kapjuk BF-t.
% :- pred lista_bfa(list(int)::in, bfa::in, bfa::out).
lista_bfa([], BF, BF).
lista_bfa([E|L], BF0, BF):-
 beszur(BF0, E, BF1),
 lista_bfa(L, BF1, BF).

| ?- lista_bfa([3,1,5], ures, BF).
BF = bfa(3,bfa(1,ures,ures),bfa(5,ures,ures)) ? ;
no

| ?- lista_bfa([3,1,5,1,2,4], ures, BF).
BF = bfa(3,bfa(1,ures,bfa(2,ures,ures)),
 bfa(5,bfa(4,ures,ures),ures)) ? ;
no
```

## Akkumulálás bináris fákkal – folyt.

## ● Bináris fa konverziója listává

```
% bfa_lista(BF, L0, L): A BF fa levelei az L-L0 listát adják.
% :- pred bfa_lista(bfa::in, list(int)::in,
% list(int)::out).
bfa_lista(ures, L, L).
bfa_lista(bfa(E, B, J), L0, L) :-
 bfa_lista(J, L0, L1),
 bfa_lista(B, [E|L1], L).
```

## ● Rendezés bináris fával

```
% L lista rendezettje R.
% :- pred rendez(list(int)::in, list(int)::out).
rendez(L, R):-
 lista_bfa(L, ures, BF), bfa_lista(BF, [], R).

| ?- rendez([1,5,3,1,2,4], R).
R = [1,2,3,4,5] ? ;
no
```

## Tartalom

## 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Hogyan írjunk át imperatív nyelvű algoritmust Prolog programmá?

- Példafeladat: Hatékony hatványozási algoritmus
  - Alaplépés: a kitevő felezése, az alap négyzetre emelése.
  - Lényegében a kitevő kettes számrendszerbeli alakja szerint hatványoz.

- Az algoritmust megvalósító C nyelvű függvény:

```
/* hatv(a, h) = a**h */
int hatv(int a, unsigned h)
{
 int e = 1;
 while (h > 0)
 {
 if (h & 1) e *= a;
 h >>= 1; a *= a;
 }
 return e;
}
```

- Az algoritmusban három változó van: a, h, e:
  - a és h végértékére nincs szükség,
  - e végső értéke szükséges (ez a függvény eredménye).

## A hatv C függvénynek megfelelő Prolog eljárás

- Kétargumentumú C függvény  $\implies$  2+1-argumentumú Prolog eljárás.
- A függvény eredménye  $\implies$  utolsó arg.: `hatv(+A, +H, ?E): AH = E.`
- Ciklus  $\implies$  segédeljárás: `hatv(+A0, +H0, +E0, ?E): A0H0 * E0 = E.`
- »a« és »h« C változók  $\implies$  »+A0« és »+H0« bemenő paraméterek (nem kell végérték),  
»e« C változó  $\implies$  »+E0, ?E« *akkumulátorpár* (kezdőérték, végérték).

|                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <pre>hatv(A, H, E) :-     hatv(A, H, 1, E).  hatv(A0, H0, E0, E) :- H0 &gt; 0, !,     (   H0 /\ 1 == 1         % /\ ≡ bitenkénti "és"     -&gt;  E1 is E0*A0     ;   E1 = E0     ),     H1 is H0 &gt;&gt; 1,     A1 is A0*A0,     hatv(A1, H1, E1, E). hatv(_, _, E, E).</pre> | <pre>int hatv(int a, unsigned h) {     int e = 1;     ism: if (h &gt; 0)         { if (h &amp; 1)             e *= a;           h &gt;&gt;= 1;           a *= a;           goto ism;         } else return e; }</pre> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## A C ciklus és a Prolog eljárás kapcsolata

- A ciklust megvalósító Prolog eljárás minden pontján minden C változónak megfeleltethető egy Prolog változó (pl. h-nak H0, H1, ...):
  - A ciklusmag elején a C változók a megfelelő Prolog argumentumban levő változónak felelnek meg.
  - Egy C értékadásnak egy új Prolog változó bevezetése felel meg, az ez után következő kódban az új változó felel meg a C változónak.
  - Ha a diszjunkció egyik ága megváltoztat egy változót, akkor a többi ágon is be kell vezetni az új Prolog változót, a régivel azonos értékkel (ld. `if (h & 1) ...`).
- A C ciklusmag végén a Prolog eljárást vissza kell hívni, argumentumaiban az egyes C változóknak pillanatnyilag megfeleltetett Prolog változóval.
- A C ciklus **ciklus-invariánsa** nem más mint a Prolog eljárás fejkommentje, a példában:

```
% hatv(+A0, +H0, +E0, ?E): A0H0 * E0 = E.
```

## Programhelyesség-bizonyítás

- Egy algoritmus (függvény) specifikációja:
  - **előfeltételek**: a bemenő paramétereknek teljesíteniük kell ezeket,
  - **utófeltételek**: a paraméterek és az eredmény kapcsolatát írják le.
- Egy algoritmus **helyes**, ha minden, az előfeltételeket kielégítő adatra a függvény hibátlanul lefut, és eredményére fennállnak az utófeltételek.
- Példa: `x = mfoku_gyok(a,b,c)`
  - előfeltételek:  $b*b-4*a*c \geq 0$ ,  $a \neq 0$
  - utófeltétel:  $a*x*x+b*x+c = 0$
  - a program:
 

```
double mfoku_gyok(a, b, c)
double a, b, c;
{ double d = sqrt(b*b-4*a*c);
 return (-b+d)/2/a;
}
```
- A program helyességének bizonyítása lineáris kódra viszonylag egyszerű.

## Ciklikus programok helyességének bizonyítása

- A ciklusokat „fel kell vágni” egy **ciklus-invariánssal**, amely:
  - az előfeltételekből és a ciklust megelőző értékadásokból következik,
  - ha a ciklus elején fennáll, akkor a ciklus végén is (indukció),
  - belőle és a leállási feltételből következik a ciklus utófeltétele.

```
int hatv(int a0, unsigned h0) /*utófeltétel: hatv(a0, h0) = a0h0 */
{ int e = 1, a = a0, h = h0;
 while /*ciklus-invariáns: a0h0 == e*ah */ (h > 0)
 {
 /* induláskor a kezdőértékek alapján triviálisan fennáll */
 if (h & 1) e *= a; /* e' = e * ah&1 */
 h >>= 1; /* h' = (h-(h&1))/2 */
 a *= a; /* a' = a*a */
 }
 /* indukció: e'*ah' = ... = e*ah */
 return e;
 /* Az invariánssból h = 0 miatt következik az utófeltétel */
}
```

## Tartalom

### 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- **Modularitás**
  - Magasabbrendű eljárások
  - Dinamikus adatbáziskezelés
  - Egy összetettebb példaprogram
  - „Hagyományos” beépített eljárások
  - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Modulok definiálása SICStus Prolog nyelven

- Minden modul külön állományba kell kerüln.
- Az állomány első programeleme egy modul-parancs kell legyen:
 

```
:- module(ModulNév, [ExpFunktor1, ExpFunktor2, ...]).
```
- *ExpFunktor* = az exportálandó eljárás funktora (név/arg.szám)
- Példa:
 

```
:- module(platók, [fennsík/3]). % plato állomány első sora
```
- Modul-betöltésre szolgáló beépített eljárások:
  - `use_module(ÁllományNév)`
  - `use_module(ÁllományNév, [ImpFunktor1, ImpFunktor2, ...])`  
*ImpFunktor* – az importálandó eljárás funktora
  - *ÁllományNév* lehet névkonstans, vagy pl. `library(KönyvtárNév)`:
 

```
:- use_module(plato). % a fenti modul betöltése
:- use_module(library(lists), [last/2]). % csak last/2 importált
```
- Modulkvalifikált hívási forma: *Modul:Hívás* a *Modul*-ban futtatja *Hívás*-t.
- A modulfogalom nem szigorú, egy nem exportált eljárás is meghívható modulkvalifikált formában, pl. `platók:első_fennsík(...)`.

## Meta-eljárások modularizált programban

- Meta-paraméterek átadása modulközi hívásokban:

modul1.pl állomány:

```
:- module(modul1, [kétszer/1]).
```

```
%:- meta_predicate kétszer(:). (*)
```

```
kétszer(X) :-
 X, X.
```

```
p :- write(bu).
```

modul2.pl állomány:

```
:- module(modul2, [q/0,r/0]).
```

```
:- use_module(modul1).
```

```
q :- kétszer(p).
```

```
r :- kétszer(modul2:p).
```

```
p :- write(ba).
```

- Futtatás:

```
| ?- [modul1,modul2].
```

```
| ?- q. => bubu
```

```
| ?- r. => baba
```

- Automatikus modul-kvalifikáció meta-predikátum deklarációval:  
Ha `modul1.pl`-ben elhagyjuk a `(*)`-gal jelzett sor előtti `%` kommentjelet, akkor

```
| ?- q. => baba!
```

## Meta-predikátum deklaráció, modulnév-kiterjesztés

## ● Meta-predikátum deklaráció

## ● Formája:

```
:- meta_predicate (<eljárásnév>(<módspec1>, ..., <módspecn>),

```

● <módspec<sub>i</sub>> lehet ':', '+', '-', vagy '?'.● A ':' mód azt jelzi, hogy az adott argumentumot **betöltéskor** ún. modulnév-kiterjesztésnek kell alávetni. (A többi mód hatása azonos, be/kimenő irányt jelezhetünk segítségükkel.)● Egy *Kif* kifejezés modulnév-kiterjesztése a következő átalakítást jelenti:

- ha *Kif M: X* alakú, vagy olyan változó, amely az adott eljárás fejében meta-argumentum pozícióban van, akkor változatlanul hagyjuk;
- egyébként helyettesítjük *CurMod:Kif*-fel, ahol *CurMod* a kurrens modul.

## ● Példa folyt. (tfh. a modul1-beli kétszer meta-predikátumnak deklarált!)

```
:- module(modul2, [négyszer/1,q/0]).
:- use_module(modul1).
q :- kétszer(p).

% a tárolt alak:
q :- kétszer(modul2:p).

:- meta_predicate négyszer(:).
négyszer(X) :- kétszer(X), kétszer(X). => változatlan
```

## Tartalom

## 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Magasabbrendű eljárások – listakezelés

## ● Magasabbrendű (vagy meta-eljárás) egy eljárás,

- ha eljárásként értelmezi egy vagy több argumentumát
- pl. `call/1`, `findall/3`, `\+ /1` stb.

● Listafeldolgozás `findall` segítségével – példák

## ● Páros elemek kiválasztása (vö. Erlang filter)

*% Az L egész-lista páros elemeinek listája Pk.*

```
páros_elemei(L, Pk) :-
 findall(X, (member(X, L), X mod 2 =:= 0), Pk).
| ?- páros_elemei([1,2,3,4], Pk). => Pk = [2,4]
```

## ● A listaelemek négyzetre emelése (vö. Erlang map)

*% Az L számlista elemei négyzeteinek listája Nk.*

```
négyzetei(L, Nk) :-
 findall(Y, (member(X, L), négyzete(X, Y)), Nk).
négyzete(X, Y) :- Y is X*X.
| ?- négyzetei([1,2,3,4], Nk). => Nk = [1,4,9,16]
```

## Részlegesen paraméterezett eljáráshívások – segédeszközök

- A `négyzete/0` kifejezés a `négyzete/2` **részlegesen paraméterezett** hívásának tekinthető.
- Ilyen hívások kiegészítésére és meghívására szolgálnak a `call/N` eljárások.
- `call(RPred, A1, A2, ...)` végrehajtása: az `RPred` **részleges** hívást kiegészíti az `A1, A2, ...` argumentumokkal, és meghívja.
- A `call/N` eljárások SICStus 4-ben már beépítettek, SICStus 3-ban még definiálni kellett ezeket, pl. így:

```
:- meta_predicate call(:, ?), call(:, ?, ?),
```

*% Pred az A utolsó argumentummal meghívva igaz.*

```
call(M:Pred, A) :-
 Pred =.. FAs0, append(FAs0, [A], FAs1),
 Pred1 =.. FAs1, call(M:Pred1).
```

*% Pred az A és B utolsó argumentumokkal meghívva igaz.*

```
call(M:Pred, A, B) :-
 Pred =.. FAs0, append(FAs0, [A,B], FAs2),
 Pred2 =.. FAs2, call(M:Pred2).
```

...

- Részleges paraméterezéssel a `map/3` meta-eljárás rekurzívan definiálható:

```
% map(Xs, Pred, Ys): Az Xs lista elemeire a Pred transzformációt
% alkalmazva kapjuk az Ys listát.
```

```
map([X|Xs], Pred, [Y|Ys]) :-
 call(Pred, X, Y), map(Xs, Pred, Ys).
map([], _, []).
```

```
másodfokú_képe(P, Q, X, Y) :- Y is X*X + P*X + Q.
```

- Példák:

```
| ?- map([1,2,3,4], négyzete, L). => L = [1,4,9,16]
| ?- map([1,2,3,4], másodfokú_képe(2,1), L). => L = [4,9,16,25]
```

- A `call/N`-re épülő megoldás előnyei:

- általánosabb és hatékonyabb lehet, mint a `findall`-ra épülő;
- alkalmazható akkor is, ha az elemekre elvégzendő műveletek nem függetlenek, pl. `foldl`.

- % foldl(+Xs, :Pred, +Y0, -Y): Y0-ból indulva, az Xs elemeire  
% balról jobbra sorra alkalmazva a Pred által leírt  
% kétargumentumú függvényt kapjuk Y-t.*  

```
foldl([X|Xs], Pred, Y0, Y) :-
 call(Pred, X, Y0, Y1), foldl(Xs, Pred, Y1, Y).
foldl([], _, Y, Y).
```

```
jegyhozzá(Alap, Jegy, Szam0, Szam) :- Szam is Szam0*Alap+Jegy.
| ?- foldl([1,2,3], jegyhozzá(10), 0, E). => E = 123
```
- % foldr(+Xs, :Pred, +Y0, -Y): Y0-ból indulva, az Xs elemeire jobbról  
% balra sorra alkalmazva a Pred kétargumentumú függvényt kapjuk Y-t.*  

```
foldr([X|Xs], Pred, Y0, Y) :-
 foldr(Xs, Pred, Y0, Y1), call(Pred, X, Y1, Y).
foldr([], _, Y, Y).
```

```
| ?- foldr([1,2,3], jegyhozzá(10), 0, E). => E = 321
```

## Tartalom

### 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Dinamikus predikátumok

- A dinamikus predikátum jellemzői:
  - a program szövegében lehet 0 vagy több klóza;
  - futási időben hozzáadhatunk és elvehetünk klózokat belőle;
  - végrehajtása mindenképpen interpretált.
- Létrehozása
  - programszövegbeli deklarációval:  

