

Μία άλλη διαφορά μεταξύ των πλαισίων και των αντικειμένων είναι η *διαβαθμισμένη* πρόσβαση στις ιδιότητες των αντικειμένων, οι τιμές των οποίων δεν είναι πάντα προσβάσιμες σε τρίτους. Στα πλαίσια, οι τιμές των *ιδιοτήτων* (*slots*) είναι πάντα προσβάσιμες για ανάγνωση και εγγραφή από τη γλώσσα προγραμματισμού.

Τέλος, στα βασισμένα σε πλαίσια προγράμματα ο υπόλοιπος κώδικας ελέγχου είναι αποθηκευμένος εκτός των πλαισίων. Αντίθετα, τα αντικείμενα εμπεριέχουν αυτόν τον κώδικα μέσα τους, με τη μορφή μεθόδων. Στα πλαίσια, υπάρχει η δυνατότητα να αποθηκευτούν μικρές διαδικασίες ως *δαίμονες* προσκολλημένοι σε κάποιες ιδιότητες και να ενεργοποιούνται αυτόματα όταν γίνει πρόσβαση στις ιδιότητες. Στα αντικείμενα, οι μέθοδοι κατά κύριο λόγο ενεργοποιούνται με την εκούσια αποστολή μηνυμάτων από τους χρήστες ή από μεθόδους άλλων αντικειμένων.

Οι σύγχρονες αντικειμενοστραφείς γλώσσες προγραμματισμού (JAVA, C++, C#, PYTHON, DELPHI) έχουν εμπλουτιστεί πλέον με πληθώρα χαρακτηριστικών και συνοδεύονται από ισχυρά οπτικά (*visual*) προγραμματιστικά περιβάλλοντα. Σαν αποτέλεσμα, η χρήση αντικειμένων αντί πλαισίων στην ΤΝ είναι πλέον περισσότερο συχνή.

## 10.4 Οντολογίες

*Οντολογία* (*ontology*) είναι η αυστηρά μαθηματική (*formal*) περιγραφή ενός πεδίου γνώσης (*domain*) και περιλαμβάνει ένα σύνολο από *όρους* (*terms*) και τις *σημασιολογικές συσχετίσεις* μεταξύ τους. Οι όροι περιγράφουν *κλάσεις* αντικείμενων, δηλαδή έννοιες-πρότυπα σχετικές με αντικείμενα, όπως για παράδειγμα οι έννοιες *μάθημα*, *καθηγητής*, *φοιτητής* σε ένα Πανεπιστήμιο. Οι συσχετίσεις αφορούν είτε ιεραρχικές εξαρτήσεις μεταξύ των όρων, όπως για παράδειγμα "*οι μεταπτυχιακοί φοιτητές είναι ειδική περίπτωση φοιτητών*", ή άλλων συσχετίσεων μεταξύ αντικειμένων, όπως για παράδειγμα "*ένα μάθημα διδάσκεται από καθηγητές και το παρακολουθούν φοιτητές*". Άλλες πληροφορίες που μπορεί να υπάρχουν σε μία οντολογία είναι οι ιδιότητες (*properties*) των όρων (π.χ. *όνομα*, *τηλέφωνο*, *αριθμός μητρώου*), *περιορισμοί* (*restrictions*) γύρω από αυτές (π.χ. *ο αριθμός μητρώου είναι ακέραιος αριθμός*), *σχέσεις ισοδυναμίας* (*equivalence*) και *αντίθεσης* (*disjointness*) (π.χ. *κάποιος καθηγητής δεν μπορεί να είναι φοιτητής*), καθώς και *σημασιολογικοί συσχετισμοί* (*semantic relationships*) μεταξύ των όρων με τη χρήση της λογικής. Συνήθως όμως, τα πιο πολύπλοκα συστήματα εξαγωγής λογικών συμπερασμάτων, μέσω συμπερασματικών κανόνων (βλ. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11), διαχωρίζονται από τις οντολογίες.

