

Deklaratív Programozás

Szeredi Péter¹ Kápolnai Richárd²

¹szeredi@cs.bme.hu

BME Számítástudományi és Információelméleti Tanszék

²kapolnai@iit.bme.hu

BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék

2016 ősz

Az előadók köszönetüket fejezik ki Hanák Péternek, a tárgy alapítójának

I. rész

Bevezetés

- 1 Bevezetés
- 2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban
- 3 Erlang alapok
- 4 Prolog alapok
- 5 Keresési feladat pontos megoldása
- 6 Haladó Erlang
- 7 Haladó Prolog

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 nyelvként** az **Erlang** és **Prolog** nyelvekre hivatkozunk majd (lásd követelmények)

Tartalom

- 1 Bevezetés
 - Követelmények, tudnivalók
 - Egy kedvcsináló példa Prolog nyelven
 - A példa Erlang változata

Honlap, ETS, levelezési lista

- 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.

Prolog-jegyzet

- Szeredi Péter, Benkő Tamás: Deklaratív programozás. Bevezetés a logikai programozásba. Budapest, 2005
 - Elektronikus változata letölthető a honlapról (ps, pdf)
 - Nyomtatott változata kifogyott
 - Kellő számú további igény esetén megszervezzük az újranyomtatást
- 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> vagy `erl -man <module>`
- Learn You Some Erlang for great good!
<http://learnyousomeerlang.com>
- ERLANG összefoglaló magyarul
<http://nyelvek.inf.elte.hu/leirasok/Erlang/>
- 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 – 4.3 verzió (licenz az ETS-en keresztül kérhető)
- Más Prolog rendszer is használható (pl. SWI Prolog <http://www.swi-prolog.org/>, Gnu Prolog <http://www.gprolog.org/>), de a házi feladatokat csak akkor fogadjuk el, ha azok a SICStus rendszerben (is) helyesen működnek.
- Erlang (szabad szoftver)
- Letöltési információ a honlapon (Linux, Windows)
- Webes Prolog gyakorló felület az ETS-ben (ld. honlap)
- Kézikönyvek HTML-, ill. PDF-változatban
- Emacs szövegszerkesztő Erlang-, ill. Prolog-módban (Linux, Win95/98/NT/XP/Vista/7)
- Eclipse fejlesztői környezet (SPIDER, erllIDE)

Deklaratív programozás: 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 4. héten, a honlapon, letölthető keretprogrammal
- Beadás a 9. 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: 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)
- A NHF beadása **nem kötelező, de ajánlott!**

Deklaratív programozás: 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. Azaz kötelező 1 Prolog, 1 Erlang, és 1 bármilyen (összesen 3) KHF érvényes beadása.
- Minden feladat jó megoldásáért 1-1 jutalompont (azaz a 100 alappont feletti pont) jár
- Minden KHF-nak külön határideje van, pótlási lehetőség nincs
- A KHF-k egyre összetettebbek és **egymásra épülnek**— érdemes **minél előbb** elkezdni a KHF-k beadását!
- A házi feladatot önállóan kell elkészíteni! Másolás esetén kötelesek vagyunk fegyelmi eljárást indítani: http://www.kth.bme.hu/document/189/original/bme_rektori_utasitas_05.pdf ("Beadandó feladat ... elkészíttetése mással")

Deklaratív programozás: követelmények (folyt.)

Gyakorlatok

- 2–9. heteken 2 órás gyakorlatok, időpontok a Neptunban
- 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: 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: 2016. október 19. 8:00, PZH: november 2. 8:00
- A PPZH-ra 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)

Deklaratív programozás: követelmények (folyt.)

Beszámoló (korábbi elnevezése *írásbelivel kombinált szóbeli vizsga*)

- A beszámoló szóbeli, felkészülés írásban
- Prolog, Erlang: több kisebb feladat (programírás, -elemzés) kétszer 35 pontért
- A beszámolón szereshető max. 70 ponthoz adjuk hozzá a korábbi munkával szerzett pontokat: ZH: max. 15 pont, NHF: max. 15 pont, továbbá a pluszpontokat (KHF, létraverseny)
- A beszámolón semmilyen jegyzet, segédlet nem használható, de lehet segítséget kérni
- Nyelvenként a max. részpontszám 40%-a kell az eredményességhez
- A beszámoló **kötelező**, de van megajánlott jegy = beszámoló alóli mentesség
 - Alapfeltételek: KHF, ZH, Gyakorlat teljesítése; NHF „megvédése”
 - Jó (4): a nagy házi feladat mindkét fő nyelvből bejut a létraversenybe
 - Jeles (5): legalább 40%-os eredmény a létraversenyen, mindkét fő nyelvből

Tartalom

- 1 Bevezetés
 - Követelmények, tudnivalók
 - Egy kedvcsináló példa Prolog nyelven
 - A példa Erlang változata

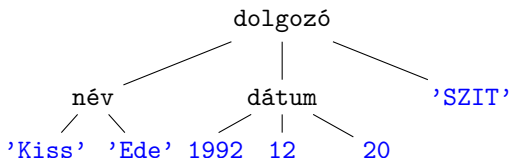
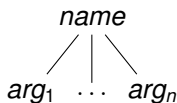
Bevezető példa: adott értékű kifejezés előállítása

- A feladat: írjunk Prolog programot a következő feladvány megoldására:
 - Adott számokból a négy alpművelet (+, -, *, /) 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 alpműveletet kell felhasználni, egyfajta alpművelet többször is előfordulhat
 - Zárójelek tetszőlegesen használhatók
- Példák a fenti szabályoknak megfelelő, az 1, 3, 4, 6 számokból felépített kifejezésekre: $1 + 6 * (3 + 4)$, $(1 + 3)/4 + 6$
- Viszonylag nehéz megtalálni egy olyan kifejezést, amely az 1, 3, 4, 6 számokból áll, és értéke 24

A Prolog nyelv adatfogalma

A Prolog adatokat **Prolog kifejezésnek** hívjuk (angolul: **term**). Fajtái:

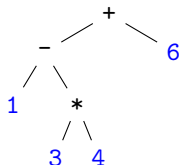
- egyszerű kifejezés: számkonstans (pl. `3`), névkonstans (pl. `alma`, `'SZIT'`), vagy változó (pl. `X`)
- összetett kifejezés (rekord, struktúra): `name(arg1, ..., argn)`
 - `name` egy névkonstans, az `argi` mezők tetsz. Prolog kifejezések
 - példa: `dolgozó(név('Kiss', 'Ede'), dátum(1992, 12, 20), 'SZIT')`.
 - Az összetett kifejezések valójában fastruktúrát alkotnak:



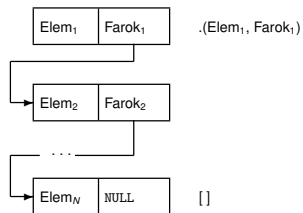
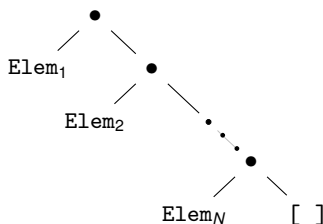
Szintaktikus „édesítőszerek” Prologban

- Egy- és kétargumentumú struktúrák operátoros (infix. prefix stb.)
írasmódja: $1+2 \equiv +(1,2)$

```
| ?- write_canonical(1-3*4+6).  
+(-(1,* (3,4)),6)
```



- Listák, mint speciális struktúrák
| ?- write_canonical([a,b,c]).
'.'(a, '.'(b, '.'(c, [])))



Aritmetikai kifejezések kezelése Prologban – ellenőrzés

Írjunk egy `kif` nevű egyargumentumú Prolog eljárást!

A `kif(X)` hívás sikeresen fut le, ha `X` egy olyan kifejezés, amely számokból a négy alapművelet (+, -, *, /) segítségével épül fel (röviden, ha `X` **helyes**).

- Az alábbi sorokat helyezzük el pl. a `kif0.pl` file-ban:

% kif(K): K számokból a négy alapművelettel képzett helyes kifejezés.

```
kif(K) :- number(K).           % K helyes, ha K szám. (number beépített elj.)
```

```
kif(X+Y) :- kif(X), kif(Y).  % X+Y helyes, ha X helyes és Y helyes
```

```
kif(X-Y) :- kif(X), kif(Y).
```

```
kif(X*Y) :- kif(X), kif(Y).
```

```
kif(X/Y) :- kif(X), kif(Y).
```

- Betöltése: `| ?- compile(kif0).` vagy `| ?- consult(kif0).`
- Futtatás nyomkövetés nélkül és nyomkövetéssel (`consult`-ot követően):

```
| ?- kif(alma).           | ?- trace, kif(alma).
no                          1      1 Call: kif(alma) ?
| ?- kif(1+2).           2      2 Call: number(alma) ?
yes                          2      2 Fail: number(alma) ?
| ?-                      1      1 Fail: kif(alma) ?

no
| ?-
```

Aritmetikai kifejezések ellenőrzése – továbbfejlesztett változat

- A kif Prolog eljárás segédeljárást használó változata:

```
% 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).
```

- Ekvivalens, ún. diszjunkciót használó változat („;” \equiv „vagy”):

```
alap4(X, Y, Kif) :- (   Kif = X+Y   ;   Kif = X-Y
                      ;   Kif = X*Y   ;   Kif = X/Y
                      ).
```

A=B infix alakban írható beépített eljárás, jelentése:

A és B azonos alakra hozható, esetleges változóbehelyettesítésekkel.

Aritmetikai kifejezés levéllistájának előállítás

- 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, fejkommentje 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 fejkommentje által leírt *relációt* valósítja meg, sokféle módon használható, és több választ is adhat (új válasz kérése ; -vel)

% 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 előállítás

- 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
                                levelek_kif(L1, K1),
                                levelek_kif(L2, K2),
                                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 előállítás

- 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_0(K1, K2, Kif).

% alap4_0(X, Y, K): K X-ből és Y-ből értelmes alapművelettel áll elő.
alap4_0(X, Y, X+Y).
alap4_0(X, Y, X-Y).
alap4_0(X, Y, X*Y).
alap4_0(X, Y, X/Y) :- Y \= 0. % a 0-val való osztás kiküszöbölése

```

Tartalom

- 1 Bevezetés
 - Követelmények, tudnivalók
 - Egy kedvcsináló példa Prolog nyelven
 - A példa Erlang változata

Erlang-kifejezések

- Erlang: nem logikai, hanem *funkcionális* programnyelv
- Összetett Erlang-kifejezéseket, függvényhívásokat értékelünk ki:

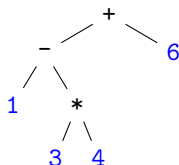

```
1> [1-3*4+6, 1-3/4+6].
[-5,6.25]
2> lists:seq(1,3).
[1,2,3]
3> {1/2, '+', 1+1}.
{0.5, '+', 2}
```
- *Hármas*: $\{K_1, K_2, K_3\}$, ahol K_i tetszőleges Erlang-kifejezés. *Pár*: $\{K_1, K_2\}$.
- A *listanézet* Erlang-kifejezés a matematikai halmaznézet imitációja:


```
4> [X || X <- [1,2,3] ].           % {x|x ∈ {1,2,3}}
[1,2,3]
5> [X || X <- [1,2,3], X*X > 5].  % {x|x ∈ {1,2,3}, x2 > 5}
[3]
6> [{X,Y} || X <- [1,2,3], Y <- lists:seq(1,X)].
% {(x,y)|x ∈ {1,2,3}, y ∈ {1..x}}
[{1,1},{2,1},{2,2},{3,1},{3,2},{3,3}]
```

Aritmetikai kifejezések ábrázolása

- Primitívebb a Prolognál: nem tudja automatikusan sem ábrázolni, se felsorolni az aritmetikai kifejezéseket
- Prolog egy aritmetikai kifejezést fában ábrázol:

```
| ?- write_canonical(1-3*4+6).
+(-(1,* (3,4)),6)
yes
```



- Erlangban explicit módon fel kell sorolnunk az összes ilyen fát, és explicit módon ki kell őket értékelni
- A példaprogramunkban a fenti aritmetikai kifejezést (önkényesen) egymásba ágyazott hármassokkal ábrázoljuk:

```
{ {1, '-', {3, '*', 4}}, '+', 6 }
```

Adott méretű fák felsorolása

- Fa-elrendezések felsorolása például csupa 1-esekből és '+' műveletekből
- Összesen 5 db. 4 levelű fa van:

```
{1, '+', {1, '+', {1, '+', 1}}}
```

```
{1, '+', {{1, '+', 1}, '+', 1}}
```

```
{{1, '+', 1}, '+', {1, '+', 1}}
```

```
{{1, '+', {1, '+', 1}}, '+', 1}
```

```
{{{1, '+', 1}, '+', 1}, '+', 1}
```

Erlang-kód:

```
% @type fa() = 1 | {fa(), '+', fa()}.
% fak(N) = az összes N levelű fa listája.
fak(1) ->
  [1];
fak(N) ->
  [ {BalFa, '+', JobbFa}
    || I <- lists:seq(1, N-1),
       BalFa <- fak(I),
       JobbFa <- fak(N-I)    ].
```

Matematikai nézet

Fa definíciója.

- 1 levelet tartalmazó fák halmaza: $\{1\}$
- n levelet tartalmazók:

$$\left\{ (b, '+', j) \mid \begin{array}{l} i \in [1 .. n-1], \\ b \in \text{fak}(i), \\ j \in \text{fak}(n-i) \end{array} \right\}$$

Adott levéllistájú aritmetikai kifejezések felsorolása

- Segédfv: egy lista összes lehetséges kettévágása nem üres listákra

```
1> kif:kettevagasok([1,3,4,6]).
```

```
[ {[1],[3,4,6]}, {[1,3],[4,6]}, {[1,3,4],[6]} ]
```

- Kifejezések adott számokból *adott sorrendben*, 4 alapműveletből:

Erlang-kód:

```
% @type kif() = {kif(),muvelet(),kif()}
%             | integer().
% @type muvelet() = '+' | '-' | '*' | '/'.
% kif(L) = L levéllistájú kifek listája.
kifek([H]) ->
  [H];
kifek(L) ->
  [ {B,M,J}
    || {LB,LJ} <- kettevagasok(L),
        B <- kifek(LB),
        J <- kifek(LJ),
        M <- ['+', '-', '*', '/']
  ].
```

Matematikai nézet:

Kifejezés (kif) definíciója.
(Az előző általánosítása.)

- Egyetlen h levelet tartalmazó kifek: $\{h\}$
- L levéllistájú kifek:

$$\{(b, m, j) \mid$$

$$L_B \oplus L_J = L,$$

$$b \in \text{kifek}(L_B),$$

$$j \in \text{kifek}(L_J),$$

$$m \in \{+, -, *, /\}$$

$$\}$$

Utolsó lépés: a kifejezések explicit kiértékelése

```
% ertek(K) = a K kifejezés számértéke.  
ertek({B,Muvelet,J}) ->  
    erlang:Muvelet(ertek(B), ertek(J));  
ertek(I) ->  
    I.
```

- Példák:

```
1> erlang:'+'(1,3).
```

```
4
```

```
2> kif:ertek(3).
```

```
3
```

```
3> kif:ertek({{1,'-',{3,'*',4}},'+',6}).
```

```
-5
```

```
4> kif:ertek({1,'/',0}).
```

```
** exception error: ...
```

```
% permutaciok(L) = az L lista elemeinek minden permutációja.
```

```
5> kif:permutaciok([1,3,4]).
```

```
[[1,3,4], [1,4,3], [3,1,4], [3,4,1], [4,1,3], [4,3,1]]
```

Adott értékű kifejezések felsorolása – teljes kód

```
kif:megoldasok([1,3,4,6], 24).
```

```
-module(kif).
-compile([export_all]).
```

```
megoldasok(Szamok, Eredmeny) ->
    [Kif || L <- permutaciok(Szamok),
         Kif <- kifek(L),
         (catch ertek(Kif)) == Eredmeny].
```

- **catch**: 0-val való osztásnál keletkező kivétel miatt

```
kifek([H]) -> [H];
kifek(L) -> [ {B,M,J} || {LB,LJ} <- kettevagasok(L),
               B <- kifek(LB),
               J <- kifek(LJ),
               M <- ['+', '-', '*', '/'] ].
ertek({B,M,J}) -> erlang:M(ertek(B), ertek(J));
ertek(I) -> I.
kettevagasok(L) -> [ {LB,LJ} || I <- lists:seq(1, length(L)-1),
                    {LB,LJ} <- [lists:split(I, L)] ].
permutaciok([]) -> [[]];
permutaciok(L) -> [[H|T] || H <- L, T <- permutaciok(L--[H])].
```

II. rész

Cékla: deklaratív programozás C++-ban

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

Tartalom

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

A deklaratív programozás jelmondata

- inkább MIT, kevésbé 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) = AN
    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!
    return P;         } // Add vissza P végértékét
```

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

- A (fenti típusú) rekurzió költséges, nem valósítható meg konstans tárigénnyel :- (

`powd(10,3) : 10*powd(10,2) : 10*(10*powd(10,1)) : $\underbrace{10 * (10 * (10*1))}_{\text{tárolni kell}}$`

Tartalom

2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban

- Néhány deklaratív paradigma C nyelven
- **Jobbrekurzió**
- A Cékla programozási nyelv
- Listakezelés Céklában
- Magasabb rendű függvények
- Deklaratív fejkomment
- Generikus 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) = létezik i, melyre Bi = A.
 * Előfeltétel: A > 0, B > 1 */
```

<pre>int ispow(int A, int B) { if (A == 1) return true; if (A%B==0) return ispow(A/B, B); return false; }</pre>		<pre>int ispow(int A, int B) { again: if (A == 1) return true; if (A%B==0) {A=A/B; goto again;} return false; }</pre>
---	--	---

- Itt a **színezett** rekurzív hívás átírható iteratív kódra: 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 (GCC) 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: $\text{powi}(A, N, P) = P * A^N$

```
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(A,N,P)` 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 átírt rekurziók

Általános rekurzió

```
// fact(N) = N!
int fact(const int N) {
    if (N==0) return 1;
    return N * fact(N-1);
}
```

```
// fib(N) =
// N. Fibonacci szám
int fib(const int N) {
    if (N<2) return N;
    return fib(N-1) +
           fib(N-2);
}
```

Jobbrekurzió

```
// 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); }

```

```
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); }

```

Tartalom

2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban

- Néhány deklaratív paradigma C nyelven
- Jobbrekurzió
- **A Cékla programozási nyelv**
- Listakezelés Céklában
- Magasabb rendű függvények
- Deklaratív fejkoment
- Generikus függvények

