

```

:receiver agentB
:content "(any ?x (and (bookstore ?x) (open ?x)))"
:language fipa-sl
:reply-with storequery1

(inform
:sender agentB
:receiver agentA
:content "(= (any ?x (and (bookstore ?x) (open ?x)) fine-books)"
:language fipa-sl
:in-reply-to storequery1)

```

Το σύνολο των προτύπων του οργανισμού περιλαμβάνει εκτός από το πρότυπο των γλωσσών FIPA ACL και SL και την προτυποποίηση πρωτοκόλλων αλληλεπίδρασης πρακτόρων.

28.3 Πρωτόκολλα Αλληλεπίδρασης

Τα πρωτόκολλα αλληλεπίδρασης δίνουν τη δυνατότητα στους πράκτορες να ανταλλάσσουν ακολουθίες μηνυμάτων, να έχουν δηλαδή συζητήσεις (conversations), με απώτερο σκοπό το συντονισμό τους. Ο συντονισμός στα πολυπρακτορικά συστήματα είναι η διαδικασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η λογικά συνεπής λειτουργία ολόκληρου του συστήματος και είναι απαραίτητη για τους ακόλουθους λόγους:

- *Την αποφυγή καταστάσεων χάους.* Αυτές μπορεί να προκύψουν πολύ εύκολα σε ένα πολυπρακτορικό σύστημα, καθώς κανένας πράκτορας δεν έχει πλήρη εικόνα της κοινότητας των πρακτόρων στην οποία λειτουργεί, με αποτέλεσμα οι ενέργειες των πρακτόρων να έρθουν σε σύγκρουση.
- *Την ικανοποίηση καθολικών περιορισμών.* Για παράδειγμα, οι πράκτορες που συμμετέχουν στη σχεδίαση (design) ενός συστήματος πρέπει να φροντίζουν να μην ξεπερνούν το συνολικό κόστος που έχει προδιαγραφεί για το σύστημα.
- *Την εκμετάλλευση κατανεμημένης εμπειρογνωμοσύνης.* Σε ένα σύστημα ενδέχεται οι πράκτορες να έχουν διαφορετικές ικανότητες (skills), οι οποίες πρέπει να συνδυαστούν για την επίλυση του προβλήματος.
- *Την αύξηση της αποδοτικότητας.* Ένα πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί σε λιγότερο χρόνο από μια ομάδα πρακτόρων με τις ίδιες ικανότητες σε σχέση με ένα μόνο πράκτορα.

Ο συντονισμός μεταξύ πρακτόρων με κοινό στόχο αναφέρεται ως *συνεργασία (cooperation)*, ενώ μεταξύ πρακτόρων με αλληλοσυγκρουόμενους προσωπικούς στόχους ως *διαπραγμάτευση (negotiation)* ή *ανταγωνισμός (competition)*. Οι δύο κατηγορίες έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό ότι απαιτείται η εξασφάλιση της λογικά συνεπούς λειτουργίας του συστήματος. Μια θεώρηση του συντονισμού περιλαμβάνει την έκφραση των σχέσεων μεταξύ των πρακτόρων ενός συστήματος σαν ένα σύνολο *δεσμεύσεων (commitments)* και *συμβάσεων (conventions)*. Οι δεσμεύσεις αποτελούν αναλήψεις εργασιών από έναν πράκτορα ως "υπόσχεση" προς κάποιον άλλο, ή ανάληψη μιας εργασίας από μια ομάδα πρακτόρων, οπότε και ονομάζονται *κοινές δεσμεύσεις (joint*

commitments). Οι συμβάσεις αποτελούν τον τρόπο διαχείρισης και εποπτείας των δεσμεύσεων, με άλλα λόγια καθορίζουν το πώς θα πρέπει να αντιδράσει ο πράκτορας σε περίπτωση που το περιβάλλον αλλάξει ή απλά η συγκεκριμένη εργασία ολοκληρωθεί. Έτσι για παράδειγμα, αν μια ομάδα πρακτόρων αναλάβει από κοινού τη διεκπεραίωση μιας εργασίας και ένας εξ αυτών διαπιστώσει ότι ο στόχος είναι αδύνατο να επιτευχθεί τότε θα πρέπει να ενημερώσει (σύμφωνα με την αντίστοιχη κοινωνική σύμβαση) τους υπόλοιπους πράκτορες της ομάδας.

