Deklaratív programozás

Hanák Péter
hanak@inf.bme.hu

Irányítástechnika és Informatika Tanszék

Szeredi Péter
szeredi@cs.bme.hu

Számítástudományi és Információelméleti Tanszék

KÖVETELMÉNYEK, TUDNIVALÓK

Deklaratív programozás: tudnivalók

- Honlap, levelezési lista
  - Honlap: <http://dp.iit.bme.hu>
  - Levlista: <http://www.iit.bme.hu/mailman/listinfo/dp-l>.
    A listatagoknak szóló levelet a <dp-l@www.iit.bme.hu> címre kell küldeni.
    Csak a feliratkozottak levele jut el moderátori jóváhagyás nélkül a listatagokhoz.
- Jegyzet
  - Szeredi Péter, Benkő Tamás: Deklaratív programozás. Bevezetés a logikai programozásba (1000 Ft)
  - Elektronikus változata elérhető a honlapról (ps, pdf)
  - A nyomtatott változat **KORLÁTOZOTT SZÁMBAN** megvásárolható a SZIT tanszék V2 épületbeli titkárságán a V2.104 szobában, Bazsó Lászlónénál, 10:30-12:00 (hétfő-péntek) és 13:30-15:30 (hétfő-csütörtök).
  - Kellő számú további igény esetén megszervezzük az újranyomtatást.

Deklaratív programozás: tudnivalók (folyt.)

Fordító- és értelmezőprogramok

- SICStus Prolog — 4.1.2 verzió (licensz az ETS-en keresztül kérhető)
- Erlang (szabad szoftver)
- Mindkettő letölthető a honlapról (linux, Win95/98/NT)
- Webes Prolog gyakorló felület az ETS-ben (ld. honlap)
- Kézikönyvek HTML-, ill. PDF-változatban
- Más programok: SWI Prolog, Gnu Prolog
- emacs-szövegszerkesztő Erlang-, ill. Prolog-módban (linux, Win95/98/NT/XP/Vista/7)
- Eclipse fejlesztői környezet SICStushoz (béta-teszt): SPIDER 0.0.20

Deklaratív programozás: félévközi követelmények

Nagy házi feladat (NHF)

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

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Nagy házi feladat (folyt.)

- A beadási határidőig többször is beadható, csak az utolsót értékeljük
- Pontozása mindkét 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 nyelvből bejusson a létraversenybe (minimum 80%-os teljesítmény)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Kis házi feladatok (KHF)

- 3 feladat Prologból is, Erlang-ből is
- 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 mindkét nyelvből
- Minden feladat jó megoldásáért 1-1 jutalompont jár

Gyakorlatok

- Kéthetente 2 órás gyakorlatok
- 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)

Konzultációk

- Rendszeres konzultációs lehetőség

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Nagyzárthelyi, pótzárthelyi (NZH, PZH, PPZH)

- A zárthelyi kötelező, semmilyen jegyzet, segédlet nem használható!
- 40%-os szabály (nyelvenként a maximális részpontszám 40%-a kell az eredményességhez).
- Az NZH az órarendben előírt héten, a PZH az utolsó oktatási hetekben lesz
- A PPZH-ra indokolt esetben a pótlási időszakban egyetlen alkalommal adunk lehetőséget
- Az NZH anyaga az addig előadott tananyag.
- A PZH, ill. a PPZH anyaga azonos az NZH anyagával
- A zárthelyi súlya az osztályzatban: 15% (a 100 pontból 15)

Az aláírás megszerzésének feltételei (összefoglalás)

- Részvétel a gyakorlatok legalább 70%-án
- Zárthelyi sikeres megírása, azaz mindkét nyelvből legalább 40%-os eredmény elérése
- A 6 kis házi közül legalább 3 érvényes beadása úgy, hogy mindkét nyelvből legalább egy érvényes kis házi van

