ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά μαθήματα ΠΠ

Τεχνητή Νοημοσύνη

Ενότητα 5: Λογικός Προγραμματισμός και PROLOG

Ιωάννης Χατζηλυγερούδης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Λογικός Προγραμματισμός και PROLOG

Λογικός Προγραμματισμός (1)

- Εξαγωγή αποτελεσμάτων-συμπερασμάτων από ένα πεπερασμένο σύνολο λογικών εκφράσεων, που ονομάζεται **λογικό πρόγραμμα** (logic program)
- Πηγάζει από το πεδίο της αυτοματοποιημένης απόδειξης θεωρημάτων (automated theorem proving) με απαιτήσεις υψηλότερης αποδοτικότητας.
- Γι' αυτό χρησιμοποιεί μια περιορισμένη μορφή λογικής, που οδηγεί σε αυτό που ονομάζεται **περιορισμένο λογικό πρόγραμμα** (definite logic program)

Λογικός Προγραμματισμός (2)

- Η λογική αυτή χρησιμοποιεί λογικές προτάσεις της μορφής:

$$\forall x1\ \forall x2\ \ldots\ \forall xm\ (A1 \wedge A2 \wedge \ldots \wedge An \Rightarrow Ao)\ (n \geq 0)$$

όπου Ao, A1, A2, … , An είναι (θετικές) ατομικές εκφράσεις

- Η CNF-προτασιακή μορφή αυτής είναι:

$$Ao \vee \neg A1 \vee \neg\ A2 \vee \ldots \vee \neg\ An\ (n \geq 0)$$

$$\text{ή } \{Ao, \neg A1, \neg\ A2, \ldots, \neg\ An\}\ (n \geq 0)$$

Δηλ. αντιστοιχεί σε προτάσεις με ένα θετικό στοιχείο (το Ao).

- Αυτές οι προτάσεις λέγονται **περιορισμένες προτάσεις** (definite clauses) ή τύπου Horn και παριστάνουν θετική γνώση.

Λογικός Προγραμματισμός (3)

- Μια τέτοια πρόταση στον λογικό προγραμματισμό συμβολικά γράφεται ως εξής:

$$A_o \leftarrow A_1, A_2, \ldots, A_n$$

κεφαλή (head) σώμα (body)

και είναι τύπου: **κανόνας** (rule)

- Αν n=0, τότε δεν υπάρχει σώμα, παραλείπεται το ← και η πρόταση γίνεται τύπου: **γεγονός (fact):**

$$A_o$$

- Αν δεν υπάρχει κεφαλή τότε η πρόταση παίρνει την μορφή:

$$\leftarrow A_1, A_2, \ldots, A_n$$

και λέγεται τύπου: **στόχος (goal).** Τα $A_1, A_2, \ldots, A_n$ αποτελούν **υποστόχους** (subgoals).

Λογικός Προγραμματισμός (4)

- Για να δούμε τη λογική πίσω από μια πρόταση-στόχο, ας θεωρήσουμε την ισοδύναμη μορφή σε ΚΛΠΤ:

$$\forall x1\ \forall x2 \ldots \forall xm\ \neg(A1 \wedge A2 \wedge \ldots \wedge An)$$

που μπορεί να γραφεί

$$\neg\ \exists x1\ \exists\ x2 \ldots \exists\ xm\ (A1 \wedge A2 \wedge \ldots \wedge An)$$

που αποτελεί την άρνηση της

$$\exists x1\ \exists\ x2 \ldots \exists\ xm\ (A1 \wedge A2 \wedge \ldots \wedge An)$$

που αποτελεί ένα ερώτημα σε ΚΛΠΤ (δηλ. μια προς απόδειξη πρόταση υπαρξιακού τύπου)

Λογικός Προγραμματισμός (5)

Η απόδειξη ενός στόχου γίνεται με τη χρήση του κανόνα **SLD-Επίλυση** (SLD-Resolution principle):

$$\frac{(\leftarrow A_1, \ldots, A_{i-1}, A_i, A_{i+1}, \ldots, A_n) \quad (B_o \leftarrow B_1, B_2, \ldots, B_m)}{(\leftarrow A_1, \ldots, A_{i-1}, B_1, B_2, \ldots, B_m, A_{i+1}, \ldots, A_n)\theta}$$

