

IB013 Logické programování I
(průsvitky ze cvičení)

Hana Rudová

jaro 2012

Backtracking, unifikace, aritmetika

Syntaxe logického programu

Term:

- univerzální datová struktura (slouží také pro příkazy jazyka)
- definovaný rekurzivně
- **konstanty**: číselné, alfanumerické (začínají malým písmenem), ze speciálních znaků (operátory)
- **proměnné**: pojmenované (alfanumerické řetězce začínající velkým písmenem), anonymní (začínají podtržítkem)
- **složený term**: funktor, arita, argumenty struktury jsou opět termy

Anatomie a sémantika logického programu

- **Program**: množina predikátů (v jednom nebo více souborech).
- **Predikát** (procedura) je seznam klauzulí s hlavou stejného jména a arity
- **Klauzule**: věty ukončené tečkou, se skládají z hlavy a těla.
Prázdné tělo mají **fakta**, neprázdné pak **pravidla**, existují také klauzule bez hlavy – direktivy.
Hlavu tvoří **literál (složený term)**, tělo seznam literálů.
Literálům v těle nebo v dotazu říkáme **cíle**.
Dotazem v prostředí interpretu se spouští programy či procedury.
 - př. `otec(Otec,Dite) :- rodic(Otec,Dite), muz(Otec).`
`rodic(petr, jana).`
`:- otec(Otec, jana).`

Sémantika logického programu:

procedury \equiv databáze faktů a pravidel \equiv logické formule

The screenshot shows the SICStus Eclipse IDE interface. The top menu bar includes File, Edit, SICStus, Source, Navigate, Search, Project, Run, Favorites, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations and debugging. The main workspace is divided into several panes:

- Debug**: Shows the Prolog Top-level Configuration [SICStus Launch Configuration Type 1], Prolog Target, and Prolog Top-level Process.
- Variables**: A table showing current variable values:

Name	Value
Suff	[a, _7551, c]
X	_1810
- Breakpoints**: Currently empty.
- Outline**: Lists predicates: my_pred1/1 and my_pred2/2.
- Code Editor**: Displays the Prolog source code for my_module.pro. A tooltip is shown over the `suffix` predicate definition:


```

      - suffix(?List, ?Suffix)
      is true when List and Suffix are lists and Suffix is a suffix of List. It terminates only if List is proper, and has at most N+1 solutions. Suffixes are enumerated in descending order of length.
      (documentation formatting will be improved later!)
      
```
- Console**: Shows the execution log:


```

      Toplevel 1 in C:/Users/perm.SICS-AD/runtime-EclipseApplication42/My Prolog Project
      2      2 Exit: assert(my_module:seen_xs(_1810)) ?
      3      2 Call: suffix([a,_7551,c],_1810) ? |
      
```

SICStus Prolog: spuštění programu

● UNIX:

module add sicstus-4.1.3

eclipse % používání IDE SPIDER

sicstus % používání přes příkazový řádek

● MS Windows:

● používání IDE SPIDER: z nabídky All Programs -> IDE -> Eclipse 3.7

● příkazový řádek: z nabídky All Programs -> IDE -> SICStus Prolog VC9 4.2.0
nastavíme pracovní adresář pomocí File/Working directory, v případě
potřeby nastavíme font Settings/Font a uložíme nastavení Settings/Save
settings.

● Iniciální nastavení SICStus IDE v Eclipse pomocí

[Help->Cheat Sheets->Initial set up of paths to installed SICStus Prolog](#) s cestou

"C:\Program Files (x86)\SICStus Prolog VC9 4.2.0\bin\sicstus.exe"

návod: <http://www.sics.se/sicstus/spider/site/prerequisites.html#SettingUp>

SICStus Prolog: konzultace

- **Otevření souboru:** File->Open File
- **Přístup k příkazové řádce pro zadávání dotazů:** SICStus->Open Toplevel
- **Načtení programu:** tzv. konzultace
 - přímo z Menu: SICStus->Consult Prolog Code (okno s programem aktivní)
 - nebo zadáním na příkazový řádek po uložení souboru (Ctrl+S)
 - ?- `consult(rodokmen).`
 - pokud uvádíme celé jméno případně cestu, dáváme jej do apostrofů
 - ?- `consult('D:\prolog\moje\programy\rodokmen.pl').`
- V Eclipse lze nastavit Key bindings, pracovní adresář, ...

SICStus Prolog: spouštění a přerušení výpočtu

- **Spouštění programů/procedur/predikátů** je zápis dotazů na příkazové řádce (v okně TopLevel, kurzor musí být na konci posledního řádku s | ?-), př.

?- predek(petr, lenka) .

?- predek(X, Y) .

Každý příkaz ukončujeme tečkou.

- **Přerušení a zastavení cyklícího programu:**

pomocí ikony Restart Prolog  z okna Toplevel

Příklad rodokmen

rodic(petr, filip).

rodic(petr, lenka).

rodic(pavel, jan).

rodic(adam, petr).

rodic(tomas, michal).

rodic(michal, radek).

rodic(eva, filip).

rodic(jana, lenka).

rodic(pavla, petr).

rodic(pavla, tomas).

rodic(lenka, vera).

muz(petr).

muz(filip).

muz(pavel).

muz(jan).

muz(adam).

muz(tomas).

muz(michal).

muz(radek).

zena(eva).

zena(lenka).

zena(pavla).

zena(jana).

zena(vera).

otec(Otec,Dite) :- rodic(Otec,Dite), muz(Otec).

Backtracking: příklady

V pracovním adresáři vytvořte program `rodokmen.pl`.

Načtěte program v interpretu (konzultujte).

V interpretu Sicstus Prologu pokládejte dotazy:

- Je Petr otcem Lenky?
- Je Petr otcem Jana?
- Kdo je otcem Petra?
- Jaké děti má Pavla?
- Ma Petr dceru?
- Které dvojice otec-syn známe?

Backtracking: příklady II

Predikát potomek/2:

```
potomek(Potomek,Predek) :- rodic(Predek,Potomek).
```

```
potomek(Potomek,Predek) :- rodic(Predek,X), potomek(Potomek,X).
```

Naprogramujte predikáty

- `prababicka(Prababicka,Pravnouce)`

- `nevlastni_bratr(Nevlastni_bratr,Nevlastni_sourozenec)`

nápověda: využijte `X \== Y` (X a Y nejsou identické)

Backtracking: porovnání

Nahrad'te ve svých programech volání predikátu `rodic/2` následujícím predikátem `rodic_v/2`

```
rodic_v(X,Y):-rodic(X,Y),print(X),print('? ').
```

Pozorujte rozdíly v délce výpočtu dotazu `nevlastni_bratr(filip,X)` při změně pořadí testů v definici predikátu `nevlastni_bratr/2`

- varianta 1: testy co nejdříve správně
- varianta 2: všechny testy umístěte na konec chybně

Co uvidíme po nahrazení predikátu `rodic/2` predikátem `rodic_v/2` v predikátech `nevlastni_bratr/2` a `nevlastni_bratr2/2` a spuštění?

Backtracking: prohledávání stavového prostoru

potomek(Potomek,Predek) :- rodic(Predek,Potomek).

potomek(Potomek,Predek) :- rodic(Predek,X), potomek(Potomek,X).

- Zkuste předem odhadnout (odvodit) pořadí, v jakem budou nalezeni potomci Pavly?

:- potomek(X,pavla).

- Jaký vliv má pořadí klauzulí a cílu v predikátu potomek/2 na jeho funkci?

rodic(petr, filip).

rodic(petr, lenka).

rodic(pavel, jan).

rodic(adam, petr).

rodic(tomas, michal).

rodic(michal, radek).

rodic(eva, filip).

rodic(jana, lenka).

rodic(pavla, petr).

rodic(pavla, tomas).

rodic(lenka, vera).

Unifikace:příklady

Které unifikace jsou korektní, které ne a proč?

Co je výsledkem provedených unifikací?

1. $a(X)=b(X)$

2. $X=a(Y)$

3. $a(X)=a(X,X)$

4. $X=a(X)$

5. $jmeno(X,X)=jmeno(Petr,plus)$

6. $s(1,a(X,q(w)))=s(Y,a(2,Z))$

7. $s(1,a(X,q(X)))=s(W,a(Z,Z))$

8. $X=Y, P=R, s(1,a(P,q(R)))=s(Z,a(X,Y))$

Mechanismus unifikace I

Unifikace v průběhu dokazování predikátu odpovídá předávání parametrů při provádění procedury, ale je důležité uvědomit si rozdíly. Celý proces si ukážeme na příkladu predikátu `suma/3`.

```
suma(0,X,X).                /*klauzule A*/  
suma(s(X),Y,s(Z)):-suma(X,Y,Z).  /*klauzule B*/
```

pomocí substitučních rovnic při odvozování odpovědi na dotaz

?- `suma(s(0),s(0),X0)`.

