

# ***Κεφάλαιο 10***

## ***Δομημένες Αναπαραστάσεις Γνώσης***

Τεχνητή Νοημοσύνη - Β' Έκδοση

Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου

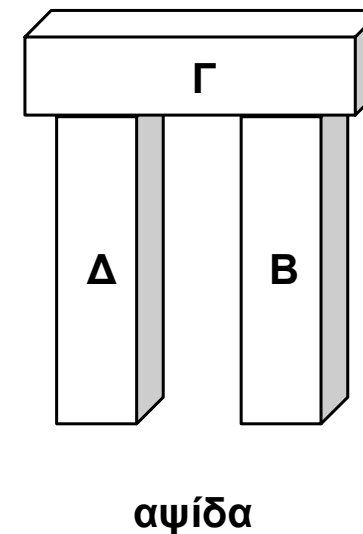
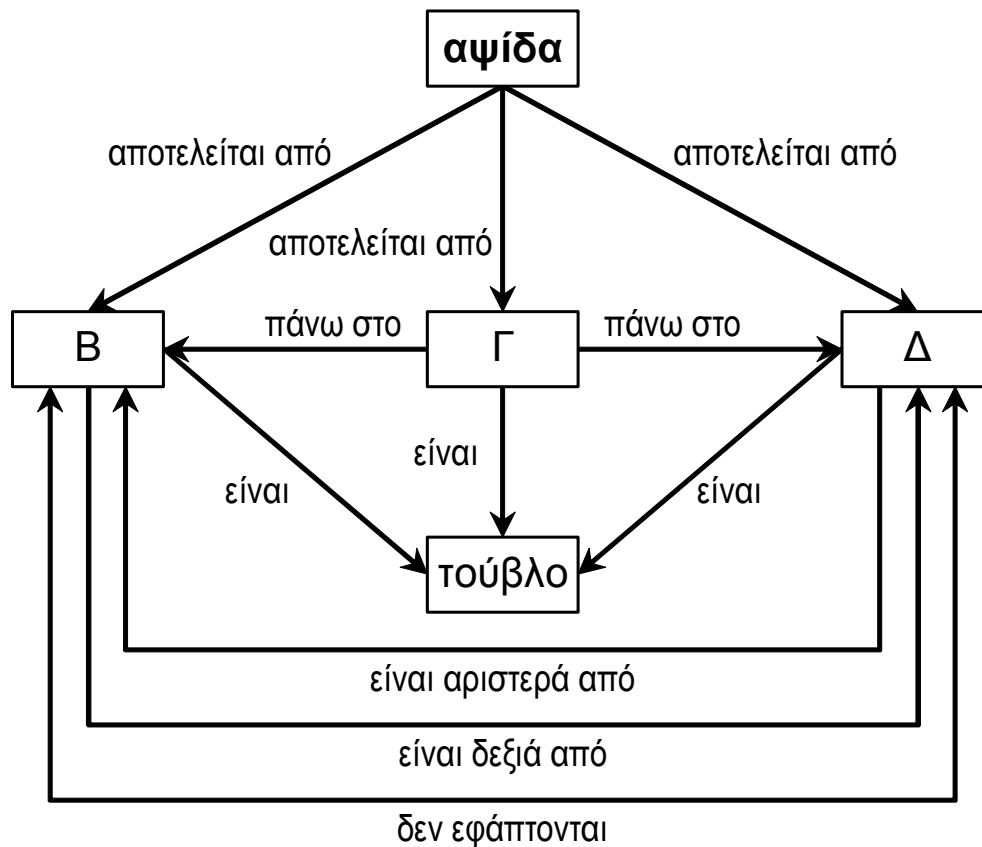


# Δομημένες Αναπαραστάσεις Γνώσης

- ❖ Κλασική Λογική: αυστηρότητα στην αναπαράσταση της γνώσης
- ❖ Στην πράξη:
  - ❑ απαιτείται μια λιγότερο αυστηρή και περισσότερο διαισθητική προσέγγιση
  - ❑ είναι επιθυμητή η μείωση του όγκου που καταλαμβάνει η γνώση
  
- ❖ Δομημένες Αναπαραστάσεις Γνώσης
  - ❑ Σημασιολογικά Δίκτυα
  - ❑ Πλαίσια
  - ❑ Αντικείμενα
  - ❑ Εννοιολογική Εξάρτηση
  - ❑ Σενάρια
  - ❑ Εννοιολογικοί Γράφοι

# Σημασιολογικά Δίκτυα (semantic networks)

- ❖ Αποτελούνται από κόμβους (nodes) και δεσμούς (links) ανάμεσά τους.
  - ❑ **κόμβοι:** υποδηλώνουν κλάσεις αντικειμένων (classes), αντικείμενα (objects), έννοιες (concepts), τιμές ιδιοτήτων (values)
  - ❑ **δεσμοί:** υποδηλώνουν σχέσεις (relations) μεταξύ αντικειμένων ή ιδιότητες που συνδέουν αντικείμενα με τιμές.

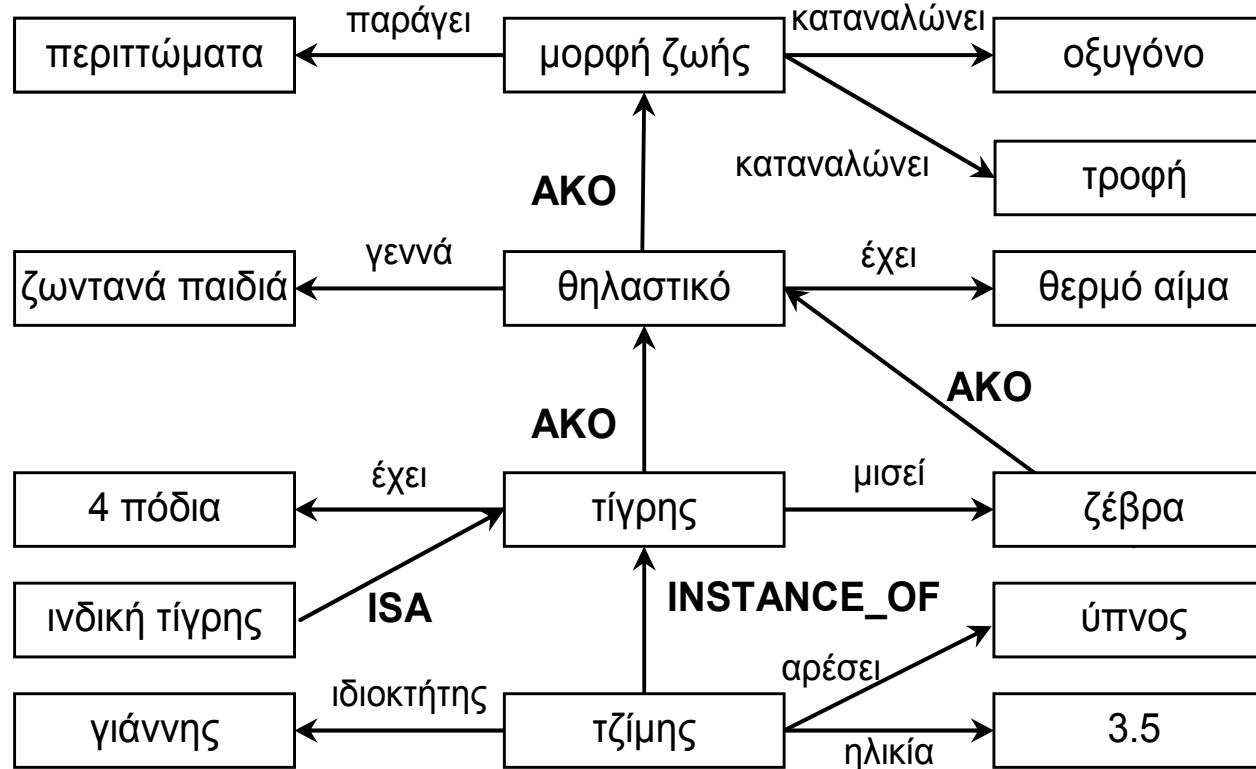


# Η Ιεραρχική Δομή των Σημασιολογικών Δικτύων

- ❖ Σημαντικότερα είδη δεσμών: AKO, ISA, INSTANCE\_OF.
- ❖ Η σχέση **AKO** υπάρχει μεταξύ κλάσεων αντικειμένων. Σε κόμβο που συνδέεται με σχέση AKO με κάποιον άλλον μπορούν να προστεθούν νέοι δεσμοί που προσδίδουν νέες ιδιότητες.
  - ❑ η κλάση "τίγρης" είναι AKO της κλάσης "θηλαστικό"
- ❖ Η σχέση **ISA** είναι παρόμοια με τη σχέση AKO, με τη διαφορά ότι δε μπορεί να προστεθούν νέες ιδιότητες παρά μόνον να κληρονομηθούν οι ήδη υπάρχουσες ιδιότητες από κόμβους ψηλότερα στην ιεραρχία ή οι ιδιότητες αυτές να αλλάξουν τιμές.
  - ❑ η κλάση "ινδική τίγρης" είναι ISA της κλάσης "τίγρης"
- ❖ Η σχέση **INSTANCE\_OF** υπάρχει μόνο μεταξύ κόμβων αντικειμένων και κόμβων γενικότερων κλάσεων.
  - ❑ δεν μπορεί να αποτελεί υπερκλάση άλλης κλάσης.
  - ❑ ο συγκεκριμένος τίγρης "τζίμης" είναι INSTANCE\_OF της κλάσης "τίγρης"

# Κληρονομικότητα στα Σημασιολογικά Δίκτυα

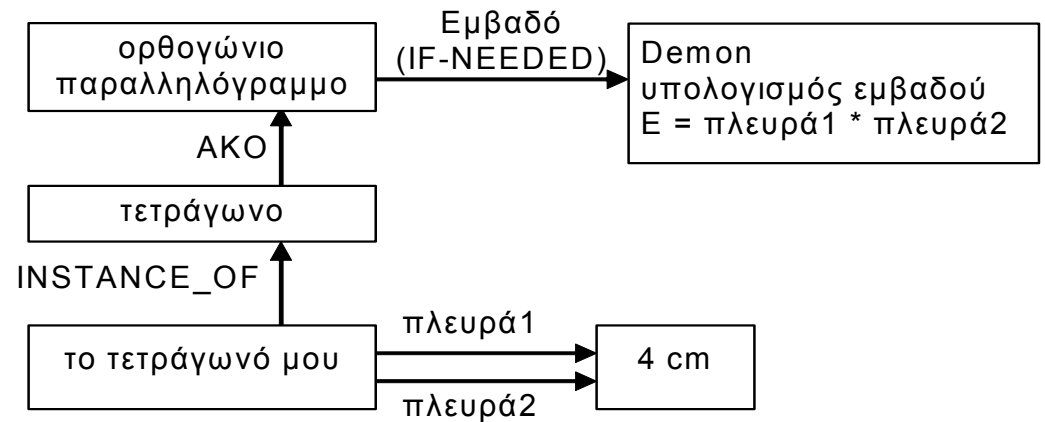
- ❖ Ένα αντικείμενο κληρονομεί ιδιότητες από μία υψηλότερη ιεραρχικά κλάση.



