

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
- Hanák D. Péter: Deklaratív programozás. Bevezetés a funkcionális programozásba
- Elektronikus változata elérhető a honlapról (ps, pdf)

Deklaratív programozás: tudnivalók (folyt.)

Fordító- és értelmezőprogramok

- SICStus Prolog — 3.12 verzió (licenz az ETS-en keresztül kérhető)
- Moscow SML (2.0, szabad szoftver)
- Mindkettő telepítve van a `kempelen.inf.bme.hu`-n
- Mindkettő letölthető a honlapról (linux, Win95/98/NT)
- Webes gyakorló felület az ETS-ben (ld. honlap)
- Kézikönyvek HTML-, ill. PDF-változatban
- Más programok: swiProlog, gnuProlog, poly/ML, smlnj
- emacs-szövegszerkesztő SML-, ill. Prolog-módban (linux, Win95/98/NT)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények

Nagy házi feladat (NHF)

- Programozás mindkét nyelven (Prolog, SML)
- 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 a 6. héten, a honlapon, letölthető keretprogrammal
- Beadás a 12. héten; elektronikus úton (ld. honlap)
- A beadáskor és a pontozáskor külön-külön tesztorozatot használunk (nehézségben hasonlókat, de nem azonosakat)
- A minden tesztesetet hibátlanul megoldó programok *létraversenyen* vesznek részt (hatékonyság, gyorsaság plusz pontokért)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Nagy házi feladat (folyt.)

- Nem kötelező, de *nagyon* ajánlott!
- Beadható csak az egyik nyelvből is
- A beadási határidőig többször is beadható, csak az utolsót értékeljük
- Pontozása mindkét nyelvből:
 - helyes és időkorláton belüli futás esetén a 10 tesztet mindegyikére 0,5-0,5 pont, összesen max. 5 pont, feltéve, hogy legalább 4 tesztet sikeres
 - 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)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Kis házi feladatok (KHF)

- 2-3 feladat Prologból is, SML-ből is
- Beadás elektronikus úton (ld. honlap)
- Nem kötelező, de *nagyon* ajánlott
- Minden feladat jó megoldásáért 1-1 jutalompont jár

Gyakorló feladatok

- Nem kötelező, de a sikeres ZH-hoz, vizsgához *elengedhetetlen!*
- Gyakorlás az ETS rendszerben (lásd honlap)

Deklaratív programozás: félévközi követelmények (folyt.)

Nagyzárthelyi, pótzárthelyi (NZH, PZH, PPZH)

- A zárthelyi kötelező, semmilyen jegyzet, segédlet nem használható!
- 40%-os szabály (nyelvenként a maximális részpontszám 40%-a kell az eredményességhez).
Kivétel: a korábban aláírást szerzett hallgató zárthelyin szerzett pontszámát az alsó ponthatártól függetlenül beszámítjuk a félévvégi osztályzatba. A korábbi félévekben szerzett pontokat nem számítjuk be!
- Az NZH a 10., a PZH az utolsó oktatási hetekben lesz
- A PPZH-ra indokolt esetben, ismétlővizsga-jelleggel a vizsgaidőszak első három hetében egyetlen alkalommal adunk lehetőséget
- Az NZH anyaga az első két blokk (nagyjából az 1.-7. hét) tananyaga
- A PZH, ill. a PPZH anyaga azonos az NZH anyagával
- A zárthelyi súlya az osztályzatban: 15% (a 100 pontból 15)
- Több zárthelyi megírása esetén a zárthelyikre kapott pontszámok közül a *legnagyobb* vesszük figyelembe