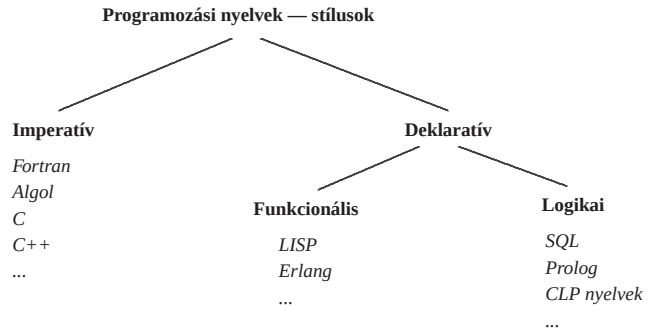
Deklaratív programozás: vizsga

Vizsga

- Feltétel: aláírás a jelen félévben vagy korábban (de a TVSZ által előírt időn belül)
- A vizsga szóbeli, felkészülés írásban
- Prolog, Erlang: több kisebb feladat (programírás, -elemzés) kétszer 35 pontért
- A vizsgán szerezhető max. 70 ponthoz adjuk hozzá a félévközi munkával szerzett pontokat: ZH: max. 15 pont, NHF: max. 15 pont, továbbá a pluszpontokat (KHF, létraverseny)
- A vizsgán semmilyen jegyzet, segédlet nem használható, de lehet segítséget kérni
- 40%-os szabály (nyelvenként a max. részpontszám 40%-a kell az eredményességhez)
- Elővizsga a pótlási héten – minden, a tárgyból vizsgára bocsátható hallgató jelentkezhet
- A vizsgaidőszak első hetében (azaz még decemberben) is tartunk egy vizsgát
- Megajánlott vizsgajegy
  - Alapfeltételek: aláírás; NHF beadása; NHF „megvédése” az elővizsgán
  - A jó (4) jegy feltétele: a nagy házi feladat mindkét nyelvből bejut a létraversenybe
  - A jeles (5) jegy feltétele: legalább 40%-os eredmény a létraversenyen, mindkét nyelvből

BEVEZETÉS A LOGIKAI PROGRAMOZÁSBA

Programozási nyelvek osztályozása



Deklaratív programozási nyelvek

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

A logikai programozás 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** = **Pro**gramozás **log**ikában (**Pro**gramming in **log**ic)
    - az elsőrendű logika egy erősen megszorított résznyelve az ún. **definit-** vagy **Horn-klóz**ok nyelve,
    - végrehajtási mechanizmusa: **mintaillesztés**es eljáráshíváson alapuló **visszalépés**es keresés.

Az előadás LP részének áttekintése

- **1. blokk:** A Prolog nyelv alapjai
  - Logikai háttér
  - Szintaxis
  - Végrehajtási mechanizmus
- **2. blokk:** Prolog programozási módszerek
  - A legfontosabb beépített eljárások
  - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek
- Kitekintés: Új irányzatok a logikai programozásban

A Prolog/LP rövid történeti áttekintése

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

Információk a logikai programozásról

- A legfontosabb Prolog megvalósítások:
  - SWI Prolog: `http://www.swi-prolog.org/`
  - SICStus Prolog: `http://www.sics.se/sicstus`
  - GNU Prolog: `http://pauillac.inria.fr/~diaz/gnu- prolog/`
- Hálózati információforrások:
  - The WWW Virtual Library: Logic Programming: `http://www.afm.sbu.ac.uk/logic-prog`
  - CMU Prolog Repository: (a `http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/ai-repository/ai/lang/prolog/` címen belül)
    - Főlap: `0.html`
    - Prolog FAQ: `faq/prolog.faq`
    - Prolog Resource Guide: `faq/prg_1.faq`, `faq/prg_2.faq`

Magyar nyelvű Prolog irodalom

Farkas Zsuzsa, Futó Iván, Langer Tamás, Szeredi Péter:
Az MProlog programozási nyelv.
Műszaki Könyvkiadó, 1989
jó bevezetés, sajnos az MProlog beépített eljárásai nem szabványosak.

Márkusz 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

English Textbooks on Prolog

- Logic, Programming and Prolog, 2nd Ed., by Ulf Nilsson and Jan Maluszynski, Previously published by John Wiley & Sons Ltd. (1995)
  Downloadable as a pdf file from `http://www.ida.liu.se/~ulfni/lpp`
- 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

PROLOG: EGY KIS GYAKORLATI BEMUTATÁS

Példafeladatok

- Szimbolikus feldolgozás: deriválás
- Adatstruktúrák: bináris fák
- Aritmetika: faktoriális
- Adatbáziskezelés: családi kapcsolatok
- Logikai feladványok: lovagok és lókötők

Klasszikus szimbolikuskifejezés-feldolgozás: deriválás

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

```
% deriv(Kif, D):  Kif-nek az x szerinti deriváltja D.
deriv(x, 1).
deriv(C, 0) :-                      number(C).
deriv(U+V, DU+DV) :-                deriv(U, DU), deriv(V, DV).
deriv(U-V, DU-DV) :-                deriv(U, DU), deriv(V, DV).
deriv(U*V, DU*V + U*DV) :-          deriv(U, DU), deriv(V, DV).

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

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

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

| ?- deriv(I, 0).
  ⟹  no
```


A Prolog végrehajtási mechanizmusa dióhéjban

- A Prolog eljárásos szemléletben
  - Egy eljárás: azon klózok összesége, amelyek fejének neve és argumentumszáma azonos.
  - Egy klóz: `Fej :- Törzs`, ahol `Törzs` egy célsorozat
  - Egy célsorozat: $\texttt{C}_1\texttt{, ..., C}_n$, célok (eljáráshívások) sorozata, $n \geq 0$
- Végrehajtás: adott egy program és egy futtatandó célsorozat
  - Redukciós lépés:
    - a célsorozat *első* tagjához keresünk egy vele *egyesíthető* klózfejet,
    - az egyesítéshez szükséges *változó-behelyettesítéseket* elvégezzük,
    - az első célt helyettesítjük az adott klóz törzsével
  - Egyesítés: két Prolog kifejezés azonos alakra hozása változók behelyettesítésével, a lehető legáltalánosabb módon
  - Keresés:
    - a redukciós lépésben a klózokat a felírás sorrendjében (felülről lefele) nézzük végig,
    - ha egy cél több klózfejjel is egyesíthető, akkor a Prolog *minden* lehetséges redukciós lépést megpróbál (meghiúsulás, visszalépés esetén)