- ❖ Για το συγκεκριμένο τίγρη ("τζίμη") δε χρειάζεται να δηλωθούν παρά μόνον τα χαρακτηριστικά αυτά που είναι αποκλειστικά δικά του ("ιδιοκτήτης", "ηλικία", "αρέσει").
- ❖ Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά-ιδιότητες κληρονομούνται

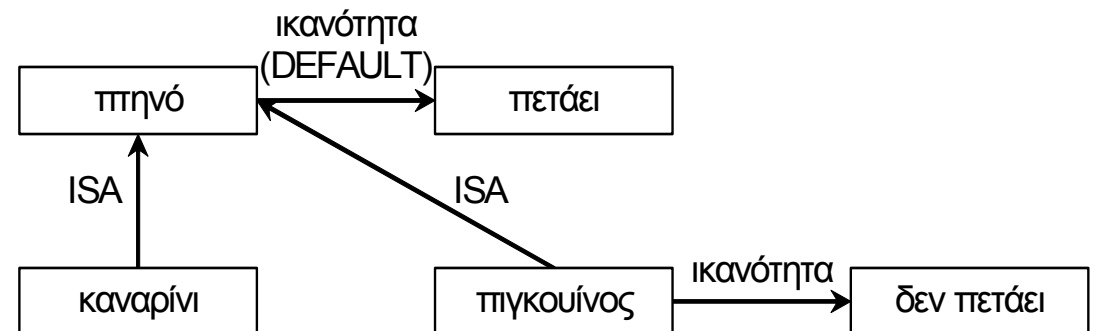
# Προσκόλληση Διαδικασιών

- ❖ Καλούνται για να δώσουν κάποιο αποτέλεσμα, *μόνον εάν χρειάζεται (IF-NEEDED)*.
  - ❑ ονομάζονται και *δαίμονες (daemons)*.



## Προκαθορισμένες Τιμές και Εξαιρέσεις

- ❖ Η συνήθης τιμή μιας ιδιότητας ονομάζεται *προκαθορισμένη τιμή (DEFAULT)*
  - ❑ Χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχουν πληροφορίες για την τιμή μιας ιδιότητας.
  - ❑ Μπορεί, αν χρειαστεί, να αλλάξουν σε άλλες κλάσεις ή αντικείμενα, χαμηλότερα στην ιεραρχία
  - ❑ Τρόπος υλοποίησης συλλογιστικής των εύλογων υποθέσεων.



# Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

- ❖ Συμπαγής αναπαράσταση (κληρονομικότητα, προσκολλημένες διαδικασίες)
- ❖ Δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων (λόγω της ιεραρχικής δομής).
- ❖ Η γνώση που περιγράφεται είναι πολλές φορές διάσπαρτη μέσα στα δίκτυα:
  - ❑ η αναζήτηση παίρνει πολύ χρόνο
  - ❑ η παραμικρή αλλαγή μπορεί να επιφέρει σημασιολογικές αλλαγές
- ❖ **Ευριστική ανεπάρκεια** (heuristic inadequacy)
  - ❑ κάθε φορά που γίνεται αναζήτηση συγκεκριμένης πληροφορίας μπορεί να εμφανιστεί το φαινόμενο της *συνδυαστικής έκρηξης* (*combinatorial explosion*).
- ❖ **Λογική ανεπάρκεια** (logical inadequacy)
  - ❑ η σημασιολογία των αντικειμένων δεν είναι ξεκάθαρη
  - ❑ ένα "αυτοκίνητο" στο σημασιολογικό δίκτυο μπορεί να εκληφθεί ως οποιοδήποτε αυτοκίνητο (κλάση) ή ένα συγκεκριμένο αυτοκίνητο (αντικείμενο)
- ❖ **Βασικότερο μειονέκτημα:** δεν υπάρχουν προκαθορισμένες δομικά σχέσεις πάνω στις οποίες μπορεί να στηριχτεί ο σχεδιασμός τους.

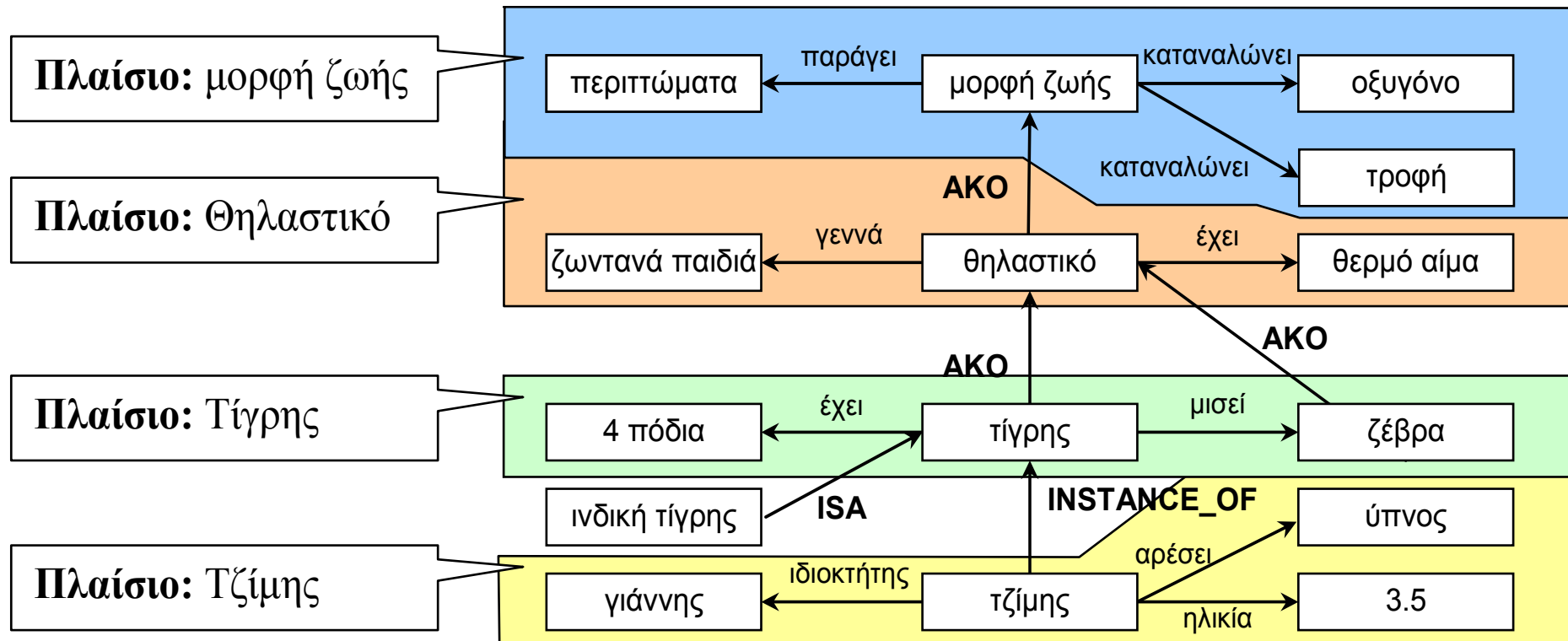
# Πλαίσια (frames)

- ❖ Ορίστηκαν από τον Minsky σαν "δομές δεδομένων για την αναπαράσταση στερεότυπων καταστάσεων". Ονομάζονται και σχήματα (*schemata*).
- ❖ Τα πλαίσια έχουν:
  - ❑ όνομα,
  - ❑ μία σειρά από ιδιότητες (*slots*) που συνδέονται άμεσα με τις τιμές τους (*fillers*),
    - προκαθορισμένες τιμές
    - όψεις (*facets*)
  - ❑ προσκολλημένες διαδικασίες (όχι υποχρεωτικά) που ονομάζονται δαίμονες (*demons*)
    - μπορεί να ενεργοποιούνται όταν τα πλαίσια μεταβάλλονται για κάποιο λόγο
- ❖ Αν και απαιτούν επιδεξιότητα και επίπονη εργασία, εξελίχθηκαν σε έναν σημαντικό τρόπο αναπαράστασης γνώσης.



# Ιεραρχία στα Πλαίσια

- ❖ Τα πλαίσια μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενα-κόμβους ενός σημασιολογικού δικτύου και να συνδεθούν με μία ιεραρχία.



# Πλαίσια και Σημασιολογικά Δίκτυα

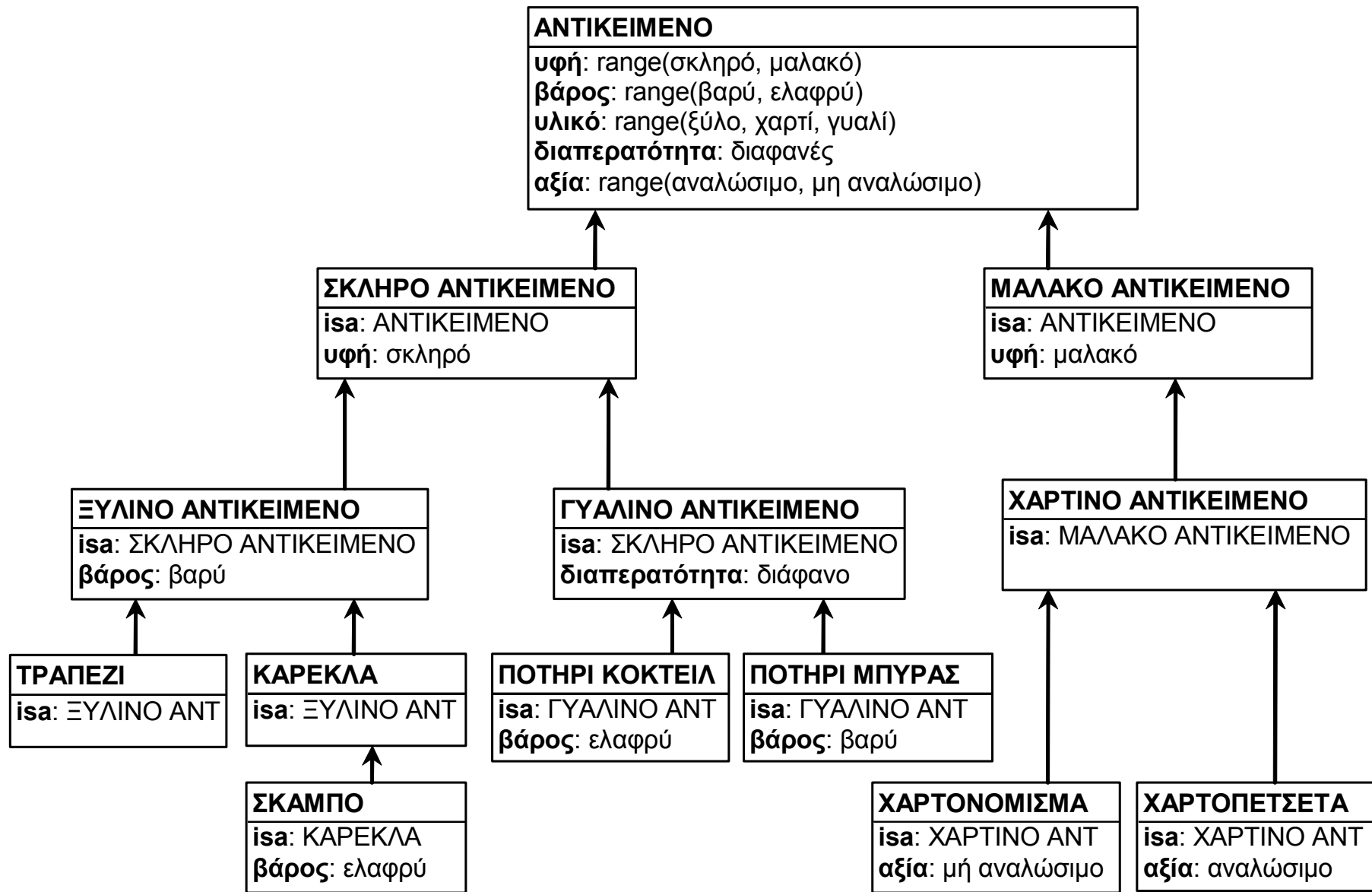
- ❖ Τα πλαίσια (όπως και τα σημασιολογικά δίκτυα) παρέχουν:
  - ❑ κληρονομικότητα,
  - ❑ προσκόλληση διαδικασιών και
  - ❑ προκαθορισμένες τιμές
  