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

- **Megszorítások:**
 - Típusok: csak `int`, lista vagy függvény (lásd később)
 - Utasítások: `if-then-else`, `return`, blokk, kifejezés
 - Változók: csak egyszer, deklarációjukkor kaphatnak értéket (`const`)
 - Kifejezések: változókból és konstansokból kétargumentumú operátorokkal, függvényhívásokkal és feltételes szerkezetekkel épülnek fel
 - `< aritmetikai-op >`: `+` | `-` | `*` | `/` | `%` |
 - `< hasonlító-op >`: `<` | `>` | `==` | `!=` | `>=` | `<=`
- C++ fordítóval is fordítható a `cekla.h` fájl birtokában: láncolt lista kezelése, függvénytípusok és kiírás
- Kiíró függvények: főleg nyomkövetéshez, ugyanis *mellékhatásuk* 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.cpp

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

- Fordítás és futtatás a cekla programmal:

```
$ cekla hello.cpp           Cékla parancssori indítása
Welcome to Cekla 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 mellékhatás
|* ^D                      end-of-file (Ctrl+D v Ctrl+Z)
Bye
$ g++ hello.cpp && ./a.out Szabályos C++ program is
Hello World!
```

A Cékla nyelv szintaxisa

- A szintaxist BNF jelöléssel adjuk meg, kiterjesztés:
 - ismétlés (0, 1, vagy többszöri): «ismétlendő»...
 - 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 Céklában**
- Magasabb rendű függvények
- Deklaratív fejkoment
- Generikus 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);
```

pelda.cpp – 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 Céklával

```
$ cekla
Welcome to Cekla 2.xxx: a compiler for a declarative C++ sublanguage
To get help, type:      |* help;
|* load "pelda.cpp";
* 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 nem üres L lista fejét.
```

- Többi elem lekérdezése:

```
list tl(list L) // Visszaadja a nem üres L lista farkát.
```

- Egyéb operátorok: = (inicializálás), ==, != (összehasonlítás)

- Példa:

```
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 T 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 Céklaban

- Sztring nem önálló típus: 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(true);                        // 1, mint C++-ban
    writeln(false);                       // 0, mint C++-ban
    writeln(nil);                          // []
    writeln(L5);                           // abc
    writeln(cons(10, L5));                 // [10,97,98,99]
    writeln(tl(L4));                       // bc
}
```

Listák összefűzése: append

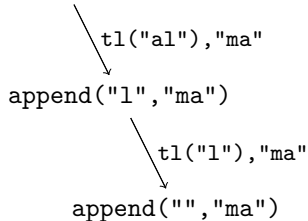
- `append(L1, L2)` visszaadja `L1` és `L2` elemeit egymás után fűzve

// `append(L1, L2) = L1 ⊕ L2` (`L1` és `L2` összefűzése)

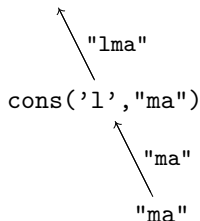
```
list append(const list L1, const list L2) {
    if (L1 == nil) return L2;
    return cons(hd(L1), append(tl(L1), L2)); }
```

- Például `append("al", "ma") == "alma"` (vagyis `[97,108,109,97]`).

`append("al", "ma")`



`cons('a', "lma")`



- $O(n)$ 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

// nrev(L) = az L lista megfordítva

```
list nrev(const list L) {  
    if (L == nil) return nil;  
    return append(nrev(tl(L)), cons(hd(L), nil));  
}
```

- Lineáris lépésszámú megoldás

// reverse(L) = az L lista megfordítva

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

// revapp(L, L0) = az L lista megfordítása L0 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

```
// ismember(X, L) = 1, ha az X érték eleme az L listának  
int ismember(const int X, const list L) {  
    if (L == nil) return false;  
    if (hd(L) == X) return true;  
    return ismember(X, tl(L));  
}
```

- Két, ismétlődésmentes listaként ábrázolt halmaz metszete

```
// 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 true;
    if (hd(L) >= 0) return false;
    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 Cékliba 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 Cékliban:

<pre><i>// hatv(A, H) = A^H</i> int hatv(int A, int H) { int E = 1; while (H > 0) { if (H%2 == 1) E *= A; A *= A; H /= 2; } return E; }</pre>	<pre><i>// hatv(A, H, E) = E * A^H</i> int hatv(const int A, const int H, const int E) { if (H == 0) return E; // ciklus vége const int E1 = H%2 == 1 ? E*A : E; return hatv(A * A, H / 2, E1); }</pre>
--	---

- 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

<pre>list anbn(int N) { list LA = nil, LB = nil; while (N-- > 0) { LA = cons('a', LA); LB = cons('b', LB); } return append(LA, LB); }</pre>	<pre>// $an(A, N) = [A, \langle -N \rangle, A]$ 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)); }</pre>
---	--

- Második változat, append nélkül

<pre>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; }</pre>	<pre>// $an(A, N, L) = [A, \langle -N \rangle, A] \oplus L$ 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)); }</pre>
---	--

- Itt 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 Céklában
- **Magasabb rendű függvények**
- Deklaratív fejkoment
- Generikus függvények

Magasabb rendű függvények Céklában

- 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 számjegyek karakterek 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 true;           // triviális
    else {
        if (P(hd(L)) == false) return false; // 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 false;         // 48 == '0'
    if (X > '9') return false;         // 57 == '9'
    return true;                       }

int szamjegyek(const list L) { return for_all(digit, L); }
```

Gyakori magasabb rendű függvények: `map`, `filter`

- `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 eggyel növelve: $[11,21,31]$

```
int incr(const int X) { return X+1; }
```

Így a `map(incr, L)` kifejezés értéke $[11,21,31]$.

- `filter(P,L)`: az L lista azon X elemei, amelyekre $P(X)$ 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 `filter(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(x2, 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(x2, ..., 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; }
```

$\text{foldr}(\text{xmy}, 0, L) = (1-(5-(3-(8-0)))) = -9$

- 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)...))
```
- (HF: melyiket egyszerűbb visszavezetni: a `foldl1` vagy a `foldr1` függvényt?)

Tartalom

2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban

- Néhány deklaratív paradigma C nyelven
- Jobbrekurzió
- A Cékla programozási nyelv
- Listakezelés Céklában
- Magasabb rendű függvények
- **Deklaratív fejkomment**
- Generikus függvények

Fejkomment – Cékla, Erlang, Prolog

- A deklaratív fejkomment tömören kijelenti, hogy **MI** az összefüggés a függvény/eljárás bemenő paraméterei és kimenő paraméterei között
 - Cékla, Erlang nyelven kimenő paraméter helyett visszatérési érték van
- A jó fejkomment segíti azon kérdés megválaszolását, hogy „*ezen konkrét bemenő paraméterek esetén mi(k) a kimenő paramétere(k)?*”
- A fejkommentnek nem feladata leírni, hogy **HOGYAN** működik a kód

:-) % sum(L, A) = A + L elemeinek összege.

```
int sum(list L, int A) { return L==nil ? A : sum(tl(L), A + hd(L)); }
```

Rossz fejkommentek: vajon megválaszolják-e, hogy mennyi `sum([1,2],10)` ?

:-(% A második paraméter akkumulál, a függvény jobbrekurzív

:-(% az A értéke tartalmazza az eddigi elemek összegét

:-(% sum(L) függvényből kell meghívni, legyen A = 0

:-(% Úgy működik, hogy ...

:-(% Típus-specifikáció magában: sum(L::list, A::int) = int

Tartalom

2 Cékla: deklaratív programozás C++-ban

- Néhány deklaratív paradigma C nyelven
- Jobbrekurzió
- A Cékla programozási nyelv
- Listakezelés Céklában
- Magasabb rendű függvények
- Deklaratív fejkoment
- **Generikus függvények**

Generikus függvény szintaxisa

- Cékla részben támogatja a C++ template függvényeket
- Példa:

```
template <class AnyType>
int trace_variable(const AnyType X) {
    write(" *** debug *** : ");
    writeln(X);
}
```

- Kiegészül a Cékla nyelv szintaxisa:

```
<function_definition> ::= <head> <block>
<head> ::= [<template_declaration> | < >]
           <type> <identifier>(<formal_args>)
<type> ::= [const | < >] [<template_id> | int | list | fun1 | fun2]
```

- Megjegyzés: Prologban, Erlangban nincs is típusdeklaráció

Példa: absztrakciós réteg generikus, magasabbrendű fv-nyel

- Tekintsük a `sum` jobbrekurzív változatát:

```
int sum(list L, int L2) {
    if (L == nil) return L2;
    return sum(tl(L), plus(hd(L), L2));
}
```

```
int plus(int A, int B) {
    return A+B;
}
int sum(list L) {
    return sum(L,0);
}
```

- Miben hasonlít a `revapp` algoritmusára?

```
list revapp(list L, list L2) {
    if (L == nil) return L2;
    return revapp(tl(L), cons(hd(L), L2));
}
```

- Az eltérések: `L2` és a visszatérési érték, és `plus`, `cons` függvények *típusa*

```
template <class Fun, class AccType>
```

```
AccType foldlt(Fun F, AccType Acc, list L) {
    if (L == nil) return Acc;
    return foldlt(F, F(hd(L), Acc), tl(L));
}
```

<pre>revapp(L, L2) == foldlt(cons, L2, L) sum(L) == foldlt(plus, 0, L)</pre>

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

Cékla kis házi feladat – előzetes

Egy S pozitív szám A alapú *összekevertje*, $A > 1$:

- 1 Képezzük az S szám A alapú számrendszerben vett jegyeinek listáját (balról jobbra), legyen ez $S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_k$
- 2 Fordítsuk meg a páros indexű számjegyek sorrendjét. A páratlan indexűek maradnak a helyükön.
 - Ha k páros, az eredmény: $S_1, S_k, S_2, S_{k-2}, \dots, S_4, S_{k-1}, S_2$
 - Ha k pttlan, az eredmény: $S_1, S_{k-1}, S_2, S_{k-3}, \dots, S_4, S_{k-2}, S_2, S_k$
- 3 Az előállt számjegysorozatot A számrendszerbeli számnak tekintjük, és képezzük ennek a számnak az értékét

```
|* összekevert(123456, 10);
```

```
163452
```

```
|* összekevert(12345, 10);
```

```
14325
```

```
|* összekevert(12, 2);
```

```
9
```

- 1 A 12 (decimális) szám 2-es alapú számjegyei 1, 1, 0, 0,
- 2 megcserélve a páros indexűeket: 1, 0, 0, 1,
- 3 ezek 2-es számrendszerben a 9 (decimális) szám számjegyei.

III. rész

Erlang alapok

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

Tartalom

- 3 Erlang alapok
 - Bevezetés
 - Típusok
 - Erlang szintaxis alapjai
 - Mintaillesztés
 - Listanézet
 - Magasabbrendű függvények, függvényérték
 - Műveletek, beépített függvények
 - Őr

Funkcionális programozás: mi az?

- 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#

Az Erlang nyelv

- 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)
- Hatékony hibakezelés, hibatűrő (Fault tolerance)
- Gyakorlatban használt
`http://en.wikipedia.org/wiki/Erlang_\(programming_language\)`
`#Distribution`

„Programming is fun!”

Erlang emulátor

- 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]
```

Tartalom

3 Erlang alapok

- Bevezetés
- **Típusok**
- Erlang szintaxis alapjai
- Mintaillesztés
- Listanézet
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Műveletek, beépített függvények
- Őr

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 vagy Névkonstans	Atom
Függvény	Function
Ennes (rekord)	Tuple (record)
Lista	List

- További típusok

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

Szám (number)

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

Atom

- Névkonstans (nem füzér!)
- Kisbetűvel kezdődő, bővített alfanumerikus¹ karaktersorozat, pl. `sicstus`, `erlang_OTP`
- Bármilyen² 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

¹Bővített alfanumerikus: kis- vagy nagybetű, számjegy, aláhúzás (`_`), kukac (`@`)

²bármilyen latin-1 kódolású karaktert tartalmazó (R14B)

Függvény

(Kicsit később, a „Magasabbrendű függvények” szakaszban...)

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" ≡ [$e,$r,$l] ≡ [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

3

Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Erlang szintaxis alapjai
- Mintaillesztés
- Listanézet
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Műveletek, beépített függvények
- Őr

Term, változó

Term

- *Közelítő rekurzív definíció:* szám-, atom-, vagy függvénytípusú értékekből vagy *termekből* ennes- és listakonstruktorokkal felépített kifejezés.
- Néhány típussal (ref., port, pid, binary) most 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, mert műveletet (függvényhívást) tartalmaz
- 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
 - termek \subset minták³
 - változók \subset minták

továbbá

- összetett kifejezés, függvényalkalmazás
- szekvenciális kifejezés
- 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
```

³néhány nem túl gyakorlatias ellenpéldától eltekintve, például hibás:

```
[X,fun erlang:'+'/2] = [5,fun erlang:'+'/2].
```

Kifejezés: összetett és függvényalkalmazás

Függvényalkalmazás

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

- Például

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

```
3
```

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

```
4
```

```
20> erlang:'+'(1,2).
```

```
3
```

Összetett kifejezés

- Kiértékelhető műveleteket, függvényeket is tartalmazó, kifejezés, pl. `5+6`, vagy: `{[5+6, math:sqrt(2+fib(X))], alma}`
- Különbözik a termtől, a termben a művelet/függvényhívás tiltott

Kifejezés: szekvenciális

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`
- ```
21> L2 = [10,20,30], H2 = hd(L2), T2 = tl(L2),
21> H2 + bevezeto:sum(T2).
60
22> [begin a, "a", 5, [1,2] end, a].
[[1,2],a]
```
- **Eltérés Prologtól (gyakori hiba):** a vessző itt nem jelent logikai ÉS kapcsolatot, csak egymásutániságot!
  - `expi`-ben ( $i < n$ ) vagy változót kötünk,
  - vagy mellékhatást keltünk (pl. kiírás)



## 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(N) -> fac(N, 1).
```

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

- (Őrök bemutatása kicsit később)

# Tartalom

3

## Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Erlang szintaxis alapjai
- **Mintaillesztés**
- Listanézet
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Műveletek, beépített függvények
- Őr

## 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:

|                                       |                      |                 |             |                                    |           |                     |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------|-------------|------------------------------------|-----------|---------------------|
| <code>Pi = 3.14159</code>             | $\rightsquigarrow^4$ | <code>Pi</code> | $\mapsto^5$ | <code>3.14159</code>               |           |                     |
| <code>3 = P</code>                    | $\rightsquigarrow$   |                 |             | hiba (jobboldal nem tömör)         |           |                     |
| <code>[H1 T1] = [1,2,3]</code>        | $\rightsquigarrow$   | <code>H1</code> | $\mapsto$   | <code>1</code> , <code>T1</code>   | $\mapsto$ | <code>[2,3]</code>  |
| <code>[1,2 T2] = [1,2,3]</code>       | $\rightsquigarrow$   |                 |             | <code>T2</code>                    | $\mapsto$ | <code>[3]</code>    |
| <code>[H2 [3]] = [1,2,3]</code>       | $\rightsquigarrow$   |                 |             |                                    |           | meghiúsulás, hiba   |
| <code>{A1,B1} = {{a}, 'Beta'}</code>  | $\rightsquigarrow$   | <code>A1</code> | $\mapsto$   | <code>{a}</code> , <code>B1</code> | $\mapsto$ | <code>'Beta'</code> |
| <code>{{a},B2} = {{a}, 'Beta'}</code> | $\rightsquigarrow$   |                 |             | <code>B2</code>                    | $\mapsto$ | <code>'Beta'</code> |

<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 – 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 ...
```

## Mintaillesztés függvény klózaira – 2. példa

- Hányszor szerepel egy elem egy listában? Első megoldásunk:

khf.erl – folytatás

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

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

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

## Kitérő: változók elnevezése

- Az előző függvényre figyelmeztetést kapunk:

```
Warning: variable 'E' is unused
```

```
Warning: variable 'Fej' is unused
```

- A figyelmeztetés kikapcsolható alulvonással (\_) kezdődő változóval

### khf.erl – folytatás

```
elofordul1(_E, []) -> 0;
elofordul1(E, [E|Farok]) -> 1 + elofordul1(E, Farok);
elofordul1(E, [_Fej|Farok]) -> elofordul1(E, Farok).
```

- A változó neve akár el is hagyható, de az \_ elnevezésű változót tömör kifejezésben nem lehet használni (vagyis nem lehet kiértékelni)
- Több \_ változónk is lehet, például:

$$[H, \_, \_] = [1, 2, 3] \rightsquigarrow H \mapsto 1$$

- Találós kérdés: miben különböznek az alábbi mintaillesztések?

```
A=hd(L).
```

```
[A | _]=L.
```

```
[A, _ | _]=L.
```

## Mintaillesztés függvény klózaira – 3. példa

- Teljesítette-e egy hallgató a khf követelményeket?

```
7> Hallgato1 = {'Diák Detti',
 [{khf, [cekla,prolog,erlang,prolog]},
 {zh, 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(zh, {_Nev, [{zh, Pont}|_]}) ->
 Pont >= 24;
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 férjünk 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 ŐrSz1] -> SzekvenciálisKif1;
```

```
...
```

```
Mintan [when ŐrSzn] -> SzekvenciálisKifn
```

```
end.
```

- Kiértékelés: balról jobbra
- Értéke: az első illeszkedő minta utáni szekvenciális kifejezés
- Ha nincs ilyen minta, hibát jelez

```
1> X=2, case X of 1 -> "1"; 3 -> "3" end.
```

```
** exception error: no case clause matching 2
```

```
2> X=2, case X of 1 -> "1"; 2 -> "2" end.
```

```
"2"
```

```
3> Y=fagylalt, 3 * case Y of fagylalt -> 100; tolcser -> 15 end.
```

```
300
```

```
4> Z=kisauto, case Z of fagylalt -> 100;
```

```
4> tolcser -> 15;
```

```
4> 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.
```

helyett  
írható:

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

# Tartalom

- 3 Erlang alapok
  - Bevezetés
  - Típusok
  - Erlang szintaxis alapjai
  - Mintaillesztés
  - **Listanézet**
  - Magasabbrendű függvények, függvényérték
  - Műveletek, beépített függvények
  - Őr

## 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<sub>i</sub> 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?