Mechanismus unifikace II

suma(0,X,X) . /*A*/

suma(s(X),Y,s(Z)) :- suma(X,Y,Z) . /*B*/

?- suma(s(0),s(0),X0) .

1. dotaz unifikujeme s hlavou klauzule B, s A nejde unifikovat (1. argument)

$$\text{suma}(s(0),s(0),X0) = \text{suma}(s(X1),Y1,s(Z1))$$
$$\implies X1 = 0, Y1 = s(0), s(Z1) = X0$$
$$\implies \text{suma}(0,s(0),Z1)$$

2. dotaz (nový podcíl) unifikujeme s hlavou klauzule A, klauzuli B si poznačíme jako další možnost

$$\text{suma}(0,s(0),Z1) = \text{suma}(0,X2,X2)$$
$$X2 = s(0), Z1 = s(0)$$
$$\implies X0 = s(s(0))$$
$$X0 = s(s(0)) ;$$

2' dotaz z kroku 1. nejde unifikovat s hlavou klauzule B (1. argument)

no

Vícesměrnost predikátů

Logický program lze využít vícesměrně, například jako

● výpočet kdo je otcem Petra? ?- otec(X, petr) .

kolik je 1+1? ?- suma(s(0), s(0), X) .

● test je Jan otcem Petra? ?- otec(jan, petr) .

Je 1+1 2? ?- suma(s(0), s(0), s((0))) .

● generátor které dvojice otec-dítě známe? ?-otec(X, Y) .

Které X a Y dávají v součtu 2? ?- suma(X, Y, s(s(0))) .

... ale pozor na levou rekurzi, volné proměnné, asymetrii, a jiné záležitosti

Následující dotazy

?-suma(X, s(0), Z) .

?-suma(s(0), X, Z) .

nedávají stejné výsledky. Zkuste si je odvodit pomocí substitučních rovnic.

Aritmetika

Zavádíme z praktických důvodů, ale aritmetické predikáty již nejsou vícesměrné, protože v každém aritmetickém výrazu musí být všechny proměnné instaciovány číselnou konstantou.

Důležitý rozdíl ve vestavěných predikátech $is/2$ vs. $=/2$ vs. $:=/2$

$is/2$: $\langle \text{konstanta nebo proměnná} \rangle is \langle \text{aritmetický výraz} \rangle$

výraz na pravé straně je nejdříve aritmeticky vyhodnocen a pak unifikován s levou stranou

$=/2$: $\langle \text{libovolný term} \rangle = \langle \text{libovolný term} \rangle$

levá a pravá strana jsou unifikovány

$:=/2$ **$=\backslash=/2$** **$>=/2$** **$=</2$**

$\langle \text{aritmetický výraz} \rangle := \langle \text{aritmetický výraz} \rangle$

$\langle \text{aritmetický výraz} \rangle =\backslash= \langle \text{aritmetický výraz} \rangle$

$\langle \text{aritmetický výraz} \rangle =\langle \langle \text{aritmetický výraz} \rangle$

$\langle \text{aritmetický výraz} \rangle >= \langle \text{aritmetický výraz} \rangle$

levá i pravá strana jsou nejdříve aritmeticky vyhodnoceny a pak porovnány

Aritmetika: příklady

Jak se liší následující dotazy (na co se kdy ptáme)? Které uspějí (kladná odpověď), které neuspějí (záporná odpověď), a které jsou špatně (dojde k chybě)? Za jakých předpokladů by ty neúspěšné případně špatně uspěly?

1. $X = Y + 1$

2. $X \text{ is } Y + 1$

3. $X = Y$

4. $X == Y$

5. $1 + 1 = 2$

6. $2 = 1 + 1$

7. $1 + 1 = 1 + 1$

8. $1 + 1 \text{ is } 1 + 1$

9. $1 + 2 ::= 2 + 1$

10. $X \backslash == Y$

11. $X = \backslash = Y$

12. $1 + 2 = \backslash = 1 - 2$

13. $1 \leq 2$

14. $1 = < 2$

15. $\sin(X) \text{ is } \sin(2)$

16. $\sin(X) = \sin(2+Y)$

17. $\sin(X) ::= \sin(2+Y)$

Nápověda: '='/2 unifikace, '=='/2 test na identitu, '::='/2 aritmetická rovnost, '\=='/2 negace testu na identitu, '= \=' /2 aritmetická nerovnost

Aritmetika: příklady II

Jak se liší predikáty $s1/3$ a $s2/3$? Co umí $s1/3$ navíc oproti $s2/3$ a naopak?

$s1(0, X, X)$.

$s1(s(X), Y, s(Z)) :- s1(X, Y, Z)$.

$s2(X, Y, Z) :- Z \text{ is } X + Y$.

Závěr

Dnešní látku jste pochopili dobře, pokud víte

- jaký vliv má pořadí klauzulí a cílu v predikátu potomek/2 na jeho funkci,
- jak umisťovat testy, aby byl prohledávaný prostor co nejmenší (příklad nevlastni_bratr/2),
- k čemu dojde po unifikaci $X=a(X)$,
- proč neuspěje dotaz ?- $X=2$, $\sin(X)$ is $\sin(2)$.
- za jakých předpokladů uspějí tyto cíle $X=Y$, $X==Y$, $X:=Y$,
- a umíte odvodit pomocí substitučních rovnic odpovědi na dotazy $\text{suma}(X,s(0),Z)$ a $\text{suma}(s(0),X,Z)$.

Seznamy, řez

Reprezentace seznamu

- **Seznam**: $[a, b, c]$, prázdný seznam $[]$
- **Hlava (libovolný objekt), tělo (seznam)**: $.(Hlava, TeĽo)$
 - všechny strukturované objekty stromy – i seznamy
 - funktor ".", dva argumenty
 - $.(a, .(b, .(c, []))) = [a, b, c]$
 - notace: $[Hlava | TeĽo] = [a|TeĽo]$
TeĽo je v $[a|TeĽo]$ seznam, tedy píšeme $[a, b, c] = [a|[b, c]]$
- Lze psát i: $[a,b|TeĽo]$
 - před "|" je libovolný počet prvků seznamu, za "|" je seznam zbývajících prvků
 - $[a,b,c] = [a|[b,c]] = [a,b|[c]] = [a,b,c|[]]$
 - pozor: $[[a,b] | [c]] \neq [a,b | [c]]$
- Seznam jako **neúplná datová struktura**: $[a,b,c|T]$
 - Seznam = $[a,b,c|T]$, $T = [d,e|S]$, Seznam = $[a,b,c,d,e|S]$

Cvičení: append/2

```
append( [], S, S ).      % (1)
```

```
append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3).  % (2)
```

```
:- append([1,2],[3,4],A).
```

```
    | (2)
```

```
    | A=[1|B]
```

```
:- append([2],[3,4],B).
```

```
    | (2)
```

```
    | B=[2|C] => A=[1,2|C]
```

```
:- append([], [3,4],C).
```

```
    | (1)
```

```
    | C=[3,4] => A=[1,2,3,4],
```

```
yes
```


Cvičení: append/2

```
append( [], S, S ).      % (1)
```

```
append( [X|S1], S2, [X|S3] ) :- append( S1, S2, S3).  % (2)
```

```
:- append([1,2],[3,4],A).
```

```
    | (2)
```

```
    | A=[1|B]
```

```
:- append([2],[3,4],B).
```

```
    | (2)
```

```
    | B=[2|C] => A=[1,2|C]
```

```
:- append([], [3,4],C).
```

```
    | (1)
```

```
    | C=[3,4] => A=[1,2,3,4],
```

```
yes
```

Předchudce a následník prvku X v seznamu S

```
hľedej(S,X,Pred,Po) :- append( _S1, [ Pred,X,Po | _S2 ], S)
```

Seznamy a append

`append([], S, S).`

`append([X|S1], S2, [X|S3]) :- append(S1, S2, S3).`

Napište následující predikáty pomocí `append/3`:

● `prefix(S1, S2) :-`

DŮ: `suffix(S1,S2)`

Seznamy a append

`append([], S, S).`

`append([X|S1], S2, [X|S3]) :- append(S1, S2, S3).`

Napište následující predikáty pomocí `append/3`:

● `prefix(S1, S2) :-`

DÚ: `suffix(S1,S2)`

● `last(X, S) :-`

`append([3,2], [6], [3,2,6]).` `X=6, S=[3,2,6]`

Seznamy a append

`append([], S, S).`

`append([X|S1], S2, [X|S3]) :- append(S1, S2, S3).`

Napište následující predikáty pomocí `append/3`:

● `prefix(S1, S2) :-`

DÚ: `suffix(S1,S2)`

● `last(X, S) :-`

`append([3,2], [6], [3,2,6]).` `X=6, S=[3,2,6]`

● `member(X, S) :-`

`append([3,4,1], [2,6], [3,4,1,2,6]).` `X=2, S=[3,4,1,2,6]`

DÚ: `adjacent(X,Y,S)`

Seznamy a append

`append([], S, S).`

`append([X|S1], S2, [X|S3]) :- append(S1, S2, S3).`

Napište následující predikáty pomocí `append/3`:

● `prefix(S1, S2) :-`

DÚ: `suffix(S1,S2)`

● `last(X, S) :-`

`append([3,2], [6], [3,2,6]).` `X=6, S=[3,2,6]`

● `member(X, S) :-`

`append([3,4,1], [2,6], [3,4,1,2,6]).` `X=2, S=[3,4,1,2,6]`

DÚ: `adjacent(X,Y,S)`

● `% sublist(+S,+ASB)`

`sublist(S,ASB) :-`

POZOR na efektivitu, bez `append` lze často napsat efektivněji

Optimalizace posledního volání

● Last Call Optimization (LCO)

● Implementační technika snižující nároky na paměť

● Mnoho vnořených rekurzivních volání je náročné na paměť

● Použití LCO umožňuje vnořenou rekurzi s konstantními paměťovými nároky

● Typický příklad, kdy je možné použití LCO:

● procedura musí mít pouze jedno rekurzivní volání: **v posledním cíli poslední klauzule**

● cíle předcházející tomuto rekurzivnímu volání musí být **deterministické**

● `p(...) :- ...` % žádné rekurzivní volání v těle klauzule

`p(...) :- ...` % žádné rekurzivní volání v těle klauzule

...

`p(...)` :- ..., !, `p(...)`. % řez zajišťuje determinismus

● Tento typ **rekurze lze převést na iteraci**

LCO a akumulátor

- Reformulace rekurzivní procedury, aby umožnila LCO
- Výpočet délky seznamu `length(Seznam, Deřka)`

`length([], 0)`.

`length([H | T], Deřka) :- length(T, Deřka0), Deřka is 1 + Deřka0.`

LCO a akumulátor

- Reformulace rekurzivní procedury, aby umožnila LCO
- Výpočet délky seznamu `length(Seznam, DeĽka)`

`length([], 0).`

`length([H | T], DeĽka) :- length(T, DeĽka0), DeĽka is 1 + DeĽka0.`

- Upravená procedura, tak aby umožnila LCO:

```
% length( Seznam, ZapocitanaDeĽka, CelkovaDeĽka ):
```

```
%           CelkovaDeĽka = ZapocitanaDeĽka + ,,počet prvků v Seznam''
```


LCO a akumulátor

- Reformulace rekurzivní procedury, aby umožnila LCO
- Výpočet délky seznamu `length(Seznam, Delka)`

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

```
length( [ H | T ], Delka ) :- length( T, Delka0 ), Delka is 1 + Delka0.
```

- Upravená procedura, tak aby umožnila LCO:

```
% length( Seznam, ZapocitanaDelka, CelkovaDelka ):
```

```
%           CelkovaDelka = ZapocitanaDelka + „počet prvků v Seznam“
```

```
length( Seznam, Delka ) :- length( Seznam, 0, Delka ). % pomocný predikát
```

```
length( [], Delka, Delka ). % celková délka = započítaná délka
```

```
length( [ H | T ], A, Delka ) :- A0 is A + 1, length( T, A0, Delka ).
```

- Příkladový argument se nazývá **akumulátor**

Akumulátor a `sum_list(S, Sum)`

?- `sum_list([2,3,4], Sum)`.

s akumulátorem:

Výpočet faktoriálu $\text{fact}(N, F)$

s akumulátorem:

r(X):-write(r1).

r(X):-p(X),write(r2).

r(X):-write(r3).

p(X):-write(p1).

p(X):-a(X),b(X),!,

 c(X),d(X),write(p2).

p(X):-write(p3).

a(X):-write(a1).

a(X):-write(a2).

b(X):- X > 0, write(b1).

b(X):- X < 0, write(b2).

c(X):- X mod 2 == 0, write(c1).

c(X):- X mod 3 == 0, write(c2).

d(X):- abs(X) < 10, write(d1).

d(X):- write(d2).

Prozkoumejte trasy výpočtu a navracení
např. pomocí následujících dotazů (vždy si
středníkem vyžádejte navracení):

(1) X=1,r(X).

(2) X=3,r(X).

(3) X=0,r(X).

(4) X= -6,r(X).

```

r(X):-write(r1).
r(X):-p(X),write(r2).
r(X):-write(r3).

p(X):-write(p1).
p(X):-a(X),b(X),!,
    c(X),d(X),write(p2).
p(X):-write(p3).

a(X):-write(a1).
a(X):-write(a2).

b(X):- X > 0, write(b1).
b(X):- X < 0, write(b2).

c(X):- X mod 2 == 0, write(c1).
c(X):- X mod 3 == 0, write(c2).

d(X):- abs(X) < 10, write(d1).
d(X):- write(d2).

```

Prozkoumejte trasy výpočtu a navracení např. pomocí následujících dotazů (vždy si středníkem vyžádejte navracení):

- | | |
|---------------|-----------------|
| (1) X=1,r(X). | (2) X=3,r(X). |
| (3) X=0,r(X). | (4) X= -6,r(X). |

Řez: maximum

Je tato definice predikátu max/3 korektní?

$\text{max}(X, Y, X) : -X \geq Y, ! .$

$\text{max}(X, Y, Y) .$

Řez: maximum

Je tato definice predikátu max/3 korektní?

$\text{max}(X, Y, X) : -X \geq Y, ! .$

$\text{max}(X, Y, Y) .$

Řez: member

Jaký je rozdíl mezi následujícími definicemi predikátů member/2. Ve kterých odpovědích se budou lišit? Vyzkoušejte např. pomocí member(X, [1,2,3]).

```
mem1(H, [H|_]) .
```

```
mem1(H, [_|T]) :- mem1(H,T) .
```

```
mem2(H, [H|_]) :- ! .
```

```
mem2(H, [_|T]) :- mem2(H,T) .
```

```
mem3(H, [K|_]) :- H==K .
```

```
mem3(H, [K|T]) :- H\==K, mem3(H,T) .
```


Řez: member

Jaký je rozdíl mezi následujícími definicemi predikátů member/2. Ve kterých odpovědích se budou lišit? Vyzkoušejte např. pomocí member(X, [1,2,3]).

```
mem1(H, [H|_]) .
```

```
mem1(H, [_|T]) :- mem1(H,T) .
```

```
mem2(H, [H|_]) :- ! .
```

```
mem2(H, [_|T]) :- mem2(H,T) .
```

```
mem3(H, [K|_]) :- H==K .
```

```
mem3(H, [K|T]) :- H\==K, mem3(H,T) .
```

Řez: delete

`delete(X, [X|S], S).`

`delete(X, [Y|S], [Y|S1]) :- delete(X,S,S1).`

Napište predikát `delete(X, S, S1)`, který odstraní všechny výskyty `X` (pokud se `X` v `S` nevyskytuje, tak predikát uspěje).

Seznamy: $\text{intersection}(A, B, C)$

DÚ: Napište predikát pro výpočet průniku dvou seznamů.

