Fundamentele limbajelor de programare

C09

Denisa Diaconescu
Traian Șerbănuță

Departamentul de Informatică, FMI, UB

Programare logică & Prolog

Programare logică

Programarea logică este o paradigmă de programare bazată pe logică.

Unul din sloganurile programării logice:

Program = Logică + Control (R. Kowalski)

Programarea logică poate fi privită ca o deducție controlată.

Un program scris într-un limbaj de programare logică este

o listă de formule într-o logică

ce exprimă fapte și reguli despre o problemă.

Programare logică

Exemple de limbaje de programare logică:

- Prolog
- Answer set programming (ASP)
- Datalog

Programare logică - în mod idealist

- Un "program logic" este o colecție de proprietăți presupuse (sub formă de formule logice) despre lumea programului.
- Programatorul furnizează și o proprietate (o formula logică) care poate să fie sau nu adevărată în lumea respectivă (întrebare, query).
- Sistemul determină dacă proprietatea aflată sub semnul întrebării este o consecință a proprietăților presupuse în program.
- Programatorul nu specifică metoda prin care sistemul verifică dacă întrebarea este sau nu consecință a programului.

Exemplu de program logic

$$\begin{aligned} \texttt{oslo} &\rightarrow \texttt{windy} \\ \texttt{oslo} &\rightarrow \texttt{norway} \\ \texttt{norway} &\rightarrow \texttt{cold} \\ \texttt{cold} \wedge \texttt{windy} &\rightarrow \texttt{winterIsComing} \\ & \quad\ \texttt{oslo} \end{aligned}$$

Exemplu de întrebare. Este adevărat `winterIsComing`?

Prolog

- bazat pe logica clauzelor Horn
- semantica operațională este bazată pe rezoluție
- este Turing complet

Program:

```
windy :- oslo.
norway :- oslo.
cold :- norway.
winterIsComing :- windy, cold.
oslo.
```

Intrebare:

```
?- winterIsComing.
true
```

http://swish.swi-prolog.org/

Sintaxă: constante, variabile, termeni compuși

- Atomi: `brian, 'Brian Griffin', brian_griffin`
- Numere: `23, 23.03,-1`

  Atomii și numerele sunt constante.
- Variabile: `X, Griffin, _family`
- Termeni compuși: `father(peter, stewie_griffin)`,

  `and(son(stewie,peter), daughter(meg,peter))`
  - forma generală: atom(termen,. . ., termen)
  - atom-ul care denumește termenul se numește functor
  - numărul de argumente se numește aritate

Sintaxă Prolog

Exercițiu. Care din următoarele șiruri de caractere sunt constante și care sunt variabile în Prolog?

- vINCENT
- Footmassage
- variable23
- Variable2000
- big_kahuna_burger
- 'big kahuna burger'
- big kahuna burger
- 'Jules'
- _Jules
- '_Jules'

Sintaxă Prolog

Exercițiu. Care din următoarele șiruri de caractere sunt constante și care sunt variabile în Prolog?

- vINCENT – constantă
- Footmassage – variabilă
- variable23 – constantă
- Variable2000 – variabilă
- big_kahuna_burger – constantă
- 'big kahuna burger' – constantă
- big kahuna burger – nici una, nici alta
- 'Jules' – constantă
- _Jules – variabilă
- '_Jules' – constantă

Program în Prolog = bază de cunoștințe

Exemplu. Un program în Prolog:

```
father(peter,meg).
father(peter,stewie).

mother(lois,meg).
mother(lois,stewie).

griffin(peter).
griffin(lois).

griffin(X) :- father(Y,X),  griffin(Y).
```

Un program în Prolog este o bază de cunoștințe (Knowledge Base).

Program în Prolog = mulțime de predicate

Practic, gândim un program în Prolog ca o mulțime de predicate cu ajutorul cărora descriem *lumea* (*universul*) programului respectiv.