```
:- dynamic(Eljárásnév/Argumentumszám).
```

 (ha van klóza a programban, akkor az első előtt – ilyenkor kötelező);
    - futási időben, adatbáziskezelő beépített eljárással
- Adatbáziskezelő eljárások („adatbázis” = a program klózainak összessége):
  - klóz felvétele első, utolsó helyre: `asserta/1`, `assertz/1`
  - klóz törlése (illesztéssel, többszörösen sikerülhet): `retract/1`
  - klóz lekérdezése (illesztéssel, többszörösen sikerülhet): `clause/2`
- A klózfelvétel ill. törlés **tartós** mellékhatás, visszalépéskor **nem** áll vissza a korábbi állapot.

Klóz felvétele: `asserta/1`, `assertz/1`

- `asserta(:@Klóz)`
  - A Klóz kifejezést klózként értelmezve felveszi a programba az adott predikátum első klózaként. A Klózban levő változók szisztematikusan újakra cserélődnek.
  - A ‘@’ mód jelentése: tisztán bemenő paraméter, az eljárás a paraméterbeli változókat nem helyettesíti be (a ‘+’ mód speciális esete).
  - A ‘:’ mód modul-kvalifikált paramétert jelez.
- `assertz(:@Klóz)`
  - Ugyanaz mint `asserta`, csak a Klóz kifejezést az adott predikátum utolsó klózaként veszi fel.

## • Példa:

```
| ?- assertz((p(1,X):-q(X))), asserta(p(2,0)),
 assertz((p(2,Z):-r(Z))), listing(p). => p(2, 0).
 p(1, A) :- q(A).
 p(2, A) :- r(A).

| ?- assert(s(X,X)), s(U,V), U == V, X \== U.
=> V = U ? ; no
```

Klóz törlése: `retract/1`

- `retract(:@Klóz)`
  - A Klóz klóz-kifejezésből megállapítja a predikátum funktorát.
  - Az adott predikátum klózeit sorra megpróbálja illeszteni Klóz-zal.
  - Ha az illesztés sikerült, akkor kitörli a klózt és sikeresen lefut.
  - Visszalépés esetén folytatja a keresést (illeszt, töröl, sikerül stb.)
- Példa (folytatás):
 

```
| ?- listing(p), Cl = (p(2,_):-_),
 retract(Cl), format('Del: ~w.\n', [Cl]), listing(p), fail.
```

## • A futás kimenete:

|                                                               |                                                                         |                                                          |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <pre>p(2, 0). p(1, A) :-     q(A). p(2, A) :-     r(A).</pre> | <pre>Del: p(2,0):-true. p(1, A) :-     q(A). p(2, A) :-     r(A).</pre> | <pre>Del: p(2,_537):-r(_537). p(1, A) :-     q(A).</pre> |
| => no                                                         |                                                                         |                                                          |

## Alkalmazási példa – egyszerűsített findall

- A `findall1/3` eljárás hatása megegyezik a beépített `findall`-al, de
  - nem jó, ha a Cél-ban újabb, skatulyázott `findall1` hívás van.

```
:- dynamic(megoldás/1).
```

```
% findall1(Minta, Cél, L): Cél összes megoldására Minták listája L.
```

```
findall1(Minta, Cél, _MegoldL) :-
 call(Cél),
 asserta(megoldás(Minta)), % fordított sorrendben vesszük fel!
 fail.
```

```
findall1(_Minta, _Cél, MegoldL) :-
 megoldás_lista([], MegoldL).
```

```
% A megoldás/1 tényállításokban tárolt kifejezések
% fordított listája L-L0.
```

```
megoldás_lista(L0, L) :-
 retract(megoldás(M)), !,
 megoldás_lista([M|L0], L).
megoldás_lista(L, L).
```

```
| ?- findall1(Y, (member(X,[1,2,3]),Y is X*X), ML). => ML = [1,4,9]
```

Klóz lekérdezése: `clause/2`

- `clause(:@Fej, ?Törzs)`
  - A Fej alapján megállapítja a predikátum funktorát.
  - Az adott predikátum klózeit sorra megpróbálja illeszteni a Fej :- Törzs kifejezéssel (tényállítás esetén Törzs = true).
  - Ha az illesztés sikerült, akkor sikeresen lefut.
  - Visszalépés esetén folytatja a keresést (illeszt, sikerül stb.)

## • Példa:

```
:- listing(p), clause(p(2, 0), T).

p(2, 0).
p(1, A) :-
 q(A).
p(2, A) :-
 r(A).
```

|                                         |
|-----------------------------------------|
| <pre>T = true ? ; T = r(0) ? ; no</pre> |
|-----------------------------------------|



## A clause eljárás alkalmazása: egyszerű nyomkövető interpreter

- Az alábbi interpreter csak „tisztá”, beépített eljárást nem alkalmazó Prolog programok futtatására alkalmas.

```
% interp(G, D): A G cél futását D bekezdésű nyomkövetéssel mutatja.
interp(true, _) :- !.
interp((G1, G2), D) :- !,
 interp(G1, D), interp(G2, D).
interp(G, D) :-
 (trace(G, D, call)
 ; trace(G, D, fail), fail % követi a fail kaput, tovább-hiúsul
),
 D2 is D+2,
 clause(G, B), interp(B, D2),
 (trace(G, D, exit)
 ; trace(G, D, redo), fail % követi a redo kaput, tovább-hiúsul
).

% A G cél áthaladását a Port kapun D bekezdésű nyomkövetéssel mutatja.
trace(G, D, Port) :-
 /*D szöközt ír ki:*/ format('~|~t~**', [D]),
 write(Port), write(': '), write(G), nl.
```

## Nyomkövető interpreter - példafutás

```
:- dynamic app/3, app/4. % (*)
app([], L, L).
app([X|L1], L2, [X|L3]) :-
 app(L1, L2, L3).

app(L1, L2, L3, L123) :-
 app(L1, L23, L123),
 app(L2, L3, L23).

| ?- interp(app(_, [b,c], L, [c,b,c,b]), 0).
call: app(_203, [b,c], _253, [c,b,c,b])
call: app(_203, _666, [c,b,c,b])
exit: app([], [c,b,c,b], [c,b,c,b])
call: app([b,c], _253, [c,b,c,b])
fail: app([b,c], _253, [c,b,c,b])
redo: app([], [c,b,c,b], [c,b,c,b])
call: app(_873, _666, [b,c,b])
exit: app([], [b,c,b], [b,c,b])
exit: app([c], [b,c,b], [c,b,c,b])
call: app([b,c], _253, [b,c,b])
call: app([c], _253, [c,b])
call: app([], _253, [b])
exit: app([], [b], [b])
exit: app([c], [b], [c,b])
exit: app([b,c], [b], [b,c,b])
exit: app([c], [b,c], [b], [c,b,c,b])
L = [b] ?
```

A (\*) sor elhagyható, ha a fenti (mondjuk app34) állományt az alábbi (SICStus-specifikus) beépített eljárással töltjük be:

```
| ?- load_files(app34,
 compilation_mode(
 assert_all)).
```

## Tartalom

### 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Egy nagyobb DCG példa: „természetes” nyelvű beszélgetés

```
% mondat(Alany, Áll, LO, L): LO-L kielemezhető egy Alany alanyból és Áll
% állítmányból álló mondat. Alany lehet első vagy második személyű
% névmás, vagy egyetlen szóból álló (harmadik személyű) alany.
mondat(Alany, Áll) -->
 {én_te(Alany, Ige)}, én_te_perm(Alany, Ige, Áll).
mondat(Alany, Áll) -->
 szó(Alany), szavak(Áll).

% én_te(Alany, Ige):
% Az Alany első/második személyű névmásnak megfelelő létige az Ige.
én_te("én", "vagyok").
én_te("te", "vagy").

% én_te_perm(Ki, Ige, Áll, LO, L): LO-L kielemezhető egy Ki
% névmásból, Ige igealakból és Áll állítmányból álló mondat.
én_te_perm(Alany, Ige, Áll) -->
 (szó(Alany), szó(Ige), szavak(Áll)
 ; szó(Alany), szavak(Áll), szó(Ige)
 ; szavak(Áll), szó(Ige), szó(Alany)
 ; szavak(Áll), szó(Ige)
).
```

## Példa: „természetes” nyelvű beszélgetés – szavak elemzése

```
% szó(Sz, LO, L): LO-L egy Sz betűsorozatból álló (nem üres) szó.
szó(Sz) --> betű(B), szómaradék(SzM), {illik([B|SzM], Sz)}, köz.

% szómaradék(Sz, LO, L): LO-L egy Sz kódlistából álló (esetleg üres) szó.
szómaradék([B|Sz]) --> betű(B), !, szómaradék(Sz).
szómaradék([]) --> [].

% illik(Szó0, Szó): Szó0 = Szó, vagy a kezdő kis-nagy betűben különböznek.
illik([B0|L], [B|L]) :-
 (B = B0 -> true
 ; abs(B-B0) =:= 32
).

% köz(LO, L): LO-L nulla, egy vagy több szóköz.
köz --> (" " -> köz ; "").

% betű(K, LO, L): LO-L egy K kódú "betű" (különbözik a " .?" jelektől)
betű(K) --> [K], {+ member(K, " .?")}.

% szavak(SzL, LO, L): LO-L egy SzL szó-lista.
szavak([Sz|Szk]) --> szó(Sz), (szavak(Szk)
 ; {Szk = []}
).
```

## Példa: „természetes” nyelvű beszélgetés – párbeszéd-szervezés

```
% :- type mondás --> kérdez(szó) ; kijelent(szó,list(szó)) ; un.
% Megvalósít egy párbeszédet.
párbeszéd :-
 repeat,
 read_line(L), % beolvas egy sort, L a karakterkódok listája
 (menet(Mondás, L, []) -> feldolgoz(Mondás)
 ; write('Nem értem\n'), fail
),
 Mondás = un, !.

% menet(Mondás, LO, L): Az LO-L kielemezett alakja Mondás.
menet(kérdez(Alany)) -->
 {kérdő(Szó)}, mondat(Alany, [Szó]), "?".
menet(kijelent(Alany,Áll)) -->
 mondat(Alany, Áll), ".".
menet(un) --> szó("unlak"), ".".

% kérdő(Szó): Szó egy kérdőszó.
kérdő("mi").
kérdő("ki").
kérdő("kicsoda").
```

## Példa: „természetes” nyelvű beszélgetés – válaszok előállítás

```
:- dynamic tudom/2.

% feldolgoz(Mondás): feldolgozza a felhasználótól érkező Mondás üzenetet.
feldolgoz(un) :-
 write('Én is.\n').
feldolgoz(kijelent(Alany, Áll)) :-
 assertz(tudom(Alany,Áll)),
 write('Felfogtam.\n').
feldolgoz(kérdez(Alany)) :-
 tudom(Alany, _), !,
 válasz(Alany).
feldolgoz(kérdez(_)) :-
 write('Nem tudom.\n').

% Felsorolja az Alany ismert tulajdonságait.
válasz(Alany) :-
 tudom(Alany, Áll),
 (member(Szó, Áll), format('~s ', [Szó]), fail
 ; nl
), fail.
válasz(_).
```

## Beszélgetős DCG példa – egy párbeszéd

```
| :- párbeszéd.
|: Magyar legény vagyok én.
Felfogtam.
|: Ki vagyok én?
Magyar legény
|: Péter kicsoda?
Nem tudom.
|: Péter tanuló.
Felfogtam.
|: Péter jó tanuló.
Felfogtam.
|: Péter kicsoda?
tanuló
jó tanuló
|: Boldog vagyok.
Felfogtam.

|: Én vagyok Jeromos.
Felfogtam.
|: Te egy Prolog program vagy.
Felfogtam.
|: Ki vagyok én?
Magyar legény
Boldog
Jeromos
|: Okos vagy.
Felfogtam.
|: Ki vagy te?
egy Prolog program
Okos
|: Valóban?
Nem értem
|: Unlak.
Én is.
```

## Tartalom

## 5 Haladó Prolog

- Megoldásgyűjtő beépített eljárások
- Meta-logikai eljárások
- A keresési tér szűkítése
- Vezérlési eljárások
- A Prolog megvalósítási módszereiről
- Determinizmus és indexelés
- Jobbrekurzió és akkumulátorok
- Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
- Listák és fák akkumulálása – példák
- Imperatív programok átírása Prologba
- Modularitás
- Magasabbrendű eljárások
- Dinamikus adatbáziskezelés
- Egy összetettebb példaprogram
- „Hagyományos” beépített eljárások
- Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Aritmetikai beépített eljárások

- $X$  is Kif: Kif aritmetikai kifejezés kell legyen, értékét egyesíti  $X$ -szel.
- $Kif1 \rho Kif2$ :  $Kif1$  és  $Kif2$  aritmetikai kifejezések kell legyenek, értékeik között elvégzi a  $\rho$  összehasonlítást ( $\rho$  lehet  $=$ ,  $=\backslash=$ ,  $<$ ,  $=<$ ,  $>$ ,  $=>$ ).
- Aritmetikai kifejezésekben felhasználható funktorok:

| Infix operátorok   |           |     |                |    |                            |
|--------------------|-----------|-----|----------------|----|----------------------------|
| +                  | összeadás | //  | egész osztás   | /\ | bitenkénti és              |
| -                  | kivonás   | **  | hatványozás    | \  | bitenkénti vagy            |
| *                  | szorzás   | mod | modulus képzés | << | bitenkénti balra léptetés  |
| /                  | osztás    | rem | maradék képzés | >> | bitenkénti jobbra léptetés |
| Prefix operátorok: |           | -   | negáció        | \  | bitenkénti negáció         |

| Függvény jelölésűek |                         |             |            |
|---------------------|-------------------------|-------------|------------|
| abs/1               | exp/1                   | floor/1     | sign/1     |
| atan/1              | float/1                 | log/1       | sin/1      |
| ceiling/1           | float_fractional_part/1 | max/2,min/2 | sqrt/1     |
| cos/1               | float_integer_part/1    | round/1     | truncate/1 |

## Listakezelő beépített eljárások

- Lista hossza: `length(?L, ?N)`
  - Jelentése: az  $L$  lista hossza  $N$ .
  - `length(-L, +N)` módban adott hosszúságú, csupa különböző változóból álló listát hoz létre.
  - `length(-L, -N)` módban rendre felsorolja a  $0, 1, \dots$  hosszú listákat.
  - Megvalósítását lásd korábban.
- Lista rendezése: `sort(@L, ?S)`
  - Jelentése: az  $L$  lista  $@<$  szerinti rendezése  $S$ , ( $=>/2$  szerint azonos elemek ismétlődését kiszűrve).
- Lista kulcs szerinti rendezése: `keysort(@L, ?S)`
  - Az  $L$  argumentum Kulcs-Érték alakú kifejezések listája.
  - Az eljárás jelentése: az  $S$  lista az  $L$  lista Kulcs értékei szerinti szabványos ( $@<$  általi) rendezése, ismétlődéseket nem szűr.

## Kifejezések kiírása

- `write(@X)`: Kiírja  $X$ -et, ha szükséges operátorokat, zárójeleket használva.
- `writeln(@X)`: Mint `write(X)`, csak gondoskodik, hogy szükség esetén az névkonstansok idézőjelek közé legyenek téve.
- `write_canonical(@X)`: Mint `writeln(X)`, csak operátorok nélkül, minden struktúra szabványos alakban jelenik meg.
- `write_term(@X, +Opciók)`: Az  $Opciók$  opciólista szerint kiírja  $X$ -et.
- `format(@Formátum, @AdatLista)`: A  $Formátum$ -nak megfelelő módon kiírja  $AdatLista$ -t. A formázójelek alakja:  $\sim\langle szám esetleg \rangle\langle formázójel \rangle$ .

