

# ΠΛΗ31

## ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΝΩΣΗ

### Μάθημα 2.4: Κανόνες Παραγωγής

Δημήτρης Ψούνης



## Περιεχόμενα Μαθήματος

### A.Θεωρία

#### 1. Εισαγωγή

1. Κανόνες Παραγωγής
2. Σύστημα Παραγωγής

#### 2. Ορθή Αλυσίδωση

1. Εισαγωγή
2. Παράδειγμα
3. Αλγόριθμος Εκτέλεσης
4. Στρατηγικές Επίλυσης Συγκρούσεων
5. Παράδειγμα με άλλες στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων
6. Παράδειγμα με κατηγορήματα
7. Δίκτυο Κανόνων

#### 3. Ανάστροφη Αλυσίδωση

1. Αλγόριθμος Εκτέλεσης
2. Παράδειγμα
3. Παράδειγμα με κατηγορήματα

### B.Ασκήσεις

## A. Θεωρία

### 1. Εισαγωγή

#### 1. Σύστημα Παραγωγής

- Ένα **σύστημα παραγωγής** είναι ένα απλό σύστημα συμπερασμού, το οποίο αποτελείται από τα εξής:

- Ένα σύνολο από κανόνες (**κανόνες παραγωγής**) που είναι IF..THEN κανόνες υπό τη γενική μορφή:

IF συνθήκες THEN συμπεράσματα

- Το σύνολο των κανόνων συγκροτούν τη **βάση κανόνων**.

- Έπειτα χρησιμοποιώντας αυτήν την «αποθηκευμένη γνώση»

- Είτε ξεκινάμε από υποθέσεις που ισχύουν προσπαθώντας να συνδυάσουμε κανόνες για να οδηγηθούμε σε κάποιο συμπέρασμα (συλλογισμός προς τα εμπρός – ορθή αλυσίδωση)
- Είτε ξεκινάμε από κάτι που θέλουμε να αποδείξουμε και εντοπίζουμε τι αρκεί να δείξουμε (συλλογισμός προς τα πίσω – ανάστροφη αλυσίδωση)

- Το σημαντικό βέβαια είναι ότι αυτό γίνεται αλγοριθμικά!

- Ο τρόπος συμπερασμού του συστήματος παραγωγής είναι «απλοϊκός», αλλά μας δίνει κατάλληλο υπόβαθρο για να κατανοήσουμε (επόμενο μάθημα) τα **έμπειρα συστήματα**.

## A. Θεωρία

### 2. Ορθή Αλυσίδωση

#### 1. Εισαγωγή

- Ένα **σύστημα παραγωγής** λειτουργεί ως εξής:

- Εισάγουμε σε αυτό γεγονότα που ισχύουν (συγκροτούν τη μνήμη εργασίας)
- Αυτά ενεργοποιούν (ισχύει το IF) κάποιους κανόνες παραγωγής
- Επιλέγουμε με κάποιο κριτήριο (επίλυση συγκρούσεων) έναν από τους κανόνες (τον πυροδοτούμε) και η νέα γνώση που παράγεται ισχύει πλέον ως γεγονός
- Παράγεται έτσι νέα γνώση. Σταματάμε όταν προκύψει ένα συμπέρασμα που μας ικανοποιεί.



## A. Θεωρία

### 2. Ορθή Αλυσίδωση

#### 2. Παράδειγμα

**Παράδειγμα 1:** Δίνεται η παρακάτω βάση κανόνων:

R1: if A and B then C  
 R2: if C and D then E  
 R3: if A and I then ~H  
 R4: if A and ~D then E  
 R5: if C and ~D then I  
 R6: if E and I then ~H  
 R7: if E and H then ~G  
 R8: if E and ~H then G

Να εξαχθεί το G χρησιμοποιώντας ορθή αλυσίδωση, αν το αρχικό περιεχόμενο της μνήμης εργασίας είναι ME={A,B,~D,E}

Χρησιμοποιήστε την εξής στρατηγική ελέγχου: Σε περίπτωση σύγκρουσης να επιλεγεί ο κανόνας που προηγείται στη σειρά αναγραφής. Δεν πυροδοτείται ο ίδιος κανόνας δεύτερη φορά.