Deklaratív programozás: vizsga

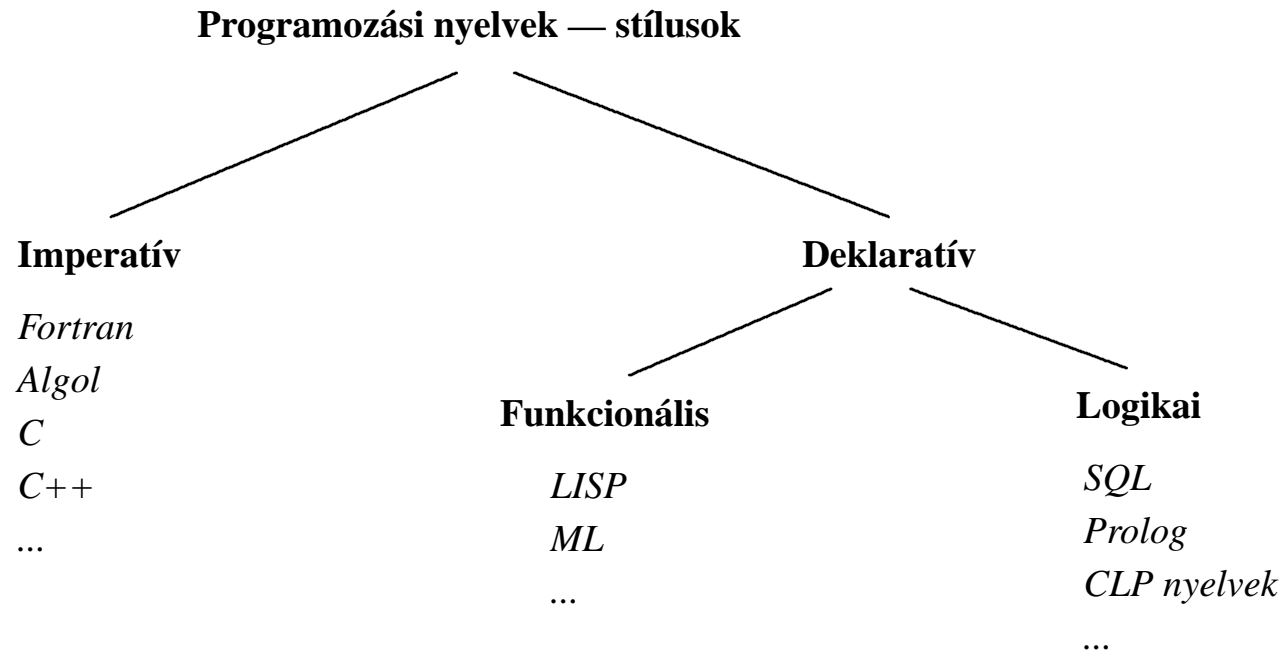
Vizsga

- Vizsgára az a hallgató bocsátható, aki aláírást szerzett a jelen félévben vagy a jelen félévet megelőző négy félévben
- A vizsga szóbeli, felkészülés írásban
- Prolog, SML: több kisebb feladat (programírás, -elemzés) kétszer 35 pontért
- A vizsgán szerzhető max. 70 ponthoz adjuk hozzá a **jelen** félévben félévközi munkával szerzett pontokat: ZH: max. 15 pont, NHF: max. 15 pont, továbbá a pluszpontokat (KHF, létraverseny)
- *Korábbi* félévben szerzett pontokat *nem* számítunk be!
- A vizsgán semmilyen jegyzet, segédlet nem használható, de lehet segítséget kérni
- Ellenőrizzük a nagy házi feladat és a zárthelyi „hitelességét”
- 40%-os szabály (nyelvenként a max. részpontszám 40%-a kell az eredményességhez)
- Korábbi vizsgakérdések a honlapon találhatóak

DEKLARATÍV ÉS IMPERATÍV PROGRAMOZÁS



Programozási nyelvek osztályozása



Imperatív és deklaratív programozási nyelvek

● Imperatív program

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

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

● Deklaratív program

- kijelentő módú, egyenletekből, állításokból áll
- változó: egyetlen rögzített értékkel bír, amely a programírás idején még ismeretlen
- SML példa:

```
fun pow(a, n) =
  if n > 0           (* Ha n > 0 *)
  then a*pow(a,n-1) (* akkor a^n = a*a^(n-1) *)
  else 1            (* egyébként a^n = 1 *)
```

