

CURS 2

Introducere în limbajul PROLOG

Cuprins

Bibliografie	1
1. Limbajul Prolog	1
1.1 Elemente de bază ale limbajului SWI-Prolog	4
1.2 “Matching”. Cum își primesc valori variabilele?	6
1.3 Modele de flux	7
1.4 Sintaxa regulilor	7
1.5 Operatori de egalitate	8
1.6 Operatori aritmetici	8
2. Exemplu – predicatul “factorial”	10

Bibliografie

Capitolul 11, Czibula, G., Pop, H.F., *Elemente avansate de programare în Lisp și Prolog. Aplicații în Inteligența Artificială.*, Ed. Albastră, Cluj-Napoca, 2012

1. Limbajul Prolog

- Limbajul Prolog (PROgrammation en LOGique) a fost elaborat la Universitatea din Marsilia în jurul anului 1970, ca instrument pentru programarea și rezolvarea problemelor ce implicau reprezentări simbolice de obiecte și relații dintre acestea.
- Prolog are un câmp de aplicații foarte larg: baze de date relaționale, inteligență artificială, logică matematică, demonstrarea de teoreme, sisteme expert, rezolvarea de probleme abstracte sau ecuații simbolice, etc.
- Există standardul ISO-Prolog.
- Nu există standard pentru programare orientată obiect în Prolog, există doar extensii: TrincProlog, SWI-Prolog.
- Vom studia implementarea SWI-Prolog – sintaxa e foarte apropiată de cea a standardului ISO-Prolog.
 - Turbo Prolog, Visual Prolog, GNUProlog, Sicstus Prolog, Parlog, etc.
- SWI-Prolog – 1986
 - oferă o interfață bidirecțională cu limbajele C și Java

- folosește XPCe – un sistem GUI orientat obiect
- *multithreading* – bazat pe suportul *multithreading* oferit de limbajul standard C.

Program Prolog

- caracter descriptiv: un program Prolog este o colecție de definiții ce descriu relații sau funcții de calculat – reprezentări simbolice de obiecte și relații între obiecte. Soluția problemelor nu se mai vede ca o execuție pas cu pas a unei secvențe de instrucțiuni.
 - program – colecție de declarații logice, fiecare fiind o clauză Horn de forma $p, p \rightarrow q, p_1 \wedge p_2 \dots \wedge p_n \rightarrow q$
 - **concluzie** de demonstrat – de forma $p_1 \wedge p_2 \dots \wedge p_n$
- **Structura de control** folosită de interpretorul Prolog
 - Se bazează pe declarații logice numite **clauze**
 - **fapt** – ceea ce se cunoaște a fi adevărat
 - **regulă** - ce se poate deduce din fapte date (indică o concluzie care se știe că e adevărată atunci când alte concluzii sau fapte sunt adevărate)
 - **Concluzie** ce trebuie demonstrată - GOAL
 - Prolog folosește *rezoluția* (liniară) pentru a demonstra dacă concluzia (teorema) este adevărată sau nu, pornind de la ipoteza stabilită de faptele și regulile definite (axiome).
 - Se aplică raționamentul înapoi pentru a demonstra concluzia
 - Programul este citit de sus în jos, de la dreapta la stânga, căutarea este în adâncime (*depth-first*) și se realizează folosind **backtracking**.
- $p \rightarrow q (\neg p \vee q)$ se transcrie în Prolog folosind clauza $q :- p.$ (q if $p.$)
- \wedge se transcrie în Prolog folosind ",",
 - $p_1 \wedge p_2 \dots \wedge p_n \rightarrow q$ se transcrie în Prolog folosind clauza $q :- p_1, p_2, \dots, p_n.$
- \vee se transcrie în Prolog folosind ";" sau o clauză separată.
 - $p_1 \vee p_2 \rightarrow q$ se transcrie în Prolog
 - folosind clauza $q :- p_1; p_2.$
 - sau
 - folosind 2 clauze separate
 - $q :- p_1.$
 - $q :- p_2.$