```

elofordul2(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])].
```

- Listák különbsége: `As--Bs` vagy `lists:subtract(As,Bs)`  
`As--Bs` az `As` olyan másolata, amelyből ki van hagyva a `Bs`-ben előforduló összes elem balról számított első előfordulása, feltéve, hogy volt ilyen elem `As`-ben

# Tartalom

3

## Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Erlang szintaxis alapjai
- Mintaillesztés
- Listanézet
- **Magasabbrendű függvények, függvényérték**
- Műveletek, beépített függvények
- Őr

# 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
```



## 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, [...]}]}]
```

## Magasabb rendű függvények alkalmazása – filter példa

- Hányszor szerepel egy elem egy listában? Új megoldásunk:

khf.erl – folytatás

```
% @spec elofordul3(E::term(), L::[term()]) -> N::integer().
```

```
% E elem az L listában N-szer fordul elő.
```

```
elofordul3(Elem, L) ->
```

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

```
15> khf:elofordul3(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:* miért lehet érdemes leírni kétszer a filter(P,Farok) hívást?

## 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:  $1 - (2 - (3 - (4 - 0))) = -2$

Példa `foldl` kiértékelési sorrendjére:  $4 - (3 - (2 - (1 - 0))) = 2$

---

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

---

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

---

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

# Tartalom

## 3 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Erlang szintaxis alapjai
- Mintaillesztés
- Listanézet
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- **Műveletek, beépített függvények**
- Őr

## Listaműveletek

- Alapműveletek:  $hd(L)$ ,  $tl(L)$ ,  $length(L)$  (utóbbi lassú:  $O(n)$ !)
- Listák összefűzése ( $A_s \oplus B_s$ ):  $A_s ++ B_s$  vagy `lists:append(A_s, B_s)`  
 $C_s = A_s ++ B_s \rightsquigarrow C_s \mapsto$  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:  $A_s -- B_s$  vagy `lists:subtract(A_s, B_s)`  
 $C_s = A_s -- B_s \rightsquigarrow C_s \mapsto$  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





# 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)`
- Érdekesség: a BIF-ek mellett megtalálhatóak az operátorok az `erlang` modulban, lásd az `m(erlang)` kimenetét, pl. `fun erlang:'*'/2(3,4)`.

# Tartalom

## 3 Erlang alapok

- Bevezetés
- Típusok
- Erlang szintaxis alapjai
- Mintaillesztés
- Listanézet
- Magasabbrendű függvények, függvényérték
- Műveletek, beépített függvények
- Őr

## Őr: strukturális mintaillesztés finomítása

- Nézzük újra a következő definíciót:

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

- Mi történik, ha megváltoztatjuk a klózek 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).
```

# Ismétlés: függvénydeklaráció, case

- 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 ŐrSzn] -> SzekvenciálisKifn
end.
```

# Örkifejezés

Örkifejezés lehet:

- Term (vagyis konstans érték)
- Kötött változó
- Örkifejezésekből aritmetikai, összehasonlító és logikai műveletekkel felépített kifejezés
- Örkifejezéseket tartalmazó ennes vagy lista
- Bizonyos BIF-ek örkifejezéssel 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()`

Örkifejezés **nem** lehet:

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

# Őrkifejezés, őr, őrszekvencia

- **Őrkifejezés (Guard expression)**
  - Őrkifejezések  $\subset$  Erlang-kifejezések
  - Garantáltan mellékhatás nélküli, hatékonyan kiértékelhető
  - Vagy sikerül, vagy meghiúsul
  - Hibát (kivételt) **nem** jelezhet; ha hibás az argumentuma, meghiúsul
- **Őr (Guard, konjunktív őrsorozat):** egyetlen őrkifejezés vagy őrkifejezések vesszővel (,) elválasztott sorozata
  - true, ha az összes őrkifejezés true (ÉS-kapcsolat)
  - Ha értéke true  $\rightsquigarrow$  *sikerül*, bármely más term  $\rightsquigarrow$  *meghiúsul*
- **Őrszekvencia (Guard sequence, diszjunktív őrsorozat):** egyetlen őr vagy örök pontosvesszővel (;) elválasztott sorozata
  - true (azaz sikerül), ha legalább egy őr true (VAGY-kapcsolat)
  - Sokszor helytelenül őrnek rövidítik; mentség: az őr tipikusan elegendő, őrszekvencia ritka



## Őrszekvencia, mintaillesztés

- 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

A mintaillesztés lépései klózváltásnál, `case`-nél:

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

## 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}]
```

## Örszekvencia: 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
_ -> egyéb
end.

```

```

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

```

## Feltételes kifejezés őrsekvenciával

- `if`

$\text{ŐrSz}_1 \rightarrow \text{SzekvenciálisKif}_1;$

$\dots$

$\text{ŐrSz}_n \rightarrow \text{SzekvenciálisKif}_n$

`end.`

- Kiértékelés: balról jobbra.
- Értéke: az első teljesülő őrsekvencia utáni szekvenciális kifejezés
- Ha nincs ilyen őrsekvencia, 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(E, Farok).
```

## Az if a case speciális esete

- case: kifejezést illeszt mintákra őr szekvenciával, if: csak őr szekvenciák
- 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, őrben nem lehet függvény  
 „illegal guard expression”

# IV. rész

## Prolog alapok

- 1 Bevezetés
- 2 Célja: deklaratív programozás C++-ban
- 3 Erlang alapok
- 4 Prolog alapok**
- 5 Keresési feladat pontos megoldása
- 6 Haladó Erlang
- 7 Haladó Prolog

## Deklaratív programozási nyelvek

- A matematika függvényfogalmán alapuló **funkcionális prog.** nyelvek: LISP, SML, Haskell, Erlang, ...
- A matematika relációfogalmán alapuló **logikai programozási (LP)** nyelvek: Prolog, SQL, Mercury, Korlátnyelvek (Constraint Programming), ...
- Közös tulajdonságaik
  - Deklaratív szemantika – a program jelentése matematikai állításként olvasható ki.
  - Deklaratív változó  $\equiv$  matematikai változó
    - *egyetlen* ismeretlen értéket jelöl, vö. egyszeres értékadás
- Jelmondat
  - **WHAT** rather than **HOW**: a **megoldás módja** helyett **inkább** a megoldandó **feladat specifikációját** kell megadni
  - Általában nem elegendő a **specifikáció (WHAT)**; a feladatok (hatékony) megoldásához szükséges a **HOW** rész végiggondolása **is**
  - Mindazonáltal a **WHAT** rész a fontosabb!

# A kurzus Logikai Programozás (LP) része

- **1. blokk:** A Prolog LP 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



# Tartalom

- 4 Prolog alapok
  - Prolog bevezetés – néhány példa
  - A Prolog nyelv alapszintaxisa
  - Listakezelő eljárások Prologban
  - Operátorok
  - További vezérlési szerkezetek
  - Prolog végrehajtás – algoritmusok

## A Prolog alapelemei: a családi kapcsolatok példája

- Adatok
  - Adottak személyekre vonatkozó állítások, pl.

| gyerek  | szülő            |
|---------|------------------|
| Imre    | István           |
| Imre    | Gizella          |
| István  | Géza             |
| István  | Sarolta          |
| Gizella | Civakodó Henrik  |
| Gizella | Burgundi Gizella |

| férfi           |
|-----------------|
| Imre            |
| István          |
| Géza            |
| Civakodó Henrik |
| ...             |

- A feladat:
  - Definiálandó az unoka–nagyapa kapcsolat, pl. keressük egy adott személy nagyapját.

## A nagyszülő feladat — Prolog megoldás

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

% ffi(Szemely): Szemely férfi.
ffi('Imre'). ffi('István'). % (f1)-(f2)
ffi('Géza'). % (f3)
ffi('Civakodó Henrik'). % (f4)

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

```
% Ki Imre nagyapja?
| ?- nagyszuloje('Imre', NA),
 ffi(NA).
NA = 'Civakodó Henrik' ? ;
NA = 'Géza' ? ;
no

% Ki Géza unokája?
| ?- nagyszuloje(U, 'Géza').
U = 'Imre' ? ;
no

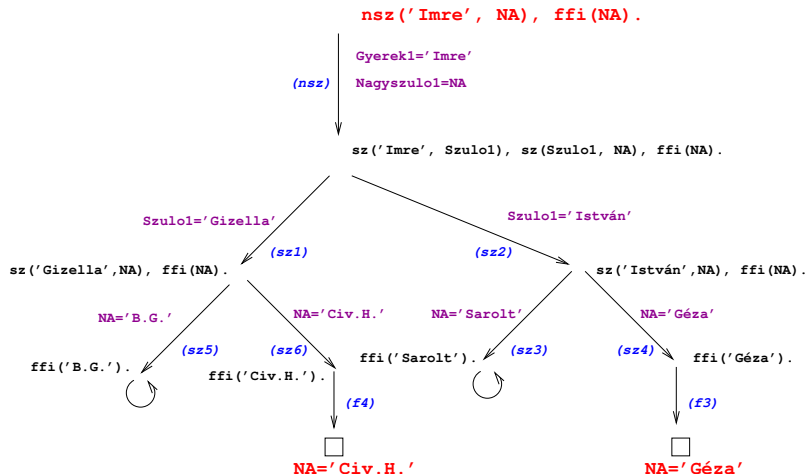
% Ki Imre nagyszülője?
| ?- nagyszuloje('Imre', NSz).
NSz = 'Burgundi Gizella' ? ;
NSz = 'Civakodó Henrik' ? ;
NSz = 'Sarolt' ? ;
NSz = 'Géza' ? ;
no
```

## Deklaratív szemantika – klózek logikai alakja

- 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
  - Ebben is lehetnek változók, ezeket is univerzálisan kell kvantálni
- A **célsorozat** jelentése: keressük azokat a változó-behelyettesítéseket amelyek esetén a célok konjunkciója igaz
- Egy célsorozatra kapott válasz **helyes**, ha az adott behelyettesítésekkel a célsorozat következménye a program logikai alakjának
- A Prolog garantálja a helyességet, de a **teljességet** nem: nem biztos, hogy minden megoldást megkapunk – kaphatunk hibajelzést, végtelen ciklust (végtelen keresési teret) stb.

## A nagyszülő példa végrehajtása – keresési tér

```
nagyszuloje(Gyerek, Nagyszulo) :-
 szuloje(Gyerek, Szulo),
 szuloje(Szulo, Nagyszulo). % (nsz)
```



## A Prolog végrehajtás mint logikai következtetés

- A végrehajtáshoz szükséges egy  $P$  Prolog program, amely klózok sorozata, valamint egy  $S_0$  kezdeti célsorozat
- A végrehajtás alaplépése: az ún. **redukciós lépés**:
  - bemenetei:
    - egy  $S_b$  célsorozat:  $c_1, \dots, c_n, n \geq 1$
    - egy  $K \in P$  klóz:  $f :- d_1, \dots, d_k, k \geq 0$  (tényállítás:  $k = 0$ )  
ahol  $f$  és  $c_1$  **egyesíthető**ek, azaz azonos alakra hozhatók, változók behelyettesítésével
  - Jelölés:  $\sigma = mgu(a, b)$  az a legáltalánosabb behelyettesítés amelyre  $a\sigma = b\sigma$  (**mgu** = **m**ost **g**eneral **u**nifier)
  - kimenete:
    - egy  $S_k$  célsorozat:  $d_1, \dots, d_k, c_2, \dots, c_n$ , hossza:  $n - 1 + k \geq 0$ , amelyen a  $\sigma$  behelyettesítéseket elvégezzük
- Könnyen végiggondolható, hogy  $P$ -ből és  $S_k$ -ből **következik**  $S_b\sigma$ :
  - Ha egy  $(\forall x_1, \dots)A$  állítás igaz, akkor az  $A\sigma$  állítás is az.
  - Ha  $f\sigma = c_1\sigma$  és  $f\sigma \leftarrow d_1\sigma, \dots, d_k\sigma$  és  $S_k\sigma$  igaz akkor  $S_b\sigma$  is igaz
- Ha redukciós lépések sorozatával  $S_0$ -ból eljutunk az üres célsorozathoz  $\implies S_0$ -t igazgá tevő behelyettesítést kapunk.

## A Prolog végrehajtás redukciós modellje

Redukciós lépés: egy célsorozat redukálása egy újabb célsorozattá

- egy programklóz segítségével (az első cél felhasználói eljárást hív):
  - A klózt **lemásoljuk**, a változókat szisztematikusan újakra cserélve.
  - A célsorozatot szétbontjuk az első hívásra és a maradékra.
  - Az első hívást **egyesítjük** a klózfejjel
  - Ha az egyesítés nem sikerül, akkor a redukciós lépés is megghiúsul.
  - Sikeres egyesítés esetén az ehhez szükséges behelyettesítéseket elvégezzük a klóz **törzsén** és a **célsorozat** maradékán is
  - Az új célsorozat: a klóztörzs és utána a maradék célsorozat
- egy beépített eljárás segítségével (az első cél beépített eljárást hív):
  - Az első célbeli beépített eljáráshívást végrehajtjuk.
  - Ez lehet sikeres (változó-behelyettesítésekkel), vagy lehet sikertelen.
  - Siker esetén a behelyettesítéseket elvégezzük a célsorozat maradékán, ez lesz az új célsorozat.
  - Ha az eljáráshívás sikertelen, akkor a redukciós lépés megghiúsul.

## A Prolog végrehajtási algoritmus – első közelítés

### Egy célsorozat végrehajtása

1. Ha az **első** hívás beépített eljárásra vonatkozik, végrehajtjuk a redukciót.
2. Ha az **első** hívás felhasználói eljárásra vonatkozik, akkor megkeressük az eljárás **első** (visszalépés után: következő) olyan klózat, amelynek feje egyesíthető a hívással, és végrehajtjuk a redukciót.
3. Ha a redukció sikeres (találunk egyesíthető fejű klózt), folytatjuk a végrehajtást 1.-től az új célsorozattal.
4. Ha a redukció meghiúsul, akkor visszalépés következik:
  - visszatérünk a legutolsó, felhasználói eljárással történt (sikeres) redukciós lépéshez,
  - annak *bemeneti* célsorozatát megpróbáljuk *újabb* klózzal redukálni – ugrás a 2. lépésre  
(Ennek meghiúsulása értelemszerűen újabb visszalépést okoz.)

### A végrehajtás nem „intelligens”

- Pl. | ?- *nagyszuloje*(U, 'Géza'). hatékonyabb lenne ha a klóz törzét **jobbról balra** hajtánánk végre
- DE: így a végrehajtás átlátható; a Prolog nem tételbizonyító, hanem programozási nyelv



## A Prolog adatfogalma, a Prolog kifejezés

- 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:  $\langle \text{struktúranév} \rangle \langle \langle \text{arg}_1 \rangle, \dots, \langle \text{arg}_n \rangle \rangle$ 
    - 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, egyesítés során egy tetszőleges Prolog kifejezést (akár egy másik változót) vehet fel értékül
  - ha visszalépünk egy redukciós lépésen keresztül, akkor az ott behelyettesített változók behelyettesítése megszűnik

## Aritmetika Prologban – faktoriális

### Aritmetikai beépített predikátumok

- $X \text{ is Kif}$ : A Kif **aritmetikai** kif.-t **kiértékeli** és értékét **egyesíti**  $X$ -szel.
- $\text{Kif1} > \text{Kif2}$ : Kif1 **aritmetikai értéke** nagyobb Kif2 értékénél.
- Hasonlóan:  $\text{Kif1} = < \text{Kif2}, \text{Kif1} > \text{Kif2}$ ,  $\text{Kif1} = = \text{Kif2}$   
(aritmetikailag egyenlő),  $\text{Kif1} \neq \text{Kif2}$  (aritmetikailag nem egyenlő)
- Fontos aritmetikai operátorok: +, -, \*, /, rem, // (egész-osztás)

### A faktoriális függvény definíciója Prologban

- funkcn. nyelven a faktoriális 1-argumentumú függvény:  $\text{Ered} = \text{fakt}(N)$
- Prologban ennek egy kétargumentumú reláció felel meg:  $\text{fakt}(N, \text{Ered})$
- Konvenció: az utolsó argumentum(ok) a kimenő paraméter(ek)

```
% fakt(N, F): F = N!.
```

```
fakt(0, 1). % 0! = 1.
```

```
fakt(N, F) :- % N! = F ha létezik olyan N1, F1, hogy
```

```
 N > 0, % N > 0, és
```

```
 N1 is N-1, % N1 = N-1. és
```

```
 fakt(N1, F1), % N1! = F1, és
```

```
 F is F1*N. % F = F1*N.
```

## Adatstruktúrák Prologban – a bináris fák példája

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

### Binárisfa-struktúra C-ben

```
enum treetype {Node, Leaf};
struct tree {
 enum treetype type;
 union {
 struct { struct tree *left;
 struct tree *right;
 } nd;
 struct { int value;
 } lf;
 } u;
};
```

A Prolog dinamikusan típusos nyelv –  
nincs szükség explicit típusdefinícióra

- Mercury típusleírás (komment)
 

```
% :- type tree --->
% node(tree, tree)
% | leaf(int).
```
- A típushoz tartozás ellenőrzése
 

```
% is_tree(T): T egy bináris fa
is_tree(leaf(V)) :- integer(V).
is_tree(node(Left,Right)) :-
 is_tree(Left),
 is_tree(Right).
```

## Bináris fák összegzése

- Egy bináris fa levélösszegének kiszámítása:
  - levél esetén a levélben tárolt egész
  - csomópont esetén a két részfa levélösszegének összege

```
% S = tsum(T): T levélösszege S
int tsum(struct tree *tree)
{
 switch(tree->type) {
 case Leaf:
 return tree->u.lf.value;
 case Node:
 return tsum(tree->u.nd.left) +
 tsum(tree->u.nd.right);
 }
}
```

```
% tree_sum(Tree, S): Σ Tree = S.
tree_sum(leaf(Value), Value).
tree_sum(node(Left,Right), S) :-
 tree_sum(Left, S1),
 tree_sum(Right, S2),
 S is S1+S2.
| ?- tree_sum(node(leaf(5),
 node(leaf(3),
 leaf(2))),S).
S = 10 ? ;
no
| ?- tree_sum(T, 3).
T = leaf(3) ? ;
! Inst. error in argument 2 of is/2
! goal: 3 is _73+_74
```

# Néhány beépített predikátum

- Kifejezések egyesítése
  - $X = Y$ : az  $X$  és  $Y$  **szimbolikus** kifejezések változók behelyettesítésével azonos alakra hozhatók
  - $X \neq Y$ : az  $X$  és  $Y$  kifejezések **nem** hozhatók azonos alakra
- További hasznos predikátumok
  - `true`, `fail`: Mindig sikerül ill. mindig megghiúsul.
  - `write(X)`: Az  $X$  Prolog kifejezést kiírja.
  - `write_canonical(X)`:  $X$  kanonikus (alapstruktúra) alakját írja ki.
  - `nl`: Kiír egy újsort.

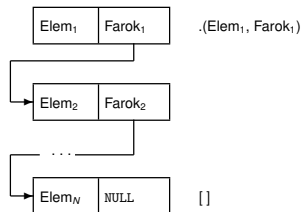
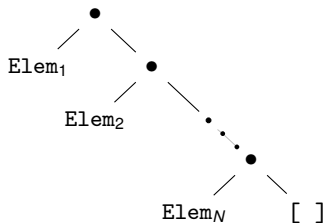
## Programfejlesztési beépített predikátumok

- `consult(File)`: A `File` állományban levő programot beolvassa és értelmezendő alakban eltárolja. (`File = user`  $\Rightarrow$  terminálról olvas.)
- `trace`, `notrace`: A (teljes) nyomkövetést be- ill. kikapcsolja.
- `listing` vagy `listing(Predikátum)`: Az értelmezendő alakban eltárolt összes ill. adott nevű predikátumokat kilistázza.
- `halt`: A Prolog rendszer befejezi működését.