όπου $\theta = \gamma.\varepsilon.(A_i, B_o)$

Λογικός Προγραμματισμός (6)

Ας υποθέσουμε ότι ένα σύνολο αποτελείται από τις παρακάτω προτάσεις ΚΛΠΤ:

$\forall x\ \forall y\ \forall z\ (\text{father}(x_o,y_o) \wedge \text{parent}(y_o,z_o)) \Rightarrow \text{grandfath}(x_o,z_o)$

$\forall x\ \forall y\ \text{father}(x_1,y_1) \Rightarrow \text{parent}(x_1,y_1)$

$\forall x\ \forall y\ \text{mother}(x_2,y_2) \Rightarrow \text{parent}(x_2,y_2)$

father(a,b)

moth(b,c)

Ερώτηση:
Who has a as grandfather?

ΚΛΠΤ: $\exists x\ \text{grandfath}(a, x)$

- Το ισοδύναμο περιορισμένο λογικό πρόγραμμα θα είναι:

  (1) $\text{grandfath}(x_o,z_o) \leftarrow \text{father}(x_o,y_o), \text{parent}(y_o,z_o)$

  (2) $\text{parent}(x_1,y_1) \leftarrow \text{father}(x_1,y_1)$

  (3) $\text{parent}(x_2,y_2) \leftarrow \text{mother}(x_2,y_2)$

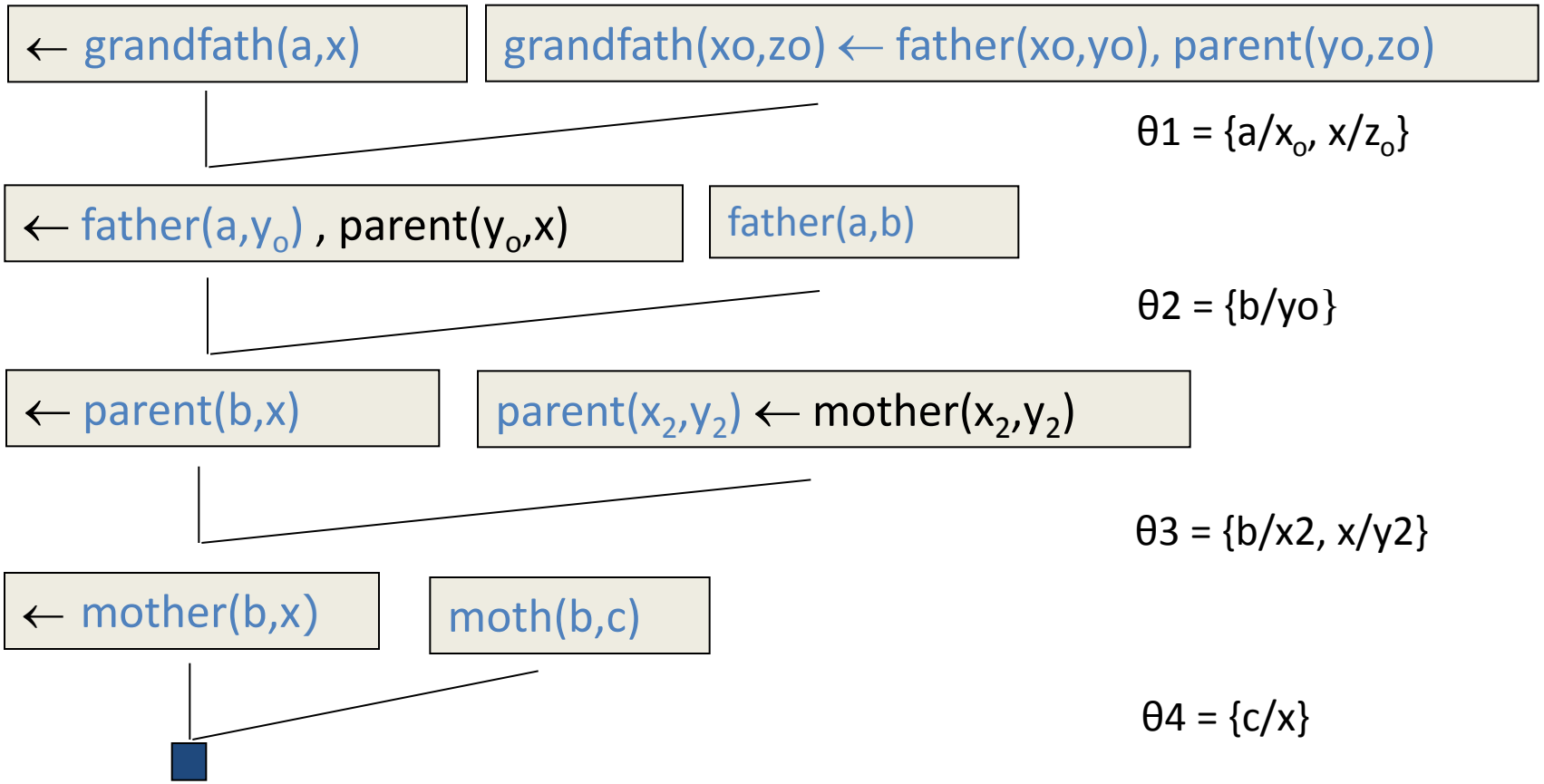
  (4) father(a,b)