A Prolog adatfogalma, a Prolog kifejezés

- konstans (*atomic*)
  - számkonstans (*number*) — egész vagy lebegőpontos, pl. `1, -2.3, 3.0e10`
  - névkonstans (*atom*), pl. `'István', szuloje, +, -, <, sum_tree`
- összetett- vagy struktúra-kifejezés (*compound*)
  - ún. kanonikus alak: $\langle$ struktúranév $\rangle(\langle \text{arg}_1 \rangle, \ldots)$
    - a $\langle$ struktúranév $\rangle$ egy névkonstans, az $\langle \text{arg}_i \rangle$ argumentumok tetszőleges Prolog kifejezések
    - példák: `leaf(1), person(william,smith,2003,1,22), <(X,Y), is(X, +(Y,1))`
  - szintaktikus „édesítőszerek”, pl. operátorok: `X is Y+1` $\equiv$ `is(X, +(Y,1))`
- változó (*var*)
  - pl. `X, Szulo, X2, _valt, _, _123`
  - a változó alaphelyzetben behelyettesítetlen, értékkel nem bír, az egyesítés (mintaillesztés) művelete során egy tetszőleges Prolog kifejezést vehet fel értékül (akár egy másik változót)

Adatstruktúrák Prologban — példa

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

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

```
% Adattípus-leírás Prologban
% (ún. Mercury jelölés):

% :- type tree --->
%        node(tree, tree)
%      | leaf(int).
```

Bináris fák összegzése

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

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

```
% Prolog eljárás (predikátum)
tree_sum(leaf(Value), Value).
tree_sum(node(Left,Right), S) :-
        tree_sum(Left, S1),
        tree_sum(Right, S2),
        S is S1+S2.
```


Bináris fák összegzése

- Prolog példafutás

```
% sicstus
SICStus 4.1.2 (x86-linux-glibc2.7): Wed Apr 28 22:42:37 CEST 2010
Licensed to BUTE DP course
| ?- consult(tree).
% consulting /home/szeredi/peldak/tree.pl...
% consulted /home/szeredi/peldak/tree.pl in module user, 0 msec 704 bytes
yes
| ?- tree_sum(node(leaf(5),
                   node(leaf(3), leaf(2))), Sum).
Sum = 10 ? ;
no
| ?- tree_sum(Tree, 10).
Tree = leaf(10) ? ;
! Instantiation error in argument 2 of is/2
! goal:  10 is _73+_74
| ?- halt.
%
```

- A hiba oka: a beépített aritmetika egyirányú: a `10 is S1+S2` hívás hibát jelez!

Peano aritmetika — összeadás (kiegészítő anyag)

- A természetes számok halmazán az összeadást definiálhatjuk a Peano axiómákkal ha a számokat az `s(X)` „rákövetkező” függvény segítségével ábrázoljuk:
  `1 = s(0), 2 = s(s(0)), 3 = s(s(s(0))), ...` (Peano ábrázolás).

```
% plus(X, Y, Z): X és Y összege Z (X, Y, Z Peano ábrázolású).
plus(0, X, X).                  % 0+X = X.
plus(s(X), Y, s(Z)) :-
       plus(X, Y, Z).           % s(X)+Y = s(X+Y).
```

- A `plus` predikátum több irányban is használható:

```
| ?- plus(s(0), s(s(0)), Z).       Z = s(s(s(0))) ? ; no    %  1+2 = 3

| ?- plus(s(0), Y, s(s(s(0)))).    Y = s(s(0)) ? ; no       %  3-1 = 2

| ?- plus(X, Y, s(s(0))).          X = 0, Y = s(s(0)) ? ;   %  2 = 0+2
                                   X = s(0), Y = s(0) ? ;   %  2 = 1+1
                                   X = s(s(0)), Y = 0 ? ;   %  2 = 2+0
                                   no
| ?-
```


Adott összegű fák építése (kiegészítő anyag)

- Adott összegű fát építő eljárás Peano aritmetikával:

```
tree_sum(leaf(Value), Value).
tree_sum(node(Left, Right), S) :-
       plus(S1, S2, S),
       S1 \= 0, S2 \= 0,     % X \= Y beépített eljárás, jelentése:
                             % X  és Y nem egyesíthető
                             % A 0-t kizárjuk, mert különben ∞ sok megoldás van.
       tree_sum(Left, S1),
       tree_sum(Right, S2).
```

