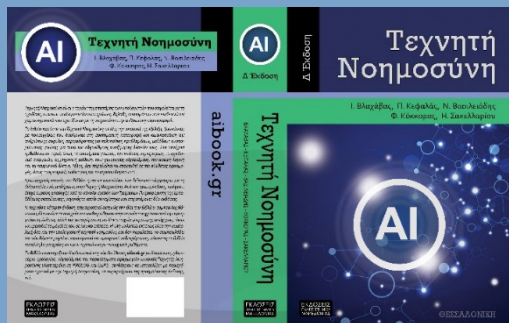


ΜΕΡΟΣ Β

Αναπαράσταση Γνώσης και Συλλογιστικές



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

Τεχνητή Νοημοσύνη - Δ' Έκδοση, ISBN: 978-618-5196-44-8

Έκδοση/Διάθεση: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, 2020

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 94700120

Ι. Βλαχάβας, καθηγητής

Τμήμα Πληροφορικής, ΑΠΘ



Αναπαράσταση Γνώσης και Συλλογιστικές (Knowledge Representation - KR & Reasoning)

Τεχνητή Νοημοσύνη = Περιγραφή Προβλήματος + Αναπαράσταση Γνώσης + Αναζήτηση

- ❖ Η περιγραφή των προβλημάτων περιέχει γνώση για
 - ☐ Περιγραφή αντικειμένων, ιδιοτήτων, σχέσεων και τιμών.
 - ☐ Τελεστές μετάβασης.
- ❖ Χρειάζονται τυποποιημένες μέθοδοι:
 - ☐ Για την περιγραφή της γνώσης (αποθήκευση σε Η/Υ).
 - ☐ Διευκόλυνση επίλυσης προβλημάτων ή εξαγωγής συμπερασμάτων.



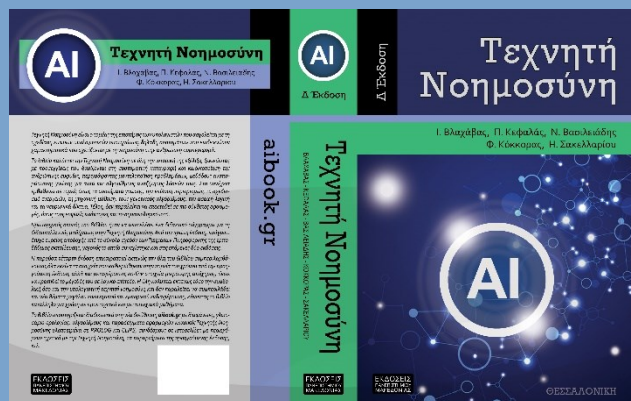
Μέθοδοι Αναπαράσταση Γνώσης

- ❖ Διαδικαστική αναπαράσταση (*procedural attachment*).
- ❖ Λογική
 - ☐ Προτασιακή λογική (*propositional logic*)
 - ☐ Κατηγορηματική λογική (*predicate logic*)
 - ☐ Μη-μονότονη λογική (*non-monotonic logic*)
- ❖ Δομημένες αναπαραστάσεις γνώσης
 - ☐ Σημασιολογικά Δίκτυα (*semantic networks*)
 - ☐ Πλαίδια (*frames*)
 - ☐ Αντικείμενα (*objects*)
 - ☐ Εννοιολογική εξάρτηση (*conceptual dependency*)
 - ☐ Σενάρια (*scripts*)
 - ☐ Εννοιολογικοί γράφοι (*conceptual graphs*)
- ❖ Κανόνες (*if-then rules*).



Κεφάλαιο 8

Βασικές Αρχές Αναπαράστασης Γνώσης και Συλλογιστικής



Τεχνητή Νοημοσύνη - Δ' Έκδοση

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

Ι. Βλαχάβας, καθηγητής

Τμήμα Πληροφορικής, ΑΠΘ



Αναπαράσταση Γνώσης

Αναπαράσταση γνώσης είναι ένα σύνολο συντακτικών και σημασιολογικών παραδοχών, οι οποίες καθιστούν δυνατή την περιγραφή ενός κόσμου.

- ❖ Η φυσική γλώσσα είναι ακατάλληλη για αναπαράσταση γνώσης λόγω της πολυσημαντικότητας (ambiguity) και της ερμηνείας με βάση τα συμφραζόμενα (context).
 - ❑ Υπάρχει ειδικός τομέας της ΤΝ που ασχολείται με την επεξεργασία φυσικής γλώσσας (natural language processing, NLP).
- ❖ **Για τα συστήματα ΤΝ** πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας μονοσήμαντος και τυποποιημένος συμβολισμός ο οποίος,
 - ❑ εκτός της δυνατότητας για ακριβή αναπαράσταση της γνώσης,
 - ❑ θα πρέπει να μπορεί να συνδυαστεί κατάλληλα με μηχανισμούς εξαγωγής συμπερασμάτων (**inference mechanisms**).
 - ✓ Μηχανισμός που χρησιμοποιείται για εξαγωγή συμπερασμάτων από υπάρχουσα γνώση.
- ❖ Μία μέθοδος αναπαράστασης γνώσης έχει:
 - ❑ **Συντακτικό** (syntax): ο ορισμός των συμβόλων που χρησιμοποιεί και οι κανόνες με τους οποίους τα σύμβολα αυτά μπορούν να συνδυαστούν, και
 - ❑ **Σημασιολογία** (semantics): ο καθορισμός των εννοιών που αποδίδονται στα σύμβολα και στους συνδυασμούς συμβόλων που επιτρέπει το συντακτικό.



Δεδομένα, Πληροφορία, Γνώση και Σοφία

Δεδομένο (data) είναι μια μετρήσιμη ή υπολογίσιμη τιμή μίας ιδιότητας.

- ✓ Όπως για παράδειγμα η τιμή πώλησης ενός προϊόντος σε μία εμπορική συναλλαγή ή η ημερομηνία γέννησης ενός ατόμου
- ✓ Τα δεδομένα είναι στατικά, δηλαδή από τη στιγμή που θα καταγραφούν δεν αλλάζουν
- ✓ Από μόνα τους τα δεδομένα, χωρίς ένα πλαίσιο αναφοράς, δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, δηλαδή δεν μεταφέρουν πληροφορία

Πληροφορία (information) αποτελείται από δεδομένα τα οποία όμως έχουν φιλτραριστεί και μορφοποιηθεί κατάλληλα.

- ✓ Για παράδειγμα, το ετήσιο άθροισμα των πωλήσεων που προέρχονται από κάποιο υποκατάστημα μιας επιχείρησης αποτελεί τόσο επεξεργασμένη πληροφορία, λόγω της άθροισης, όσο και φιλτραρισμένη, λόγω του συγκεκριμένου υποκαταστήματος

Γνώση (knowledge) είναι πληροφορία η οποία έχει υποστεί μία σειρά ειδικών ελέγχων για την πιστοποίησή της.

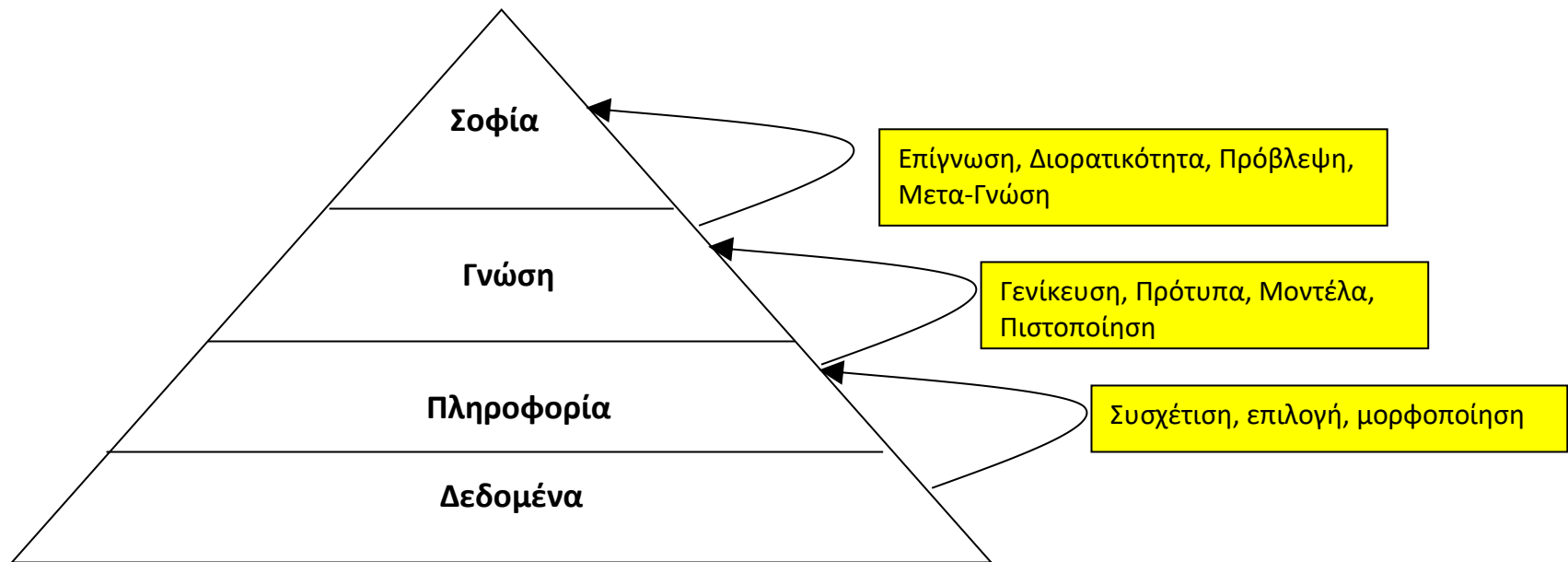
- ✓ Γνώση θα μπορούσε να αποτελέσει η επαναλαμβανόμενη παρατήρηση πως οι πωλήσεις από ένα συγκεκριμένο υποκατάστημα αυξάνονται 20% κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.
- ✓ Η γνώση ουσιαστικά αναδεικνύει τη σημαντικότητα της πληροφορίας συσχετίζοντάς τη με χρήσιμα συμπεράσματα ή αναγκαίες ενέργειες.
- ✓ Η γνώση έχει συνήθως αφηρημένη ή γενικευμένη μορφή. Για παράδειγμα, όλοι οι ρόμβοι είναι τετράπλευρα.



Δεδομένα, Πληροφορία, Γνώση και Σοφία

Σοφία (*wisdom*) είναι η ικανότητα να χρησιμοποιεί κάποιος τη γνώση όσο το δυνατόν αποδοτικότερα (αναθεώρηση, μάθηση, διορατικότητα, πρόβλεψη).

- ✓ Η ικανότητα να χρησιμοποιεί κάποιος τη γνώση όσο το δυνατόν αποδοτικότερα, δηλαδή να γνωρίζει το τμήμα της γνώσης που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, ανάλογα με την περίπτωση.
- ✓ Επίσης, χαρακτηριστικές ιδιότητες της σοφίας θεωρούνται η ικανότητα αναθεώρησης της γνώσης, η μάθηση από τα λάθη, η διορατικότητα και η ικανότητα πρόβλεψης.





Είδη Γνώσης

- ❖ **Αντικείμενα (objects):** Αναπαράσταση των αντικειμένων ενός κόσμου καθώς και της σχέσης μεταξύ των.
 - ☐ Σημασιολογική γνώση (semantic knowledge), ιεραρχικά δομημένη.
- ❖ **Γεγονότα (events):** Αναπαράσταση των ενεργειών και της χρονικής ακολουθίας με την οποία συμβαίνουν, καθώς και τις σχέσεις αίτιου-αποτελέσματος.
 - ☐ Επεισοδιακή γνώση (episodical knowledge).
 - ☐ Προσωπικές εμπειρίες ενός ατόμου, οργανωμένες χρονικά και χωρικά σε επεισόδια και όχι σε έννοιες ή σχέσεις.
- ❖ **Εκτέλεση (performance):** Αναπαράσταση των δεξιοτήτων για το πώς κάποιος κάνει πράγματα (εκτελεί εργασία ή διεκπεραιώνει διαδικασία)
 - ☐ Διαδικαστική γνώση (procedural knowledge).
- ❖ **Μετα-γνώση (meta-knowledge):** Αναπαράσταση της γνώσης για το τι γνωρίζει κάποιος και πότε πρέπει να το εφαρμόσει.
 - ☐ Συνώνυμη της σοφίας.