  (5) moth(b,c)

ΛΠ: $\leftarrow \text{grandfath}(a, x)$

Λογικός Προγραμματισμός (7)

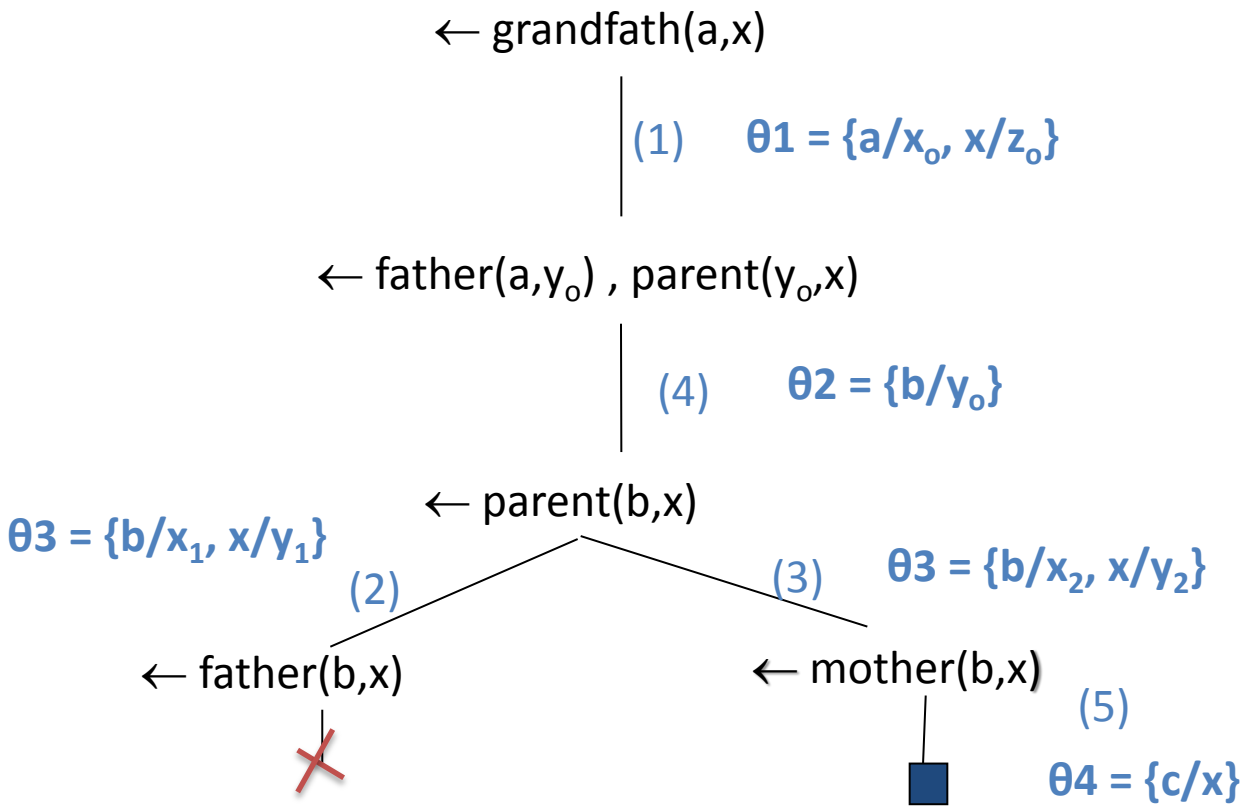
- Μια απόδειξη (εξαγωγή) του στόχου με χρήση SLD-Επίλυση είναι:



$\theta1\theta2\theta3\theta4 = \{a/x_o, c/z_o, b/y_o\ b/x_2, c/y_2\ \mathbf{c/x}\}$

Λογικός Προγραμματισμός (8)

- Το SLD-δέντρο απεικονίζει όλες τους δυνατούς τα τρόπους εξαγωγής/απόδειξης του στόχου:



Λογικός Προγραμματισμός (9)

- Άρνηση στον λογικό προγραμματισμό
  - Τα περιορισμένα προγράμματα εκφράζουν μόνο θετική γνώση (πώς σχετίζονται μεταξύ τους οντότητες του πεδίου του προβλήματος)
  - Δεν εκφράζουν αρνητική γνώση (τι δεν ισχύει)
  - Για να υπερβούμε το εμπόδιο αυτό χρησιμοποιείται η λεγόμενη «υπόθεση κλειστού κόσμου» (closed world assumption-cwa)

Λογικός Προγραμματισμός (10)

- Άρνηση στον λογικό προγραμματισμό
  - Η closed world assumption (cwa) είναι μια αρχή που αναφέρει ότι αν ένα θετικό στοιχείο Α χωρίς μεταβλητές δεν μπορεί να αποδειχθεί από ένα οριστικό πρόγραμμα τότε συμπεραίνουμε το ¬Α.
  - Μια πιο περιοριστική εκδοχή του closed world assumption (cwa) ονομάζεται «άρνηση ως αποτυχία» (negation as failure-naf) και αναφέρεται στην ίδια αρχή, αλλά δεν ανιχνεύει καταστάσεις που έχουμε άπειρους κλάδους (infinite brunches) στο SLD-δέντρο, παρά μόνο κλάδους που είναι αδιέξοδοι, είναι όμως ευκολότερα εφαρμόσιμη. Αυτήν ακολουθεί η Prolog.

PROLOG

- PROLOG ← PROgramming in LOGic
- Πρώτη υλοποίηση: Alain Colmerauer, Μασσαλία

  (Αρχή Επίλυσης, Εργασία R. Kowalski)
- Δεύτερη υλοποίηση: D. Warren, Εδιμβούργο
- Δηλωτική γλώσσα: διάκριση μεταξύ ‘λογικής’ και ‘ελέγχου’ σ’ ένα πρόγραμμα (Kowalski: πρόγραμμα = λογική + έλεγχος)

Βασικά

- Ένα πρόγραμμα Prolog αφορά οντότητες του προβλήματος με το οποίο ασχολείται, τις ιδιότητές τους και τις σχέσεις τους.
- Ένα πρόγραμμα Prolog μπορεί να περιλαμβάνει
  - Γεγονότα (Facts): παριστάνουν συγκεκριμένες ιδιότητες ή σχέσεις μεταξύ συγκεκριμένων οντοτήτων του προβλήματος-τα δεδομένα του προβλήματος.
  - Κανόνες (Rules): παριστάνουν γενικευμένες σχέσεις μεταξύ οντοτήτων του προβλήματος-οι συλλογισμοί για την επίλυση του προβλήματος.
  - Ερωτήματα (Questions/Queries): παριστάνουν τα ζητούμενα ενός προβλήματος-ο τρόπος αλληλεπίδρασης με τον χρήστη.
  - Σχόλια: ό,τι βρίσκεται ανάμεσα σε /* … */