Οι οντολογίες βασίζονται σε ένα υποσύνολο της κατηγορηματικής λογικής πρώτης τάξης που ονομάζεται *περιγραφική λογική* (*description logic*) και από εκεί αντλούν την αυστηρά μαθηματική τους σημασιολογία αλλά και την ικανότητα εξαγωγής συμπερασμάτων. Οι δυνατότητες που παρέχουν οι οντολογίες για εξαγωγή συμπερασμάτων με την βοήθεια των *μηχανών εξαγωγής συμπερασμάτων* (*inference engines* ή *reasoners*), συμπεριλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Έλεγχος του αν κάποιο αντικείμενο *ανήκει* σε κάποια κλάση ή όχι (*class membership*). Αυτό γίνεται εύκολα ακολουθώντας τις ιεραρχικές συσχετίσεις της οντολογίας. Για παράδειγμα:

```
x instance_of A, A isa B | x instance_of B
```

- Έλεγχος της *ισοδυναμίας* ή *αντίθεσης* μεταξύ κλάσεων, ακολουθώντας τις σχέσεις ισοδυναμίας ή/και αντίθεσης μεταξύ των κλάσεων. Για παράδειγμα:

```
A ≡ B, B ≡ Γ ⊢ A ≡ Γ
A ≠ B, B ≡ Γ ⊢ A ≠ Γ
```

- Έλεγχος της *ισότητας* (*equality*) μεταξύ κλάσεων ή αντικειμένων βάσει λογικών συμπερασμών που προκύπτουν από την επεξεργασία των δηλώσεων και των περιορισμών της οντολογίας. Για παράδειγμα:

```
P: ∀X ∀Y ∀Z mother(Y,X) ∧ mother(Z,X) → Y = Z
      // Όλοι έχουν μία και μόνο μία μητέρα
Q: mother(mary, john)      // Ο john έχει δύο μητέρες mary και maria
R: mother(maria, john)

P, Q, R ⊢ mary = maria    // Οι mary και maria είναι το ίδιο πρόσωπο
```

- Έλεγχος *ασυνεπειών* (*inconsistencies*) της οντολογίας, όταν υπάρχουν αλληλοαναιρούμενοι περιορισμοί και δηλώσεις. Για παράδειγμα:

```
P: ∀X ∀Y ∀Z mother(Y,X) ∧ mother(Z,X) → Y = Z
      // Όλοι έχουν μία και μόνο μία μητέρα
Q: mother(mary, john)      // Ο john έχει δύο μητέρες mary και maria
R: mother(maria, john)

W: mary ≠ maria           // Οι mary και maria είναι διαφορετικά πρόσωπα

P, Q, R, W ⊢ ⊥           // ΑΤΟΠΟ
```

- Αυτόματη *κατηγοριοποίηση* (*ταξινόμηση*) αντικειμένων στην ιεραρχία των κλάσεων όταν δεν είναι γνωστή η κλάση στην οποία ανήκουν αλλά είναι γνωστές οι ιδιότητές τους. Η κατηγοριοποίηση γίνεται συγκρίνοντας τις τιμές των ιδιοτήτων των αγνώστων αντικειμένων με τους περιορισμούς των κλάσεων. Για παράδειγμα:

```
// Ένας φοιτητής είναι μεταπτυχιακός, εάν και μόνο εάν
// παρακολουθεί κάποιο μεταπτυχιακό μάθημα
P: ∀X postgraduateStudent(X) ↔
  ∃C student(X) ∧ attends(X,C) ∧ postgraduateCourse(C)
  // Ο john είναι φοιτητής
Q: student(john)
  // Ο john παρακολουθεί το μάθημα "Semantic Web"
R: attends(john, semanticWeb)
  // Το "Semantic Web" είναι μεταπτυχιακό μάθημα
W: postgraduateCourse(semanticWeb)
  // Ο john είναι μεταπτυχιακός φοιτητής
P, Q, R, W ⊢ postgraduateStudent(john)
```

Οι οντολογίες έχουν γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια κυρίως στο πλαίσιο του *Σημαιολογικού Ιστού* με κυριότερη γλώσσα οντολογιών την OWL (βλ. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 29).

Οι οντολογίες παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με τα πλαίσια, όπως είναι οι κλάσεις, που εκφράζουν τις έννοιες του γνωστικού πεδίου, τα στιγμιότυπα ή αντικείμενα, που εκφράζουν τα παραδείγματα των εννοιών, οι ιδιότητες ή σχισμές, που εκφράζουν τα χαρακτηριστικά και τις σχέσεις μεταξύ των εννοιών και στιγμιοτύπων, και οι περιορισμοί ή όψεις, που εκφράζουν *περιορισμούς* (*restrictions*) ή *δεσμεύσεις* (*constraints*) πάνω στις τιμές των ιδιοτήτων / σχισμών. Υπάρχουν όμως και σημαντικές διαφορές, οι οποίες οφείλονται κυρίως σε δύο βασικές *υποθέσεις* (*assumptions*) που κάνουν οι δύο αυτές αναπαραστάσεις.