## A. Θεωρία

### 2. Ορθή Αλυσίδωση

#### 2. Παράδειγμα

R1: if A and B then C  
 R2: if C and D then E  
 R3: if A and I then ~H  
 R4: if A and ~D then E  
 R5: if C and ~D then I  
 R6: if E and I then ~H  
 R7: if E and H then ~G  
 R8: if E and ~H then G

**Λύση:**

2. Καταγράφουμε τους κανόνες που ενεργοποιούνται (Ισχύει το if τους)

1. Εισάγουμε στην Μνήμη Εργασίας τα αρχικά γεγονότα

Βήμα	Κανόνες που ενεργοποιούνται	Κανόνας που πυροδοτείται	Μνήμη Εργασίας
0			{A,B,~D,E}
1	R1,R4	R1	{A,B,~D,E,C}
2	R4,R5	R4	{A,B,~D,C,E}
3	R5	R5	{A,B,~D,C,E,I}
4	R3,R6	R3	{A,B,~D,C,E,I,~H}
5	R6,R8	R6	{A,B,~D,C,E,I,~H}
6	R8	R8	{A,B,~D,C,E,I,~H,G}

Άρα ισχύει το G.

3. Επιλέγουμε τον κανόνα που πυροδοτείται με βάση τη στρατηγική επίλυσης σύγκρουσης

4. Τα γεγονότα που είναι στο THEN εισάγονται στην μνήμη εργασίας (Τερματισμός όταν εισαχθεί ο στόχος)

## A. Θεωρία

### 2. Ορθή Αλυσίδωση

#### 3. Αλγόριθμος Εκτέλεσης

Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΟΡΘΗΣ ΑΛΥΣΙΔΩΣΗΣ:

- Αρχικοποίηση της μνήμης εργασίας**
  - Γίνεται μόνο στην αρχή της εκτέλεσης. Τα γεγονότα που μας δίνονται, εισάγονται στην μνήμη εργασίας
- Εύρεση Κανόνων που ικανοποιούνται (Κατασκευή Συνόλου Σύγκρουσης)**
  - Εξετάζεται σε ποιους κανόνες ικανοποιούνται οι υποθέσεις τους (ποιοι κανόνες ενεργοποιούνται)
  - Οι κανόνες αυτοί δημιουργούν το σύνολο σύγκρουσης.
- Επιλογή ενός κανόνα**
  - Η επιλογή του κανόνα γίνεται με βάση την **στρατηγική επίλυσης σύγκρουσης** που επιλέγεται
- Πυροδότηση του κανόνα**
  - Δηλαδή εκτελείται ο κανόνας που έχει επιλεγεί από το προηγούμενο βήμα
- Ενημέρωση της μνήμης εργασίας**
  - Η πυροδότηση του κανόνα έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση της μνήμης εργασίας με προσθήκη νέας γνώσης.
- Αν βρεθεί κατάσταση λύσης τερματίσει, αλλιώς πηγαίνει στο βήμα 2.**
  - Το κριτήριο τερματισμού καθορίζεται από την εκφώνηση.

## A. Θεωρία

### 2. Ορθή Αλυσίδωση

#### 4. Στρατηγικές Επίλυσης Σύγκρουσης

Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές για την επιλογή του κανόνα που θα πυροδοτηθεί:

- Τυχαία Επιλογή**
  - Επιλέγεται τυχαία ο κανόνας που πυροδοτείται.
- Σειρά αναγραφής**
  - Επιλέγεται ο κανόνας που έχει γραφεί πρώτος στη σειρά
- Προτεραιότητα**
  - Δίνεται ένας βαθμός προτεραιότητας σε κάθε κανόνα και επιλέγεται αυτός με την μεγαλύτερη προτεραιότητα
- Διαθλαστικότητα ή αποφυγή επανάληψης**
  - Δεν επιτρέπεται η πυροδότηση ενός κανόνα περισσότερες από μία φορές στα ίδια δεδομένα.
- Προσφατότητα ή Επικαιρότητα**
  - Επιλέγεται ο κανόνας που ενσωματώνει τα πιο πρόσφατα δεδομένα που προστέθηκαν στην βάση γνώσης
- Συγκεκριμενικότητα (εξειδίκευση)**
  - Επιλέγεται ο κανόνας που ενσωματώνει τις περισσότερες συνθήκες (πιο ειδικός κανόνας)