Κριτήρια Αξιολόγησης Μεθόδων Αναπαράστασης Γνώσης

- ❖ Επάρκεια αναπαράστασης (representational adequacy).
 - ☐ Η ικανότητα να αναπαριστά όλα τα είδη της γνώσης.
- ❖ Επάρκεια συνεπαγωγής (inferential adequacy).
 - ☐ Η ικανότητα να συνεργάζεται με μηχανισμούς που επεξεργάζονται υπάρχουσες δομές γνώσης με σκοπό τη δημιουργία νέων δομών (δηλ. νέας γνώσης) ή συμπερασμάτων.
- ❖ Αποδοτικότητα συνεπαγωγής (inferential efficiency).
 - ☐ Η ικανότητα να μπορεί να εισάγει επιπλέον πληροφορίες στις δομές γνώσης, έτσι ώστε να κατευθύνει τους μηχανισμούς εξαγωγής συμπερασμάτων γρηγορότερα προς τη λύση.
- ❖ Αποδοτικότητα απόκτησης (acquisitional efficiency).
 - ☐ Η ικανότητα να επιτρέπει την απόκτηση νέας γνώσης εύκολα και γρήγορα.



Διαδικαστική (procedural) Αναπαράσταση

- ❖ Η πρώτη ιστορικά και απλούστερη τεχνολογικά μέθοδο αναπαράστασης γνώσης
- ❖ Η γνώση αναπαρίσταται μέσω εξειδικευμένων διαδικασιών, οι οποίες κωδικοποιούνται κατάλληλα σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού (C, JAVA, PYTHON, κλπ.)
 - ❑ Οι διαδικασίες αυτές αποσκοπούν στην επίλυση συγκεκριμένων υποπροβλημάτων.
 - ✓ Ενεργοποιούνται είτε από άλλες διαδικασίες ή από δεδομένα.
 - ❑ Υπάρχει μια ειδική κατηγορία διαδικασιών που ονομάζονται *δαίμονες* (demons), οι οποίες ενεργοποιούνται μόλις ικανοποιηθεί μια συνθήκη.
- ❖ **Χαρακτηριστικό** της είναι η ανάμιξη της γνώσης ελέγχου για την επίλυση του προβλήματος με την ίδια την γνώση για το πρόβλημα, το οποίο προκαλεί.
 - ❑ Γρηγορότερη επεξεργασία της κωδικοποιημένης γνώσης σε σύγκριση με τις δηλωτικές αναπαραστάσεις (το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου).
 - ❑ Αυξημένη δυσκολία αναθεώρησης ή προσθήκης γνώσης λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των διαδικασιών (μειονέκτημα)
 - ❑ Μικρότερη διαφάνεια του προγράμματος, σε σύγκριση με τις δηλωτικές μεθόδους αναπαράστασης (μειονέκτημα).
- ❖ Ο αριθμός συστημάτων τα οποία χρησιμοποιούν αυτή την προσέγγιση σαν μοναδικό τρόπο αναπαράστασης γνώσης είναι περιορισμένος.
 - ❑ Συνήθως απαιτείται συνδυασμός διαδικαστικών και δηλωτικών μεθόδων



Συλλογιστική (reasoning)

- ❖ Ένα υπολογιστικό σύστημα επιδεικνύει νοημοσύνη όταν δεδομένης της γνώσης για ένα πρόβλημα, μπορεί να κάνει συνεπαγωγές, δηλαδή να βγάζει συμπεράσματα.
- ❖ **Συλλογιστική**: Η μέθοδος με την οποία τμήματα υπάρχουσας γνώσης συνδυάζονται μεταξύ τους ώστε να παράγουν νέα γνώση ή να εξάγουν συμπεράσματα.
 - ☐ Κάθε μέθοδος αναπαράστασης γνώσης έχει τις δικές της συλλογιστικές.
- ❖ Οι πιο γνωστές συλλογιστικές, για τα συστήματα κανόνων, είναι
 - ☐ Συνεπαγωγή (*deduction*)
 - ☐ Επαγωγή (*induction*)
 - ☐ Απαγωγή (*abduction*)
- ❖ Η **Λογική**, έχει τις δικές της συλλογιστικές, όπως
 - ☐ ο τρόπος του θέτειν, η αρχή της ανάλυσης, κλπ.
- ❖ Οι **Οντολογίες**, χρησιμοποιούν την
 - ☐ περιγραφική λογική για εξαγωγή συμπερασμάτων



❖ Εξελιγμένες συλλογιστικές

- ❑ χρησιμοποιούνται στα συστήματα γνώσης, βασισμένες σε ποσοτικά ή ποιοτικά μοντέλα φυσικών συστημάτων, καθώς και σε προϋπάρχουσες περιπτώσεις αντιμετώπισης προβλημάτων:
 - ✓ Συλλογιστική των Μοντέλων (model-based reasoning)
 - ✓ Ποιοτική Συλλογιστική (qualitative reasoning)
 - ✓ Συλλογιστική των Περιπτώσεων (case-based reasoning)
 - ✓ Συλλογιστική με αναλογίες (analogical reasoning)



Είδη Συλλογιστικής Κανόνων

Η συνεπαγωγική συλλογιστική (*deductive reasoning*) εξάγει συμπεράσματα βασισμένη στους κλασικούς μηχανισμούς εξαγωγής συμπερασμάτων της λογικής.

- ❑ Από τον κανόνα $A \rightarrow B$ και το γεγονός A , εξάγει το συμπέρασμα ότι το B είναι αληθές (τρόπος του θέτειν, *modus ponens*).
- ❑ Επίσης, από τον κανόνα $A \rightarrow B$ και το γεγονός $\neg B$ (δηλ. το B δεν είναι αληθές), εξάγει το συμπέρασμα ότι το $\neg A$ είναι αληθές, δηλ. δεν ισχύει το A (τρόπος του αναιρείν, *modus tollens*).
- ❑ Παράδειγμα:

Δεδομένου του κανόνα: Όλα τα σκυλιά του Κώστα είναι καφέ
και του γεγονότος: Αυτά τα σκυλιά είναι του Κώστα
Συμπέρασμα που εξάγεται: Αυτά τα σκυλιά είναι καφέ

Η επαγωγική συλλογιστική (*inductive reasoning*) αφορά την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων από ένα σύνολο παραδειγμάτων.

- ❑ Από ένα σύνολο παρατηρήσεων $A_1 \rightarrow B_1, A_2 \rightarrow B_2, \dots, A_n \rightarrow B_n$ εξάγει τον γενικό κανόνα $A \rightarrow B$, όπου A και B είναι γενικεύσεις (*abstraction*) των γεγονότων A_1, A_2, \dots, A_n και B_1, B_2, \dots, B_n , αντίστοιχα.
- ❑ χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες για την παραγωγή επιστημονικής γνώσης σε πλήθος ερευνητικών τομέων, όπως για παράδειγμα η Ιατρική
- ❑ Σε αυτήν στηρίζεται η Μηχανική Μάθηση



❑ Παράδειγμα

Δεδομένων των γεγονότων: Το σκυλί Α είναι του Κώστα και είναι καφέ
Το σκυλί Β είναι του Κώστα και είναι καφέ
...
Κανόνας που εξάγεται: Όλα τα σκυλιά του Κώστα είναι καφέ

Η απαγωγική συλλογιστική (*abductive reasoning*) αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων κατά την οποία, με δεδομένα μία βάση γνώσης και μερικές παρατηρήσεις (*observations*) επιχειρείται η εύρεση υποθέσεων οι οποίες μαζί με τη βάση γνώσης εξηγούν τις παρατηρήσεις.

- ❑ Δοθέντος του κανόνα $A \rightarrow B$ και του γεγονότος B, η απαγωγική συλλογιστική εξάγει το υποθετικό συμπέρασμα ότι το A είναι πιθανώς αληθές.
- ❑ Το A δηλαδή προκύπτει ως μία πιθανή εξήγηση για το γεγονός ότι το B είναι αληθές
- ❑ Παράδειγμα

Δεδομένου του κανόνα: Όλα τα σκυλιά του Κώστα είναι καφέ
και του αποτελέσματος: Τα σκυλιά είναι καφέ
Υπόθεση που γίνεται: Αυτά τα σκυλιά είναι του Κώστα

- ❖ Οι **συλλογιστικές** υλοποιούνται από έναν ή περισσότερους εναλλακτικούς **μηχανισμούς εξαγωγής συμπερασμάτων** (*inference mechanisms*) (επόμεν. slide)



Μηχανισμός Εξαγωγής Συμπερασμάτων

Αλγόριθμος που συνδυάζει τις δομές που αναπαριστούν τα διάφορα τμήματα της γνώσης που βρίσκονται αποθηκευμένα στη μνήμη του υπολογιστή, σύμφωνα με το αφαιρετικό μοντέλο της συλλογιστικής, και παράγει νέες δομές (π.χ. συμπεράσματα ή υποθέσεις) που επίσης αποθηκεύει στον υπολογιστή.

- ❖ Ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων εφαρμόζει κάποια **στρατηγική αναζήτησης** στη γνώση ενός προβλήματος,
 - ☐ η οποία εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο έχει δομηθεί, κωδικοποιηθεί και χρησιμοποιείται η γνώση
 - ☐ προκειμένου να δώσει λύση σε ένα πρόβλημα, δηλ. την *εξαγωγή συμπερασμάτων (inference)*



Στρατηγική Αναζήτησης

- ❖ Οι δύο πιο γνωστές στρατηγικές αναζήτησης:
- ❖ **Οδηγούμενη από τους στόχους** (*goal driven ή top-down*):
 - ☐ Η επίλυση του προβλήματος είναι επικεντρωμένη σε έναν ή περισσότερους στόχους
 - ☐ Η πορεία επίλυσης του προβλήματος συνίσταται στην εύρεση δεδομένων ή αποδείξεων που στηρίζουν αυτούς τους στόχους.
 - ☐ Τα συστήματα που λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο αναφέρονται και ως συστήματα που κάνουν **ανάλυση (analysis)**
- ❖ **Οδηγούμενη από τα δεδομένα** (*data driven ή bottom-up*):
 - ☐ Χρησιμοποιεί όσα δεδομένα υπάρχουν αρχικά ή όσα ενδιάμεσα συμπεράσματα προκύπτουν στην πορεία του συλλογισμού και παράγει νέα συμπεράσματα.
 - ☐ Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου δεν είναι δυνατό να προκύψουν νέα συμπεράσματα.
 - ☐ Στο τέλος της αποδεικτικής διαδικασίας ελέγχεται αν τα επιθυμητά συμπεράσματα βρίσκονται μέσα στα αποδειχθέντα.
 - ☐ Τα συστήματα που λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο αναφέρονται και ως συστήματα που κάνουν **σύνθεση (synthesis)**
- ❖ **Μηχανισμός Εξαγωγής συμπερασμάτων = Συλλογιστική + Στρατηγική Αναζήτησης**



Παράδειγμα 1

- ❖ Δώστε ένα παράδειγμα για **δεδομένα, πληροφορίες, γνώση, σοφία**, για το ίδιο πεδίο γνώσης:
 - ❑ Πεδίο γνώσης: Θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ❖ Απάντηση

Δεδομένα	Μέτρηση θερμοκρασίας από αισθητήρα
Πληροφορία	Μέση ημερήσια θερμοκρασία
Γνώση	Σταθερή αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας
Σοφία	Η αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας δεν οφείλεται σε περιοδικό φαινόμενο (π.χ. ηλιακές κηλίδες), αλλά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου



Παράδειγμα 2

❖ Δώστε παραδείγματα των **διαφόρων ειδών γνώσης** για το ίδιο πεδίο γνώσης:

❑ Πεδίο γνώσης: Θέρμανση κλειστών χώρων

❖ Απάντηση

Αντικείμενα (objects)	Θερμαντικό σώμα (καλοριφέρ, air-condition, θερμο- συσσωρευτής, τζάκι), κλειστός χώρος (δωμάτιο, σπίτι, αποθήκη), είσοδος/έξοδος σε κλειστό χώρο (πόρτα, παράθυρο, καμινάδα)
Γεγονότα (events)	Χειμερινή περίοδος (κάνει κρύο, ανοίγουμε κάποιο θερμαντικό σώμα, το κλείνουμε όταν ζεσταθεί πολύ ο χώρος, εναλλακτικά ανοίγουμε κάποια είσοδο/έξοδο)
Εκτέλεση (performance)	Για να ανάψω το τζάκι χρειάζομαι ξύλα, προσανάμματα και σπίρτα ή αναπτήρα. Βεβαιώνομαι ότι η καμινάδα είναι ανοιχτή. Στοιβάζω τα προσανάμματα και από πάνω τα ξύλα, αφήνοντας κάποια δίοδο για το άναμμα των προσαναμμάτων. Ανάβω τον αναπτήρα ή τα σπίρτα και τα φέρνω σε επαφή με τα προσανάμματα. Βάζω το προστατευτικό του τζακιού.
Μετα-γνώση (meta- knowledge)	Όταν θέλω να θερμάνω γρήγορα έναν σχετικά μικρό χώρο είναι καλύτερα να χρησιμοποιήσω air-condition παρά κεντρική θέρμανση.