Nápověda: využijte predikát `member/2`

DÚ: Napište predikát pro výpočtu rozdílu dvou seznamů. Nápověda: využijte predikát `member/2`

**Vstup/výstup,
databázové operace,
rozklad termu**

Čtení ze souboru

```
process_file( Soubor ) :-
    seeing( StarySoubor ),           % zjištění aktivního proudu
    see( Soubor ),                   % otevření souboru Soubor
    repeat,
        read( Term ),                % čtení termu Term
        process_term( Term ),        % manipulace s termem
        Term == end_of_file,         % je konec souboru?
    !,
    seen,                             % uzavření souboru
    see( StarySoubor ).              % aktivace původního proudu

repeat.                               % vestavěný predikát
repeat :- repeat.
```

Predikáty pro vstup a výstup

```
| ?- read(A), read( ahoj(B) ), read( [C,D] ).
```

```
|: ahoj. ahoj( petre ). [ ahoj( 'Petre!' ), jdeme ].
```

A = ahoj, B = petre, C = ahoj('Petre!'), D = jdeme

```
| ?- write(a(1)), write('. '), nl, write(a(2)), write('. '), nl.
```

```
a(1).
```

```
a(2).
```

```
yes
```

- seeing, see, seen, read

- telling, tell, told, write

- see/tell(Soubor)

- pokud Soubor není otevřený: otevření a aktivace

- pokud Soubor otevřený: pouze aktivace (tj. udělá z něj aktivní vstupní/výstupní stream)

- standardní vstupní a výstupní stream: user

Příklad: vstup/výstup

Napište predikát `uloz_do_souboru(Soubor)`, který načte několik fakt ze vstupu a uloží je do souboru `Soubor`.

```
| ?- uloz_do_souboru( 'soubor.pl' ).  
|: fakt(mirek, 18).  
|: fakt(pavel,4).  
|: end_of_file.  
yes  
| ?- consult(soubor).  
% consulting /home/hanka/soubor.pl...  
% consulted /home/hanka/soubor.pl in module user, 0 msec  
% 376 bytes  
yes  
| ?- listing(fakt/2). % pozor:listing/1 lze použít pouze při consult/1 (ne u compile/1)  
fakt(mirek, 18).  
fakt(pavel, 4).  
yes
```

Databázové operace

- Databáze: specifikace množiny relací
- Prologovský program: **programová databáze**, kde jsou relace specifikovány explicitně (fakty) i implicitně (pravidly)

- Vestavěné predikáty pro změnu databáze během provádění programu:

`assert(Klauzule)` přidání Klauzule do programu

`asserta(Klauzule)` přidání na začátek

`assertz(Klauzule)` přidání na konec

`retract(Klauzule)` smazání klauzule unifikovatelné s Klauzule

- Pozor: `retract/1` lze použít pouze pro **dynamické klauzule** (přidané pomocí `assert`) a ne pro statické klauzule z programu
- Pozor: nadměrné použití těchto operací snižuje srozumitelnost programu

Databázové operace: příklad

Napište predikát `vytvor_program/0`, který načte několik klauzulí ze vstupu a uloží je do programové databáze.

```
| ?- vytvor_program.
```

```
|: fakt(pavel, 4).
```

```
|: pravidlo(X,Y) :- fakt(X,Y).
```

```
|: end_of_file.
```

yes

```
| ?- listing(fakt/2).
```

```
fakt(pavel, 4).
```

yes

```
| ?- listing(pravidlo/2).
```

```
pravidlo(A, B) :- fakt(A, B).
```

yes

```
| ?- clause( pravidlo(A,B), C). % clause/2 použitelný pouze pro dynamické klauzule
```

```
C = fakt(A,B) ?
```

yes

Konstrukce a dekompozice termu

- Konstrukce a dekompozice termu

Term =.. [Funktor | SeznamArgumentu]

a(9,e) =.. [a,9,e]

Cil =.. [Funktor | SeznamArgumentu], call(Cil)

atom =.. X \Rightarrow X = [atom]

- Pokud chci znát pouze funktor nebo některé argumenty, pak je efektivnější:

functor(Term, Funktor, Arita)

functor(a(9,e), a, 2)

functor(atom,atom,0) functor(1,1,0)

arg(N, Term, Argument)

arg(2, a(9,e), e)

Rekurzivní rozklad termu

- Term je proměnná (`var/1`), atom nebo číslo (`atomic/1`) \Rightarrow konec rozkladu
- Term je seznam (`[_|_]`) \Rightarrow
procházení seznamu a rozklad každého prvku seznamu
- Term je složený (`=.. /2`, `functor/3`) \Rightarrow
procházení seznamu argumentů a rozklad každého argumentu
- Příklad: `ground/1` uspěje, pokud v termu nejsou proměnné; jinak neuspěje

```
ground(Term) :- atomic(Term), !.           % Term je atom nebo číslo NEBO
ground(Term) :- var(Term), !, fail.       % Term není proměnná NEBO
ground([H|T]) :- !, ground(H), ground(T). % Term je seznam a ani hlava ani tělo
                                           % neobsahují proměnné NEBO
ground(Term) :- Term =.. [ _Funktor | Argumenty ], % je Term složený
                                           % a jeho argumenty
                                           % neobsahují proměnné
```

```
?- ground(s(2,[a(1,3),b,c],X)).
```

no

```
?- ground(s(2,[a(1,3),b,c])).
```

yes

subterm(S, T)

Napište predikát `subterm(S, T)` pro termy `S` a `T` bez proměnných, které uspějí, pokud je `S` podtermem termu `T`. Tj. musí platit alespoň jedno z

- podterm `S` je právě term `T` NEBO
- podterm `S` se nachází v hlavě seznamu `T` NEBO
- podterm `S` se nachází v těle seznamu `T` NEBO
- `T` je složený term (`compound/1`) a `S` je podtermem některého argumentu `T`

● otestujte `:- subterm(1,2).`

pokud nepoužijeme (`compound/1`), pak tento dotaz cyklí

● otestujte `:- subterm(a, [1,2]).` ověřte, zda necyklí (nutný červený řez níže)

| `?- subterm(sin(3), b(c,2, [1,b], sin(3), a)).` yes

same(A, B)

Napište predikát `same(A, B)`, který uspěje, pokud mají termy A a B stejnou strukturu. Tj. musí platit právě jedno z

- A i B jsou proměnné NEBO
- pokud je jeden z argumentů proměnná (druhý ne), pak predikát neuspěje, NEBO
- A i B jsou atomic a unifikovatelné NEBO
- A i B jsou seznamy, pak jak jejich hlava tak jejich tělo mají stejnou strukturu NEBO
- A i B jsou složené termy se stejným funktorem a jejich argumenty mají stejnou strukturu

| ?- same([1,3,sin(X),s(a,3)], [1,3,sin(X),s(a,3)]). yes

D.Ú. unify(A, B)

Napište predikát `unify(A, B)`, který unifikuje termy A a B a provede zároveň *kontrolu výskytu* pomocí `not_occurs(Var, Term)`.

```
| ?- unify([Y,3,sin(a(3)),s(a,3)], [1,3,sin(X),s(a,3)]).
```

```
X = a(3)      Y = 1      yes
```

not_occurs(A, B)

Predikát `not_occurs(A, B)` uspěje, pokud se proměnná `A` nevyskytuje v termu `B`.
Tj. platí jedno z

- `B` je atom nebo číslo NEBO
- `B` je proměnná různá od `A` NEBO
- `B` je seznam a `A` se nevyskytuje ani v těle ani v hlavě NEBO
- `B` je složený term a `A` se nevyskytuje v jeho argumentech

Definite-Clause Grammars (DCG)

Gramatiky uspořádaných klauzulí

Syntaktická analýza

Významná aplikace Prologu: syntaktická analýza

● `sentence --> noun_phrase, verb_phrase.`

`noun_phrase --> determiner, noun.`

`noun_phrase --> noun.`

`verb_phrase --> verb, noun_phrase.`

`verb_phrase --> verb.`

`determiner --> [the].`

`determiner --> [a].`

`noun --> [student].`

`noun --> [dcg].`

`verb --> [likes].`

● `| ?- sentence([a, student, likes, dcg]).`

`yes`

DCG a CFG

- DCG (DC gramatiky) jsou rozšířením bezkontextových gramatik (CFG)
- Implementace DCG využívá rozdílových seznamů

Formální podobnosti mezi DCG a CFG:

- CFG: pravidla tvaru $x \rightarrow y$, kde
 - $x \in N$ je neterminál
 - $y \in (N \cup T)^*$ je konečná posloupnost terminálů a neterminálů
- DCG: pravidla tvaru $\langle \text{hlava} \rangle \rightarrow \langle \text{tělo} \rangle$
 - $\langle \text{hlava} \rangle$ je opět neterminál
 - $\langle \text{tělo} \rangle$ je opět konečná posloupnost terminálů a neterminálů
- Pravidlo $\langle \text{hlava} \rangle \rightarrow \langle \text{tělo} \rangle$ znamená, že
 - jedním z možných tvarů $\langle \text{hlavy} \rangle$ je $\langle \text{tělo} \rangle$, neboli
 - $\langle \text{hlavu} \rangle$ je možno přepsat na $\langle \text{tělo} \rangle$

Rozdíly a rozšíření DCG oproti CFG

- **Neterminál** může být téměř libovolný term, ovšem kromě seznamu, proměnné a čísla.
 - neterminál může být složený term, tj. neterminálům lze přidat **argumenty**.
- **Terminál** může být libovolný term, s tím, že terminály a posloupnosti terminálů uzavíráme do hranatých závorek – jako **seznamy**.
 - hranaté závorky tedy odlišují terminály od neterminálů
- Pravá strana pravidla může obsahovat **dodatečné podmínky** v podobě prologovských podcílů. Tyto podmínky uzavíráme do složených závorek.
 - podmínky slouží jen pro testování, negenerují žádnou větnou formu
- Levá strana pravidla může dokonce vypadat i tak, že neterminál je následován posloupností terminálů.
- Tělo pravidla smí obsahovat řez.
 - nepodporováno všemi Prology