- Az eljárás futása:

```
| ?- tree_sum(Tree, s(s(s(0)))).
Tree = leaf(s(s(s(0)))) ? ;                                  % 3
Tree = node(leaf(s(0)),leaf(s(s(0)))) ? ;                    % (1+2)
Tree = node(leaf(s(0)),node(leaf(s(0)),leaf(s(0)))) ? ;      % (1+(1+1))
Tree = node(leaf(s(s(0))),leaf(s(0))) ? ;                    % (2+1)
Tree = node(node(leaf(s(0)),leaf(s(0))),leaf(s(0))) ? ;      % ((1+1)+1)
no
```

Néhány beépített predikátum

- Kifejezések egyesítése: `X = Y`: az `X` és `Y` **szimbolikus** kifejezések változók behelyettesítésével azonos alakra hozhatók (és el is végzi a behelyettesítéseket).
- Kifejezések nem-egyesíthetősége: `X \= Y`: az `X` és `Y` kifejezések nem egyesíthetőek.
- Aritmetikai predikátumok
  - `X is Kif`: A `Kif` **aritmetikai** kifejezést kiértékeli és **értékét** egyesíti `X`-szel.
  - `Kif1<Kif2, Kif1=<Kif2, Kif1>Kif2, Kif1>=Kif2, Kif1=:=Kif2, Kif1=\=Kif2`: A `Kif1` és `Kif2` aritmetikai kifejezések értéke a megadott relációban van egymással (`=:=` jelentése: aritmetikai egyenlőség, `=\=` jelentése aritmetikai nem-egyenlőség).
  - Ha `Kif, Kif1, Kif2` valamelyike nem **tömör** (változómentes) aritmetikai kifejezés ⇒hiba.
  - Legfontosabb aritmetikai operátorok: `+, -, *, /, rem, //` (egész-osztás)
- Kiíró predikátumok
  - `write(X)`: Az `X` Prolog kifejezést kiírja.
  - `nl`: Kiír egy újsort.
- Egyéb predikátumok
  - `true, fail`: Mindig sikerül ill. mindig meghiúsul.
  - `trace, notrace`: A (teljes) nyomkövetést be- ill. kikapcsolja.

Programfejlesztési beépített predikátumok

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

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


Aritmetika Prologban – faktoriális

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


„Adatbáziskezelés” Prologban: a családi kapcsolatok példája

- Adatok

  Adottak gyerek–szülő kapcsolatra vonatkozó állítások, pl.

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

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

A nagyszülő feladat — Prolog megoldás

```
% szuloje(Gy, Sz):Gy szülője Sz.
szuloje('Imre', 'István').
szuloje('Imre', 'Gizella').
szuloje('István', 'Géza').
szuloje('István', 'Sarolt').
szuloje('Gizella',
            'Civakodó Henrik').
szuloje('Gizella',
            'Burgundi Gizella').

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

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


A Prolog és az adatbáziskezelés

- Miben különbözik a Prolog egy adatbáziskezelőtől
- Mivel több?
  - rekurzió
  - összetett adatszerkezetek
- De: a Prolog egy programozási nyelv
  - pl. nem optimalizálja a részkérdések sorrendjét

Logikai feladvány: lovagok és lókötők

- A feladat
  - Egy szigeten minden bennszülött lovag vagy lókötő.
  - A lovagok mindig igazat mondanak.
  - A lókötők mindig hazudnak.
  - Egy vagy több bennszülöttnek saját magukra vonatkozó kijelentése alapján meg kell határozni a bennszülött típusát.
  - Példa: Találkozunk két bennszülöttel A-val és B-vel. A azt mondja: van köztünk lókötő. Milyen típusú A és B.
  - Irodalom: Raymond Smullyan: Mi a címe ennek a könyvnek?, A hölgy és a tigris, Typotex kiadó.
  - Továbbfejlesztés: a szigeten lehetnek normális emberek is, akik néha hazudnak, néha igazat mondanak.

Lovag-lókötő feladványok megoldása Prolog nyelven

- A program:

```
:- op(950, xfy, mondja).
:- op(900, yfx, vagy).
:- op(700, xfx, az).

% A mondja M: Az A bennszülött mondja az M mondatot.
lókötő mondja M :-      értéke(M, 0).
lovag mondja M :-       értéke(M, 1).

% értéke(M, Érték): Az M mondat igazságértéke Érték (1 = igaz, 0 = hamis).
értéke(X az X, 1).
értéke(X az Y, 0) :-
        különböző(X, Y).
értéke(M1 vagy M2, E) :-
        értéke(M1, E1), értéke(M2, E2), E is E1  E2.