Exemple

- Logică**

$$\forall x p(x) \wedge q(x) \rightarrow r(x)$$

$$\forall x w(x) \vee s(x) \rightarrow p(x)$$

(SWI-)Prolog

$$r(X) : -p(X), q(X).$$

$$p(X) : -w(X).$$

$$p(X) : -s(X).$$

$w \vee s \rightarrow p$	$\neg(w \vee s) \vee p$	$(\neg w \wedge \neg s) \vee p$	$(\neg w \vee p) \wedge (\neg s \vee p)$	$(w \rightarrow p) \wedge (s \rightarrow p)$
--------------------------	-------------------------	---------------------------------	--	--

$$\forall x t(x) \rightarrow s(x) \wedge q(x)$$

$$s(X) : -t(X).$$

$$q(X) : -t(X).$$

$$t(a)$$

$$t(a).$$

$$w(b)$$

$$w(b).$$

Concluzie

$$r(a)$$

Goal

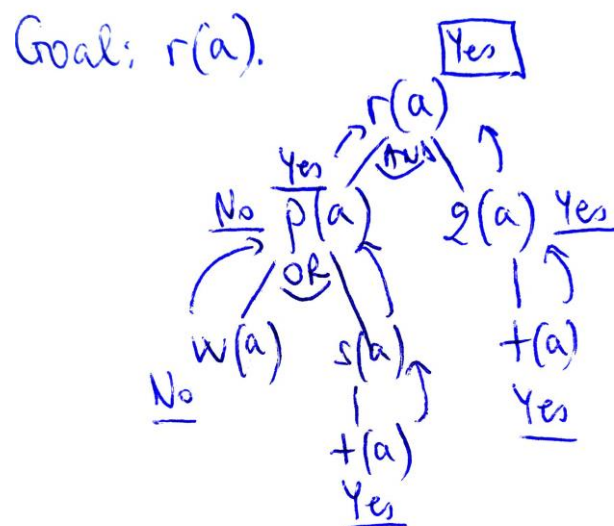
$$? r(a).$$

true

$$q(b)$$

$$? q(b).$$

false



- Logică**

$$\forall x s(x) \rightarrow p(x) \vee q(x)$$

Prolog

????

$s \rightarrow p \vee q$	$(s \wedge \neg p) \rightarrow q$
--------------------------	--------	--------	-----------------------------------

- [Lawrence C Paulson, *Logic and Proof*, University of Cambridge, 2000](#): rezoluție (subcapitolul 7.3), unificare (capitolul 10), Prolog

1.1 Elemente de bază ale limbajului SWI-Prolog

1. Termen

▪ SIMPLU

a. constantă

- simbol (*symbol*)
 - secvență de litere, cifre, _
 - începe cu **literă mică**
- număr =întreg, real (*number*)
- șir de caractere (*string*): ‘text’ (caracter: ‘c’, ‘\t’,...)

ATOM = SIMBOL + STRING +ȘIR-DE-CARACTERE-SPECIALE + [] (lista vidă)

- caractere speciale + * / < > = : . & _ ~

b. variabilă

- secvență de litere, cifre, _
- începe cu **literă mare**
- variabila anonimă este reprezentată de caracterul underline (_).

▪ COMPUS (a se vedea Secțiunea 13).

- listele (*list*) sunt o clasă specială de termeni compuși

2. Comentariu

% Acesta este un comentariu

/* Acesta este un comentariu */

3. Predicat

a). standard (ex: **fail**, **number**, ...)

b). utilizator

- $\text{nume} [(obiect[, obiect....])]$
 ↓
 numele simbolic al relației

Tipuri

1. **number** (integer, real)
2. **atom** (symbol, string, șir-de-caractere-speciale)

3. **list** (secvență de elemente) specificat ca **list=tip_de_bază***

ex. listă (omogenă) formată din numere întregi [1,2,3]

% definire tip: el=integer list=el*

!!! lista vidă [] este singura listă care e considerată în Prolog atom.