Příklad: gramatika

- sentence --> noun_phrase, verb_phrase.
noun_phrase --> determiner, noun_phrase2.
noun_phrase --> noun_phrase2.
noun_phrase2 --> noun.
noun_phrase2 --> adjective, noun_phrase2.
verb_phrase --> verb.
verb_phrase --> verb, noun_phrase.
determiner --> [the]. noun --> [boy].
determiner --> [a]. noun --> [song].
verb --> [sings]. adjective --> [young].
- | ?- sentence(S, []).
S = [the,song,sings] ? ;
S = [the,song,sings,the,song] ?

| ?- sentence([the, young, boy, sings, a, song], []).
yes

Příklad: binární čísla

- DC gramatika number rozeznávající binární čísla:

number --> [0].

number --> [1].

number --> [0], number.

number --> [1], number.

| ?- number([0,1,0,1,1], []). yes

- Napište DCG number2 pro rozpoznání binárních čísel bez vedoucích nul.
- Napište DCG number3 rozpoznávající binární čísla, které jsou mocninou dvojky.

Příklad: neterminály s argumentem

- DC gramatika `digits` generuje binární čísla zapsaná jedinou číslicí:

```
digits --> same(0).           | ?- digits([1,1,0,1], []).  
digits --> same(1).           | no  
same(N) --> [N].              | ?- digits([1,1,1], []).  
same(N) --> [N], same(N).     | yes
```

- Upravte kód tak, aby byly akceptovány jen korektní věty:

```
s --> np, vp.  
np --> [zeny].  
np --> [muzi].  
vp --> [pracovali].  
vp --> [pracovaly].  
  
?- s([zeny, pracovali], []).  
    yes
```

Nápověda: přidejte proměnnou pro rod (pro `np` a `vp`)

Generativní/rozpoznávací síla DCG: větší než CFG

- DCG dokáže generovat/rozpoznávat jazyky typu 0
- Cvičení: napište DCG gramatiku generující jazyk $a^n b^n c^n$
- ?- abc(X, []).

X = [] ;

X = [a, b, c] ;

X = [a, a, b, b, c, c] ;

X = [a, a, a, b, b, b, c, c, c] ;

Nápověda: využijte a(s(s(s(0)))), b(s(s(s(0)))), c(s(s(s(0))))

Pomocné podmínky v těle pravidel

Vyhodnocování výrazů

● $E \rightarrow T + E \mid T$

$T \rightarrow \text{num}$

$\text{expr}(X) \dashrightarrow \text{term}(A), [+], \text{expr}(B), \{X \text{ is } A+B\}.$

$\text{expr}(X) \dashrightarrow \text{term}(X).$

$\text{term}(X) \dashrightarrow [X], \{\text{number}(X)\}.$

?- $\text{expr}(X, [1,+,2,+,2], [])$. $X = 5$

● Cvičení: přidejte operaci násobení

$E \rightarrow N + E \mid N$

$N \rightarrow T * N \mid T$

$T \rightarrow \text{num}$

Komplexní vyhodnocování výrazů

$E \rightarrow T + E \mid T - E \mid T$

$T \rightarrow F * T \mid F / T \mid F$

$F \rightarrow (E) \mid f$

$\text{expr}(X) \rightarrow \text{term}(Y), [+], \text{expr}(Z), \{X \text{ is } Y+Z\}.$

$\text{expr}(X) \rightarrow \text{term}(Y), [-], \text{expr}(Z), \{X \text{ is } Y-Z\}.$

$\text{expr}(X) \rightarrow \text{term}(X).$

$\text{term}(X) \rightarrow \text{factor}(Y), [*], \text{term}(Z), \{X \text{ is } Y*Z\}.$

$\text{term}(X) \rightarrow \text{factor}(Y), [/], \text{term}(Z), \{X \text{ is } Y/Z\}.$

$\text{term}(X) \rightarrow \text{factor}(X).$

$\text{factor}(X) \rightarrow ['(', \text{expr}(X), ')'].$

$\text{factor}(X) \rightarrow [X], \{\text{integer}(X)\}.$

% vyhodnocení výrazu $3+(4/2)-(2*6/3)$

?- $\text{expr}(X, [3, +, '(', 4, /, 2, ')', -, '(', 2, *, 6, /, 3, ')'], [])$.

$X = 1$

Argument neterminálu je použit jako výstupní proměnná,
která v sobě nese hodnotu příslušného aritmetického výrazu.

Přepis do Prologu

Přepis do prologovského programu pomocí append/3:

- Větu reprezentujeme seznamem slov [the, young, boy, sings, a, song]

- **Pravidlová část** – neterminál chápeme jako unární predikát, jehož argumentem je ta větná složka, kterou daný neterminál popisuje

```
sentence(S) :- append(NP, VP, S),  
                noun_phrase(NP), verb_phrase(VP).
```

...

- **Slovníková část** – zapisujeme ji pomocí faktů:

```
determiner([the]).      noun([boy]).  
determiner([a]).       ...
```

Predikát append/3 zde *nedeterministicky* rozděluje aktuální větnou část na dva díly, což je velký zdroj neefektivnosti.

Lepší řešení poskytují *rozdílové seznamy*.

Přepis do Prologu pomocí rozdílových seznamů

- **Rozdílové seznamy** reprezentovány dvěma argumenty, první představuje neúplný seznam a druhý jeho zbytek `append(S-S1, S1-S0, S-S0)`
- Při volání predikátu `S-S0` je spojením: `S-S3, S3-S2, S2-S1, S1-S0`
`sentence/2` je druhý argument prázdný; neúplný seznam tím uzavíráme tj. `S0=[]`

```
sentence(S,S0):- noun_phrs(S,S1), verb_phrs(S1,S0).
```

```
noun_phrs(S,S0):- determiner(S,S1), noun_phrs2(S1,S0).
```

```
noun_phrs(S,S0):- noun_phrs2(S,S0).
```

```
noun_phrs2(S,S0):- adjective(S,S1), noun_phrs2(S1,S0).
```

```
noun_phrs2(S,S0):- noun(S,S0).
```

```
verb_phrs(S,S0):- verb(S,S0).
```

```
verb_phrs(S,S0):- verb(S,S1), noun_phrs(S1,S0).
```

```
determiner([the|S],S).      noun([boy|S],S).
```

```
determiner([a|S],S).      noun([song|S],S).
```

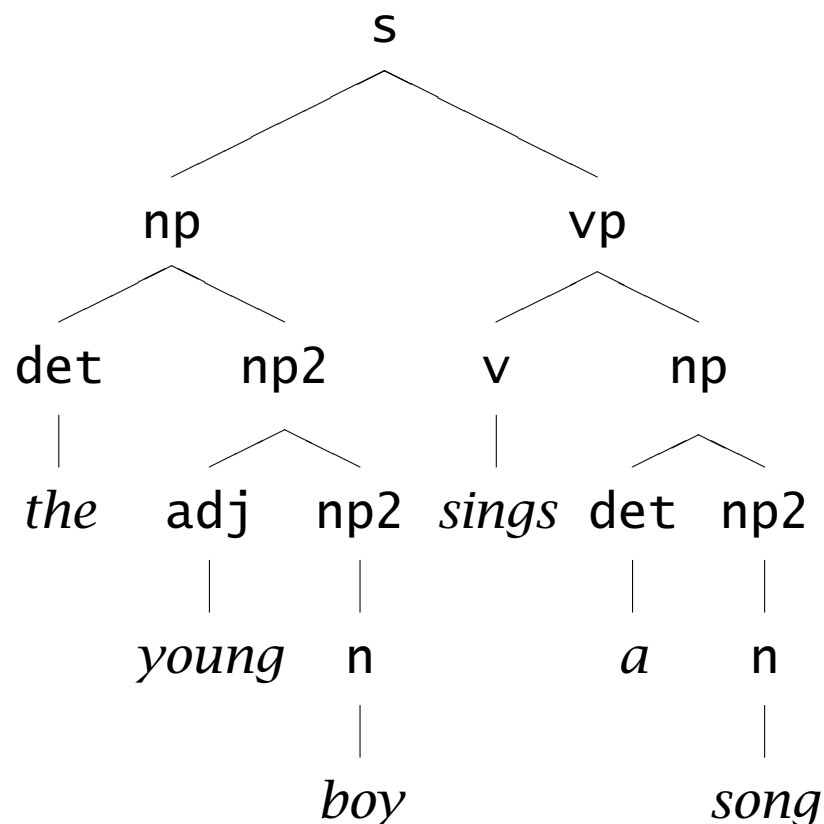
```
verb([sings|S],S).      adjective([young|S],S).
```

```
?- sentence([the,young,boy,sings,a,song],[]).      yes
```

Derivační strom analýzy

?- sentence(Tree, [the,young,boy,sings,a,song],[]).

```
Tree=s( np( det(the), np2( adj(young), np2(n(boy) ) ) ),  
        vp( v(sings), np( det(a), np2( n(song) ) ) ) ) )
```



Konstrukce derivačního stromu

- Neterminály opatříme argumentem:

`sentence(s(NP,VP)) --> noun_phrase(NP), verb_phrase(VP).`

`noun(n(mama)) --> [mama].`

`noun(n(kralika)) --> [kralika].`

`verb(v(pekla)) --> [pekla].`

- Doplňte gramatiku, aby platilo:

| ?- `sentence(X, [mama,pekla,kralika], []).`

`X = s(np(n(mama)),vp(v(pekla),np(n(kralika))))` `yes`

Konstrukce derivačního stromu II.