Παράδειγμα 3

❖ Δώστε παραδείγματα **διαφόρων ειδών συλλογιστικής** για το ίδιο πεδίο γνώσης:

❑ Πεδίο γνώσης: Θέρμανση κλειστών χώρων

❖ Απάντηση

Συνεπαγωγική Συλλογιστική	<ul style="list-style-type: none">- Όταν ανάβω το καλοριφέρ, τότε ανεβαίνει η θερμοκρασία του δωματίου- Έχει ανάψει το καλοριφέρ- Άρα, θα ανέβει η θερμοκρασία του δωματίου
Επαγωγική Συλλογιστική	<ul style="list-style-type: none">- Παρατηρώ ότι όλες τις προηγούμενες ημέρες, κάθε φορά που ανάβω το καλοριφέρ, ανεβαίνει η θερμοκρασία του δωματίου- Άρα, βγάζω τον κανόνα ότι: «Όταν ανάβω το καλοριφέρ, τότε ανεβαίνει η θερμοκρασία του δωματίου»
Απαγωγική Συλλογιστική	<ul style="list-style-type: none">- Όταν ανάβω το καλοριφέρ, τότε ανεβαίνει η θερμοκρασία του δωματίου- Έχει ανέβει η θερμοκρασία του δωματίου- Ίσως, να έχει ανάψει το καλοριφέρ



Άσκηση 1

❖ Θεωρήστε τους παρακάτω συλλογισμούς:

- ✓ "Όλα τα ταξί στη Αθήνα είναι κίτρινα. Το αυτοκίνητο του Δημήτρη που ζει στην Αθήνα είναι κίτρινο. Άρα το αυτοκίνητο του Δημήτρη είναι ταξί".
- ✓ "Γνωρίζω δέκα αποφοίτους πληροφορικής και όλοι τους έχουν μία καλή δουλειά. Άρα όλοι όσοι πήραν πτυχίο πληροφορικής έχουν μία καλή δουλειά".
- ✓ "Όλοι όσοι έχουν πυρετό πάνω από 39 αισθάνονται δυσφορία. Ο Πέτρος έχει 40 πυρετό. Άρα ο Πέτρος αισθάνεται δυσφορία".
- ✓ "Η Μαρία είναι από τη Φινλανδία και είναι ξανθιά. Η Χέλγκα είναι Σουηδέζα και είναι ξανθιά. Ο Γιόχαν είναι Νορβηγός και είναι ξανθός. Η Φιλανδία, η Σουηδία και η Νορβηγία είναι Σκανδιναβικές χώρες. Άρα όλοι οι Σκανδιναβοί είναι ξανθοί".
- ✓ "Η Εθνική Ελλάδος είναι καλή ομάδα. Η Εθνική Βουλγαρίας είναι καλή ομάδα. Η Εθνική Κροατίας είναι καλή ομάδα. Η Ελλάδα, η Βουλγαρία και η Κροατία είναι Βαλκανικές χώρες. Άρα όλες οι Εθνικές των Βαλκανικών χωρών είναι καλές ομάδες".
- ✓ "Όλοι όσοι έχουν διαβάσει Τεχνητή Νοημοσύνη περνάνε εύκολα το μάθημα. Η Κατερίνα έχει διαβάσει Τεχνητή Νοημοσύνη. Άρα η Κατερίνα θα περάσει εύκολα το μάθημα".
- ❑ Ποια από τα παραπάνω παραδείγματα είναι παραδείγματα συνεπαγωγικής, επαγωγικής και απαγωγικής συλλογιστικής ή συνδυασμός τους;
- ❑ Ποια συλλογιστική εγγυάται την ορθότητα των συμπερασμάτων;
- ❑ Ποια συλλογιστική είναι χρήσιμη για τη μηχανική μάθηση;



Άσκηση 2

❖ Θεωρήστε τις παρακάτω περιγραφές:

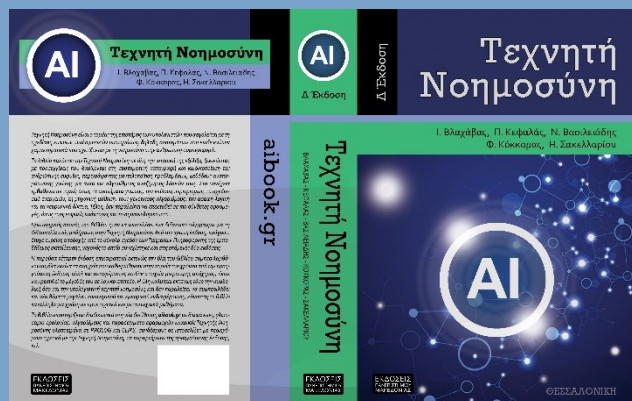
- "Ένας γιατρός θεωρεί ότι ένας ασθενής πάσχει από κάποια συγκεκριμένη μόλυνση και ζητάει να γίνουν κάποιες αιματολογικές εξετάσεις προκειμένου να επιβεβαιώσει την διάγνωση."
- "Ένας γιατρός ακούει τα συμπτώματα ενός ασθενούς και καταλήγει σε διάγνωση."

❑ Χαρακτηρίστε τις παραπάνω συλλογιστικές διαδικασίες σύμφωνα με την στρατηγική αναζήτησης που χρησιμοποιούν



Κεφάλαιο 9

Λογική Περίληψη



Τεχνητή Νοημοσύνη - Δ' Έκδοση,
Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλός, Ν. Βασιλειάδης, Φ. Κόκκορας, Η.
Σακελλαρίου.

Ι. Βλαχάβας, καθηγητής
Τμήμα Πληροφορικής, ΑΠΘ



Λογική

- ❖ Η Λογική παρέχει έναν τρόπο για την αποσαφήνιση και την τυποποίηση της διαδικασίας της ανθρώπινης σκέψης
 - ❖ Προσφέρει μια σημαντική και εύχρηστη μεθοδολογία για την αναπαράσταση και επίλυση προβλημάτων.
 - ☐ Σαφής, ακριβής και απλή στη σύνταξη γλώσσα
 - ☐ Δυνατότητα παραγωγής νέας γνώσης από την ήδη υπάρχουσα.
 - ❖ Είδη Λογικής:
 - ☐ Προτασιακή λογική (*propositional logic*)
 - ☐ Κατηγορηματική λογική (*predicate logic*)
 - ☐ Μη-μονότονη λογική (*non-monotonic logic*)
 - Αναιρέσιμη Λογική (*defeasible logic*)
- ✓ [Logic programming](#)
- ✓ [Τεχνικές Λογικού Προγραμματισμού](#)



Προτασιακή Λογική

- ❖ Η απλούστερη μορφή μαθηματικής λογικής.
- ❖ Κάθε γεγονός του πραγματικού κόσμου αναπαριστάται με μια λογική πρόταση, η οποία χαρακτηρίζεται είτε ως *αληθής* (*t-true*) ή ως *ψευδής* (*f-false*).
- ❖ Οι λογικές προτάσεις αναπαριστώνται συνήθως από λατινικούς χαρακτήρες *P*, *Q*, *R*, κτλ., και ονομάζονται *άτομα* (*atoms*).
- ❖ Τα άτομα μπορούν να συνδυαστούν με τη χρήση *λογικών συμβόλων* ή *συνδετικών* (*connectives*):
 - ❑ AND (\wedge), OR (\vee), Συνεπαγωγή (IF-THEN \rightarrow), Αρνηση (\neg), διπλή συνεπαγωγή ή ισοδυναμία ("AN KAI MONO AN") (\leftrightarrow)
- ❖ Οι σύνθετες προτάσεις που προκύπτουν ονομάζονται ορθά δομημένοι τύποι (*well formed formulae*).
- ❖ Παράδειγμα:
 - ❑ *P*: "επιδιώκω την ειρήνη"
 - ❑ *Q*: "αποφεύγω τον πόλεμο"
 - ❑ $P \rightarrow Q$ "εάν επιδιώκω την ειρήνη, τότε αποφεύγω τον πόλεμο"
- ❖ Ο πιο γνωστός κανόνας συμπερασμού είναι ο "*τρόπος του θέτειν*" (*modus ponens*)
 - ❑ Αν είναι γνωστή η αλήθεια των προτάσεων *P* και $P \rightarrow Q$ μπορούμε να συνάγουμε ότι η πρόταση *Q* είναι αληθής.



❖ Πλεονεκτήματα:

- ☐ Απλότητα στη σύνταξη.
- ☐ Μπορεί να καταλήξει πάντα σε συμπέρασμα (καταληκτική - decidable).

❖ Μειονεκτήματα:

- ☐ Έλλειψη γενικότητας που οδηγεί σε ογκώδεις αναπαραστάσεις γνώσης.
- ☐ Κάθε γεγονός πρέπει να αναπαριστάται με μια χωριστή λογική πρόταση.



Κατηγορηματική Λογική (*predicate logic*)

- ❖ Επεκτείνει την προτασιακή λογική εισάγοντας:
 - ❑ **όρους** (terms), **κατηγορήματα** (predicates) και 2 **ποσοδείκτες** (quantifiers) τον υπαρξιακό ποσοδείκτη " \exists " (*existential quantifier*) και τον καθολικό " \forall " (*universal quantifier*)
 - ❑ Τα συνδετικά της είναι όμοια με εκείνα της προτασιακής λογικής
- ❖ Ο κόσμος περιγράφεται σαν ένα σύνολο **αντικειμένων**, **ιδιοτήτων** και **σχέσεων**
 - ❑ Αναπαραστάσεις που είναι περισσότερο κοντά στην ανθρώπινη εμπειρία.
- ❖ Αντιμετωπίζει το πρόβλημα της **μη προσπελασιμότητας** των στοιχείων των γεγονότων.
 - ❑ Π.χ. η πρόταση "**ο τζίμης είναι τίγρης**" αναπαριστάται με **τίγρης(τζίμης)**, επιτρέποντας την προσπέλαση των στοιχείων του συγκεκριμένου αντικειμένου (τζίμης) από τους κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων για τη δημιουργία νέων προτάσεων.
- ❖ Οι **μεταβλητές** επιτρέπουν την αναπαράσταση "γενικής" γνώσης
 - ❑ Π.χ. "**όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί**".
- ❖ **Πλεονεκτήματα:**
 - ❑ Αντιστοιχία με τη φυσική γλώσσα, ικανοποιητική έκφραση ποσοτικοποίησης των εννοιών με τους κατάλληλους ποσοδείκτες, ικανότητα να συλλάβει τη γενικότητα.
- ❖ **Μειονεκτήματα:**
 - ❑ **Αδυναμία έκφρασης ασάφειας:** Κάθε πρόταση μπορεί να είναι μόνο αληθής ή ψευδής.
 - ❑ **Αθροιστικότητα των αποτελεσμάτων:** Ένα συμπέρασμα προστίθεται στη γνώση χωρίς να δίνεται η δυνατότητα αναθεώρησής του, αν αργότερα κριθεί ότι είναι εσφαλμένο.



❖ Παράδειγμα

- ☐ Κάθε ζώο το οποίο έχει τρίχωμα ή παράγει γάλα είναι θηλαστικό.
- ☐ Κάθε ζώο που έχει φτερά και γεννάει αυγά είναι πουλί.
- ☐ Κάθε θηλαστικό που τρέφεται με κρέας ή έχει κοφτερά δόντια είναι σαρκοβόρο.
- ☐ Κάθε σαρκοβόρο με χρώμα καφέ-πορτοκαλί που έχει μαύρες ρίγες είναι τίγρης.
- ☐ Κάθε σαρκοβόρο με χρώμα καφέ-πορτοκαλί και μαύρες βούλες είναι τσιτάχ.
- ☐ Κάθε πουλί το οποίο δεν πετά και κολυμπά είναι πιγκουΐνος.