Convenții.

- În SWI-Prolog nu există declarații de predicate, nici declarații de domenii/tipuri (ex. ca în Turbo-Prolog).
- *Specificarea unui predicat*
 - % definire tipuri, dacă e cazul
 - % *nume* [(param₁:tip₁ [,param₂:tip₂...)]
 - % modelul de flux al predicatului (i, o, ...) - vezi Secțiunea 4
 - % param₁ - semnificația parametrului 1
 - % param₂ - semnificația parametrului 2
 -

4. Clauza

- fapt
 - relație între obiecte
 - *nume_predicat* [(obiect [, obiect....)]
- regula
 - permite deducere de fapte din alte fapte

Exemplu:

fie predicatele

tata(X, Y) reprezentând relația “Y este tatăl lui X”

mama(X, Y) reprezentând relația “Y este mama lui X”

și următoarele fapte corespunzătoare celor două predicate:

mama(a,b).

mama(e,b).

tata(c,d).

tata(a,d).

Se cere: folosind definițiile anterioare să se definească predicatele

parinte(X, Y) reprezentând relația “Y este părintele lui X”

frate(X, Y) reprezentând relația “Y este fratele lui X”

Clauze în SWI-Prolog

```

parinte(X,Y) :-tata(X,Y).
parinte(X,Y) :-mama(X,Y).
% “\=” reprezintă operatorul “diferit” – a se vedea Secțiunea 1.5
frate(X,Y) :- parinte(X,Z),
               parinte(Y,Z),
               X \= Y.

```

5. Intrebare (goal)

- e de forma $\text{predicat}_1 [(obiect [, obiect....)], \text{predicat}_2 [(obiect [, obiect....)]....]$.
- **true, false**
- **CWA – Closed World Assumption**

Folosind definițiile anterioare, formulăm următoarele întrebări:

?- parinte(a,b).	?- parinte(a,X).
true.	X=d;
	X=b.
? - parinte(a,f).	
false.	
?- frate(a,X).	?- frate(a,_).
X=c;	true.
X=e.	

1.2 “Matching”. Cum își primesc valori variabilele?

Prolog nu are instrucțiuni de atribuire. Variabilele în Prolog își primesc valorile prin **potrivire** cu constante din fapte sau reguli.

Până când o variabilă primește o valoare, ea este **liberă** (free); când variabila primește o valoare, ea este **legată** (bound). Dar ea stă legată atâta timp cât este necesar pentru a obține o soluție a problemei. Apoi, Prolog o dezleagă, face backtracking și caută soluții alternative.

Observație. Este important de reținut că nu se pot stoca informații prin atribuire de valori unor variabile. Variabilele sunt folosite ca parte a unui proces de potrivire, nu ca un tip de stocare de informații.

Ce este o potrivire?

Iată câteva reguli care vor explica termenul 'potrivire':

1. Structuri identice se potrivesc una cu alta
 - $p(a, b)$ se potrivește cu $p(a, b)$
2. De obicei o potrivire implică variabile libere. Dacă X e liberă,

- $p(a, X)$ se potrivește cu $p(a, b)$
 - X este legat la b .
3. Dacă X este legat, se comportă ca o constantă. Cu X legat la b ,
- $p(a, X)$ se potrivește cu $p(a, b)$
 - $p(a, X)$ NU se potrivește cu $p(a, c)$
4. Două variabile libere se potrivesc una cu alta.
- $p(a, X)$ se potrivește cu $p(a, Y)$

Observație. Mecanismul prin care Prolog încearcă să ‘potrivească’ partea din întrebare pe care dorește să o rezolve cu un anumit predicat se numește **unificare**.

