Modulok definiálása SICStus Prolog nyelven

- A SICStus Prolog modulfogalmának jellemzői:
  - 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/argumentumszám)
  - Példa:
    ```
    :- module(platók, [fennsík/3]).        % plato állomány első sora
    ```
  - Modul-betöltésre szolgáló beépített eljárások:
    - `use_module(`*ÁllományNév*`)`
    - `use_module(`*ÁllományNév*`, [`*ImpFunktor1*`,`*ImpFunktor2*`,...])`
      ImpFunktor — az importálandó eljárás funktora
    - *ÁllományNév* lehet névkonstans, vagy pl. `library(`*KönyvtárNév*`)`:
      ```
      :- use_module(plato).                    % a fenti modul betöltése
      :- use_module(library(lists), [last/2]). % csak last/2 importált
      ```
  - Modulkvalifikált hívási forma: *Modul*`:`*Hívás* a *Modul*-ban futtatja *Hívás*-t.
  - A modulfogalom nem szigorú, egy nem exportált eljárás is meghívható modulkvalifikált formában, pl. `platók:első_fennsík(...)`.

Meta-eljárások modularizált programban

- Eljárásparaméterek átadása gondot okozhat, ha modulközi hívásról van szó:

`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⟩(⟨módspec`$_1$`⟩, ..., ⟨módspec`$_n$`⟩), ....`
  - ⟨módspec$_i$⟩ 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 egy olyan változó, amely az adott eljárás fejében meta-argumentum pozíción szerepelt, 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).                    % tárolt alak:
q :- kétszer(p).                        ⟹ q :- kétszer(modul2:p).

:- meta_predicate négyszer(:).
négyszer(X) :- kétszer(X), kétszer(X).    ⟹ változatlan
```


MAGASABBRENDŰ ELJÁRÁSOK

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

```
% Az L egész-lista páros elemeinek listája Pk.
páros_elemei(L, Pk) :-
        findall(X, (member(X, L), X mod 2 =:= 0), Pk).

| ?- páros_elemei([1,2,3,4], Pk).  ⟹ Pk = [2,4]
```

  - A listaelemek négyzetre emelése

```
% Az L számlista  elemei négyzeteinek listája Nk.
négyzetei(L, Nk) :-
        findall(Y, (member(X, L), Y is X*X), Nk).

| ?- négyzetei([1,2,3,4], Nk).     ⟹ Nk = [1,4,9,16]
```


Általános listakezelő meta-eljárások, `findall/3`-ra építve

- Lista szűrése (vö. a `filter` SML függvénnyel!)

```
% Az L lista X elemeinek Pred szerinti szűrése FL.
:- meta_predicate filter(+, ?, :, -).
filter(L, X, Pred, FL) :-
        findall(X, (member(X, L), call(Pred)), FL).

| ?- filter([1,2,3,4], X, X mod 2 =:= 0, Pk).  ⟹ Pk = [2,4]
```

- Lista leképezése (vö. a `map` SML függvénnyel!)

```
% Az L lista X elemeit Pred-del Y-ba képezve
% kapjuk az ML listát.
:- meta_predicate map(+, ?, :, ?, -).
map(L, X, Pred, Y, ML) :-
        findall(Y, (member(X, L), Pred), ML).

| ?- map([1,2,3,4], X, Y is X*X, Y, Nk).   ⟹ Nk = [1,4,9,16]
```

- A példákban a szűrést az ⟨`X, Pred`⟩ argumentumpár, a leképezést az ⟨`X, Pred, Y`⟩ hármas határozza meg. Ezek egy egy- ill. kétargumentumú predikátumot írnak le (vö. a funkcionális nyelvek λ-kifejezéseivel).

Részlegesen paraméterezett eljáráshívások

- A listát elemenként négyzetreemelő eljárás egy másik változata:

```
négyzete(X, Y) :- Y is X*X.
négyzeteik(Xk, Yk) :- map(Xk, X, négyzete(X,Y), Y, Yk).
```

- A lista elemeire az $x \to x^2 + \mathtt{P}x + \mathtt{Q}$ hozzárendelést alkalmazó eljárás:

```
másodfokú_képe(P, Q, X, Y) :- Y is X*X + P*X + Q.
másodfokú_képeik(P, Q, Xk, Yk) :- map(Xk, X, másodfokú_képe(P,Q,X,Y), Y, Yk).
```

- Konvenció: a meta-alkalmazásban változó paramétereket az eljárás végére tesszük — így egyszerűsíthető a meta-eljárás hívása.
- Példa: A `map/5` eljárásból elhagyjuk az `X` és `Y` argumentumokat, és az eljárás-argumentumban sem szerepeltetjük ezeket:

```
másodfokú_képeik(P, Q, Xk, Yk) :-  map(Xk, másodfokú_képe(P,Q), Yk).

map(Xk, RészlPred, Yk) :-
        % A RészlPred részlegesen paraméterezett hívás kiegészítése Pred-dé:
        RészlPred =.. L0, append(L0, [X,Y], L), Pred =.. L,    (*)
        findall(Y, (member(X, Xk), Pred), Yk).
```


Részlegesen paraméterezett eljáráshívások — segédeszközök

- A `másodfokú_képe(P,Q)` kifejezés itt a `másodfokú_képe/4` **részlegesen paraméterezett** hívásának tekinthető.
- Ilyen hívások kiegészítésére és meghívására szolgálnak a `call/N` eljárások.
- `call(RPred, A1, A2, ...)` végrehajtása: az `RPred` hívást kiegészíti az `A1, A2, ...` argumentumokkal, és meghívja.
- A `call/N` eljárások sok Prologban beépítettek, SICStusban definiálandók:

```
:- 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`

- A részleges paraméterezés segítségével a `map/3` meta-eljárás rekurzívan is definiálható, `findall/3` nélkül:

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

- Példák:

```
| ?- map([1,2,3,4], négyzete, L).            ⟹ L = [1,4,9,16]
| ?- map([1,2,3,4], másodfokú_képe(2,1), L). ⟹ L = [4,9,16,25]
```

- A `call/N`-re épülő megoldás előnyei:
  - általánosabb és hatékonyabb lehet, mint a `findall`-ra épülő;
  - alkalmazható akkor is, ha az elemekre elvégzendő műveletek nem függetlenek, pl. `foldl`.

