



## ΕΝΟΤΗΤΑ 2.4 Συστήματα Κανόνων

(υλικό από διαφάνειες βιβλίου Βλαχάβα κα)

ΜΕΡΟΣ 2: Αναπαράσταση Γνώσης και Συλλογιστική

## Περίληψη Ενότητας 2.4



2

### Θέματα

- Διαδικαστική σημασιολογία σε προτάσεις Horn
- Μορφή κανόνων και συστήματα εξαγωγής συμπερασμάτων
- Συστήματα παραγωγής: δομή, επίλυση συγκρούσεων, κύκλος λειτουργίας
- Η γλώσσα Prolog
- Το σύστημα CLIPS

### Υλικό

- Διαφάνειες παρουσίασης
- Κεφάλαιο 11 Βιβλίου Βλαχάβα κα
- Κεφάλαιο 7 Βιβλίου Russel-Norvig
- Κεφάλαιο 6 Βιβλίου Brachman-Levesque

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Μορφή κανόνων



3

Μορφές Κανόνων	Εκφράζει	Επεξήγηση
IF συνθήκες THEN συμπέρασμα Συνεπαγωγικός (Deductive) κανόνας	Δηλωτική γνώση	Αν οι συνθήκες αληθεύουν τότε αληθεύει και το συμπέρασμα
IF συνθήκες THEN ενέργειες Κανόνας Παραγωγής (Production)	Διαδικαστική γνώση	Αν οι συνθήκες αληθεύουν τότε εκτέλεσε τις ενέργειες
ON συμβάν IF συνθήκες THEN ενέργειες Ενεργός (active) κανόνας	Διαδικαστική γνώση	Όταν συμβεί το γεγονός (συμβάν) Αν οι συνθήκες αληθεύουν τότε εκτέλεσε τις ενέργειες

Οι συνθήκες (conditions) είναι μία ακολουθία από κατηγορήματα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τους λογικούς τελεστές AND και/ή OR. Αναφέρονται και ως προϋποθέσεις (premises) ή αριστερό μέρος του κανόνα (left hand side - LHS).

Το συμπέρασμα (conclusion) είναι ένα κατηγορημα.

Οι ενέργειες (actions) είναι μία σειρά από εντολές που πρέπει να εκτελεστούν.

Οι ενέργειες ή το συμπέρασμα αναφέρονται και ως επακόλουθα (consequent) ή δεξιό μέρος του κανόνα (right hand side - RHS).

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Παράδειγμα



4

Σύμπτωμα	Πιθανή Βλάβη	Επιδιόρθωση
Ο εκτυπωτής τυπώνει σωστά αλλά τα χρώματα δεν τυπώνονται σωστά	Έχει τελειώσει το έγχρωμο μελάνι	Αλλάξτε την κεφαλή με το έγχρωμο μελάνι

- Συνεπαγωγικός Κανόνας

**IF** ο εκτυπωτής τυπώνει σωστά **AND** τα χρώματα δεν τυπώνονται σωστά **THEN** έχει τελειώσει το έγχρωμο μελάνι

- Κανόνας Παραγωγής

**IF** ο εκτυπωτής τυπώνει σωστά **AND** τα χρώματα δεν τυπώνονται σωστά **THEN** αλλάξτε την κεφαλή με το έγχρωμο μελάνι

- Ενεργός Κανόνας

**ON** εκτύπωση **IF** τα χρώματα δεν τυπώνονται σωστά **THEN** αλλάξτε την κεφαλή με το έγχρωμο μελάνι

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Συστήματα κανόνων



5

- Συστήματα εξαγωγής συμπερασμάτων (deduction systems): π.χ. Prolog, Datalog
  - Γνώση που δηλώνει μία αλήθεια για τον κόσμο του προβλήματος, αλλά δεν αναφέρει ρητά πότε και πώς εφαρμόζεται
- Συστήματα παραγωγής (production systems): π.χ. CLIPS, Flex
  - Γνώση για το ποιες συγκεκριμένες ενέργειες πρέπει να εκτελεστούν δεδομένης μιας κατάστασης
  - Μία ενέργεια που εκτελείται επιφέρει αποτελέσματα που δεν είναι αναστρέψιμα μέσω οπισθοδρόμησης, παρά μόνο μέσω ανάστροφων ενεργειών
- Ενεργά Συστήματα ((re-)active systems, active database systems): π.χ. Oracle Triggers, Δαίμονες πλαισίων Flex