1.3 Modele de flux

În Prolog, legările de variabile se fac în două moduri: la intrarea în clauză sau la ieșirea din clauză. Direcția în care se leagă o valoare se numește ‘**model de flux**’. Când o variabilă este dată la intrarea într-o clauză, aceasta este un parametru de intrare (i), iar când o variabilă este dată la ieșirea dintr-o clauză, aceasta este un parametru de ieșire (o). O anumită clauză poate să aibă mai multe modele de flux. De exemplu clauza

factorial (N, F)

poate avea următoarele modele de flux:

- (i,i) - verifică dacă $N! = F$;
- (i,o) - atribuie $F := N!$;
- (o,i) - găsește acel N pentru care $N! = F$.

Observație. Proprietatea unui predicat de a funcționa cu mai multe modele de flux depinde de abilitatea programatorului de a programa predicatul în mod corespunzător.

1.4 Sintaxa regulilor

Regulile sunt folosite în Prolog când un fapt depinde de succesul (veridicitatea) altor fapte sau succesiuni de fapte. O regulă Prolog are trei părți: capul, corpul și simbolul if (:-) care le separă pe primele două.

Iată sintaxa generică a unei reguli Prolog:

capul regulii :-
 subgoal,
 subgoal,
 ...,
 subgoal.

Fiecare subgoal este un apel la un alt predicat Prolog. Când programul face acest apel, Prolog testează predicatul apelat să vadă dacă poate fi adevărat. Odată ce subgoal-ul curent a fost satisfăcut (a fost găsit adevărat), se revine și procesul continuă cu următorul subgoal. Dacă

procesul a ajuns cu succes la punct, regula a reușit. Pentru a utiliza cu succes o regulă, Prolog trebuie să satisfacă toate subgoal-urile ei, creând o mulțime consistentă de legări de variabile. Dacă un subgoal eșuează (este găsit fals), procesul revine la subgoal-ul anterior și caută alte legări de variabile, și apoi continuă. Acest mecanism se numește **backtracking**.

1.5 Operatori de egalitate

$X=Y$ verifică dacă X și Y pot fi unificate

- Dacă X este variabilă liberă și Y legată, sau Y este variabilă liberă și X e legată, propoziția este satisfăcută unificând pe X cu Y .
- Dacă X și Y sunt variabile legate, atunci propoziția este satisfăcută dacă relația de egalitate are loc.

?- $[a,b]=[a,b]$.
true.

?- $[X,Y]=[a,b]$.
 $X = a,$
 $Y = b.$

?- $[a,b]=[X,Y]$.
 $X = a,$
 $Y = b.$

$X \neq Y$ verifică dacă X și Y nu pot fi unificate
 $\neq X=Y$

?- $[X,Y,Z] \neq [a,b]$.
true.

?- $[X,Y] \neq [a,b]$.
false.

?- $[a,b] \neq [X,Y]$.
false.

?- $\neq a=a$.
false.

?- $\neq [X,Y]=[a,b]$.
false.

?- $\neq [a,b]=[X,Y,Z]$.
true.

$X == Y$ verifică dacă X și Y sunt legate la aceeași valoare.

?- $[2,3]==[2,3]$.
true.

?- $a==a$.
true.

?- $R==1$.
false.

$X \neq Y$ verifică dacă X și Y nu au fost legate la aceeași valoare.

?- $[2,3] \neq [3,2]$.
true.

?- $a \neq a$.
false.

?- $R \neq 1$.
true.

1.6 Operatori aritmetici

!!! Important

- $2+4$ e doar o structură, utilizarea sa nu efectuează adunarea
- Utilizarea $2+4$ nu e aceeași ca utilizarea lui 6.

Operatori aritmetici

$=, \neq, ==, \neq$ A se vedea Secțiunea 1.5.

?- 2+4=6. ?- 2+4\=6. ?- 6==6. ?- 6\=7. ?- 6==2+4.
false. **true.** **true.** **true.** **false.**

?- 2+4=2+4. ?- 2+4=4+2. ?- X= 2+4-1.
true. **false.** X=2+4-1.