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).  ⟹ E = 123
```

- Ugyanez SML-ben:

```
- fun jegyhozza alap (jegy,szam) = szam*alap+jegy;
> val jegyhozza = fn : int -> int * int -> int
- foldl (jegyhozza 10) 0 [1,2,3];
> val it = 123 : int
```

```
% foldr(+Xs, :Pred, +Y0, -Y): Y0-ból indulva, az Xs elemeire jobbról balra
% sorra alkalmazva a Pred kétargumentumú függvényt kapjuk Y-t.
foldr([X|Xs], Pred, Y0, Y) :-
        foldr(Xs, Pred, Y0, Y1), call(Pred, X, Y1, Y).
foldr([], _, Y, Y).

| ?- foldr([1,2,3], jegyhozzá(10), 0, E).  ⟹ E = 321
```


DINAMIKUS ADATBÁZISKEZELÉS

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 `Klóz`ban 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)),     ⟹   p(2, 0).
     assertz((p(2,Z):-r(Z))), listing(p).          ⟹   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 klózait 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), retract((p(2,_):-_)), listing(p), fail. ⟹ no
```

- A futás kimenete:

```
p(2, 0).
p(1, A) :-
        q(A).
p(2, A) :-
        r(A).
```

```
p(1, A) :-
        q(A).
p(2, A) :-
        r(A).
```

```
p(1, A) :-
        q(A).
```


Alkalmazási példa — egyszerűsített `findall`

- A `findall1/3` eljárás hatása megegyezik a beépített `findall`-lal, de
- Nem működik helyesen, ha a `Cél`-ban újabb `findall1` hívás van.

```
:- dynamic(megoldás/1).

% findall1(Minta, Cél, L): Cél összes megoldására Minták listája L.
findall1(Minta, Cél, _MegoldL) :-
    call(Cél),
    asserta(megoldás(Minta)), % fordított sorrendben vesszük fel!
    fail.
findall1(_Minta, _Cél, MegoldL) :-
    megoldás_lista([], MegoldL).

% A megoldás/1 tényállításokban tárolt kifejezések fordított listája L-L0.
megoldás_lista(L0, L) :-
    retract(megoldás(M)), !,
    megoldás_lista([M|L0], L).
megoldás_lista(L, L).

| ?- findall1(Y, (member(X, [1,2,3]),Y is X*X), ML). ⟹ ML = [1,4,9]
```


Klóz lekérdezése: `clause/2`

- `clause(:@Fej, ?Törzs)`
  - A `Fej` alapján megállapítja a predikátum funktorát.
  - Az adott predikátum klózait 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 „tiszta”, 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 szóközt ír ki:*/ tab(D),
    write(Port), write(': '), write(G), nl.
```


Nyomkövető interpreter - példafutás

```
:- dynamic app/3, app/4.  % (*)

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

app(L1, L2, L3, L123) :-
    app(L1, L23, L123),
    app(L2, L3, L23).
```

- A (*) sor elhagyható, ha a fenti (mondjuk `app34`) állományt az alábbi (SICStus-specifikus) beépített eljárással töltjük be:

```
| ?- load_files(app34,
        compilation_mode(
                assert_all)).
```

```
| ?- 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] ?
```


NYELVTANI ELEMZÉS PROLOGBAN

Egy egyszerű nyelvtani elemzési példa

- Bináris számok nyelvtana

  ⟨ szám ⟩ ::= ⟨ számjegy ⟩ ⟨ számmaradék ⟩
  ⟨ számmaradék ⟩ ::= ⟨ számjegy ⟩ ⟨ számmaradék ⟩ | ϵ
  ⟨ számjegy ⟩ ::= 0 | 1

- Ugyanez DCG (Definite Clause Grammar) jelöléssel:

```
szám -->              számjegy, számmaradék.
számmaradék -->       számjegy, számmaradék | "".
számjegy -->          "0" | "1".
```

- A definit klóz nyelvtan (DCG):
  - egy általános nyelvtani formalizmus,
  - amely egyszerűen Prologra fordítható,
  - a legtöbb Prolog rendszer része (bár a szabványnak nem).

Nyelvtani elemzés „bevetítése” Prologba

- Nyelvtani elemzés: annak eldöntése, hogy egy (Prolog listában tárolt) jelsorozat megfelel-e egy adott nem-terminális nyelvtani fogalomnak.
- A lista tetszőleges elemekből állhat, pl. karakterkódok listája, lexikai elemek (token-ek) listája.
- A nem-terminálisoknak kétargumentumú Prolog szabályok felelnek meg, pl.