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Αναπαράσταση γνώσης με κανόνες



6

### Πλεονεκτήματα

- Η γνώση αναπαριστάται με τρόπο που πλησιάζει την ανθρώπινη γνώση για τις περισσότερες δραστηριότητες που απαιτούν νοημοσύνη
- Η εξαγωγή συμπερασμάτων γίνεται με σχετικά εύκολο τρόπο (επάρκεια συνεπαγωγών)
- Κάθε κανόνας ορίζει ένα μικρό και (σχεδόν) ανεξάρτητο τμήμα της γνώσης για ένα πρόβλημα (*modularity*)
- Νέοι κανόνες μπορούν να προστεθούν σε ένα σύνολο κανόνων (σχεδόν) ανεξάρτητα από άλλους υπάρχοντες κανόνες (*incrementability*)
- Κανόνες που ήδη υπάρχουν σε ένα σύνολο κανόνων μπορούν να αλλάξουν (σχεδόν) ανεξάρτητα από άλλους κανόνες (*modifiability*)

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Αναπαράσταση γνώσης με κανόνες



7

### Μειονεκτήματα

- Σε πολλές εφαρμογές η εκφραστικότητα που παρέχεται από τους κανόνες δεν είναι αρκετή για να αναπαρασταθεί η γνώση του προβλήματος
- Πολλές φορές οι κανόνες αλληλοεπηρεάζονται και έτσι δημιουργούνται προβλήματα τόσο στην εξαγωγή συμπερασμάτων, όσο και στη διαδικασία ανανέωσης της γνώσης
- Η υπόθεση κλειστού κόσμου σε ορισμένες εφαρμογές επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία του συστήματος
- Στη διαδικαστική σημασιολογία υπάρχει δυσκολία ορισμού της άρνησης ενός κατηγορήματος
- Αντιμετωπίζονται δυσκολίες στη διαχείριση κύκλων σε ένα σύνολο κανόνων

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Συστήματα εξαγωγής συμπερασμάτων



8

Αποτελούνται από δύο μέρη:

- Τη **βάση κανόνων** (rule base), η οποία περιέχει ένα σύνολο από κανόνες
- Τον **έλεγχο** (control), ο οποίος καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα εκτελεστούν οι κανόνες για να εξαχθούν τα συμπεράσματα. Είναι ένας αλγόριθμος που αποφασίζει:
  - ποιοι από τους κανόνες είναι υποψήφιοι για να επιλύσουν το πρόβλημα
  - με ποιον τρόπο θα γίνει η επιλογή
  - ποιος από τους κανόνες αυτούς τελικά θα επιλεγεί
  - τι θα γίνει με τους υπόλοιπους κανόνες
  - όλα αυτά τα χαρακτηριστικά ανάγουν την επίλυση του προβλήματος σε πρόβλημα αναζήτησης της λύσης, δηλαδή εύρεση της ακολουθίας των κανόνων που θα εκτελεστούν

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Εξαγωγή συμπερασμάτων (1)



9

### Ορθή ακολουθία εκτέλεσης (*forward chaining*)

- Η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων εξετάζει πρώτα αν οι προϋποθέσεις στο αριστερό μέρος του κανόνα είναι αληθείς έτσι ώστε το συμπέρασμα που αναφέρεται στο δεξιό μέρος να είναι αληθές
- Εξετάζονται μόνο οι αληθείς τρόποι απόδειξης, αλλά το σύστημα μπορεί να συμπεράνει περισσότερα συμπεράσματα από τα επιθυμητά
- Ενδείκνυται όταν υπάρχουν λίγα δεδομένα (δίδονται στο σύστημα όλα μαζί στην αρχή) και μπορούν να οδηγήσουν σε πολλά συμπεράσματα

### Εφαρμογές

Συστήματα Διάγνωσης, Συστήματα Παραγωγής

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Εξαγωγή συμπερασμάτων (2)