Deklaratív programozás imperatív nyelven

- Lehet pl. C-ben is deklaratívan programozni,
 - ha nem használunk: értékadó utasítást, ciklust, ugrást, stb.,
 - amit használhatunk: (rekurzív) függvények, if-then-else

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

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

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

Hatékony deklaratív programozás

- A rekurzióknak van egy hatékonyan megvalósítható változata

- Példa: döntsük el, hogy egy a természetes szám előáll-e egy b szám hatványaként:

```

/* ispow(a,b) = 1 <=> exists i, such that bi = a. Precondition: a,b
> 0 */
int ispow(int a, int b) {
    /* again: */
    if (a == 1) return 1;
    else if (a%b == 0) return ispow(a/b, b); /* a = a/b; goto again; */
    else return 0;
}

```

- Itt a rekurzív hívás a kommentben jelzett értékadásokkal 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 nevezzük
- A Gnu C fordító megfelelő optimalizálási szint mellett (`gcc -O2`) 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 további, ún. gyűjtőargumentumokat helyezünk el.
- A $\text{pow}(a, n)$ jobbrekurzív megvalósítása:

```
/* Segédfüggvény: powa(a, n, p) = p*a^n */
int powa(int a, int n, int p) {
    if (n > 0)
        return powa(a, n-1, p*a);
    else
        return p;
}

int powr(int a, int n){
    return powa(a, n, 1);
}
```

Cékla: A „Cé” nyelv egy deKLAratív része

- **Megszorítások:**
 - **Típusok:** csak `int`
 - **Utasítások:** `if-then-else`, `return`, **blokk**
 - **Feltétel-rész:** (`<kif>` `<hasonlító-op>` `<kif>`)
 - `<hasonlító-op>`: `<` | `>` | `==` | `\=` | `>=` | `<=`
 - **kifejezések:** változókból és számkonstansokból kétargumentumú operátorokkal és függvényhívásokkal épülnek fel
 - `<aritmetikai-op>`: `+` | `-` | `*` | `/` | `%` |
- Egy cékla fordító letölthető a tárgy honlapjáról.

A Cékla nyelv szintaxisa

- A szintaxist az ún. DCG (Definite Clause Grammar) jelöléssel adjuk meg:
 - terminális jel: [terminális]
 - nem terminális: nem_terminális
 - ismétlés (0, 1, vagy többszöri ismétlés, nincs benne a DCG-ben): (ismétlendő)...
- A program szintaxisa

```

program -->          function_definition ... .
function_definition --> head, block.
head -->             type, identifier, ['('], formal_args, [')'].
type -->             [int].
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 szintaxisa

```

statement -->      [if], test, statement, optional_else_part
                  ; block
                  ; [return], expression, [';']
                  ; [';'].

optional_else_part --> [else], statement ; [].

test -->          ['('], expression, comparison_op, expression, [')'].

```

• Kifejezések szintaxisa

```

expression -->    term, (additive_op, term)... .
term -->         factor, (multiplicative_op, factor)... .
factor -->       identifier
                  ; identifier, ['('], actual_args, [')']
                  ; constant
                  ; ['('], expression, [')'].

constant -->     integer.

actual_args -->  expression, ([',','], expression)... ; [].

comparison_op --> ['<'] ; ['>'] ; ['=='] ; ['\=' ] ; ['>='] ; ['<='].

additive_op -->  ['+'] ; ['-'].