```
> sicstus
SICStus 4.3.2 (x86_64-linux-glibc2.12): Fri May 8 01:05:09 PDT 2015
| ?- consult(tree).
% consulted /home/user/tree.pl in module user, 10 msec 91776 bytes
yes
| ?- tree_sum(node(leaf(3),leaf(2)), S).
S = 5 ? ;
no
| ?- listing(tree).
(...)
yes
| ?- halt.
>
```

## A Prolog lista-fogalma

- A Prolog lista
  - Az üres lista a `[]` névkonstans.
  - A nem-üres lista a `'.'` (`Fej, Farok`) struktúra (vö. Cékla `cons(...)`):
    - `Fej` a lista feje (első eleme), míg
    - `Farok` a lista farka, azaz a fennmaradó elemekből álló lista.
  - A listákat egyszerűsítve is leírhatjuk („szintaktikus édesítés”).
  - Megvalósításuk optimalizált, időben és helyben is hatékonyabb.
- A listák fastruktúra alakja és megvalósítása



## Listák jelölése – szintaktikus „édesítőszerek”

- Az alapvető édesítés:  
 .(Fej,Farok) helyett a [Fej|Farok] kifejezést írjuk
- Kiterjesztés  $N$  darab „fej”-elemre, a skatulyázás kiküszöbölése:  
 $[Elem_1 | [\dots | [Elem_N | Farok] \dots]] \implies [Elem_1, \dots, Elem_N | Farok]$
- Ha a farok [], a „| []” jelsorozat elhagyható:  
 $[Elem_1, \dots, Elem_N | []] \implies [Elem_1, \dots, Elem_N]$

| ?- [1,2] = [X|Y].  $\implies$  X = 1, Y = [2] ?

| ?- [1,2] = [X,Y].  $\implies$  X = 1, Y = 2 ?

| ?- [1,2,3] = [X|Y].  $\implies$  X = 1, Y = [2,3] ?

| ?- [1,2,3] = [X,Y].  $\implies$  no

| ?- [1,2,3,4] = [X,Y|Z].  $\implies$  X = 1, Y = 2, Z = [3,4] ?

| ?- L = [1|\_], L = [\_|2|\_].  $\implies$  L = [1,2|\_A] ? % nyílt végű

| ?- L = .(1,[2,3|[]]).  $\implies$  L = [1,2,3] ?

| ?- L = [1,2|. (3,[])].  $\implies$  L = [1,2,3] ?



## Néhány egyszerű listakezelő eljárás

- Egy  $n$ -dimenziós vektort egy  $n$ -elemű számlistával ábrázolhatunk.
- Írjunk Prolog eljárásokat két vektor összegének, egy vektor és egy skalár (szám) szorzatának, és két vektor skalárszorzatának kiszámítására. Feltételezhető, hogy egy hívásban a vektorok azonos hosszúságúak.

```
% v_ossz(+A, +B, ?C): C az A és B vektorok összege
```

```
v_ossz([], [], []).
```

```
v_ossz([A|AL], [B|BL], [C|CL]) :-
```

```
 C is A+B,
```

```
 v_ossz(AL, BL, CL).
```

```
% vs_szorz(+A, +S, ?B): B az A vektor S skalárral való szorzata
```

```
vs_szorz([], _, []).
```

```
vs_szorz([A|AL], S, [B|BL]) :-
```

```
 B is A*S, vs_szorz(AL, S, BL).
```

```
% skszorz(+A, +B, ?S): S az A és B vektorok skalárszorzata
```

```
skszorz([], [], 0).
```

```
skszorz([A|AL], [B|BL], S) :-
```

```
 skszorz(AL, BL, S0), S is S0+A*B.
```

# Tartalom

- 4 Prolog alapok
  - Prolog bevezetés – néhány példa
  - **A Prolog nyelv alapszintaxisa**
  - Listakezelő eljárások Prologban
  - Operátorok
  - További vezérlési szerkezetek
  - Prolog végrehajtás – algoritmusok

# Predikátumok, klózek

- 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:

|                                         |       |                                                                                          |                                |
|-----------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| $\langle \text{Prolog program} \rangle$ | $::=$ | $\langle \text{predikátum} \rangle \dots$                                                |                                |
| $\langle \text{predikátum} \rangle$     | $::=$ | $\langle \text{klóz} \rangle \dots$                                                      | {azonos funktorú}              |
| $\langle \text{klóz} \rangle$           | $::=$ | $\langle \text{tényállítás} \rangle.\sqcup  $<br>$\langle \text{szabály} \rangle.\sqcup$ | {klóz funktora = fej funktora} |
| $\langle \text{tényállítás} \rangle$    | $::=$ | $\langle \text{fej} \rangle$                                                             |                                |
| $\langle \text{szabály} \rangle$        | $::=$ | $\langle \text{fej} \rangle :- \langle \text{törzs} \rangle$                             |                                |
| $\langle \text{törzs} \rangle$          | $::=$ | $\langle \text{cél} \rangle, \dots$                                                      |                                |
| $\langle \text{cél} \rangle$            | $::=$ | $\langle \text{kifejezés} \rangle$                                                       |                                |
| $\langle \text{fej} \rangle$            | $::=$ | $\langle \text{kifejezés} \rangle$                                                       |                                |

## Prolog kifejezések

- Példa – egy klózfej mint kifejezés:

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

tree\_sum/2

- Szintaxis:

```
<kifejezés> ::= <változó> | {Nincs funktora}
 <konstans> | {Funktora: <konstans>/0}
 <összetett kif.> | {Funktor: <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> ::= + | - | * | / | \ | $ | ^ | < | > | = | ` | ~ | : | . | ? | @ | # | &
```

## 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: összetett kifejezésben a struktúranév után tilos formázó elemet tenni (operátorok miatt);
  - 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 klózek legyenek egymás mellett a programban, közéjük ne tegyünk üres sort.
  - A predikátum elé tegyünk egy üres sort és egy fejkommentet:  
`% predikátumnév(A1, ..., An): A1, ..., An közötti`  
`% összefüggést leíró kijelentő mondat.`
  - A klózfejet írjuk sor elejére, minden célt lehetőleg külön sorba, néhány szóközzel beljebb kezdve

# Összefoglalás: A logikai programozás alapgondolata

- 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-klózok** nyelve,
    - végrehajtási mechanizmusa: **mintaillesztéses** eljáráshíváson alapuló **visszalépéses** keresés.

## Erlang és Prolog: néhány eltérés és hasonlóság

| Erlang                                                               | Prolog                                            |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| függvény, értéke tetsz. típusú                                       | predikátum, azaz Boole-értékű függvény            |
| arg. bemenő, a fv.érték kimenő                                       | arg.-ok bemenők és kimenők is                     |
| egyetlen visszatérési érték                                          | választási pontok, több megoldás lehet            |
| $S_1, \dots, S_n$ szekv. kif., értéke $S_n$                          | $C_1, \dots, C_n$ célsor., redukció+visszalépés   |
| külön ennes, lista típusok                                           | a lista is összetett kifejezés                    |
| nincsenek felh. operátorok                                           | felh. operátorok definiálhatók                    |
| Az = jobb oldalán tömör kif., bal oldalon mintakif.; őrfeltételekkel | az egyesítés szimmetrikus, mindkét oldalon minták |

- Néhány hasonlóság:

- az eljárás is klózokból áll, kiválasztás mintaillesztéssel, sorrendben, de míg Erlangban csak az **első** illeszkedő klózfej számít, Prologban az **összes**
- változóhoz csak egyszer köthető érték
- lista szintaxisa (de: Erlangban önálló típus), sztring (füzér), atom



# Tartalom

4

## Prolog alapok

- Prolog bevezetés – néhány példa
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- **Listakezelő eljárások Prologban**
- Operátorok
- További vezérlési szerkezetek
- Prolog végrehajtás – algoritmusok

## Listák összefűzése – az `append/3` eljárás

- Ismétlés: Listák összefűzése Céklában:

```
// appf(L1, L2) = L1 ⊕ L2 (L1 és L2 összefűzése)
```

```
list appf(const list L1, const list L2) {
 if (L1 == nil) return L2;
 return cons(hd(L1), appf(tl(L1), L2)); }
```

- Írjuk át a kétargumentumú `appf` függvényt `app0/3` Prolog eljárássá!

```
app0(L1, L2, Ret) :- L1 = [], Ret = L2.
```

```
app0([HD|TL], L2, Ret) :-
 app0(TL, L2, L3), Ret = [HD|L3].
```

- Logikailag tiszta Prolog programokban a `vált = kif` alakú hívások kiküszöbölhetőek, ha `vált` minden előfordulását `kif`-re cseréljük.

```
app([], L2, L2).
```

```
app([X|L1], L2, [X|L3]) :- % HD → X, TL → L1 helyettesítéssel
 app(L1, L2, L3).
```

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

## Lista építése *előlről* – nyílt végű listákkal

- Egy  $x$  Prolog kif. **nyílt végű lista**, ha  $x$  változó, vagy  $x = [_|Farok]$  ahol  $Farok$  nyílt végű lista.

$| ?- L = [1|_], L = [_ ,2|_]. \implies L = [1,2|_A] ?$

- A beépített `append/3` azonos az `app/3`-mal:

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

- Az `append` eljárás már az első redukciónál felépíti az eredmény fejét!

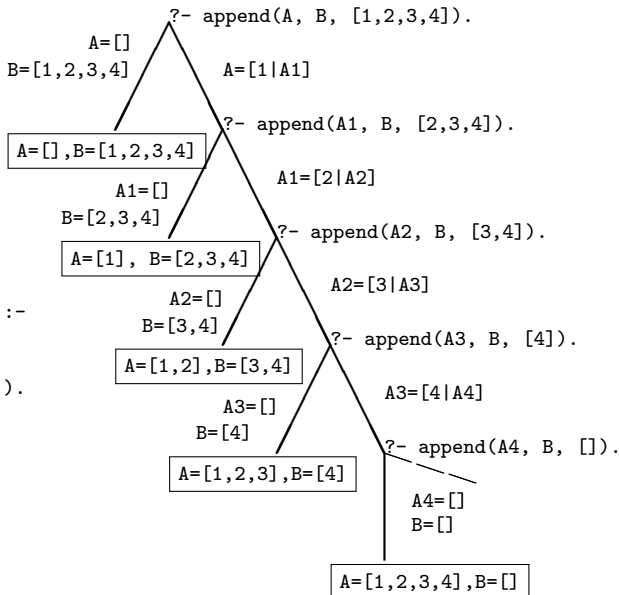
- Célok (pl.): `append([1,2,3], [4], Ered), write(Ered).`
- Fej: `append([X|L1], L2, [X|L3])`
- Behelyettesítés:  $X = 1, L1 = [2,3], L2 = [4], \text{Ered} = [1|L3]$
- Új célsorozat: `append([2,3], [4], L3), write([1|L3]).`  
( $Ered$  nyílt végű lista, farka még behelyettesítetlen.)
- A további redukciós 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

```
% append(L1, L2, L3):
% Az L3 lista az L1 és L2
% listák elemeinek egymás
% után fűzésével áll elő.
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :-
 append(L1, L2, L3).
```

```
| ?- append(A, B, [1,2,3,4]).
A = [], B = [1,2,3,4] ? ;
A = [1], B = [2,3,4] ? ;
A = [1,2], B = [3,4] ? ;
A = [1,2,3], B = [4] ? ;
A = [1,2,3,4], B = [] ? ;
no
```



## Nyílt végű listák az append változatokban

$$\begin{array}{l} \text{app0}([], L, L). \\ \text{app0}([X|L1], L2, R) :- \\ \quad \text{app0}(L1, L2, L3), R = [X|L3]. \end{array} \quad \left\| \right. \quad \begin{array}{l} \text{append}([], L, L). \\ \text{append}([X|L1], L2, [X|L3]) :- \\ \quad \text{append}(L1, L2, L3). \end{array}$$

- Ha az 1. argumentum zárt végű ( $n$  hosszú), mindkét változat legfeljebb  $n + 1$  lépésben egyértelmű választ ad, amely lehet nyílt végű:
  - | ?-  $\text{app0}([1,2], L2, L3)$ .  $\implies L3 = [1,2|L2]$  ? ; no
- A 2. arg.-ot nem bontjuk szét  $\implies$  mindegy, hogy nyílt vagy zárt végű
- Ha a 3. argumentum zárt végű ( $n$  hosszú), akkor az `append` változat legfeljebb  $n + 1$  megoldást ad, max.  $\sim 2n$  lépésben (ld. előző dia); tehát:
  - `append(L1, L2, L3)` keresési tere véges, ha L1 vagy L3 zárt
- Ha az 1. és a 3. arg. is nyílt, akkor a válaszalmaz csak  $\infty$  sok Prolog kifejezéssel fedhető le, pl.
  - $\_ \oplus [1] = L$  ( $\equiv$  L utolsó eleme 1):  $L = [1]; \_ , 1; \_ , \_ , 1; \dots$
- `app0` szétszedésre nem jó, pl.  $\text{app0}(L, [1,2], []) \implies \infty$  ciklus, mert redukálva a 2. klózzal  $\implies \text{app0}(L1, [1,2], L3), [X|L3] = []$ .
- Az `append` eljárás jobbrekurzív, hála a logikai változó használatának

## Variációk append-re – három lista összefűzése (kiegészítő anyag)

- $\text{append}(L1, L2, L3, L123) : L1 \oplus L2 \oplus L3 = L123$

$\text{append}(L1, L2, L3, L123) :-$

$\text{append}(L1, L2, L12), \text{append}(L12, L3, L123).$

- Lassú, pl.:  $\text{append}([1, \dots, 100], [1, 2, 3], [1], L)$  103 helyett 203 lépés!
- Szétszedésre nem alkalmas – végtelen választási pontot hoz létre
- Szétszedésre is alkalmas, hatékony változat

$\% L1 \oplus L2 \oplus L3 = L123,$

$\% \text{ ahol vagy } L1 \text{ és } L2, \text{ vagy } L123 \text{ adott (zárt végű).}$

$\text{append}(L1, L2, L3, L123) :-$

$\text{append}(L1, L23, L123), \text{append}(L2, L3, L23).$

- $\text{append}(+, +, ?, ?)$  esetén az első  $\text{append}/3$  hívás nyílt végű listát ad:  
 $| \text{?- append}([1, 2], L23, L). \implies L = [1, 2 | L23] ?$
- Az  $L3$  argumentum behelyettesítettsége (nyílt vagy zárt végű lista-e) nem számít.

## Listák megfordítása

- Naív (négyzetes lépésszámú) megoldás

```

% nrev(L, R): R = L megfordítása.
nrev([], []).
nrev([X|L], R) :-
 nrev(L, RL),
 append(RL, [X], R).

% nrev(L) = L megfordítása (Cékla)
list nrev(const list XL)
{
 if (XL == nil) return nil;
 int X = hd(XL); list L = tl(XL);
 list RL = nrev(L);
 return append(RL, cons(X,nil)); }

```

- Lineáris lépésszámú megoldás

```

% revapp(L1, R0, R): L1 megfordítását R0 elé fűzve kapjuk R-t.
revapp([], R0, R0).
revapp([X|L1], R0, R) :-
 revapp(L1, [X|R0], R).

% reverse(R, L): Az R lista az L megfordítása.
reverse(R, L) :- revapp(L, [], R).

```

- revapp-ban R0,R egy akkumulátorpár: eddigi ill. végeredmény
- A lists könyvtár tartalmazza a reverse/2 eljárás definícióját, betöltése:
 

```
:- use_module(library(lists)).
```

## Listák gyűjtése előlről és hátulról (kiegészítő anyag)

### • Prolog

```
revapp([], L, L).
revapp([X|L1], L2, L3) :-
 revapp(L1, [X|L2], L3).
```

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

### • C++

```
struct lnk { char elem;
 lnk *next;
 lnk(char e): elem(e) {} };
```

```
typedef lnk *list;
list revapp(list L1, list L2)
{ list l = L2;
 for (list p=L1; p; p=p->next)
 { list newl = new lnk(p->elem);
 newl->next = l; l = newl;
 }
 return l;
}
```

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



## Keresés listában – a `member/2` beépített eljárás

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

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

- Eldöntendő (igen-nem) kérdés:

```
| ?- member(2, [1,2,3,2]). => yes DE
| ?- member(2, [1,2,3,2]), R=yes. => R=yes ? ; R=yes ? ; 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.