```
szám -->        számjegy,          számmaradék.
szám(L0, L) :- számjegy(L0, L1), számmaradék(L1, L).
% Az L0 kódlistáról "leelemezhető" egy <szám>, marad L ha
%           L0-ról leelemezhető egy <számjegy>, marad L1, és
%           L1-ről leelemezhető egy <számmaradék>, marad L.
```

- Általánosan: az adott nem-terminálisnak megfelelő jelsorozatot „leelemezve” (lehagyva) egy `L0` lista elejéről marad egy `L` lista.
- Terminális szimbólumok esetén egyetlen elemet kell lehagyni a listáról, erre szolgál a `'C'/3` beépített eljárás. Definíciója: `'C'(L0, X, L) :- L0 = [X|L].`
  (A SICStus fordító a `'C'/3` hívást ténylegesen a fenti egyenlőséggel helyettesíti.)
- A „leelemzés” tulajdonképpen akkumulálási folyamat, ahol az elemi akkumulálási lépés: egy terminális lehagyása a lista elejéről (`'C'/3`).

A DCG szabályok lefordított alakja

- A korábbi DCG példa:

```
szám -->          számjegy, számmaradék.      % A | B ≡ A ; B
számmaradék -->   számjegy, számmaradék | "".  % ""  ≡ []
számjegy -->      "0" | "1".                  % "0" ≡ [48]
```

- A fenti DCG szabályok betöltésekor a következő Prolog kód keletkezik:

```
szám(L0, L) :-
        számjegy(L0, L1), számmaradék(L1, L).

számmaradék(L0, L) :-
        (   számjegy(L0, L1), számmaradék(L1, L)
        ;   L = L0
        ).

számjegy(L0, L) :-
        (   'C'(L0, 48, L)
        ;   'C'(L0, 49, L)
        ).
```

- A DCG elemző futtatása:

```
| ?- szám("101", "").  ⟹ yes                    % "101" ≡ [0'1,0'0,0'1]
| ?- szám("102", L).   ⟹ L = "2" ; L = "02" ; no % Valójában L = [50] ; ...
```


Vezérlési szerkezetek DCG szabályokban

- DCG szabályokban használható: vágó, diszjunkció, negáció és feltételes diszjunktív szerkezet.
- Ezek változtatás nélkül átkerülnek a Prolog alakba. Példák:

```
% Leelemezhető számjegyek egy MAXIMÁLIS (esetleg üres) listája.
számmaradék -->
        (   számjegy -> számmaradék
        ;   []                      % Vigyázat: [] helyett true nem jó!
        ).

% Ugyanez vágóval
számmaradék -->   számjegy, !, számmaradék.
számmaradék -->   [].               % Figyelem: nincsenek DCG tényállítások!

% Az utóbbi Prolog alakja:
számmaradék(L0, L) :-
        számjegy(L0, L1), !, számmaradék(L1, L).
számmaradék(L0, L) :-
        L = L0.

| ?- számmaradék("102", L).  ⟹ L = "2" ; no
```


Prolog hívás beillesztése DCG szabályba

- Általánosabb példa: decimális számjegyek elemzése

```
számjegy --> "0" ; "1" ; "2" ; "3" ; "4" ;
             "5" ; "6" ; "7" ; "8" ; "9".

% Ugyanez általánosabban és egyszerűbben:
számjegy -->
        [K],                          % K a következő terminális
        {decimális_jegy_kódja(K)}.    % Prolog hívás

% K egy számjegy kódja.
decimális_jegy_kódja(K):-
        K >= 0'0, K =< 0'9.
```

- A fenti DCG szabály Prolog megfelelője:

```
% Leelemezhető egy számjegy kódja.
számjegy(L0, L) :-
        'C'(L0, K, L),                % K a következő terminális
        decimális_jegy_kódja(K).      % megfelelő-e a K?
```

Az elemző kiegészítése argumentumokkal

- Egy DCG szabály az elemzéssel párhuzamosan további (kimenő) argumentum(ok)ban felépítheti a kielemzett dolog „jelentését”, pl. egy elemzési fát, vagy annak egy kiértékelését.
- Példa: szám elemzése és értékének kiszámítása:

```
% leelemezhető egy Sz értékű decimálisszámjegy-sorozat
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.
```

- Vegyük észre, hogy itt két akkumulátorpár van, egy „kézi” (`Sz`) és egy DCG-ből generált (`L`).

A DCG nyelvtani szabályok szerkezete — összefoglalás

- A DCG szabály alakja: ⟨ *Baloldal* ⟩ `-->` ⟨ *Jobboldal* ⟩ `.`
- ⟨ *Baloldal* ⟩: egy nem-terminális(, amit esetleg terminálisok listája követ).
- ⟨ *Jobboldal* ⟩: konjunkció (`,`), diszjunkció (`;`), ha-akkor (`->`) és negáció (`\+`) segítségével épül fel terminálisokból, nem-terminálisokból és Prolog hívásokból.
- Nem-terminális: tetszőleges *hívható* kifejezés (névkonstans vagy struktúra).
- Terminális: *tetszőleges* Prolog kifejezés; 0, 1 vagy több terminális jel sorozata *listaként* helyezhető el a DCG szabályokban.
- Prolog hívás: `{}` zárójelekbe zárva helyezhető el (vágó köré nem kell zárójel).
- A DCG egy darab „automatikus” akkumulátort biztosít (az akkumulálási lépés: `'C'`, egy elem levétele):

```
p(A,...) -->
    q0(B,...), ...,      [X],            qi(C,...), ...,
                                             {Cél}, ..., qn(D,...).

p(A,...,L0,L):-
    q0(B,...,L0,L1), ..., 'C'(Li-1, X, Li), qi(C,...,Li,Li+1),...,
                                              Cél, ...,  qn(D,...,Ln,L).
```


DCG példa: kifejezés kiértékelése

- Egyszerű aritmetikai kifejezés elemzése és kiértékelése.

```
% kif(Z, L0, L): L0 elején egy Z értékű aritmetikai kifejezés áll, marad L.
kif(Z) --> tag(X), "+", kif(Y), {Z is X + Y}.
kif(Z) --> tag(X), "-", kif(Y), {Z is X - Y}.
kif(X) --> tag(X).