10

### Ανάστροφη ακολουθία εκτέλεσης (*backward chaining*)

- Η διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων ξεκινά από το δεξιό μέρος του κανόνα και προσπαθεί να βρει αν οι προϋποθέσεις είναι αληθείς
- Εξετάζονται όλοι οι εναλλακτικοί τρόποι απόδειξης του συμπεράσματος (ακόμα και αυτοί που δεν είναι αληθείς) έως ότου αποδειχθεί η αλήθεια του συμπεράσματος (όπως στην Prolog)
- Ενδείκνυται όταν υπάρχουν λίγα συμπεράσματα και πολλά δεδομένα, για τα οποία το σύστημα μας καθοδηγεί ζητώντας τα με μια λογική σειρά και όσα χρειάζονται

### Εφαρμογές

Συστήματα Ελέγχου Λειτουργίας (Monitoring)

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Παράδειγμα



11

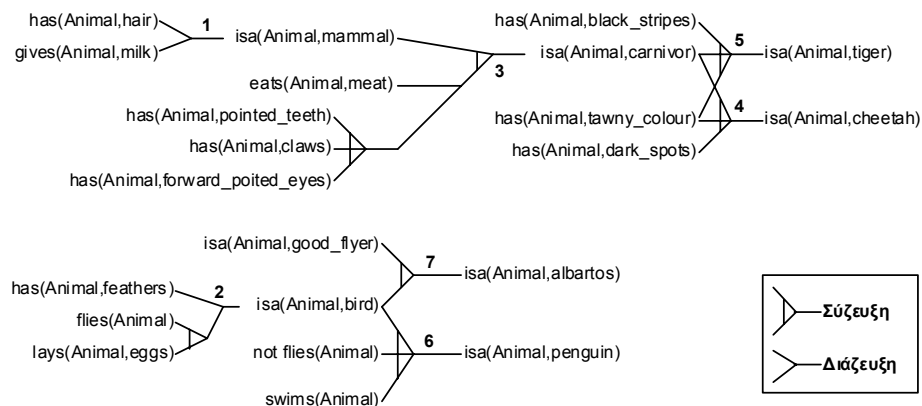
- 1: **if** has(Animal,hair) **or** gives(Animal,milk)  
**then** isa(Animal,mammal).
- 2: **if** has(Animal,feathers) **or** (flies(Animal)  
**and** lays(Animal,eggs))  
**then** isa(Animal,bird).
- 3: **if** isa(Animal,mammal) **and**  
(eats(Animal,meat) **or**  
(has(Animal,pointed\_teeth) **and**  
has(Animal,claws) **and**  
has(Animal,forward\_pointing\_eyes)))  
**then** isa(Animal,carnivore).
- 4: **if** isa(Animal,carnivore) **and**  
has(Animal,tawny\_colour) **and**  
has(Animal,dark\_spots)  
**then** isa(Animal,cheetah).
- 5: **if** isa(Animal,carnivore) **and**  
has(Animal,tawny\_colour) **and**  
has(Animal,black\_stripes)  
**then** isa(Animal,tiger).
- 6: **if** isa(Animal,bird) **and**  
**not** flies(Animal) **and**  
swims(Animal)  
**then** isa(Animal,penguin).
- 7: **if** isa(Animal,bird) **and**  
isa(Animal,good\_flyer)  
**then** isa(Animal,albatros).

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Γραφική αναπαράσταση κανόνων



12



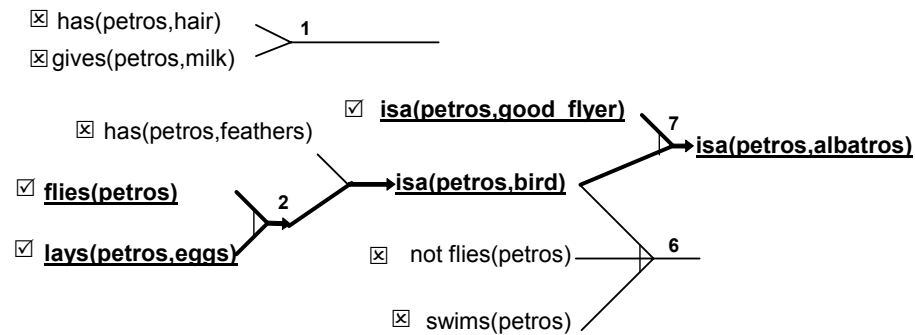
Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Ορθή ακολουθία εκτέλεσης