% különböző(A, B): A és B különböző típusú bennszülöttek.
különböző(lovag, lókötő).
különböző(lókötő, lovag).
```

- Futás:

```
| ?- A mondja A az lókötő vagy B az lókötő.
A = lovag, B = lókötő ? ; no
```

A PROLOG NYELV KÖZELÍTŐ SZINTAXISA

Predikátumok, klózok

- Példa:

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

- Szintaxis:

⟨ Prolog program ⟩	::=	⟨ predikátum ⟩ . . .	
⟨ predikátum ⟩	::=	⟨ klóz ⟩ . . .	{azonos funktorú}
⟨ klóz ⟩	::=	⟨ tényállítás ⟩.␣ |	
		⟨ szabály ⟩.␣	{klóz funktora = fej funktora}
⟨ tényállítás ⟩	::=	⟨ fej ⟩	
⟨ szabály ⟩	::=	⟨ fej ⟩ :- ⟨ törzs ⟩	
⟨ törzs ⟩	::=	⟨ cél ⟩, . . .	
⟨ cél ⟩	::=	⟨ kifejezés ⟩	
⟨ fej ⟩	::=	⟨ kifejezés ⟩	

Prolog programok formázása

- Programok javasolt formázása:
  - Az egy predikátumhoz tartozó klózok legyenek egymás mellett a programban, közéjük ne tegyünk üres sort. A predikátumokat válasszuk el üres sorokkal.
  - A klózfejet írjuk sor elejére, minden célt lehetőleg külön sorba, néhány szóközzel beljebb kezdve

Prolog kifejezések

- Példa — egy klózfej mint kifejezés:

```
%     tree_sum(node(Left,Right), S)    % összetett kif., funktora tree_sum/2
%     ________ _________________  _
%        |         |              |
% struktúranév     |            argumentum, változó
%                  \- argumentum, összetett kif.
```

- Szintaxis:

⟨ kifejezés ⟩	::=	⟨ változó ⟩ |	{Nincs funktora}
		⟨ konstans ⟩ |	{Funktora: ⟨ konstans ⟩`/0`}
		⟨ összetett kifejezés ⟩ |	{Funktora: ⟨ struktúranév ⟩`/`⟨ arg.szám ⟩}
		⟨ egyéb kifejezés ⟩	{Operátoros, lista, zárójeles, ld. később}
⟨ konstans ⟩	::=	⟨ névkonstans ⟩ |	
		⟨ számkonstans ⟩	
⟨ számkonstans ⟩	::=	⟨ egész szám ⟩ |	
		⟨ lebegőpontos szám ⟩	
⟨ összetett kifejezés ⟩	::=	⟨ struktúranév ⟩ (⟨ argumentum ⟩, . . .)	
⟨ struktúranév ⟩	::=	⟨ névkonstans ⟩	
⟨ argumentum ⟩	::=	⟨ kifejezés ⟩	

Lexikai elemek

- Példák:

```
% 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
```

- Szintaxis:

⟨ változó ⟩ ::= ⟨ nagybetű ⟩⟨ alfanumerikus jel ⟩... |
_ ⟨ alfanumerikus jel ⟩...

⟨ névkonstans ⟩ ::= ' ⟨ idézett karakter kar ⟩... ' |
⟨ kisbetű ⟩⟨ alfanumerikus jel ⟩... |
⟨ tapadó jel ⟩... | ! | ; | [] | {}

⟨ egész szám ⟩ ::= {előjeles vagy előjeltelen számjegysorozat}

⟨ lebegőpontos szám ⟩ ::= {belsejében tizedespontot tartalmazó számjegysorozat esetleges exponenssel}

⟨ idézett karakter ⟩ ::= {tetszőleges nem ' és nem \ karakter} | \ ⟨ escape szekvencia ⟩

⟨ alfanumerikus jel ⟩ ::= ⟨ kisbetű ⟩ | ⟨ nagybetű ⟩ | ⟨ számjegy ⟩ | _

⟨ tapadó jel ⟩ ::= + | - | * | / | \ | $ | ^ | < | > | = | ` | ~ | : | . | ? | @ | # | &

LISTA, MINT SZINTAKTIKUS „ÉDESÍTŐSZER”

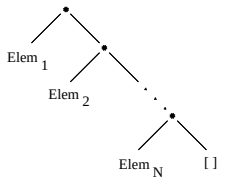
A Prolog lista-fogalma

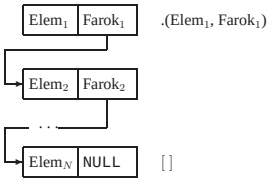
- A Prolog lista
  - Az üres lista a `[]` névkonstans. A nem-üres lista `'.'(Fej,Farok)` struktúra ahol
    - `Fej` a lista feje (első eleme), míg
    - `Farok` a lista farka, azaz a fennmaradó elemekből álló lista.
  - A listák írhatók egyszerűsített alakban („szintaktikus édesítés”).
  - Megvalósításuk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

```
számlista(.(E,L)) :-
    number(E), számlista(L).
számlista([]).