❖ Σε κατηγορηματική Λογική:

$\forall X (\text{έχει}(X, \text{τρίχωμα}) \vee \text{παράγει}(X, \text{γάλα})) \rightarrow \text{είναι}(X, \text{θηλαστικό})$

$\forall X (\text{έχει}(X, \text{φτερά}) \wedge \text{γεννάει}(X, \text{αυγά})) \rightarrow \text{είναι}(X, \text{πουλί})$

$\forall X (\text{είδος}(X, \text{θηλαστικό}) \wedge ((\text{τρέφεται}(X, \text{κρέας}) \vee \text{έχει}(X, \text{δόντια}(\text{κοφτερά}))))$
 $\rightarrow \text{είναι}(X, \text{σαρκοβόρο})$

$\forall X (\text{είναι}(X, \text{σαρκοβόρο}) \wedge \text{χρώμα}(X, \text{καφέ-πορτοκαλί}) \wedge \text{έχει}(X, \text{ρίγες}(\text{μαύρες})))$
 $\rightarrow \text{είναι}(X, \text{τίγρης})$

$\forall X (\text{είναι}(X, \text{σαρκοβόρο}) \wedge \text{χρώμα}(X, \text{καφέ-πορτοκαλί}) \wedge \text{έχει}(X, \text{βούλες}(\text{μαύρες})))$
 $\rightarrow \text{είναι}(X, \text{τσιτάχ})$

$\forall X (\text{είναι}(X, \text{πουλί}) \wedge (\neg \text{πετά}(X)) \wedge \text{κολυμπά}(X)) \rightarrow \text{είναι}(X, \text{πιγκουΐνος})$



Συζευκτική Μορφή της Λογικής- Μορφή Kowalski

❖ Είναι μια ευρέως διαδεδομένη μορφή της κατηγορηματικής λογικής που προκύπτει με απαλοιφή των υπαρξιακών και καθολικών ποσοδεικτών και των συμβόλων απλής και διπλής συνεπαγωγής.

❖ Όλες οι προτάσεις εκφράζονται ως λογικές ισοδυναμίες της μορφής

$$q_1, q_2, \dots, q_n \rightarrow r_1, r_2, \dots, r_m \quad \text{ή} \quad r_1, r_2, \dots, r_m \leftarrow q_1, q_2, \dots, q_n$$

❑ Σε αυτήν την έκφραση οι ατομικοί τύποι q_i είναι σε **σύζευξη** ενώ οι r_i είναι σε **διάζευξη**.

❑ Τα r_i αποτελούν τα συμπεράσματα της πρότασης, ενώ τα q_i τις υποθέσεις της.

❑ Ερμηνεία: εάν q_1 και q_2, \dots , και q_n τότε ισχύει r_1 ή r_2, \dots , ή r_m

❖ Προτάσεις Horn (Horn clauses)

❑ Ειδική περίπτωση προτάσεων όπου επιτρέπεται μόνο ένας ατομικός τύπος στο συμπέρασμα. Δηλ. είναι της μορφής:

✓ $R \leftarrow Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ (ισχύει το R εάν ισχύουν τα Q_1 και $Q_2 \dots$ και Q_n),

✓ $\leftarrow Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ (Δεν ισχύει το Q_1 και Q_2 και $\dots Q_n$)

✓ $R \leftarrow$ (το R ισχύει πάντα)

✓ Κενή πρόταση (δηλώνει πρόταση πάντα αναληθή).



Μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων

- ❖ Εφαρμόζεται η "**Αρχή της ανάλυσης**" (*resolution principle*) η οποία σύμφωνα με την αναπαράσταση της Συζευκτικής Λογικής γίνεται:
$$(R_1 \leftarrow Q_1) \wedge (\leftarrow R_1) \vdash \leftarrow Q_1$$
 - Είναι ο μοναδικός κανόνας που απαιτείται για την εξαγωγή όλων των ορθών συμπερασμάτων σε μια αποδεικτική διαδικασία που χρησιμοποιεί τη μέθοδο της "εις άτοπο απαγωγής" (*refutation*).
- ❖ Αυτή η μέθοδος αναπαράστασης χρησιμοποιείται από τη γλώσσα προγραμματισμού **Prolog**.



Παράδειγμα

```
father(george,mary) .    father(george,nick) .  
father(peter,marina) .   father(nick,jim) .  
father(gus,james) .  
mother(helen,mary) .    mother(helen,nick) .  
mother(ann,marina) .    mother(mary,james) .  
mother(katie,jim) .
```

```
parent(X,Y) :- father(X,Y) .  
parent(X,Y) :- mother(X,Y) .  
gfather(X, Y) :- parent(X, Z) , parent(Z, Y) .
```

```
?gfather(george, james) .
```

Απάντηση: Yes

```
?gfather(george, X) .
```

Απάντηση: X=james, X=jim



Μονότονη Λογική

- ❖ Σε μια μονότονη λογική, υπάρχει ένα σύστημα αξιωμάτων S (η αρχική βάση γνώσης) και ένα σύνολο τύπων F που αποδεικνύονται (συνάγονται) από το S .
- ❖ Η προσθήκη ενός ή περισσότερων αξιωμάτων στο S (απόκτηση νέας γνώσης), **αυξάνει μονότονα** το σύνολο F .
- ❖ Πλεονεκτήματα:
 - ☐ Κάθε φορά που προστίθεται ένα νέο γεγονός στο S , δε χρειάζονται νέοι έλεγχοι για τη συνέπεια της γνώσης του συστήματος.
 - ☐ Για κάθε νέο γεγονός που αποδεικνύεται δεν είναι απαραίτητη η καταγραφή των γεγονότων πάνω στα οποία βασίζεται η αλήθεια του, αφού δεν υπάρχει κίνδυνος απομάκρυνσης παλαιότερων γεγονότων.
- ❖ Μειονεκτήματα:
 - ☐ Η προσθήκη νέων αξιωμάτων είναι δυνατό να μειώσει το σύνολο των δυνατών συμπερασμάτων, αφαιρώντας κάποια που αποδεικνύονται εσφαλμένα μετά την προσθήκη.



Συλλογιστική εύλογων υποθέσεων

- ❖ Η συλλογιστική εύλογων υποθέσεων (*default reasoning*) χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ένα γεγονός συνάγεται από ένα δοσμένο γεγονός, γιατί έτσι συμβαίνει συνήθως και γιατί δεν υπάρχει ένδειξη για το αντίθετο.
- ❖ Το πρόβλημα της μονοτονίας αντιμετωπίζεται με την εισαγωγή κατάλληλων μηχανισμών εξαγωγής συμπερασμάτων οι οποίοι καταγράφουν ποια γεγονότα χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή ενός νέου συμπεράσματος.
- ❖ Τα συστήματα που χρησιμοποιούν αυτούς τους μηχανισμούς ονομάζονται *συστήματα συντήρησης αλήθειας* (*truth maintenance systems*).
 - ❑ TMS (McAllester 1980): Διατηρεί συνεχώς τη συνέπεια ενός συνόλου λογικών ισχυρισμών, ώστε να βρεθεί κάποια λύση σε ένα πρόβλημα ικανοποίησης περιορισμών.
 - ❑ ATMS (De Kleer 1986): Δίνει τη δυνατότητα εύρεσης περισσότερων εναλλακτικών λύσεων μέσω της συλλογιστικής σε παράλληλους κόσμους
 - ✓ Οι κόσμοι είναι εσωτερικά συνεπείς, αλλά μεταξύ τους μπορεί να είναι ασυνεπείς.



Μη-μονότονη λογική

- ❖ Οι μη-μονότονες συλλογιστικές είναι κατάλληλες για την αντιμετώπιση κάποιων καταστάσεων που εμφανίζονται συχνά στον πραγματικό κόσμο:
 - ❑ Καταστάσεις για τις οποίες δεν έχουμε πλήρη γνώση ή η γνώση δημιουργείται κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ενεργειών, για τις οποίες δεν είμαστε βέβαιοι για την αναγκαιότητα ή ορθότητά τους.
 - ❑ Καταστάσεις στις οποίες η γνώση μεταβάλλεται, λόγω μεταβολών που συμβαίνουν στον κόσμο.
 - ❑ Καταστάσεις στις οποίες το σύστημα χρησιμοποιεί υποθέσεις (assumptions) στα πλαίσια της στρατηγικής επίλυσης προβλημάτων.
- ❖ Στη μη-μονότονη τροπική λογική (*non-monotonic modal logic*) εισάγεται ένας νέος τροπικός τελεστής ο οποίος δηλώνει ότι ένα γεγονός "είναι συνεπές με τις τρέχουσες πεποιθήσεις".



Αναιρέσιμη Λογική (*defeasible logic*)

- ❖ Είναι απλή αλλά αποδοτική προσέγγιση στη μη-μονότονη λογική
 - ❑ Έχει πολλές εφαρμογές στο σημασιολογικό διαδίκτυο και ηλεκτρονικό εμπόριο
 - ❑ Π.χ. μοντελοποίηση εμπορικών κανόνων (*business rules*) και κανονισμών (*regulations*), μοντελοποίηση συμβολαίων (*contracts*), συλλογιστική σε νομικά θέματα (*legal reasoning*), στρατηγικές διαπραγμάτευσης πρακτόρων (*agent negotiation*), ενοποίηση ετερογενών πηγών γνώσης και οντολογιών (*ontology integration*).
- ❖ Η αναιρέσιμη λογική αναπαριστά και διαχειρίζεται αντιφάσεις (*conflicts*) μεταξύ των κανόνων ενός προγράμματος.
 - ❑ Οι αντιφάσεις εκφράζονται ως αντικρουόμενα συμπεράσματα.
 - ❑ Η απλούστερη μορφή μιας αντίφασης είναι όταν το συμπέρασμα ενός κανόνα αποτελεί την άρνηση του συμπεράσματος του άλλου κανόνα.
- ❖ Παράδειγμα:

$r_1: \text{πιγκουϊνος}(X) \rightarrow \text{πουλί}(X)$	Ισχυρός κανόνας
$r_2: \text{πουλί}(X) \Rightarrow \text{πετάει}(X)$	Αναιρέσιμος κανόνας
$r_3: \text{πιγκουϊνος}(X) \Rightarrow \neg \text{πετάει}(X)$	Αναιρέσιμος κανόνας
$r_3 > r_4$	Σχέση Υπεροχής
$r_4: \text{βαρύ}(X) \rightsquigarrow \neg \text{πετάει}(X)$	Αναιρετής



Παράδειγμα

- ❖ Έστω οι προτάσεις (1) $P \rightarrow Q$, (2) $Q \rightarrow R$, (3) $P \wedge W$. Να αποδείξετε την πρόταση R:
 - ☐ με τη χρήση των κανόνων συμπερασμού modus ponens και απαλοιφή συζεύξεων
 - ☐ με τη χρήση μόνο του κανόνα συμπερασμού της αρχής της ανάλυσης
 - ☐ με τη χρήση του κανόνα συμπερασμού της αρχής της ανάλυσης και την απαγωγή σε άτοπο
- ❖ Απάντηση
 - ☐ από την πρόταση (3) και με απαλοιφή συζεύξεων παίρνω:
 - (4) P
 - (5) W
 - Από (4) και (1) με modus ponens παίρνω (6) Q
 - Από (6) και (2) με modus ponens παίρνω (7) R
 - ☐ μετατρέπω σε προτασιακή μορφή της λογικής το σύνολο των προτάσεων:
 - (1') $\neg P \vee Q$
 - (2') $\neg Q \vee R$
 - (3') P
 - (3'') W
 - ☐ Διαδοχική εφαρμογή της αρχής της ανάλυσης:
 - (1'), (3') $\Rightarrow Q$ (4)
 - (4), (2') $\Rightarrow R$ (5)



- ❑ μετατρέπω σε προτασιακή μορφή της λογικής το σύνολο των προτάσεων όπως πριν. Επίσης προσθέτω την άρνηση του αποδεικτέου:

(4) $\neg R$

- ❑ Διαδοχική εφαρμογή της αρχής της ανάλυσης (ξεκινώ από την άρνηση του αποδεικτέου όπως συνήθως γίνεται από τα αντίστοιχα συστήματα π.χ. Prolog):

(4),(2') $\Rightarrow \neg Q$ (5)

(5),(1') $\Rightarrow \neg P$ (6)

(6),(3') $\Rightarrow \square$ (άτοπο)

- ❑ Άρα ισχύει το R



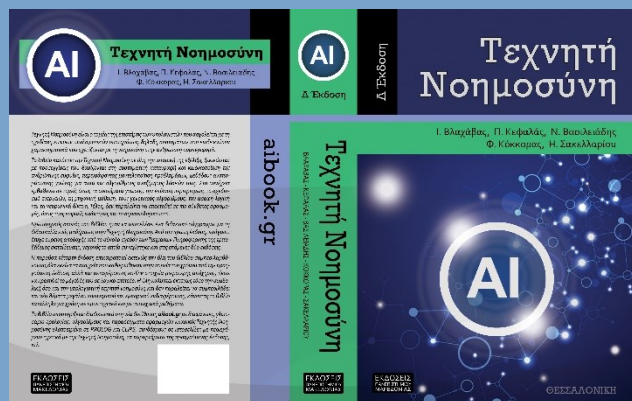
Ασκήσεις

- ❖ Διατυπώστε στην κατηγορηματική λογική τον ακόλουθο ισχυρισμό και αποδείξτε ότι είναι έγκυρος:
 - ☐ Όλοι οι φιλόσοφοι που έχουν μελετήσει λογική ξέρουν τον Gödel. Συνεπώς, εάν όλοι οι φιλόσοφοι έχουν μελετήσει λογική, τότε όλοι ξέρουν τον Gödel.
- ❖ Να διατυπωθούν σε κατηγορηματική λογική οι ακόλουθες προτάσεις:
 - ✓ Δεν είναι όλοι οι συγγραφείς βιβλίων διάσημοι.
 - ✓ Μερικά βιβλία είναι διάσημα.
 - ✓ Ένα βιβλίο είναι διάσημο αν και μόνο αν είναι καλογραμμένο.
 - ✓ Όλοι οι στιχουργοί είναι ποιητές.
 - ✓ Μερικοί στιχουργοί είναι ποιητές.
 - ✓ Κανένας ποιητής δεν είναι στιχουργός.
- ☐ Να διατυπωθούν επίσης σε Μορφή Kowalski
- ☐ Να εξετάστε αν οι προτάσεις που προκύπτουν στην μορφή Kowalski είναι προτάσεις Horn.



