

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. At the top, the menu bar includes File, Edit, SICStus, Source, Navigate, Search, Project, Run, Favorites, Window, and Help. Below the menu bar is a toolbar with various icons for file operations and debugging. The main workspace is divided into several panes:

- Debug Console:** Shows the Prolog Top-level Configuration [SICStus Launch Configuration Type 1], Prolog Target, call: suffix([a,_7551,c],_1810), my_pred1(_1810), and Prolog Top-level Process.
- Variables:** A table with two columns: Name and Value. It contains:

Name	Value
Suff	[a, _7551, c]
X	_1810
- Code Editor:** Displays the Prolog source code for my_module.pro. The code includes module declarations, use_module, and two predicates: my_pred1(X) and my_pred2(S, Xs). A tooltip is visible over the `suffix(Suff, X)` call in `my_pred1`, providing documentation:


```

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!)
      
```
- Outline:** Shows a tree view of the code structure with `my_pred1/1` and `my_pred2/2`.
- Bottom Console:** Shows the execution trace:


```

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 přerušování 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.

- **Přerušování 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: řešení příkladů

Středníkem si vyžádáme další řešení

```
| ?- otec(petr, lenka).
```

yes

```
| ?- otec(petr, jan).
```

no

```
| ?- otec(Kdo, petr).
```

```
Kdo = adam ? ;
```

no

```
| ?- rodic(pavla, Dite).
```

```
Dite = petr ? ;
```

```
Dite = tomas ? ;
```

no

```
| ?- otec(petr, Dcera), zena(Dcera).
```

```
Dcera = lenka ? ;
```

no

```
| ?- otec(Otec, Syn), muz(Syn).
```

```
Syn = filip,
```

```
Otec = petr ? ;
```

```
Syn = jan,
```

```
Otec = pavel ? ;
```

```
Syn = petr,
```

```
Otec = adam ? ;
```

```
Syn = michal,
```

```
Otec = tomas ? ;
```

```
Syn = radek,
```

```
Otec = michal ? ;
```

no

```
| ?-
```

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: 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)

Řešení:

```
prababicka(Prababicka,Pravnouce) :-  
    rodic(Prababicka,Prarodic),  
    zena(Prababicka),  
    rodic(Prarodic,Rodic),  
    rodic(Rodic,Pravnouce).
```

Backtracking: řešení příkladů II

```
nevlastni_bratr(Bratr,Sourozenec):-  
    rodic(X,Bratr),  
    muz(Bratr),  
    rodic(X,Sourozenec),  
    /* tento test není nutný,  
       ale zvyšuje efektivitu */  
    Bratr \== Sourozenec,  
    rodic(Y,Bratr),  
    Y \== X,  
    rodic(Z,Sourozenec),  
    Z \== X,  
    Z \== Y.
```

```
/* nevhodné umístění testu -  
vypočet "bloudí" v neúspěšných větvích */  
nevlastni_bratr2(Bratr,Sourozenec):-  
    rodic(X,Bratr),  
    rodic(X,Sourozenec),  
    rodic(Y,Bratr),  
    rodic(Z,Sourozenec),  
    Y \== X,  
    Z \== X,  
    Z \== Y,  
    muz(Bratr).
```

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?

```
| ?- nevlastni_bratr(X,Y).
```

```
petr? petr? petr? petr? eva? petr? jana?
```

```
X = filip,
```

```
Y = lenka ? ;
```

```
petr? pavel? pavel? adam? adam? tomas? tomas? michal? michal? eva? eva? jana?
```

```
pavla? pavla? pavla? adam? pavla? pavla? pavla? pavla? pavla? pavla? lenka?
```

```
no
```

```
| ?- nevlastni_bratr2(X,Y).
```

```
petr? petr? petr? petr? eva? eva? petr? eva? petr? petr? petr? jana? eva? petr? jana?
```

```
X = filip,
```

```
Y = lenka ? ;
```

```
petr? petr? petr? petr? eva? jana? petr? eva? petr? petr? petr? jana? jana? petr?
```