Exemplu.

```
father(peter,meg).
father(peter,stewie).

mother(lois,meg).
mother(lois,stewie).

griffin(peter).
griffin(lois).

griffin(X) :- father(Y,X),  griffin(Y).
```

Predicate:

father/2

mother/2

griffin/1

Un program în Prolog

Program

- Un program în Prolog este format din reguli de forma

  Head :- Body.

- Head este un predicat, iar Body este o secvență de predicate separate prin virgulă.

- Regulile fără `Body` se numesc fapte.

Exemple.

- Exemplu de regulă:
  ```
  griffin(X) :- father(Y,X), griffin(Y).
  ```
- Exemplu de fapt:
  ```
  father(peter,meg).
  ```

Interpretarea din punctul de vedere al logicii

Operatorul **:-** este implicația logică $\leftarrow$.

Exemplu. `comedy(X) :- griffin(X).`

dacă `griffin(X)` este adevărat, atunci `comedy(X)` este adevărat.

Virgula , este conjuncția $\wedge$.

Exemplu. `griffin(X) :- father(Y,X), griffin(Y).`

dacă `father(Y,X)` și `griffin(Y)` sunt adevărate,

atunci `griffin(X)` este adevărat.

Interpretarea din punctul de vedere al logicii

Mai multe reguli cu același Head definesc același predicat, între definiții fiind un sau logic.

Exemplu.

```
comedy(X) :- family_guy(X).
comedy(X) :- south_park(X).
comedy(X) :- disenchantment(X).
```

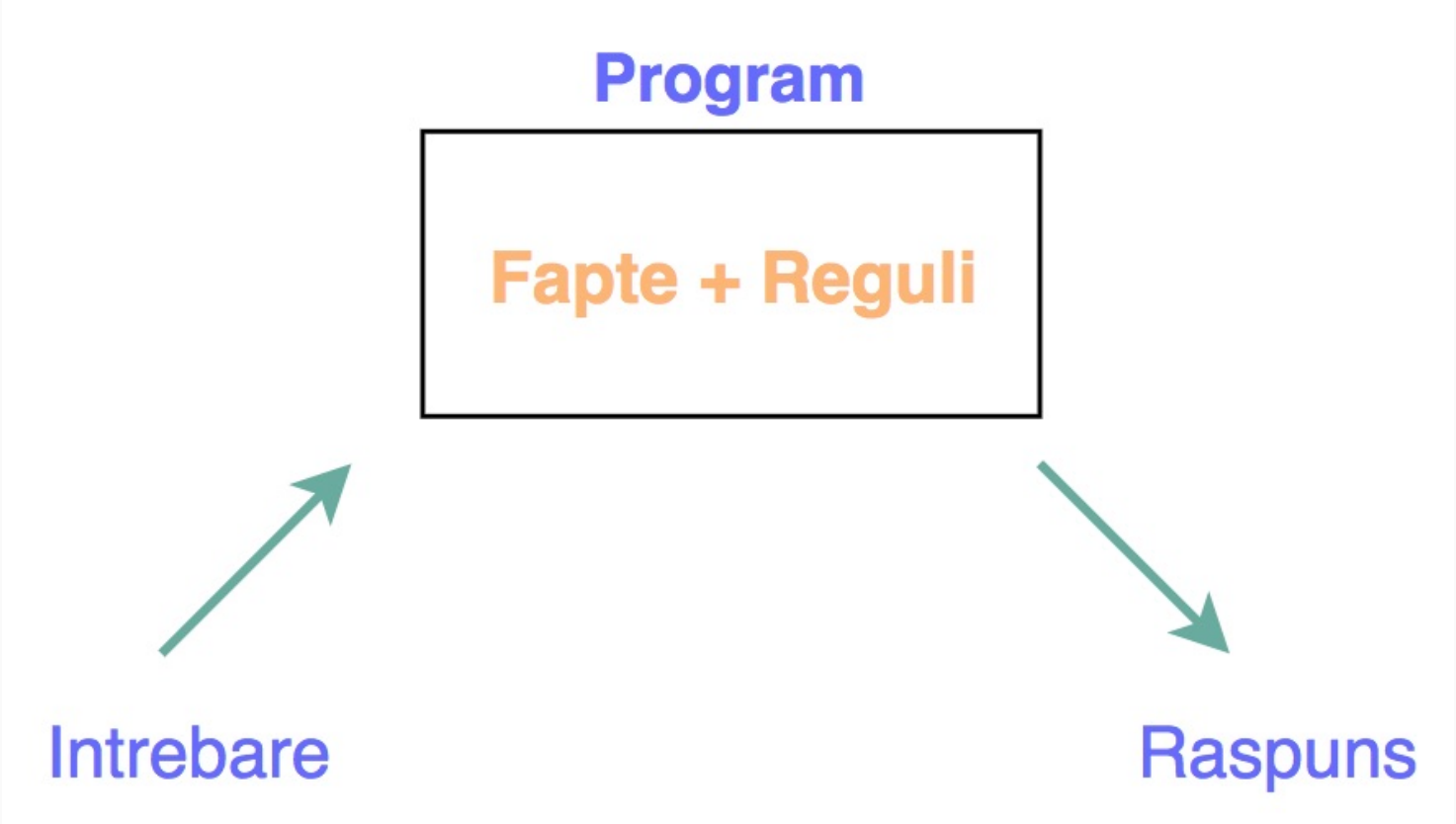
dacă `family_guy(X)` este adevărat sau `south_park(X)` este adevărat sau `disenchantment(X)` este adevărat,