Κεφάλαιο 10

Δομημένες Αναπαραστάσεις Γνώσης



Τεχνητή Νοημοσύνη - Δ' Έκδοση

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

Ι. Βλαχάβας, καθηγητής

Τμήμα Πληροφορικής, ΑΠΘ



Δομημένες Αναπαραστάσεις Γνώσης

- ❖ Η κλασική λογική χαρακτηρίζεται από αυστηρότητα στην αναπαράσταση της γνώσης που απαιτείται για την επίλυση ενός προβλήματος.
- ❖ Στην πράξη:
 - ☐ απαιτείται μια λιγότερο αυστηρή και περισσότερο διαισθητική προσέγγιση
 - ☐ είναι επιθυμητή η μείωση του αριθμού των συμβόλων και εκφράσεων που απαιτούνται για την περιγραφή ενός προβλήματος (μείωση όγκου γνώσης)
 - ☐ Σημαντική μείωση όγκου θα μπορούσε να επιφέρει η χρήση σύνθετων δομών αναπαράστασης, όπως π.χ. τα αντικείμενα και οι κλάσεις τους (που όμως δεν υποστηρίζονται από την κλασική λογική).
- ❖ Προβλήματα όπως τα παραπάνω, οδήγησαν στην ανάπτυξη των λεγόμενων Δομημένων Αναπαραστάσεων Γνώσης, οι κυριότερες από τις οποίες είναι:
 - ☐ Σημασιολογικά Δίκτυα
 - ☐ Πλαίσια
 - ☐ Αντικείμενα
 - ☐ Εννοιολογική Εξάρτηση
 - ☐ Σενάρια
 - ☐ Εννοιολογικοί Γράφοι



Σημασιολογικά Δίκτυα (semantic net)

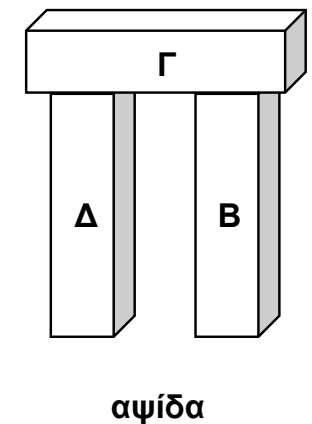
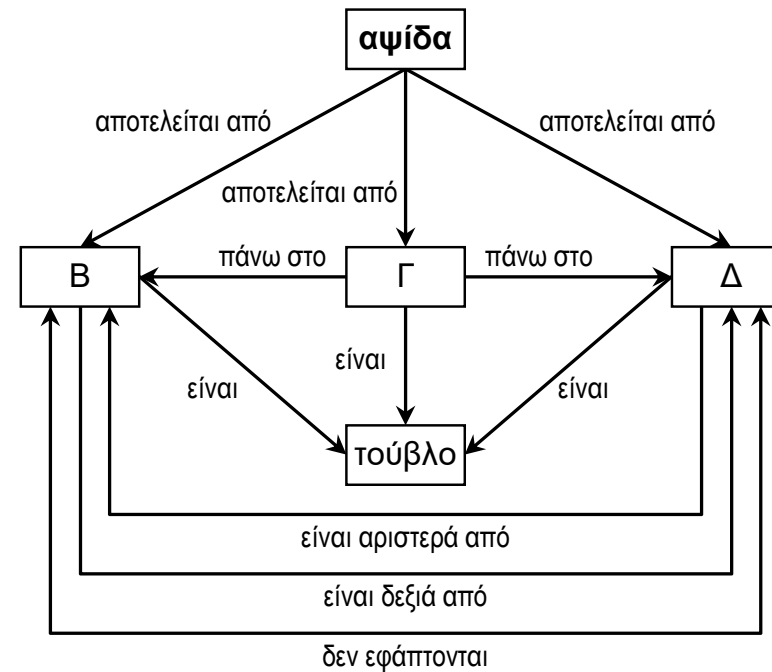
- ❖ Αποτελείται από κόμβους (nodes) και δεσμούς (links) ανάμεσά τους,
 - ❑ Είναι δηλαδή ένας γράφος (graph)
 - ❑ Η διαφορά τους έγκειται στο ότι οι κόμβοι και οι δεσμοί του σημασιολογικού δικτύου δεν είναι όλοι του ίδιου τύπου, όπως στους απλούς γράφους, αλλά αναπαριστούν διαφορετικές έννοιες, έχουν δηλαδή κάποια σημασιολογία
- ❖ Συγκεκριμένα,
 - ❑ οι κόμβοι υποδηλώνουν κλάσεις αντικειμένων (classes), αντικείμενα (objects), έννοιες (concepts) και τιμές ιδιοτήτων (values),
 - ❑ ενώ οι δεσμοί τις σχέσεις (relations) μεταξύ των αντικειμένων ή ιδιότητες (properties) που συνδέουν αντικείμενα με τιμές
- ❖ Η υλοποίηση του γίνεται είτε
 - ❑ με μία γλώσσα προγραμματισμού που επιτρέπει αναπαράσταση συνόλων ή γράφων, ή
 - ❑ με ειδικές σχεσιακές γλώσσες, όπως για παράδειγμα με τη Λογική, με τις οποίες μπορεί εύκολα να περιγραφεί οποιοδήποτε σημασιολογικό δίκτυο.



Παράδειγμα

- ❖ Ενα πραγματικό αντικείμενο (αψίδα) και το σημασιολογικό δίκτυο που το αναπαριστά
 - ❑ Οι ακμές του δικτύου αναπαρίστανται από τη σχέση ή το κατηγορημα (αποτελείται_από, πάνω_στο, κλπ.), ενώ οι κόμβοι του δικτύου είναι τα ορίσματα των κατηγορημάτων (αψίδα, τούβλο, δ, κλπ.)

αποτελείται_από(αψίδα,β) .
αποτελείται_από(αψίδα,γ) .
αποτελείται_από(αψίδα,δ) .
είναι(β,τούβλο) .
είναι(γ,τούβλο) .
είναι(δ,τούβλο) .
πάνω_στο(γ,β) .
πάνω_στο(γ,δ) .
είναι_αριστερά_από(δ,β) .
είναι_δεξιά_από(β,δ) .
δεν_εφάπτονται(β,δ) .
δεν_εφάπτονται(δ,β) .





Δομή

- ❖ Εκτός των άλλων σχέσεων μεταξύ των κόμβων του, μπορεί να περιέχει δεσμούς της μορφής
 - ❑ **is_a** (ή δεσμός ISA) ή **a_kind_of** (ή δεσμός AKO) καθώς και
 - ❑ δεσμούς **instance_of** (ή δεσμός INSTANCE_OF).
 - ❑ Αυτοί οι δεσμοί υποδηλώνουν ότι υπάρχει μία ιεραρχία (hierarchy) στους κόμβους.
- ❖ Οι διαφορές των παραπάνω τύπων δεσμών είναι περιληπτικά οι εξής:
- ❖ Η σχέση ISA ή AKO υπάρχει μεταξύ κλάσεων αντικειμένων.
 - ❑ Ένας κόμβος (κλάση) που συνδέεται με την σχέση ISA/AKO με έναν άλλον κόμβο (κλάση) μπορεί απλά να κληρονομήσει όλες τις υπάρχουσες ιδιότητες και μερικές από αυτές να αλλάξουν τιμή.
 - ✓ Για παράδειγμα, η κλάση "ινδική τίγρης" είναι ISA/AKO της κλάσης "τίγρης", έχει τις ίδιες ιδιότητες, πιθανά όμως με διαφορετικές τιμές.
 - ❑ Επιπλέον, σε κόμβο (κλάση) που συνδέεται με σχέση ISA/AKO με κάποιον άλλο κόμβο (κλάση) μπορεί να προστεθούν νέοι δεσμοί που προσδίδουν νέες ιδιότητες.
 - ✓ Για παράδειγμα, η κλάση "τίγρης" είναι ISA/AKO της κλάσης "θηλαστικό" και στην κλάση "τίγρης" προστίθεται η ιδιότητα «έχει νύχια», με τιμή ΝΑΙ.
- ❖ Η σχέση INSTANCE_OF υπάρχει μόνο μεταξύ κόμβων αντικειμένων και κόμβων γενικότερων κλάσεων.
 - ❑ Για παράδειγμα, ο συγκεκριμένος τίγρης "τζίμης" είναι INSTANCE_OF της κλάσης "τίγρης".
 - ❑ Η σχέση INSTANCE_OF είναι τερματική σχέση στην ιεραρχία καθώς τα αντικείμενα είναι πάντα φύλλα στο δένδρο της κληρονομικότητας (συνέχ. παρακάτω).

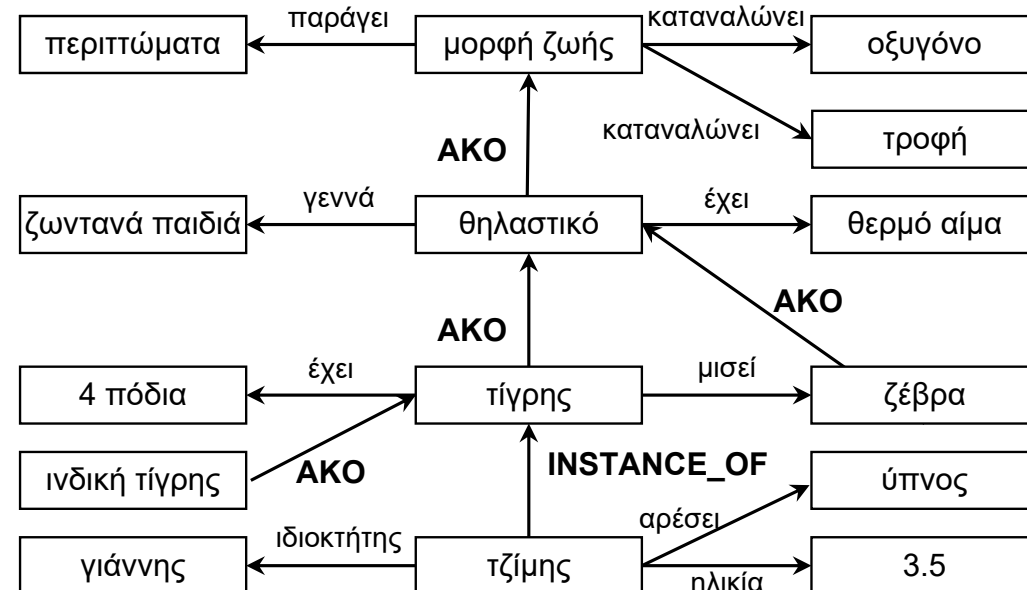


Κληρονομικότητα

❖ Χάρη στην ιεραρχία, ένα αντικείμενο κληρονομεί ιδιότητες από μία υψηλότερη ιεραρχικά κλάση από αυτή στην οποία ανήκει

❑ Για παράδειγμα, στο Σχήμα απεικονίζεται ένα σημασιολογικό δίκτυο στο οποίο δε χρειάζεται να δηλωθούν όλα τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου τίγρη ("τζίμη") παρά μόνον αυτά που είναι αποκλειστικά δικά του ("ιδιοκτήτης", "ηλικία", "αρέσει").