- ❖ Τα πλαίσια υπερτερούν έναντι των σημασιολογικών δικτύων στο ότι:
  - ❑ Η ιεραρχία των εννοιών στα πλαίσια είναι πιο ξεκάθαρη:
    - Ένα πλαίσιο περιέχει **όλη** την πληροφορία για τη συγκεκριμένη έννοια που αναπαριστά.
    - Ένας κόμβος σε ένα σημασιολογικό δίκτυο αναπαριστά **μόνο** την έννοια, ενώ οι ιδιότητές της περιγράφονται σε **άλλους** κόμβους που συνδέονται με αυτόν.
  - ❑ παρακάμψη *λογική ανεπάρκειας*
    - δεν εμφανίζουν τόσο έντονο το φαινόμενο της συνδυαστικής έκρηξης στην αναζήτηση



# Πλαίσια και Εγγραφές

- ❖ Τα πλαίσια θυμίζουν ίσως τις εγγραφές (*records*) των γλωσσών προγραμματισμού.
- ❖ Όμως τα πλαίσια:
  - ❑ δεν είναι κατ' ανάγκη όμοια μεταξύ τους, όπως οι εγγραφές,
  - ❑ δεν περιέχουν ίδιου τύπου πληροφορίες, ούτε μόνον απλά δεδομένα,
  - ❑ οργανώνονται σε ιεραρχικές δομές υποστηρίζοντας ταυτόχρονα κληρονομικότητα, και
  - ❑ μπορεί να έχουν προσκολλημένες διαδικασίες.
  
- ❖ μοιάζουν περισσότερο με τα αντικείμενα (*objects*) του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού και λιγότερο με τις εγγραφές

# Παράδειγμα Ιεραρχίας Πλαισίων



# Εξαγωγή Συμπερασμάτων με Πλαίσια

- ❖ Μπορεί να υλοποιηθεί με οποιονδήποτε από τους μηχανισμούς συμπερασμάτων της λογικής.
- ❖ Επιπλέον χρειάζεται ένας τρόπος για την ανάκληση της τιμής μίας ιδιότητας:

Διαδικασία `find(Frame, Attribute, Value)`

Αν η ιδιότητα `Attribute` υπάρχει στο πλαίσιο `Frame`,  
τότε

επέστρεψε την τιμή της `Value`

Αλλιώς,

ακολούθησε την ιεραρχία δεσμών `ISA` ή `AKO` ή `INSTANCE_OF` και επανέλαβε τη διαδικασία με νέο πλαίσιο `NewFrame` το αμέσως παραπάνω πλαίσιο του `Frame` στην ιεραρχίας, δηλ. `find(NewFrame, Attribute, Value)`.

- ❖ Λόγω δυνατότητας ύπαρξης **πολλαπλής κληρονομικότητας** (*multiple inheritance*), πρέπει να καθορίζει και από ποιο πλαίσιο θα κληρονομηθεί η ιδιότητα.
  - ❑ π.χ. η αναζήτηση πρώτα σε πλάτος θα επιστρέψει την τιμή της ιδιότητας που βρίσκεται στο πιο κοντινό πλαίσιο.

# Αντικείμενα (objects)

- ❖ Τρόπος αναπαράστασης δομημένης γνώσης που προήλθε από την έρευνα για γλώσσες προσομοίωσης.
  - ❑ ανάγκη δημιουργίας εύκολα αντιληπτών μοντέλων
  - ❑ αποδόμηση (decomposition) σε αντικείμενα σχετικά με οντότητα του φυσικού κόσμου

## Βασικά χαρακτηριστικά αντικειμένων:

- ❑ έχουν κάποια κατάσταση (*ιδιοότητες properties-fields*)
- ❑ έχουν ένα σύνολο από **μεθόδους** (*methods*) που ορίζουν τη συμπεριφορά του αντικειμένου
- ❑ αντιδρούν σε προκαθορισμένα **μηνύματα** ή **γεγονότα** (*messages* ή *events*) που λαμβάνουν από τον εξωτερικό κόσμο

# Οργάνωση Αντικειμένων

- ❖ κλάση (*class*) αντικειμένου: το σύνολο των ιδιοτήτων των μεθόδων και των μηνυμάτων στα οποία αυτό αποκρίνεται
  
- ❖ Χαρακτηριστικά:
  - ❑ απόκρυψη εσωτερικής πολυπλοκότητας (*εγκλεισμός – encapsulation*)
  - ❑ πρότυπα για την παραγωγή στιγμιότυπων (*instances*)
  - ❑ απόκρυψη εσωτερικής πληροφορίας και μάλιστα με διαβαθμισμένο τρόπο
  - ❑ οργάνωση σε ιεραρχίες (π.χ. "όχημα" γενικότερη από "αυτοκίνητο")
  - ❑ κληρονομικότητα (*inheritance*)
    - αποφυγή της επανάληψης ορισμού κοινών χαρακτηριστικών και μεθόδων
  - ❑ πολυμορφισμός (*polymorphism*)
  - ❑ υπερφόρτωση (*overloading*)
  - ❑ πολλαπλή κληρονομικότητα (*multiple inheritance*)

# Αντικείμενα και Πλαίσια

- ❖ **Ομοιότητες:** δομημένη περιγραφή, κληρονομικότητα, ιδιότητες-slots, μέθοδοι-δαίμονες.
- ❖ **Βασικές Διαφορές**
  - ❑ Τα αντικείμενα δεν είναι υποχρεωτικό να ακολουθήσουν αυστηρά τις προδιαγραφές που ορίζει η κλάση τους.
  - ❑ Η αυστηρά καθορισμένη δομή των αντικειμένων, διευκολύνει τον έλεγχο ορθότητας των προγραμμάτων και επιτρέπει την παραγωγή αποδοτικότερου κώδικα.
  - ❑ Η πρόσβαση στις ιδιοτήτων και τις μεθόδους των αντικειμένων είναι *διαβαθμισμένη* ενώ στα πλαίσια οι τιμές των *ιδιοτήτων (slots)* είναι πάντα προσβάσιμες.
  - ❑ Τα αντικείμενα εμπεριέχουν τον κώδικα ελέγχου μέσα τους, με τη μορφή μεθόδων. Στα πλαίσια ο υπόλοιπος κώδικας είναι αποθηκευμένος εκτός των πλαισίων.
  - ❑ Στα πλαίσια, οι δαίμονες ενεργοποιούνται αυτόματα όταν γίνει πρόσβαση στις ιδιότητες. Στα αντικείμενα οι μέθοδοι, ενεργοποιούνται με την εκούσια αποστολή μηνυμάτων από τους χρήστες ή από μεθόδους άλλων αντικειμένων.
- ❖ Λόγω των παραπάνω, η χρήση αντικειμένων αντί πλαισίων στην TN είναι πλέον περισσότερο συχνή.





# Εννοιολογική Εξάρτηση (conceptual dependency) (1/2)

- ❖ Προέκυψε (Schunk, '74) ως αποτέλεσμα των προσπαθειών να ενσωματωθούν οι βασικές σημασιολογικές σχέσεις της φυσικής γλώσσας στον ίδιο το φορμαλισμό, παρά να αποτελούν τμήμα του πεδίου γνώσης (*domain knowledge*).
- ❖ Υπάρχουν τέσσερις **αρχέγονες εννοιολογικές μορφές** (*primitive conceptualizations*) πάνω στις οποίες μπορεί να βασιστεί η ερμηνεία.
  - ❑ ACTs (ενέργειες), PPs (αντικείμενα), AAs (Προσδιορισμοί Ενεργειών), PAs (Προσδιορισμοί Αντικειμένων)
  - ❑ αυτές αναλύονται περαιτέρω ώστε να καλύψουν περισσότερο εξειδικευμένες περιπτώσεις
- ❖ Υπάρχουν **σύμβολα** για τον ακριβέστερο καθορισμό χρόνου και τρόπου.
  - ❑ π.χ. **p** (παρελθόν), **f** (μέλλον), **c** (υπό προϋποθέσεις), κτλ.
- ❖ Τα αρχέγονα στοιχεία και σύμβολα χρησιμοποιούνται για να οριστούν σταθερές και με καλά ορισμένη σημασιολογία, σχέσεις μεταξύ των εννοιών (**σχέσεις εννοιολογικής εξάρτησης** - *conceptual dependency relationships*)

# Εννοιολογική Εξάρτηση (conceptual dependency) (2/2)

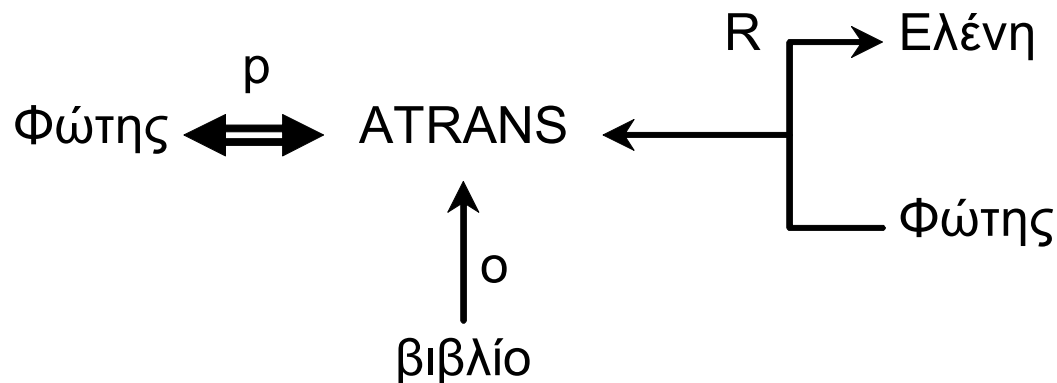
- ❖ Οι σχέσεις εννοιολογικής εξάρτησης είναι *εννοιολογικοί συντακτικοί κανόνες*:
  - ❑ εύκολη εξαγωγή συμπερασμάτων από προτάσεις
  - ❑ η αναπαράσταση δεν εξαρτάται από τη γλώσσα διατύπωσης της πρότασης

## Παράδειγμα Σχέσεων Εννοιολογικής Εξάρτησης

Σχέση	Ερμηνεία
$PP \leftrightarrow ACT$	Κάποιος ενεργεί.
$ACT \xleftarrow{O} PP$	Το αντικείμενο κάποιας ενέργειας.
$ACT \xleftarrow{R} \begin{matrix} PP \\ PP \end{matrix}$	Ο δότης και ο παραλήπτης ενός αντικειμένου σε μία ενέργεια.