Οι δεσμεύσεις και οι συμβάσεις αποτελούν σημαντικό εργαλείο στη μοντελοποίηση και κατανόηση του συντονισμού των πολυπρακτορικών συστημάτων καθώς σύμφωνα με την υπόθεση του "*κεντρικού ρόλου των δεσμεύσεων και συμβάσεων*" (*centrality of commitments and conventions hypothesis*) που διατυπώθηκε από τον N. Jennings "*όλοι οι μηχανισμοί συντονισμού μπορούν να αναχθούν σε (κοινές) δεσμεύσεις και τις αντίστοιχες τους (κοινωνικές) συμβάσεις*".

Τα πρωτόκολλα που έχουν προταθεί για το συντονισμό μεταξύ των πρακτόρων μπορούν να καταταχθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- *Πρωτόκολλα συνεργασίας*, με κύριο χαρακτηριστικό την αποδόμηση του προβλήματος σε υποπροβλήματα, τον διαμοιρασμός τους στους πράκτορες και την σύνθεση των λύσεων στο τελικό στάδιο της επίλυσης του προβλήματος.
- *Πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης*, με κύριο χαρακτηριστικό ότι κάθε πράκτορας που συμμετέχει προσπαθεί να μεγιστοποιήσει το προσωπικό του όφελος, μέσα από τη διαδικασία αλληλεπίδρασης.

28.4 Πρωτόκολλα Συνεργασίας

Τρία βασικά πρωτόκολλα ανήκουν στην κατηγορία των πρωτοκόλλων συνεργασίας:

- Πρωτόκολλα βασισμένα στην οργάνωση.
- Πρωτόκολλα πολυπρακτορικού σχεδιασμού.
- Πρωτόκολλα σύναψης συμβολαίων.

Τα *πρωτόκολλα βασισμένα στην οργάνωση* (*organizational structure*) προϋποθέτουν μια οργανωτική δομή των πρακτόρων, βάσει της οποίας κάθε ένας έχει συγκεκριμένο ρόλο, υπευθυνότητες και ικανότητες μέσα στην κοινότητα των πρακτόρων. Τα πρωτόκολλα αυτά οδηγούν σε μια αρχιτεκτονική κατανομή εργασίας τύπου *master-slave*, η οποία μπορεί να υλοποιηθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- Ένας κεντρικός πράκτορας αναλαμβάνει το χωρισμό του προβλήματος σε υποπροβλήματα, τα οποία διαμοιράζει στους άλλους πράκτορες (*slaves*). Οι τελευταίοι μπορούν ίσως να επικοινωνούν μεταξύ τους, χωρίς ωστόσο να είναι απαραίτητο, αλλά πάντα επιστρέφουν τα αποτελέσματα στον κεντρικό πράκτορα.
- Μέσω ενός συστήματος *μαυροπίνακα* (Σχήμα 28.1) στο οποίο αποθηκεύονται τόσο τα υποπροβλήματα που πρέπει να επιλυθούν, όσο και τα αποτελέσματα. Στην περίπτωση αυτή ο συντονισμός μεταξύ των πρακτόρων επιτυγχάνεται είτε μέσω ενός πράκτορα (*scheduling agent*) ο οποίος ελέγχει την προσπέλαση των άλλων πρακτόρων στο μαυροπίνακα ή μέσω του σαφούς καθορισμού των αρμοδιοτήτων του κάθε πράκτορα που συμμετέχει στο σύστημα.