**Παρατήρηση:** Η διαθλαστικότητα είναι υποχρεωτική, ακόμη και αν δεν ορίζεται ρητά θα πρέπει να την κάνουμε (αλλιώς το σύστημα πέφτει σε βρόχο)  
 Οι πιο συχνοί κανόνες είναι η σειρά αναγραφής και η προσφατότητα.

## A. Θεωρία

### 2.Ορθή Αλυσίδωση

#### 5. Παράδειγμα με άλλες

##### στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων

R1: if A and B then C  
 R2: if C and D then E  
 R3: if A and I then ~H  
 R4: if A and ~D then E  
 R5: if C and ~D then I  
 R6: if E and I then ~H  
 R7: if E and H then ~G  
 R8: if E and ~H then G

**Παράδειγμα 2:** Στην ίδια βάση κανόνων, να εξαχθεί το G με ορθή αλυσίδωση, αν το αρχικό περιεχόμενο της μνήμης εργασίας είναι ME={A,B,~D,E}

Με στρατηγικού ελέγχου: Την προσφατότητα και δευτερευόντως την σειρά αναγραφής. Ισχύει ότι ο ίδιος κανόνας πυροδοτείται μόνο μία φορά.

Βήμα	Κανόνες που ενεργοποιούνται	Κανόνας που πυροδοτείται	Μνήμη Εργασίας
0			{A,B,~D,E}
1	R1,R4	R1	{A,B,~D,E,C}
2	R4,R5	R5	{A,B,~D,E,C,I}
3	R3,R4,R6	R3	{A,B,~D,E,C,I,~H}
4	R4,R6,R8	R8	{A,B,~D,E,C,I,~H,G}

Αρα ισχύει το G.

## A. Θεωρία

### 2.Ορθή Αλυσίδωση

#### 6. Παράδειγμα με κατηγορήματα

- Ένα πραγματικό σύστημα παραγωγής χρησιμοποιεί γεγονότα και κανόνες (σε αντιστοιχία με την κατηγορηματική λογική). Το ταίριασμα γίνεται με ενοποίηση (βλέπε μάθημα 2.3). Ας δούμε ένα παράδειγμα:

**Παράδειγμα 3:** Δίνονται τα ακόλουθα γεγονότα:

(Tom is-parent-of Bob) (Tom is-male)  
 (Tom is-parent-of Pam) (Bob is-male)  
 (Bob is-parent-of Jim) (Jim is-male)  
 (Jim is-parent-of John) (Pam is-female)

Ζητείστε από το σύστημα να αποδείξει τον ισχυρισμό (Tom is-father-of Bob) , δεδομένης της βάσης κανόνων:

R1	If and Then	(x is-parent-of y) (y is-parent-of z) (x is-grandparent-of z)
R2	If and Then	(x is-parent-of y) (x is-male) (x is-father-of y)
R3	If and Then	(x is-parent-of y) (x is-female) (x is-mother-of y)

Χρησιμοποιήστε ως στρατηγική επίλυσης συγκρούσεων πρωτεύοντως την σειρά αναγραφής και δευτερευόντως την τυχαία επιλογή. Επίσης ο ίδιος κανόνας δεν πυροδοτείται δεύτερη φορά με τα ίδια δεδομένα.