% tag(Z, L0, L): L0-ból leelemezhető egy Z értékű tag, marad L.
tag(Z) --> szám(X), "*", tag(Y), {Z is X * Y}.
tag(Z) --> szám(X), "/", tag(Y), {Z is X / Y}.
tag(X) --> szám(X).
```

```
| ?- kif(Z, "10*10-6*6", "").  ⟹ Z = 64 ;  no
| ?- kif(Z, "10*10-6*6", L).   ⟹ L = [], Z = 64 ; L = "*6", Z = 94 ; ...
| ?- kif(Z, "4-2+1", []).      ⟹ Z = 1   Probléma: jobbról balra elemez!
```

- Egy lehetséges javítás

```
kif(Z) --> tag(X), kifmaradék(X, Z).

kifmaradék(X, Z) --> "+", tag(Y), W is X + Y, kifmaradék(W, Z).
kifmaradék(X, Z) --> "-", tag(Y), W is X - Y, kifmaradék(W, Z).
kifmaradék(X, X) --> [].
...
```


Egy nagyobb DCG példa: „természetes” nyelvű beszélgetés

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

% 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, L0, L): L0-L egy Sz betűsorozatból álló (nem üres) szó.
szó(Sz) -->
        betű(B), szómaradék(SzM), {illik([B|SzM], Sz)}, köz.

% szómaradék(Sz, L0, L): L0-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(L0, L): L0-L nulla, egy vagy több szóköz.
köz --> (   " " -> köz ; ""   ).

% betű(K, L0, L): L0-L egy K kódú "betű" (különbözik a " .?" jelektől)
betű(K) --> [K], {\+ member(K, " .?")}.

% szavak(SzL, L0, L): L0-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, L0, L): Az L0-L kielemzett 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 előállítása

```
:- 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.
```

A DCG formalizmus felhasználása elemzésen kívül

- A DCG szabályok kényelmesen használhatók általános akkumulálásra
  - Listák akkumulálása — az elemi akkumulálási lépést a `'C'/3` adja

```
% anbn(+N, ?L): Az L lista N db a-ból és azt követő N db b-ből áll.
% Nem csak elemzésre, hanem L felépítésére is használható!
anbn(N, L) :- anbn(N, L, []).

% anbn(N, L0, L): L0-L N db a-ból és azt követő N db b-ből áll.
anbn(0) --> !.
anbn(N) --> {N > 0, N1 is N-1}, [a], anbn(N1), [b].

% a fenti DCG szabály kifejtve:
anbn(N, L0, L) :-
    N > 0, N1 is N-1, L0=[a|L1], anbn(N1, L1, L2), L2=[b|L].
```

  - Egyébként az elemi akkumulálási lépést DCG-n kívül kell megírni:

```
% sum(L, S0, S): L összege S-S0.
sum([]) --> [].
sum([X|L]) -->
        plus(X), sum(L).
```

```
% L számlista összege S.
sum(L, S) :- sum(L, 0, S).

plus(X, S0, S) :- S is S0+X.
```


„HAGYOMÁNYOS” BEÉPÍTETT ELJÁRÁSOK

Aritmetikai beépített eljárások

- `X is Kif`: `Kif` aritmetikai kifejezés kell legyen, értékét egyesíti `X`-szel.
- `Kif1` ρ `Kif2`: `Kif1` és `Kif2` aritmetikai kifejezések kell legyenek, értékeik között elvégzi a ρ összehasonlítást (ρ lehet `=, =\=, <, =<, >, >=`).
- Aritmetikai kifejezésekben felhasználható funktorok:

Infix operátorok					
`+`	összeadás	`//`	egész osztás	`/\`	bitenkénti és
`-`	kivonás	`**`	hatványozás	`\/`	bitenkénti vagy
`*`	szorzás	`mod`	modulus képzés	`<<`	bitenkénti balra léptetés
`/`	osztás	`rem`	maradék képzés	`>>`	bitenkénti jobbra léptetés
Prefix operátorok:		`-`	negáció	`\`	bitenkénti negáció

Függvény jelölésűek			
`abs/1`	`exp/1`	`floor/1`	`sign/1`
`atan/1`	`float/1`	`log/1`	`sin/1`
`ceiling/1`	`float_fractional_part/1`	`max/2,min/2`	`sqrt/1`
`cos/1`	`float_integer_part/1`	`round/1`	`truncate/1`

Listakezelő beépített eljárások

- Lista hossza: `length(?L, ?N)`
  - Jelentése: az `L` lista hossza `N`.
  - `length(-L, +N)` módban adott hosszúságú, csupa különböző változóból álló listát hoz létre.
  - `length(-L, -N)` módban rendre felsorolja a 0, 1, ... hosszú listákat.
  - Megvalósítását lásd korábban.
- Lista rendezése: `sort(@L, ?S)`
  - Jelentése: az `L` lista `@<` szerinti rendezése `S`, (`==/2` szerint azonos elemek ismétlődését kiszűrve).
- Lista kulcs szerinti rendezése: `keysort(@L, ?S)`
  - Az `L` argumentum `Kulcs-Érték` alakú kifejezések listája.
  - Az eljárás jelentése: az `S` lista az `L` lista `Kulcs` értékei szerinti szabványos (`@<` általi) rendezése, ismétlődéseket nem szűr.

Kifejezések kiírása

- `write(@X)`: Kiírja `X`-et, ha szükséges operátorokat, zárójeleket használva.
- `writeq(@X)`: Mint `write(X)`, csak gondoskodik, hogy szükség esetén az névkonstansok idézőjelek közé legyenek téve.
- `write_canonical(@X)`: Mint `writeq(X)`, csak operátorok nélkül, minden struktúra szabványos alakban jelenik meg.
- `write_term(@X, +Opciók)`: Az `Opciók` opciólista szerint kiírja `X`-et.
- `format(@Formátum, @AdatLista)`: A `Formátum`-nak megfelelő módon kiírja `AdatLista`-t. A formázójelek alakja: `~`⟨`szám esetleg`⟩⟨`formázójel`⟩.