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

- `select(E, Lista, M)`: E-t Listából **pont egyszer** elhagyva marad M.

```
select(E, [E|Marad], Marad). % Elhagyjuk a fejet, marad a farok.
select(E, [X|Farok], [X|M]) :- % Marad a fej,
 select(E, Farok, M). % 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 úgy, hogy [2,...]-t kapjunk?
 => no
| ?- 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.

## Listák permutációja (kiegészítő anyag)

- `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! Illik jelezni az I/O módokat a fejkommentben:  
% `perm(+Lista, ?Perm)`: Lista permutációja a Perm lista.
- A `lists` könyvtár tartalmaz egy kétirányban is működő `permutation/2` eljárást.

# Tartalom

4

## Prolog alapok

- Prolog bevezetés – néhány példa
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Listakezelő eljárások Prologban
- **Operátorok**
- További vezérlési szerkezetek
- Prolog végrehajtás – algoritmusok

## Operátor-kifejezések

- Példa:  $S$  is  $-S1+S2$  ekvivalens az  $is(S, +(-(S1), S2))$  kifejezéssel

- Operátoros kifejezések

$\langle \text{összetett kif.} \rangle ::=$

|                                        |                                                |                                     |                      |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| $\langle \text{struktúranév} \rangle$  | $( \langle \text{argumentum} \rangle, \dots )$ | {eddig csak ez volt}                |                      |
| $\langle \text{argumentum} \rangle$    | $\langle \text{operátornév} \rangle$           | $\langle \text{argumentum} \rangle$ | {infix kifejezés}    |
| $\langle \text{operátornév} \rangle$   | $\langle \text{argumentum} \rangle$            |                                     | {prefix kifejezés}   |
| $\langle \text{argumentum} \rangle$    | $\langle \text{operátornév} \rangle$           |                                     | {posztfix kifejezés} |
| $( \langle \text{kifejezés} \rangle )$ |                                                |                                     | {zárójeles kif.}     |

$\langle \text{operátornév} \rangle ::= \langle \text{struktúranév} \rangle$  {ha operátorként lett definiálva}

- Egy vagy több azonos jellemzőjű operátor definiálása

$op(\text{Prio}, \text{Fajta}, \text{OpNév})$  vagy  $op(\text{Prio}, \text{Fajta}, [\text{OpNév}_1, \dots, \text{OpNév}_n])$ , ahol

- Prio (prioritás): 1–1200 közötti egész
- Fajta: az  $yfx$ ,  $xfy$ ,  $xfx$ ,  $fy$ ,  $fx$ ,  $yf$ ,  $xf$  névkonstansok egyike
- $\text{OpNév}_i$  (az operátor neve): tetszőleges névkonstans
- Az  $op/3$  beépített predikátum meghívását általában a programot tartalmazó file elején, *direktívában* helyezzük el:
 

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

## Operátorok jellemzői

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

| Fajta     |            |           | Írásmód         | Értelmezés                 |
|-----------|------------|-----------|-----------------|----------------------------|
| bal-assz. | jobb-assz. | nem-assz. |                 |                            |
| yfx       | xfy        | xfx       | <b>infix</b>    | $A \ f \ B \equiv f(A, B)$ |
|           | fy         | fx        | <b>prefix</b>   | $f \ A \equiv f(A)$        |
| yf        |            | xf        | <b>posztfix</b> | $A \ f \equiv f(A)$        |

- 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 fajtanévben 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

Színkód:

már ismert, új aritmetikai, hamarosan jön

|      |     |                                                   |                    |
|------|-----|---------------------------------------------------|--------------------|
| 1200 | xfx | <code>:- --&gt;</code>                            |                    |
| 1200 | fx  | <code>:- ?-</code>                                |                    |
| 1100 | xfy | <code>;</code>                                    | diszjunkció        |
| 1050 | xfy | <code>-&gt;</code>                                | if-then            |
| 1000 | xfy | <code>','</code>                                  |                    |
| 900  | fy  | <code>\+</code>                                   | negáció            |
| 700  | xfx | <code>= \=</code>                                 |                    |
|      |     | <code>&lt; =&lt; &gt; &gt;= ::= =\= is</code>     |                    |
|      |     | <code>@&lt; @=&lt; @&gt; @&gt;= == \== =..</code> |                    |
| 500  | yfx | <code>+ - \ / \</code>                            | bitműveletek       |
| 400  | yfx | <code>* / // rem</code>                           |                    |
|      |     | <code>mod</code>                                  | modulus            |
|      |     | <code>&lt;&lt; &gt;&gt;</code>                    | léptetések         |
| 200  | xfx | <code>**</code>                                   | hatványozás        |
| 200  | xfy | <code>^</code>                                    |                    |
| 200  | fy  | <code>- \</code>                                  | bitenkénti negáció |

## További beépített operátorok SICStus Prologban

|      |     |                             |  |
|------|-----|-----------------------------|--|
| 1150 | fx  | <code>mode public</code>    |  |
|      |     | <code>dynamic block</code>  |  |
|      |     | <code>volatile</code>       |  |
|      |     | <code>discontiguous</code>  |  |
|      |     | <code>initialization</code> |  |
|      |     | <code>multifile</code>      |  |
|      |     | <code>meta_predicate</code> |  |
| 1100 | xfy | <code>do</code>             |  |
| 900  | fy  | <code>spy nospy</code>      |  |
| 550  | xfy | <code>:</code>              |  |
| 500  | yfx | <code>\</code>              |  |
| 200  | fy  | <code>+</code>              |  |

## Operátorok implicit zárójelezése – általános szabályok

- Egy  $X \text{ op}_1 Y \text{ op}_2 Z$  zárójelezése, ahol  $\text{op}_1$  és  $\text{op}_2$  prioritása  $n_1$  és  $n_2$ :
  - ha  $n_1 > n_2$  akkor  $X \text{ op}_1 (Y \text{ op}_2 Z)$ ;
  - ha  $n_1 < n_2$  akkor  $(X \text{ op}_1 Y) \text{ op}_2 Z$ ; (kisebb prio.  $\Rightarrow$  erősebb kötés)
  - ha  $n_1 = n_2$  és  $\text{op}_1$  jobb-asszociatív ( $xfy$ ), akkor  $X \text{ op}_1 (Y \text{ op}_2 Z)$ ;
  - **egyébként**, ha  $n_1 = n_2$  és  $\text{op}_2$  bal-assz. ( $yfx$ ), akkor  $(X \text{ op}_1 Y) \text{ op}_2 Z$ ;
  - egyébként szintaktikus hiba

- Érdekes példa: `:- op(500, xfy, +^).`    `% :- op(500, yfx, +).`

| ?- :- write((1 +^ 2) + 3), nl.     $\Rightarrow (1+^2)+3$

| ?- :- write(1 +^ (2 + 3)), nl.     $\Rightarrow 1+^2+3$

tehát: konfliktus esetén az **első** operátor asszociativitása „győz”.

- Alapszabály: egy  $n$  prioritású operátor zárójelez~~etlen~~ operandusaként
  - legfeljebb  $n - 1$  prioritású operátort fogad el az  $x$  oldalon
  - legfeljebb  $n$  prioritású operátort fogad el az  $y$  oldalon
- A zárójelezett kifejezéseket és az alapstruktúra-alakú kifejezéseket feltétel nélkül elfogadjuk operandusként
- Az alapszabály a prefix és posztfix operátorokra is alkalmazandó



## Operátorok – kiegészítő megjegyzések

- A „vessző” jel többféle helyzetben is használható:
  - struktúra-argumentumokat, ill. listaelemeket határol el egymástól
  - 1000 prioritású  $xfy$  op. pl.:  $(p:-a,b,c)\equiv:(p,' ','(a,' ','(b,c)))$ 
    - A vessző **atom**ként csak a `' '`, **határoló**ként csak a `,`, **operátorként** mindkét formában `- ' '` vagy `,` – használható.
  - $:(p, a,b,c)$  többértelmű:  $\stackrel{?}{=} :(p, (a,b,c)), \dots \stackrel{?}{=} :(p,a,b,c)\dots$
  - Egyértelműsítés: argumentumában vagy listaelemében az 1000-nél  $\geq$  prioritású operátort tartalmazó kifejezést *zárójelezni kell*:

| ?- write\_canonical((a,b,c)).  $\implies$  '( '(a,' '(b,c))

| ?- write\_canonical(a,b,c).  $\implies$  ! write\_canonical/3 does not exist

- 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
```

```
! op. 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 irására, 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.

## Operátoros példa: polinom behelyettesítési értéke

- Formula: az 'x' névkonstansból és számokból az '+' 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
```

## Klasszikus szimbolikuskifejezés-feldolgozás: deriválás

- Írjunk olyan Prolog predikátumot, amely az  $x$  névkonstansból és számokból 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
```

# Tartalom

4

## Prolog alapok

- Prolog bevezetés – néhány példa
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Listakezelő eljárások Prologban
- Operátorok
- **További vezérlési szerkezetek**
- Prolog végrehajtás – algoritmusok

# 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 aláhúzva, kiemelve): (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 azokat a változókat, amelyek a diszjunkcióban és azon kívül is előfordulnak
- 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 (kiegészítő anyag)

- 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
```

„X Imre szülője” akkor **és csak akkor** ha  $X = \text{István}$  vagy  $X = \text{Gizella}$ .

- 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 egyklózossá alakítható:

- a klózeket azonos fejlűvé 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)

- $A \setminus +$  Hívás vezérlési szerkezet (vö.  $\nabla$  – nem bizonyítható) procedurális szemantikája
  - végrehajtja a Hívás hívást,
  - ha Hívás sikeresen lefutott, akkor megghiúsul,
  - egyébként (azaz ha Hívás megghiúsult) sikerül.
- $A \setminus +$  Hívás futása során Hívás legfeljebb egyszer sikerül
- $A \setminus +$  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 $\equiv \neg(\exists Gy.sz(Gy,X))$
 \implies X = 'Imre' ? ; no
```
- Mi történik ha a két hívást megcseréljük?
 

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

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

## 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. mert „semmis” változók: `_`), és a többi változó tömör értékkel bír.

```
% 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). \implies no
| ?- \+ szuloje('Géza', X). \implies 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  $\implies (*)$  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(K1*K2, E) :- % (4)
egyhat(Kif, E) :- number(K1),
 number(Kif), E = 0. egyhat(K2, E0),
egyhat(K1+K2, E) :- E is K1*E0.
 egyhat(K1, E1), egyhat(K1*K2, E) :- % (5)
 egyhat(K2, E2), number(K2),
 E is E1+E2. egyhat(K1, E0),
 E is K2*E0.
```

- A fenti megoldás hibás – többszörös megoldást kaphatunk:

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

- A többszörös megoldás oka:

az egyhat(2\*3, E) hívás esetén a (4) és (5) klóz egyaránt sikeres!

## Többszörös megoldások kiküszöbölése

- El kell érünk, hogy ha a (4) sikeres, akkor (5) már ne sikerüljön
- A többszörös megoldás kiküszöbölhető:
  - Negációval – írjuk be (4) előfeltételének negáltját (5) törzsébe:

(...)

```
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
```

```
).
```

- A feltételes kifejezés hatékonyabban fut, mert:
  - a feltételt csak egyszer értékeli ki
  - nem hagy választási pontot

## 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 (azaz nem oldható meg többféleképpen):

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

## 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 adott 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 kiemelt, aláhúzott zárójelk feleslegesek (a ‘;’ egy `xfy` írásmódú op.).

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

## 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
).
```



## További példa: számintervallum felsorolása

- Soroljuk fel az  $N$  és  $M$  közötti egészeket (ahol  $N$  és  $M$  maguk is egészek)

```
% between0(+M, +N, -I): M =< I =< N, I egész.
```

```
between0(M, N, M) :- M =< N.
```

```
between0(M, N, I) :- M < N,
```

```
 M1 is M+1, between0(M1, N, I).
```

```
| ?- between0(1, 2, _X), between0(3, 4, _Y), Z is 10*_X+_Y.
```

```
Z = 13 ? ; Z = 14 ? ; Z = 23 ? ; Z = 24 ? ; no
```

- A `between0(5,5,I)` hívás választási pontot hagy, optimalizált változat:

```
between(M, N, I) :- (M > N -> fail
 ; M == N -> I = M
 ; (I = M
 ; M1 is M+1, between(M1, N, I)
)
).
```

(A `()` zárójelpár szintaktikusan felesleges, de az olvasónak jelzi, hogy az „else” ágon egy diszjunkció van.)

- A fenti eljárás (még jobban optimalizálva) elérhető a `between` könyvtárban.

# Tartalom

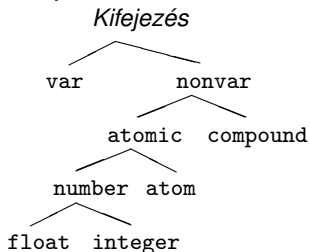
4

## Prolog alapok

- Prolog bevezetés – néhány példa
- A Prolog nyelv alapszintaxisa
- Listakezelő eljárások Prologban
- Operátorok
- További vezérlési szerkezetek
- Prolog végrehajtás – algoritmusok

# Az egyesítési algoritmus – a Prolog adatfogalma

- Prolog kifejezések osztályozása – kanonikus alak



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

## Az egyesítés célja

- Egyesítés (*unification*): két Prolog kifejezés (pl. egy eljáráshívás 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  $B$   
(pl. egy klóz feje 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
  - praktikusán 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:  $tree\_sum(leaf(V), V) = tree\_sum(T, S)$ 
    - egy 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

- 1 Ha  $A$  és  $B$  azonos változók vagy konstansok, akkor kilép sikerrel, behelyettesítés nélkül
- 2 Egyébként, ha  $A$  változó, akkor a  $\sigma = \{A \leftarrow B\}$  behelyettesítést elvégzi, és kilép sikerrel
- 3 Egyébként, ha  $B$  változó, akkor a  $\sigma = \{B \leftarrow A\}$  behelyettesítést elvégzi, és kilép sikerrel (a 2. és 3. lépések felcserélhetők)
- 4 Egyébként, ha  $A$  és  $B$  azonos nevű és argumentumszámú összetett kifejezések és argumentum-listáik  $A_1, \dots, A_N$  ill.  $B_1, \dots, B_N$ , akkor
  - $A_1$  és  $B_1$  egyesítését elvégzi (beleértve az ehhez szükséges behelyettesítések végrehajtását), ha ez sikertelen, akkor kilép meghiúsulással;
  - $A_2$  és  $B_2$  egyesítését elvégzi, ha ez sikertelen, akkor kilép meghiúsulással;
  - ...
  - $A_N$  és  $B_N$  egyesítését elvégzi, ha ez sikertelen, akkor kilép meghiúsulássalKilép sikerrel
- 5 Minden más esetben kilép meghiúsulással ( $A$  és  $B$  nem egyesíthető)

## Egyesítési példák a gyakorlatban

- 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.
```

```
 no
```

```
 % mert 1+2*3 ≡ 1+(2*3)
```

```
| ?- 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 ?
```

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

- 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 (emiattn ún. ciklikus kifejezések keletkezhetnek)
  - Szabványos eljárásként 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 alg. matematikai megfogalmazása (kieg. anyag)

- A *behelyettesítés* egy olyan  $\sigma$  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 természetes módon kiterjeszthető:
  - $K\sigma$ :  $\sigma$  alkalmazása egy *tetszőleges*  $K$  kifejezésre:  $\sigma$  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  $\theta$  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 rendel (  $Dom(\sigma \otimes \theta) = Dom(\sigma) \cup Dom(\theta)$  ):

$$\sigma \otimes \theta = \{x \leftarrow (x\sigma)\theta \mid x \in Dom(\sigma)\} \cup \{y \leftarrow y\theta \mid y \in Dom(\theta) \setminus Dom(\sigma)\}$$

- 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  $\rho$  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 legáltalánosabb egyesítő előállítás (kiegészítő anyag)

- $A$  és  $B$  kifejezések egyesíthetők ha létezik egy olyan  $\sigma$  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.  $\sigma_2$  és  $\sigma_3$  a fenti  $A$  és  $B$  legáltalánosabb egyesítője.
- **Tétel:** A legáltalánosabb egyesítő, változó-átnevezéstől eltekintve egyértelmű.

## A „matematikai” egyesítési algoritmus (kiegészítő anyag)

- 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  $\sigma_1$ ,
    - b.  $A_2\sigma_1$  és  $B_2\sigma_1$  legáltalánosabb egyesítője  $\sigma_2$ ,
    - c.  $A_3\sigma_1\sigma_2$  és  $B_3\sigma_1\sigma_2$  legáltalánosabb egyesítője  $\sigma_3$ ,
    - d. ...

akkor  $\sigma = \sigma_1 \otimes \sigma_2 \otimes \sigma_3 \otimes \dots$
- 5 Minden más esetben a  $A$  és  $B$  nem egyesíthető.

## Egyesítési példák (kiegészítő anyag)

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

# Az eljárás-redukciós végrehajtási modell

- A Prolog végrehajtás (ismétlés):
  - egy adott célsorozat futtatása egy adott programra vonatkozóan,
  - eredménye lehet:
    - siker – változó-behelyettesítésekkel
    - megüresülés (változó-behelyettesítések nélkül)
- A végrehajtás egy állapota: egy célsorozat
- A végrehajtás kétféle lépésből áll:
  - **redukciós lépés**: egy célsorozat + klóz  $\rightarrow$  új célsorozat
  - **visszalépés** (zsákutca esetén): visszatérés a legutolsó választási ponthoz és a **további** (eddig nem próbált) klózzal való redukciós lépések

## A redukciós modell alapeleme, a redukciós lépés (ismétlés)

- 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  $\Rightarrow$ meghiúsulás
  - egy beépített eljárás segítségével (az első cél beépített eljárást hív):
    - A célsorozatot szétbontjuk az első hívásra és a maradékra.
    - A beépített eljáráshívást végrehajtjuk
    - Siker esetén a behelyettesítéseket elvégezzük a célsorozat maradékán ez lesz az új célsorozat
    - Ha a beépített eljárás hívása sikertelen  $\Rightarrow$ meghiúsulás

## Az eljárás-redukciós végrehajtási algoritmus

- 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 a veremre mentjük az aktuális  $\langle CS, I \rangle$  párt.
- Visszalépéskor a verem tetejéről leemelünk egy  $\langle CS, I \rangle$  párt és a végrehajtás következő lépése: CS redukciója az I+1-edik klózzal.

## A Prolog végrehajtási algoritmusa

- 1 (Kezdeti beállítások:) A verem üres,  $CS :=$  kezdeti célsorozat
- 2 (Beépített elj.): Ha  $CS$  első hívása beépített akkor hajtsuk végre a red. lépést.
  - a. Ha ez sikertelen  $\Rightarrow$  6. lépés.
  - b. Ha ez sikeres,  $CS :=$  a redukciós lépés eredménye, és  $\Rightarrow$  5. lépés.
- 3 (Klózszámláló kezdőértékezése:)  $I = 1$ .
- 4 (Redukciós lépés:) Tekintsük  $CS$  első hívására alkalmazható klózok listáját. Ez indexelés nélkül a predikátum összes klóza lesz, indexelés esetén (lásd 2. Prolog blokk) ennek egy megszürt 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 ez sikertelen, akkor  $I := I+1$ , és  $\Rightarrow$  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:) Leemeljük a (nem üres) verem tetejéről a  $\langle CS, I \rangle$ -párt,  $I := I+1$ , és  $\Rightarrow$  4. lépés.



## A faösszegző program többirányú aritmetikával

- Az korábbi faösszegző program a `tree_sum(T, 3)` hívás esetén hibát jelez az `is/2` hívásnál.
- Az `is` beépített eljárás helyett egy saját `plus` eljárást használva egészek korlátos tartományán megoldható a kétirányú működé.