13

Αρχικά δεδομένα: **flies(petros), lays(petros, eggs), isa(petros, goodflyer)**



Παράγονται τα συμπεράσματα: **isa(petros, albatros)** και **isa(petros, bird)**

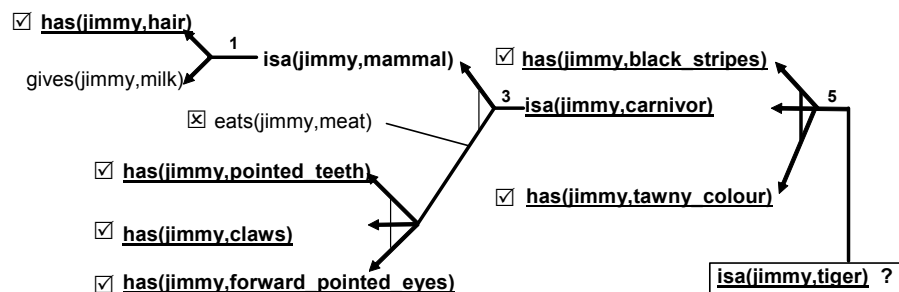
Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Ανάστροφη ακολουθία εκτέλεσης



14

Ερώτηση: **isa(jimmy, tiger)**



Απάντηση: **Yes**

Μέρος 2 – Ενότητα 4

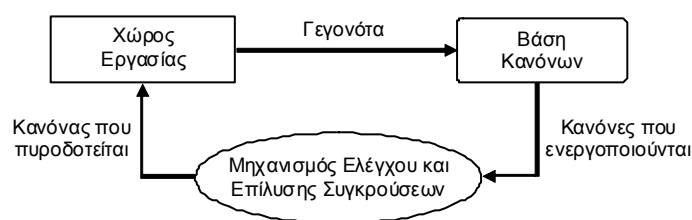
## Συστήματα παραγωγής



15

Αποτελούνται από 3 μέρη:

- Τη **βάση κανόνων** που περιέχει τους κανόνες παραγωγής
- Το **χώρο εργασίας** (working memory), που περιέχει γεγονότα τα οποία είναι αρχικά δεδομένα (data) ή ενδιάμεσα συμπεράσματα (partial conclusions) (στοιχεία της μνήμης εργασίας (working memory elements))
- Το **μηχανισμό ελέγχου** (control ή scheduler) και **επίλυσης συγκρούσεων** (conflict resolution), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εκτέλεση των κανόνων, βάσει μιας στρατηγικής επίλυσης συγκρούσεων (conflict resolution strategy).



Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Επίλυση συγκρούσεων



16

- Όταν ικανοποιούνται οι συνθήκες του κανόνα, αυτός **ενεργοποιείται** (triggers)
- Όταν ένας κανόνας **πυροδοτείται** (fires) τότε οι ενέργειές του εφαρμόζονται ή εκτελούνται.
- Το σύνολο των κανόνων που ενεργοποιούνται σχηματίζουν το **σύνολο σύγκρουσης** (conflict set)
- Ο μηχανισμός ελέγχου είναι υπεύθυνος να καθορίσει ποιος τελικά κανόνας από το σύνολο συγκρούσεων θα πυροδοτηθεί.

Μερικές από τις πιο γνωστές στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων είναι οι εξής:

- Τυχαία (random).
- Διάταξης (ordering).
- Επιλογή του πρόσφατου (recency).
- Επιλογή του πιο ειδικού (specificity).
- Αποφυγή επανάληψης (refractoriness).
- Ανάλυση μέσων-σκοπών (means-ends analysis)
- Μετα-έλεγχος (μετα-κανόνες)

Μέρος 2 – Ενότητα 4



## Στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων (1)



17

### Τυχαία (random)

- Επιλέγεται ένας κανόνας στην τύχη
- Συνήθως δεν εφαρμόζεται στα συστήματα κανόνων παραγωγής
  - ▣ Όταν εφαρμόζεται δεν είναι πραγματικά τυχαία η επιλογή του κανόνα, απλά είναι απροσδιόριστη και εξαρτάται από λεπτομέρειες της υλοποίησής του.