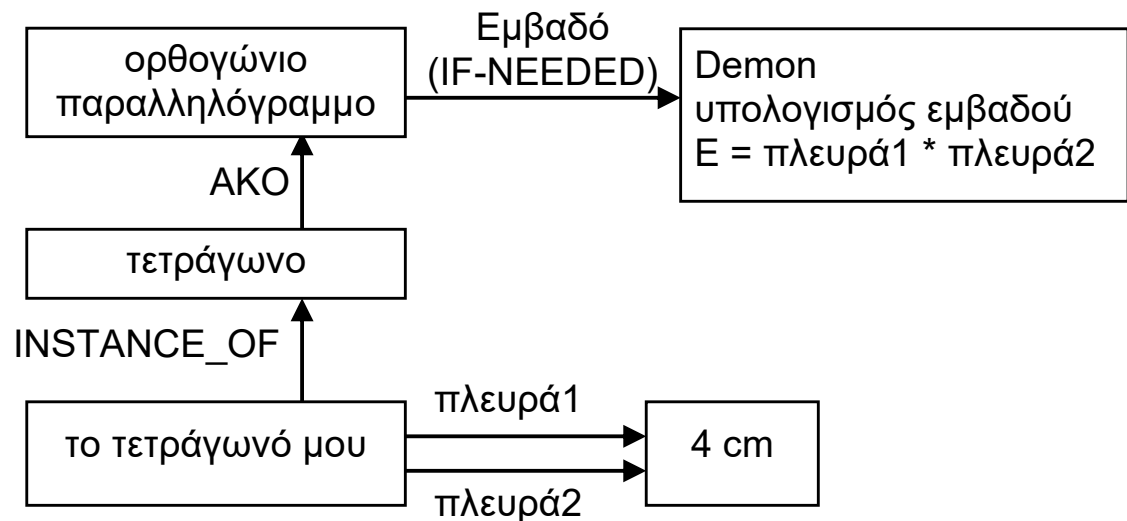
❑ Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά-ιδιότητες κληρονομούνται από την ιεραρχία των κλάσεων στις οποίες υπάγεται ο τίγρης.





Προσκόλληση διαδικασιών

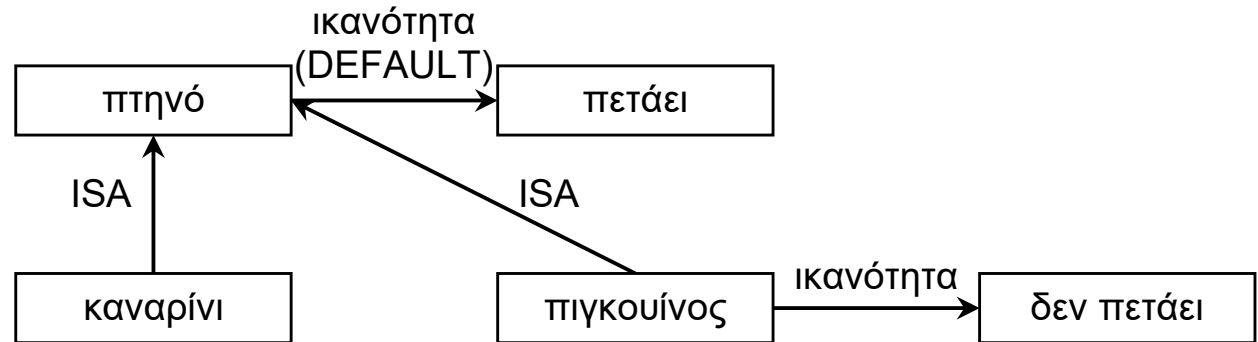
- ❖ Αντί για την τιμή της ιδιότητας μπορεί να οριστεί μια διαδικασία η οποία θα καλείται *μόνον* εάν χρειάζεται (*IF-NEEDED*) για να δώσει κάποιο αποτέλεσμα.
- ❖ Στο Σχήμα δίνεται ένα σημασιολογικό δίκτυο
 - που αναπαριστά τις σχέσεις μεταξύ ενός σχήματος ("το τετράγωνό μου"), ενός "τετραγώνου" και ενός "ορθογωνίου παραλληλογράμμου", καθώς και μερικές ιδιότητές τους.
 - Με το να προσκολληθεί μία διαδικασία που θα υπολογίζει το εμβαδόν ενός "ορθογωνίου παραλληλογράμμου", αποφεύγεται η ρητή δήλωση του εμβαδού για κάθε συγκεκριμένο σχήμα.
 - Το εμβαδόν, εκτός του ότι υπολογίζεται όταν και αν χρειάζεται, κληρονομείται σε κάποιο συγκεκριμένο σχήμα ως ιδιότητα από τη γενικότερη κατηγορία "ορθογώνιο παραλληλόγραμμο".





Ιδιότητες με προκαθορισμένες τιμές και εξαιρέσεις τους

- ❖ Η συνήθης τιμή μιας ιδιότητας που εμφανίζεται σε ένα κόμβο που βρίσκεται ψηλά στην ιεραρχία μπορεί να προκαθοριστεί και ονομάζεται **προκαθορισμένη τιμή (DEFAULT)**.
- ❖ Ένα παράδειγμα δίνεται στο Σχήμα.
 - ❑ Οποιοδήποτε πτηνό έχει την ικανότητα να πετάει εκτός του πιγκουΐνου.
 - ❑ Η κατηγορία "πτηνό" έχει την προκαθορισμένη τιμή "πετάει" στην ιδιότητα "ικανότητα".
 - ❑ Το "καναρίνι" κληρονομεί την ιδιότητα αυτή καθώς και την τιμή της.
 - ❑ Ο "πιγκουΐνος" όμως δεν την κληρονομεί γιατί στο αντικείμενο "πιγκουΐνος" αναφέρεται ρητά ότι η τιμή της "ικανότητας" είναι "δεν πετάει".
 - ✓ Το τελευταίο αποτελεί εξαίρεση και ως τέτοια θα πρέπει να αναφερθεί ξεχωριστά στο αντικείμενο που την αφορά.
 - ❑ Οι προκαθορισμένες τιμές είναι ένας τρόπος για να υλοποιηθεί η συλλογιστική των *εύλογων υποθέσεων (default reasoning)* που γίνονται για κλάσεις αντικειμένων στα σημασιολογικά δίκτυα.
 - ❑ Αν δεν υπάρχουν ειδικές πληροφορίες για την τιμή μιας ιδιότητας, εύλογες υποθέσεις αποτελούν οι προκαθορισμένες τιμές.





Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

- ❖ Λόγω της ιεραρχικής δομής τους, της **κληρονομικότητας** και των **προσκολλημένων διαδικασιών**, τα σημασιολογικά δίκτυα είναι ένας συμπαγής τρόπος αναπαράστασης
- ❖ Επειδή όμως η γνώση που περιγράφεται με τα σημασιολογικά δίκτυα είναι πολλές φορές διάσπαρτη σε αυτά, αφενός η αναζήτηση παίρνει πολύ χρόνο και αφετέρου η παραμικρή αλλαγή επιφέρει σημασιολογικές αλλαγές στον κόσμο που αναπαρίσταται.
- ❖ Επιπλέον, λόγω της πολυπλοκότητας της δομής, κάθε φορά που γίνεται αναζήτηση συγκεκριμένης πληροφορίας υπάρχει περίπτωση να εμφανιστεί το φαινόμενο της συνδυαστικής έκρηξης (combinatorial explosion).
- ❖ Αυτό χαρακτηρίζεται ως **ευρετική ανεπάρκεια** (*heuristic inadequacy*) ή ως **μη-αποδοτικότητα συνεπαγωγής** (*inferential inefficiency*).
- ❖ Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα είναι το ότι τα αντικείμενα στα σημασιολογικά δίκτυα είναι ανοιχτά σε απόδοση οποιαδήποτε σημασίας.
 - ❑ Για παράδειγμα, ένα "αυτοκίνητο" στο σημασιολογικό δίκτυο μπορεί να εκληφθεί ως οποιοδήποτε αυτοκίνητο (κλάση) ή ένα συγκεκριμένο αυτοκίνητο (αντικείμενο).
 - ❑ Αυτό χαρακτηρίζεται ως **λογική ανεπάρκεια** (*logical inadequacy*).



Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (συνεχ.)

- ❖ Παρόλα τα μειονεκτήματά τους, λόγω της απλότητάς τους στην υλοποίηση και της ευελιξίας που προσφέρουν, έχουν γνωρίσει τα τελευταία χρόνια μεγάλη άνθιση,
 - ❑ καθώς χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση συνδεδεμένων δεδομένων (linked data) και μετα-δεδομένων στον λεγόμενο **Σημασιολογικό Ιστό** (*Semantic Web*) με τη χρήση του μοντέλου δεδομένων RDF.
 - ❑ Επίσης, ελαφρώς διαφορετικές υλοποιήσεις των σημασιολογικών δικτύων υπάρχουν στους λεγόμενους **γράφους γνώσης** (*knowledge graphs*) των διάφορων μεγάλων εταιρειών που δραστηριοποιούνται στο χώρο του παγκόσμιου ιστού, όπως είναι τα:
 - ❑ GOOGLE KNOWLEDGE GRAPH, YAHOO! WEB OF OBJECTS, MICROSOFT SATORI GRAPH, FACEBOOK ENTITY GRAPH, κλπ.
 - ❑ Τέλος, ένα πολύ γνωστό σημασιολογικό δίκτυο που χρησιμοποιείται κατά κόρον σε ερευνητικές εργασίες που σχετίζονται με την επεξεργασία φυσικής γλώσσας (natural language processing) είναι το WORDNET, ένα ηλεκτρονικό λεξικό για την Αγγλική και άλλες γλώσσες, το οποίο οργανώνει τις λέξεις σε ομάδες συνωνύμων και τις συσχετίζει ιεραρχικά (υπωνυμία, μερωνυμία, κλπ).
 - ✓ Στην υπωνυμία μια σημασία συμπεριλαμβάνεται μέσα σε μια άλλη ως συστατικό της: το συστατικό «λουλούδι» περιλαμβάνεται απαραίτητα στη σημασία «τριαντάφυλλο», αφού το τριαντάφυλλο είναι αναγκαστικά είδος λουλουδιού· το αντίστροφο, όμως, δεν ισχύει, αφού ένα λουλούδι δεν είναι οπωσδήποτε τριαντάφυλλο. ([Link](#))
 - ✓ Η μερωνυμία, αναφέρεται σε έννοιες που αποτελούν η μία μέρος της άλλης (π.χ. δάκτυλο, χέρι)



Πλαίσια (frames)

Τα πλαίσια (*frames*) ή σχήματα (*schemata*) είναι "δομές δεδομένων για την αναπαράσταση στερεότυπων καταστάσεων"

- ❖ Είναι ο πιο προσφιλής τρόπος δομημένης αναπαράστασης γνώσης και αποτελούν την *αντικειμενοστραφή (object oriented)* του προσέγγιση
 - ❑ Ένα πλαίσιο περιέχει συγκεντρωμένη όλη την πληροφορία για τη συγκεκριμένη έννοια που αναπαριστά.
- ❖ Πρώτος τα όρισε ο Minsky.
 - ❑ Η ιδέα του ήταν ότι το ανθρώπινο μυαλό συγκρατεί μόνο σημαντικές πληροφορίες για αντικείμενα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία.
- ❖ Τα πλαίσια έχουν:
 - ❑ Όνομα
 - ❑ Μία σειρά από *ιδιότητες (slots)* που συνδέονται άμεσα με τις *τιμές τους (fillers)*.
 - ✓ Οι ιδιότητες μπορεί να έχουν *προκαθορισμένες* (default) τιμές που χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει άλλη διαθέσιμη πληροφορία.
 - ❑ Μία ειδική κατηγορία ιδιοτήτων είναι οι *όψεις (facets)*, που περιγράφουν τα είδη ή το εύρος τιμών που μπορούν να πάρουν οι ιδιότητες.
 - ❑ Τέλος, μπορεί να προσκολληθούν διαδικασίες (procedures) που ονομάζονται *δαίμονες (demons)* και που μπορεί να ενεργοποιούνται όταν τα πλαίσια μεταβάλλονται για κάποιο λόγο.