multiplicative_op --> ['*'] ; ['/'] ; ['%'].

```

1. kis házi feladat

- Nagyfejűnek nevezünk egy számsorozatot, amelynek első eleme nagyobb-egyenlő mint az utolsó, a második nagyobb-egyenlő mint az utolsó előtti stb. Pontosítva:
 - egy a_1, a_2, \dots, a_n számsorozat nagyfejű, ha minden $1 \leq i \leq \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ esetén $a_i \geq a_{n+1-i}$ (ahol $\lfloor x \rfloor$ az x szám egészrészét jelenti).
 - Példák: 1 1, 4 3 5 2 4
- Megirandó egy program Cékla nyelven a következő feladat megoldására
 - A fő függvény: $\text{nagyfeju}(a) = b$ jelentése: b a legkisebb olyan természetes szám, amely esetén az a természetes szám b alapú számrendszerben felírva nagyfejű.
 - Példák:
 - $\text{nagyfeju}(4) = 2$, mert $4_{(2)} = 100$ nagyfejű
 - $\text{nagyfeju}(10) = 3$ mert $10_{(3)} = 101$ nagyfejű, de $10_{(2)} = 1010$ nem az
 - $\text{nagyfeju}(143) = 11$ mert $143_{(11)} = 120$ nagyfejű, de ...
 - $\text{nagyfeju}(293) = 18$ mert $293_{(18)} = 165$ nagyfejű, de ...
- Pályázat: Cékla nyelven megoldható feladatok kitalálása (megoldással együtt).

Egy kicsit bonyolultabb Cékla program

- A feladat: Egy 0 és 1023 közé eső *num* egész számot egy olyan 10-jegyű decimális számmá kell konvertálni, amely csak a 0 és 1 jegyekből áll, úgy, hogy ha ezt a 0-1 sorozatot bináris számként olvassuk ki, akkor a *num* értéket kapjuk, pl. $\text{bin}(5) = 101$, $\text{bin}(37) = 100101$.
- Megoldás (imperatív) C-ben és Céklában:

```

int bin(int num) {
    int bp = 512;
    int dp = 1000000000;
    int bin = 0;
    while (bp > 0) {
        if (num >= bp) {
            num = num-bp;
            bin = bin+dp;
        }
        bp = bp / 2;
        dp = dp / 10;
    }
    if (num > 0)
        return -1;
    else
        return bin;
}

int bina(int num,
         int bp,
         int dp,
         int bin) {
    if (bp > 0) {
        if (num >= bp)
            return bina(num-bp, bp/2, dp/10, bin+dp);
        else
            return bina(num, bp/2, dp/10, bin);
    }
    if (num > 0)
        return -1;
    else
        return bin;
}

int bind(int num) {
    return bina(num, 512, 1000000000, 0);
}

```

Deklaratív programozási nyelvek — a Cékla tanulságai

- Mit veszítettünk?
 - a megváltoztatható változókat,
 - az értékadást, ciklus-utasítást stb.,
 - általában: 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.

Deklaratív programozási nyelvek — 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.

Deklaratív programozás — miért tanítjuk?

- Új, magasszintű programozási elemek
 - rekurzió
 - mintaillesztés
 - visszalépéses keresés
- Új gondolkodási stílus
 - dekomponálható programok: a programrészek (relációk, függvények) önálló jelentéssel bírnak
 - verifikálható programok: a kód és a jelentés összevethető
- Új alkalmazási területek
 - szimbolikus alkalmazások
 - következtetési módszerekre épülő megoldások
 - nagyfokú megbízhatóságot igénylő rendszerek

Egy példa: párbeszéd egy 50 soros Prolog programmal

?- párbeszéd.	: Te egy Prolog program vagy.
: Magyar legény vagyok én.	<i>Felfogtam.</i>
<i>Felfogtam.</i>	: Ki vagyok én?
: Ki vagyok én?	<i>Magyar legény</i>
<i>Magyar legény</i>	<i>Boldog</i>
: Péter kicsoda?	: Okos vagy.
<i>Nem tudom.</i>	<i>Felfogtam.</i>
: Péter tanuló.	: Te vagy a világ közepe.
<i>Felfogtam.</i>	<i>Felfogtam.</i>
: Péter jó tanuló.	: Ki vagy te?
<i>Felfogtam.</i>	<i>egy Prolog program</i>
: Péter kicsoda?	<i>Okos</i>
<i>tanuló</i>	<i>a világ közepe</i>
<i>jó tanuló</i>	: Valóban?
: Boldog vagyok.	<i>Nem értem.</i>
<i>Felfogtam.</i>	: Unlak.
	<i>Én is.</i>

BEVEZETÉS A LOGIKAI PROGRAMOZÁSBA



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.

Az előadás LP részének áttekintése

- **1. blokk:** A Prolog nyelv alapjai (6 előadás)
 - Logikai háttér
 - Szintaxis
 - Végrehajtási mechanizmus
- **2. blokk:** Prolog programozási módszerek (6 előadás)
 - A legfontosabb beépített eljárások
 - Fejlettebb nyelvi és rendszerelemek
- Kitekintés: Új irányzatok a logikai programozásban (1 előadás)

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

- 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.

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

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

Első Prolog programunk: hatványellenőrzés

- Egy egyszerű példa Céklában és Prologban:

```
/* ispow(a,b) = 1 <=> exists i, such that bi = a. Precondition: a,b > 0 */
```

```
int ispow(int num, int base) {
    if (num == 1)
        return 1;
    else if (num%base == 0)
        return ispow(num/base, base);
    else
        return 0;
}

ispow(Num, Base) :-
    (    Num == 1
    -> true
    ;    Num rem Base == 0,
        Num1 is Num//Base,
        ispow(Num1, Base)
    ).
```

- ispow egy Prolog **predikátum**, azaz Boole értékű eljárás.
- Az eljárás egyetlen klózból áll, amely *Fej:-Törzs* alakú.
- Az eljárásfejben a paraméterek a Num és Base változók (**nagybetűsek!**)
- A törzs egyetlen célt tartalmaz, amely egy **feltételes szerkezet**:
if Felt then Akkor else Egyébként \equiv (Felt -> Akkor ; Egyébként)
- A „true”, „A == B” és „A is B” szerkezetek beépített predikátumok hívásai.

Néhány beépített predikátum

- Egyesítés: $x = y$: az x és y **szimbolikus** kifejezések változók behelyettesítésével azonos alakra hozhatók (és el is végzi a behelyettesítéseket).
- Aritmetikai predikátumok
 - $x \text{ is } Kif$: A Kif **aritmetikai** kifejezést kiértékeli és **értékét** egyesíti x -szel.
 - $Kif1 < Kif2$, $Kif1 = < Kif2$, $Kif1 > Kif2$, $Kif1 >= Kif2$, $Kif1 = := Kif2$, $Kif1 = \backslash = Kif2$:
A $Kif1$ és $Kif2$ aritmetikai kifejezések értéke a megadott relációban van egymással
($:=$ jelentése: aritmetikai egyenlőség, $\backslash =$ jelentése aritmetikai nem-egyenlőség).
 - Ha Kif , $Kif1$, $Kif2$ valamelyike nem **tömör** (változómentes) aritmetikai kifejezés \Rightarrow 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 megghiúsul.
 - $trace$, $notrace$: 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` \Rightarrow 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** kevésbé pontosan nyomkövethető.
- `halt`: A Prolog rendszer befejezi működését.

```
> sicstus
SICStus 3.11.0 (x86-linux-glibc2.3): Mon Oct 20 15:59:37 CEST 2003
| ?- consult(ispow).
% consulted /home/user/ispow.pl in module user, 0 msec 376 bytes
yes
| ?- ispow(8, 3).
no
| ?- ispow(8, 2).
yes
| ?- listing(ispow).
(...)
yes
| ?- halt.
>
```

Általános (nem Boole-értékű) függvények Prologban

- Példa: Természetes számok hatványozása Céklában és Prologban:

```
/* powd(a,n) = a^n */
int powd(int a, int n) {
    if (n > 0)
        return a*powd(a,n-1);

    else
        return 1;
}
```

```
/* powd(A, N, P): A^N = P. */
powd(A, N, P) :-
    ( N > 0
    -> N1 is N-1,
        powd(A, N1, P1),
        P is A*P1
    ; P = 1
    ).
```