# Γράφοι Εννοιολογικής Εξάρτησης

❖ Παράδειγμα: Έστω η πρόταση: "Ο Φώτης έδωσε το βιβλίο στην Ελένη".



- ❑ τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση της εξάρτησης,
- ❑ το διπλό βέλος " $\Leftrightarrow$ " σημαίνει ότι υπάρχει αμφίδρομη σχέση μεταξύ του δράστη και της πράξης,
- ❑ το "p" σημαίνει παρελθόν (past),
- ❑ το "ΑΤΡΑΝΣ" σημαίνει μεταφορά κτήσης ενός πράγματος (abstract transitive),
- ❑ το "o" δηλώνει το αντικείμενο (object) και
- ❑ το "R" δηλώνει τον παραλήπτη (recipient).

# Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

- ❖ Αυστηρά ορισμένη μεθοδολογία.
- ❖ Προτάσεις που έχουν το ίδιο νόημα θα αναπαρίστανται με παρόμοιο τρόπο.
  - ❑ ταίριασμα δύο γράφων  $\implies$  δύο προτάσεις έχουν το ίδιο νόημα.
- ❖ Πλήρως δοκιμασμένο μοντέλο αλλά όχι για γενικές περιπτώσεις.
- ❖ Συχνά, από μικρές φράσεις παράγονται τεράστιοι γράφοι που απαιτούν ανάλογους υπολογιστικούς πόρους για το χειρισμό τους.
- ❖ Κάποιες κοινές έννοιες της φυσικής γλώσσας είναι δύσκολο να κωδικοποιηθούν:
  - ❑ π.χ. οι έννοιες "λίγο", "χαμηλή", "βαρύς", κτλ.
  - ❑ σημασιολογικά ασαφείς
  - ❑ ο χειρισμός τους γίνεται καλύτερα με άλλες μεθόδους όπως η ασαφής λογική.

# Σενάρια (scripts)

- ❖ *στερεότυπες καταστάσεις (stereotypical situations)*
  - οργάνωση γνώσης στον ανθρώπινο νου.
  - π.χ. η φράση "πήγα στο εστιατόριο" υπονοεί χωρίς να το δηλώνει ρητά ότι π.χ. "κάθισα σε ένα τραπέζι, παρήγγειλα, έφαγα, πλήρωσα, κτλ"
- ❖ Τα σενάρια είναι μία στερεότυπη ακολουθία γεγονότων που περιγράφουν τυπικές καταστάσεις σε συγκεκριμένα πλαίσια δραστηριότητας.
- ❖ Βασικά μέρη:
  - Συνθήκες εισόδου (*entry conditions*)
  - Αποτελέσματα (*results*)
  - Σκηνικά (*props*)
  - Ρόλους (*roles*)
  - Παραπομπές (*track*)
  - Σκηνές (*scenes*)

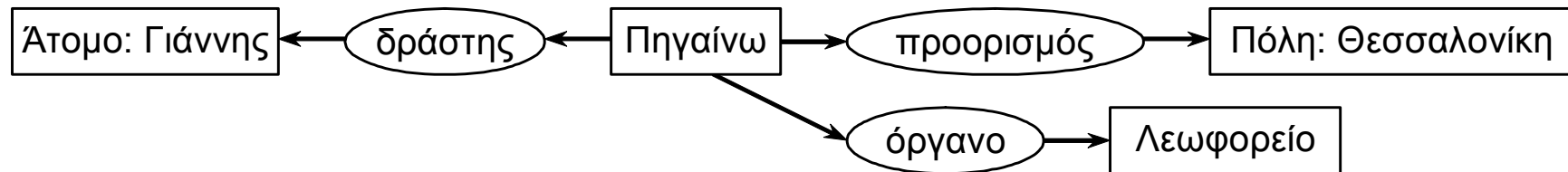
# Παράδειγμα Σεναρίου (Εστιατόριο)

<p><b>Σενάριο:</b> Εστιατόριο  <b>Παραπομπή:</b> Καφετερία</p>	<p><b>ΣΚΗΝΗ 1: Είσοδος</b>          Πελάτης <b>PTRANS</b> Πελάτη στο εστιατόριο          Πελάτης <b>ATTENDS</b> μάτια στα τραπέζια          Πελάτης <b>MBUILD</b> που θα καθίσει          Πελάτης <b>PTRANS</b> στο τραπέζι</p>
<p><b>Ιδιότητες/Αντικείμενα:</b>          Τραπέζι          Μενού          Φαγητό          Λογαριασμός          Χρήματα</p>	<p><b>ΣΚΗΝΗ 2: Παραγγελία</b>          (Μενού στο Τραπέζι) (Σερβιτόρος φέρνει Μενού)          Πελάτης <b>PTRANS</b> Μενού στον Πελάτη          Πελάτης <b>MBUILD</b> επιλογή Φαγητού          Πελάτης <b>MTRANS</b> σήμα στο Σερβιτόρο          Σερβιτόρος <b>PTRANS</b> Σερβιτόρο στο Τραπέζι          Πελάτης <b>MTRANS</b> "Θέλω Φαγητό X" στο Σερβιτόρο          Σερβιτόρος <b>PTRANS</b> Σερβιτόρο στο Μάγειρα          Σερβιτόρος <b>ATRANS</b> X στο Μάγειρα          Μάγειρας <b>DO</b> (Σενάριο ετοιμασίας φαγητού X)</p>
<p><b>Ρόλοι:</b>          Πελάτης          Σερβιτόρος          Μάγειρας          Ταμίας          Ιδιοκτήτης</p>	<p><b>ΣΚΗΝΗ 3: Φαγητό</b>          Μάγειρας <b>ATRANS</b> Φαγητό στο Σερβιτόρο          Σερβιτόρος <b>ATRANS</b> Φαγητό στον Πελάτη          Πελάτης <b>INGEST</b> Φαγητό</p> <p>(Επιλογή: Σκηνή 2 για επόμενη παραγγελία ή αλλιώς Σκηνή 4)</p>
<p><b>Συνθήκες Εισόδου:</b>          Πελάτης πεινάει          Πελάτης έχει χρήματα</p>	<p><b>ΣΚΗΝΗ 4: Έξοδος</b>          Σερβιτόρος <b>MOVE</b> (ετοιμάζει Λογαριασμό)          Σερβιτόρος <b>PTRANS</b> Σερβιτόρο στον Πελάτη          Σερβιτόρος <b>ATRANS</b> Λογαριασμό στον Πελάτη          Πελάτης <b>ATRANS</b> Φιλοδώρημα στον Σερβιτόρο          Πελάτης <b>PTRANS</b> Πελάτη στον Ταμία          Πελάτης <b>ATRANS</b> Χρήματα στον Ταμία          Πελάτης <b>PTRANS</b> Πελάτη έξω από το εστιατόριο</p>
<p><b>Αποτελέσματα:</b>          Πελάτης έχει λιγότερα χρήματα          Ιδιοκτήτης έχει περισσότερα χρήματα          Πελάτης δεν πεινάει</p>	

- ❖ αντικείμενα και ρόλοι
- ❖ τέσσερις σκηνές
- ❖ συνθήκες εισόδου και αποτελέσματα σεναρίου
- ❖ η αναφορά στο εστιατόριο από μέρος του ανθρώπου ενεργοποιεί το σενάριο του εστιατορίου και συνεπώς ο υπολογιστής μπορεί να κάνει εύλογες υποθέσεις
- ❖ είναι πιθανό η πραγματικότητα να αποκλίνει και να γίνουν λάθος εκτιμήσεις από τον υπολογιστή

# Εννοιολογικοί Γράφοι (conceptual graphs)

- ❖ Προτάθηκαν από τον Sowa ('76) και αποτελούν μία γλώσσα αναπαράστασης γνώσης με ρίζες στη μοντέρνα γλωσσολογία, την ψυχολογία και τη φιλοσοφία
- ❖ Συνοδεύονται από κατάλληλες δομές δεδομένων και τεχνικές για το χειρισμό τους.
- ❖ Ένας εννοιολογικός γράφος είναι ένας πεπερασμένος γράφος που αποτελείται από διασυνδεμένους **κόμβους εννοιών και σχέσεων**, που **εναλλάσσονται**.



- ❖ Τα τόξα **ανήκουν στις σχέσεις** και είναι **προσκολλημένα στις έννοιες**.