Ατομικές Εκφράσεις (1)

- Μια ατομική έκφραση έχει την εξής μορφή:
  - <κατηγόρημα>(<όρος1>, <όρος2>, …, <όροςν>).
- Το κατηγόρημα (predicate) εκφράζει μια ιδιότητα μιας οντότητας ή μια σχέση μεταξύ δύο ή περισσοτέρων οντοτήτων. Ο αριθμός των σχετιζόμενων οντοτήτων ονομάζεται τάξη (arity) του κατηγορήματος. Ένα κατηγόρημα είναι ένα αλφαριθμητικό (συμβολοσειρά) που ξεκινά με μικρό γράμμα, επιτρέπεται η χρήση του '_' (π.χ. loves, mother, man, make_tree).

Ατομικές Εκφράσεις (2)

- Ένας όρος (term) μπορεί να είναι:
  - Μια σταθερά (constant), δηλ. ένας αριθμός (π.χ. 2, 3.4, 8, -10) ή ένα αλφαριθμητικό (συμβολοσειρά) που ξεκινά με μικρό γράμμα (επιτρέπεται και το ‘_’) ή βρίσκεται σε απλά εισαγωγικά, π.χ. class1, x_1, giannis, p2, ‘Petros’. Μια σταθερά παριστάνει μια συγκεκριμένη οντότητα.
  - Μια μεταβλητή (variable), δηλ. ένα αλφαριθμητικό (συμβολοσειρά), που ξεκινά με κεφαλαίο γράμμα ή το ‘_’ (π.χ. X, X2, _Y, Obj3). Μια μεταβλητή αντιπροσωπεύει ένα σύνολο ομοειδών οντοτήτων. Υπάρχει η ανώνυμη μεταβλητή (_), που χρησιμοποιείται όπως μια μεταβλητή, αλλά όταν δεν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε την τιμή δέσμευσης της μεταβλητής.
  - Μια δομή (structure), δηλ. ένας σύνθετος όρος της μορφής: <όνομα-δομής>(<όρος-1>, <όρος-2>, …, <όρος-ν>). Αντιπροσωπεύει μια οντότητα (όνομα-δομής) με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (ορος-1, όρος-2 … όρος-ν).

Γεγονότα (Facts)

- Γεγονός = ατομική έκφραση χωρίς μεταβλητές.
- Παραδείγματα

```
man(giannis).                              (man/1)
father(giannis, kostas).                   (father/2)
gives(giannis, maria, book1).              (gives/3)
gives(giannis, maria, book(black_horse, ellis)).
```

Κανόνες (1)

- Ένας κανόνας έχει την μορφή:

  <έκφραση-κεφαλή> :- <έκφραση-σώμα>.

- Η <έκφραση-κεφαλή> ενός κανόνα είναι πάντα μια ατομική έκφραση και ονομάζεται κεφαλή (head) του κανόνα.

- Η <έκφραση-σώμα> είναι μια σύνθετη έκφραση και ονομάζεται σώμα (body) του κανόνα:

  <έκφραση-σώμα> = <ατομ. έκφρ.-1><λογικός-τελεστής-1> … <λογικός-τελεστής-ν><ατομ.-έκφρ.-ν>.

- Οι λογικοί τελεστές είναι: το ‘,’ (AND), το ‘;’ (OR) και το not (NOT).

Κανόνες(2)

- Παραδείγματα

  likes(giannis, X) :- likes(X, wine).

  parent(X, Y) :- father(X, Y).

  sibling(X, Y) :- father(Z, X), father(Z, Y).

  sibling(X, Y) :- brother(X, Y); sister(X, Y).

- Διπλή ανάγνωση ενός κανόνα
  - Δηλωτική: Εάν <σώμα> τότε <κεφαλή>
  - Διαδικαστική: Για να αποδειχθεί η <κεφαλή> θα πρέπει να αποδειχθεί το <σώμα>

Ερωτήσεις

- ?- <έκφραση>
- Π.χ.