```
% plus(A, B, C): A+B=C, ahol 0 < A,B,C =< 3 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.
```

```
% 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.
```

```
% 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).
```

- A jobboldali változat (+,?) módban nagyon kevésbé hatékony :-).

# A többirányú faösszegző program keresési tere

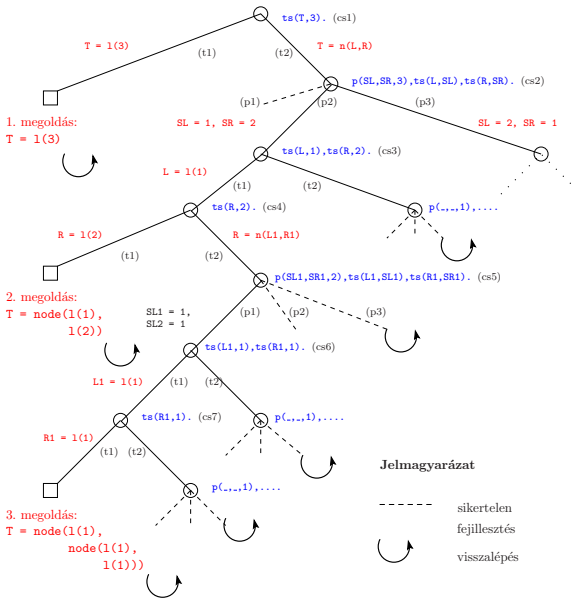
A program:

```

p(1, 1, 2). (p1)
p(1, 2, 3). (p2)
p(2, 1, 3). (p3)

ts(1(V), V). (t1)
ts(n(L,R), S) :-
 p(SL,SR,S),
 ts(L, SL),
 ts(R, SR). (t2)

```



A verem a 3. megoldásnál:

```

((cs2), 2)
((cs3), 1)
((cs5), 1)
((cs6), 1)
((cs7), 1)

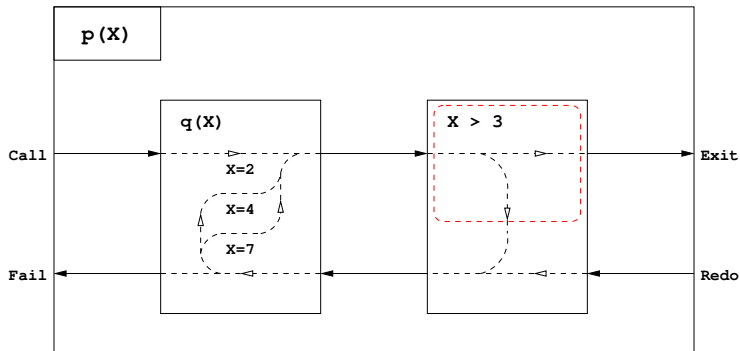
```



# 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 az  $X > 3$  hívás körül)

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

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

```
| ?- trace, p(X).
```

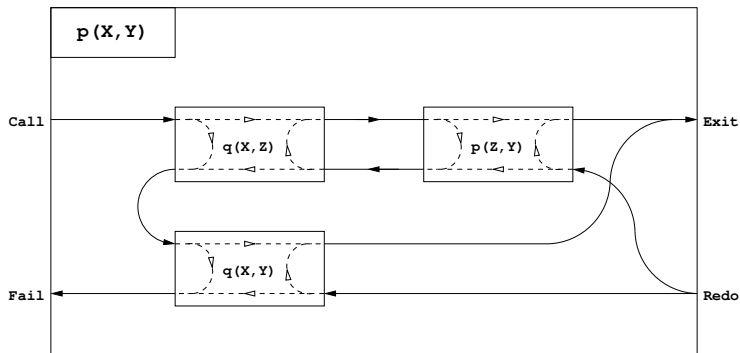
```

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 ?
2 2 Redo: q(2) ?
? 2 2 Exit: q(4) ?
4 2 Call: 4>3 ?
4 2 2 Exit: 4>3 ? % nincs ? ⇒ a doboz törlődik (*)
? 1 1 Exit: p(4) ?
X = 4 ? ;
1 1 1 Redo: p(4) ?
 % (*) miatt nem látjuk a Redo-Fail kapukat a 4>3 hívásra
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) ? % nincs ? ⇒ a doboz törlődik (*)
X = 7 ? ; no
```

## Eljárás-doboz: több klózból álló eljárás

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

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

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


## Eljárás-doboz modell – „kapcsolási” alapelvek

- A feladat: „szülő” eljárásdoboz és a „belső” eljárások dobozainak összekapcsolása
- Előfeldolgozás: érjük el, hogy a klózfejekben csak változók legyenek, ehhez a fej-egyesítéseket alakítsuk hívásokká, pl.  
 $\text{fakt}(0,1) . \Rightarrow \text{fakt}(X,Y) :- X=0, Y=1 .$
- 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` parancssal indítja a nyomkövetést
  - `notrace`, `nodebug`, `nozip` – kikapcsolja a nyomkövetést
  - `spy(P)`, `nospyp(P)`, `nospya11` – 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`) – újratekint 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 részjeljárás 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 klózsorszámnak megfelelő klózban az utolsó Újra kapura adja a vezérlést.

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

A p/2 eljárás (214. dia) C++ megfelelőjének „köv. 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).
 qaptr = new q(x, &z); // create a new instance of subgoal q(X,Z)
 redo11:
 if(!qaptr->next()) { // if q(X,Z) fails
 delete qaptr; // destroy it,
 goto cl2; // and continue with clause 2 of p/2
 }
 pptr = 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(!pptr->next()) { // if p(Z,Y) fails
 delete pptr; // 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).
 qbptr = 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(!qbptr->next()) { // if q(X,Y) fails
 delete qbptr; // destroy it,
 return FALSE; // and exit via the Fail port
 }
 return TRUE; // otherwise, exit via the Exit port
 } }

```

# V. rész

## Keresési feladat pontos megoldása

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

# Tartalom

## 5 Keresési feladat pontos megoldása

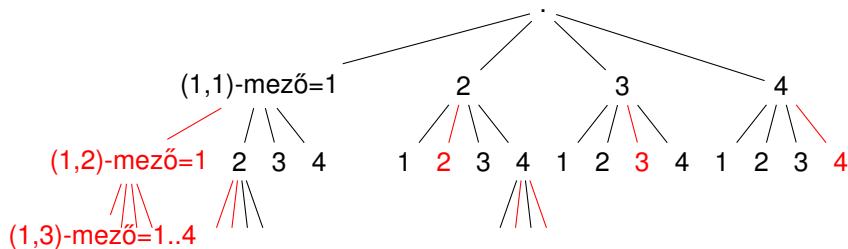
- Pontos megoldás funkcionális megközelítésben

## 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 sakktáblán, 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 alesetekre stb.  $\leadsto$  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

$$\begin{array}{r} S E N D \\ + M O R E \\ \hline M O N E Y \end{array}$$

a papíron történő összeadás szabályai szerint, vagyis

$$\begin{aligned} (1000S + 100E + 10N + D) + (1000M + 1000 + 10R + E) = \\ = 10000M + 10000 + 100N + 10E + Y. \end{aligned}$$

- 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})].

```

G  
E  
N  
E  
R  
A  
T  
E  

---

and  
T E S T

## 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]),
```

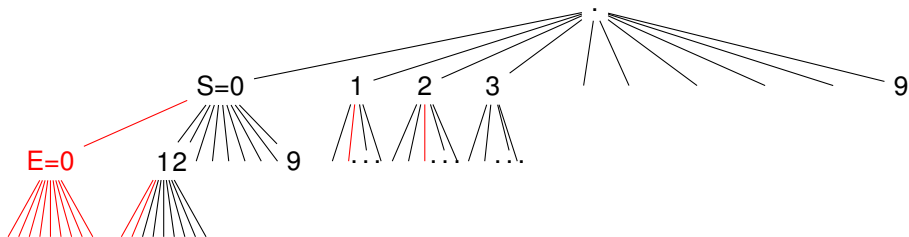
```
 R <- Ds, not lists:member(R, [S,E,N,D,M,O]),
```

```
 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  $\subseteq \{10 \text{ elem } 8\text{-adosztályú ismétlés nélküli variációi}\}$
- Mérete  $10! / (10 - 8)! = 1\,814\,400 \ll 100\,000\,000$

## Variációk felsorolása listanézetrel

```

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 invars() -> [octet()].
```

```
% Számjegyek ismétlés nélküli 8-adosztályú variációi
```

```
invars() -> 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 <- invars(),
 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]
 (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 részmegoldásból 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) when length(Send) < Num ->
 [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_partialsun(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, szűkítsük a választási lehetőségeket a *korlátok* alapján
  - ha már nem lehet, bontsuk esetekre a választási lehetőségeket

### SMM mint CSP = (Változók, Tartományok, Korlátok)

- Változók: S, E, N, D, M, O, R, Y, segédváltozók: 0, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>

| Tartományok: | 0 | c <sub>1</sub> | c <sub>2</sub> | c <sub>3</sub> | c <sub>4</sub> | 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:

$$\begin{array}{r}
 \text{S E N D} \\
 + \text{M O R E} \\
 \text{-----} \\
 \text{M O N E Y}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 d + e + 0 = y + 10 \cdot c_1 \\
 n + r + c_1 = e + 10 \cdot c_2 \\
 e + o + c_2 = n + 10 \cdot c_3 \\
 s + m + c_3 = o + 10 \cdot c_4 \\
 0 + 0 + c_4 = m + 10 \cdot 0 \\
 \text{all\_different}
 \end{array}$$

## 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 megsűkítve, tovább már nem szűkíthető:

c1: 01

c2: 01

c3: 01

c4: 01

s: 123456789

e: 0123456789

n: 0123456789

d: 0123456789

m: 123456789

o: 0123456789

r: 0123456789

y: 0123456789

szűkítés az összes  
lehetséges  
korláttal, ameddig  
sikerül:

c1: 01

c2: 01

c3: 01

c4: 1

s: 89

e: 0123456789

n: 0123456789

d: 0123456789

m: 1

o: 01

r: 0123456789

y: 0123456789

## 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):**
  - 1 kiválasztunk egy többértelmű változót (pl. a legkisebb tartományút),
  - 2 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 |
| ...           |            | ...           |    | ...           |

- 3 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* (az állapot egy CSP), 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, 1,9,9,9,9,9,9,9,9],
 [{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.

```

# VI. rész

## Haladó Erlang

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

## Prolog és Erlang: néhány eltérés és hasonlóság

| 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.                                     |
| $C_1, \dots, C_n$ célsor., redukció+visszalépés | $S_1, \dots, S_n$ szekv. kif., értéke $S_n$                     |
| 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

6

## Haladó Erlang

- Gyakori könyvtári függvények
  - Típus-specifikáció
  - Kivételkezelés
  - Rekord
  - Rekurzív adatstruktúrák
  - Rekurzió fajtái
  - Halmazműveletek (rendezetlen listával)
  - Generikus keresőfák
  - Lusta farkú lista Erlangban

## Füzerkezelő függvények (string modul)

- `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,T1)`  
Az `Lst` megfordítva / megfordítva a `T1` 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)**

|        |         |            |                        |
|--------|---------|------------|------------------------|
| ~~     | a ~ 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", [[a,b,c],a,b,math:exp(1)]).
abc 97 b 2.718282
```

```
ok
```

```
2> 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
```

# Tartalom

6

## Haladó Erlang

- Gyakori könyvtári függvények
- **Típus-specifikáció**
- Kivételkezelés
- Rekord
- Rekurzív adatstruktúrák
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Lusta farkú lista Erlangban

# Típus-specifikáció

- Régebben: csak *dokumentációs konvenció*, nem nyelvi elem az Erlangban
  - Mi most ezt tanuljuk
- Újabban: a nyelv része
- Készültek programok a típus-specifikáció és a programkód összevetésére
- A *typeName* típust így 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()]`<sup>6</sup>: 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

---

<sup>6</sup> ... | ... választási lehetőség a szintaktikai leírásokban.

## Új (felhasználó által definiált) típusok

- Szintaxis: `@type newType() = Típuskifejezés.`
- Típuskifejezés a term, az előre definiált típus, a felhasználó által definiált típus és a típusváltó
- Uniótípus  
 $T_1 | T_2$  típuskifejezés, ha  $T_1$  és  $T_2$  típuskifejezések  
`% @type nyelv() = cekla | prolog | erlang.`
- Listatípus  
 $[T]$  típuskifejezés, ha  $T$  típuskifejezés  
`% @type nyelvlista() = [nyelv()].`
- Ennestípus  
 $\{T_1, \dots, T_n\}$  típuskifejezés, ha  $T_1, \dots, T_n$  típuskifejezések  
`% pl. {'Diák Detti', [{khf, [cekla, prolog, prolog]}}] :`  
`% @type hallgato() = {atom(), [{atom(), munka()}]}.`  
`% @type munka() = nyelvlista() | integer() | ...`
- Függvénytípus  
`fun(T1, ..., Tn) -> T` típuskifejezés, ha  $T_1, \dots, T_n$  és  $T$  típuskifejezések



## Függvény-típus 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()]}
```

## 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()].
```

# Tartalom

6

## Haladó Erlang

- Gyakori könyvtári függvények
- Típus-specifikáció
- **Kivételkezelés**
- Rekord
- Rekurzív adatstruktúrák
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Lusta farkú lista Erlangban

# Kivételkezelés

- Kivétel jelzése háromféle *kivételtípussal* lehetséges
  - `throw(Why)`  
Olyan hiba jelzésére, amelynek kezelése várható az alkalmazástól, vagy egyszerűen mély hívásból visszatérni
  - `exit(Why)`  
A futó processz befejezésére
  - `error(Why)`  
Rendszerhiba jelzésére, amelynek kezelése komplex
- 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

## 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
```

## 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) -> 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]}]]
```

# Tartalom

6

## Haladó Erlang

- Gyakori könyvtári függvények
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- **Rekord**
- Rekurzív adatstruktúrák
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Lusta farkú lista Erlangban



# Modul

- 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().
```

```
...
```

# Rekord

- 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,
  - $p_j$ : mezőnév,
  - $d_j$ : alapértelmezett érték (opcionális).
- Rekord létrehozása és változóhoz kötése:  
`X=#rn{m1=v1, ..., mn=vn}`
- Egy mezőérték lekérdezése: `X#rn.mj`
- 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 (csak Erlang shellben!)

```
1> rr("todo.hrl").
```

```
[todo]
```

- Új, alapértelmezett rekord (X) létrehozása

```
2> X0 = #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',"Fóliák!"}
```

A rekord az Erlangon belül: ennes.

# Tartalom

6

## Haladó Erlang

- Gyakori könyvtári függvények
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- **Rekurzív adatstruktúrák**
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Lusta farkú lista Erlangban

## Lineáris rekurzív adatstruktúrák – Verem (Stack)

- Lista: rekurzív adatstruktúra: `@type list() = [] | [any()|list()]`
- Verem: ennessel valósítjuk 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 – Bináris fa

- Műveletek bináris fákon: létrehozása, mélysége, leveleinek száma

`tree.erl` – Műveletek bináris fákon: 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.
```

```
depth(leaf) -> 0; % Fa legnagyobb mélysége.
```

```
depth({_ ,Lt,Rt}) -> 1 + erlang:max(depth(Lt), depth(Rt)).
```

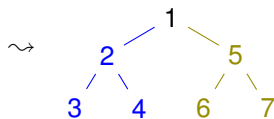
```
leaves(leaf) -> 1; % Fa leveleinek száma.
```

```
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 ↦ {1, {2, {3, leaf, leaf}, {4, leaf, leaf}}, {5, {6, leaf, leaf}, {7, leaf, 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

## Kiegészítő anyag

```

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",[]}]}. % home/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 részfája.
subtree([Name], {f,Name} = Tree) -> Tree;
subtree([Name], {d,Name,_} = Tree) -> Tree;
subtree([Name|[Sub|_]=SubPath], {d,Name,L}) ->
 case lists:keyfind(Sub, 2, L) of
 false -> notfound;
 SubTree -> subtree(SubPath, SubTree)
 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

- Gyakori könyvtári függvények
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Rekurzív adatstruktúrák
- **Rekurzió fajtái**
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- Lusta farkú lista Erlangban

## Rekurzió alapesetek

- Lineáris rekurzió

Példa: lista összegének meghatározása

`rek.er1` – Rekurzió példák

```
sum([]) -> 0;
sum([H|T]) -> H + sum(T).
```

- Elágazó rekurzió (Tree recursion)

Példa: bináris fa leveleinek száma

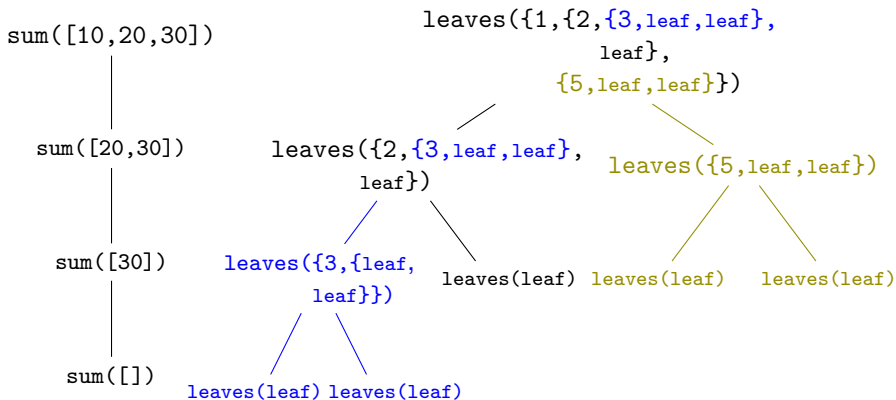
```
% @type btree() = leaf | {any(), btree(), btree()}.
leaves(leaf) -> 1;
leaves({_, Lt, Rt}) -> leaves(Lt) + leaves(Rt).
```

- 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): futás során meghívott függvények



- A lépések száma főként a *CG méretének* függvénye
- A tárigény (veremigény) főként a *CG mélységének* függvénye<sup>7</sup>

<sup>7</sup>itt lineáris függvénye

## 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` tárgyígye 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

## Rekurzív folyamat erőforrásigénye – Példák

| Példa <sup>8</sup>                                          | Lépések<br>(CG méret) | CG mélység           | Tárigény $\approx$<br>mélység* állapot |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------------|
| <code>sum(lists:seq(1, n))</code>                           | $\Theta(n)$           | $\Theta(n)$          | $\Theta(n) \cdot \Theta(\log n)$       |
| <code>sumi(lists:seq(1, n))</code>                          | $\Theta(n)$           | $\Theta(1)$ (konst.) | $\Theta(1) \cdot \Theta(\log n)$       |
| SEND+MORE=MONEY kimerítő<br>keresés, itt $n = 8$            | $\Theta(10^n)$        | $\Theta(n)$          | $\Theta(n) * \Theta(\log n)$           |
| $(n * n)$ -es Sudoku kimerítő<br>keresés, tipikusan $n = 9$ | $\Theta(n^{n*n})$     | $\Theta(n * n)$      | $\Theta(n^2 \cdot n^2 \log n)$         |

- 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

<sup>8</sup> $f(n) = \Theta(g(n))$  jelentése:  $g(n) \cdot k_1 \leq f(n) \leq g(n) \cdot k_2$  valamilyen  $k_1, k_2 > 0$ -ra



## A jobbrekurzió mindig *nagyságrendekkel* előnyösebb? Nem!

- A jobbrekurzív `sum(L1)` össz-tárigénye konstans (azaz  $\Theta(1)$ ), 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 *nagyságrendileg* hasonló, mint a lineáris-rekurzív `append` függvényé!
- Ha az akkumulátor mérete nem konstans (azaz  $\Theta(1)$ ), meggondolandó a jobbrekurzió. . .