```

| ?- write('Helló világ'). => Helló világ
| ?- writeln('Helló világ'). => 'Helló világ'
| ?- write_canonical('*' - '%'). => -(*, '%')
| ?- write_canonical([1,2]). => '. '(1, '. '(2, [])
| ?- write_term([1,2,3], [max_depth(2)]). => [1,2|...]
| ?- format('X=~s -- ~3d s', [[0'j,0'ó],3245]). => X=jó -- 3.245 s

```

## Kifejezések kiírása – felhasználó vezérelte formázás

- `print(@X)`: Alapértelmezésben azonos `write`-tal. Ha a felhasználó definiál egy `portray/1` eljárást, akkor a rendszer minden a `print`-tel kinyomtatandó részkifejezésre meghívja `portray`-t. Ennek sikere esetén feltételezi, hogy a kiírás megtörtént, meghiúsulás esetén maga írja ki a részkifejezést.  
A rendszer a `print` eljárást használja a változó-behelyettesítések és a nyomkövetés kiírására!
- `portray(@Kif)` (felhasználó által definiálandó ún. *kampó eljárás*): Igaz, ha `Kif` kifejezést a Prolog rendszernek *nem* kell kiírnia (és ekkor maga a `portray` kell, hogy elvégezze a kiírást).

- Példa:

```
portray(Matrix) :-
 Matrix = [[_|_]|_],
 (member(Row, Matrix),
 nl, print(Row), fail
 ; true
).
| ?- X = [[1,2],[3,4],[5,6]].
X =
[1,2]
[3,4]
[5,6] ?
```

## Karakterek kiírása és beolvasása

- `put_code(+Kód)`: Kiírja az adott kódú karaktert.
- `nl`: Kiír egy soremelést.
- `get_code(?Kód)`: Beolvas egy karaktert és (karakterkódját) egyesíti `Kód`-dal. (File végénél `Kód = -1`.)
- `peek_code(?Kód)`: A soronkövetkező karakter kódját egyesíti `Kód`-dal. A karaktert nem távolítja el a bemenetről. (File végénél `Kód = -1`.)

- Példa:

```
% rd_line(L): L a következő sor karakterkódjainak listája.
% read_line néven beépített eljárás SICStus 3.9.0-től.
rd_line(L) :-
 peek_code(0'\n), !, get_code(_), L = [].
rd_line([C|L]) :-
 get_code(C), rd_line(L).
| ?- rd_line(L), member(X, L), put_code(X), write(' '), fail ; nl.
|: Hello world!
H e l l o w o r l d !
```

## Példa: számbeolvasás

*% számbe(Szám): a Szám szám következik az input-folyamban.*

```
számbe(Szám) :-
 számjegy(Érték), számbe(Érték, Szám).
```

*% Az eddig beolvasott Szám0-val együtt az input-folyamban következő*

*% szám értéke Szám.*

```
számbe(Szám0, Szám) :-
 számjegy(E), !,
 Szám1 is Szám0*10+E,
 számbe(Szám1, Szám).
számbe(Szám, Szám).
```

*% Érték értékű számjegy következik.*

```
számjegy(Érték) :-
 peek_code(Kar),
 Kar >= 0'0, Kar <= 0'9,
 get_code(_),
 Érték is Kar - 0'0.
```

```
| ?- számbe(X), get_code(_), számbe(Y).
|: 123 456 => X = 123, Y = 456
```

## Kifejezések beolvasása

- `read(?Kif)`: Beolvas egy ponttal lezárt kifejezést és egyesíti `Kif`-fel. (File végénél `Kif = end_of_file`.)
- `read_term(?Kif, +Opciók)`: Mint `read/1`, de az `Opciók` opciólistát is figyelembe veszi.
- Példa – botcsinálta programbeolvasó:

```
consult_body :-
 repeat,
 read(Term),
 (Term = end_of_file -> true
 ; assertz(Term), fail
),
 !.
| ?- consult_body.
|: p(X) :- q(X), r(X).
|: ^D
yes
| ?- listing([p/1]).
p(A) :-
 q(A),
 r(A).
yes
```

## Be- és kiviteli csatornák

- Csatornák megnyitása és kezelése:
  - `open(@Filenév, @Mód, -Csatorna)`: Megnyitja a `Filenév` nevű állományt `Mód` módban (`read`, `write` vagy `append`). A `Csatorna` argumentumban visszaadja a megnyitott csatorna „nyelét”.
  - `set_input(@Csatorna)`, `set_output(@Csatorna)`: Az ezt követő beviteli/kiviteli eljárások `Csatorna`-t használják majd (jelenlegi csatorna).
  - `current_input(?Csatorna)`, `current_output(?Csatorna)`: A jelenlegi beviteli/kiviteli csatornát egyesíti `Csatorna`-val.
  - `close(@Csatorna)`: Lezárja a `Csatorna` csatornát.
- Explicit csatornamegadás be- és kiviteli eljárásokban
  - Az eddig ismertetett összes be- és kiviteli eljárásnak van egy eggyel több argumentumú változata, amelynek első argumentuma a csatorna. Ezek: `write/2`, `writeq/2`, `write_canonical/2`, `write_term/3`, `print/2`, `read/2`, `read_term/3`, `format/3`, `put_code/2`, `tab/2`, `nl/1`, `get_code/2`, `peek_code/2`.

## Egy egyszerűbb be- és kiviteli szervezés: DEC10 I/O

- `see(@Filenév)`, `tell(@Filenév)`: Megnyitja a `Filenév` file-t olvasásra/írásra és a jelenlegi csatornává teszi. Újabb híváskor csak a jelenlegi csatornává teszi.
- `seeing(?Filenév)`, `telling(?Filenév)`: A jelenlegi beviteli/kiviteli csatorna állománynevét egyesíti `Filenév`-vel.
- `seen`, `told`: Lezárja a jelenlegi beviteli/kiviteli csatornát.
- Példák – nagyon egyszerű `consult` variánsok:

```
consult_dec10_style(File) :-
 seeing(Old), see(File),
 repeat,
 read(Term),
 (Term = end_of_file
 -> seen
 ; assertz(Term), fail
),
 !,
 see(Old).
```

```
consult_with_streams(File) :-
 open(File, read, S),
 repeat,
 read(S, Term),
 (Term = end_of_file
 -> close(S)
 ; assertz(Term), fail
),
 !.
```

## Hibakezelési beépített eljárások

- Hibahelyzetet beépített eljárás rossz argumentumokkal való meghívása, vagy a `throw/1` (`raise_exception/1`) eljárás válthat ki.
- Minden hibahelyzetet egy Prolog kifejezés (ún. hiba-kifejezés) jellemez.
- Hiba „dobása”, azaz a `HibaKif` hibahelyzet kiváltása:
 

```
throw(@HibaKif),
raise_exception(@HibaKif)
```
- Hiba „elkapása”:
 

```
catch(:+Cél, ?Minta, :+Hibaág),
on_exception(?Minta, :+Cél, :+Hibaág)
```

  - Hatása: Futtatja a `Cél` hívást.
    - Ha `Cél` végrehajtása során hibahelyzet nem fordul elő, futása azonos `Cél`-lal.
    - Ha `Cél`-ban hiba van, a hiba-kifejezést egyesíti `Mintá`-val.
    - Ha ez sikeres, meghívja a `Hibaág`-at.
    - Ellenkező esetben továbbdobja a hiba-kifejezést, hogy a további körülvevő `catch` eljárások esetleg elkapassák azt.

## Programfejlesztési beépített eljárások (SICStus specifikusak)

- `set_prolog_flag(+Jelző, @Érték)`: Jelző értékét `Érték`-re állítja.
- `current_prolog_flag(?Jelző, ?Érték)`: Jelző pillanatnyi értéke `Érték`.
- Néhány fontos Prolog jelző:
  - `argv`: csak olvasható, a parancssorbeli argumentumok listája.
  - `unknown`: viselkedés definiálatlan eljárás hívásakor (`trace`, `fail`, `error`).
  - `source_info`: forrásszintű nyomkövetés (`on`, `off`, `emacs`).
- `consult(:@Files), [:@File, ...]`: Betölti a `File(ok)at`, interpretált alakban.
- `compile(:@File)`: Betölti a `File(ok)at`, lefordított alakot hozva létre.
- `listing`: Kíírja az összes interpretált eljárást az aktuális kimenetre.
- `listing(:@EljárásSpec)`: Kíírja a megnevezett interpretált eljárásokat.
- Itt és később: `EljárásSpec` – név vagy funktor, esetleg modul-kvalifikációval ellátva, ill. ezek listája, pl. `listing(p)`, `listing([m:q,p/1])`.

## Programfejlesztési eljárások (folytatás)

- `statistics`: Különböző statisztikákat ír ki az aktuális kimenetre.
- `statistics(?Fajta, ?Érték)`: Érték a Fajta fajtájú mennyiség értéke.
  - Példa: `statistics(runtime, E) => E=[Tdiff, T]`, Tdiff az előző lekérdezés óta, T a rendszerindítás óta eltelt idő, ezredmásodpercben.
- `break`: Egy új interakciós szintet hoz létre.
- `abort`, `halt`: Kilép a legkülső interakciós szintre ill. a Prolog rendszerből.
- `trace`: Elindítja az interaktív nyomkövetést.
- `debug`, `zip`: Elindítja a szelektív nyomkövetést, csak spion-pontoknál áll meg.  
(A `zip` mód gyorsabb, de nem gyűjt annyi információt mint a `debug` mód.)
- `nodebug`, `notrace`, `nozip`: Leállítja a nyomkövetést.
- `spy(:@EljárásSpec)`: Spion-pontot tesz a megadott eljárásokra.
- `nospyp(:@EljárásSpec)`: Megszünteti a megadott spion-pontokat.
- `nospyal1`: Az összes spion-pontot megszünteti.

## Tartalom

- 5 Haladó Prolog
  - Megoldásgyűjtő beépített eljárások
  - Meta-logikai eljárások
  - A keresési tér szűkítése
  - Vezérlési eljárások
  - A Prolog megvalósítási módszereiről
  - Determinizmus és indexelés
  - Jobbrekurzió és akkumulátorok
  - Kényelmi eszközök: Definite Clause Grammars (DCG), ciklusok
  - Listák és fák akkumulálása – példák
  - Imperatív programok átírása Prologba
  - Modularitás
  - Magasabbrendű eljárások
  - Dinamikus adatbáziskezelés
  - Egy összetettebb példaprogram
  - „Hagyományos” beépített eljárások
  - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek

## Külső nyelvi interfész

- Hagományos (pl. C nyelvű) programrészek meghívásának módja:
  - A Prolog rendszer elvégzi az átalakítást a Prolog alak és a külső nyelvi alak között. Kényelmesebb, biztonságosabb mint a másik módszer, de kevésbé hatékony. Többnyire csak egyszerű adatokra (egész, valós, atom). (MProlog)
  - A külső nyelvi rutin pointereket kap Prolog adatstruktúrákra, valamint hozzáférési algoritmusokat ezek kezelésére. Nehézkesebb, veszélyesebb, de jóval hatékonyabb mint az előző megoldás. Összetett adatok adásvételére is jó. (SWI, SICStus)

## Külső nyelvi interfész – példa

- A példa a `library(bdb)` megvalósításából származik.
- A C nyelven megírandó eljárás Prolog hívási alakja:  
`index_keys(+Spec, +Kif, -Kulcs, -Szám)`
- A megírandó eljárás jelentése:
  - Ha `Spec` és `Kif` különböző funktorú kifejezések, akkor `Szám = -1` és `Kulcs = []`.
  - Egyébként, ha `Spec` valamelyik argumentuma `+` és `Kif` megfelelő argumentuma változó, akkor `Szám = -2` és `Kulcs = []`.
  - Egyébként `Szám` a `Spec` argumentumaként előforduló `+` névkonstansok száma, `Kulcs` pedig `Kif` megfelelő argumentumainak *kivonatából* képzett lista. A kivonat lényegében az argumentum funktora, azzal az eltéréssel, hogy a konstansok kivonata maga a konstans, struktúrák esetén pedig a struktúra neve és az aritása külön elemként kerül a kivonat-listába.

## Külső nyelvi interfész – példa (SICStus 3)

## ● A példaeljárás használata

```
| ?- [ixtest].
| ?- index_keys(f(+, -, +, +),
 f(12.3, _, s(1, _, z(2)), t),
 Kulcs, Szam).
```

```
Kulcs = [12.3,s,3,t], Szam = 3 ?
```

## ● Az ixtest.pl Prolog file tartalmazza az interfész specifikációját:

```
foreign(ixkeys, index_keys(+term, +term, -term, [-integer])).
 % 1. arg: bemenő, általános kifejezés
 % 2. arg: bemenő, általános kifejezés
 % 3. arg: kimenő, általános kifejezés
 % 4. arg: a C függvény értéke, egész (long)

foreign_resource(ixkeys, [ixkeys]).
```

```
:- load_foreign_resource(ixkeys).
```

## ● A C programot elő kell készíteni a Prolog számára az splfr (link foreign resource) eszköz segítségével:

```
splfr ixkeys ixtest.pl +c ixkeys.c
```

## Külső nyelvi interfész – a C kód (ixkeys.c állomány)

```
#include <sicstus/sicstus.h>

#define NA -1 /* not applicable */
#define NI -2 /* instantiatedness */

long ixkeys(SP_term_ref spec,
 SP_term_ref term, SP_term_ref list)
{
 unsigned long sname, tname, plus;
 int sarity, tarity, i;
 long ret = 0;
 SP_term_ref arg = SP_new_term_ref(),
 tmp = SP_new_term_ref();

 SP_get_functor(spec, &sname, &sarity);
 SP_get_functor(term, &tname, &tarity);
 if (sname != tname || sarity != tarity)
 return NA;

 plus = SP_atom_from_string("+");

 for (i = sarity; i > 0; --i) {
 unsigned long t;
 SP_get_arg(i, spec, arg);
 SP_get_atom(arg, &t); /* no check */
 if (t != plus) continue;

 SP_get_arg(i, term, arg);
 switch (SP_term_type(arg)) {
 case SP_TYPE_VARIABLE:
 return NI;
 case SP_TYPE_COMPOUND:
 SP_get_functor(arg, &tname, &tarity);
 SP_put_integer(tmp, (long)tarity);
 SP_cons_list(list, tmp, list);
 SP_put_atom(arg, tname);
 break;
 }
 SP_cons_list(list, arg, list); ++ret;
 }
 return ret;
}
```

## Hasznos lehetőségek SICStus Prolog-ban

## ● Tetszőleges nagyságú egész számok pl.:

```
| ?- fakt(40,F).
```

```
F = 815915283247897734345611269596115894272000000000 ?
```

## ● Globális változók (Blackboard)

```
bb_put(Kulcs, Érték)
```

A Kulcs kulcs alatt eltárolja Érték-et, az előző értéket, ha van, törölve. (Kulcs egy (kis) egész szám vagy névkonstans lehet.)