Pokud však rozšíříme slovník:

```
noun(n(tata)) --> [tata].
```

```
verb(v(pek1)) --> [pek1].
```

Narazíme na problém se shodou podmětu a přísudku (mimo stávající problém „kralíka pekla máma“):

```
?- sentence(_,[tata, pek1a, kralíka],[]).
```

yes

```
?- sentence(_,[mama, pek1, kralíka],[]).
```

yes

Proto rozšiřte neterminály o další argumenty (rod, pád)

Vestavěné nástroje

- operátor `-->` definován jako `?-op(1200, xfx, -->)`.
- predikáty `phrase/2`, `phrase/3`, které slouží k jednoduché *tokenizaci*

```
?- phrase(abc, [a,b,c]).           % Yes
```

```
?- phrase(abc, [a,b,c,d], [d]).   % Yes
```

Logické programování s omezujícími podmínkami

Algebrogram

- Přiřaďte cifry 0, ... 9 písmenům S, E, N, D, M, O, R, Y tak, aby platilo:

$$\begin{array}{r} \bullet \quad \quad \quad \text{SEND} \\ \quad \quad \quad + \text{MORE} \\ \hline \quad \quad \quad \text{MONEY} \end{array}$$

- různá písmena mají přiřazena různé cifry
- S a M nejsou 0
- **Proměnné:** S,E,N,D,M,O,R,Y
- **Domény:** [1..9] pro S,M [0..9] pro E,N,D,O,R,Y
- **1 omezení pro nerovnost:** `all_distinct([S,E,N,D,M,O,R,Y])`
- **1 omezení pro rovnosti:**

$$\begin{array}{r} \quad \quad \quad 1000*S + 100*E + 10*N + D \quad \quad \quad \text{SEND} \\ + \quad \quad \quad 1000*M + 100*O + 10*R + E \quad \quad \quad + \text{MORE} \\ \hline \# = \quad 10000*M + 1000*O + 100*N + 10*E + Y \quad \quad \quad \text{MONEY} \end{array}$$

Jazykové prvky

Nalezněte řešení pro algebrogram

D O N A L D + G E R A L D = R O B E R T

● Struktura programu

```
algebrogram( [D,O,N,A,L,G,E,R,B,T] ) :-  
    domain(...),                % domény proměnných  
    all_distinct(...), ... #= ..., % omezení  
    labeling(...).              % prohledávání stavového prostoru
```

● Knihovna pro CLP(FD) `:- use_module(library(clpfd)).`

● Domény proměnných `domain(Seznam, MinValue, MaxValue)`

● Omezení `all_distinct(Seznam)`

● Aritmetické omezení `A*B + C #= D`

● Procedura pro prohledávání stavového prostoru `labeling([], Seznam)`

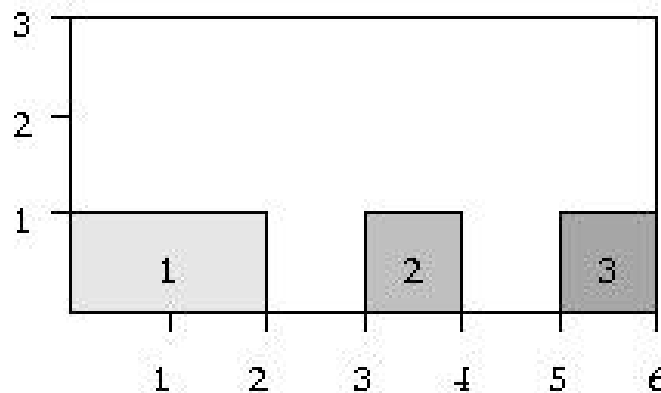
Disjunktivní rozvrhování (unární zdroj)

- `cumulative([task(Start, Duration, End, 1, Id) | Tasks])`
- Rozvržení úloh zadaných startovním a koncovým časem (Start, End), dobou trvání (**nezáporné** Duration) a identifikátorem (Id) tak, aby se nepřekrývaly

Disjunktivní rozvrhování (unární zdroj)

- `cumulative([task(Start, Duration, End, 1, Id) | Tasks])`
- Rozvržení úloh zadaných startovním a koncovým časem (Start, End), dobou trvání (**nezáporné** Duration) a identifikátorem (Id) tak, aby se nepřekrývaly
- příklad s konstantami:

`cumulative([task(0,2,2,1,1), task(3,1,4,1,2), task(5,1,6,1,3)])`



- Start, Duration, End, Id musí být doménové proměnné s konečnými mezemi nebo celá čísla

Plánování

Každý úkol má stanoven dobu trvání a nejdřívější čas, kdy může být zahájen. Nalezněte startovní čas každého úkolu tak, aby se jednotlivé úkoly nepřekrývaly.

Úkoly jsou zadány následujícím způsobem:

% uko1(Id,Doba,MinStart,MaxKonec)

```
uko1(1,4,8,70).    uko1(2,2,7,60).    uko1(3,1,2,25).    uko1(4,6,5,55).  
uko1(5,4,1,45).    uko1(6,2,4,35).    uko1(7,8,2,25).    uko1(8,5,0,20).  
uko1(9,1,8,40).    uko1(10,7,4,50).    uko1(11,5,2,50).    uko1(12,2,0,35).  
uko1(13,3,30,60).    uko1(14,5,15,70).    uko1(15,4,10,40).
```

Kostra řešení:

```
uko1y(Zacatky) :- domeny(Uko1y,Zacatky,Tasks),  
                  cumulative(Tasks),  
                  labeling([],Zacatky),  
                  tiskni(Uko1y,Zacatky).
```

```
domeny(Uko1y,Zacatky,Tasks) :- findall(uko1(Id,Doba,MinStart,MaxKonec),  
                                         uko1(Id,Doba,MinStart,MaxKonec), Uko1y),  
                                nastav_domeny(Uko1y,Zacatky,Tasks).
```

Plánování: výstup

```
tiskni(Uko1y,Zacatky) :-
```

```
    priprav(Uko1y,Zacatky,Vstup),
```

```
    quicksort(Vstup,Vystup),
```

```
    n1, tiskni(Vystup).
```

```
priprav([],[],[]).
```

```
priprav([uko1(Id,Doba,MinStart,MaxKonec)|Uko1y], [Z|Zacatky],
```

```
    [uko1(Id,Doba,MinStart,MaxKonec,Z)|Vstup]) :-
```

```
    priprav(Uko1y,Zacatky,Vstup).
```

```
tiskni([]) :- n1.
```

```
tiskni([V|Vystup]) :-
```

```
    V=uko1(Id,Doba,MinStart,MaxKonec,Z),
```

```
    K is Z+Doba,
```

```
    format('    ~d: \t~d..~d \t(~d: ~d..~d)\n',
```

```
        [Id,Z,K,Doba,MinStart,MaxKonec] ),
```

```
    tiskni(Vystup).
```

Plánování: výstup II

```
quicksort(S, Sorted) :- quicksort1(S,Sorted-[]).
```

```
quicksort1([],Z-Z).
```

```
quicksort1([X|Tail], A1-Z2) :-  
    split(X, Tail, Small, Big),  
    quicksort1(Small, A1-[X|A2]),  
    quicksort1(Big, A2-Z2).
```

```
split(_X, [], [], []).
```

```
split(X, [Y|T], [Y|Small], Big) :- greater(X,Y), !, split(X, T, Small, Big).
```

```
split(X, [Y|T], Small, [Y|Big]) :- split(X, T, Small, Big).
```

```
greater(ukoř(?,?,?,Z1),ukoř(?,?,?,Z2)) :- Z1>Z2.
```