```
| ?- powd(2, 8, P).
P = 256 ?
```

- A 2-argumentumú `powd` függvénynek a 3-argumentumú `powd` predikátum felel meg.
- A függvény két argumentumának a predikátum első két, **bemenő**, azaz behelyettesített argumentuma felel meg.
- A függvény eredménye a predikátum utolsó, kimenő argumentuma, amely általában behelyettesítetlen változó.

Predikátum definiálása több klózzal

- A feltételes szerkezet nem alap-építőeleme a Prolog nyelvnek (az első Prologokban nem is volt)
- Helyette több **egymást kizáró** klózt is lehet alkalmazni:

```

/* powd(A, N, P): A^N = P. */
powd(A, N, P) :-
    ( N > 0
    -> N1 is N-1,
        powd(A, N1, P1),
        P is A*P1
    ; P = 1
    ).

powd2(A, N, P) :-
    N > 0,
    N1 is N-1,
    powd2(A, N1, P1),
    P is A*P1.
powd2(A, N, 1) :- N =< 0.

```

- Ha egy predikátum több klózból áll, a Prolog **mindegyiket** megkísérli felhasználni a futásban:
 - ha `pow2` második paramétere (N) pozitív, akkor az első klózt használja,
 - egyébként (azaz ha $N =< 0$) a második klózt.
- Ha `powd2` második klózaként `powd(A, 0, 1)` állna akkor negatív kitevő esetén a hívás megghiúsulna (egyik klóz sem lenne alkalmazható).
- Általában nem kell kizáró feltételeket alkalmazni, így egy kérdésre több választ is kaphatunk!

```

gyöke(A, B, C, X) :- X is (-B + sqrt(B*B-4*A*C))/(2*A).
gyöke(A, B, C, X) :- X is (-B - sqrt(B*B-4*A*C))/(2*A).

```

Több választ adó predikátumok — a családi kapcsolatok példája

- Adatok

Egy gyerek–szülő kapcsolat, pl.

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

- A feladat:

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

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

```

Adatstruktúrák deklaratív nyelvekben — 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-deklaráció SML-ben

datatype Tree =
    Node of Tree * Tree
    | Leaf of int

% Adattípus-leírás Prologban

:- 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 sum_tree(struct tree *tree)
{
    switch(tree->type) {
        case Leaf:
            return tree->u.leaf.value;
        case Node:
            return
                sum_tree(tree->u.node.left) +
                sum_tree(tree->u.node.right);
    }
}
```

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


Bináris fák összegzése

- Prolog példafutás

```
% sicstus -f
SICStus 3.10.0 (x86-linux-glibc2.1): Tue Dec 17 15:12:52 CET 2002
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
| ?- sum_tree(node(leaf(5),
                node(leaf(3), leaf(2))), Sum).
Sum = 10 ? ;
no
| ?- sum_tree(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

- 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

- Adott összegű fát építő eljárás Peano aritmetikával:

```

sum_tree(leaf(Value), Value).
sum_tree(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  $\infty$  sok megoldás van.

    sum_tree(Left, S1),
    sum_tree(Right, S2).

```

- Az eljárás futása:

```

| ?- sum_tree(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

```

A Prolog adatfogalma, a Prolog kifejezés

- konstans (*atomic*)
 - számkonstans (*number*) — egész vagy lebegőpontos, pl. `1`, `-2.3`, `3.0e10`
 - névkonstans (*atom*), pl. `'István'`, `ispow`, `+`, `-`, `<`, `sum_tree`
- összetett- vagy struktúra-kifejezés (*compound*)
 - ún. kanonikus alak: $\langle \text{struktúranév} \rangle (\langle \text{arg}_1 \rangle, \dots)$
 - a $\langle \text{struktúranév} \rangle$ 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)