```
bb_get(Kulcs, Érték)
```

Előhívja Érték-be a Kulcs értékét.

```
bb_delete(Kulcs, Érték)
```

Előhívja Érték-be a Kulcs értékét, majd kitörli.

## Hasznos lehetőségek SICStus Prolog-ban (folytatás)

## ● Visszaléptethető módon változtatható kifejezések

```
create_mutable(Adat, ValTKif)
```

Adat kezdőértékkel létrehoz egy új változtatható kifejezést, ez lesz ValTKif. Adat nem lehet üres változó.

```
get_mutable(Adat, ValTKif)
```

Adat-ba előveszi ValTKif pillanatnyi értékét.

```
update_mutable(Adat, ValTKif)
```

A ValTKif változtatható kifejezés új értéke Adat lesz. Ez a változtatás visszalépéskor visszacsinálódik. Adat nem lehet üres változó.

## ● Takarító eljárás

```
call_cleanup(Hivas, Tiszito)
```

Meghívja call(Hivas)-t és ha az véglegesen befejezte futását, meghívja Tiszito-t. Egy eljárás akkor fejezte be véglegesen a futását, ha további alternatívák nélkül sikerült, megghiúsult vagy kivételt dobott.

## ● Példa:

```
:- block p(-, ?, -, ?, ?).
```

Jelentése: ha az első és a harmadik argumentum is behelyettesíthető változó (blokkolási feltétel), akkor a `p` hívás felfüggesztődik.

Ugyanarra az eljárásra több vagylagos feltétel is szerepelhet, pl.

```
:- block p(-, ?), p(?, -).
```

## ● Végtelen választási pontok kiküszöbölése blokk-deklarációval

```
:- block append(-, ?, -).
```

```
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :-
 append(L1, L2, L3).
```

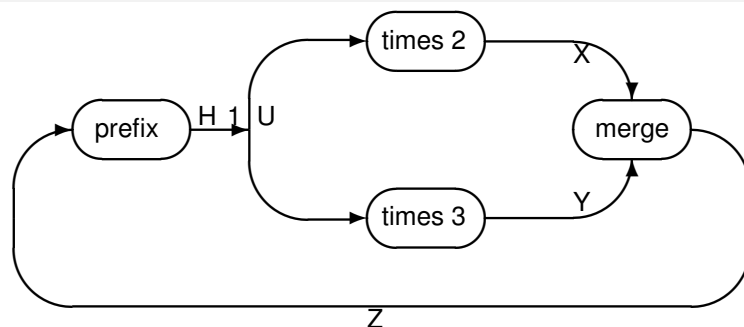
## ● Generál-és-ellenőriz típusú programok gyorsítása

- általában nem hatékonyak (pl `megrajzolja_1`), mert túl sok visszalépést használnak
- korutinszervezéssel a generáló és ellenőrző rész „automatikusan” összefésülhető
- ehhez az ellenőrző részt kell előre tenni és megfelelően blokkolni

## ● Korutinszervezésre épülő programok

- Példa: egyszerűsített Hamming feladat
  - keressük a  $2^i * 3^j$  ( $i \geq 1, j \geq 1$ ) alakú számok közül az első  $N$  darabot nagyság szerint rendezve.
  - „stream-and-parallelism” közelítésmódot használva korutinszervezéssel egyszerűen lehet megoldani

## Hamming probléma



```
% A H lista az első N, csak a 2 és 3 tényezőkből álló szám.
```

```
hamming(N, H) :-
```

```
 U = [1|H], times(U, 2, X), times(U, 3, Y),
 merge(X, Y, Z), prefix(N, Z, H).
```

```
% times(X, M, Z): A Z lista az X elemeinek M-szerese
```

```
:- block times(-, ?, ?).
```

```
times([A|X], M, Z) :- B is M*A, Z = [B|U], times(X, M, U).
```

```
times([], _, []).
```

## Hamming probléma (folyt.)

```
% merge(X, Y, Z): Z az X és Y összefésülése.
```

```
:- block merge(-, ?, ?), merge(?, -, ?).
```

```
% Csak akkor fusson, ha az első két argumentum ismert
```

```
merge([A|X], [B|Y], V) :-
```

```
 A < B, !, V = [A|Z], merge(X, [B|Y], Z).
```

```
merge([A|X], [B|Y], V) :-
```

```
 B < A, !, V = [B|Z], merge([A|X], Y, Z).
```

```
merge([A|X], [A|Y], [A|Z]) :-
```

```
 merge(X, Y, Z).
```

```
merge([], X, X) :- !.
```

```
merge(_, [], []).
```

```
% prefix(N, X, Y): Az X lista első N eleme Y.
```

```
prefix(0, _, []) :- !.
```

```
prefix(N, [A|X], [A|Y]) :-
```

```
 N > 0, N1 is N-1, prefix(N1, X, Y).
```



## Korutinszervező eljárások

- `freeze(X, Hivas)`  
Hivast felfüggeszti mindaddig, amíg `X` behelyettesítetlen változó.
- `frozen(X, Hivas)`  
Az `X` változó miatt felfüggesztett hívás(oka)t egyesíti `Hivas`-sal.
- `dif(X, Y)`  
`X` és `Y` nem egyesíthető. Mindaddig felfüggesztődik, amíg ez el nem dönthető.
- `call_residue_vars(Hivas, Valtozok)`  
Hivas-t végrehajtja, és a `Valtozok` listában visszaadja mindazokat az új (a `Hivas` alatt létrejött) változókat, amelyekre vonatkoznak felfüggesztett hívások. Pl.

```
| ?- call_residue_vars((dif(X,f(Y)), X=f(Z)), Vars).
 X = f(Z),
 Vars = [Z,Y],
 prolog:dif(f(Z),f(Y)) ?
```

## SICStus könyvtárak

- Könyvtár betöltése `:- use_module(library(könyvtárnév)).`
- A legfontosabb könyvtárak
  - `avl` – AVL fák segítségével megvalósított „asszociációs listák” (kiterjeszthető leképezések Prolog kifejezések között)
  - `atts` – tetszőleges attributumok hozzárendelése Prolog változókhöz, tárolórekeszként és az egyesítés módosítására is használható
  - `bdb` – Prolog kifejezések állományokban való tárolására szolgáló adatbázis, felhasználó által definiált többszörös indexelési lehetőséggel
  - `between` – számintervallumok felsorolása
  - `codesio` – karakterlistából olvasó ill. abba író be- és kiviteli eljárások
  - `file_systems` – állományok és könyvtárak kezelése
  - `heaps` – bináris kazal (heap), pl. prioritásos sorokhoz (priority queue)
  - `lists` – listakezelő alapműveletek
  - `logarr` – logaritmikus elérési idejű kiterjeszthető tömbök
  - `odbc` – ODBC adatbázis interfész
  - `ordsets` – halmazműveletek (halmaz  $\equiv$  @< szerint rendezett lista)
  - `queues` – sorokra (queue, FIFO store) vonatkozó műveletek

## Legfontosabb SICStus könyvtárak, folyt.

- `random` – véletlenszám-generátor
- `samsort` – általános rendezés (nem szűri az ismétlődő elemeket)
- `sockets` – socket interfész
- `system` – operációsrendszer-szolgáltatások elérése
- `terms` – általános Prolog kifejezések kezelése (pl. változók kigyűjtése)
- `timeout` – célok futási idejének korlátozása
- `trees` – az `arrays` könyvtárhoz hasonló, de nem-kiterjeszthető logaritmikus elérési idejű tömbfogalom, bináris fákkal
- `ugraphs` – élcimké nélküli irányított és irányítatlan gráfok
- `wgraphs` – irányított és irányítatlan gráfok, egészértékű élcimkével
- `linda/client` és `linda/server` – Linda-szerű processzkommunikáció
- `clpb` – Boole-értékekre vonatkozó korlátmegoldó (constraint solver)
- `clpq` és `clpr` – korlátmegoldó a racionálisak és a valósok tartományán
- `clpfd` – véges tartományokra vonatkozó korlátmegoldó
- `tcltk` – A `Tcl/Tk` nyelv és eszközkészlet elérése
- `gauge` – Prolog programok a teljesítményvizsgálata `tcltk` grafikus felülettel

## Új irányzatok a logikai programozásban – kitekintés

- Bevezetés a Logikai Programozásba c. jegyzet 6. fejezete:
  - Párhuzamos megvalósítások
  - Az Andorra-I rendszer rövid bemutatása
  - A Mercury nagyhatékonyságú LP megvalósítás
  - Korlát-logikai programozás (Constraint Logic Programming – CLP)
- Az utolsó két témával foglalkozik a „**Nagyhatékonyságú deklaratív programozás**” c. MSc szakirányos tárgy (őszi félévben)

## Haladó Erlang

- 1 Bevezetés
- 2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban
- 3 Prolog alapok
- 4 Erlang alapok
- 5 Haladó Prolog
- 6 Haladó Erlang

## Tartalom

- 6 Haladó Erlang
  - Rekurzív adatstruktúrák
    - Pontos megoldás funkcionális megközelítésben
    - Listák használata: futamok
    - Rekurzió fajtái
    - Halmazműveletek (rendezetlen listával)
    - Generikus keresőfák
    - Mohó és lusta kiértékelés

## Lineáris rekurzív adatstruktúrák – Verem (Stack)

- Lista: rekurzív adatstruktúra: `@type list() = [] | [any()|list()]`
- Verem: ennessel valószínűleg meg, listával triviális lenne
- Műveletek: üres verem létrehozása, verem üres voltának vizsgálata, egy elem berakása, utoljára berakott elem leválasztása

```
stack.erl
```

```
%% @type stack() = empty | {any(),stack()}
```

```
empty() -> empty.
```

```
is_empty(empty) -> true;
is_empty({_,_}) -> false.
```

```
push(X, empty) -> {X,empty};
push(X, {_X,_S}=S) -> {X,S}. % {_X,_S}=S: réteges minta
```

```
pop(empty) -> error;
pop({X,S}) -> {X,S}.
```

## Verem példák

```
2> S1 = stack:push(1, stack:empty()).
{1,empty}
3> S2 = stack:push(2, S1).
{2,{1,empty}}
4> S3 = stack:push(3, S2).
{3,{2,{1,empty}}}
```

- Pl. megfordíthatunk egy listát; 1. lépés: verembe tesszük az elemeket
- ```
5> Stack = lists:foldl(fun stack:push/2, stack:empty(), "szoveg").
{103,{101,{118,{111,{122,{115,empty}}}}}}
```

- 2. lépés: a verem elemeit sorban kivesszük és listába fűzzük

```
stack.erl – folytatás
```

```
% to_list(S) az S verem elemeit tartalmazó lista LIFO sorrendben.
to_list(empty) -> [];
to_list({X,S}) -> [X|to_list(S)].
```

```
6> stack:to_list(Stack).
"gevozs"
```

Elágazó rekurzív adatstruktúrák (pl. bináris fa)

- Műveletek bináris fákön: létrehozása, mélysége, leveleinek száma

tree.erl – Műveletek bináris fákön: létrehozása, mélysége, leveleinek száma

```
% @type btree() = leaf | {any(),btree(),btree()}.
```

```
empty() -> leaf.           % Üres fa.
```

```
node(V, Lt, Rt) -> {V,Lt,Rt}. % Lt és Rt fák összekapcsolása
                             % egy új V értékű csomóponttal.
```

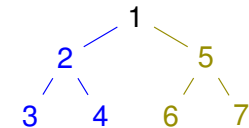
```
max(X, Y) when X>Y -> X;
max(_X, Y)           -> Y.
```

```
depth(leaf)         -> 0;           % Fa legnagyobb mélysége.
depth({_ ,Lt,Rt}) -> 1 + max(depth(Lt), depth(Rt)).
```

```
leaves(leaf)        -> 1;           % Fa leveleinek száma.
leaves({_ ,Lt,Rt}) -> leaves(Lt) + leaves(Rt).
```

Bináris fa (folyt.): listából fa, fából lista

```
L=empty(), T=node(1, node(2, node(3,L,L),
                          node(4,L,L)),
                  node(5, node(6,L,L),
                          node(7,L,L)))
```



$T \mapsto \{1, \{2, \{3, \text{leaf}, \text{leaf}\}, \{4, \text{leaf}, \text{leaf}\}\}, \{5, \{6, \text{leaf}, \text{leaf}\}, \{7, \text{leaf}, \text{leaf}\}\}$

tree.erl – folytatás

```
to_list_prefix(leaf)         -> [];
to_list_prefix({V,Lt,Rt}) ->
    [V] ++ to_list_prefix(Lt) ++ to_list_prefix(Rt).
```

```
to_list_infix(leaf)         -> [];
to_list_infix({V,Lt,Rt}) ->
    to_list_infix(Lt) ++ [V] ++ to_list_infix(Rt).
```

```
from_list([]) -> empty();
from_list(L)  -> {L1, [X|L2]} = lists:split(length(L) div 2, L),
                  node(X, from_list(L1), from_list(L2)).
```

Elágazó rekurzív adatstruktúrák – könyvtárszerkezet

```
2> Home = {d,"home",           % home
           [{d,"kitti",       % home/kitti
             [{d,".firefox", []}, % home/kitti/.firefox
              {f,"dir.erl"},     % home/kitti/dir.erl
              {f,"khf1.erl"},    % home/kitti/khf1.pl
              {f,"khf1.pl"}]},   % home/kitti/khf1.erl
           {d,"ludvig", []}]}.
```

dir.erl – Könyvtárszerkezet kezelése

```
% @type tree() = file() | directory().
% @type file() = {f, name()}.
% @type directory() = {d, name(), [tree()]}.
% @type name() = string().
```

% Fa mérete (könyvtárak és fájlok számának összege).