Plánování a domény

Napište predikát `nastav_domeny/3`, který na základě datové struktury `[uko1(Id,Doba,MinStart,MaxKonec)|Uko1y]` vytvoří doménové proměnné `Zacatky` pro začátky startovních dob úkolů a strukturu `Tasks` vhodnou pro omezení `cumulative/1`, jejíž prvky jsou úlohy ve tvaru `task(Zacatek,Doba,Konec,1,Id)`.

```
% nastav_domeny(+Uko1y,-Zacatky,-Tasks)
```


D.Ú. Plánování a precedence: precedence(Tasks)

Rozšiřte řešení předchozího problému tak, aby umožňovalo zahrnutí precedencí, tj. jsou zadány dvojice úloh A a B a musí platit, že A má být rozvrhováno před B.

```
% prec(IdA,IdB)
```

```
prec(8,7). prec(6,12). prec(2,1).
```

Pro určení úlohy v Tasks lze použít `nth1(N, Seznam, NtyPrvek)` z knihovny

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

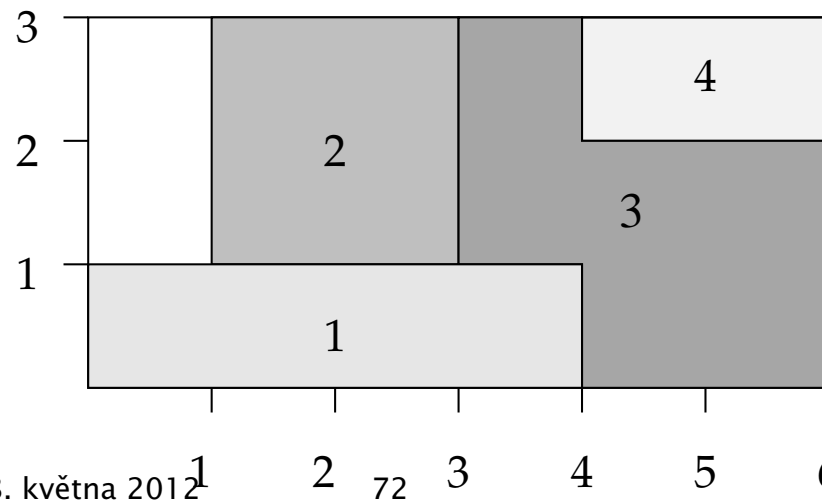
Kumulativní rozvrhování

- `cumulative([task(Start,Duration,End,Demand,TaskId) | Tasks], [limit(Limit)])`
- Rozvržení úloh zadaných startovním a koncovým časem (Start, End), dobou trvání (**nezáporné** Duration), požadovanou kapacitou zdroje (Demand) a identifikátorem (Id) tak, aby se nepřekrývaly a aby celková kapacita zdroje nikdy nepřekročila Limit

Kumulativní rozvrhování

- `cumulative([task(Start,Duration,End,Demand,TaskId) | Tasks], [limit(Limit)])`
- Rozvržení úloh zadaných startovním a koncovým časem (Start, End), dobou trvání (**nezáporné** Duration), požadovanou kapacitou zdroje (Demand) a identifikátorem (Id) tak, aby se nepřekrývaly a aby celková kapacita zdroje nikdy nepřekročila Limit
- Příklad s konstantami:

```
cumulative([task(0,4,4,1,1), task(1,2,3,2,2), task(3,3,6,2,3), task(4,2,6,1,4)], [limit(3)])
```



Plánování a lidé

Modifikujte řešení předchozího problému tak, že

- odstraňte omezení na nepřekrývání úkolů
- přidejte omezení umožňující řešení každého úkolu zadaným člověkem (každý člověk může zpracovávat nejvýše tolik úkolů jako je jeho kapacita)

```
uko1y(Zacatky) :-                               % původně
    domeny(Uko1y,Zacatky,Tasks),
    cumulative(Tasks),
    labeling([],Zacatky),
    tiskni(Uko1y,Zacatky).
```

```
uko1y_lide(Zacatky) :-                          % upravená verze
    domeny(Uko1y,Zacatky,Tasks),
    lide(Tasks,Lide),
    labeling([],Zacatky),
    tiskni_lide(Lide,Uko1y,Zacatky).
```

Plánování a lidé

```
% clovek(Id,Kapacita,IdUkoly)
```

```
% clovek Id zpracovává úkoly v seznamu IdUkoly
```

```
clovek(1,2,[1,2,3,4,5]).
```

```
clovek(2,1,[6,7,8,9,10]).
```

```
clovek(3,2,[11,12,13,14,15]).
```

Plánování a lidé

```
% clovek(Id,Kapacita,IdUkoly)
% clovek Id zpracovává úkoly v seznamu IdUkoly
clovek(1,2,[1,2,3,4,5]).
clovek(2,1,[6,7,8,9,10]).
clovek(3,2,[11,12,13,14,15]).

Tide(Tasks,Lide) :-
    findall(clovek(Kdo,Kapacita,Ukoly),clovek(Kdo,Kapacita,Ukoly), Lide),
    omezeni_lide(Lide,Tasks).

omezeni_lide([],_Tasks).
omezeni_lide([clovek(_Id,Kapacita,UkolyCloveka)|Lide],Tasks) :-
    omezeni_clovek(UkolyCloveka,Kapacita,Tasks),
    omezeni_lide(Lide,Tasks).
```

Plánování a lidé (pokračování)

Napište predikát `omezeni_clovek(UkolyCloveka, Kapacita, Tasks)`, který ze seznamu `Tasks` vybere úlohy určené seznamem `UkolyCloveka` a pro takto vybrané úlohy sešle omezení `cumulative/2` s danou kapacitou člověka `Kapacita`.

Pro nalezení úlohy v `Tasks` lze použít `nth1(N, Tasks, NtyPrvek)` z knihovny `:- use_module(library(lists)).`

**Všetchna řešení,
třídění, rozdílové seznamy**

Všechna řešení

```
% z(Jmeno,Prijmeni ,Pohlavi ,Vek ,Prace ,Firma)
z(petr,novak,m,30,skladnik,skoda).  z(pavel,jirku,m,40,mechanik,skoda).
z(rostislav,lucensky,m,50,technik,skoda).  z(alena,vesela,z,25,sekretarka,skoda).
z(jana,dankova,z,35,asistentka,skoda).  z(hana,jirku,z,35,kucharka,zs_stara).
z(roman,maly,m,35,manazer,cs).  z(alena,novotna,z,40,ucitelka,zs_stara).
z(david,jirku,m,30,ucitel,zs_stara).  z(petra,spickova,z,45,uklizecka,zs_stara).
```

● Najděte jméno a příjmení všech lidí.

```
?- findall(Jmeno-Prijmeni, z(Jmeno,Prijmeni,_S,_V,_Pr,_F),L).
```

```
?- bagof( Jmeno-Prijmeni, [S,V,Pr,F] ^ z(Jmeno,Prijmeni,S,V,Pr,F) , L).
```

```
?- bagof( Jmeno-Prijmeni, [V,Pr,F] ^ z(Jmeno,Prijmeni,S,V,Pr,F) , L).
```

```
?- bagof( Jmeno-Prijmeni, [V,Pr,F] ^ z(Jmeno,Prijmeni,_S,V,Pr,F) , L).
```

Všechna řešení

```
% z(Jmeno,Prijmeni,Pohlavi,Vek,Prace,Firma)
```

```
z(petr,novak,m,30,skladnik,skoda). z(pavel,jirku,m,40,mechanik,skoda).
```

```
z(rostislav,lucensky,m,50,technik,skoda). z(alena,vesela,z,25,sekretarka,skoda).
```

```
z(jana,dankova,z,35,asistentka,skoda). z(hana,jirku,z,35,kucharka,zs_stara).
```

```
z(roman,maly,m,35,manazer,cs). z(alena,novotna,z,40,ucitelka,zs_stara).
```

```
z(david,jirku,m,30,ucitel,zs_stara). z(petra,spickova,z,45,uklizecka,zs_stara).
```

● Najděte jméno a příjmení všech lidí.

```
?- findall(Jmeno-Prijmeni, z(Jmeno,Prijmeni,_S,_V,_Pr,_F),L).
```

```
?- bagof( Jmeno-Prijmeni, [S,V,Pr,F] ^ z(Jmeno,Prijmeni,S,V,Pr,F) , L).
```

```
?- bagof( Jmeno-Prijmeni, [V,Pr,F] ^ z(Jmeno,Prijmeni,S,V,Pr,F) , L).
```

```
?- bagof( Jmeno-Prijmeni, [V,Pr,F] ^ z(Jmeno,Prijmeni,_S,V,Pr,F) , L).
```

● Najděte jméno a příjmení všech zaměstnanců firmy skoda a cs

```
?- findall( c(J,P,Firma), ( z(J,P,_,_,_,Firma), ( Firma=skoda ; Firma=cs ) ), L).
```

```
?- bagof( J-P, [S,V,Pr]^z(J,P,S,V,Pr,F),( F=skoda ; F=cs ) ) , L).
```

```
?- setof( P-J, [S,V,Pr]^z(J,P,S,V,Pr,F),( F=skoda ; F=cs ) ) , L).
```

Všetchna řešení

Kolik žen a mužů je v databázi?

```
?- findall( c(P,J), z(P,J,z,_,_,_), L), length(L,N).
```

```
?- findall( c(P,J), z(P,J,m,_,_,_), L), length(L,N).
```

Všetchna řešení

Kolik žen a mužů je v databázi?