```
| ?- write('Helló világ').                    ⟹ Helló világ
| ?- writeq('Helló világ').                   ⟹ 'Helló világ'
| ?- write_canonical('*' - '%').              ⟹ -(*,'%')
| ?- write_canonical([1,2]).                  ⟹ '.'(1,'.'(2,[]))
| ?- write_term([1,2,3], [max_depth(2)]).     ⟹ [1,2|...]
| ?- format('X=~s --- ~3d s', [[0'j,0'ó],3245]). ⟹ X=jó --- 3.245 s
```


Kifejezések kiírása — felhasználó vezérelte formázás

- `print(@X)`: Alapértelmezésben azonos `write`-tal. Ha a felhasználó definiál egy `portray/1` eljárást, akkor a rendszer minden a `print`-tel kinyomtatandó részkifejezésre meghívja `portray`-t. Ennek sikere esetén feltételezi, hogy a kiírás megtörtént, meghiúsulás esetén maga írja ki a részkifejezést.

  A rendszer a `print` eljárást használja a változó-behelyettesítések és a nyomkövetés kiírására!
- `portray(@Kif)` (felhasználó által definiálandó ún. *kampó eljárás*): Igaz, ha `Kif` kifejezést a Prolog rendszernek *nem* kell kiírnia (és ekkor maga a `portray` kell, hogy elvégzze a kiírást).
- Példa:

```
portray(Matrix) :-
      Matrix = [[_|_]|_],
      (   member(Row, Matrix),
          nl, print(Row), fail
      ;   true
      ).
```

```
| ?- X = [[1,2],[3,4],[5,6]].

X =
[1,2]
[3,4]
[5,6] ?
```


Karakterek kiírása és beolvasása

- `put_code(+Kód)`: Kiírja az adott kódú karaktert.
- `tab(+N)`: Kiír `N` szóközt feltéve, hogy $N > 0$.
- `nl`: Kiír egy soremelést.
- `get_code(?Kód)`: Beolvas egy karaktert és (karakterkódját) egyesíti `Kód`-dal. (File végénél `Kód = -1`.)
- `peek_code(?Kód)`: A soronkövetkező karakter kódját egyesíti `Kód`-dal. A karaktert nem távolítja el a bemenetről. (File végénél `Kód = -1`.)
- Példa:

```
% rd_line(L): L a következő sor karakterkódjainak listája.
% read_line néven beépített eljárás SICStus 3.9.0-tól.
rd_line(L) :-
        peek_code(0'\n), !, get_code(_), L = [].
rd_line([C|L]) :-
        get_code(C), rd_line(L).
```

```
| ?- rd_line(L), tab(20), member(X, L), put_code(X), tab(1), fail ; nl.
|: Hello world!
                    H e l l o   w o r l d !
```


Példa: számbeolvasás

```
% számbe(Szám): a Szám szám következik az input-folyamban.
számbe(Szám) :-
        számjegy(Érték),
        számbe(Érték, Szám).

% Az eddig beolvasott Szám0-val együtt az input-folyamban következő
% szám értéke Szám.
számbe(Szám0, Szám) :-
        számjegy(E), !,
        Szám1 is Szám0*10+E,
        számbe(Szám1, Szám).
számbe(Szám, Szám).

% Érték értékű számjegy következik.
számjegy(Érték) :-
        peek_code(Kar),
        Kar >= 0'0, Kar =< 0'9,
        get_code(_),
        Érték is Kar - 0'0.
```

```
| ?- számbe(X), get_code(_), számbe(Y).
|: 123 456
                    ⟹ X = 123, Y = 456
```

Kifejezések beolvasása

- `read(?Kif)`: Beolvas egy ponttal lezárt kifejezést és egyesíti `Kif`-fel. (File végénél `Kif = end_of_file`.)
- `read_term(?Kif, +Opciók)`: Mint `read/1`, de az `Opciók` opciólistát is figyelembe veszi.
- Példa — botcsinálta programbeolvasó:

```
consult_body :-
        repeat,
            read(Term),
            (   Term = end_of_file -> true
            ;   assertz(Term), fail
            ),
        !.

| ?- consult_body.
|: p(X) :- q(X), r(X).
|: ^D
yes
```

```
| ?- listing([p/1]).
p(A) :-
        q(A),
        r(A).
yes
```


Be- és kiviteli csatornák

- Csatornák megnyitása és kezelése:
  - `open(@Filenév, @Mód, -Csatorna)`: Megnyitja a `Filenév` nevű állományt `Mód` módban (`read`, `write` vagy `append`). A `Csatorna` argumentumban visszaadja a megnyitott csatorna „nyelét”.
  - `set_input(@Csatorna)`, `set_output(@Csatorna)`: Az ezt követő beviteli/kiviteli eljárások `Csatorna`-t használják majd (jelenlegi csatorna).
  - `current_input(?Csatorna)`, `current_output(?Csatorna)`: A jelenlegi beviteli/kiviteli csatornát egyesíti `Csatorna`-val.
  - `close(@Csatorna)`: Lezárja a `Csatorna` csatornát.
- Explicit csatornamegadás be- és kiviteli eljárásokban
  - Az eddig ismertetett összes be- és kiviteli eljárásnak van egy eggyel több argumentumú változata, amelynek első argumentuma a csatorna. Ezek: `write/2`, `writeq/2`, `write_canonical/2`, `write_term/3`, `print/2`, `read/2`, `read_term/3`, `format/3`, `put_code/2`, `tab/2`, `nl/1`, `get_code/2`, `peek_code/2`.

Egy egyszerűbb be- és kiviteli szervezés: DEC10 I/O

- `see(@Filenév)`, `tell(@Filenév)`: Megnyitja a `Filenév` file-t olvasásra/írásra és a jelenlegi csatornává teszi. Újabb híváskor csak a jelenlegi csatornává teszi.
- `seeing(?Filenév)`, `telling(?Filenév)`: A jelenlegi beviteli/kiviteli csatorna állománynevét egyesíti `Filenév`-vel.
- `seen`, `told`: Lezárja a jelenlegi beviteli/kiviteli csatornát.
- Példák — nagyon egyszerű `consult` variánsok:

```
consult_dec10_style(File) :-
        seeing(Old), see(File),
        repeat,
            read(Term),
            (   Term = end_of_file
            ->  seen
            ;   assertz(Term), fail
            ),
        !,
        see(Old).
```

```
consult_with_streams(File) :-
        open(File, read, S),
        repeat,
            read(S, Term),
            (   Term = end_of_file
            ->  close(S)
            ;   assertz(Term), fail
            ),
        !.
```


Hibakezelési beépített eljárások

- Hibahelyzetet beépített eljárás rossz argumentumokkal való meghívása, vagy a `throw/1` (`raise_exception/1`) eljárás válthat ki.
- Minden hibahelyzetet egy Prolog kifejezés (ún. hiba-kifejezés) jellemez.
- Hiba „dobása”, azaz a `HibaKif` hibahelyzet kiváltása:
  `throw(@HibaKif)`,
  `raise_exception(@HibaKif)`
- Hiba „elkapása”:
  `catch(:+Cél, ?Minta, :+Hibaág)`,
  `on_exception(?Minta, :+Cél, :+Hibaág)`
  - Hatása: Futtatja a `Cél` hívást.
    - Ha `Cél` végrehajtása során hibahelyzet nem fordul elő, futása azonos `Cél`-lal.
    - Ha `Cél`-ban hiba van, a hiba-kifejezést egyesíti `Mintá`-val.
    - Ha ez sikeres, meghívja a `Hibaág`-at.
    - Ellenkező esetben továbbdobja a hiba-kifejezést, hogy a további körülvevő `catch` eljárások esetleg elkaphassák azt.

Programfejlesztési beépített eljárások (SICStus specifikusak)

- `set_prolog_flag(+Jelző, @Érték)`: `Jelző` értkékét `Érték`-re állítja.
- `current_prolog_flag(?Jelző, ?Érték)`: `Jelző` pillanatnyi értéke `Érték`.
- Néhány fontos Prolog jelző:
  - `language`: végrehajtási mód (`sicstus`, `iso`).
  - `argv`: csak olvasható, a parancssorbeli argumentumok listája.
  - `unknown`: viselkedés definiálatlan eljárás hívásakor (`trace`, `fail`, `error`).
  - `source_info`: forrásszintű nyomkövetés (`on`, `off`, `emacs`).
- `consult(:@Files)`, `[:@File,...]`: Betölti a `File`(ok)at, interpretált alakban.
- `compile(:@File)`: Betölti a `File`(ok)at, leforditott alakot hozva létre.
- `listing`: Kiírja az összes interpretált eljárást az aktuális kimenetre.
- `listing(:@EljárásSpec)`: Kiírja a megnevezett interpretált eljárásokat.
- Itt és később: `EljárásSpec` — név vagy funktor, eseteg modul-kvalifikációval ellátva, ill. ezek listája, pl. `listing(p)`, `listing([m:q,p/1])`.

Programfejlesztési eljárások (folytatás)

- `statistics`: Különféle statisztikákat ír ki az aktuális kimenetre.
- `statistics(?Fajta, ?Érték)`: `Érték` a `Fajta` fajtájú mennyiség értéke.
  - Példa: `statistics(runtime, E)` $\Longrightarrow$`E=[Tdiff, T]`, `Tdiff` az előző lekérdezés óta, `T` a rendszerindítás óta eltelt idő, ezredmásodpercben.
- `break`: Egy új interakciós szintet hoz létre.
- `abort`, `halt`: Kilép a legkülső interakciós szintre ill. a Prolog rendszerből.
- `trace`: Elindítja az interaktív nyomkövetést.
- `debug`, `zip`: Elindítja a szelektív nyomkövetést, csak spion-pontoknál áll meg. (A `zip` mód gyorsabb, de nem gyűjt annyi információt mint a `debug` mód.)
- `nodebug`, `notrace`, `nozip`: Leállítja a nyomkövetést.
- `spy(:@EljárásSpec)`: Spion-pontot tesz a megadott eljárásokra.
- `nospy(:@EljárásSpec)`: Megszünteti a megadott spion-pontokat.
- `nospyall`: Az összes spion-pontot megszünteti.

FEJLETTEBB NYELVI ÉS RENDSZERELEMEK

Külső nyelvi interfész

- Hagyományos (pl. C nyelvű) programrészek meghívásának módja:
  - A Prolog rendszer elvégzi az átalakítást a Prolog alak és a külső nyelvi alak között. Kényelmesebb, biztonságosabb mint a másik módszer, de kevésbé hatékony. Többnyire csak egyszerű adatokra (egész, valós, atom). (MProlog)
  - A külső nyelvi rutin pointereket kap Prolog adatstruktúrákra, valamint hozzáférési algoritmusokat ezek kezelésére. Nehézkesebb, veszélyesebb, de jóval hatékonyabb mint az előző megoldás. Összetett adatok adásvételére is jó. (SWI, SICStus)

Külső nyelvi interfész — példa

- A példa a `library(bdb)` megvalósításából származik.
- A C nyelven megirandó eljárás Prolog hívási alakja:
  `index_keys(+Spec, +Kif, -Kulcs, -Szám)`
- A megirandó eljárás jelentése:
  - Ha *Spec* és *Kif* különböző funktorú kifejezések, akkor *Szám* = −1 és *Kulcs* = [].
  - Egyébként, ha *Spec* valamelyik argumentuma + és *Kif* megfelelő argumentuma változó, akkor *Szám* = −2 és *Kulcs* = [].
  - Egyébként *Szám* a *Spec* argumentumaként előforduló + névkonstansok száma, *Kulcs* pedig *Kif* megfelelő argumentumainak *kivonatából* képzett lista. A kivonat lényegében az argumentum funktora, azzal az eltéréssel, hogy a konstansok kivonata maga a konstans, struktúrák esetén pedig a struktúra neve és az aritása külön elemként kerül a kivonat-listába.

Külső nyelvi interfész — példa

- A példaeljárás használata