### Διάταξη (ordering)

- Επιλέγεται ο κανόνας που είναι πρώτος στη σειρά ή έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα βάσει κάποιου αριθμητικού μεγέθους

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων (2)



18

### Αποφυγή επανάληψης (refractoriness)

- Δεν επιλέγεται ο ίδιος κανόνας με τα ίδια δεδομένα για δεύτερη συνεχόμενη φορά
  - ▣ Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται άσκοπες ή ατέρμονες επαναλήψεις

### Παράδειγμα

Στη μνήμη εργασίας υπάρχουν τα γεγονότα **A, B**

Στη βάση γνώσης υπάρχουν οι κανόνες

**1: if A then C**

**2: if B then D**

Αν εκτελεστεί πρώτα ο 1, μετά θα εκτελεστεί ο 2

Ο 1 δε θα εκτελεστεί ξανά, αν και εξακολουθεί να είναι ενεργοποιημένος

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων (3)



19

### Επιλογή του πρόσφατου (recency)

- Επιλέγεται ο κανόνας που ενεργοποιείται από τα πιο πρόσφατα δεδομένα που προστέθηκαν στο χώρο εργασίας
  - ▣ Με τον τρόπο αυτό ακολουθείται μία χρονικά συνεπής πορεία σκέψης, η οποία είναι επικεντρωμένη και δε διασκορπάζεται σε διάφορα σημεία

Παράδειγμα:

Στη μνήμη εργασίας υπάρχουν τα γεγονότα **A, B**

Στη βάση γνώσης υπάρχουν οι κανόνες:

**1: if A then C**

**2: if B then D**

**3: if C then E**

Έστω ότι μεταξύ κανόνα 1 και 2, εκτελείται πρώτα ο 1.

Στη συνέχεια, θα εκτελεστεί ο 3 και όχι ο 2, γιατί το C είναι πιο πρόσφατο από το B.

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων (4)



20

### Επιλογή του πιο ειδικού (specificity)

- Επιλέγεται ο κανόνας που είναι πιο ειδικός από τους άλλους (η συνθήκη του εκφράζεται με αναλυτικότερο τρόπο)
  - ▣ Με τον τρόπο αυτό εξετάζονται πρώτα τα πιο συγκεκριμένα θέματα τα οποία οδηγούν πιθανότατα σε λύση πιο γρήγορα και στη συνέχεια τα πιο γενικά.

Παράδειγμα:

Στη μνήμη εργασίας υπάρχουν τα γεγονότα **A, B, C**

Στη βάση γνώσης υπάρχουν οι κανόνες

**1: if A and B and C then D**

**2: if A and B then E**

Θα εκτελεστεί πρώτα ο 1, γιατί έχει πιο πολλές συνθήκες από τον 2.

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων (5)



21

### Ανάλυση μέσων-σκοπών (means-ends analysis)

- Το συνολικό πρόβλημα που επιλύει το σύστημα κανόνων επιμερίζεται σε απλούστερες διεργασίες (tasks) και κάθε διεργασία υλοποιείται από μία ομάδα κανόνων (cluster), υποσύνολο της συνολικής βάσης γνώσης
  - Με τον τρόπο αυτό όταν εκτελείται κάποια διεργασία, οι κανόνες που ανήκουν σε άλλη ομάδα (διεργασία) δεν προτιμούνται, παρά μόνο αν δεν υπάρχουν άλλοι κανόνες της ίδιας ομάδας. Έτσι, η αποδεικτική διαδικασία είναι επικεντρωμένη στους τρέχοντες στόχους της.

Παράδειγμα:

Στη μνήμη εργασίας υπάρχουν τα γεγονότα **A, B, C, G1, G2** και η βάση γνώσης είναι:

**1: if G1 and A and B and C then D**

**2: if G2 and A and B then E**

Τα G1, G2 υποδηλώνουν τη διεργασία στην οποία ανήκει ο κάθε κανόνας. Έστω ότι το G2 είναι πιο πρόσφατο από το G1.

Θα εκτελεστεί πρώτα ο 2, γιατί ασχολείται με τον πιο τρέχοντα στόχο.

Ο 1 μπορούσε να έχει προτεραιότητα λόγω άλλης στρατηγικής, (π.χ. specificity).