?- findall(c(P,J), z(P,J,z,_,_,_), L), length(L,N).

?- findall(c(P,J), z(P,J,m,_,_,_), L), length(L,N).

?- bagof(c(P,J), [Ve,Pr,Fi]^z(P,J,S,Ve,Pr,Fi), L), length(L,N).

Všechna řešení

Kolik žen a mužů je v databázi?

?- findall(c(P,J), z(P,J,z,_,_,_), L), length(L,N).

?- findall(c(P,J), z(P,J,m,_,_,_), L), length(L,N).

?- bagof(c(P,J), [Ve,Pr,Fi]^z(P,J,S,Ve,Pr,Fi), L), length(L,N).

?- findall(S-N, (bagof(c(P,J), [Ve,Pr,Fi]^z(P,J,S,Ve,Pr,Fi), L),
length(L,N)
) , Dvojice).

Všechna řešení: příklady

1. Jaká jsou příjmení všech žen?
2. Kteří lidé mají více než 30 roků? Nalezněte jejich jméno a příjmení.
3. Nalezněte abecedně seřazený seznam všech lidí.
4. Nalezněte příjmení vyučujících ze zs_stara.
5. Jsou v databázi dva bratři (mají stejné příjmení a různá jména) \= vs. @<
6. Které firmy v databázi mají více než jednoho zaměstnance?

bubblesort(S, Sorted)

Seznam S seřad'te tak, že

- najděte první dva sousední prvky X a Y v S tak, že $X > Y$, vyměňte pořadí X a Y a získáte S1; a seřad'te S1

swap(S,S1)

rekurzivně bubblesortem

- pokud neexistuje žádný takový pár sousedních prvků X a Y, pak je S seřazený seznam

```
bubblesort(S,Sorted) :-  
    swap(S,S1), !,           % Existuje použitelný swap v S?  
    bubblesort(S1, Sorted).  
bubblesort(Sorted,Sorted). % Jinak je seznam seřazený  
  
swap([X,Y|Rest],[Y,X|Rest]) :- % swap prvních dvou prvků  
    X>Y.                       % nebo obecněji X@>Y, resp. gt(X,Y)  
swap([X|Rest],[X|Rest1]) :- % swap prvků až ve zbytku  
    swap(Rest,Rest1).
```

quicksort(S, Sorted)

Neprázdný seznam S seřad'te tak, že

- vyberte nějaký prvek X z S;
rozdělte zbytek S na dva seznamy Small a Big tak, že:
v Big jsou větší prvky než X a v Small jsou zbývající prvky
- seřad'te Small do SortedSmall
- seřad'te Big do SortedBig
- setříděný seznam vznikne spojením SortedSmall a [X|SortedBig]

konec rekurze pro S=[]

např. vyberte hlavu S

split(X,Seznam,Small,Big)

rekurzivně quicksortem

rekurzivně quicksortem

append

DÚ: insertsort(S, Sorted)

Neprázdný seznam $S=[X|T]$ seřad'te tak, že

- seřad'te tělo T seznamu S
- vložte hlavu X do seřazeného těla tak, že výsledný seznam je zase seřazený.
Víme: výsledek po vložení X je celý seřazený seznam.

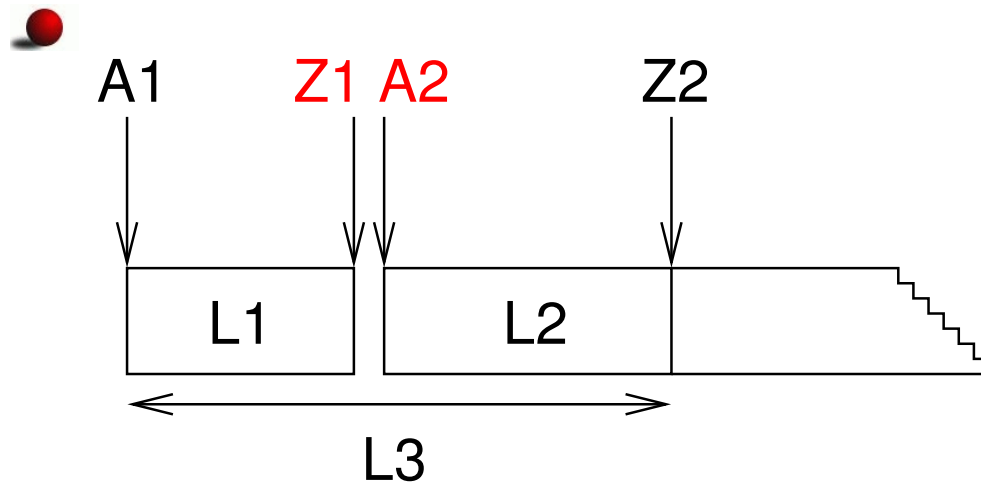
konec rekurze pro $S=[]$

rekurzivně insertsortem

`insert(X,SortedT,Sorted)`

Rozdílové seznamy

- Zapamatování konce a připojení na konec: rozdílové seznamy
- $[a, b] \dots L1-L2 = [a, b|T]-T = [a, b, c|S]-[c|S] = [a, b, c]-[c]$
- Reprezentace prázdného seznamu: L-L



● ?- append([1,2,3|Z1]-Z1, [4,5|Z2]-Z2, A1-[]).

● append(A1-Z1, Z1-Z2, A1-Z2).

L1 L2 L3

append([1,2,3,4,5]-[4,5], [4,5]-[], [1,2,3,4,5]-[]).

reverse(Seznam, Opacny)

```
% kvadratická složitost  
reverse( [], [] ).  
reverse( [ H | T ], Opacny ) :-  
    reverse( T, OpacnyT ),  
    append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
```

reverse(Seznam, Opacny)

% kvadratická složitost

```
reverse( [], [] ).
```

```
reverse( [ H | T ], Opacny ) :-  
    reverse( T, OpacnyT ),  
    append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
```

% lineární složitost, rozdílové seznamy

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, Opacny ).
```

```
reverse0( [], Opacny ).
```

```
reverse0( [ H | T ], Opacny ) :-  
    reverse0( T, OpacnyT ),  
    append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
```

reverse(Seznam, Opacny)

% kvadratická složitost

```
reverse( [], [] ).
```

```
reverse( [ H | T ], Opacny ) :-  
    reverse( T, OpacnyT ),  
    append( OpacnyT, [ H ], Opacny ).
```

% lineární složitost, rozdílové seznamy

```
reverse( Seznam, Opacny ) :- reverse0( Seznam, Opacny-[] ).
```

```
reverse0( [], S-S ).
```

```
reverse0( [ H | T ], Opacny-OpacnyKonec ) :-  
    reverse0( T, Opacny-[ H | OpacnyKonec] ).
```

quicksort pomocí rozdílových seznamů

Neprázdný seznam S seřad'te tak, že

- vyberte nějaký prvek X z S ;
rozdělte zbytek S na dva seznamy $Small$ a Big tak, že:
v Big jsou větší prvky než X a v $Small$ jsou zbývající prvky
- seřad'te $Small$ do $SortedSmall$
- seřad'te Big do $SortedBig$
- setříděný seznam vznikne spojením $SortedSmall$ a $[X|SortedBig]$

DÚ: palindrom(L)

Napište predikát `palindrom(Seznam)`, který uspěje pokud se Seznam čte stejně zezadu i zepředu, př. `[a,b,c,b,a]` nebo `[12,15,1,1,15,12]`

Poděkování

Průsviky ze cvičení byly připraveny na základě materiálů dřívějších cvičících tohoto předmětu.

Speciální poděkování patří

- Adrianě Strejčkové

Další podklady byly připraveny

- Alešem Horákem

- Miroslavem Nepilem

- Evou Žáčkovou

- Janem Ryglem