atunci `comedy(X)` este adevărat.

Un program în Prolog

Cum folosim un program în Prolog?

Întrebări în Prolog



Întrebări și ținte în Prolog

- Prolog poate răspunde la întrebări legate de consecințele relațiilor descrise într-un program în Prolog.
- Întrebările sunt de forma:

$$\texttt{?- predicat}_1\texttt{(...),...,predicat}_n\texttt{(...).}$$

- Prolog verifică dacă întrebarea este o consecință a relațiilor definite în program.
- Dacă este cazul, Prolog caută valori pentru variabilele care apar în întrebare astfel încât întrebarea să fie o consecință a relațiilor din program.
- Un predicat care este analizat pentru a răspunde la o întrebare se numește țintă (goal).

Întrebări în Prolog

Prolog poate da 2 tipuri de răspunsuri:

- `false` – dacă întrebarea nu este o consecință a programului.
- `true` sau valori pentru variabilele din întrebare dacă întrebarea este o consecință a programului.

Example

```
?- griffin(meg)
true
?- griffin(glenn)
false
```

```
?- griffin(X)
X = petr ;
X = lois ;
X = meg ;
X = stewie ;
false
```

Cum găsește Prolog răspunsul

Pentru a găsi un răspuns,
Prolog încearcă regulile în ordinea apariției lor.

Exemplu. Să presupunem că avem programul:

```
foo(a).  foo(b).  foo(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- foo(X).
X = a.
```

Pentru a răspunde la întrebare se caută o potrivire (unificator) între scopul `foo(X)` și baza de cunoștințe. Răspunsul este substituția care realizează unificarea, în cazul nostru `X = a`.

Răspunsul la întrebare este găsit prin unificare!

Cum găsește Prolog răspunsul

Exemplu. Să presupunem că avem programul:

```
foo(a).  foo(b).  foo(c).
```

și că punem întrebările:

```
?- foo(X).
X = a.

?- foo(d).
false
```

Dacă nu se poate face unificarea, răspunsul este false.