| ?- listing(számlista).
számlista([A|B]) :-
    number(A),
    számlista(B).
számlista([]).

| ?- számlista([1,2]).    %  [1,2] == .(1,.(2,[])) == [1|[2|[]]]
     yes
| ?- számlista([1,a,f(2)]).
     no
```


Listák írásmódjai

- Egy N elemű lista lehetséges írásmódjai:
  - alapstruktúra-alak: $\texttt{.(Elem}_1\texttt{,.(Elem}_2\texttt{,...,.(Elem}_N\texttt{,[])...))}$
  - ekvivalens lista-alak: $\texttt{[Elem}_1\texttt{,Elem}_2\texttt{,...,Elem}_N\texttt{]}$
  - kevésbe kényelmes ekvivalens alak: $\texttt{[Elem}_1\texttt{|[Elem}_2\texttt{|...|[Elem}_N\texttt{|[]] ...]]}$
- A listák fastruktúra alakja és megvalósítása





Listák jelölése — szintaktikus édesítőszerek

- az alapvető édesítés: `[Fej|Farok]` ≡ `.(Fej, Farok)`
- N-szeri alkalmazás kevesebb zárójellel:
  `[Elem`$_1$`,Elem`$_2$`,...,Elem`$_N$`|Farok]` ≡
  `[Elem`$_1$`|[Elem`$_2$`|...|[Elem`$_N$`|Farok]...]]`
- Ha a farok `[]`: `[Elem`$_1$`,Elem`$_2$`,...,Elem`$_N$`]` ≡ `[Elem`$_1$`,Elem`$_2$`,...,Elem`$_N$`|[]]`

```
| ?- [1,2] = [X|Y].                ⇒ X = 1, Y = [2] ?
| ?- [1,2] = [X,Y].                ⇒ X = 1, Y = 2 ?
| ?- [1,2,3] = [X|Y].              ⇒ X = 1, Y = [2,3] ?
| ?- [1,2,3] = [X,Y].              ⇒ no
| ?- [1,2,3,4] = [X,Y|Z].          ⇒ X = 1, Y = 2, Z = [3,4] ?
| ?- L = [1|_], L = [_,2|_].       ⇒ L = [1,2|_A] ? % nyílt végű
| ?- L = .(1,[2,3|[]]).            ⇒ L = [1,2,3] ?
| ?- L = [1,2|.(3,[])].            ⇒ L = [1,2,3] ?
| ?- [X|[3-Y/X|Y]]= .(A, [A-B,6]). ⇒ A=3, B=[6]/3, X=3, Y=[6] ?
```


Tömör és minta-kifejezések, lista-minták, nyílt végű listák

- A logikai változó fogalma:
  - kifejezésként, kifejezésben egyaránt előfordulhat, vö. a változókat a (lista) mintákban.
  - két változó azonossá tehető (azaz egyesíthető): pl. két azonos változó egy kifejezésben.
  - a változó „teljes jogú” állampolgár a (rész)kifejezések világában
- Tömör (ground) kifejezés: változót nem tartalmazó kifejezés
- Minta: egy általában nem nem tömör kifejezés, mindazon kifejezéseket „képviseli”, amelyek belőle változó-behelyettesítéssel előállnak.
- Lista-minta: listát (is) képviselő minta.
- Nyílt végű lista: olyan lista-minta, amely bármilyen hosszú listát is képvisel.
- Zárt végű lista: olyan lista(-minta), amely egyféle hosszú listát képvisel.

Zárt végű	Milyen listákat képvisel
`[X]`	egyelemű
`[X,Y]`	kételemű
`[X,X]`	két egyforma elemből álló
`[X,1,Y]`	3 elemből áll, 2. eleme `1`

Nyílt végű	Milyen listákat képvisel
`X`	tetszőleges
`[X|Y]`	nem üres (legalább 1 elemű)
`[X,Y|Z]`	legalább 2 elemű
`[a,b|Z]`	legalább 2 elemű, elemei: `a, b, ...`

Listák összefűzése: az `append/3` eljárás

- `append(L1, L2, L3)`: Az `L3` lista az `L1` és `L2` listák elemeinek egymás után fűzésével áll elő (jelöljük: `L3` = `L1`⊕`L2`) — két megoldás:

```
append0([], L2, L) :- L = L2.
append0([X|L1], L2, L) :-
    append0(L1, L2, L3), L = [X|L3].
```

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

```
    > append0([1,2,3],[4],A)
(2) > append0([2,3],[4],B), A=[1|B]
(2) > append0([3],[4],C), B=[2|C], A=[1|B]
(2) > append0([],[4],D),C=[3|D],B=[2|C],A=[1|B]
(1) > D=[4], C=[3|D], B=[2|C], A=[1|B]
BIP > C=[3,4], B=[2|C], A=[1|B]
BIP > B=[2,3,4], A=[1|B]
BIP > A=[1,2,3,4]
BIP > []
L = [1,2,3,4] ?
```