# Έννοιες

- ❖ Οι **έννοιες** (*concepts*) αποτελούν στιγμιότυπα των **τύπων-εννοιών** (*concept types*) και αποτελούνται από έναν **τύπο-έννοιας** (πρακτικά μία ετικέτα) συνοδευόμενο συνήθως από μία **αναφορά** (*referent*) σε συγκεκριμένη οντότητα. π.χ. [Άτομο: Γιάννης]

## Τύποι Εννοιών

- ❖ Ένας **τύπος-έννοιας** μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μία κλάση ή κατηγορία οντοτήτων, ενεργειών, ιδιοτήτων, αφηρημένων εννοιών, κτλ.
- ❖ Μπορεί να οργανωθούν σε μία **ιεραρχία** (*concept type hierarchy*)
  - Οντότητα  $\geq$  Ενέργεια, Άτομο, Δένδρο
  - Άτομο  $\geq$  Φοιτητής, Υπάλληλος
- ❖ Η ιεραρχία:
  - υποδηλώνει την ύπαρξη **κληρονομικότητας** στις ιδιότητές τους
  - ορίζει σχέσεις γενίκευσης και εξειδίκευσης
    - π.χ. η έννοια [Φοιτητής] είναι εξειδίκευση της έννοιας [Άτομο]
    - ισοδύναμα: η έννοια [Άτομο] είναι γενίκευση της έννοιας [Φοιτητής]



# Αναφορά

- ❖ Μια έννοια χωρίς αναφορά (π.χ. [Βιβλίο] ή [Βιβλίο:\*]) υποδηλώνει μία υπαρκτή αλλά απροσδιόριστη οντότητα (υπονοείται ο υπαρξιακός ποσοδείκτης "∃").
- ❖ Η αναφορά μπορεί να πάρει πολλές μορφές. Ενδεικτικά:
  - ❑ [Βιβλίο:∀] – κάθε βιβλίο
  - ❑ [Βιβλίο:{"AI","I Robot"}] – τα βιβλία "AI" και "I Robot"
  - ❑ [Βιβλίο:{\*}@3] – τρία βιβλία
  - ❑ [Ακέραιος:5] – ο αριθμός 5
  - ❑ [Πόλη:Αθήνα]
  - ❑ [Ηλικία:@<35,έτη>] – παρατίθεται η τιμή και η μονάδα μέτρησης
  - ❑ [Δένδρο:#9143] – συγκεκριμένο δένδρο που είναι καταγεγραμμένο με τον κωδικό 9143 σε κάποιο κατάλογο οντοτήτων
- ❖ Έννοιες συμφραζομένων (*contextual concepts*): ειδικές περιπτώσεις εννοιών
  - ❑ [ **Πρόταση**: [Άνθρωπος:∀]→(χαρακτηριστικό)→[Θνητός] ]  
Υπάρχει μια πρόταση, η 'Κάθε άνθρωπος είναι θνητός'
  - ❑ [ **Κατάσταση**: [Κρατούμενος:#17]→(μέσα)→[Κελί:#33] ]  
Υπάρχει μία κατάσταση: "ο κρατούμενος #17 βρίσκεται στο κελί #33".

# Συναναφορά (coreference)

- ❖ δύο ή περισσότερες έννοιες αναφέρονται στην ίδια οντότητα

[Τρώω]→

(δράστης)→[Πίθηκος]

(αντικείμενο)→[Καρύδι: \*x]

(όργανο)→[Κουτάλι]→(υλικό)→[Κέλυφος]←(τμήμα)←[Καρύδι: ?x]

- ❖ Αναπαράσταση με μία μεταβλητή:

- πρόθεμα "\*" για να οριστεί η μεταβλητή (*defining referent*)

- πρόθεμα "?" για να γίνει αναφορά σε συγκεκριμένη μεταβλητή (*bound referent*)

- ❖ Οι έννοιες της συναναφοράς πρέπει να είναι **συμβατές**:

- ίδιου τύπου, ή

- να έχουν κάποια κοινή γενίκευση

# Ορισμός νέων τύπων-εννοιών

❖ Οι τύποι-εννοιών μπορεί να είναι:

- ❑ **αρχέγονοι** (*primitive*): αξιωματικά ορισμένοι π.χ. [Τίγρης]
- ❑ **ορισμένοι** (*defined*): μέσω μονοπαραμετρικών εκφράσεων-λ (*lambda expressions*)

```
type Τίγρης_Τσίρκου(*λ) is
  [Τίγρης:?λ]←(δράστης)←[Εμφανίζεται]→(τοποθεσία)→[Τσίρκο]
"Ο Τίγρης_Τσίρκου είναι ένας τίγρης που εμφανίζεται σε τσίρκο"
```

❖ Η ερμηνεία επηρεάζεται από το ποια έννοια αποτελεί την παράμετρο της έκφρασης-λ

```
type Τσίρκο_με_Τίγρη(*λ) is
  [Τίγρης]←(δράστης)←[Εμφανίζεται]→(τοποθεσία)→[Τσίρκο:?λ]
"Τσίρκο_με_Τίγρη είναι ένα τσίρκο στο οποίο εμφανίζεται ένας τίγρης"
```

# Εννοιολογικές Σχέσεις (*conceptual relations*)

- ❖ συσχετίζουν τις έννοιες μεταξύ τους
- ❖ μπορεί να οργανωθούν σε ιεραρχία
- ❖ ορίζονται από έναν *τύπο-σχέσης* (*relation type*) που περιλαμβάνει:
  - ❑ ετικέτα (label)
  - ❑ σθένος (valence) - αριθμός εννοιών που συσχετίζονται
  - ❑ υπογραφή (signature) – τύποι εννοιών που συνδέει η σχέση
    - για μια n-αδική σχέση η υπογραφή συμβολίζεται με  $\langle t_1, t_2, \dots, t_n \rangle$ .
- ❖ Παράδειγμα υπογραφής σχέσης:
  - ❑ ο τύπος-σχέσης **δράστης** έχει **σθένος 2** και υπογραφή  $\langle \text{Ενέργεια}, \text{Έμψυχο} \rangle$



# Ορισμός νέων Εννοιολογικών Σχέσεων

❖ Οι εννοιολογικές σχέσεις (όπως και οι τύποι-εννοιών) μπορεί να είναι:

- ❑ αρχέγονες (*primitive*): αξιωματικά ορισμένες
- ❑ ορισμένες (*defined*): μέσω εκφράσεων-λ (*lambda expressions*)

❖ Παράδειγμα ορισμού της σχέσης "πηγαίνω\_σε":

```
relation πηγαίνω_σε(*λ1,*λ2) is
  [Άτομο: ?λ1] ← (δράστης) ← [Πηγαίνω] → (προορισμός) → [Πόλη: ?λ2]
```

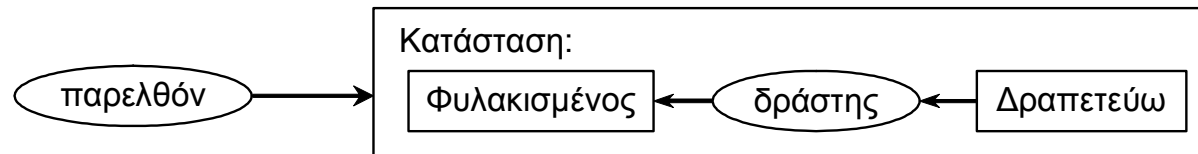
- ❑ Παράδειγμα χρήσης: [Άτομο:Φώτης] → (πηγαίνω\_σε) → [Πόλη:Φάρσαλα]

❖ Μία *ορισμένη σχέση (defined relation)* μέσα σε έναν σημασιολογικό γράφο μπορεί να αντικατασταθεί με τον ορισμό της (έκφραση-λ) και αντίστροφα.

```
[Άτομο:Ελένη] → (πηγαίνω_σε) → [Πόλη:Φάρσαλα]
[Άτομο:Ελένη] ← (δράστης) ← [Πηγαίνω] → (προορισμός) → [Πόλη:Φάρσαλα]
```

# Τόξα (*arcs*)

- ❖ συνδέουν τις σχέσεις με τις έννοιες
- ❖ Η φορά των τόξων καθορίζεται από την υπογραφή της σχέσης στην οποία ανήκουν.
  - ❑ τα πρώτα  $n-1$  τόξα βάσει της υπογραφής έχουν κατεύθυνση προς τη σχέση, ενώ το τελευταίο απομακρύνεται από τη σχέση
  - ❑ ισχύει και για τις μοναδιαίες σχέσεις
    - "Ένας φυλακισμένος δραπέτευσε"



- ❖ Αρίθμηση Τόξων
  - ❑ με τους αριθμούς 1, 2, κτλ., για τα πρώτα  $n-1$  τόξα ( $n > 2$ ) βάσει της υπογραφής
  - ❑ το  $n$ -οστό δε χρειάζεται να αριθμηθεί

# Εννοιολογικοί Γράφοι και Λογική

❖ Η **άρνηση** (NOT): (άρνηση)  $\rightarrow$  [Κατάσταση:  $u$ ]

□ Πιο απλά:  $\neg [u]$

□ **Παράδειγμα:**  $\neg [ [Βάρκα:\#17] \rightarrow (\mu\acute{\epsilon}\sigma\alpha) \rightarrow [Λιμάνι] ]$

❖ Η **σύζευξη** (AND): απλή παράθεσή στο ίδιο πλαίσιο συμφραζομένων:

[Πρόταση:

[Άτομο: \* $x$ ]  $\rightarrow$  (ιδιότητα)  $\rightarrow$  [Οπλισμένο]

[Άτομο: ? $x$ ]  $\rightarrow$  (ιδιότητα)  $\rightarrow$  [Επικίνδυνο] ]

□ **Πιο απλά:** η σύζευξη δύο γράφων  $u$  και  $v$  μπορεί να γραφεί και ως: [  $u \ v$  ]

❖ Η **διάζευξη** (OR): βάσει του ότι  $p \vee q$  είναι ισοδύναμο με  $\neg(\neg p \wedge \neg q)$ .

□  $\neg[ \neg[u] \neg[v] ]$

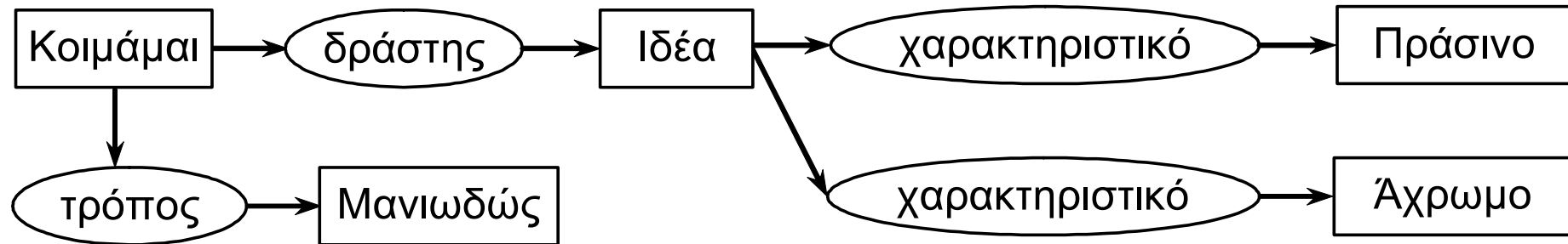
❖ **Συνεπαγωγή:** το  $p \rightarrow q$  είναι ισοδύναμο με  $\neg(p \wedge \neg q)$ .