```
| ?- [ixtest].
| ?- index_keys(f(+, -, +, +),
                f(12.3, _, s(1, _, z(2)), t),
                Kulcs, Szam).
Kulcs = [12.3,s,3,t], Szam = 3 ?
```

- Az `ixtest.pl` Prolog file tartalmazza az interfész specifikációját:

```
foreign(ixkeys, index_keys(+term, +term, -term, [-integer])).
                            % 1. arg: bemenő, általános kifejezés
                            % 2. arg: bemenő, általános kifejezés
                            % 3. arg: kimenő, általános kifejezés
                            % 4. arg: a C függvény értéke, egész (long)
foreign_resource(ixkeys, [ixkeys]).

:- load_foreign_resource(ixkeys).
```

- A C programot elő kell készíteni a Prolog számára az `splfr` (link foreign resource) eszköz segítségével:

```
splfr ixkeys ixtest.pl +c ixkeys.c
```


Külső nyelvi interfész — a C kód (`ixkeys.c` állomány)

```
#include <sicstus/sicstus.h>

#define NA -1  /* not applicable */
#define NI -2  /* instantiatedness */

long ixkeys(SP_term_ref spec,
      SP_term_ref term, SP_term_ref list)
{
  unsigned long sname, tname, plus;
  int sarity, tarity, i;
  long ret = 0;
  SP_term_ref arg = SP_new_term_ref(),
              tmp = SP_new_term_ref();

  SP_get_functor(spec, &sname, &sarity);
  SP_get_functor(term, &tname, &tarity);
  if (sname != tname || sarity != tarity)
    return NA;

  plus = SP_atom_from_string("+");

  for (i = sarity; i > 0; --i) {
    unsigned long t;
    SP_get_arg(i, spec, arg);
    SP_get_atom(arg, &t); /* no check */
    if (t != plus) continue;

    SP_get_arg(i, term, arg);
    switch (SP_term_type(arg)) {
    case SP_TYPE_VARIABLE:
      return NI;
    case SP_TYPE_COMPOUND:
      SP_get_functor(arg, &tname, &tarity);
      SP_put_integer(tmp, (long)tarity);
      SP_cons_list(list, tmp, list);
      SP_put_atom(arg, tname);
      break;
    }
    SP_cons_list(list, arg, list); ++ret;
  }
  return ret;
}
```


Hasznos lehetőségek SICStus Prolog-ban

- Tetszőleges nagyságú egész számok

  pl.:

```
| ?- fakt(40,F).

F = 815915283247897734345611269596115894272000000000 ?
```

- Globális változók (Blackboard)

  `bb_put(Kulcs, Érték)`

  A `Kulcs` kulcs alatt eltárolja `Érték`-et, az előző értéket, ha van, törölve. (`Kulcs` egy (kis) egész szám vagy névkonstans lehet.)

  `bb_get(Kulcs, Érték)`

  Előhívja `Érték`-be a `Kulcs` értékét.

  `bb_delete(Kulcs, Érték)`

  Előhívja `Érték`-be a `Kulcs` értékét, majd kitörli.

Hasznos lehetőségek SICStus Prolog-ban *(folytatás)*

- Visszaléptethető módon változtatható kifejezések

  `create_mutable(Adat, ValtKif)`

  `Adat` kezdőértékkel létrehoz egy új változtatható kifejezést, ez lesz `ValtKif`. `Adat` nem lehet üres változó.

  `get_mutable(Adat, ValtKif)`

  `Adat`-ba előveszi `ValtKif` pillanatnyi értékét.

  `update_mutable(Adat, ValtKif)`

  A `ValtKif` változtatható kifejezés új értéke `Adat` lesz. Ez a változtatás visszalépéskor visszacsinálódik. `Adat` nem lehet üres változó.

- Takarító eljárás

  `call_cleanup(Hivas, Tiszito)`

  Meghívja `call(Hivas)`-t és ha az véglegesen befejezte futását, meghívja `Tiszito`-t. Egy eljárás akkor fejezte be véglegesen a futását, ha további alternatívák nélkül sikerült, meghiúsult vagy kivételt dobott.

Fejlett vezérlési lehetőségek SICStusban: Blokk-deklarációk

- Példa:

```
:- block p(-, ?, -, ?, ?).
```

  Jelentése: ha az első és a harmadik argumentum is behelyettesítetlen változó (blokkolási feltétel), akkor a `p` hívás felfüggesztődik.

  Ugyanarra az eljárásra több vagylagos feltétel is szerepelhet, pl.

```
:- block p(-, ?), p(?, -).
```

- Végtelen választási pontok kiküszöbölése blokk-deklarációval

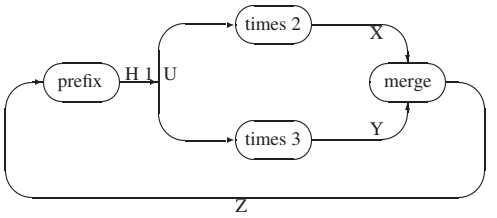
```
:- block append(-, ?, -).