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Μετα-έλεγχος



22

- Τα συστήματα παραγωγής εφαρμόζουν μία ή περισσότερες στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων
- Όταν υποστηρίζονται περισσότερες από μία στρατηγικές, πρέπει να υπάρχει προτεραιότητα μεταξύ αυτών
- Αυτό οδηγεί στην υλοποίηση ενός νέου επιπέδου ελέγχου, του *μετα-ελέγχου* (meta-control), που καθορίζει ποια στρατηγική θα εφαρμοστεί, πού και πότε
- *Απλά συστήματα*: σταθερή προτεραιότητα
  - Χαμηλότερη τιμή στην τυχαία επιλογή
- *Σύνθετα συστήματα*: η προτεραιότητα αλλάζει δυναμικά κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των κανόνων (at run-time).
  - Μετα-κανόνες (meta-rules): κανόνες που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τη σειρά εκτέλεσης άλλων κανόνων

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Κύκλος λειτουργίας



23

Έως ότου δε μπορεί να εκτελεστεί κανένας κανόνας επανέλαβε:

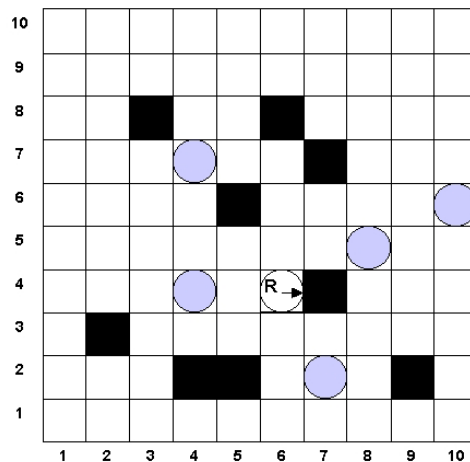
- 1) Βρες όλους του κανόνες που σπλίζουν και σχημάτισε το σύνολο συγκρούσεων.
  - 2) Σύμφωνα με το μηχανισμό επίλυσης συγκρούσεων, διάλεξε ένα κανόνα.
  - 3) Πυροδότησε τον κανόνα που διάλεξες στο βήμα 2.
- Κατά κανόνα τα συστήματα παραγωγής τα χαρακτηρίζει η ορθή ακολουθία εκτέλεσης κανόνων.
  - Δεν έχει νόημα ο όρος εξαγωγή συμπερασμάτων, γιατί οι κανόνες παραγωγής αναφέρονται σε ενέργειες που εκτελούνται και όχι σε συμπεράσματα.
  - Παρόλα αυτά ο τρόπος λειτουργίας τους παραπέμπει στη συνεπαγωγική συλλογιστική
    - Υιοθέτηση μιας ειδικής ενέργειας από κάτι που ισχύει γενικά.
    - Ταίριασμα των κανόνων που περιέχουν μεταβλητές με δεδομένα στη μνήμη εργασίας που περιέχουν σταθερές.

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Παράδειγμα κίνησης ρομπότ



24



```
robot_at(6,4)
direction(e)
choice(w)
choice(s)
choice(n)
choice(e)
obstacle_at(7,4)
obstacle_at(6,8)
obstacle_at(7,7)
...
object_at(4,7)
...
```

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Παρατηρήσεις (1)



25

Η μνήμη εργασίας περιέχει: (όπου  $X, Y$  είναι ακέραιοι αριθμοί)

- τη θέση του ρομπότ: **robot\_at( $X, Y$ )**
- την κατεύθυνση προς την οποία κινείται: **direction( $D$ )**, όπου  $D$  είναι μία από τις 4 κατευθύνσεις  $e, w, n, s$ .
- τη θέση των εμποδίων: **obstacle\_at( $X, Y$ )**
- τη θέση των αντικειμένων: **object\_at( $X, Y$ )**
- την επιλογή της κατεύθυνσης: **choice( $D$ )**, όπου  $D$  είναι οι τέσσερις επιλογές αλλαγής κατεύθυνσης  $e, w, n, s$

} Σταθερά

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Παρατηρήσεις (2)



26

Οι *ενέργειες* των κανόνων εμπεριέχουν 4 λειτουργίες:

- **addwm**: βάλε κάτι στη μνήμη εργασίας
- **delwm**: σβήσε κάτι από τη μνήμη εργασίας
- **output**: εκτύπωσε ένα μήνυμα στην οθόνη
- αριθμητικές εκφράσεις

Οι κανόνες παραγωγής εκφράζουν τη συμπεριφορά του ρομπότ

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Κανόνες κίνησης ρομπότ (1)