Cum găsește Prolog răspunsul

Exemplu. Să presupunem că avem programul:

```
foo(a).  foo(b).  foo(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- foo(X).
X = a.
```

Dacă dorim mai multe răspunsuri, tastăm `;`

```
?- foo(X).
X = a ;
X = b ;
X = c.
```

Cum găsește Prolog răspunsul

Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
foo(a).
foo(b).
foo(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- foo(X).
```

```
?- trace.
true.

[trace]  ?- foo(X).
   Call: (8) foo(_4556) ? creep
   Exit: (8) foo(a) ? creep
X = a ;
   Redo: (8) foo(_4556) ? creep
   Exit: (8) foo(b) ? creep
X = b ;
   Redo: (8) foo(_4556) ? creep
   Exit: (8) foo(c) ? creep
X = c.
```

Cum găsește Prolog răspunsul

Pentru a găsi un raspuns, Prolog redenumește variabilele.

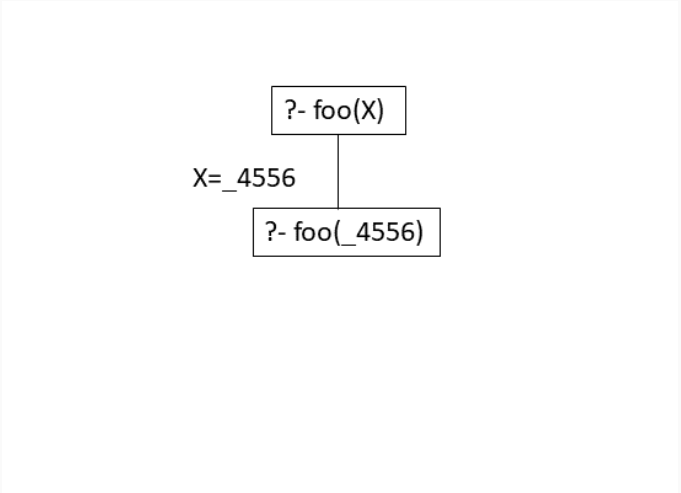
Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
foo(a).
foo(b).
foo(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- foo(X).
```

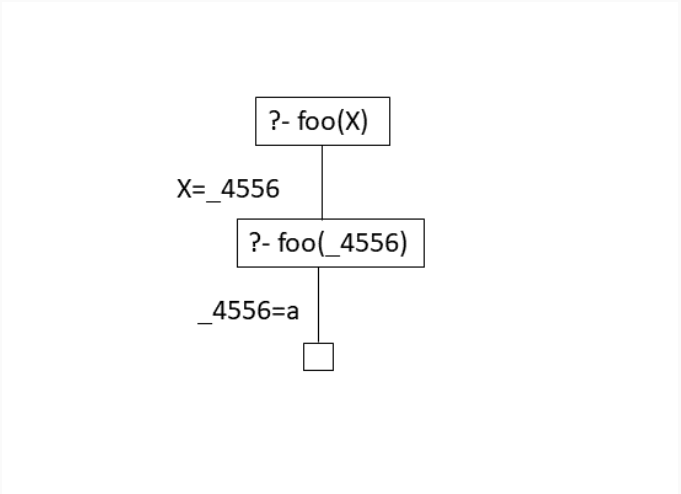


Cum găsește Prolog răspunsul

Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
foo(a).
foo(b).
foo(c).
```



și că punem întrebarea:

```
?- foo(X).
```

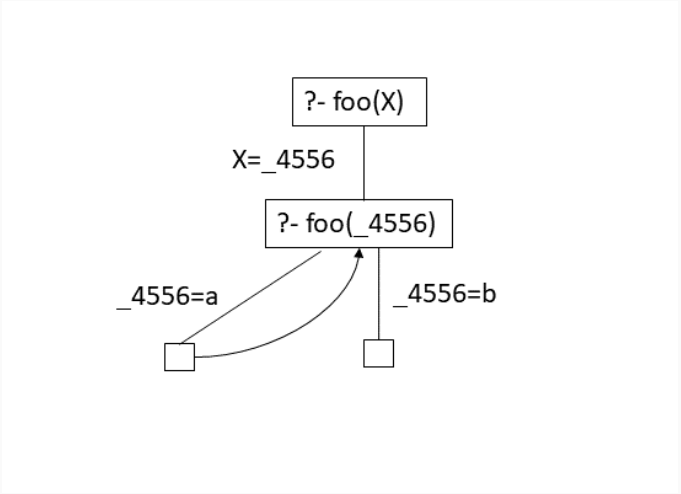
În acest moment, a fost găsită prima soluție: `X=_4556=a`.

Cum găsește Prolog răspunsul

Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
foo(a).
foo(b).
foo(c).
```



și că punem următoarea întrebare:

```
?- foo(X).
```

Dacă se dorește încă un răspuns, atunci se face un pas înapoi în arborele de căutare și se încearcă satisfacerea țintei cu o nouă valoare.

Cum găsește Prolog răspunsul

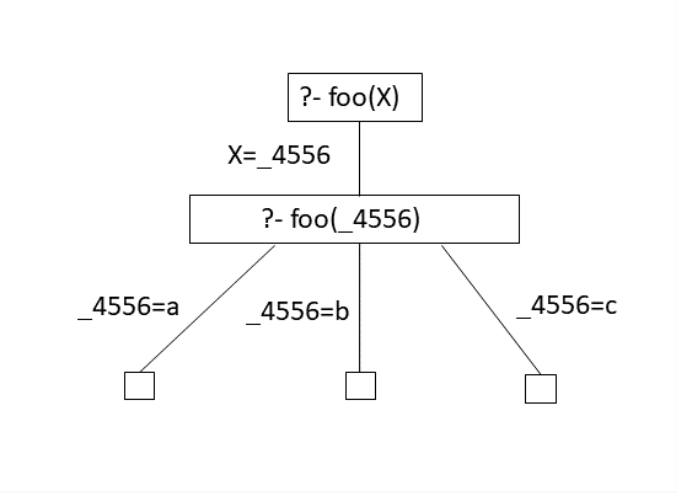
Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
foo(a).
foo(b).
foo(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- foo(X).
```



arborele de căutare

Cum găsește Prolog răspunsul

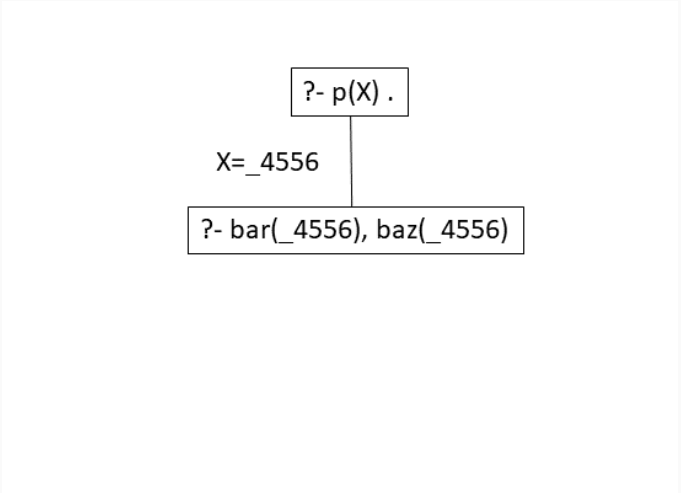
Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
bar(b).
bar(c).
baz(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- bar(X),baz(X).
```



Cum găsește Prolog răspunsul

Prolog se întoarce la ultima alegere dacă o subțintă eșuează.