```
count({f, _}) -> 1;
count({d, _, L}) -> 1 + lists:sum([count(I) || I <- L]).
```

Könyvtárszerkezet – folytatás

dir.erl – Könyvtárszerkezet kezelése (folytatás)

```
% @spec subtree(Path::[name()], Tree::tree()) -> tree() | notfound.
% Tree fa Path útvonalon található rész fája.
```

```
subtree([Name], {f, Name} = Tree) -> Tree;
subtree([Name], {d, Name, _} = Tree) -> Tree;
subtree([Name|[_]=SubPath], {d, Name, L}) ->
    case lists:keyfind(Sub, 2, L) of
        false -> notfound;
        Tree -> subtree(SubPath, Tree)
    end;
subtree(_, _) -> notfound.
```

```
3> dir:subtree(string:tokens("home/kitti/.firefox", "/"), Home).
{d, ".firefox", []}
4> dir:subtree(string:tokens("home/kitti/firefox", "/"), Home).
notfound
```

Tartalom

6 Haladó Erlang

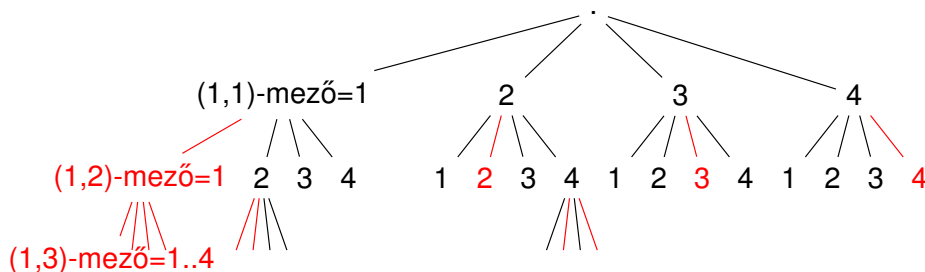
- Rekurzív adatstruktúrák
- Pontos megoldás funkcionális megközelítésben
- Listák használata: futamok
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Mohó és lusta kiértékelés

Pontos megoldás (Exact solution)

- Kombinatorikában sokszor *optimális megoldás* (optimal solution)
- Egy probléma pontos (egzakt) megoldása
- Nem közelítő (approximáció), nem szuboptimális (bizonyos heurisztikák)
- Keresési feladat: valamilyen *értelmezési tartomány* azon elemeit keressük, melyek megfelelnek a kiírt *feltételeknek*
 - lehetséges megoldás = *jelölt*
 - értelmezési tartomány = *keresési tér (search space)*, jelöltek halmaza
 - feltételek = *korlátok vagy kényszerek (constraints)*
- Pl. egy 16 mezős Sudoku-feladvány helyes megoldásai, 8 királynő egy sakktablán, Hamilton-kör egy gráfban, Imre herceg nagyszülei ...
- A Prolog végrehajtási algoritmus képes egy predikátumokkal és egy célsorozattal leírt probléma összes megoldását felsorolni (!)
- Funkcionális megközelítésben a megoldások felsorolását a programozónak meg kell írnia (logikaiban is megírható természetesen)

Keresési tér bejárása

- Itt csak véges keresési térrel foglalkozunk
- A megoldás keresését esetekre bonthatjuk, azokat esetekre stb. \rightsquigarrow Ilyenkor egy *keresési fát* járunk be
- Pl. 16 mezős Sudoku (1. sor, 1. oszlop) mezeje lehet 1,2,3,4 Ezen belül (1. sor, 2. oszlop) mezeje lehet 1,2,3,4 stb.



- Bizonyos eseteknél (piros) tudjuk, hogy nem lesz megoldás (ha egy sorban egy érték több mezőben is szerepel)
- Hatékony megoldás: a keresési fa részeit levágjuk (nem járjuk be)

Példa: Send + More = Money

- Feladat: Keressük meg azon (S, E, N, D, M, O, R, Y) számnyolcasokat, melyekre $0 \leq S, E, N, D, M, O, R, Y \leq 9$ és $S, M > 0$, ahol az eltérő betűk eltérő értéket jelölnek, és

```
S E N D
+ M O R E
-----
```

M O N E Y a papíron történő összeadás szabályai szerint, vagyis

$$(1000S + 100E + 10N + D) + (1000M + 100O + 10R + E) = 10000M + 1000O + 100N + 10E + Y.$$

- Naív megoldásunk: járjuk be a teljes keresési teret, és szűrjük meg azon nyolcasokra, melyekre teljesülnek a feltételek
- Keresési tér $\subseteq \{0, 1, \dots, 9\}^8$, azaz egy 8-elemű Descartes-szorzat, mérete 10^8 (10 számjegy 8-adosztályú ismétléses variációi)
- Megoldás:

$$\{(S, E, N, D, M, O, R, Y) \mid S, E, N, D, M, O, R, Y \in \{0..9\}, \text{all_different}, S, M > 0, \text{SEND} + \text{MORE} = \text{MONEY}\}$$

Kimerítő keresés

Exhaustive search, Generate and test, Brute force

- Kimerítő keresés: teljes keresési tér bejárása, jelöltek szűrése

sendmory.erl – Send More Money megoldások, alapfogalmak

```
% @type d() = 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9.
% @type octet() = {d(),d(),d(),d(),d(),d(),d(),d()}.
```

```
% @spec num(Ns::[d()]) -> N::integer().
```

```
% Az Ns számjegylista decimális számként N.
```

```
num(Ns)-> lists:foldl(fun(X,E) -> E*10+X end, 0, Ns).
```

```
% @spec check_sum(octet()) -> bool().
```

```
% A jelölt teljesíti-e az összeadási feltételt.
```

```
check_sum({S,E,N,D,M,O,R,Y}) ->
```

```
    Send = num([S,E,N,D]),
```

```
    More = num([M,O,R,E]),
```

```
    Money = num([M,O,N,E,Y]),
```

```
    Send+More == Money.
```

Kimerítő keresés – folytatás

sendmory.erl – folytatás

```
% @spec all_different(Xs::[any()]) -> B::bool()
```

```
all_different(L) -> length(L) == length(lists:usort(L)).
```

```
% @spec smm0() -> [octet()].
```

```
smm0() -> Ds = lists:seq(0, 9),
```

```
    [{S,E,N,D,M,O,R,Y} ||
```

```
    S <- Ds,
```

```
    E <- Ds,
```

```
    N <- Ds,
```

```
    D <- Ds,
```

```
    M <- Ds,
```

```
    O <- Ds,
```

```
    R <- Ds,
```

```
    Y <- Ds,
```

```
    all_different([S,E,N,D,M,O,R,Y]),
```

```
    S > 0, M > 0,
```

```
    check_sum({S,E,N,D,M,O,R,Y})].
```

Keresési fa csökkentése (1)

- 10^8 eset ellenőrzése túl sokáig tart
- Ötlet: korábban, már generálás közben is szűrhetjük az egyezéseket

sendmory.erl – folytatás

```
% @spec smm1() -> [octet()].
```

```
smm1() ->
```

```
    Ds = lists:seq(0, 9),
```

```
    [{S,E,N,D,M,O,R,Y} ||
```

```
    S <- Ds,
```

```
    E <- Ds, E /= S,
```

```
    N <- Ds, not lists:member(N, [S,E]),
```

```
    D <- Ds, not lists:member(D, [S,E,N]),
```

```
    M <- Ds, not lists:member(M, [S,E,N,D]),
```

```
    O <- Ds, not lists:member(O, [S,E,N,D,M]),
```

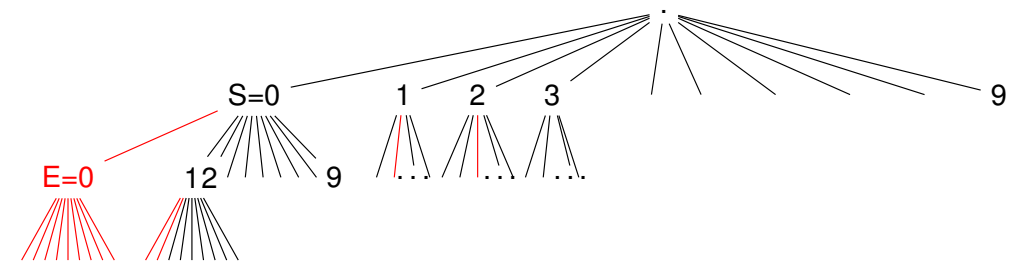
```
    R <- Ds, not lists:member(R, [S,E,N,D,M,O]),
```

```
    Y <- Ds, not lists:member(Y, [S,E,N,D,M,O,R]),
```

```
    S > 0, M > 0,
```

```
    check_sum({S,E,N,D,M,O,R,Y})].
```

Keresési fa csökkentése (2)



- A keresési fában azon részfákat, amelyekben egyezés van (pirosak), már generálás közben elhagyhatjuk
- Ez már nem kimerítő keresés (nem járjuk be az összes jelöltet)
- A javulást annak köszönhetjük, hogy jelöltek tesztelését előrébb hoztuk
- Vegyük észre, hogy a keresési tér csökkentésével is ide juthatunk: új keresési tér \subseteq {10 elem 8-adosztályú ismétlés nélküli variációi}
- Mérete $10!/(10-8)! = 1\,814\,400 \ll 100\,000\,000$

Variációk felsorolása listanézettel

```

1> Domain = [a,b,c,d].           % A halmaz.
[a,b,c,d]
2> IVar = [ {X,Y,Z} ||           % Ismétléses variációk.
            X <- Domain,
            Y <- Domain,
            Z <- Domain ].
[{a,a,a}, {a,a,b}, {a,a,c}, {a,a,d}, {a,b,a}, {a,b,b}, {...}|...]
3> length(IVar).
64                               % 4*4*4 = 64.
4> INVar = [ {X,Y,Z} ||           % Ismétlés nélküli variációk.
            X <- Domain,
            Y <- Domain -- [X],
            Z <- Domain -- [X,Y] ].
[{a,b,c}, {a,b,d}, {a,c,b}, {a,c,d}, {a,d,b}, {a,d,c},
 {b,a,c},
 {...}|...]
5> length(INVar).
24                               % 4!/1! = 24.

```

Keresési tér csökkentése

- Újból kimerítő keresés, de kisebb a keresési tér

sendmory.erl – folytatás

```

% @spec smm2() -> [octet()].
% Minden ellenőrzés a generálás után történik.
smm2() ->
  Ds = lists:seq(0, 9),
  [{S,E,N,D,M,O,R,Y} ||
   S <- Ds -- [],
   E <- Ds -- [S],
   N <- Ds -- [S,E],
   D <- Ds -- [S,E,N],
   M <- Ds -- [S,E,N,D],
   O <- Ds -- [S,E,N,D,M],
   R <- Ds -- [S,E,N,D,M,O],
   Y <- Ds -- [S,E,N,D,M,O,R],
   S > 0, M > 0,
   check_sum({S,E,N,D,M,O,R,Y})].

```

Kimerítő keresés újból: keresési tér explicit felsorolása

- Vajon érdemes-e a jelöltek generálását elválasztani a teszteléstől? **Nem!**

sendmory.erl – folytatás

```

% @spec perms() -> [octet()].
% Számjegyek ismétlés nélküli 8-adosztályú variációi
perms8() -> Ds = lists:seq(0,9),
  [{S,E,N,D,M,O,R,Y} ||
   S <- Ds -- [],
   E <- Ds -- [S],
   N <- Ds -- [S,E],
   D <- Ds -- [S,E,N],
   M <- Ds -- [S,E,N,D],
   O <- Ds -- [S,E,N,D,M],
   R <- Ds -- [S,E,N,D,M,O],
   Y <- Ds -- [S,E,N,D,M,O,R] ].

% @spec smm3() -> [octet()].
smm3() -> [Sol || {S,_E,_N,_D,M,_O,_R,_Y} = Sol <- perms8(),
               S > 0, M > 0, check_sum(Sol)].

```

Kimerítő keresés újból: keresési tér explicit felsorolása (2)

- Tovább csökkenthető a keresési tér, ha előrébb mozgatunk feltételeket

sendmory.erl – folytatás

```

% @spec smm4() -> [octet()].
% További ellenőrzések generálás közben.
smm4() ->
  Ds = lists:seq(0,9),
  [{S,E,N,D,M,O,R,Y} ||
   S <- Ds -- [0],                               % 0 kizárva
   E <- Ds -- [S],
   N <- Ds -- [S,E],
   D <- Ds -- [S,E,N],
   M <- Ds -- [0,S,E,N,D],                         % 0 kizárva
   O <- Ds -- [S,E,N,D,M],
   R <- Ds -- [S,E,N,D,M,O],
   Y <- Ds -- [S,E,N,D,M,O,R],
   check_sum({S,E,N,D,M,O,R,Y})].

```

Vágások a keresési fában generálás közben

- Ötlet: építsük hátulról a számokat, és ellenőrizzük a részösszegeket még generálás közben

sendmory.erl – folytatás

```

smm5() ->                %%      S E N D
Ds = lists:seq(0, 9),    %%      + M O R E
[ {S,E,N,D,M,O,R,Y} ||  %%      = M O N E Y
  D <- Ds -- [],
  E <- Ds -- [D],
  Y <- Ds -- [D,E],      % <- lehetne javítani még...
  (D+E) rem 10 == Y,
  N <- Ds -- [D,E,Y],
  R <- Ds -- [D,E,Y,N],
  (num([N,D])+num([R,E])) rem 100 == num([E,Y]),
  O <- Ds -- [D,E,Y,N,R],
  (num([E,N,D])+num([O,R,E])) rem 1000 == num([N,E,Y]),
  S <- Ds -- [D,E,Y,N,R,O,O],
  M <- Ds -- [D,E,Y,N,R,O,S,O],
  check_sum({S,E,N,D,M,O,R,Y}) ].

```

Vágások a keresési fában generálás közben (2)

- A vágások eredményeképpen nagyságrendileg gyorsabb megoldást kapunk
- A generálás minél korábbi fázisában vágunk, annál jobb: a keresési fában nem a legalsó szintről kell *visszalépni*, hogy új megoldást keressünk
- Előzőből ötlet: építsünk részmegoldásokat, és minden építő lépésnél ellenőrizzük, hogy lehet-e értelme a részmegoldást bővíteni megoldássá

sendmory.erl – folytatás

```

% @type partial_solution() = {[d()], [d()], [d()]}.