  ?- likes (giannis, maria). (απάντηση: yes-no)

  ?- likes (giannis, X). (απάντηση: μεταβλητή-τιμή)

  ?- likes (_, maria). (απάντηση: yes-no)

Έξοδος στην Οθόνη

- write(X) → εκτύπωση της τιμής της X
- write(hello) → hello
- write('Hello') → Hello
- nl → αλλαγή γραμμής
- ?- write(kostas), write(maria) → kostasmaria
- ?- write('kostas '), write(maria) → Kostas maria
- ?- write(kostas), nl, write(maria) →

  kostas

  maria

Είσοδος από Πληκτρολόγιο

- read(X). (εισαγωγή όρων με δέσμευση της X)

  |: george. (!!!προσοχή στην τελεία)

  X = george

  Yes

Τελεστές Σύγκρισης

- Τελεστές σύγκρισης: =, \=, <, >, =<, >=
- Εκφράσεις : 2 > 4, X =< 5, X = Y

```
king-time (george, 867, 920).
king-time (john, 920, 960).
king-time (kostas, 961, 990).
king (X, Y) :- king-time (X, A, B),
                    Y >= A,
                    Y =< B.
```

```
?- king (george, 900).
Yes
?- king (john, 900).
No
?- king (X, 930).
X=john
Yes
?- king (X, 920).
X=george;
X=john;
No
```

Πράξεις

- Αριθμητικοί τελεστές: +, -, *, /, mod
  - Αριθμητικές εκφράσεις: 3*4+5, X*Y+2, -2*X
  - Τελεστής υπολογισμών: is

```
tr-dim (abc, 10, 15).
tr-dim (abd, 8, 12).
tr-dim (ade, 6, 10).
tr-area (X, A) :- tr-dim (X, Y1, Y2),
                  A is Y1*Y2/2.
```

```
?-  tr-area (abd, X).
X=48
Yes
?- tr-area (adg, X).
No
```

Κατηγόρημα Ισότητας (1)

- Χρησιμοποιείται ως ενδοθεματικός τελεστής: X=Y
- Τα X, Y είναι εν γένει δύο όροι που επιτρέπεται να περιέχουν αδέσμευτες μεταβλητές.
- Ο έκφραση-στόχος «X=Y» (X ίσον Y) έχει σαν αποτέλεσμα τον έλεγχο ταιριάσματος (matching) των X, Y, δηλ. έλεγχο του αν είναι ταυτόσημα ή μπορούν να γίνουν ταυτόσημα. Αν ταιριάζουν, τότε ο στόχος επιτυγχάνει (true), αλλιώς αποτυγχάνει (false).
- Αντίθετα ενεργεί το κατηγόρημα ανισότητας: X \= Y

Κατηγόρημα Ισότητας (2)

- Κανόνες ελέγχου ισότητας/ταιριάσματος της έκφρασης X=Y
  - Αν X είναι αδέσμευτη και Y είναι δεσμευμένη (ή μια σταθερά), τότε X, Y είναι ίσες (ταιριάζουν). Επί πλέον, η X αναγκάζεται να δεσμευτεί από τον ίδιο όρο που δεσμεύεται και η Y (ή τη σταθερά).
    - plays (postman, football) = X. (Επιτυγχάνει, και η X δεσμεύεται από τη δομή «plays (postman, football)»)
  - Οι ακέραιοι αριθμοί και τα άτομα είναι ίσα (ταιριάζουν) με τον εαυτό τους. (126 = 126, ball = ball)
  - Δύο δομές είναι ίσες αν έχουν το ίδιο όνομα και αριθμό όρων και όλοι οι αντίστοιχοι όροι είναι ίσοι (ταιριάζουν).
    - plays (postman, football) = plays (postman, X) (Επιτυγχάνει, και η X δεσμεύεται από τον όρο 'football').
  - Στην περίπτωση που έχουμε δύο αδέσμευτες μεταβλητές, τότε ταιριάζουν και υποχρεώνονται να είναι «κοινής χρήσης», δηλ. οποτεδήποτε η μία δεσμεύεται από ένα όρο, δεσμεύεται και η άλλη από τον ίδιο όρο.