## Elágazó rekurzió példa: Fibonacci-sorozat

### Kiegészítő anyag

- 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.:  $N \in \mathcal{N}$

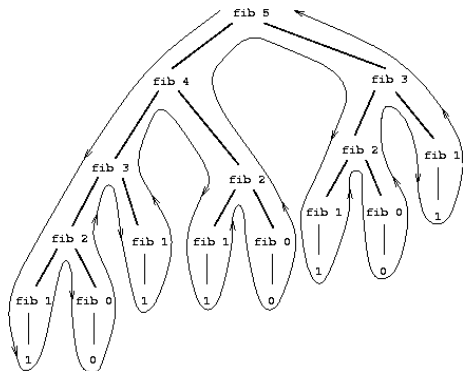
fib(0) -> 0;

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  $\text{fib}(5)$  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 *aranymetszés* 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←A+B, B←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 rekurziónál  $n$ -nel exponenciálisan, lineáris rekurziónál  $n$ -nel arányosan nőtt!
- Pl. a `tree:leaves/1` függvény is lineáris rekurzióvá 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:  $\text{fac}(-1)$  végtelen ciklus, bár a paraméter „csökken”!
- 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  $\text{fac}/1$  az  $\mathbb{N} = 0$  paraméterre leáll, de a 0 nem a legkisebb egész szám: a *nemnegatív számok halmazában* viszont a legkisebb  $\rightarrow$  módosítani kell az értelmezési tartományt
- 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

- Gyakori könyvtári függvények
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Rekurzív adatstruktúrák
- Rekurzió fajtái
- **Halmazműveletek (rendezetlen listával)**
- Generikus keresőfák
- Lusta farkú lista Erlangban

## Tagsági vizsgálat

- A halmazt itt egy rendezetlen listával ábrázoljuk
- A műveletek sokkal hatékonyabbak volnának rendezett adatszerkezettel (pl. rendezett lista, keresőfa, hash)
- Erlang 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`,  $S \cup T$ )      vö. `lists:fold*/3`
  - metszet (`intersect`,  $S \cap T$ )      vö. `lists:filter/2`
  - részhalmaza-e (`isSubset`,  $T \subseteq S$ )      vö. `lists:all/2`
  - egyenlők-e (`isEqual`,  $S \equiv T$ )
  - 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

- $A P ++ [ [X|Ys] \ || \ Ys \leftarrow P ]$  művelet hatékonyabbá tehető

### set.erl – folytatás

```

% 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

```

# Tartalom

6

## Haladó Erlang

- Gyakori könyvtári függvények
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Rekurzív adatstruktúrák
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- **Generikus keresőfák**
- Lusta farkú lista Erlangban

## Generikus keresőfák Erlangban

Lásd a leírást a <http://dp.iit.bme.hu/dp08a/gtree.pdf> (1–5. oldalak), a futtatható példaprogramokat a `gtree.erl` fájlban.

### Megjegyzések:

- `gtree:set_to_list/1` funkcióban azonos `tree:to_list_infix/1` függvénnel, 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}},  
 ...
```


Tartalom

6

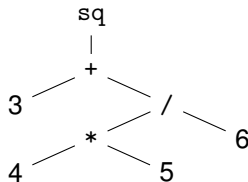
Haladó Erlang

- Gyakori könyvtári függvények
- Típus-specifikáció
- Kivételkezelés
- Rekord
- Rekurzív adatstruktúrák
- Rekurzió fajtái
- Halmazműveletek (rendezetlen listával)
- Generikus keresőfák
- **Lusta farkú lista Erlangban**

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:

$$\text{sq}(X) \rightarrow X * X.$$

$$\text{sumsq}(X, Y) \rightarrow \text{sq}(X) + \text{sq}(Y).$$

$$f(A) \rightarrow \text{sumsq}(A+1, A*2).$$

Mohó kiértékelés esetén minden lépésben egy részkifejezést egy vele egyenértékű kifejezéssel helyettesítünk. Pl. az $f(5)$ mohó kiértékelése:

$$f(5) \rightarrow \text{sumsq}(5+1, 5*2) \rightarrow \text{sumsq}(6, 5*2) \rightarrow \text{sumsq}(6, 10) \rightarrow \text{sq}(6) + \text{sq}(10) \rightarrow 6*6 + \text{sq}(10) \rightarrow 36 + \text{sq}(10) \rightarrow 36 + 10*10 \rightarrow 36 + 100 \rightarrow 136$$

- 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 fóliákon 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:seq(1,2), 5).
[1,2]
```

- Ha $N=1$, a $T()$ hívás felesleges

Gyakori függvények lusta listára adaptálva – 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|T], X) -> sum(T(), H+X).    % jobbrekurzív!
```

- Összehasonlítás:
 - `lists:sum(lists:seq(1,N=10000000))`
mohó, gyors⁹, tárigénye lineáris N-ben
 - `lazy:sum(lazy:seq(1,N=10000000))`
lusta, lassabb, tárigénye kb. konstans (lenne, 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

⁹ha nem itt kell létrehozni a listát; a példában `lists:sum` gyors, `lists:seq` lassú

Gyakori függvények lusta listára adaptálva – map

- Motiváció: listanézet nem alkalmazható; a lusta szintaxis elrejtése

lazy.erl – folytatás

```
% @spec map(fun(), lazy:list()) -> lazy:list().
```

```
map(_, []) -> [];
```

```
map(F, [H|T]) -> [F(H)|fun() -> map(F, T()) end].
```

- 1> F = fun(X) -> io:format("Hivas: F(~p)~n", [X]), math:exp(X) end.
#Fun<erl_eval.6.80247286>
2> F(1).
Hivas: F(1)
2.718281828459045
3> L = lazy:map(F, lazy:infseq(1)).
Hivas: F(1)
[2.718281828459045|#Fun<lazy.5.87890739>]
4> lazy:take(L, 3).
Hivas: F(2)
Hivas: F(3)
[2.718281828459045,7.38905609893065,20.085536923187668]

Gyakori függvények lusta listára adaptálva – 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> S = qsort(L).
Hivas: qsort([5,3,6,8,1,7])
Hivas: qsort([3,1])
Hivas: qsort([1])
[1|#Fun<lazy.12.1...>]
```

```
3> take(S, 1).
[1]
4> take(S, 3).
[1,3,5]
5> take(S, 4).
Hivas: qsort([6,8,7])
[1,3,5,6]
```

```
6> 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]
```

VII. rész

Haladó Prolog

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

- 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) fő célja: olyan
 - beépített eljárások,
 - programozási technikákbemutatása, amelyekkel
 - hatékony Prolog programok készíthetők,
 - esetleg a tiszta logikán túlmutató eszközök alkalmazásával.

Haladó Prolog – tartalomjegyzék

- Meta-logikai eljárások
- Megoldásgyűjtő 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

7

Haladó Prolog

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

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. \implies X = 1
 - | ?- X = 1, var(X). \implies no
 - kifejezések rendezése (4)
 - | ?- X @< 3 /* X megelőzi 3-t? */, X = 4. \implies X = 4
 - % a változók megelőzik a nem változó kifejezéseket*
 - | ?- X = 4, X @< 3. \implies no
- Prolog kifejezéseket szétszedő vagy összerakó eljárások:
 - (struktúra) kifejezés \iff név és argumentumok (2)
 - | ?- X = f(alma,körte), X =.. L \implies L = [f,alma,körte]
 - névkonstansok és számok \iff karaktereik (3)
 - | ?- atom_codes(A, [0'a,0'b,0'a]) \implies A = aba

Meta-predikátumok – motiváló példa

- Formula (Form): az 'x' atom; szám; Form1 + Form2; Form1 * Form2
 - Számoljuk ki egy formula értékét egy adott x behelyettesítés mellett!
- % value_of(+Form, +XE, ?E): az x=XE helyettesítéssel Form értéke E.

```
value_of0(x, X, V) :- V = X.
value_of0(N, _, V) :-
    number(N), V = N.
```

```
value_of0(P1+P2, X, V) :-
    value_of0(P1, X, V1),
    value_of0(P2, X, V2),
    V is V1+V2.
```

```
value_of0(Frm, X, V) :-
    Frm = *(P1,P2),
    value_of0(P1, X, V1),
    value_of0(P2, X, V2),
    FrmV = *(V1,V2),
    V is FrmV.
```

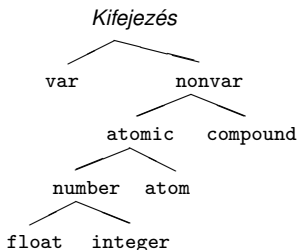
```
value_of(x, X, V) :- V = X.
value_of(N, _, V) :-
    number(N), V = N.
```

```
value_of(Frm, X, V) :-
    Frm =.. [Func,P1,P2],
    value_of(P1, X, V1),
    value_of(P2, X, V2),
    FrmV =.. [Func,V1,V2],
    V is FrmV.
```

- value_of/3 minden az is/2 által elfogadott **bináris** függvényre működik!
 | ?- value_of(exp(100,min(x,1/x)), 2, V). \implies V = 10.0 ? ; no

Kifejezések osztályozása

- Kifejezésfajták – osztályozó beépített eljárások (ismétlés)



<code>var(X)</code>	X változó
<code>nonvar(X)</code>	X nem változó
<code>atomic(X)</code>	X konstans
<code>compound(X)</code>	X struktúra
<code>atom(X)</code>	X atom
<code>number(X)</code>	X szám
<code>integer(X)</code>	X egész szám
<code>float(X)</code>	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 behelyettesítetlen változót.
- Az osztályozó eljárások használata – példák
 - `var`, `nonvar` – többirányú eljárásokban elágaztatásra
 - `number`, `atom`, ... – nem-megkülönböztetett uniók feldolgozása (pl. szimbolikus deriválás)

Osztályozó eljárások: elágaztatás behelyettesítettség 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:
 - $Kif = Fun(A_1, \dots, A_n)$ és $Lista = [Fun, A_1, \dots, A_n]$, ahol *Fun* egy névkonstans és A_1, \dots, A_n 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 előállítása
 - 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(L, EL): EL = { EX | X ∈ L, egysz1(X, EX) }

```
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: kiiratás

- A feladat: egy tetszőleges kifejezés kiiratása úgy, hogy
 - a kétargumentumú operátorok zárójellezett infix formában,
 - minden más alap-struktúra alakban jelenjék 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), listaki(AL).
```

```
| ?- ki(f(+a, X*c*X, e)). => f(+a),((_117 * c) * _117),e)
```

functor/3 és arg/3 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 $[i_1, i_2, \dots, i_k]$ $k \geq 0$ lista egy Kif -ből az i_1 -edik argumentum i_2 -edik argumentumának, ... i_k -adik argumentumát választja ki.
(Az $[]$ kiválasztó Kif -ből Kif -et 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 var(X) eset 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).  $\implies$  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), % append/2, lásd library(lists)
    atom_codes(Rész, Ds).
```

| ?- dadogó_rész(babaruhaha, R). \implies 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). \implies 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 rendszerfüggetlen.
 - 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
$\text{Kif1} == \text{Kif2}$	$\text{Kif1} \not\prec \text{Kif2} \wedge \text{Kif2} \not\prec \text{Kif1}$
$\text{Kif1} \backslash == \text{Kif2}$	$\text{Kif1} \prec \text{Kif2} \vee \text{Kif2} \prec \text{Kif1}$
$\text{Kif1} @< \text{Kif2}$	$\text{Kif1} \prec \text{Kif2}$
$\text{Kif1} @=< \text{Kif2}$	$\text{Kif2} \not\prec \text{Kif1}$
$\text{Kif1} @> \text{Kif2}$	$\text{Kif2} \prec \text{Kif1}$
$\text{Kif1} @>= \text{Kif2}$	$\text{Kif1} \not\prec \text{Kif2}$

- Az összehasonlítás mindig a belső ábrázolás (kanonikus alak) szerint történik:
 - $| \text{?- } [1, 2, 3, 4] @< \text{struktúra}(1, 2, 3). \implies$ **sikerül (6.1 szabály)**
- Lista rendezése: `sort(+L, ?S)`
 - Jelentése: az L lista @< szerinti rendezése S, ==/2 szerint azonos elemek ismétlődését kiszűrve.
 - $| \text{?- } \text{sort}([a,c,a,b,b,c,c,e,b,d], S).$
 - $S = [a,b,c,d,e] ? ;$
 - no

Összefoglalás: a Prolog egyenlőség-szerű beépített eljárásai

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • $U = V$: U egyesítendő V-vel.
Soha sem jelez hibát. | ?- $X = 1+2.$ \implies $X = 1+2$ |
| | ?- $3 = 1+2.$ \implies no |
| | ?- $X == 1+2.$ \implies no |
| | ?- $3 == 1+2.$ \implies no |
| | ?- $+(1,2)==1+2 \implies$ yes |
| <ul style="list-style-type: none"> • $U == V$: U azonos V-vel.
Soha sem jelez hibát és soha sem helyettesít be. | |
| <ul style="list-style-type: none"> • $U ::= V$: Az U és V aritmetikai kifejezések értéke megegyezik.
Hibát jelez, ha U vagy V nem (tömör) aritmetikai kifejezés. | ?- $X ::= 1+2.$ \implies hiba |
| | ?- $1+2 ::= X.$ \implies hiba |
| | ?- $2+1 ::= 1+2.$ \implies yes |
| | ?- $2.0 ::= 1+1.$ \implies yes |
| <ul style="list-style-type: none"> • $U \text{ is } V$: U egyesítendő a V aritmetikai kifejezés értékével.
Hiba, ha V nem (tömör) aritmetikai kifejezés. | ?- $2.0 \text{ is } 1+1.$ \implies no |
| | ?- $X \text{ is } 1+2.$ \implies $X = 3$ |
| | ?- $1+2 \text{ is } X.$ \implies hiba |
| | ?- $3 \text{ is } 1+2.$ \implies yes |
| | ?- $1+2 \text{ is } 1+2.$ \implies no |
| <ul style="list-style-type: none"> • $(U =.. V$: U „szétszedettje” a V lista) | ?- $1+2 =.. X.$ \implies $X = [+ , 1 , 2]$ |
| | ?- $X =.. [f, 1]. \implies$ $X = f(1)$ |

Összefoglalás: a Prolog nem-egyenlő jellegű beépített eljárásai

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

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

?- X \= 1+2.	⇒	no
?- +(1,2) \= 1+2.	⇒	no

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

?- X \== 1+2.	⇒	yes
?- 3 \== 1+2.	⇒	yes
?- +(1,2)\==1+2	⇒	no

- $U =\backslash= V$: 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	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>
a	b	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>error</i>	<i>error</i>	<i>error</i>
1+2	+(1,2)	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>no</i>
1+2	2+1	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>no</i>
1+2	3	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>no</i>
3	1+2	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>
X	1+2	$X=1+2$	<i>no</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>error</i>	<i>error</i>	$X=3$
X	Y	$X=Y$	<i>no</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>error</i>	<i>error</i>	<i>error</i>
X	X	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>yes</i>	<i>no</i>	<i>error</i>	<i>error</i>	<i>error</i>

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

Tartalom

7

Haladó Prolog

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

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

- Ha adott `páros_elemei`, hogyan definiálható `páros_eleme`?

- A `member/2` könyvtári eljárás segítségével, pl.

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

- Természetesen ez így nem hatékony!

- Ha adott `páros_eleme`, hogyan definiálható `páros_elemei`?

- Megoldásgyűjtő beépített eljárás segítségével, pl.

```
páros_elemei(L, Pk) :-
    findall(P, páros_eleme(L, P), Pk).
% páros_eleme(L, P) összes P megoldásának listája Pk.
```

- a `findall/3` beépített eljárás – és társai – az Erlang listanézetéhez hasonlóak, 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 :Cél` 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(Y, member(X-Y, [a-c,a-b,b-c,c-e,b-d]), L).
```

```
    => L = [c,b,c,e,d] ? ; no
```

- Az eljárás jelentése (deklaratív szemantikája):

$$\text{Lista} = \{ \text{Gyűjtő } \textit{másolat} \mid (\exists X \dots Z) \text{Cél igaz} \}$$

ahol X, \dots, Z a `findall` hívásban levő *szabad változók*.

Szabad változó (definíció): olyan, a hívás pillanatában behelyettesítetlen változó, amely a `Cél`-ban előfordul de a `Gyűjtő`-ben nem.

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

- Példa az eljárás használatára:

```
gráf([a-c,a-b,b-c,c-e,b-d]).
```

```
| ?- gráf(_G), findall(B, member(A-B, _G), VegP).      % ld. előző dia
                    ⇒ VegP = [c,b,c,e,d] ? ; no
| ?- gráf(_G), bagof(B, member(A-B, _G), VegPk).
                    ⇒ A = a, VegPk = [c,b] ? ;
                    ⇒ A = b, VegPk = [c,d] ? ;
                    ⇒ A = c, VegPk = [e] ? ; no
```

- 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.
- A bagof eljárás jelentése (deklaratív szemantikája):
 $Lista = \{ Gyűjtő \mid Cél \text{ igaz} \}, Lista \neq []$.

A bagof megoldásgyűjtő eljárás (folyt.)