```
    > append([1,2,3],[4],A), write(A)
(2) > append([2,3],[4],B), write([1|B])
(2) > append([3],[4],C), write([1,2|C])
(2) > append([],[4],D), write([1,2,3|D])
(1) > write([1,2,3,4])
[1,2,3,4]
BIP > []
L = [1,2,3,4] ?
```

- Az `append0/append(L1, ...)` komplexitása: futási ideje arányos `L1` hosszával.
- Miért jobb az `append/3` mint az `append0/3`?
  - `append/3` **jobbrekurzív**, ciklussal ekvivalens (nem fogyaszt vermet)
  - `append([1,...,1000],[0],[2,...])` azonnal, `append0(...)` 1000 lépésben hiúsul meg
  - `append/3` használható szétszedésre is (lásd később), míg `append0/3` nem.

Lista építése *elölről* — nyílt végű listákkal

- Az append eljárás már az első redukciónál felépíti az eredmény fejét!
  (az eredményparaméter egy lista-minta lesz, a farok még ismeretlen, vö. logikai változó)

```
append([], L, L).
append([X|L1], L2, [X|L3]) :-     append(L1, L2, L3).
| ?- append([1,2,3], [4], Ered) ⟹  Ered = [1|A], append([2,3], [4], A)
```

- Haladó nyomkövetési lehetőségek ennek demonstrálására
  - `library(debugger_examples)` — példák a nyomkövető programozására, új parancsokra
  - új parancs: ‘`N` ⟨név⟩’ — fókuszált argumentum elnevezése
  - szabványos parancs: ‘`^` ⟨argszám⟩’ — adott argumentumra fókuszálás
  - új parancs: ‘`P` [⟨név⟩]’ — adott nevű (ill összes) kifejezés kiiratása

```
| ?- use_module(library(debugger_examples)).
| ?- trace, append([1,2,3],[4,5,6],A).
       1      1 Call: append([1,2,3],[4,5,6],_543) ? ^ 3
       1      1 Call: ^3 _543 ? N Ered
       1      1 Call: ^3 _543 ? P                        ⇒  Ered = _543
       2      2 Call: append([2,3],[4,5,6],_2700) ? P    ⇒  Ered = [1|_2700]
       3      3 Call: append([3],[4,5,6],_3625) ? P      ⇒  Ered = [1,2|_3625]
       4      4 Call: append([],[4,5,6],_4550) ? P       ⇒  Ered = [1,2,3|_4550]
       4      4 Exit: append([],[4,5,6],[4,5,6]) ? P     ⇒  Ered = [1,2,3,4,5,6]
       3      3 Exit: append([3],[4,5,6],[3,4,5,6]) ?
       2      2 Exit: append([2,3],[4,5,6],[2,3,4,5,6]) ?
       1      1 Exit: append([1,2,3],[4,5,6],[1,2,3,4,5,6]) ?
⇒  A = [1,2,3,4,5,6] ? ; no
```

Listák megfordítása

- Naív (négyzetes lépésszámú) megoldás

```
% nrev(L, R): Az R lista az L megfordítása.
nrev([], []).
nrev([X|L], R) :-
    nrev(L, RL),
    append(RL, [X], R).
```

- Lineáris lépésszámú megoldás

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

% revapp(L1, L2, R): L1 megfordítását L2 elé fűzve kapjuk R-t.
revapp([], R, R).
revapp([X|L1], L2, R) :-
    revapp(L1, [X|L2], R).
```

- A `lists` könyvtár tartalmazza az `append/3` és `reverse/2` eljárások definícióját.
- A könyvtár betöltése:

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


`append` és `revapp` — listák gyűjtési iránya

- Prolog megvalósítás

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

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

- C++ megvalósítás

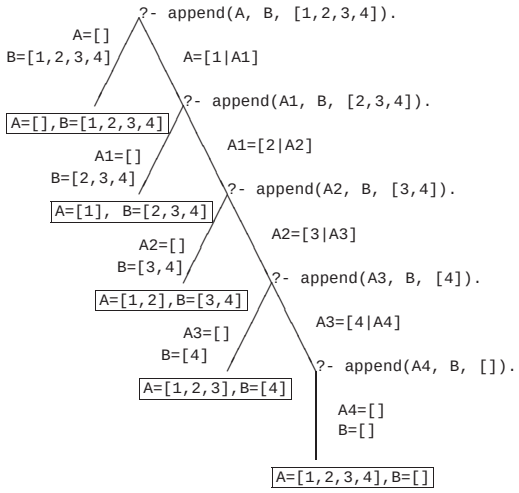
```
struct link   { link *next;
                char elem;
                link(char e): elem(e) {}
              };
typedef link *list;
```

```
list append(list list1, list list2)
{ list list3, *lp = &list3;
  for (list p=list1; p; p=p->next)
  { list newl = new link(p->elem);
    *lp = newl; lp = &newl->next;
  }
  *lp = list2;
  return list3;
}
```

```
list revapp(list list1, list list2)
{ list l = list2;
  for (list p=list1; p; p=p->next)
  { list newl = new link(p->elem);
    newl->next = l; l = newl;
  }

  return l;
}
```