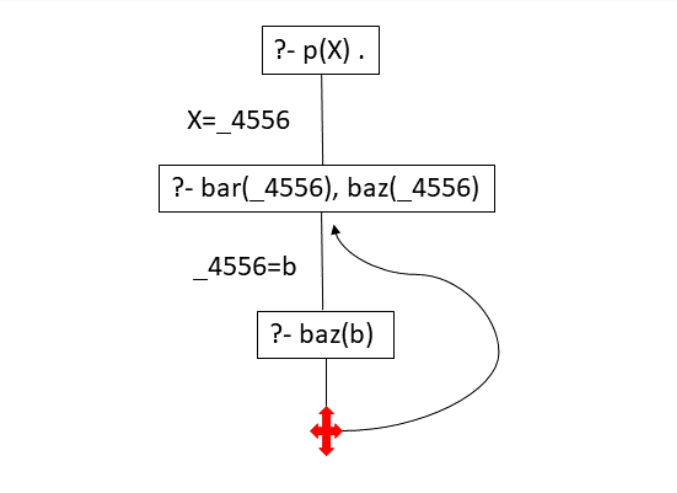
Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
bar(b).
bar(c).
baz(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- bar(X),baz(X).
```



Cum găsește Prolog răspunsul

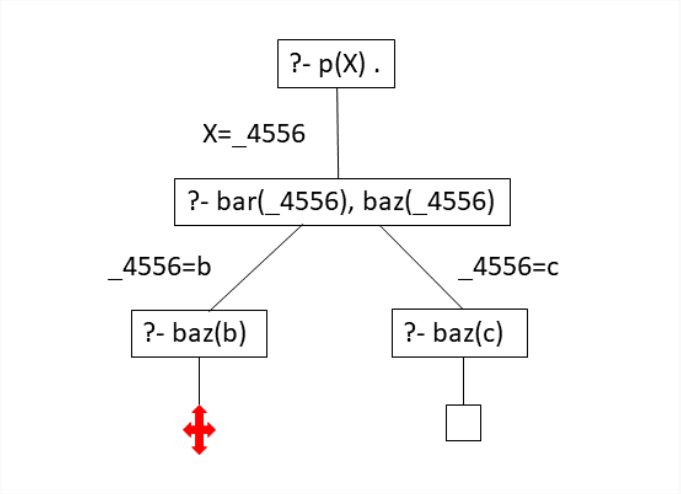
Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
bar(b).
bar(c).
baz(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- bar(X),baz(X).
```



Soluția găsită este: `X=_4556=c`.

Cum găsește Prolog răspunsul

Ce se întâmplă dacă schimbăm ordinea regulilor?

Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
bar(c).
bar(b).
baz(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- bar(X),baz(X).
```

Cum găsește Prolog răspunsul

Ce se întâmplă dacă schimbăm ordinea regulilor?

Exemplu.

Să presupunem că avem programul:

```
bar(c).
bar(b).
baz(c).
```

și că punem întrebarea:

```
?- bar(X),baz(X).
X = c ;
false
```

Vă explicați ce s-a întâmplat? Desenați arborele de căutare!

Problema colorării hărților

Să se coloreze o hartă dată cu o mulțime de culori dată astfel încât oricare două țări vecine să fie colorate diferit.

Cum modelăm această problemă în Prolog?

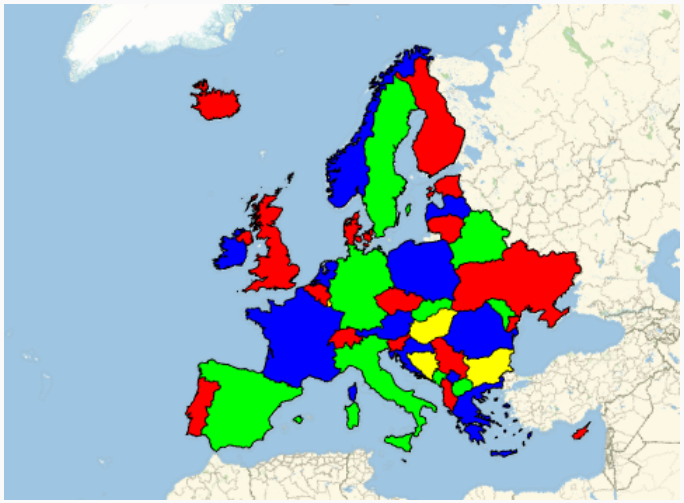
Problema colorării hărților

Să se coloreze o hartă dată cu o mulțime de culori dată astfel încât oricare două țări vecine să fie colorate diferit.

Cum modelăm această problemă în Prolog?

Trebuie să definim:

- culorile
- harta
- constrângerile



Sursa imaginii

Problema colorării hărților

Definim culorile, harta și constrângerile.