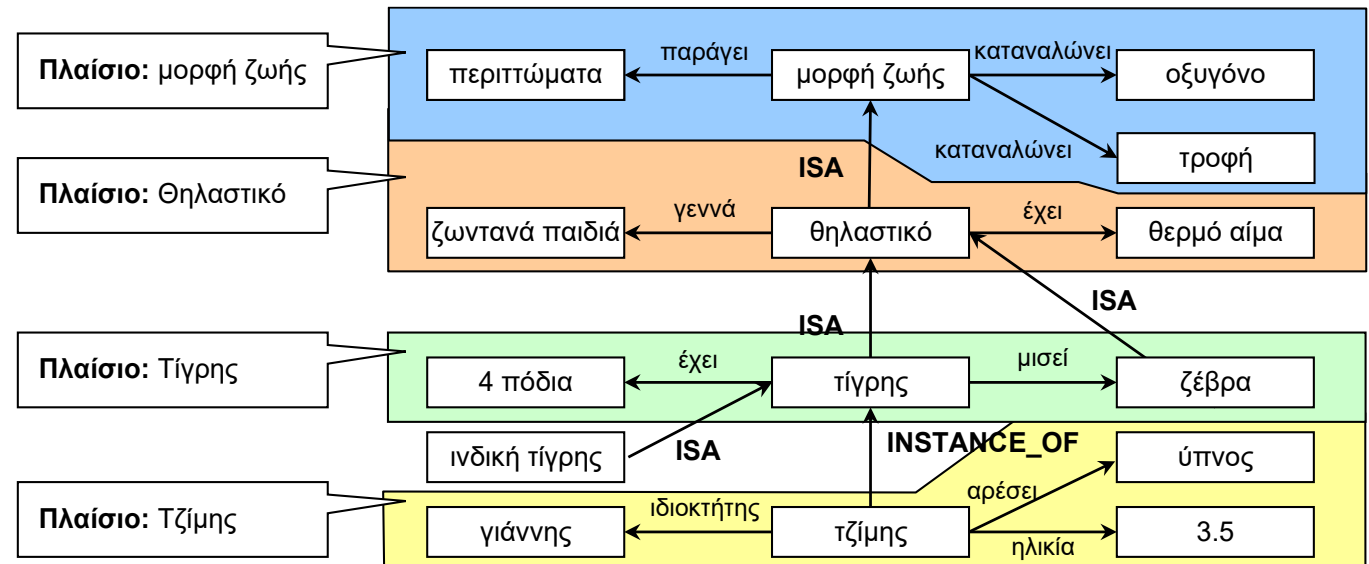


Η ιεραρχική δομή των πλαισίων

- ❖ Τα πλαίσια μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενα-κόμβους (objects-nodes) ενός σημασιολογικού δικτύου και να συνδεθούν με μία ιεραρχία
- ❖ Παρακάμπτουν το μειονέκτημα των σημασιολογικών δικτύων (τη λογική ανεπάρκεια) καθώς δεν εμφανίζουν έντονα φαινόμενα συνδυαστικής έκρηξης στην αναζήτηση πληροφορίας
 - ❑ Γιατί ένα πλαίσιο περιέχει συγκεντρωμένη όλη την πληροφορία για τη συγκεκριμένη έννοια που αναπαριστά
 - ❑ Ενώ ένας κόμβος σε ένα σημασιολογικό δίκτυο αναπαριστά μόνο την έννοια, ενώ οι ιδιότητές της περιγράφονται σε άλλους κόμβους που συνδέονται με αυτόν

❖ Παράδειγμα

- ❑ Στο δίκτυο αυτό υπάρχουν πλέον μόνο 5 κόμβοι, σε σύγκριση με τους 15 κόμβους του αντίστοιχου σημασιολογικού δικτύου
- ❑ Η μείωση προήλθε από την συγχώνευση των κόμβων που αναπαριστούν σταθερές τιμές ιδιοτήτων (data values)





Πλαίσια – ιδιότητες

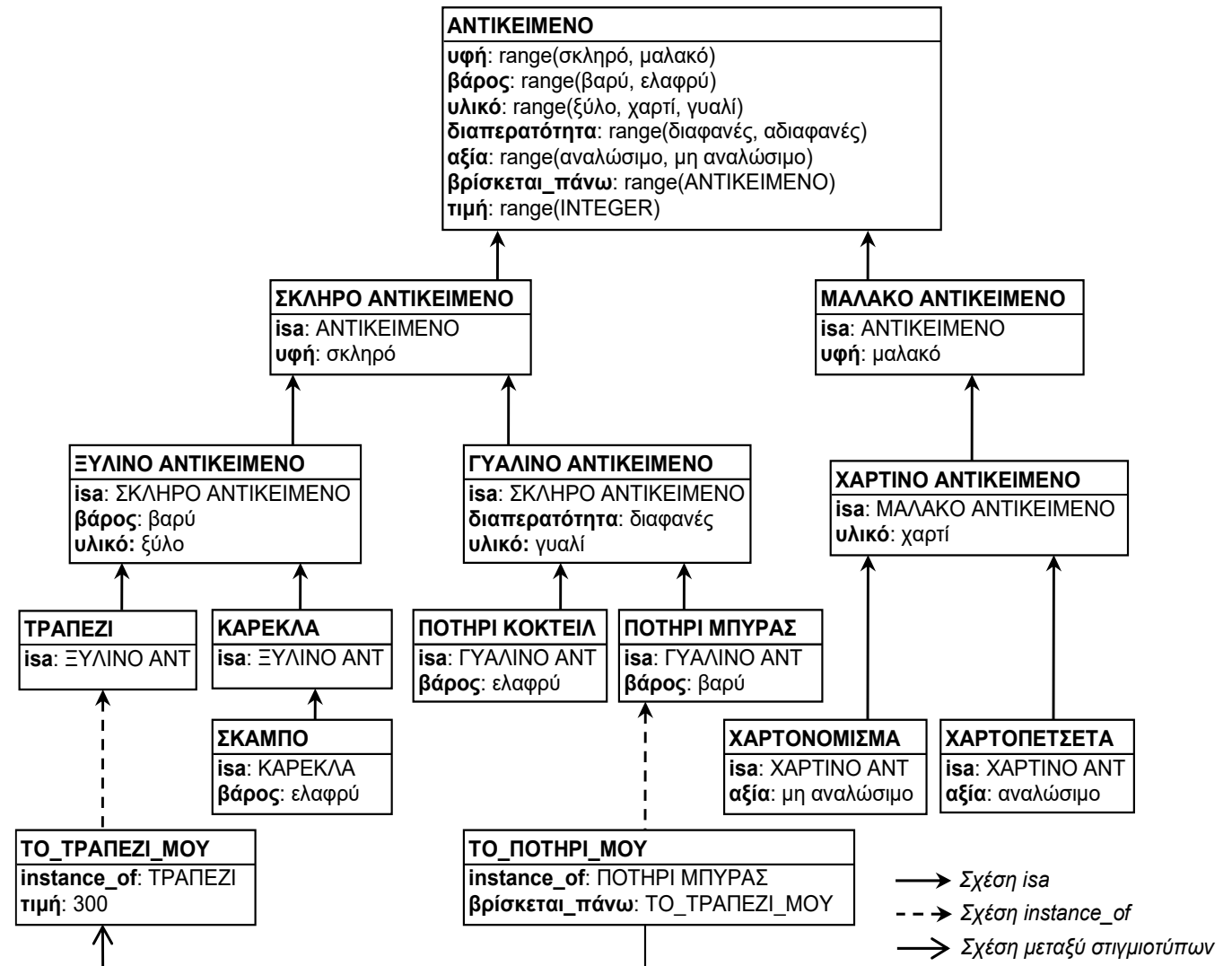
- ❖ Τα πλαίσια θυμίζουν ίσως τις **εγγραφές (records)** των γλωσσών προγραμματισμού, γιατί ομαδοποιούν πληροφορίες που σχετίζονται μεταξύ τους.
- ❖ Όμως τα πλαίσια:
 - ☐ Δεν είναι κατ' ανάγκη όμοια μεταξύ τους, όπως οι εγγραφές,
 - ☐ Δεν περιέχουν ίδιου τύπου πληροφορίες, ούτε μόνον απλά δεδομένα,
 -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



Παράδειγμα

❖ Ο κόσμος ενός εστιατορίου όπου όλα τα αντικείμενα μέσα σε αυτό έχουν ιδιότητες:

- ❑ υφή, όπως σκληρά ή μαλακά,
- ❑ βάρος, όπως βαριά ή ελαφριά,
- ❑ υλικό κατασκευής, όπως ξύλο ή γυαλί ή χαρτί,
- ❑ σημαντικότητα, όπως αναλώσιμο ή όχι,
- ❑ διαπερατότητα, όπως διαφανή ή αδιαφανή,
- ❑ τιμή, η οποία είναι κάποιος ακέραιος αριθμός,
- ❑ τοποθέτηση, η οποία αναφέρει το αντικείμενο πάνω στο οποίο βρίσκεται το τρέχον αντικείμενο.





Παράδειγμα (συνεχ.)

❖ Αναπαράσταση μέρους του προβλήματος

```
Class: ANTIKEIMENO
  slot: υφή: {"σκληρό", "μαλακό"}
  slot: βάρος: {"βαρύ", "ελαφρύ"}
  slot: υλικό: {"ξύλο", "χαρτί", "γυαλί"}
  ...
slot: βρίσκεται_πάνω: {ANTIKEIMENO}
  slot: τιμή: {integer}
Class: ΣΚΛΗΡΟ_ANTIKEIMENO
  isa: ANTIKEIMENO
  υφή: "σκληρό"
  ...
Class: ΤΡΑΠΕΖΙ
  isa: ΞΥΛΙΝΟ_ANTIKEIMENO
Class: ΠΟΤΗΡΙ_ΜΠΥΡΑΣ
  isa: ΓΥΑΛΙΝΟ_ANTIKEIMENO
  βάρος: "βαρύ"
  ...
Instance: ΤΟ_ΤΡΑΠΕΖΙ_ΜΟΥ
  instance_of: ΤΡΑΠΕΖΙ
  τιμή: 300
Instance: ΤΟ_ΠΟΤΗΡΙ_ΜΟΥ
  instance_of: ΠΟΤΗΡΙ_ΜΠΥΡΑΣ
  βρίσκεται_πάνω: ΤΟ_ΤΡΑΠΕΖΙ_ΜΟΥ
```



Παράδειγμα 2 (σε FLEX. Υποστηρίζει μόνο ISA και INSTANCE)

Mammal:

```
is_a:      Animal
has_head:   yes
warm_blooded: yes
eats:       everything
```

Carnivore:

```
is_a:      Animal
eats:       meat
pointed_Teath: yes
```

Elephant:

```
is_a:      Mammal
colour:     grey
size:       large
```

Human:

```
is_a:      Mammal
birthday:   {date} {Τύπος δεδομένων}
age:        [birthday-current_date()]/365
```

{Δαίμονας - Διαδικασία υπολογισμού}

Feline:

{Πολλαπλή κληρονομικότητα}

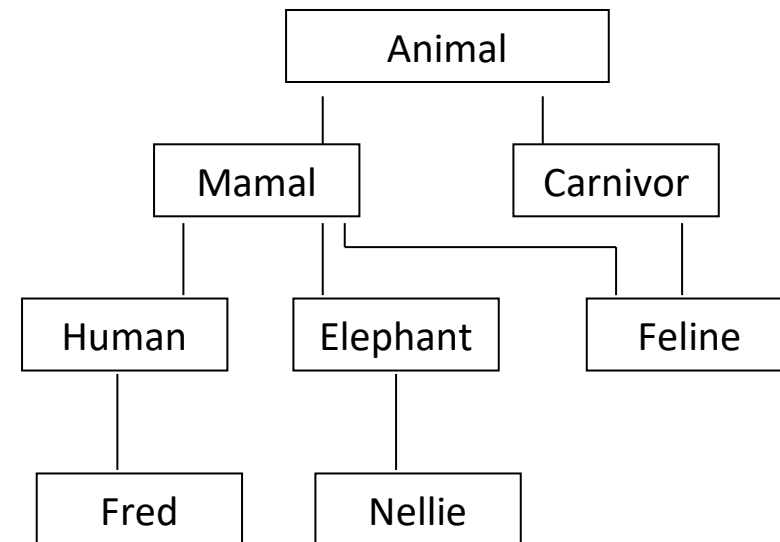
```
is_a:      Mammal, Carnivore
sharp_claws: yes
```