27

- 1: detect\_object: **if** robot\_at(X,Y) **and** object\_at(X,Y)  
**then** output('object is found').
- 2: move\_west: **if** robot\_at(X,Y) **and** direction(w)  
**then** delwm(robot\_at(X,Y)) **and** NX=X-1 **and**  
addwm(robot\_at(NX,Y)).
- 3: move\_east: **if** robot\_at(X,Y) **and** direction(e)  
**then** delwm(robot\_at(X,Y)) **and** NX=X+1 **and**  
addwm(robot\_at(NX,Y)).
- 4: move\_north: **if** robot\_at(X,Y) **and** direction(n)  
**then** delwm(robot\_at(X,Y)) **and** NY=Y+1 **and**  
addwm(robot\_at(X,NY)).
- 5: move\_south: **if** robot\_at(X,Y) **and** direction(s)  
**then** delwm(robot\_at(X,Y)) **and** NY=Y-1 **and**  
addwm(robot\_at(X,NY)).

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Κανόνες κίνησης ρομπότ (2)



28

- 6: avoid\_obstacle\_south: **if** robot\_at(X,Y) **and** NY=Y-1 **and** obstacle\_at(X,NY) **and**  
direction(s) **and** choice(ND)  
**then** delwm(direction(s)) **and** addwm(direction(ND)).
- 7: avoid\_obstacle\_west: **if** robot\_at(X,Y) **and** NX=X-1 **and** obstacle\_at(NX,Y) **and**  
direction(w) **and** choice(ND)  
**then** delwm(direction(w)) **and** addwm(direction(ND)).
- 8: avoid\_obstacle\_north: **if** robot\_at(X,Y) **and** NY=Y+1 **and** obstacle\_at(X,NY) **and**  
direction(n) **and** choice(ND)  
**then** delwm(direction(n)) **and** addwm(direction(ND)).
- 9: avoid\_obstacle\_east: **if** robot\_at(X,Y) **and** NX=X+1 **and** obstacle\_at(NX,Y) **and**  
direction(e) **and** choice(ND)  
**then** delwm(direction(e)) **and** addwm(direction(ND)).

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Εκτέλεση (1)



29

Κύκλος	Μνήμη Εργασίας	Σύνολο Συγκρούσεων	Στρατηγική	Κανόνας που πυροδοτεί
1	robot_at(6,4) direction(e) choice(w) choice(n) choice(s) choice(e) obstacle_at(7,4) obstacle_at(6,8) ... object_at(4,7) ...	{3, 9 (ND=w), 9 (ND=n), 9 (ND=s), 9 (ND=e)}	EE TE	9:avoid_obstacle_east (ND=n)  Επιλέγεται ένας (9), με choice(n)
2	robot_at(6,4) direction(n) ...	{4}	-	4: move_north
3	robot_at(6,5) direction(n) ...	{4}	-	4: move_north

Κανόνες που οπλίζουν απο τα δεδομένα της Μνήμης Εργασίας.  
Ο (3) από το direction(e) και ο (9) από το direction(e) και από το obstacle(7,4)

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Εκτέλεση (2)



30

Κύκλος	Μνήμη Εργασίας	Σύνολο Συγκρούσεων	Στρατηγική	Κανόνας που πυροδοτεί
4	robot_at(6,6) direction(n) ...	{4}	-	4: move_north
	robot_at(6,7) direction(n) ... obstacle_at(6,8) ...	{4, 8 (ND=w), 8 (ND=n), 8 (ND=s), 8 (ND=e)}	EE TE	8:avoid_obstacle_north (ND=n)
6	robot_at(6,7) direction(n) ... obstacle_at(6,8) ...	{4, 8 (ND=w), 8 (ND=n), 8 (ND=s), 8 (ND=e)}	AE EE TE	8:avoid_obstacle_north (ND=e)
7	robot_at(6,7) direction(e) ... obstacle_at(7,7) ...	{3, 9 (ND=w), 9 (ND=n), 9 (ND=s), 9 (ND=e)}	EE TE	9: avoid_obstacle_east (ND=w)

Μέρος 2 – Ενότητα 4

## Εκτέλεση (3)



31

Κύκλος	Μνήμη Εργασίας	Σύνολο Συγκρούσεων	Στρατηγική	Κανόνας που πυροδοτεί
8	robot_at(6,7) direction(w) . . .	{2}	-	2: move_west
9	robot_at(5,7) direction(w) . . .	{2}	-	2: move_west
10	robot_at(4,7) direction(w) object_at(4,7) . . .	{1,2}	EE TE	1: detect_object

Μέρος 2 – Ενότητα 4