## A. Θεωρία

### 2.Ορθή Αλυσίδωση

#### 6. Παράδειγμα με κατηγορήματα

##### Λύση:

Βήμα	Κανόνες που ενεργοποιούνται	Κανόνας που πυροδοτείται	Μνήμη Εργασίας
0			(Tom is-parent-of Bob) (Tom is-parent-of Pam) (Bob is-parent-of Jim) (Jim is-parent-of John) (Tom is-male) (Bob is-male) (Jim is-male) (Pam is-female)
1	R1(x=Tom, y=Bob, z=Jim) R1(x=Bob, y=Jim, z=John) R2(x=Tom, y=Bob) R2(x=Tom, y=Pam) R2(x=Bob, y=Jim) R2(x=Jim, y=John)	R1(x=Tom, y=Bob, z=Jim)	(Tom is-parent-of Bob) (Tom is-parent-of Pam) (Bob is-parent-of Jim) (Jim is-parent-of John) (Tom is-male) (Bob is-male) (Jim is-male) (Pam is-female) (Tom is-grandparent-of Jim)
2	R1(x=Bob, y=Jim, z=John) R2(x=Tom, y=Bob) R2(x=Tom, y=Pam) R2(x=Bob, y=Jim) R2(x=Jim, y=John)	R1(x=Bob, y=Jim, z=John)	(Tom is-parent-of Bob) (Tom is-parent-of Pam) (Bob is-parent-of Jim) (Jim is-parent-of John) (Tom is-male) (Bob is-male) (Jim is-male) (Pam is-female) (Tom is-grandparent-of Jim) (Bob is-grandparent-of John)
3	R2(x=Tom, y=Bob) R2(x=Tom, y=Pam) R2(x=Bob, y=Jim) R2(x=Jim, y=John)	R2(x=Tom, y=Bob)	(Tom is-parent-of Bob) (Tom is-parent-of Pam) (Bob is-parent-of Jim) (Jim is-parent-of John) (Tom is-male) (Bob is-male) (Jim is-male) (Pam is-female) (Tom is-grandparent-of Jim) (Bob is-grandparent-of John) (Tom is-father-of Bob)

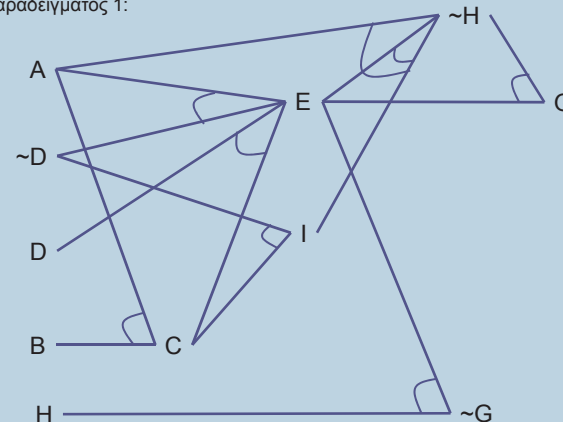
## A. Θεωρία

### 2.Ορθή Αλυσίδωση

#### 7. Δίκτυο Κανόνων

- Κάποιες φορές ζητείται και η απεικόνιση των κανόνων σε μορφή δικτύου (γράφου)
- Τότε τα απεικονίζουμε με μία τοπολογική απεικόνισή ώστε να φαίνεται ότι οι κανόνες κινούνται «προς τα δεξιά»

**Παράδειγμα 3:** Να σχεδιαστεί το δίκτυο κανόνων της βάσης γνώσης του Παραδείγματος 1:



R1: if A and B then C  
 R2: if C and D then E  
 R3: if A and I then ~H  
 R4: if A and ~D then E  
 R5: if C and ~D then I  
 R6: if E and I then ~H  
 R7: if E and H then ~G  
 R8: if E and ~H then G

## A. Θεωρία

### 3. Ανάστροφη Αλυσίδωση

#### 1. Αλγόριθμος Εκτέλεσης

Στην αντίστροφη αλυσίδωση ξεκινάμε από τον στόχο:

- Προσπαθούμε να ταυτίσουμε τον στόχο με το συμπέρασμα κάποιου κανόνα και επαναλαμβάνουμε.
  - Επιλέγονται οι κανόνες και γράφονται με την σειρά που καθορίζει η στρατηγική επίλυσης συγκρούσεων.
    - Αν υπάρχουν μεταβλητές ενοποιούνται με τις τιμές που καθορίζει ο κόμβος στόχος
  - Επαναλαμβάνουμε για κάθε νέο στόχο που έχει προκύψει, μέχρι να οδηγηθούμε σε κάποιο γεγονός.
- Η όλη προσέγγιση γίνεται με μία πολιτική «κατά βάθος». Η εξερεύνηση θα σταματήσει, όταν ικανοποιηθούν οι απόγονοι του κόμβου-στόχου που επαρκούν για να απαντηθεί το ερώτημα.