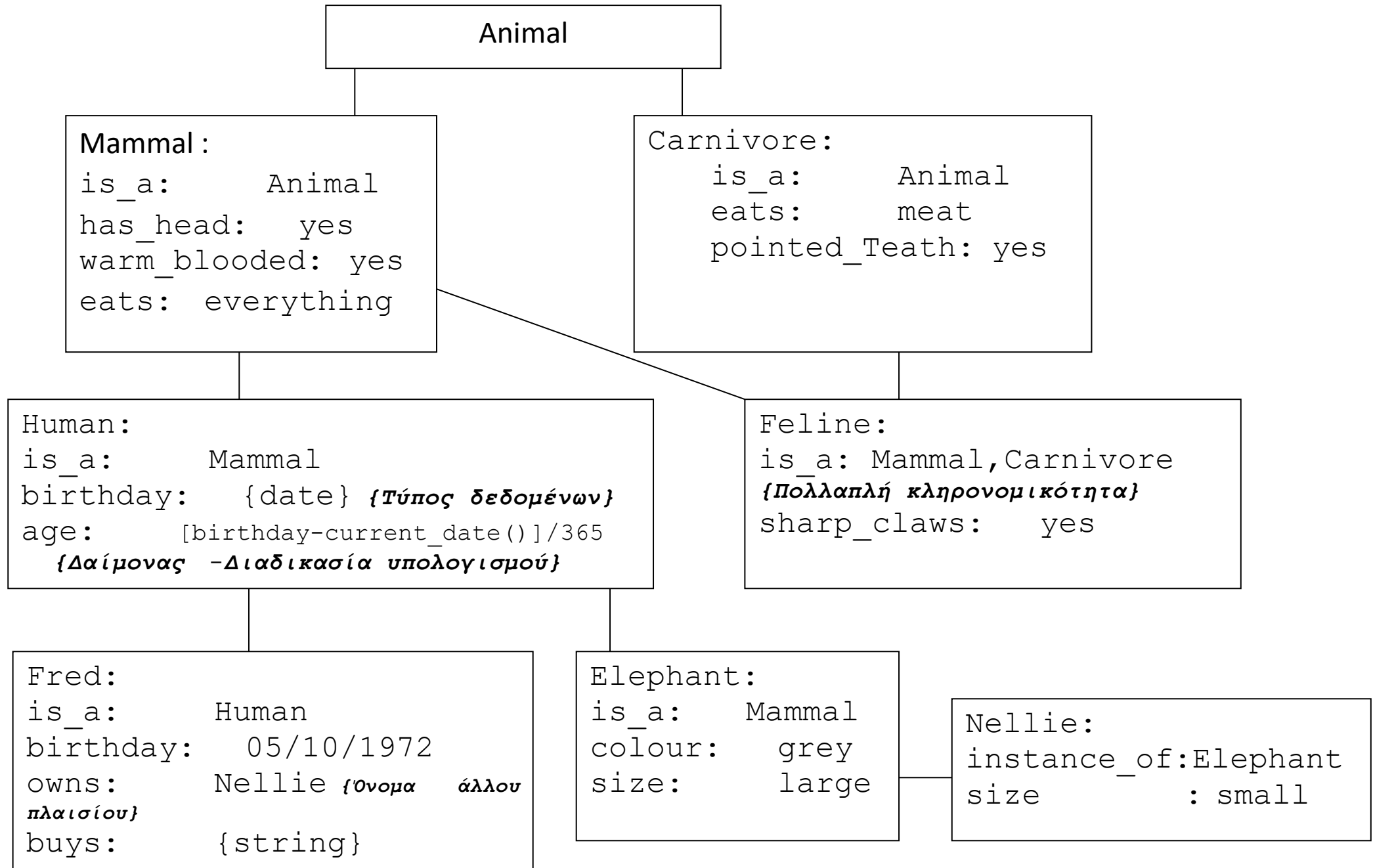
Fred:

```
is_a:      Human
birthday:   05/10/1972
owns:       Nellie {Όνομα άλλου πλαισίου}
buys:       {string}
```

Nellie:

```
instance_of: Elephant
size        : small
```







Παράδειγμα (σε Flex)

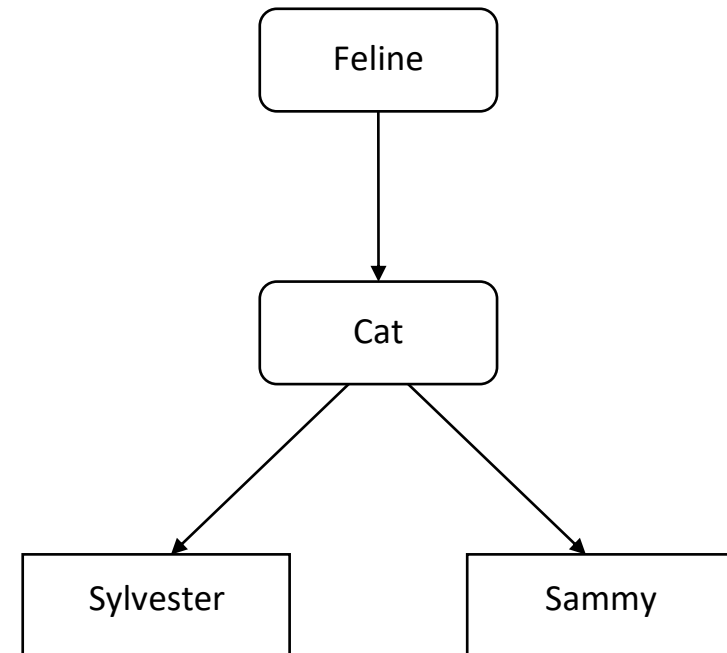
<http://www.lpa.co.uk/flx.htm>

frame feline **is a** mammal, carnivore ;
default legs **are** 4 .

frame cat **is a** feline
default habitat **is** house **and**
default meal **is** kit_e_kat .

instance sylvester **is an** instance **of** cat .

instance sammy **is an** instance **of** cat .



- ❖ Σ' αυτό το παράδειγμα εξ' ορισμού τόσο ο sylvester όσο και η sammy κατοικούν σε σπίτι, τρώνε kit_e_kat και έχουν τέσσερα πόδια.
- ❖ Στο διάγραμμα τα πλαίσια παριστάνονται με σχήματα που έχουν στρογγυλεμένες γωνίες, ενώ τα στιγμιότυπα με ορθογώνια.



Μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων

❖ 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/ΑΚΟ ή INSTANCE_OF και επανέλαβε τη διαδικασία με νέο πλαίσιο NewFrame το αμέσως παραπάνω πλαίσιο του Frame στην ιεραρχίας, δηλ. find(NewFrame, Attribute, Value).

❖ Παράδειγμα:

- ❑ ? find(TO_ΤΡΑΠΕΖΙ_ΜΟΥ, τιμή, Value) → return Value=300
- ❑ ? find(TO_ΤΡΑΠΕΖΙ_ΜΟΥ, υφή, Value) -> return Value="σκληρό"

❖ Μειονεκτήματα

- ❑ Πολλαπλή κληρονομικότητα (multiple inheritance) όπου μία ιδιότητα υπάρχει σε δύο υπερκλάσεις ενός πλαισίου

❖ Σύνοψη

- ❑ Τα πλαίσια δεν προσφέρουν κάτι παραπάνω από την Λογική όσον αφορά την εκφραστικότητα, απλά διαφέρουν μόνο στη σύνταξη.
- ❑ Προσφέρουν όμως μια συμπαγή αναπαράσταση γνώσης που είναι αντικειμενοστραφής από τη φύση της
- ❑ Δεν είναι ικανά για μια πλήρη αναπαράσταση ενός προβλήματος και της επίλυσής του, γι αυτό και συνδυάζονται με άλλες, περισσότερο «δυναμικές» μεθόδους αναπαράστασης γνώσης και συλλογιστικής, όπως είναι οι **κανόνες (rules)**



Ερωτήσεις

- ❖ Η συλλογιστική που αφορά την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων από ένα σύνολο παραδειγμάτων πως ονομάζεται: α) συνεπαγωγική, β) επαγωγική, γ) απαγωγική.
- ❖ Αναφέρετε τρία είδη γνώσης
- ❖ Τι εξάγεται μέσω της απαγωγικής (abductive) συλλογιστικής από τις προτάσεις $A \rightarrow B$ και B
- ❖ Ποιο είναι το συμπέρασμα που εξάγεται μέσω της συνεπαγωγικής συλλογιστικής από τις προτάσεις $A \rightarrow B$ και $\neg B$.
- ❖ Απαγωγική συλλογιστική (abductive reasoning): Τι είναι και που χρησιμοποιείται.
- ❖ Αναφέρετε τα 4 είδη γνώσης που κάθε μέθοδος αναπαράστασης γνώσης θα πρέπει να είναι ικανή να αναπαραστήσει
- ❖ Αναφέρετε 3 μεθόδους Αναπαράστασης Γνώσης
- ❖ Τα πλαίσια έχουν δυνατότητα λόγω της ιεραρχίας
- ❖ Αναφέρετε τρεις από τις πιο γνωστές στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων
- ❖ Γιατί η φυσική γλώσσα είναι ακατάλληλη για αναπαράσταση γνώσης σε υπολογιστικά συστήματα?
- ❖ Πλάισια (Frames): α) Τι είναι, από τι αποτελούνται, β) Διαφορά τους από τις Εγγραφές και τα σημασιολογικά δίκτυα.



Κυκλώστε το αντίστοιχο γράμμα Σ (ωστό) – Λ (άθος) στις επόμενες ερωτήσεις: (Προσοχή Σε αυτό το θέμα υπάρχει αρνητική βαθμολογία)

Τα πλαίσια δεν υποστηρίζουν κληρονομικότητα	Σ	Λ
Η μετα-γνώση είναι η γνώση που προκύπτει από την εφαρμογή κανόνων πάνω στην αρχική γνώση.	Σ	Λ
Ένα μειονέκτημα των πλαισίων είναι η πολλαπλή κληρονομικότητα	Σ	Λ



Ασκήσεις

- ❖ Έχω τους ορισμούς των παρακάτω 3 πλαισίων-κλάσεων και 1 πλαισίου-στιγμιότυπου:

<code>Class: Mammal isa: Animal has_head: yes warm_blooded: yes eats: everything</code>	<code>Class: Carnivore isa: Mammal eats: meat</code>	<code>Class: Feline isa: Carnivore, Mammal sharp_claws: yes</code>
---	--	--

<code>Instance: Silvestre isa: Carnivore likes: birds eats: birds</code>
--

- ❖ Ερώτηση

☐ Ποια είναι η τιμή της σχισμής **eats** για το στιγμιότυπο **Silvestre**; Γιατί;

- ❖ Απάντηση

☐ Αφού το **Silvestre** έχει ορισμένη τιμή για τη σχισμή **eats** τότε αυτή υπερισχύει των τιμών που κληρονομούνται από την ιεραρχία των κλάσεων. Άρα η τιμή είναι **birds**.



- ❖ Έχω τους ορισμούς των παρακάτω 2 πλαισίων-κλάσεων και 1 πλαισίου-στιγμιότυπου:

Class:Mammal isa: Animal has_head: yes warm_blooded: yes eats: everything	Class:Carnivore isa: Mammal eats: meat	Instance: Silvestre instance_of: Carnivore likes: birds
--	---	--

- ❖ Ερώτηση

☐ Ποια είναι η τιμή της σχισμής **eats** για το στιγμιότυπο **Silvestre**;

- ❖ Απάντηση

- ☐ Αφού το **Silvestre** δεν έχει ορισμένη τιμή για τη σχισμή **eats** τότε αυτή κληρονομείται από την ιεραρχία των κλάσεων.
- ☐ Η άμεση κλάση είναι η **Carnivore**, η οποία έχει τιμή για τη σχισμή **eats**.
- ☐ Άρα η τιμή είναι **meat**.



- ❖ Έχω τους ορισμούς των παρακάτω 2 πλαισίων-κλάσεων και 1 πλαισίου-στιγμιότυπου:

Class:Mammal isa: Animal has_head: yes warm_blooded: yes eats: everything	Class:Cat isa: Mammal has_claws: yes	Instance: Silvestre instance_of: Cat likes: birds
--	---	--

- ❖ Ερώτηση

☐ Ποια είναι η τιμή της σχισμής **eats** για το στιγμιότυπο **Silvestre**;

- ❖ Απάντηση

- ☐ Αφού το **Silvestre** δεν έχει ορισμένη τιμή για τη σχισμή **eats** τότε αυτή κληρονομείται από την ιεραρχία των κλάσεων.
- ☐ Η άμεση κλάση είναι η **Cat**, η οποία δεν έχει τιμή για τη σχισμή **eats**.
- ☐ Η αμέσως επόμενη κλάση είναι η **Mammal**, η οποία έχει τιμή για τη σχισμή **eats**.
- ☐ Άρα η τιμή είναι **everything**.