% @spec smm6() -> [octet()].
smm6() ->
  smm6({[], [], []}, 5, lists:seq(0,9)).

```

- `{[], [], []}` a kiindulási részmegoldásunk
- 5 méretű megoldásokat kell építeni
- `lists:seq(0,9)` a változók tartománya

Vágások a keresési fában generálás közben (3)

- Egy `PartialSolution = {Sendlista, Morelista, Moneylista}` részmegoldás csak akkor bővíthető megoldássá, ha
 - A listák számjegyei jó pozícióban helyezkednek el: azonos betűk egyeznek, többi számjegy különbözik
 - A részletösszeg is helyes, csak az átvitelben térhet el

sendmory.erl – folytatás

```

% @spec check_equals(partial_solution()) -> bool().
check_equals(PartialSolution) ->
  case PartialSolution of
    {[D], [E], [Y]}          -> all_different([D,E,Y]);
    {[N,D], [R,E], [E,Y]}    -> all_different([N,D,R,E,Y]);
    {[E,N,D], [O,R,E], [N,E,Y]} -> all_different([O,N,D,R,E,Y]);
    {[S,E,N,D], [M,O,R,E], [O,N,E,Y]} -> all_different([S,M,O,N,D,R,E,Y]);
    {[O,S,E,N,D], [O,M,O,R,E], [M,O,N,E,Y]} ->
      all_different([S,M,O,N,D,R,E,Y]) andalso all_different([O,S,M]);
    _                         -> false
  end.

```

Vágások a keresési fában generálás közben (4)

- Egy `PartialSolution = {Sendlista, Morelista, Moneylista}` részmegoldás csak akkor bővíthető megoldássá, ha
 - A listák számjegyei jó pozícióban helyezkednek el: azonos betűk egyeznek, többi számjegy különbözik
 - A részletösszeg is helyes, csak az átvitelben térhet el

sendmory.erl – folytatás

```

% @spec check_sum(partial_solution()) -> bool().
% Ellenőrzi, hogy aritmetikai szempontból helyes-e a részmegoldás.
% Az átvittel (carry) nem foglalkozik, mert mindkettő helyes:
% {[1,2], [3,4], [4,6]} és {[9], [2], [1]},
% mert építhető belőlük teljes megoldás.
check_partialsom({Send, More, Money}) ->
  S = num(Send), M = num(More), My = num(Money),
  (S+M) rem round(math:pow(10,length(Send))) == My.

```

Vágások a keresési fában generálás közben (5)

sendmory.erl – folytatás

```
% @spec smm6(PS::partial_solution(), Num::integer(),
%           Domain::[integer()]) -> Sols::[octet()].
% Sols az összes megoldás, mely a PS rész megoldásból építhető,
% mérete (Send hossza) =< Num, a számjegyek tartománya Domain.
smm6({Send,_,_} = PS, Num, _Domain) when length(Send) == Num ->
  {[O,S,E,N,D], [O,M,O,R,E], [M,O,N,E,Y]} = PS,
  [{S,E,N,D,M,O,R,Y}];
smm6({Send,More,Money}, Num, Domain) ->
[Solution ||
  Dsend <- Domain,
  Dmore <- Domain,
  Dmoney <- Domain,
  PSol1 <- [ {[Dsend|Send], [Dmore|More], [Dmoney|Money]} ],
  % pl. így tudunk lekötni változót: PSol1 <- [ Érték ],
  check_equals(PSol1),
  check_partialsom(PSol1),
  Solution <- smm6(PSol1, Num, Domain) ] .
```

Korlát-Kielégítési Probléma (Constraint Satisfaction Problem)

- Eddig előre „könnyen” átlátható keresési fát terveztünk meg, vágunk meg és jártunk be; de a végső cél nem az átlátható keresési fa
- CSP-megközelítés:
 - amíg lehet, szűkítjük a választási lehetőségeket a *korlátok* alapján
 - ha már nem lehet, bontunk esetekre a választási lehetőségeket

SMM mint CSP probléma = (Változók, Tartományok, Korlátok)

- Változók: S, E, N, D, M, O, R, Y, segédváltozók: 0, C₁, C₂, C₃, C₄

Tartományok:	0	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	s	e	n	d	m	o	r	y
Alsó határ:	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Felső határ:	0	1	1	1	1	9	9	9	9	9	9	9	9

- Korlátok:

S E N D	d + e + 0 = y + 10 · c ₁
+ M O R E	n + r + c ₁ = e + 10 · c ₂
-----	e + o + c ₂ = n + 10 · c ₃
M O N E Y	s + m + c ₃ = o + 10 · c ₄
	0 + 0 + c ₄ = m + 10 · 0

CSP tevékenységek – szűkítés

- Szűkítés egy korlát szerint:** egy korlát egy változójának d_i értéke *felesleges*, ha nincs a korlát többi változójának olyan értékrendszere, amely d_i -vel együtt kielégíti a korlátot
Pl. az utolsó korlát: $0 + 0 + c_4 = m + 10 \cdot 0$, a változók tartománya: $0 \in [0]$, $c_4 \in [0,1]$, $m \in [1,2,3,4,5,6,7,8,9]$
 $m \in [2,3,4,5,6,7,8,9]$ értékek feleslegesek!
- Felesleges érték elhagyásával (szűkítéssel) ekvivalens CSP-t kapunk
- SMM kezdeti tartománya; és megszűkítve, tovább már nem szűkíthető:

c1: 01	c1: 01
c2: 01	c2: 01
c3: 01	c3: 01
c4: 01	c4: 1
s: 123456789	s: 89
e: 0123456789	e: 0123456789
n: 0123456789	n: 0123456789
d: 0123456789	d: 0123456789
m: 123456789	m: 1
o: 0123456789	o: 01
r: 0123456789	r: 0123456789
y: 0123456789	y: 0123456789

szűkítés az összes
lehetséges
korláttal, ameddig
sikerül:

CSP tevékenységek – címkézés (labeling)

- Tovább már nem szűkíthető CSP esetén vizsgáljuk a többértelműséget:
- Többértelműség: van legalább két elemet tartalmazó tartomány, és egyik tartomány sem üres
- Címkézés (elágazás):**
 - kiválasztunk egy többértelmű változót (pl. a legkisebb tartományút),
 - a tartományt két vagy több részre osztjuk (választási pont),

c1: 01	Két új	c1: 0	c1: 1
c2: 01	CSP-t	c2: 01	c2: 01
c3: 01	készítünk:	c3: 01	c3: 01
c4: 1	c1=0 és	c4: 1	és c4: 1
s: 89	c1>0	s: 89	s: 89
e: 0123456789	esetek:	e: 0123456789	e: 0123456789
...

- az egyes választásokat mind megoldjuk, mint új CSP-eket.

CSP tevékenységek – visszalépés

- Ha nincs többértelműség, és a tartományok nem szűkíthetők tovább, két eset lehet:
 - Ha valamely változó tartománya üres, nincs megoldás ezen az ágon
 - Ha minden változó tartománya egy elemű, előállt egy megoldás

Az SMM CSP megoldás folyamata összefoglalva:

- 1 Felvesszük a változók és segédváltozók tartományait, ez az első állapotunk, ezt betesszük az S listába
- 2 Ha az S lista üres, megállunk, nincs több megoldás
- 3 Az S listából kivesszünk egy állapotot, és szűkítjük, ameddig csak lehet
- 4 Ha van üres tartományú változó, akkor az állapotból nem jutunk megoldáshoz, folytatjuk a 2. lépéssel
- 5 Ha nincs többértelmű változó az állapotban, az állapot egy megoldás, eltesszük, folytatjuk a 2. lépéssel
- 6 Valamelyik többértelmű változó tartományát részekre osztjuk, az így keletkező állapotokat visszatesszük a listába, folytatjuk a 2. lépéssel

SMM CSP megoldással – részlet

smm99.erl – SMM CSP megoldásának alapjai

```
% @type state() = {varname(), domain()}.
% @type varname() = any().
% @type domain() = [d()].

% @spec initial_state() -> St::state().
% St describes the variables of the SEND MORE MONEY problem.
initial_state() ->
  VarNames = [0,c1,c2,c3,c4,s,e,n,d,m,o,r,y],
  From      = [0, 0, 0, 0, 0,1,0,0,0,1,0,0,0],
  To        = [0, 1, 1, 1, 1,9,9,9,9,9,9,9],
  [ {V,lists:seq(F,T)} ||
    {V,{F,T}} <- lists:zip(VarNames, lists:zip(From, To))].

% @spec smm() -> [octet()].
smm() ->
  St = initial_state(),
  process(St, [], []).
```

SMM CSP megoldással – részlet (2)

smm99.erl – SMM CSP megoldásának fő függvénye

```
% process(St0::state(),Sts::[state()],Sols0::[octet()])->Sols::[octet()].
% Sols = Sols1++Sols0 s.t. Sols1 are the sols obtained from [St0|Sts].
process(...) -> ...;
process(St0, Sts, Sols0) ->
  St = narrow_domains(St0),
  DomSizes = [ length(Dom) || {_,Dom} <- St ],
  Max = lists:max(DomSizes),
  Min = lists:min(DomSizes),
  if Min == 0 ->           % there are empty domains
    process(final, Sts, Sols0);
  (St /= St0) ->         % state changed
    process(St, Sts, Sols0);
  Max == 1 ->           % all domains singletons, solution found
    Sol = [Val || {_,[Val]} <- problem_vars(St)],
    process(final, Sts, [Sol|Sols0]);
  true ->
    {CSt1, CSt2} = make_choice(St), % labeling
    process(CSt1, [CSt2|Sts], Sols0)
end.
```

Tartalom

- 6 Haladó Erlang
 - Rekurzív adatstruktúrák
 - Pontos megoldás funkcionális megközelítésben
 - Listák használata: futamok
 - Rekurzió fajtái
 - Halmazműveletek (rendezetlen listával)
 - Generikus keresőfák
 - Mohó és lusta kiértékelés

Futam definíció

- *Futam*: olyan nem üres lista, amelynek szomszédos elemei adott feltételnek megfelelnek
- A feltételt az előző és az aktuális elemre alkalmazandó *predikátumként* adjuk át a futamot előállító függvénynek
 - *Predikátum*: logikai függvény (igaz/hamis), példa:


```
1> P = fun erlang:'<'>/2.
#Fun<erlang.<.2>
2> P(1, 2).
true
3> P(2, 2).
false
```
- Feladat: írjunk olyan Erlang-függvényt, amely egy lista egymás utáni elemeiből képzett (diszjunkt, tovább nem bővíthető) futamok listáját adja eredményül – az elemek eredeti sorrendjének megőrzésével
- Az első, naív változatban egy-egy segédfüggvényt írunk egy lista *első* (prefix) *futamának*, valamint a *maradéklistának* az előállítására (vö. dp11a_gy3:rampa, lists:splitwith/2)

Futamok előállítása – naív változat

- Példa:

```
4> futam:elso_futam(P, [1,3,9,5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]).
[1,3,9]
```

futam.erl – Futamok felsorolása

```
% @type pred() = fun(elem(), elem()) -> bool().
% @type elem() = any().

% @spec elso_futam(P::pred(), List::[elem()]) -> Fs::[elem()].
% Fs a List P-t kielégítő első (prefix) futama.
elso_futam(_P, [X]) ->
[X];
elso_futam(P, [X|Ys=[Y|_]]) ->
case P(X, Y) of
false -> [X];
true -> [X|elso_futam(P, Ys)]
end.
```

Futamok előállítása – naív változat (2)

- Példa:

```
4> futam:elso_futam(P, [1,3,9,5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]).
[1,3,9]
5> futam:maradek(P, [1,3,9,5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]).
[5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]
```

futam.erl – folytatás

```
% @spec maradek(P::pred(), List::[elem()]) -> Ms::[elem()].
% Ms a List P-t kielégítő első futam utáni maradéka.
maradek(_P, [_X]) ->
[];
maradek(P, [X|Ys=[Y|_]]) ->
case P(X, Y) of
false -> Ys;
true -> maradek(P, Ys)
end.
```

Futamok előállítása – naív változat (3)

- Példa:

```
6> futam:naiv_futamok(P, [1,3,9,5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]).
[[1,3,9], [5,7], [2,5,9], [1,6], [0], [0,3,5,6], [2]]
7> futam:naiv_futamok(P, []).
[]
8> futam:naiv_futamok(P, [1]).
[[1]]
```

futam.erl – folytatás

```
% @spec naiv_futamok(Pred::pred(), List::[elem()])
% -> Lists::[[elem()]].
% Lists a List szomszédos elemeiből álló, Pred-et kielégítő
% futamok listája.
naiv_futamok(_P, []) -> [];
naiv_futamok(P, List) -> Fs = elso_futam(P, List),
Ms = maradek(P, List),
[Fs|naiv_futamok(P, Ms)].
```

Futamok előállítás – hatékonyabb változat

- Pazarlás kétszer megkeresni az első futamot, a korábbi példa:
4> futam:elso_futam(P, [1,3,9,5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]).
[1,3,9]
5> futam:maradek(P, [1,3,9,5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]).
[5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]
- Kezeljük az első futamot és a maradékot *egyetlen párként*:
9> futam:futam_maradek(P, [1,3,9,5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]).
{[1,3,9], [5,7,2,5,9,1,6,0,0,3,5,6,2]}

```
% @spec futam_maradek(P::pred(), L::[elem()]) ->
%   {Fs::[elem()],Ms::[elem()]}.
% Fs := elso_futam(P, L) és Ms := maradek(P, L).
futam_maradek(_P, [X])      -> {[X], []};
futam_maradek(P, [X|Ys=[Y|_]]) ->
  case P(X, Y) of
    true  -> {Fs, Ms} = futam_maradek(P, Ys),
              {[X|Fs], Ms};
    false -> {[X], Ys}
  end.
```

Tartalom

6 Haladó Erlang

- Rekurzív adatstruktúrák
- Pontos megoldás funkcionális megközelítésben
- Listák használata: futamok
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Mohó és lusta kiértékelés

Futamok előállítás – hatékonyabb változat (2)

futam.erl – folytatás

```
% @spec *futamok(Pred::pred(), L::[elem()]) -> Lists::[[elem()]].
naiv_futamok(_P, []) -> [];
naiv_futamok(P, L) ->
  Fs = elso_futam(P, L),
  Ms = maradek(P, L),
  [Fs|naiv_futamok(P, Ms)].
futamok(_P, []) -> [];
futamok(P, L) ->
  {Fs, Ms} = futam_maradek(P, L),
  [Fs|futamok(P, Ms)].
```

- Példa futam_maradek felhasználására: számtani sorozatok gyűjtése

```
10> futam:difek([1,3,5,7,7,5,3,1,1,1,1,2]).
[[1,3,5,7],[7,5,3,1],[1,1,1],[2]]
```

```
% @spec difek(Xs::[number()]) -> Dss::[[number()]].
% Dss az Xs számtani sorozatot alkotó részlistáinak listája.
difek([X1,X2|_] = L) ->
  {Fs,Ms} = futam_maradek(fun(A, B) -> B-A:=X2-X1 end, L),
  [Fs|difek(Ms)];
difek([_] = L) -> [L]; difek([]) -> [].
```

Rekurzió alapesetek

- Lineáris rekurzió
Példa: lista összegének meghatározása

rek.erl – Rekurzió példák

