

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

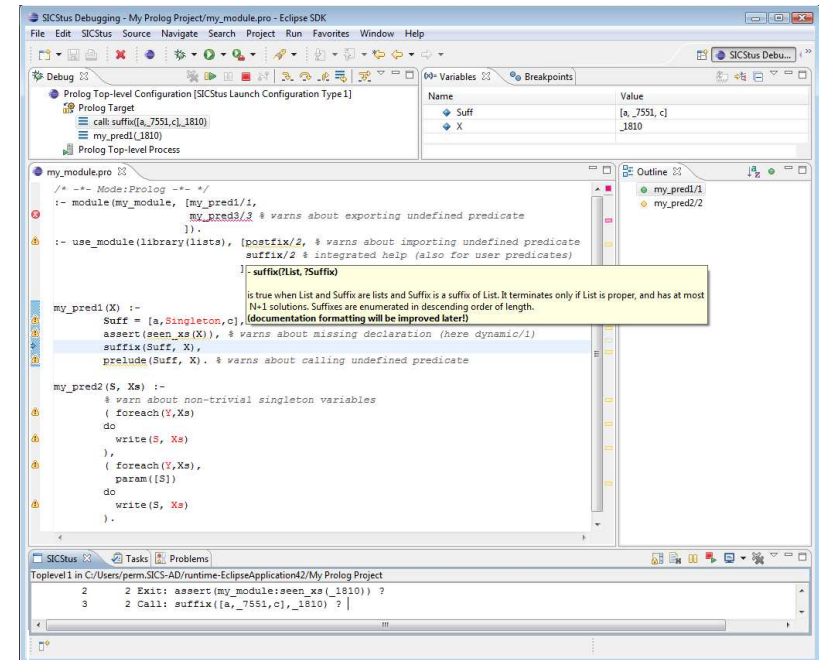
Backtracking, unifikace, aritmetika

Anatomie a sémantika logického programu

- **Program:** množina predikátů (v jednom nebo více souborech).
- **Predikát** (procedura) je seznam klauzul 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



SICStus Prolog: spouštění 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 3.6](#)
- příkazový řádek: z nabídky All Programs -> IDE -> SICStus 4.1.3 nastavíme pracovní adresář pomocí File/Working directory, v případě potřeby nastavíme font Settings/Font a uložíme nastavení Settings/Save settings.

▪ Iničiální 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 4.1.3\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: 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)`

nápopověda: 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

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: řešení příkladů II

/* nevhodne umistení testu -
vypocet "bloudi" v neuspesnych vetvich */

```
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.
```

```
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: prohledávání stavového prostoru

- Zkuste předem odhadnout (odvodit) pořadí, v jakem budou nalezeni potomci Pavly?
- Jaký vliv má pořadí klauzulí a cílu v predikátu `potomek/2` na jeho funkci?
- 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`

```
| ?- 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?
X = filip,
Y = lenka ? ;
petr? petr? petr? petr? eva? jana? petr? eva? petr? petr? petr? jana? jana? pet
jana? pavel? pavel? pavel? pavel? adam? adam? adam? adam? pavla? pavla? adam?
pavla? tomas? tomas? tomas? tomas? michal? michal? michal? michal? eva? eva? pe
petr? eva? eva? petr? eva? jana? jana? petr? petr? jana? jana? petr? jana? pavl
pavla? adam? adam? pavla? pavla? adam? pavla? pavla? adam? pavla? pavla? pavla?
pavla? pavla? pavla? adam? pavla? pavla? pavla? pavla? lenka? lenka? lenka? ler
no
```

Backtracking: řešení III

```
/* varianta 1a */
potomek(Potomek,Predek):-rodic(Predek,Potomek).
potomek(Potomek,Predek):-rodic(Predek,X),potomek(Potomek,X).
```

```
/* varianta 1b - jine poradi odpovedi, neprimi potomci maji prednost */
potomek(Potomek,Predek):-rodic(Predek,X),potomek(Potomek,X).
potomek(Potomek,Predek):-rodic(Predek,Potomek).
```

```
/* varianta 2a - leva rekurze ve druhe klauzuli,
na dotaz potomek(X,pavla) vypise odpovedi, pak cykli */
potomek(Potomek,Predek):-rodic(Predek,Potomek).
potomek(Potomek,Predek):-potomek(Potomek,X),rodic(Predek,X).
```

```
/* varianta 2b - leva rekurze v prvni klauzuli,
na dotaz potomek(X,pavla) hned cykli */
potomek(Potomek,Predek):-potomek(Potomek,X),rodic(Predek,X).
potomek(Potomek,Predek):-rodic(Predek,Potomek).
```

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).

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.

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)

suma(s(0),s(0),X0) = suma(s(X1),Y1,s(Z1))
==> X1 = 0, Y1 = s(0), s(Z1) = X0
==> suma(0,s(0),Z1)

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

suma(0,s(0),Z1) = suma(0,X2,X2)
X2 = s(0), Z1 = s(0)
==> X0 = s(s(0))
X0 = s(s(0)) ;

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

no

Aritmetika

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

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

is/2: < konstanta nebo proměnná > is < aritmetický výraz >

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

=/2: < libovolný term > = < libovolný term >

levá a pravá strana jsou unifikovány

"="="/2 "\="/2 ">="/2 "<="/2

< aritmetický výraz > := < aritmetický výraz >

< aritmetický výraz > \= < aritmetický výraz >

< aritmetický výraz > =< < aritmetický výraz >

< aritmetický výraz > >= < aritmetický výraz >

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. $1 <= 2$ |
| 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?

$s1(0, X, X)$.
 $s1(s(X), Y, s(Z)) :- s1(X, Y, Z)$.

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

$s1/3$ 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

Operátory

Definice operátorů umožňuje přehlednější infixový zápis binárních a unárních predikátů, příklad: definice $op(1200, Y, '-')$ umožňuje zápis

`a: -print(s(s(0))), b, c).`

pro výraz

`:- (a, , (print(s(s(0))), , (b, c))).`

Prefixovou notaci lze získat predikátem `display/1`. Vyzkoušejte

`display((a: -print(s(s(0))), b, c)).`

`display(a+b+c-d-e*f*g-h+i).`

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

Definice standardních operátorů najdete na konci manuálu.

Závěr

Dnešní látku jste pochopili dobře, pokud víte

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