Αναδρομικότητα (1)

- Η αναδρομή (recursion) αναφέρεται σε περιπτώσεις όπου ο ορισμός ενός κατηγορήματος (κανόνα) γίνεται μέσω του εαυτού του.
- Π.χ. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να ορίσουμε το κατηγόρημα ‘πρόγονος’. Ως γνωστό: «Πρόγονος κάποιου είναι ο γονέας του. Επίσης, ο γονέας του γονέα του, ο γονέας του γονέα του γονέα του ...». Στην PROLOG θα έπρεπε να γράψουμε :

  ancestor(X,Y) : - parent(X,Y).

  ancestor(X,Y) : - parent(X,Z), parent(Z,Y).

  ancestor(X,Y) : - parent(X,Z1), parent(Z1,Z2), parent(Z2,Y).

  κ.ο.κ.

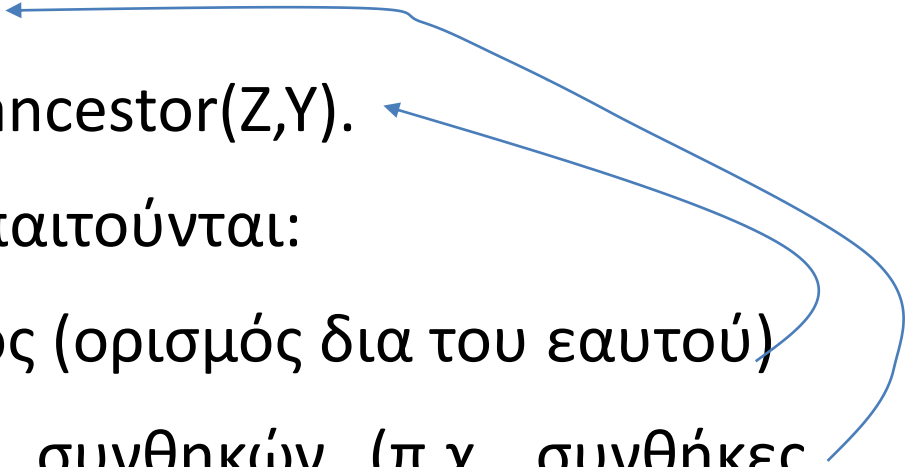
Αναδρομικότητα (2)

- Η λύση είναι ένας αναδρομικός ορισμός του ‘ancestor’:

  ancestor(X,Y) : - father(X,Y).

  ancestor(X,Y) : - father(X,Z), ancestor(Z,Y).

- Σε περίπτωση αναδρομής απαιτούνται:
  - Ένας αναδρομικός ορισμός (ορισμός δια του εαυτού)
  - Προσδιορισμός οριακών συνθηκών (π.χ. συνθήκες τερματισμού)



Λίστες (1)

- Ένας άλλος τύπος όρου ή δομής στην Prolog.
- Είναι μια διατεταγμένη ακολουθία στοιχείων (χωρίς καθορισμένο μήκος).
- Διακρίνουμε την κεφαλή (head) και την ουρά (tail).
- Μια λίστα μπορεί να περιέχει σαν στοιχεία οποιουσδήποτε όρους (σταθερές, μεταβλητές, δομές, άλλες λίστες).
- Η κενή λίστα είναι μια λίστα χωρίς στοιχεία.

Λίστες (2)

- **Παραδείγματα:**

  [the, ship, [has, good, fish]]

  [a, X, 2, [Y, Z], [b]]

  [ ]

- Υπάρχει ειδικός συμβολισμός για την εξαγωγή (δέσμευση σε μεταβλητές) της κεφαλής και της ουράς μιας λίστας: [X | Y] .
- **Παραδείγματα:**

```
p([a, b, c]).
p([the, ship, [has, good, fish]]).
?- p([X | Y]).
X = a    Y = [b, c] ;
X = the  Y = [ship, [has, good, fish]]
?- p([_, _, [_ | X]).
X = [good, fish]
```

Αναδρομική Αναζήτηση (1)

- Η αναζήτηση ενός στοιχείου σε μια δομή που περιέχει άλλες ίδιες δομές (π.χ. λίστα που περιέχει λίστες) ή μπορεί να θεωρηθεί ως συνιστώμενη από όμοιες υπό-δομές απαιτεί αναδρομή.