- Explicit egzisztenciális kvantorok

- `bagof(Gyűjtő, V1 ^ ... ^ Vn ^ Cél, Lista)` alakú hívása a V_1, \dots, V_n változókat egzisztenciálisan kvantálnak tekinti, így ezeket nem sorolja fel.
- jelentése: $Lista = \{ Gyűjtő \mid (\exists V_1, \dots, V_n) Cél \text{ igaz} \} \neq []$.
 $| \text{?- gráf}(_G), \text{bagof}(B, A \text{^member}(A-B, _G), VegP).$
 $\implies VegP = [c,b,c,e,d] ? ; no$

- Egymásba ágyazott gyűjtések

- szabad változók esetén a `bagof` nemdeterminisztikus lehet, így érdemes lehet skatulyázni:

% 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).

$\implies FL = [a-2,b-2,c-1] ? ; no$

A bagof megoldásgyűjtő eljárás (folyt.)

- Fokszámlista kicsit hatékonyabb előállítás
 - Az előző példában a meta-argumentumban célsorozat szerepelt, ez mindenképpen interpretáltan fut – nevezzük el segédeljárásként
 - A segédeljárás bevezetésével a kvantor is szükségtelenné válik:

```
% pont_foka(?A, +G, ?N): 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, amely az L0 listát @< szerint rendez, az ismétlődések kiszűrésével, és az eredményt Lista-ban adja vissza.
- Példa a setof/3 eljárás használatára:

```
gráf([a-c,a-b,b-c,c-e,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,e] ? ; no
```

```
| ?- gráf(_G), bagof(P, pontja(P, _G), Pk).
```

```
⇒ Pk = [a,c,a,b,b,c,c,e,b,d] ? ; no
```

Tartalom

7

Haladó Prolog

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

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(X, L), X > 0 -> EP = X % (1)
    ; fail % ez a sor elhagyható
    ).
```
- Figyelem: a harmadik megoldás épít a `member/2` felsorolási sorrendjére!
- Az (1) sorban az $EP = X$ egyenlőség kiküszöbölése esetén `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).
```

vörös

Ha nincs **kikommentezve**
akkor **zöld**

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. $\text{last}([E], E) :- !. -$ a vágó szülője lehet a $\text{last}([7], X)$ hívás.
 - A g nyomkövető parancs a cél őseit (a szülőt, a szülő szülőjét stb) listázza ki.
- A vágó végrehajtása:
 - mindig sikerül; de mellékhatásként a végrehajtás adott állapotától visszafelé egészen a szülő célig – 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 klózáinak 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

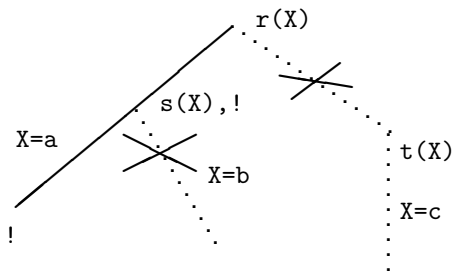
```
:- q(X), write(X), fail.
```

```
-->      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 segédeljárással váltható ki:

<pre>p :- aaa, (felt1 -> akkor1 ; felt2 -> akkor2 ; ... ; egyébként), zzz.</pre>	\implies	<pre>p :- aaa, segéd(...), zzz. segéd(...) :- felt1, !, akkor1. segéd(...) :- felt2, !, akkor2. ... segéd(...) :- egyébként.</pre>
---	------------	---

- Az egyébként ág elmaradhat, ilyenkor a megfelelő klóz is elmarad.
- A `felt` részekben értelmetlen vágót használni
- Az `akkor` részekben lehet vágó. Ennek hatásköre, a `->` 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.

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

$\text{if } a \text{ then } b \text{ else } c \equiv a \wedge b \vee \neg a \wedge c$

- A vágó által kiváltott negált feltételt célszerű kommentként jelezni:

szülő :- feltétel, !, akkor.

szülő :- /* \+ feltétel, */ egyébként.

Feltételes szerkezetek és fejillesztés

- 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 = X, X >= 0, !.
```

```
abs(X, A) :- A is -X.
```

```
abs(X, A) :- A is -X.
```

```
% a vágó előtt van fej-egyesítés      % 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 bevezető példának 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 fejillesztési probléma, ezért **a diszjunktív feltételes szerkezet használatát javasoljuk a vágó helyett.**

Példa: $\max(X, Y, Z)$: X és Y maximuma Z (kiegészítő anyag)

- 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, +Graf):  
% Az A és B pontok a G gráfnak ugyanabban a komponensében vannak.  
egy_komponensbeli(A, B, Graf) :-  
    utvonal(A, B, Graf), !.
```
- Eldöntendő kérdés esetén általában nincs értelme többszörös választ adni/várni.

Feladatspecifikus optimalizálás (Kiegészítő anyag)

- Az alábbi példa ugyanazt a módszert használja, mint az `első_poz_elem/2`, csak sokkal bonyolultabb feladatra.
- A feladat: megállapítandó egy lista első fennsíkjának a hossza. (*Fennsíknak* 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
```

```
memberchk(X, L):-
    member(X, L), !.
```

```
% 2. ekvivalens változat
```

```
memberchk(X, [X|_]) :- !.
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

```
szótaraz(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,
    szótaraz(Sz).
```

```
szótaraz(_).
```

Egy futása:

```
| ?- szótaraz(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] ?
```

Tartalom

7

Haladó Prolog

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

Vezérlési eljárások, a `call/1` beépített eljárás

- 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 a `call(+Cél)`:
 - Cél egy struktúra vagy névkonstans (vö. `callable/1`).
 - Jelentése (deklaratív szemantika): Cél igaz.
 - Hatása (procedurális szemantika): a Cél kifejezést **hívássá alakítja** és végrehajtja.
- A klóztörzsben célként megengedett egy `X` változó használata, ezt a rendszer egy `call(ModulNév:X)` hívássá alakítja át.

```
| kétszer(X) :- call(X), X.
```

```
| ?- kétszer(write(ba)), nl.    =>    baba
```

```
| ?- listing(kétszer).        =>    kétszer(X) :-
                                     call(user:X), call(user:X).
```

Vezérlési szerkezetek mint eljárások

- A `call/1` argumentumában szerepelhetnek vezérlési szerkezetek is, mert ezek beépített eljárásként is jelen vannak a Prolog rendszerben:
 - `(',')`/2: konjunkció.
 - `(';')`/2: diszjunkció.
 - `(->)`/2: if-then; `(';')`/2: if-then-else.
 - `(\+)`/2: megghiúsulásos negáció.
- A `call`-ban szereplő vezérlési szerkezetek ugyanúgy futnak, mint az interpretált (azaz `consult`-tal betöltött) kód.
- A Cél-beli vágó csak a `call` belsejében vág (szülője a `call(Cél)` hívás).
- `\+ Cél: Cél` „nem bizonyítható”. A beépített eljárás definíciója vágóval:


```
\+ X :- call(X), !, fail.
\+ _X.
```
- 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 megghiúsláshoz
% szükséges időt, a Txt szöveg kíséretében.
time(Txt, Goal) :-
    statistics(runtime, [T0,_]), % T0 az indítás óta eltelt CPU idő,
                                % msec-ban (szemétgyűjtés 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.
                                % megghiúsul, ha Goal megghiúsult
```

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

- `once(Cél)`: Cél igaz, és csak az első megoldását kérjük. Definíciója:
`once(X) :- call(X), !.`
 vagy, feltételes szerkezettel
`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.
- Példa (egyszerű kalkulátor):

```
bc :- repeat, read(Expr),
    ( Expr = end_of_file -> true
    ; Res is Expr, write(Expr = Res), nl, fail
    ),
    !.
```
- A végtelen választási pontot kötelező egy vágóval semlegesíteni!

Példa: magasabbrendű reláció definiálása – Kiegészítő anyag

- 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 növvő:
    forall(append(_, [A,B|_], _L), A < B).
true ?
```

- forall/2 csak eldöntendő kérdés esetén használható.

Tartalom

7

Haladó Prolog

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

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

- Mi a **determinisztikus lefutás** haszna?
 - a futás gyorsabb lesz,
 - a tárigény csökken,
 - más optimalizálások (pl. jobbrekurzió) alkalmazhatók.
- 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).
```

Választásmentesség feltételes szerkezetek esetén

- 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 eljárás hívások (pl. `<`, `=<`, `==`), és/vagy
 - kifejezés-típust ellenőrző eljárás hívások (pl. `atom`, `number`), és/vagy
 - általános összehasonlító eljárás hívások (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 klózok 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 fejű klózok részhalmaza.
 - Futási időben: a részhalmaz lényegében konstans idejű kiválasztása (hash tábla használatával).
 - **Fontos:** ha egyelemű a részhalmaz, nincs választási pont!

Példa indexelésre

$p(0, a).$	<code>/* (1) */</code>	$q(1).$
$p(X, t) :- q(X).$	<code>/* (2) */</code>	$q(2).$
$p(s(0), b).$	<code>/* (3) */</code>	
$p(s(1), c).$	<code>/* (4) */</code>	
$p(9, z).$	<code>/* (5) */</code>	

- A $p(A, B)$ hívással illesztendő klózok:

- ha A változó, akkor (1) (2) (3) (4) (5)
- ha $A = 0$, akkor (1) (2)
- ha A fő funktora $s/1$, akkor (2) (3) (4)
- ha $A = 9$, akkor (2) (5)
- minden más esetben (2)

- 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 klózek szétválasztásához szükség van az első (struktúra) argumentum részeire is, akkor érdemes segédeljárást bevezetni.
- Pl. $p/2$ és $q/2$ ekvivalens, de $q(\text{Nonvar}, Y)$ determinisztikus lefutású!

$p(0, a).$	$q(0, a).$	$q_seged(0, b).$
$p(s(0), b).$	$q(s(X), Y) :-$	$q_seged(1, c).$
$p(s(1), c).$	$q_seged(X, Y).$	
$p(9, z).$	$q(9, z).$	

- Az indexelés figyelembe veszi a törzs elején szereplő egyenlőséget:
 $p(X, \dots) :- X = Kif, \dots$ 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 (funktoruk: `'[]'` / `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).
```
- Érdeemes 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!

$p(1, Y) :- !, Y = 2. \quad \% (1)$	$q(1, 2) :- !. \quad \% (1)$
$p(X, X). \quad \% (2)$	$q(X, X). \quad \% (2)$
$\text{Arg1}=1 \rightarrow (1), \text{Arg1}\neq 1 \rightarrow (2)$	$\text{Arg1}=1 \rightarrow \{(1), (2)\}, \text{Arg1}\neq 1 \rightarrow (2)$

- 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 klózokat.
- Példa: $p(X, D, E) :- X = s(A, B, C), !, \dots \quad p(X, Y, Z) :- \dots$
- Ez egy újabb érv a vágás alapszabálya mellett:

A kimenő paraméterek értékadását mindig a vágó után végezzük!

A vágó és az indexelés hatékonysága – kieg. anyag

- Fibonacci-szerű sorozat: $f_1 = 1$; $f_2 = 2$; $f_n = f_{\lfloor 3n/4 \rfloor} + f_{\lfloor 2n/3 \rfloor}$, $n > 2$

<pre>% determ. xx='' fib(1, 1). fib(2, 2). fib(N, F) :-</pre>	<pre>% determ. lefut. xx='c' fibc(1, 1) :- !. fibc(2, 2) :- !. fibc(N, F) :-</pre>	<pre>% választásmentes, xx='ci' fibci(1, F) :- !, F = 1. fibci(2, F) :- !, F = 2. fibci(N, F) :-</pre>
---	--	--

$N > 2$, N_2 is $N*3//4$, N_3 is $N*2//3$,
 $\text{fibxx}(N_2, F_2)$, $\text{fibxx}(N_3, F_3)$,
 F is F_2+F_3 .

- 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 visszacsinálási információit.)

Tartalom

7

Haladó Prolog

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

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. szemégyűjtésre 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. ($\equiv \sum L = S-S0$)`

`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 `sum/3` második klóza ilyen alakra hozva:

```
sum([X|L], S0, S):- plus(X, S0, S1), sum(L, S1, S).
plus(X, S0, S) :- S is S0+X.
```

- Akkumulátorváltozók elnevezési konvenciója: kezdőérték: *Vált0*; közbülső értékek: *Vált1*, ..., *Váltn*; végérték: *Vált*.
- A Prolog akkumulátorpár nem más mint a funkcionális programozásból ismert gyűjtőargumentum és a függvény eredményének együttese.
- A DCG formalizmus – akkumulátorpárok automatikus „átszövése”:
`sum([X|L]) --> plus(X), sum(L).`

Akkumulátorok használata – folytatás

- Többszörös akkumulálás – lista összege és négyzetösszege

```
% sum2(+L, +S0, ?S, +Q0, ?Q): S-S0 =  $\sum L_i$ , Q-Q0 =  $\sum L_i^2$ 
```

```
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 =  $\sum L_i$ , Q-Q0 =  $\sum L_i^2$ 
```

```
sum3([], SQ, SQ).
```

```
sum3([X|L], SQ0, SQ) :-
```

```
    plus3(X, SQ0, SQ1), sum3(L, SQ1, SQ).
```

```
    % teljesen analóg a "sima" összegzővel
```

```
plus3(X, S0/Q0, S/Q) :- S is S0+X, Q is Q0+X*X.
```

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 $L-L_0$ jelölés (különbséglista): az a lista, amelyet úgy kapunk, hogy L végéről elhagyjuk L_0 -t (ez feltételezi, hogy L_0 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. – kiegészítő anyag)

- 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 (kiegészítő anyag)

- 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 leahagyva 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

7

Haladó Prolog

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

Egy mintafeladat: $a^n b^n$ alakú sorozat előállítása (kieg. anyag)

- 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 (kieg. anyag, 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 (kiegészítő anyag)

- 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 (kiegészítő anyag)

- 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 beszurása 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 (kieg. anyag)

- 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 – kieg. anyag, 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 – kieg. anyag, 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

7

Haladó Prolog

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

Hogyan írjunk át imperatív nyelvű algoritmust Prolog programmá?

- Példafeladat: Hatékony hatványozási algoritmus
 - Alaplépés: a kitevő felezése, az alap négyzetre emelése.
 - 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

- Kétagumentumú C függvény \implies 2+1-argumentumú Prolog eljárás.
- A függvény eredménye \implies utolsó arg.: $\text{hatv}(+A, +H, ?E): A^H = E$.
- Ciklus \implies segédeljárás: $\text{hatv}(+A0, +H0, +E0, ?E): A0^{H0} * E0 = E$.
- »a« és »h« C változók \implies »+A0« és »+H0« bemenő *paraméterek* (nem kell végérték),
»e« C változó \implies »+E0, ?E« *akkumulátorpár* (kezdőérték, végérték).

```

hatv(A, H, E) :-
    hatv(A, H, 1, E).

hatv(A0, H0, E0, E) :- H0 > 0, !,
    (   H0 /\ 1 == 1
        % /\ ≡ bitenkénti "és"
    -> E1 is E0*A0
    ;   E1 = E0
    ),
    H1 is H0 >> 1,
    A1 is A0*A0,
    hatv(A1, H1, E1, E).
hatv(_, _, E, E).

```

```

int hatv(int a, unsigned h)
{
    int e = 1;

    ism:  if (h > 0)
        {  if (h & 1)
            e *= a;

            h >>= 1;
            a *= a;
            goto ism;
        } else return e;
}

```


A C ciklus és a Prolog eljárás kapcsolata

- A ciklust megvalósító Prolog eljárás minden pontján minden C változónak megfeleltetethető 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):  $A0^{H0} * E0 = E$ .
```

Programhelyesség-bizonyítás (kiegészítő anyag)

- 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: $x = \text{mfoku_gyok}(a, b, c)$
 - 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 (kieg. anyag)

- 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 invariánsból h = 0 miatt következik az utófeltétel */
}
```

Tartalom

7

Haladó Prolog

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

Modulok definiálása SICStus Prolog nyelven

- Minden modul külön állományba kell kerüljön.
- 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
```

- Modulqualifikált hívási forma: *Modul:Hívás* a *Modul*-ban futtatja *Hívás*-t.
- A modulfogalom nem szigorú, egy nem exportált eljárás is meghívható modulqualifikált 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>),
    ....
```

- $\langle \text{módspec}_i \rangle$ 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 pozíción 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:

\implies q :- kétszer(modul2:p).

```
:- meta_predicate négyszer(:).
```

```
négyszer(X) :- kétszer(X), kétszer(X).  $\implies$ 
```

változatlan

Tartalom

7

Haladó Prolog

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

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). \implies 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). \implies 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).
```

```
...
```

Részlegesen paraméterezett eljárások – rekurzív map/3

- 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).            $\implies$  L = [1,4,9,16]
| ?- map([1,2,3,4], másodfokú_képe(2,1), L).  $\implies$  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.

Rekurzív meta-eljárások – foldl és foldr

- % 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). \implies 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). \implies E = 321

Tartalom

7

Haladó Prolog

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

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-lal, 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).  $\implies$  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).
```

```
T = true ? ;
```

```
T = r(0) ? ;
```

```
no
```

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.  % (*) | ?- 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] ?

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).

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

7

Haladó Prolog

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

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 füzve 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 ; "" . % "" ≡ []

% számjegy(L0, L): L0 - [K|L], ahol K egy számjegy kódja
számjegy --> "0";"1";"2";"3";"4";"5";"6";"7";"8";"9". % "9" ≡ [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 számjegy kódok 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 leelemzett 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). ==> 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 elemesz!
```

- 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:

```
(  Iterátor1, ..., Iterátorm
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, NL), param(N)
    do  Y is N*X
    ).
```

Do-ciklusok: példák további iterátorokra

```
| ?- (      for(I, 1, 5),      foreach(I, List)
do true   % I = 1, 2, ..., 5
).
```

List = [1,2,3,4,5] ? ; no

```
| ?- (  foreach(X, [1,2,3]), fromto(0, In, Out, Sum)
do Out is In+X
%In1=0, Out1=In1+X1, In2=Out1, ..., Out3=In3+X3, Sum=Out3
).
```

Sum = 6 ? ; no

```
| ?- (  foreach(X, [a,b,c,d,e]), count(I, 1, N),      foreach(I-X, Pairs)
do true                                % I = 1, ..., N
).
```

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

7

Haladó Prolog

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

Egy nagyobb DCG példa: „természetes” nyelvű beszélgetés

*% mondat(Alany, Áll, L0, L): L0-L kielemezhető egy Alany alanyból és Áll
% állítmányból álló mondattá. 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, L0, L): L0-L kielemezhető egy Ki

% névmásból, Ige igealakból és Áll állítmányból álló mondattá.

```
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.
```