```
sum([]) -> 0;
sum([H|T]) -> H + sum(T).
```

- Elágazó rekurzió (Tree recursion)
Példa: bináris fa leveleinek száma

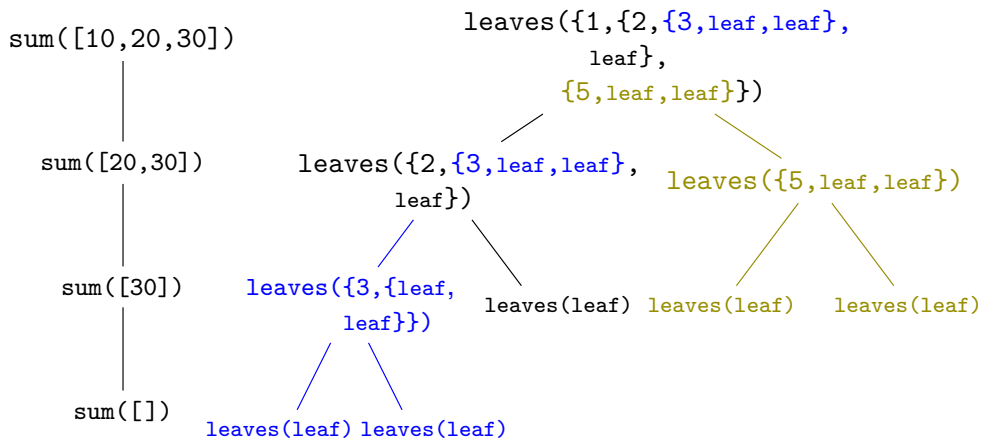
```
% @type btree() = leaf | {any(),btree(),btree()}.
leaves(leaf) -> 1;
leaves({_,Lt,Rt}) -> leaves(Lt) + leaves(Rt).
```

- Mindkettőből *rekurzív folyamat* jön létre, ha alkalmazzuk: minden egyes rekurzív hívás mélyíti a vermet
- Például sum/1 az egész listát kiteríti a vermen: sum([1,2,3]) →

1 + sum([2,3]) → 1 + (2 + sum([3])) → 1 + (2 + (3 + sum([])))

Rekurzív folyamat erőforrásigénye

- Hívási fa (call graph, CG fa): futás során meghívott függvények



- A lépések száma főként a *CG méretének* függvénye
- A tárigény (veremigény) főként a *CG mélységének* függvénye⁷

⁷itt lineáris függvénye

Rekurzív folyamat erőforrásigénye – Példák

Példa ⁸	Lépések (CG méret)	CG mélység	Tárigény \approx mélység* állapot
<code>sum(lists:seq(1, n))</code>	$\Theta(n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n) * \Theta(1)$
<code>sumi(lists:seq(1, n))</code>	$\Theta(n)$	$\Theta(1)$ (konst.)	$\Theta(1) * \Theta(1)$
SEND+MORE=MONEY kimerítő keresés, itt $n = 8$	$\Theta(10^n)$	$\Theta(n)$	$\Theta(n) * \Theta(n) = \Theta(n * n)$
$(n * n)$ -es Sudoku kimerítő keresés, tipikusan $n = 9$	$\Theta(n^{n*n})$	$\Theta(n * n)$	$\Theta(n^2) * \Theta(n^2) = \Theta(n^4)$

- A rekurzióból fakadó tárigény lehet jelentős is (vö `sum/1`, `sumi/1`), és lehet elhanyagolható is a lépésekhez képest (SMM, Sudoku)
- Az eljárások, függvények olyan *minták*, amelyek megszabják a számítási folyamatok, processzek menetét, *lokális* viselkedését
- Egy számítási folyamat *globális* viselkedését (pl. idő- és tárigény) általában nehéz megbecsülni, de törekednünk kell rá

⁸ $f(n) = \Theta(g(n))$ jelentése: $g(n) \cdot k_1 \leq f(n) \leq g(n) \cdot k_2$ valamilyen $k_1, k_2 > 0$ -ra

Jobbrekurzió, iteráció

Gyakran érdemes akkumulátorok bevezetésével jobbrekurzióvá alakítani

- Példa: lista összegének meghatározása


```
sumi(L) -> sumi(L,0).
sumi([], N) -> N;
sumi([H|T], N) -> sumi(T, N+H).
```
- A segédfüggvényt jobb nem exportálni, hogy elrejtjük az akkumulátort
- A jobbrekurzióból *iteratív folyamat* hozható létre, amely nem mélyíti a vermet: `sumi/2` tárigénye konstans: `sumi([1,2,3],0) -> sumi([2,3],1) -> sum([3],3) -> sum([],6)`
- Ne tévesszük össze egymással a rekurzív számítási folyamatot és a rekurzív függvényt, eljárást!
 - Rekurzív függvény esetén csupán a szintaxisról van szó, arról, hogy hivatkozik-e a függvény, eljárás *önmagára*
 - Folyamat esetében viszont a folyamat menetéről, lefolyásáról beszélünk
- Ha egy függvény *jobbrekurzív (tail-recursive)*, a megfelelő folyamat – az értelmező/fordító jószágától függően – lehet iteratív

A jobbrekurzió mindig előnyösebb? Nem!

- A jobbrekurzív `sumi(L1)` össz-tárigénye konstans, a lineáris-rekurzív `sum(L1)` össz-tárigénye $\Theta(\text{length}(L1))$
- Melyiknek alacsonyabb az össz-tárigénye?
 - `bevezeto:append(L1,L2)`
 - `R1=lists:reverse(L1)`, `bevezeto:revapp(R1,L2)` **% jobbrek.**
- `append` kiteríti `L1` elemeit a vermen, ennek tárigénye $\Theta(\text{length}(L1))$, majd ezeket `L2` elé fűzi, így tárigénye $\Theta(\text{length}(L1)+\text{length}(L2))$
- `revapp(R1,L2)` iteratív számítási folyamat, nem mélyíti a vermet, **de** `revapp` felépíti az `L1++L2` akkumulátort, ennek tárigénye szintén $\Theta(\text{length}(L1)+\text{length}(L2))$
- A jobbrekurzív `revapp` össz-tárigénye hasonló, mint a lineáris-rekurzív `append` függvényé!**
- Ha a jobbrekurzív esetben a `reverse` után nem törli *azonnal* a szemétyűjtő (garbage collector) `L1`-et, akkor egyszerre kell tárolni az `L1`, `R1`, `L2`, `L1++L2` listákat, így tárigénye nagyobb is lehet (pl. Erlang R14B)
- Ha az akku. mérete nem konstans, meggondolandó a jobbrekurzió...

Elágazó rekurzió példa: Fibonacci-sorozat

- Amikor hierarchikusan strukturált adatokon kell műveleteket végezni, pl. egy fát kell bejárni, akkor az elágazó rekurzió nagyon is természetes és hasznos eszköz
- Az elágazó rekurzió numerikus számításoknál az algoritmus első megfogalmazásakor is hasznos lehet; példa: írjuk át a Fibonacci-számok matematikai definícióját programmá – 0,0,1,1,2,3,5,8,13,...

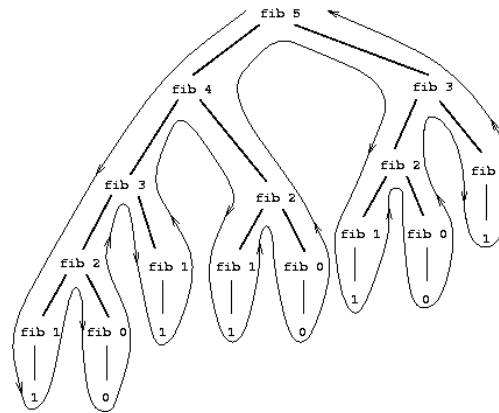
$$F(n) = \begin{cases} 0 & \text{ha } n = 0, \\ 1 & \text{ha } n = 1, \\ F(n-1) + F(n-2) & \text{különben.} \end{cases}$$

Naív Fibonacci, előfelt.: $N \in \mathcal{N}$

```
fib(0) -> 0;
fib(1) -> 1;
fib(N) -> fib(N-2) + fib(N-1).
```

- Ha már értjük a feladatot, az első, rossz hatékonyságú változatot könnyebb átírni jó, hatékony programmá. Az elágazó rekurzió segíthet a feladat megértésében.
- *Hivatkozás:* Structure and Interpretation of Computer Programs, 2nd ed., by H. Abelson, G. J. Sussman, J. Sussman, The MIT Press, 1996

Elágazó rekurzió példa: Fibonacci-sorozat (2)



- Elágazóan rekurzív folyamat hívási fája fib(5) kiszámításakor
- Alkalmatlan a Fibonacci-számok előállítására
- A $F(n)$ meghatározásához pontosan $F(n+1)$ levélből álló fát kell bejárni, azaz ennyiszor kell meghatározni $F(0)$ -at vagy $F(1)$ -et

- $F(n)$ exponenciálisan nő n -nel: $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F(n+1)}{F(n)} = \varphi$, ahol $\varphi = (1 + \sqrt{5})/2 \approx 1.61803$, az *arany metszés* arányszáma

Elágazó rekurzió példa: Fibonacci-sorozat (3)

- A lépések száma tehát $F(n)$ -nel együtt exponenciálisan nő n -nel
- A tárigény ugyanakkor csak lineárisan nő n -nel, mert csak azt kell nyilvántartani, hogy hányadik szinten járunk a fában
- A Fibonacci-számok azonban lineáris-iteratív folyamattal is előállíthatók: ha az A és B változók kezdőértéke rendre $F(1) = 1$ és $F(0) = 0$, és ismétlődően alkalmazzuk az $A \leftarrow A + B$, $B \leftarrow A$ transzformációkat, akkor N lépés után $A = F(N+1)$ és $B = F(N)$ lesz

```
fibi(0) -> 0; % fibi(N) az N. Fibonacci-szám.
fibi(N) -> fibi(N-1, 1, 0).
```

% fibi(N,A,B) az $A \leftarrow A+B$, $B \leftarrow A$ trafó N -szeri ismétlése utáni A .

```
fibi(0, A, _B) -> A;
fibi(I, A, B) -> fibi(I-1, B+A, A).
```

- A Fibonacci-példában a lépések száma elágazó rekurzióval n -nel exponenciálisan, lineáris rekurzióval n -nel arányosan nőtt!
- Pl. a `tree:leaves/1` függvény is lineáris rekurzióval alakítható, de ezzel már nem javítható a hatékonysága: valamilyen LIFO tárolót kellene használni a mélységi bejáráshoz a rendszer `stackje` helyett

Programhelyesség informális igazolása

- Egy rekurzív programról is be kell látnunk, hogy
 - funkcionálisan helyes (azaz azt kapjuk eredményül, amit várunk),
 - a kiértékelése biztosan befejeződik (nem „végtelen” a rekurzió).
- Ellenpélda: `fib(-1)` „végtelen” ciklus; bár a paraméter csökken, az **abszolút értéke** nem csökken 0-ba, csak ha a paraméter nemnegatív
- Bizonyítása rekurzió esetén egyszerű, *strukturális indukcióval* lehetséges, azaz visszavezethető a teljes indukcióra valamilyen *strukturális tulajdonság* szerint
- Csak meg kell választanunk a strukturális tulajdonságot, amire vonatkoztatjuk az indukciót; pl. a `fib/1` az $N = 0$ paraméterre leáll, de a 0 nem a legkisebb szám, de **abszolút értéke** a legkisebb \rightarrow az indukciót `abs(N)`-re vonatkoztatjuk
- A `map` példáján mutatjuk be

Programhelyesség informális igazolása (folyt.)

```
% @spec map(fun(A) -> B, [A]) -> [B].
map(_F, []) -> [];
map(F, [X|Xs]) -> [F(X)|map(F, Xs)].
```

- 1 A strukturális tulajdonság itt a lista hossza
- 2 A függvény funkcionálisan helyes, mert
 - belátjuk, hogy a függvény jól transzformálja az üres listát;
 - belátjuk, hogy az F jól transzformálja a lista első elemét (a fejét);
 - indukciós feltevés: a függvény jól transzformálja az eggyel rövidebb listát (a lista farkát);
 - belátjuk, hogy a fej transzformálásával kapott elem és a fark transzformálásával kapott lista összefűzése a várt listát adja.
- 3 A kiértékelés véges számú lépésben befejeződik, mert
 - a lista (mohó kiértékelés mellett!) véges,
 - a függvényt a *rekurzív ágban* minden lépésben egyre rövidülő listára alkalmazzuk (strukturális tulajdonság csökken), és
 - a rekurziót előbb-utóbb leállítjuk (ui. kezeljük az *alapesetet*, ahol a strukturális tulajdonság zérus, van rekurziót nem tartalmazó klóz).

Tartalom

- 6 Haladó Erlang
 - Rekurzív adatstruktúrák
 - Pontos megoldás funkcionális megközelítésben
 - Listák használata: futamok
 - Rekurzió fajtái
 - Halmazműveletek (rendezetlen listával)
 - Generikus keresőfák
 - Mohó és lusta kiértékelés

Tagsági vizsgálat

- A halmazt itt egy rendezetlen listával ábrázoljuk
- A műveletek sokkal hatékonyabbak volnának rendezett adatszerkezettel (pl. rendezett lista, keresőfa, hash)
- STDLIB: sets, ordsets, gb_sets modulok

set.erl – Halmazkezelő függvények

```
% @type set() = list().
```

```
% empty() az üres halmaz.
```

```
empty() -> [].
```

% Az absztrakció miatt szükséges:
% ábrázolástól független interfész.

```
% isMember(X, Ys) igaz, ha az X elem benne van az Ys halmazban.
```

```
isMember(_, []) -> false;
isMember(X, [Y|Ys]) -> X:=Y orelse isMember(X, Ys).
```

- **Megjegyzés:** orelse lusta kiértékelésű

Új elem berakása egy halmazba, listából halmaz

- newMember új elemet rak egy halmazba, *ha még nincs benne*

set.erl – folytatás

```
% @spec newMember(X::any(), Xs::set()) -> Xs2::set().
% Xs2 halmaz az Xs halmaz és az [X] halmaz uniója.
newMember(X, Xs) ->
  case isMember(X, Xs) of
  true -> Xs;
  false -> [X|Xs]
  end.
```

- listToSet listát halmazzá alakít a duplikátumok törlésével; naív (lassú)

```
% @spec listToSet(list()) -> set().
% listToSet(Xs) az Xs lista elemeinek halmaza.
listToSet([]) -> [];
listToSet([X|Xs]) -> newMember(X, listToSet(Xs)).
```

Halmazműveletek

- Öt ismert halmazműveletet definiálunk a továbbiakban (rendezetlen listákkal ábrázolt halmazokon):
 - unió (union, $S \cup T$),
 - metszet (intersect, $S \cap T$),
 - részhalmaz-e (isSubset, $T \subseteq S$),
 - egyenlők-e (isEqual, $S = T$),
 - hatványhalmaz (powerSet, 2^S).
- Otthoni gyakorlásra: halmazműveletek megvalósítása rendezett listákkal, illetve fákkal.
A vizsgán lehetnek ilyen feladatok...

Unió, metszet

set.erl – folytatás

```
% @spec union(Xs::set(), Ys::set()) -> Zs::set().
% Zs az Xs és Ys halmazok uniója.
```

```
union([], Ys) -> Ys;
union([X|Xs], Ys) ->
  newMember(X, union(Xs, Ys)).
```

```
union2(Xs, Ys) ->
  foldr(fun newMember/2, Ys, Xs).
```

```
% @spec intersect(Xs::set(), Ys::set()) -> Zs::set().
% Zs az Xs és Ys halmazok metszete.
```

```
intersect([], _) ->
  [];
intersect([X|Xs], Ys) ->
  Zs = intersect(Xs, Ys),
  case isMember(X, Ys) of
    true -> [X|Zs];
    false -> Zs
  end.
```

```
intersect3(Xs, Ys) ->
  [ X || X <- Xs,
    isMember(X, Ys)
  ].
```

Részhalmaz-e, egyenlők-e

set.erl – folytatás

```
% @spec isSubset(Xs::set(), Ys::set()) -> B::bool().
% B igaz, ha Xs részhalmaza Ys-nek.
```

```
isSubset([], _) ->
  true;
isSubset([X|Xs], Ys) ->
  isMember(X, Ys) andalso isSubset(Xs, Ys).
```

```
% @spec isEqual(Xs::set(), Ys::set()) -> B::bool().
% B igaz, ha Xs és Ys elemei azonosak.
```