□  $\neg[ u \neg[v] ]$

□ Σε μορφή κανόνα: if  $p$  and  $q$  then  $w$      $\neg[p \ q \ \neg[w]]$     ή    [If:  $p \ q$  [Then:  $w$ ]]

# Πώς συνδυάζονται όλα τα προηγούμενα;

- ❖ Δεν μπορεί όλοι οι αυθαίρετοι συνδυασμοί εννοιών και σχέσεων να παράγουν ορθά δομημένους (well-formed) εννοιολογικούς γράφους. Παράδειγμα:



*"Άχρωμες πράσινες ιδέες κοιμούνται μανιωδώς" (Chomsky)*

- ❑ παραβίαση ιεραρχίας και κανόνων κοινής λογικής
- ❖ Απαιτούνται μηχανισμοί που θα:
  - ❑ εξασφαλίζουν τη δημιουργία ορθά δομημένων εννοιολογικών γράφων
    - Κανόνες Ορθής Διαμόρφωσης
  - ❑ επιτρέπουν τη συλλογιστική με αυτούς
    - Κανόνες Εξαγωγής Συμπερασμάτων



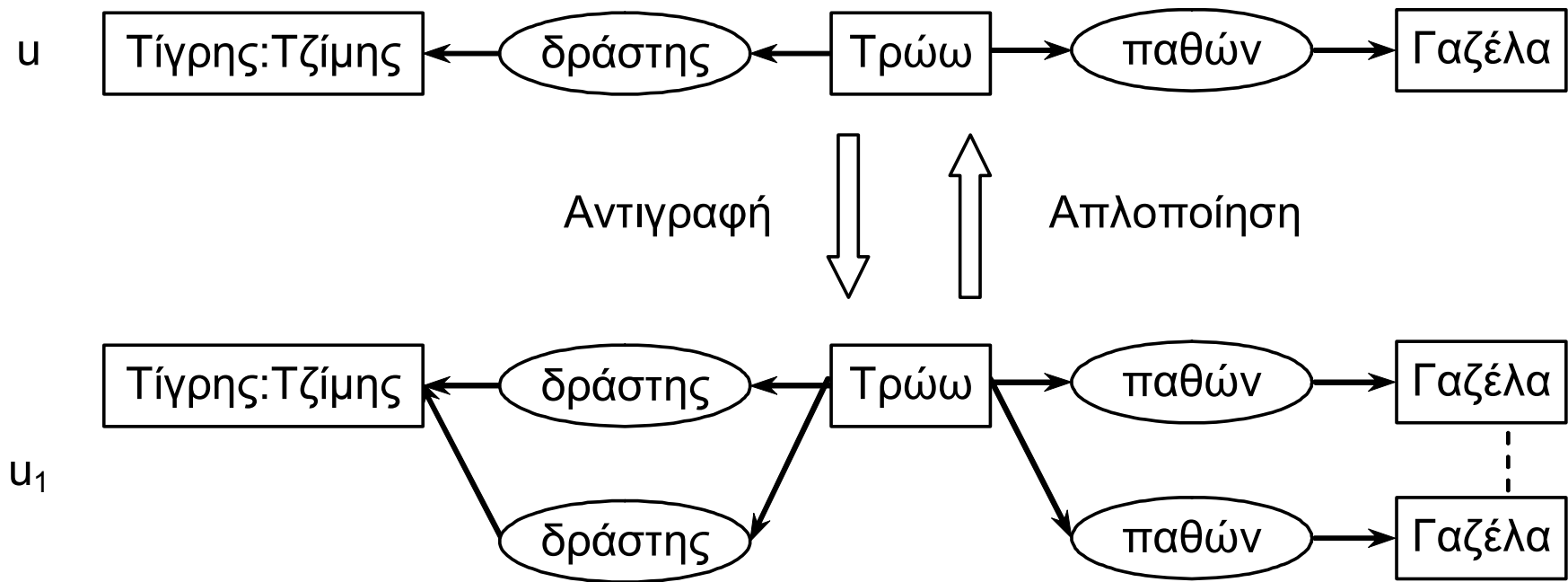


# Κανόνες Ορθής Διαμόρφωσης (1/2)

(*canonical formation rules*)

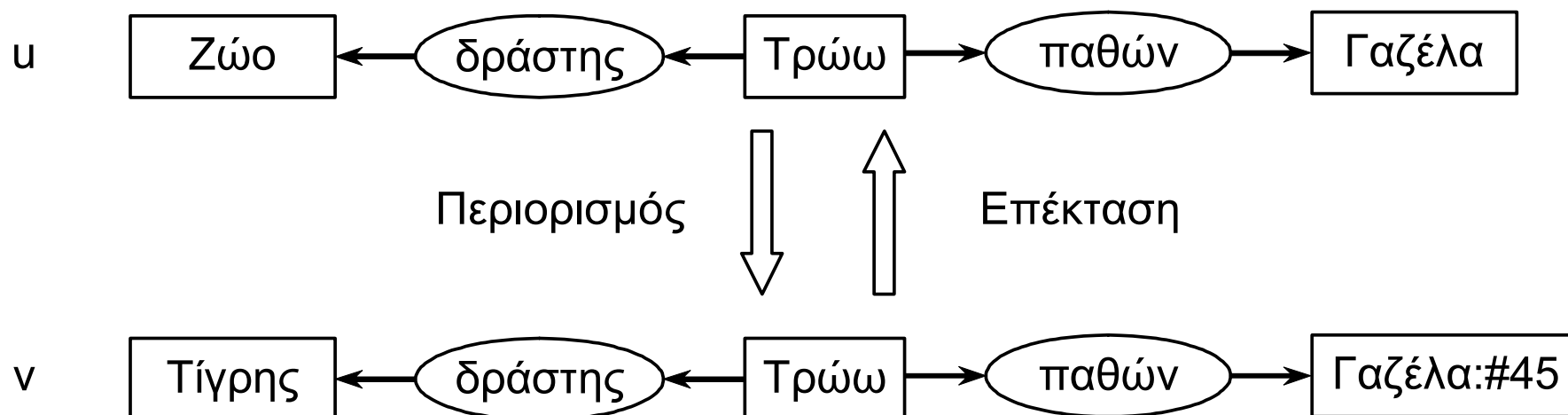
- ❖ είδος γραμματικής για ορθά δομημένους γράφους
- ❖ 6 κανόνες που παράγουν έναν ορθά δομημένο γράφο  $w$  επιδρώντας στους επίσης ορθά δομημένους γράφους  $u$  και  $v$
- ❖ 3 κατηγορίες:
  - Κανόνες εξειδίκευσης (περιορισμός και συνένωση)
  - Κανόνες γενίκευσης (επέκταση και διαχωρισμούς)
  - Κανόνες ισοδυναμίας (αντιγραφή και απλοποίηση)
- ❖ Για κάθε κανόνα υπάρχει ο αντίστροφός του (που επιφέρει δηλαδή το αντίστροφο αποτέλεσμα)
  - Αντιγραφή - Απλοποίηση
  - Περιορισμός - Επέκταση
  - Συνένωση - Διαχωρισμός

# Αντιγραφή - Απλοποίηση



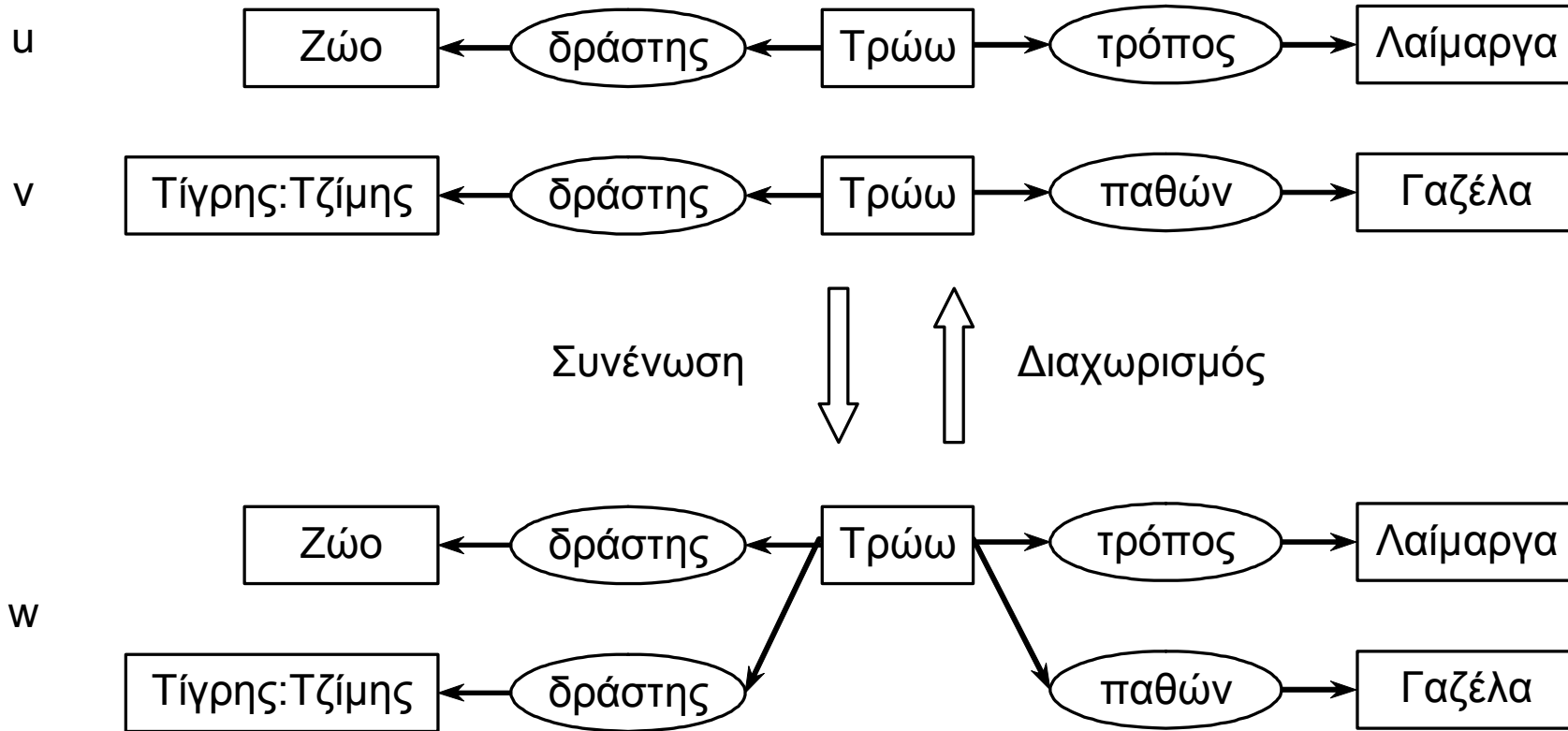
- ❖ Πρόκειται για **κανόνες ισοδυναμίας**: οι δύο εκφράσεις είναι αληθείς ή ψευδείς υπό τις ίδιες ακριβώς συνθήκες.
- ❖ Η διακεκομμένη γραμμή αναπαριστά την **συναναφορά** (coreferent link).