**ΠΡΟΣΟΧΗ!** Αν ένας στόχος δεν ταυτίζεται ούτε με συμπέρασμα κανόνα, ούτε με κάποιο γεγονός, τότε ΔΕΝ ΙΣΧΥΕΙ!!!

## A. Θεωρία

### 3. Ανάστροφη Αλυσίδωση

#### 1. Αλγόριθμος Εκτέλεσης

Το συντακτικό του δένδρου που κατασκευάζουμε είναι

Ένας στόχος αναφέρεται χωρίς πλαίσιο:

Στόχος: G

Ένας Κανόνας αναφέρεται με πλαίσιο

Κανόνας: X

Ένας κανόνας του οποίου οι υποθέσεις είναι AND γράφεται με σύζευξη των βελών

Κανόνας: X

Ενώ σε έναν στόχο που μπορεί να ικανοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους απεικονίζουμε το OR των στόχων ως εξής:

Στόχος: H

## A. Θεωρία

### 3. Ανάστροφη Αλυσίδωση

#### 2. Παράδειγμα

**Παράδειγμα 4:** Δίνεται η παρακάτω βάση κανόνων:

R1: if A and B then C  
 R2: if C and D then E  
 R3: if A and I then ~H  
 R4: if A and ~D then E  
 R5: if C and ~D then I  
 R6: if E and I then ~H  
 R7: if E and H then ~G  
 R8: if E and ~H then G

Να εξαχθεί το G χρησιμοποιώντας ανάστροφη αλυσίδωση, αν το αρχικό περιεχόμενο της μνήμης εργασίας είναι ME={A,B,~D,E}

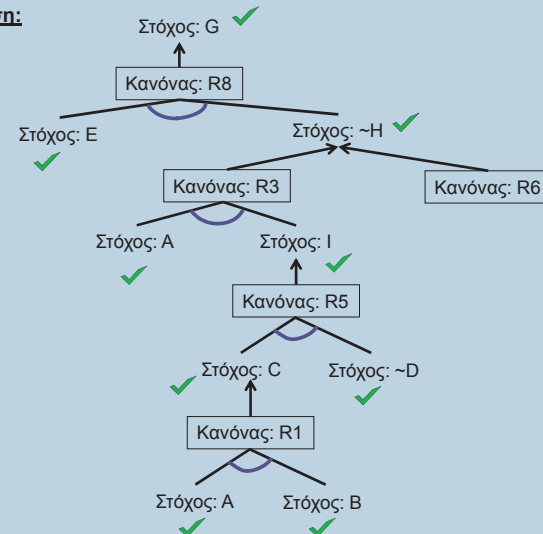
Χρησιμοποιήστε την εξής στρατηγική ελέγχου: Σε περίπτωση σύγκρουσης να επιλεγεί ο κανόνας που προηγείται στη σειρά αναγραφής. Δεν πυροδοτείται ο ίδιος κανόνας δεύτερη φορά.

## A. Θεωρία

### 3. Ανάστροφη Αλυσίδωση

#### 2. Παράδειγμα

**Λύση:**



R1: if A and B then C  
 R2: if C and D then E  
 R3: if A and I then ~H  
 R4: if A and ~D then E  
 R5: if C and ~D then I  
 R6: if E and I then ~H  
 R7: if E and H then ~G  
 R8: if E and ~H then G

**ΠΡΟΧΕΙΡΟ:**

ME: {A,B,~D,E,C,I,~H,G}

Για να ικανοποιήσουμε έναν στόχο:

1. Αν είναι στη μνήμη εργασίας: ικανοποιείται
2. Αν είναι δεξί μέλος κανόνα: Γράφουμε τους κανόνες που ικανοποιείται με OR και έπειτα συνεχίζουμε με στρατηγική κατά βάθος
3. Στην οπισθοδρόμηση της κατά βάθος, οι στόχοι που ικανοποιήθηκαν μπαίνουν στη μνήμη εργασίας.