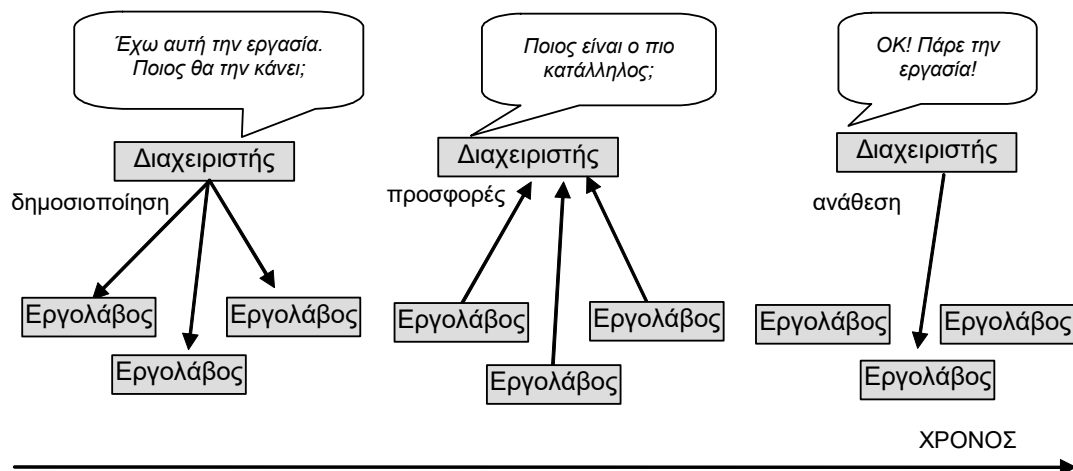
Στο *πολυπρακτορικό σχεδιασμό (multi-agent planning)* οι πράκτορες συντάσσουν ένα πλάνο ενεργειών, βάσει του οποίου θα επιλύσουν ένα πρόβλημα. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης το πλάνο αναθεωρείται βάσει των νέων στοιχείων και αποτελεσμάτων. Δύο είναι οι τύποι πολυπρακτορικού σχεδιασμού:

- *Κεντρικός πολυπρακτορικός σχεδιασμός (centralized multi-agent planning)*, στον οποίο ένας κεντρικός πράκτορας αναλαμβάνει τη συλλογή των επιμέρους πλάνων (partial or local plans) από τους πράκτορες, τον συνδυασμό τους σε ένα πλάνο και την επίλυση τυχόν συγκρούσεις που θα εμφανιστούν σε αυτό.
- *Κατανεμημένος πολυπρακτορικός σχεδιασμός (distributed multi-agent planning)*, στον οποίο οι πράκτορες επικοινωνούν μεταξύ τους για τη δημιουργία των πλάνων τους και την επίλυση τυχόν συγκρούσεων που προκύπτουν.

Στις επόμενες παραγράφους θα εξετάσουμε με περισσότερη λεπτομέρεια τα πρωτόκολλα σύναψης συμβολαίων.

28.4.1 Πρωτόκολλα Σύναψης Συμβολαίων

Τα *πρωτόκολλα σύναψης συμβολαίων (contracting net protocol)* βασίζονται στη δημιουργία ενός *δικτύου σύναψης συμβολαίων (contract net)* και είναι βασισμένα στον τρόπο που λειτουργεί ο επιχειρηματικός κόσμος. Τα πρωτόκολλα αυτά κατατάσσονται στην κατηγορία των πρωτοκόλλων συνεργασίας, όπου θεωρείται ότι οι πράκτορες που συμμετέχουν έχουν ένα κοινό στόχο, τον οποίο προσπαθούν να επιτύχουν από κοινού. Στο μοντέλο αυτό κάθε πράκτορας μπορεί να αναλάβει δύο ρόλους:



Σχήμα 28.10: Ανάθεση προβλημάτων από την πλευρά του διαχειριστή.

- το ρόλο του *διαχειριστή (manager)*, ο οποίος χωρίζει το πρόβλημα σε υποπροβλήματα, αναλαμβάνει να τα αναθέσει στους εργολάβους (contractors), καθώς και να επιβλέπει την πορεία της λύσης, ή
- το ρόλο του *εργολάβου (contractor)*, ο οποίος αναλαμβάνει να λύσει ένα υποπρόβλημα. Οι εργολάβοι μπορούν να χωρίσουν το υποπρόβλημα που έχουν αναλάβει σε περισσότερα υποπροβλήματα και με τη σειρά τους να το αναθέσουν σε άλλους πράκτορες.