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


Blokk-deklarációk *(folytatás)*

- Generál-és-ellenőriz típusú programok gyorsítása
  - általában nem hatékonyak (pl megrajzolja_1), mert túl sok visszalépést használnak
  - korutinszervezéssel a generáló és ellenőrző rész "automatikusan" összefésülhető
  - ehhez az ellenőrző részt kell előre tenni és megfelelően blokkolni
- Korutinszervezésre épülő programok
  - Példa: egyszerűsített Hamming feladat
    - keressük a $2^i * 3^j (i \geq 1, j \geq 1)$ alakú számok közül az első `N` darabot nagyság szerint rendezve.
    - "stream-and-parallelism" közelítésmódot használva korutinszervezéssel egyszerűen lehet megoldani

Hamming probléma




```
% A H lista az első N, csak a 2 és 3 tényezőkből álló szám.
hamming(N, H) :-
     U = [1|H], times(U, 2, X), times(U, 3, Y),
     merge(X, Y, Z), prefix(N, Z, H).

% times(X, M, Z): A Z lista az X elemeinek M-szerese
:- block times(-, ?, ?).
times([A|X], M, Z) :- B is M*A, Z = [B|U], times(X, M, U).
times([], _, []).
```

Hamming probléma (folyt.)

```
% merge(X, Y, Z): Z az X és Y összefésülése.
:- block merge(-, ?, ?), merge(?, -, ?).
% Csak akkor fusson, ha az első két argumentum ismert
merge([A|X], [B|Y], V) :-
     A < B, !, V = [A|Z], merge(X, [B|Y], Z).
merge([A|X], [B|Y], V) :-
     B < A, !, V = [B|Z], merge([A|X], Y, Z).
merge([A|X], [A|Y], [A|Z]) :-
     merge(X, Y, Z).
merge([], X, X) :- !.
merge(_, [], []).

% prefix(N, X, Y): Az X lista első N eleme Y.
prefix(0, _, []) :- !.
prefix(N, [A|X], [A|Y]) :-
     N > 0, N1 is N-1, prefix(N1, X, Y).
```


Korutinszervező eljárások

- `freeze(X, Hivas)`

  `Hivas`t felfüggeszti mindaddig, amig `X` behelyettesítetlen változó.

- `frozen(X, Hivas)`

  Az `X` változó miatt felfüggesztett hívás(oka)t egyesíti `Hivas`-sal.

- `dif(X, Y)`

  `X` és `Y` nem egyesíthető. Mindaddig felfüggesztődik, amig ez el nem dönthető.

- `call_residue(Hivas, Maradék)`

  `Hivas`-t végrehajtja, és ha a sikeres lefutás után maradnak felfüggesztett hívások, akkor azokat visszaadja `Maradékban`. Pl.

```
| ?- call_residue(dif(X, f(Y)), Maradek).
        ⟹ Maradek = [[X]-(prolog:dif(X,f(Y)))]
| ?- call_residue((dif(X, f(Y)), X=f(Z)), Maradek).
        ⟹ X = f(Z), Maradek = [[Y,Z]-(prolog:dif(f(Z),f(Y)))]
```


SICStus könyvtárak

- Könyvtár betöltése

  `:- use_module(library(`*könyvtárnév*`)).`

- A legfontosabb könyvtárak
  - `arrays` Logaritmikus elérési idejű kiterjeszthető tömbök megvalósítását tartalmazza.
  - `assoc` AVL fák segítségével valósítja meg az „asszociációs listák”, azaz véges Prolog kifejezéshalmazokon definiált kiterjeszthető leképezések fogalmát.
  - `atts` tetszőleges attributumokat enged a Prolog változókhoz rendelni, ezeket tárolórekeszként és a Prolog egyesítési mechanizmusának módosítására is engedi használni.
  - `heaps` A bináris kazal (heap) fogalmát valósítja meg, amely főként prioritásos sorok (priority queue) megvalósítására használható.
  - `lists` Biztosítja a listakezelő alapműveleteket.
  - `terms` Különböző kifejezéskezelő eljárásokat tartalmaz.
  - `ordsets` Halmazműveleteket definiál (halmaz ≡ `@<` szerint rendezett lista).
  - `queues` Sorokra (queue, FIFO store) vonatkozó műveleteket definiál.
  - `random` Egy véletelenszám-generátort tartalmaz.

- `system` Különféle operációsrendszer-szolgáltatások elérését biztosítja.
- `trees` Az `arrays` könyvtárhoz hasonló, de nem-kiterjeszthető logaritmikus elérési idejű tömbfogalmat valósít meg, bináris fákkal (kicsit hatékonyabb mint az `arrays` könyvtár).
- `ugraphs` Irányított és irányítatlan gráffogalmat valósít meg, élcimkék nélkül.
- `wgraphs` Olyan irányított és irányítatlan gráffogalmat valósít meg, ahol minden él egy egészértékű súllyal rendelkezik.
- `sockets` A socket-ek kezelésére szolgáló eljárásokat biztosít.
- `linda/client` és `linda/server` Linda-szerű processzkommunikációs eszközöket ad.
- `bdb` Felhasználó által definiált többszörös indexelést lehetővé tevő, Prolog kifejezések állományokban való tárolására szolgáló adatbázis-rendszer.
- `clpb` Boole-értékekre vonatkozó feltétel-megoldó (constraint solver).
- `clpq` és `clpr` Feltétel-megoldó a Q (racionális számok) ill. R (valós számok) tartományán.
- `clpfd` Véges tartományokra vonatkozó feltétel-megoldó (constraint solver).
- `tcltk` A *Tcl/Tk* nyelv és eszközkészlet elérését biztosítja.
- `gauge` Prolog programok a profilirozására szolgáló, a `tcltk` -n alapuló grafikus eszköz.
- `charsio` Karaktersorozatból olvasó ill. abba író be- és kiviteli eljárások gyüjteménye.
- `timeout` Lehetőséget ad arra, hogy célok futási idejét korlátozzuk.