```
culoare(albastru).
culoare(rosu).
culoare(verde).
culoare(galben).

harta(RO,SE,MD,UA,BG,HU) :- vecin(RO,SE), vecin(RO,UA),
                            vecin(RO,MD), vecin(RO,BG),
                            vecin(RO,HU), vecin(UA,MD),
                            vecin(BG,SE), vecin(SE,HU).

vecin(X,Y) :- culoare(X), culoare(Y), X \== Y.
```

Problema colorării hărților

Definim culorile, harta și constrângerile. Cum punem întrebarea?

```
culoare(albastru).
culoare(rosu).
culoare(verde).
culoare(galben).

harta(RO,SE,MD,UA,BG,HU) :- vecin(RO,SE), vecin(RO,UA),
                            vecin(RO,MD), vecin(RO,BG),
                            vecin(RO,HU), vecin(UA,MD),
                            vecin(BG,SE), vecin(SE,HU).

vecin(X,Y) :- culoare(X), culoare(Y), X \== Y.
```

Problema colorării hărților

Definim culorile, harta și constrângerile. Cum punem întrebarea?

```
culoare(albastru).
culoare(rosu).
culoare(verde).
culoare(galben).

harta(RO,SE,MD,UA,BG,HU) :- vecin(RO,SE), vecin(RO,UA),
                            vecin(RO,MD), vecin(RO,BG),
                            vecin(RO,HU), vecin(UA,MD),
                            vecin(BG,SE), vecin(SE,HU).

vecin(X,Y) :- culoare(X), culoare(Y), X \== Y.

?- harta(RO,SE,MD,UA,BG,HU).
```

Problema colorării hărților

Ce răspuns primim?

```
?- harta(RO,SE,MD,UA,BG,HU).
RO = albastru,
SE = UA, UA = rosu,
MD = BG, BG = HU, HU = verde
```

Liste în Prolog

- O listă în Prolog este un șir de elemente, separate prin virgulă, între paranteze drepte:

  ```
  [1,cold, parent(jon),[winter,is,coming],X]
  ```

- O listă poate conține termeni de orice fel.
- Ordinea termenilor din listă are importanță:

  ```
  ?- [1,2] == [2,1] .
  false
  ```

- Lista vidă se notează `[]`.
- Simbolul `|` desemnează coada listei:

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

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

Liste în Prolog

Exerciții.

1. Definiți un predicat care verifică că un termen este lista.

Liste în Prolog

Exerciții.

1. Definiți un predicat care verifică că un termen este lista.

```
is_list([]).
is_list([_ | T]) :- is_list(T).
```

Liste în Prolog

Exerciții.

1. Definiți un predicat care verifică că un termen este lista.

```
is_list([]).
is_list([_ | T]) :- is_list(T).
```

2. Definiți predicate care verifică dacă un termen este primul element, ultimul element sau coada unei liste.

Liste în Prolog

Exerciții.

1. Definiți un predicat care verifică că un termen este lista.

```
is_list([]).
is_list([_ | T]) :- is_list(T).
```

2. Definiți predicate care verifică dacă un termen este primul element, ultimul element sau coada unei liste.

```
head([X|_],X).

last([X],X).
last([_|T],Y):- last(T,Y).

tail([],[]).
tail([_|T],T).
```

Pe data viitoare!