Αναδρομική Αναζήτηση (2)

- Παράδειγμα: Αναζήτηση στοιχείου σε λίστα:

  member(X, L)

- Ορισμός: Το X είναι μέλος της λίστας L αν

  (α) το X είναι η κεφαλή της L είτε

  (β) το X είναι μέλος της ουράς της L

- Τα παραπάνω μεταφράζονται ως εξής:

  member(X, [X|_]).

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

  (αναδρομικός ορισμός: ορισμός του member δια του εαυτού του)

Χειρισμός Λιστών (1)

- member(X, L) (επιτυχία, αν η τιμή της μεταβλητής X είναι μέλος της λίστας L, αλλιώς αποτυχία). Π.χ.
  - ?- member(a, [b, a, c, d]). → Yes
  - ?- member(a, [b, c, d]).→ No
  - ?-member(X,[john,maria,kostas]). → X = john ; X =maria ;X = kostas ; no
- append(L1, L2, X) (Ενοποίηση των L1, L2 και το αποτέλεσμα στη μεταβλητή X). Π.χ.
  - ?- append([a, b], [1, 2, 3], X). → X=[a, b, 1, 2, 3]
  - ?- append(X, [c, d], [a, b, c, d]). → X=[a, b]

Χειρισμός Λιστών (2)

- length(L, N) (Το πλήθος των στοιχείων της L ανατίθεται στην N). Π.χ.
  - ?- length([a, b, c, d,e,f], N). → N=6
  - ?-length([[],[]],N). → N=2
  - ?-length([[[]]],R). → N=1

CUT (!)

- Τίθεται σαν στόχος (στοιχείο) σε κανόνες. Όταν το συναντήσει η διαδικασία απόδειξης, ικανοποιείται άμεσα.
- Σαν αποτέλεσμα έχει την καλύτερη απόδοση (και χωρικά και χρονικά).
- Περιπτώσεις χρήσης:
  - Για να σταματήσει η διαδικασία σε συγκεκριμένο κανόνα
  - Για να σταματήσει την προσπάθεια ικανοποίησης συγκεκριμένου στόχου
  - Για να αποτρέψει την οπισθοδρόμηση, δηλ. την εύρεση εναλλακτικών λύσεων

CUT-Περίπτωση 1

- Σταμάτημα σε Κανόνα

  Π.χ. αναδρομικοί ορισμοί, όπως το N!:

```
n_parag(1,1) :- !.
n_parag(N, P) :- NEXT is N-1,
                 n_parag(NEXT, REST),
                 P is REST * N.
```

CUT-Περίπτωση 2

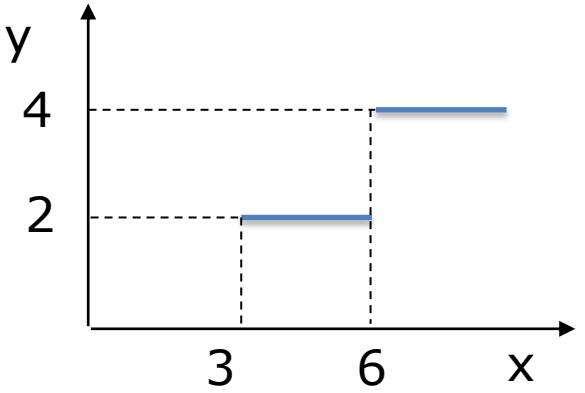
- Σταμάτημα Οπισθοδρόμησης

  Π.χ. Αναπαράσταση βηματικής συνάρτησης

  f(X,0) :- X<3, !.

  f(X, 2) :- 3 =< X, X < 6, !.

  f(X,4) :- 6 =< X.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Σημείωμα Αδειοδότησης

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.