## A. Θεωρία

### 3. Ανάστροφη Αλυσίδωση

#### 3. Παράδειγμα με κατηγορήματα

##### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

Δίνονται τα ακόλουθα γεγονότα:

(Bill lives-in Lamia)

(Chris lives-in Salonica)

(Katherine lives-in Lamia)

(Chris likes historical-novels)

(Bill likes GatesofFire)

(StevenPressfield is-author-of GatesofFire)

(StevenPressfield is-author-of LastoftheAmazons)

Ζητείστε από το σύστημα να αποδείξει τον ισχυρισμό (LastoftheAmazons is-recommended-for Bill), δεδομένης της βάσης κανόνων:

R1	If Then	(x likes StevenPressfield) (x likes historical-novels)
R2	If and Then	(x likes y) (z is-author-of y) (x likes z)
R3	If and Then	(x lives-in Lamia) (x likes historical-novels) (x likes mythology)
R4	If Then	(x likes GatesofFire) (x likes mythology)
R5	If Then	(x lives-in Salonica) (x likes AlexandertheGreat)
R6	If Then	(x likes mythology) (LastoftheAmazons is-recommended-for x)
R7	If and Then	(x likes AlexandertheGreat) (x likes historical-novels) (TheVirtuesofWar is-recommended-for x)

## A. Θεωρία

### 3. Ανάστροφη Αλυσίδωση (3. Παράδειγμα με Κατηγορήματα)

Η αναστροφή αλυσίδωση γίνεται με τον σχεδιασμό ενός AND/OR δένδρου που στόχο έχει να οδηγηθούμε από το συμπέρασμα σε γεγονότα που ισχύουν.

**Λύση:**

Σχεδιάζουμε το AND/OR δένδρο για το ερώτημα



## B. Ασκήσεις

### Εφαρμογή 1

Δίνεται η παρακάτω βάση κανόνων:

R1: **if A and B then C**

R2: **if C and D then E**

R3: **if C and E then G**

Η μνήμη εργασίας είναι WM = {A, B, D}.

(α) Να σχεδιαστεί το **δίκτυο κανόνων**

(β) Ζητείται να αποδειχθεί το G, αν χρησιμοποιούνται οι παρακάτω υποθέσεις εργασίας:

- αλυσίδωση προς τα εμπρός (forward chaining)
- ο πρώτος στη σειρά υποψήφιος κανόνας πυροδοτείται
- ο ίδιος κανόνας πυροδοτείται μόνο μια φορά



(γ) Ζητείται να αποδειχθεί πάλι το G, αλλά χρησιμοποιώντας ανάστροφη αλυσίδωση (backward chaining).



## Β. Ασκήσεις

### Εφαρμογή 2

Δίνεται η παρακάτω βάση κανόνων:

R1: if A and C then  $\neg H$

R2: if A and B then D

R3: if D and  $\neg H$  then C

R4: if C and I then E

R5: if C and D then I

R6: if E and A then F

R7: if E and F then G

Η μνήμη εργασίας είναι  $WM = \{A, B, \neg H\}$ .



(α) Ζητείται να αποδειχθεί το G, αν χρησιμοποιούνται οι παρακάτω υποθέσεις εργασίας:

- αλυσίδωση προς τα εμπρός (forward chaining)
- ο πρώτος στη σειρά υποψήφιος κανόνας πυροδοτείται
- ο ίδιος κανόνας πυροδοτείται μόνο μια φορά
- κάθε νέο γεγονός που εισέρχεται στη WM συνεπάγεται διαγραφή κάθε παλαιότερου ίδιου



(β) Ζητείται να αποδειχθεί πάλι το G, αλλά ως στρατηγική ελέγχου να χρησιμοποιηθεί η προσφατότητα και δευτερευόντως η σειρά αναγραφής (η μη πυροδότηση του ίδιου κανόνα εξακολουθεί να ισχύει).



(γ) Ζητείται να αποδειχθεί πάλι το G, αλλά χρησιμοποιώντας ανάστροφη αλυσίδωση (backward chaining).