# Περιορισμός και Επέκταση



- ❖ Περιορισμός μέσω του τύπου της έννοιας (*restriction by type*)
  - $\text{Τίγρης} \leq \text{Ζώο}$ .
- ❖ Περιορισμός μέσω της αναφοράς (*restriction by referent*)
  - $[\text{Γαζέλα}] \implies [\text{Γαζέλα:\#45}]$
- ❖ Η επέκταση είναι ένας κανόνας γενίκευσης (*generalization rule*).
  - αν "ένας τίγρης τρώει τη γαζέλα #45" (γράφος v) τότε οπωσδήποτε "κάποιο ζώο τρώει κάποια γαζέλα" (γράφος u).
- ❖ Ο περιορισμός είναι κανόνας εξειδίκευσης (*specialization rule*).

# Συνένωση και Διαχωρισμός

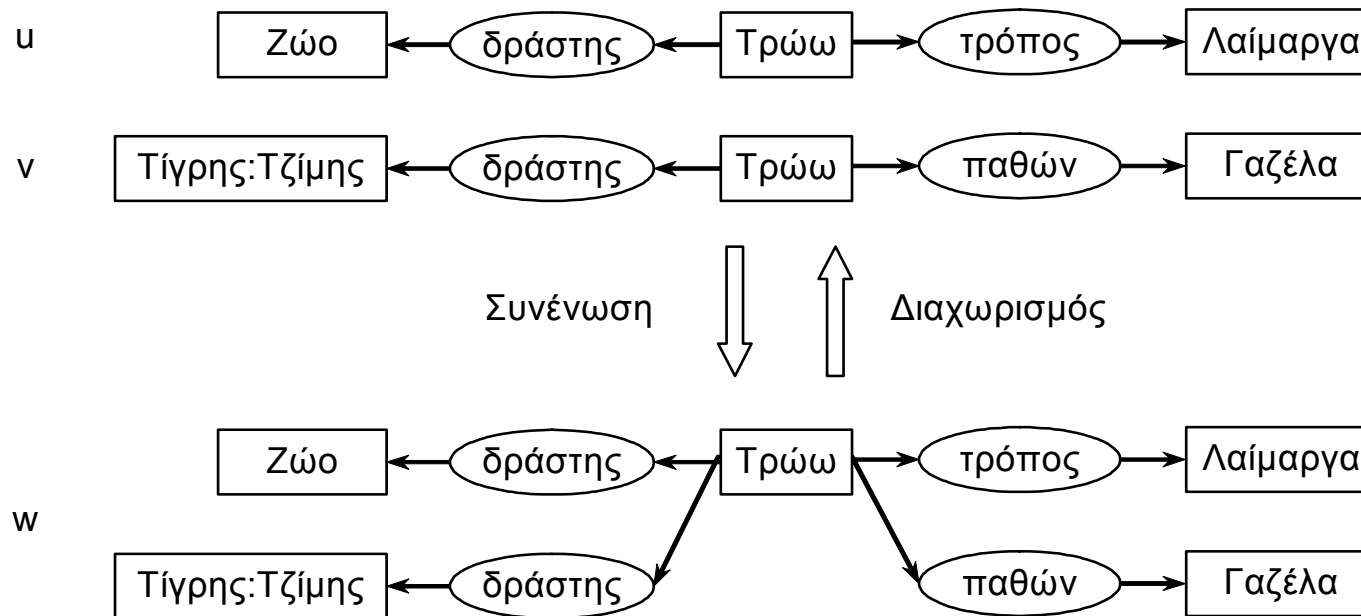


- ❖ Γίνεται πάνω στην κοινή έννοια με απαλειφή των πλεοναζόντων τόξων.
- ❖ Η συνένωση είναι κανόνας εξειδίκευσης (*specialization rule*).
- ❖ Ο διαχωρισμός είναι κανόνας γενίκευσης (*generalization rule*).

## Κανόνες Ορθής Διαμόρφωσης (2/2)

❖ ΔΕΝ αποτελούν κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων.

❖ Παράδειγμα:

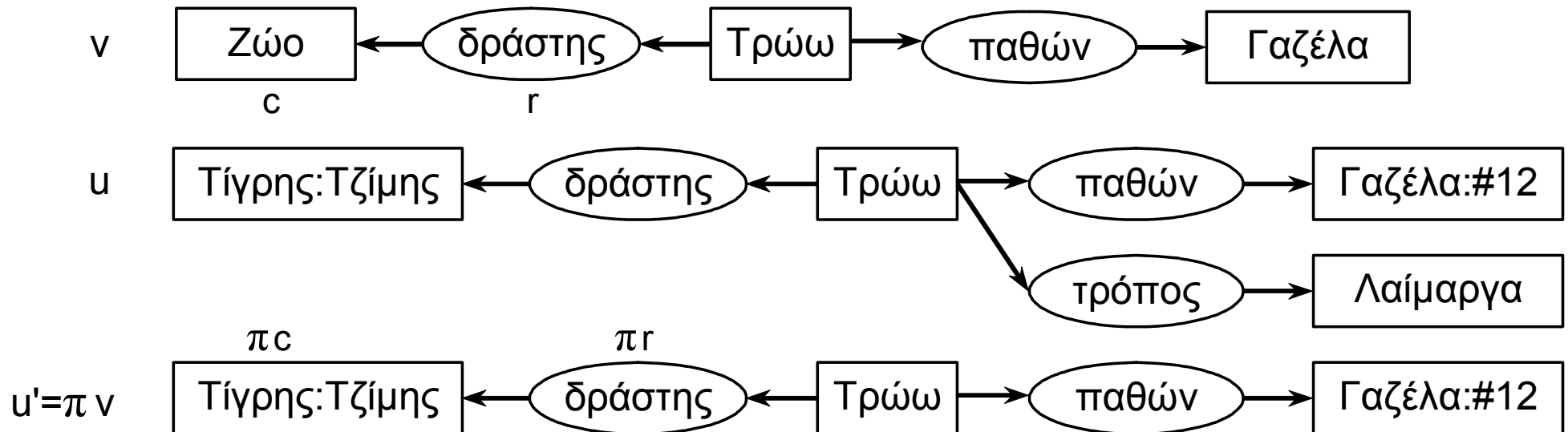


- $u$  και  $v$  είναι αληθείς γράφοι
- ο προκύπτων γράφος  $w$  είναι εξασφαλισμένα ορθός δομικά
- Τι γίνεται με το νόημα;
  - Οι κανόνες εξειδίκευσης δε διατηρούν την τιμή αληθείας των προτάσεων στις οποίες δρουν.
  - Δεν είναι σίγουρο ότι ο τίγρης 'Τζίμης' είναι το ζώο που τρώει λαίμαργα!

❖ **Συμπέρασμα:** δεν επαρκούν για συλλογιστική με εννοιολογικούς γράφους.

# Προβολή

- ❖ Η χρήση των κανόνων ορθής διαμόρφωσης παράγει γενικεύσεις (generalizations) και εξειδικεύσεις (specializations).
  - ❑ η γενίκευση ενός γράφου που είναι αληθής οδηγεί σε γράφο που επίσης είναι αληθής
  - ❑ η εξειδίκευση ενός γράφου που είναι ψευδής οδηγεί σε γράφο που επίσης είναι ψευδής
- ❖ προβολή (projection):
  - ❑ ο γράφος  $u'$  ονομάζεται **προβολή** του  $v$  στον  $u$  και συμβολίζεται με  $\pi v$
  - ❑ η όλη διαδικασία ονομάζεται επίσης "προβολή"
  - ❑ Πρακτικά: ο γράφος  $v$  υπάρχει (όχι αυτούσιος) μέσα στον γράφο  $u$



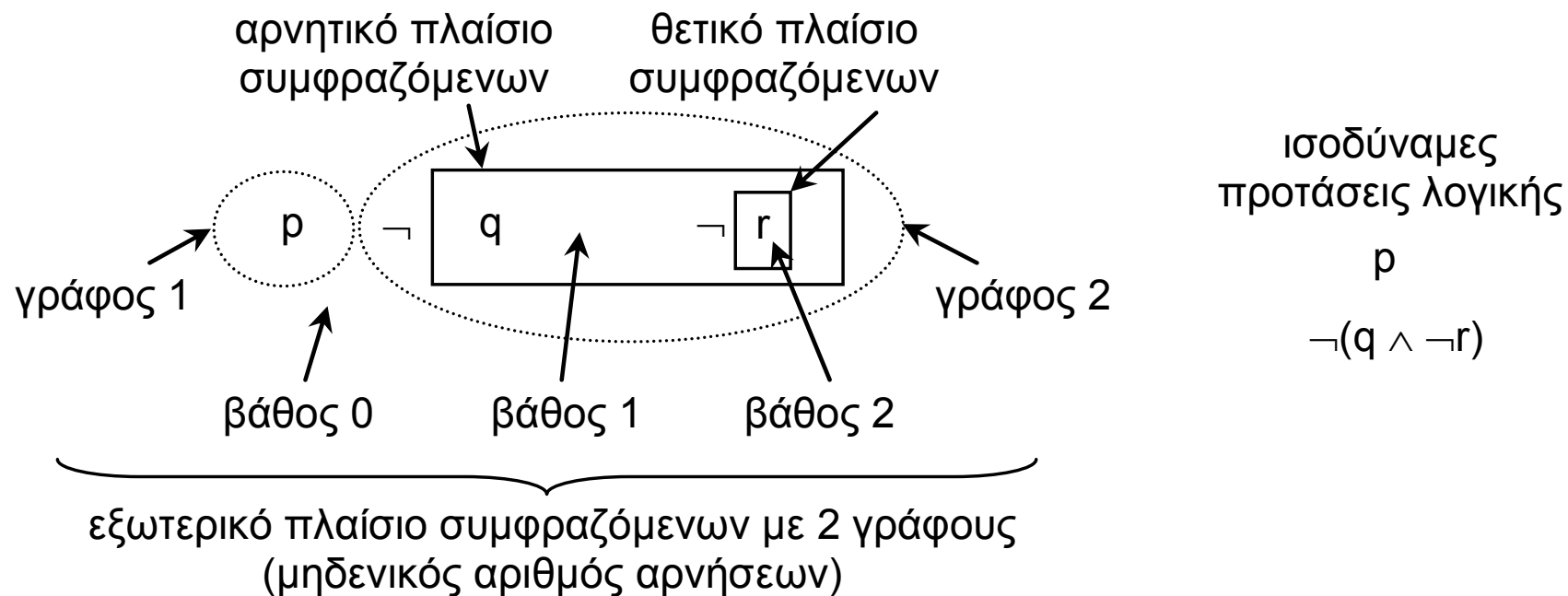


# Παραγωγή Γνώσης

- ❖ Η διαδικασία **προβολής** αποτελεί μηχανισμό ενοποίησης (unification) σε εννοιολογικούς γράφους.
- ❖ Έστω μια βάση γνώσης με:
  - ❑ κανόνες if-then που έχουν εννοιολογικούς γράφους ως προϋπόθεση και συμπέρασμα
  - ❑ στατική γνώση κωδικοποιημένη σε εννοιολογικούς γράφους
- ❖ Είναι δυνατό να γίνει ενοποίηση κάποιου γράφου με την προϋπόθεση του κανόνα, οπότε συμπεραίνεται ο γράφος-συμπέρασμα αυτού.
  - ❑ παράγεται δηλαδή νέα γνώση
- ❖ Σε απλούς εννοιολογικούς γράφους (χωρίς έννοιες συμφραζομένων, αρνήσεις και συναναφορές) ο μηχανισμός της προβολής είναι sound και complete.