```
isEqual(Xs, Ys) ->
  isSubset(Xs, Ys) andalso isSubset(Ys, Xs).
```

- isSubset lassú a rendezetlenség miatt
- andalso lusta kiértékelésű
- A listák egyenlőségének vizsgálata ugyan beépített művelet az Erlangban, halmazokra mégsem használható, mert pl. [3,4] és [4,3] listaként különböznek, de halmazként egyenlők.

Halmaz hatványhalmaza

- Az S halmaz hatványhalmazának nevezzük az S összes részhalmazának a halmazát, jelölés itt: 2^S
- S hatványhalmazát *rekurzívan* például úgy állíthatjuk elő, hogy kiveszünk S -ből egy x elemet, majd előállítjuk az $S \setminus \{x\}$ hatványhalmazát
- Például $S = \{10, 20, 30\}$, $x \leftarrow 10$, $2^{S \setminus \{x\}} = \{\{\}, \{20\}, \{30\}, \{20, 30\}\}$
- Ha tetszőleges T halmazra $T \subseteq S \setminus \{x\}$, akkor $T \subseteq S$ és $T \cup \{x\} \subseteq S$, azaz mind T , mind $T \cup \{x\}$ eleme S hatványhalmazának
- Vagyis $2^{\{10, 20, 30\}} =$

$$\{\{\}, \{20\}, \{30\}, \{20, 30\}\} \cup \{\{\} \cup \{10\}, \{20\} \cup \{10\}, \{30\} \cup \{10\}, \{20, 30\} \cup \{10\}\}$$

```
% powerSet*(S) az S halmaz hatványhalmaza.
```

```
powerSet1([]) ->
  [[]];
powerSet1([X|Xs]) ->
  P = powerSet1(Xs),
  P ++ [ [X|Ys] || Ys <- P ].
```

```
powerSet2(Xs) -> % jobbrekurzívan
  foldl(fun(X, P) ->
    P ++ [ [X|Ys] || Ys <- P ]
  end,
  [[]],
  Xs).
```

Halmaz hatványhalmaza – hatékonyabb változat

Tartalom

- `A P ++ [[X|Ys] || Ys <- P]` művelet hatékonyabbá tehető

set.erl – folytatás

```
% @spec insAll(X::any(), Yss::[[any()]], Zss::[[any()]]) -> Xss::[[any()]]
% Xss az Yss lista Ys elemeinek Zss elé fűzött
% listája, amelyben minden Ys elem elé X van beszúrva.
insAll(_X, [], Zss) ->
    Zss;
insAll(X, [Ys|Yss], Zss) ->
    insAll(X, Yss, [[X|Ys]|Zss]).

powerSet3([]) ->
    [[]];
powerSet3([X|Xs]) ->
    P = powerSet3(Xs),
    insAll(X,P,P).  % [ [X|Ys] || Ys <- P ] ++ P kiváltására
```

6 Haladó Erlang

- Rekurzív adatstruktúrák
- Pontos megoldás funkcionális megközelítésben
- Listák használata: futamok
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Mohó és lusta kiértékelés

Generikus keresőfák Erlangban

Tartalom

Lásd a leírást a <http://dp.iit.bme.hu/dp08a/gtree.pdf>,
a futtatható példaprogramokat a <http://dp.iit.bme.hu/dp08a/gtree.erl> fájlban.

Megjegyzések:

- `gtree:set_to_list/1` funkcióban azonos `tree:to_list_infix/1` függvénnyel, de hatékonyabb: nincs benne összefűzés (`L1++L2`), csak építés (`[H|T]`)
- `1> gtree:list_to_set([3,1,5,4,2,1]).`
`{3,{1,leaf},{2,leaf,leaf}},{5,{4,leaf,leaf},leaf}}`
`2> io:format("~10p~n",`
 `[gtree:list_to_map([3,a],[1,a],[5,a],[4,b],[2,b],[1,x]])].`
`{{3,a,`
 `{{1,x},`
 `leaf,`
 `{{2,b},`
 `leaf,`
 `leaf}},`
`...`

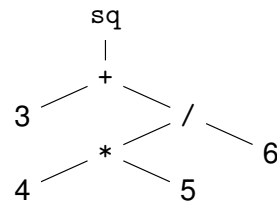
6 Haladó Erlang

- Rekurzív adatstruktúrák
- Pontos megoldás funkcionális megközelítésben
- Listák használata: futamok
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Mohó és lusta kiértékelés

Összetett kifejezés kiértékelése

- Egy összetett kifejezést az Erlang két lépésben értékeli ki, **mohó** kiértékeléssel; az alábbi rekurzív kiértékelési szabállyal:
 - Először** kiértékeli az operátort (műveleti jelet, függvényjelet) és az argumentumait,
 - majd **ezután** alkalmazza az operátort az argumentumokra.
- A kifejezéseket *kifejezésfával* ábrázolhatjuk
 - Hasonló a Prolog-kifejezés ábrázolásához:


```
| ?- write_canonical(sq(3+4*5/6)).  
sq(+ (3, / (* (4, 5), 6)))
```
 - A mohó kiértékelés során az operandusok alulról fölfelé „terjednek”
- Felhasználói függvény mohó alkalmazása (fent 2. pont):
 - a függvény törzsében a formális paraméterek összes előfordulását lecseréli a megfelelő aktuális paraméterre,
 - majd kiértékeli a függvény törzsét.



Függvényalkalmazás mohó kiértékelése

Tekintsük a következő egyszerű függvények definícióját:

```
sq(X) -> X * X.  
sumsq(X, Y) -> sq(X) + sq(Y).  
f(A) -> sumsq(A+1, A*2).
```

Mohó kiértékelés esetén minden lépésben egy részkifejezést egy vele egyenértékű kifejezéssel helyettesítünk. Pl. az $f(5)$ mohó kiértékelése:

```
f(5) -> sumsq(5+1, 5*2) -> sumsq(6, 5*2) -> sumsq(6, 10) -> sq(6) +  
sq(10) -> 6*6 + sq(10) -> 36 + sq(10) -> 36 + 10*10 -> 36 + 100 -> 136
```

- A függvényalkalmazás itt bemutatott *helyettesítési modellje*, az „egyenlők helyettesítése egyenlőkkel” (*equals replaced by equals*) segíti a függvényalkalmazás *jelentésének* megértését
- Olyan esetekben alkalmazható, amikor egy függvény *jelentése független* a környezetétől (pl. ha minden mellékhatás kizárva)
- Az fordítók rendszerint bonyolultabb modell szerint működnek

Lusta kiértékelés

- Az Erlang tehát először kiértékeli az operátort és az argumentumait, majd alkalmazza az operátort az argumentumokra
- Ezt a kiértékelési sorrendet *mohó* (*eager*) vagy *applikatív sorrendű* (*applicative order*) kiértékelésnek nevezzük
- Van más lehetőség is: a kiértékelést addig halogatjuk, ameddig csak lehetséges: ezt *lusta* (*lazy*), *szükség szerinti* (*by need*) vagy *normál sorrendű* (*normal order*) kiértékelésnek nevezzük
- Példa: az $f(5)$ lusta kiértékelése:

```
f(5) -> sumsq(5+1, 5*2) -> sq(5+1) + sq(5*2) -> (5+1)*(5+1) +  
(5*2)*(5*2) -> 6*(5+1) + (5*2)*(5*2) -> 6*6 + (5*2)*(5*2) -> 36 +  
(5*2)*(5*2) -> 36 + 10*(5*2) -> 36 + 10*10 -> 36 + 100 -> 136
```

- Példa: a `false andalso f(5) > 100` lusta kiértékelése:

```
false andalso f(5) > 100 -> false
```

Mohó és lusta kiértékelés

- Igazolható, hogy olyan függvények esetén, amelyek jelentésének megértésére a helyettesítési modell alkalmas, a kétféle kiértékelési sorrend azonos eredményt ad
- Vegyük észre, hogy lusta (szükség szerinti) kiértékelés mellett egyes részkifejezéseket néha többször is ki kell értékelni
- A többszörös kiértékelést jobb értelmezők/fordítók (pl. Alice, Haskell) úgy kerülik el, hogy az azonos részkifejezéseket megjelölik, és amikor egy részkifejezést először kiértékelnek, *az eredményét megjegyzik*, a többi előfordulásakor pedig ezt az eredményt veszik elő. E módszer hátránya a nyilvántartás szükségessége. Ma általában ezt nevezik *lusta* kiértékelésnek.

Lusta kiértékelés Erlangban: lusta farkú lista

- Ismétlés: `% @type erlang:list() = [] | [any()/list()]`.
- A `[H|T]` egy speciális szintaxisú kételemű ennes, nemcsak listákra használhatjuk:


```
1> [1|[2]].
[1,2] % Lista, mert a | utáni rész lista.
2> [1|[2|[]]].
[1,2] % Lista, mint az előző.
3> [1|2].
[1|2] % Egy kételemű ennes, mert a | utáni rész nem lista.
```
- A következő főlíákon az átláthatóság kedvéért a listaszintaxist használjuk egy kételemű ennesre, a lusta listára

lazy.erl – Lusta farkú lista

```
% @type lazy:list() = [] | [any()/fun() -> lazy:list()].
```

- A fenti szerkezetben a második tag (fark) *késleltett kiértékelésű* (delayed evaluation)
- Teljesen lusta lista: `verylazy.erl` (nem tananyag)


```
% @type verylazy:list() = fun() -> ([ | [any()/verylazy:list()]])
```

Lusta farkú lista építése

- Végtelen számsorozat:

lazy.erl – folytatás

```
% @spec infseq(N::integer())
%       -> lazy:list().
infseq(N) ->
  [N|fun() -> infseq(N+1) end].
```

- Példák:

```
1> lazy:infseq(0).
[0|#Fun<lazy.1.65678590>]
2> T1 = tl(lazy:infseq(0)).
#Fun<lazy.1.65678590>
3> T1().
[1|#Fun<lazy.1.65678590>]
```

- Véges számsorozat:

lazy.erl – folytatás

```
% @spec seq(M::integer(),
%         N::integer())
%       -> lazy:list().
seq(M, N) when M =< N ->
  [M|fun() -> seq(M+1, N) end];
seq(_, _) ->
  [].
```

- Példák:

```
1> lazy:seq(1,1).
[1|#Fun<lazy.0.35745118>]
2> tl(lazy:seq(1,1)).
#Fun<lazy.0.35745118>
3> (tl(lazy:seq(1,1)))().
[]
```

Erlang-lista konvertálása

Erlang-listából lusta lista:

- Nagyon gyors: egyetlen függvényhívás

```
% @spec cons(erlang:list())
%       -> lazy:list().
cons([]) ->
  [];
cons([H|T]) ->
  [H|fun() -> cons(T) end].
```

```
1> lazy:cons([1,2]).
[1|#Fun<lazy.10.66878903>]
2> T2 = tl(lazy:cons([1,2])).
#Fun<lazy.10.66878903>
3> T2().
[2|#Fun<lazy.10.66878903>]
4> (tl(T2()))().
[]
```

Lusta listából Erlang-lista:

- Csak az első `N` elemét értékeljük ki: lehet, hogy végtelen

```
% @spec take(lazy:list(),
%         N::integer())
%       -> erlang:list().
take(_, 0) -> [];
take([], _) -> [];
take([H|_], 1) -> [H]; % optim.
take([H|T], N) ->
  [H|take(T(), N-1)].
```

```
1> lazy:take(lazy:infseq(0), 5).
[0,1,2,3,4]
2> lazy:take(lazy:cons([1,2]), 5).
[1,2]
```

- 3. klózban `T()` felesleges lenne

Eddig bemutatott függvények lusta listára – iteratív sum

- Lista összegzése (csak véges listára)

lazy.erl – folytatás

```
sum(L) -> sum(L, 0).
```

```
% @spec sum(lazy:list(), number()) -> number().
sum([], X) -> X;
sum([H|F], X) -> sum(F(), H+X). % jobbrekurzív!
```

- Összehasonlítás:

- `lists:sum(lists:seq(1,N=1000000))`
mohó, gyors, tárigénye lineáris `N`-ben
- `lazy:sum(lazy:seq(1,N=1000000))`
lusta, kicsit lassabb, tárigénye kb. konstans (korlátos számok esetén)

- Általánosabban a lusta lista és a mohó Erlang-lista összehasonlítása:

- Tárigénye csak a kiértékelt résznek van
- Lusta lista *teljes* kiértékelése sokkal lassabb is lehet (késleltetés)
- De időigénye alacsonyabb *lehet, ha* nem kell teljesen kiértékelni

Eddig bemutatott függvények lusta listára – filter, append

- Motiváció: listanézet, ++ nem alkalmazható; a lusta szintaxis elrejtése

lazy.erl – folytatás

```
% filter(fun(any()) -> bool(), lazy:list()) -> lazy:list().
% Kicsit mohó, az eredménylista fejéig kiértékeli a listát
filter(_, []) ->
    [];
filter(P, [H|T]) ->
    case P(H) of
        true -> [H|fun() -> filter(P, T()) end];
        false -> filter(P, T()) % megkeressük az eredmény fejét
    end.

% @spec append(lazy:list(), lazy:list()) -> lazy:list().
append([], L2) -> L2;
append([H|T], L2) -> [H|fun() -> append(T(), L2) end].
```

Nevezetes számsorozatok

- Fibonacci-sorozat

```
% @spec fibs(integer(), integer()) -> lazy:list.
fibs(Cur, Next) -> [Cur|fun() -> fibs(Next, Cur+Next) end].
```

```
1> lazy:take(lazy:fibs(0,1),10).
[0,1,1,2,3,5,8,13,21,34]
```

- Eratoszteni szita

```
% @spec sift(Prime::integer(), L::lazy:list()) -> L2::lazy:list().
% L2 lista L lista azon elemei, melyek nem oszthatóak Prime-mal.
sift(Prime, L) -> filter(fun(N) -> N rem Prime /= 0 end, L).
```

```
% @spec sieve(L1::lazy:list()) -> L2::lazy:list().
% L2 lista az L1 végtelen lista szitálása (üres listára hibát ad).
sieve([H|T]) -> [H|fun() -> sieve(sift(H, T())) end].
```

```
1> lazy:take(lazy:sieve(lazy:infseq(2)),10).
[2,3,5,7,11,13,17,19,23,29]
```

Lusta append alkalmazása: lusta qsort

```
% Csak emlékeztetőül: @spec eqsort(erlang:list()) -> erlang:list().
eqsort([]) -> [];
eqsort([Pivot|Xs]) -> eqsort([X || X <- Xs, X < Pivot])
    ++ [Pivot|eqsort([X || X <- Xs, X >= Pivot])].

% @spec qsort(lazy:list()) -> lazy:list().
qsort([]) -> [];
qsort([Pivot|Xs]) ->
    io:format("hivas: qsort(~w~n", [take([Pivot|Xs], 100)]),
    Low = fun(X) -> X < Pivot end, High = fun(X) -> X >= Pivot end,
    append(qsort(filter(Low, Xs())),
    [Pivot|fun() -> qsort(filter(High, Xs())) end]).
```

```
1> L=cons([5,3,6,8,1,7]).
[5|#Fun<lazy.10.7...>]
2> take(qsort(L), 1).
hivas: qsort([5,3,6,8,1,7])
hivas: qsort([3,1])
hivas: qsort([1])
[1]
```

```
3> take(qsort(L), 2).
hivas: qsort([5,3,6,8,1,7])
hivas: qsort([3,1])
hivas: qsort([1])
[1,3]
```

```
4> take(qsort(L), 6).
hivas: qsort([5,3,...])
hivas: qsort([3,1])
hivas: qsort([1])
hivas: qsort([6,8,7])
hivas: qsort([8,7])
hivas: qsort([7])
[1,3,5,6,7,8]
```