==

- testează egalitatea aritmetică
- forțează evaluarea aritmetică a ambelor părți
- operanzii trebuie să fie numerici
- variabilele sunt LEGATE

=\= testează operatorul aritmetic "diferit"

?- 2+4==6. ?- 2+4=\=7. ?- 6==6.
true. **true.** **true.**

is

- partea dreaptă este LEGATĂ și numerică
- partea stângă trebuie să fie o variabilă
- dacă variabila este legată, verifică egalitatea numerică (ca și ==)
- dacă variabila nu este legată, evaluează partea dreaptă și apoi variabila este legată de rezultatul evaluării

?- X is 2+4-1. ?- X is 5.
X=5 X=5

Inegalități

<	mai mic
=<	mai mic sau egal
>	mai mare
>=	mai mare sau egal

- evaluează ambele părți
- variabile LEGATE

?- 2+4=<5+2. ?- 2+4=\=7. ?- 6==6.
true. **true.** **true.**

Câteva funcții aritmetice predefinite SWI-Prolog

X mod Y întoarce restul împărțirii lui X la Y
mod(X, Y)

X div Y întoarce câtul împărțirii lui X la Y
div(X, Y)

abs(X)	întoarce valoarea absolută a lui X
sqrt(X)	întoarce rădăcina pătrată a lui X
round(X)	întoarce valoarea lui X rotunjită spre cel mai apropiat întreg (round(2.56) este 3, round (2.4) este 2)
...	

2. Exemplu – predicatul “factorial”

Dându-se un număr natural n , să se calculeze factorialul numărului.

$$fact(n) = \begin{cases} 1 & \text{daca } n = 0 \\ n \cdot fact(n-1) & \text{altfel} \end{cases}$$

Conform cerinței probleme, am dori să definim predicatul **fact(integer, integer)** în modelul de flux (**i, o**). Vom vedea că predicatul definit în acest model de flux funcționează și în modelul de flux (**i, i**).

În Varianta 2, ! reprezintă predicatul “cut” (tăietura roșie, în acest context), folosit pentru a preveni luarea în calcul a subgoal-urilor alternative (backtracking-ul la următoarea clauză).

1. Varianta 1

```
% fact1(N:integer, F:integer)
% (i, i) (i, o)
fact1(0, 1).
fact1(N, F) :- N > 0,
               N1 is N-1,
               fact1(N1, F1),
               F is N * F1.
```

```
go1 :- fact1(3, 6).
```

2. Varianta 2

```
% fact1(N:integer, F:integer)
% (i, i) (i, o)
fact2(0, 1) :- !.
fact2(N, F) :- N1 is N-1,
               fact2(N1, F1),
               F is N * F1.
```

```
go2 :- fact2(3, 6).
```

```
SWI-Prolog (Multi-threaded, version 6.6.6)
File Edit Settings Run Debug Help
Welcome to SWI-Prolog (Multi-threaded, 32 bits, Version 6.6.6)
Copyright (c) 1990-2013 University of Amsterdam, VU Amsterdam
SWI-Prolog comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY. This is free software,
and you are welcome to redistribute it under certain conditions.
Please visit http://www.swi-prolog.org for details.

For help, use ?- help(Topic). or ?- apropos(Word).

1 ?-
% d:/Docs/Didactice/Cursuri/2014-15/pfl/teste/fact.pl compiled 0.00 sec, 7 clauses
1 ?- fact1(3,6).
true ;
false.

2 ?- fact1(3,X).
X = 6 ;
false.

3 ?- go1.
true ;
false.

4 ?- fact2(3,6).
true.

5 ?- fact2(3,X).
X = 6.

6 ?- go2.
true.

7 ?- █
```

3. Varianta 3

% fact3(N:integer, F:integer)

% (i, i), (i, o)

```
fact3(N, F) :- N > 0,
               N1 is N-1,
               fact3(N1, F1),
               F is N * F1.
```

```
fact3(0, 1).
```

```
?- fact3(3, N).
```

```
N = 6.
```