Η πρώτη είναι η *υπόθεση των μοναδικών ονομάτων* (*unique name assumption*) σύμφωνα με την οποία όταν δύο αντικείμενα ή στιγμιότυπα αναπαρίστανται με διαφορετικά ονόματα (IDs) τότε πρόκειται όντως για διαφορετικές οντότητες του πραγματικού κόσμου. Στα πλαίσια, όπως και γενικότερα στα "κλειστά" Πληροφοριακά Συστήματα (π.χ. λογικός προγραμματισμός, βάσεις δεδομένων, κλπ.) ισχύει αυτή η υπόθεση, ενώ στις οντολογίες όχι, όπως φαίνεται και από τον *έλεγχο ισότητας* παραπάνω. Η αιτιολόγηση της μη-ύπαρξης μοναδικών ονομάτων έγκειται στο γεγονός ότι στον ανοιχτό κόσμο του παγκόσμιου ιστού η ίδια φυσική οντότητα μπορεί να ονομάζεται διαφορετικά από διαφορετικούς χρήστες.

Η δεύτερη είναι η *υπόθεση του κλειστού ή ανοιχτού κόσμου* (*open - closed world assumption*). Στα πλαίσια, στα οποία ισχύει η υπόθεση του κλειστού κόσμου, όπως και γενικότερα στα "κλειστά" Πληροφοριακά Συστήματα, αν κάποιο δεδομένο δεν μπορεί να βρεθεί ή αν κάποιο συμπέρασμα δεν μπορεί να αποδειχθεί, τότε θεωρείται ότι δεν ισχύει, δηλαδή θεωρείται ότι είναι ψευδές (ισχύει η άρνησή του). Αντιθέτως, στις οντολογίες, ισχύει η υπόθεση του ανοιχτού κόσμου, δηλαδή αν κάτι δεν μπορεί να αποδειχθεί δεν σημαίνει ότι ισχύει η άρνησή του. Συνεπώς στις οντολογίες, όταν κάποιο γεγονός δεν ισχύει πρέπει να δηλωθεί σαφώς η άρνησή του.

Συνέπειες των παραπάνω υποθέσεων είναι και η διαφορά στην αντιμετώπιση των περιορισμών ανάμεσα στα πλαίσια και στις οντολογίες. Στα πλαίσια οι περιορισμοί έχουν εξ' ορισμού αποτρεπτικό χαρακτήρα, καθώς θεωρούνται *δεσμεύσεις ακεραιότητας* (*integrity constraints*). Για παράδειγμα, ο περιορισμός "κάθε μεταπτυχιακός φοιτητής παρακολουθεί τουλάχιστον ένα μεταπτυχιακό μάθημα" θεωρείται αποτρεπτικός για την αποδοχή ενός στιγμιοτύπου στην αντίστοιχη κλάση. Αν επιχειρηθεί η δημιουργία κάποιου αντικειμένου της συγκεκριμένης κλάσης ενώ δεν πληροί τον συγκεκριμένο περιορισμό, τότε η δημιουργία του αντικειμένου θα απορριφθεί από το σύστημα.

Αντιθέτως, στις οντολογίες οι περιορισμοί θεωρούνται *αναγκαίες συνθήκες* (*necessary conditions*), δηλαδή αν ένα αντικείμενο ανήκει σε κάποια κλάση θα πρέπει *κατ' ανάγκη* να ικανοποιεί τους περιορισμούς. Για παράδειγμα, αν υπάρχει ο περιορισμός ότι "οι μεταπτυχιακοί φοιτητές παρακολουθούν μόνο μεταπτυχιακά μαθήματα" και υπάρχει ένας φοιτητής ο οποίος παρακολουθεί κάποιο μάθημα που δεν είναι μεταπτυχιακό, τότε αυτό το μάθημα θα ενταχθεί *αναγκαστικά* στην κλάση των μεταπτυχιακών μαθημάτων, προκειμένου να ικανοποιηθεί ο περιορισμός. Οι αναγκαίες συνθήκες, όπως η προηγούμενη, χρησιμοποιούνται στην *αυτόματη κατηγοριοποίηση* που παρουσιάστηκε παραπάνω.

Συνεπώς, στις οντολογίες οι περιορισμοί, ως ικανές συνθήκες, καθορίζουν τις λογικές *δυνατότητες* ενός αντικειμένου και όχι τις λογικές *απαγορεύσεις* που αυτό υφίστα-