```
jana? pavel? pavel? pavel? pavel? adam? adam? adam? adam? pavla? pavla? adam?
```

```
pavla? tomas? tomas? tomas? tomas? michal? michal? michal? michal? eva? eva? petr?
```

```
petr? eva? eva? petr? eva? jana? jana? petr? petr? jana? jana? petr? jana? pavla?
```

```
pavla? adam? adam? pavla? pavla? adam? pavla? pavla? adam? pavla? pavla? pavla?
```

```
pavla? pavla? pavla? adam? pavla? pavla? pavla? pavla? lenka? lenka? lenka? lenka?
```

```
no
```

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).

Backtracking: řešení III

$\text{potomek}(\text{Potomek}, \text{Predek}) : - \text{rodic}(\text{Predek}, \text{Potomek}) .$

$\text{potomek}(\text{Potomek}, \text{Predek}) : - \text{rodic}(\text{Predek}, X) , \text{potomek}(\text{Potomek}, X) .$

Backtracking: řešení III

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

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

/* varianta 1a */

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

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

Backtracking: řešení III

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

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

```
/* varianta 1a */
```

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

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

```
/* varianta 1b - jiné poradi odpovedi, neprimi potomci maji prednost */
```

Backtracking: řešení III

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

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

```
/* varianta 1a */
```

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

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

```
/* varianta 1b - jiné poradi odpovedi, neprimi potomci maji prednost */
```

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

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

Backtracking: řešení III

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

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

```
/* varianta 1a */
```

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

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

```
/* varianta 1b - jiné poradi odpovedi, nepřimi potomci mají přednost */
```

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

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

```
/* varianta 2a - leva rekurze ve druhé klauzuli,
```

```
na dotaz potomek(X,pavla) vypise odpovedi, pak cykli */
```

Backtracking: řešení III

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

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

```
/* varianta 1a */
```

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

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

```
/* varianta 1b - jiné poradi odpovedi, neprimi potomci maji prednost */
```

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

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

```
/* varianta 2a - leva rekurze ve druhe klauzuli,
```

```
na dotaz potomek(X,pavla) vypise odpovedi, pak cykli */
```

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

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

Backtracking: řešení III

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

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

```
/* varianta 1a */
```

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

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

```
/* varianta 1b - jiné poradi odpovedi, neprimi potomci maji prednost */
```

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

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

```
/* varianta 2a - leva rekurze ve druhe klauzuli,
```

```
na dotaz potomek(X,pavla) vypise odpovedi, pak cykli */
```

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

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

```
/* varianta 2b - leva rekurze v prvni klauzuli,
```

```
na dotaz potomek(X,pavla) hned cykli */
```

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

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

Neuspěje volání 1) a 3), ostatní ano, cyklické struktury vzniknou v případech 4),7)

a 8) přestože u posledních dvou mají levá a pravá strana unifikace disjunktní

množiny jmen proměnných.

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

$\text{suma}(0, X, X)$. /*A*/

$\text{suma}(s(X), Y, s(Z)) : -\text{suma}(X, Y, Z)$. /*B*/

?- $\text{suma}(s(0), s(0), X0)$.

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. $X = Y + 1$

7. $1 + 1 = 1 + 1$

13. $1 \leq 2$

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

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

14. $1 = < 2$

3. $X = Y$

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

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

4. $X == Y$

10. $X \backslash == Y$

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

5. $1 + 1 = 2$

11. $X = \backslash = Y$

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

6. $2 = 1 + 1$

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

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?

$s1(0, X, X)$.

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

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

Aritmetika: příklady II

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

$s1(0, X, X)$.

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

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

$s1/3$ je vícesměrný - umí sčítat, odečítat, generovat součty, ale pracuje jen s nezápornými celými čísly

$s2/3$ umí pouze sčítat, ale také záporná a reálná čísla

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 $\text{suma}(s(0),X,Z)$.