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
```



Variációk `append`re 1. — Három lista összefűzése

- Az `append/3` keresési tere **véges**, ha első és harmadik argumentuma közül legalább az egyik zárt végű lista.
- `append(L1,L2,L3,L123)`: `L1` ⊕ `L2` ⊕ `L3` = `L123`

```
append(L1, L2, L3, L123) :-
        append(L1, L2, L12), append(L12, L3, L123).
```

  - Nem hatékony, pl.: `append([1,...,100],[1,2,3],[1], L)` 103 helyett 203 lépés!
  - Szétszedésre nem alkalmas — végtelen választási pontot hoz létre

- Szétszedésre is alkalmas, hatékony változat

```
% L1 ⊕ L2 ⊕ L3 = L123, ahol vagy L1 és L2, vagy L123 adott (zárt végű).
append(L1, L2, L3, L123) :-
        append(L1, L23, L123), append(L2, L3, L23).
```

  - Az első `append/3` hívás nyílt végű listát állít elő:
    `| ?- append([1,2], L23, L).` ⇒ `L = [1,2|L23] ?`
  - Az `L3` argumentum behelyettesítettsége (nyílt vagy zárt végű lista-e) nem számít.

Mintakeresés `append/3`-mal

- Párban előforduló elemek

```
% párban(Lista, Elem): A Lista számlistának Elem olyan
% eleme, amelyet egy ugyanilyen elem követ.
párban(L, E) :-
    append(_, [E,E|_], L).

| ?- párban([1,8,8,3,4,4], E).
       E = 8 ? ; E = 4 ? ; no
```

- Dadogó részek

```
% dadogó(L, D): D olyan nem üres részlistája L-nek,
% amelyet egy vele megegyező részlista követ.
dadogó(L, D) :-
        append(_, Farok, L),
        D = [_|_],
        append(D, Vég, Farok),
        append(D, _, Vég).

| ?- dadogó([2,2,1,2,2,1], D).
       D = [2] ? ; D = [2,2,1] ? ; D = [2] ? ; no
```


Keresés listában

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

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

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

- A `member/2` felhasználási lehetőségei
  - Eldöntendő (igen-nem) kérdés:

```
| ?- member(2, [1,2,3]).          ⇒   yes
```

  - 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 – mindkét fenti hívásmintát használja:

```
| ?- 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 második argumentuma zárt végű lista.

`member/2` általánosítása: `select/3`

- `select(Elem, Lista, Marad)`: `Elem`et a `Lista`ból elhagyva marad `Marad`.

```
select(Elem, [Elem|Marad], Marad).     % Elhagyjuk a fejet, marad a farok.
select(Elem, [X|Farok], [X|Marad0]) :- % Marad a fej,
        select(Elem, Farok, Marad0).   %    a farokból hagyunk el elemet.
```

- Felhasználási lehetőségek:

```
| ?- select(1, [2,1,3], L).            % Adott elem elhagyása
       L = [2,3] ? ; no
| ?- select(X, [1,2,3], L).            % Akármelyik elem elhagyása
       L=[2,3], X=1 ? ;  L=[1,3], X=2 ? ;   L=[1,2], X=3 ? ; no
| ?- select(3, L, [1,2]).              % Adott elem beszúrása!
       L = [3,1,2] ? ; L = [1,3,2] ? ; L = [1,2,3] ? ; no
| ?- select(3, [2|L], [1,2,7,3,2,1,8,9,4]).
                                       % Beszúrható-e 3 az [1,...]-ba
       no                              % úgy, hogy [2,...]-t kapjunk?
| ?- select(1, [X,2,X,3], L).
       L = [2,1,3], X = 1 ? ; L = [1,2,3], X = 1 ? ; no
```

- A `lists` könyvtár tartalmazza a `member/2` és `select/3` eljárások definícióját is.
- A `select/3` keresési tere **véges**, ha 2. és 3. argumentuma közül legalább az egyik zárt végű.

Listák permutációja

- `permutation(Lista, Perm)`: `Lista` permutációja a `Perm` lista.
  (Az alábbi definíció a `library(lists)` könyvtárból származik:)

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

- Felhasználási példák:

```
| ?- permutation([1,2], L).
       L = [1,2] ? ; L = [2,1] ? ; no
| ?- permutation([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
| ?- permutation(L, [1,2]).
       L = [1,2] ? ;
       végtelen keresési tér
```

- Ha `permutation/2`-ben az első argumentum ismeretlen, akkor a `select` hívás keresési tere végtelen!