# Κανόνες Εξαγωγής Συμπερασμάτων (1/3)

- ❖ Αποτελούν προσαρμογή (Sowa) αντίστοιχου συστήματος κανόνων κατηγορηματικού λογισμού που είχε προταθεί από τον Peirce στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα.
- ❖ **Θετικό** και **αρνητικό** πλαίσιο συμφραζόμενων.



- ❑ Ένα πλαίσιο συμφραζόμενων είναι **θετικό** (*positive context*) εάν βρίσκεται φωλιασμένο σε ζυγό αριθμό αρνήσεων (πιθανώς και σε μηδενικό αριθμό αρνήσεων).
- ❑ Ένα πλαίσιο συμφραζόμενων είναι **αρνητικό** (*negative context*) εάν βρίσκεται φωλιασμένο σε μονό αριθμό αρνήσεων.



## Κανόνες Εξαγωγής Συμπερασμάτων (2/3)

- ❖ Οι κανόνες ισοδυναμίας παραμένουν ως έχουν σε οποιοδήποτε πλαίσιο συμφραζόμενων.
- ❖ Οι κανόνες εξειδίκευσης σε αρνητικό πλαίσιο συμφραζόμενων
  - ❑ μετατρέπονται σε κανόνες γενίκευσης, ενώ
  - ❑ σε θετικό πλαίσιο συμφραζόμενων παραμένουν κανόνες εξειδίκευσης.
- ❖ Οι κανόνες γενίκευσης
  - ❑ σε αρνητικό πλαίσιο συμφραζόμενων μετατρέπονται σε κανόνες εξειδίκευσης, ενώ
  - ❑ σε θετικό πλαίσιο συμφραζόμενων παραμένουν κανόνες γενίκευσης.
- ❖ Η διπλή άρνηση (δύο διαδοχικά αρνητικά πλαίσια συμφραζόμενων μεταξύ των οποίων δεν παρεμβάλλεται κάτι άλλο), αποτελεί κανόνα ισοδυναμίας.
  - ❑ Μπορεί να προστεθεί ή να αφαιρεθεί γύρω από οποιοδήποτε γράφο (ή τμήμα γράφου).

## Κανόνες Εξαγωγής Συμπερασμάτων (3/3)

- ❖ Οι κανόνες συλλογιστικής του Pierce όπως υιοθετήθηκαν από τον Sowa ώστε να υλοποιούν κατηγορηματικό λογισμό  $1^{ηs}$  τάξης για εννοιολογικούς γράφους είναι:
  - ❑ *Διαγραφή (erasure)*: Σε ένα θετικό πλαίσιο συμφραζόμενων, οποιοσδήποτε γράφος (ή τμήμα γράφου)  $u$  μπορεί να αντικατασταθεί με μία γενίκευση του  $u$ . Ειδικότερα, ο γράφος  $u$  μπορεί να διαγραφεί καθώς αυτό ισοδυναμεί με αντικατάστασή του με τον κενό γράφο.
  - ❑ *Εισαγωγή (insertion)*: Σε ένα αρνητικό πλαίσιο συμφραζόμενων, οποιοσδήποτε γράφος (ή τμήμα γράφου)  $u$  μπορεί να αντικατασταθεί με μία εξειδίκευση του  $u$ . Ειδικότερα, μπορεί να εισαχθεί οποιοσδήποτε γράφος  $u$  καθώς αυτός μπορεί να θεωρηθεί εξειδίκευση του κενού γράφου.
  - ❑ *Επανάληψη (iteration)*: Εάν ένας γράφος (ή τμήμα γράφου)  $u$  βρίσκεται εντός ενός πλαισίου συμφραζόμενων  $C$ , τότε ένα αντίγραφο του  $u$  μπορεί να εισαχθεί εντός του  $C$  ή εντός οποιουδήποτε άλλου πλαισίου συμφραζόμενων βρίσκεται εντός του  $C$ .
  - ❑ *Απαλοιφή επανάληψης (deiteration)*: Οποιοσδήποτε γράφος (ή τμήμα γράφου)  $u$  που μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει προέλθει με εφαρμογή του κανόνα της επανάληψης, μπορεί να διαγραφεί.
  - ❑ *Ισοδυναμία (equivalence)*: Οποιοσδήποτε κανόνας ισοδυναμίας (αντιγραφή, απλοποίηση, διπλή άρνηση) μπορεί να εφαρμοστεί πάνω σε οποιοδήποτε γράφο (ή τμήμα γράφου)  $u$ , σε οποιοδήποτε πλαίσιο συμφραζόμενων.
- ❖ Όλοι οι παραπάνω κανόνες μπορεί να αναπαρασταθούν γραφικά.

# Παράδειγμα Συλλογιστικής (1/3)

❖ Έστω η ακόλουθη γνώση:

□ Κάποιος είναι Έλληνας πολίτης αν και μόνο αν είναι αληθής οποιαδήποτε από τις ακόλουθες συνθήκες:

- 1) Γεννήθηκε στην Ελλάδα.
- 2) Ένας από τους γονείς του είναι Έλληνας πολίτης.
- 3) Έχει πολιτογραφηθεί ως Έλληνας.

❖ Λόγω του "αν και μόνο αν" κάθε έκφραση θα εμφανιστεί ως προϋπόθεση κάποιας συνεπαγωγής αλλά και ως επακόλουθο κάποιας άλλης.

1. "Εάν γεννήθηκε στη Ελλάδα, τότε είναι Έλληνας πολίτης."

$\neg[ [\text{Άτομο: } *x] \leftarrow (\text{αντικείμενο}) \leftarrow [\text{Γεννήθηκε}] \rightarrow (\text{τόπος}) \rightarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ]$   
 $\neg[ [\text{Πολίτης: } ?x] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ] ]$   
]

2. "Εάν είναι παιδί Έλληνα πολίτη, τότε είναι Έλληνας πολίτης"

$\neg[ [\text{Άτομο: } *x] \leftarrow (\text{παιδί}) \leftarrow [\text{Πολίτης}] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ]$   
 $\neg[ [\text{Πολίτης: } ?x] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ] ]$   
]

3. "Εάν πολιτογραφήθηκε στην Ελλάδα, τότε είναι Έλληνας πολίτης"

$\neg[ [\text{Άτομο: } *x] \leftarrow (\text{αποδέκτης}) \leftarrow [\text{Πολιτογράφηση}] \rightarrow (\text{τοποθεσία}) \rightarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ]$   
 $\neg[ [\text{Πολίτης: } ?x] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ] ]$   
]

## Παράδειγμα Συλλογιστικής (2/3)

4. "Είναι Έλληνας πολίτης εάν: είτε γεννήθηκε στην Ελλάδα, ή είναι παιδί Έλληνα πολίτη, ή πολιτογραφήθηκε στην Ελλάδα"
- $$\neg[ [\text{Πολίτης: } *x] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ]$$
- $$\neg[ [\text{Άτομο: } ?x] \leftarrow (\text{αντικείμενο}) \leftarrow [\text{Γεννήθηκε}] \rightarrow (\text{τόπος}) \rightarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ] ]$$
- $$\neg[ [\text{Άτομο: } ?x] \leftarrow (\text{παιδί}) \leftarrow [\text{Πολίτης}] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ] ]$$
- $$\neg[ [\text{Άτομο: } ?x] \leftarrow (\text{αποδέκτης}) \leftarrow [\text{Πολιτογράφηση}] \rightarrow (\text{τοποθεσία}) \rightarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ] ]$$
- ]

❖ Έστω ότι στους παραπάνω τέσσερις γράφους προστίθεται και ο γράφος:

5.  $[\text{Άτομο: 'John'}] \leftarrow (\text{αποδέκτης}) \leftarrow [\text{Πολιτογράφηση}] \rightarrow (\text{τοποθεσία}) \rightarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ]$

❖ Μέσω του κανόνα της επανάληψης (iteration) ένα αντίγραφο του γράφου (5) μπορεί να εισαχθεί στο εξωτερικό αρνητικό πλαίσιο συμφραζόμενων του γράφου (3).

Προκύπτει έτσι ο γράφος (6):

6.  $\neg[ [\text{Άτομο: 'John'}] \leftarrow (\text{αποδέκτης}) \leftarrow [\text{Πολιτογράφηση}] \rightarrow (\text{τοποθεσία}) \rightarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ]$
- $$[\text{Άτομο: } *x] \leftarrow (\text{αποδέκτης}) \leftarrow [\text{Πολιτογράφηση}] \rightarrow (\text{τοποθεσία}) \rightarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ]$$
- $$\neg[ [\text{Πολίτης: } ?x] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'} ] ]$$
- ]

## Παράδειγμα Συλλογιστικής (3/3)

- ❖ Στο γράφο (6), οι δύο πρώτοι εσωτερικοί γράφοι (βάθος 1), μπορεί να συνενωθούν

7.  $\neg[ [\text{Άτομο: 'John'}] \leftarrow (\text{αποδέκτης}) \leftarrow [\text{Πολιτογράφηση}] \rightarrow (\text{τοποθεσία}) \rightarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'}] ]$   
 $\neg[ [\text{Πολίτης: 'John'}] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'}] ] ]$

- ❖ Μέσω του κανόνα της απαλοιφής επανάληψης (deiteration) ο πρώτος εσωτερικός γράφος στο γράφο (7), μπορεί να απαλειφθεί καθώς είναι ακριβές αντίγραφο του γράφου (5) που εξακολουθεί να υπάρχει στο αρχικό σύνολο γράφων.

8.  $\neg[ \neg[ [\text{Πολίτης: 'John'}] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'}] ] ] ]$

- ❖ Η διπλή άρνηση που ορίζουν τα δύο διαδοχικά φωλιασμένα αρνητικά πλαίσια συμφραζόμενων στο γράφο (8), μπορεί να απαλειφθεί, οπότε προκύπτει το συμπέρασμα ότι "Ο John είναι Έλληνας πολίτης" (γράφος (9)).

9.  $[\text{Πολίτης: 'John'}] \leftarrow (\text{μέλος}) \leftarrow [\text{Χώρα: 'Ελλάδα'}]$