

νέα στιγμιότυπα κανόνων, αλλά και αφαιρούνται κάποια στιγμιότυπα κανόνων του προηγούμενου κύκλου. Η αφαίρεση στιγμιότυπων κανόνων γίνεται για δύο λόγους:

- Όταν ένα στιγμιότυπο κανόνα πυροδοτείται, τότε αφαιρείται από το σύνολο συγκρούσεων.
- Όταν αφαιρούνται από τον χώρο εργασίας ή τροποποιούνται τα γεγονότα που οδήγησαν στην ενεργοποίηση ενός στιγμιότυπου κανόνα, λόγω των ενεργειών ενός κανόνα που εκτελέστηκε στον προηγούμενο κύκλο, τότε το στιγμιότυπο κανόνα αφαιρείται από το σύνολο συγκρούσεων.

Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχουν στον χώρο εργασίας τα γεγονότα **F1**, **F2** και στη βάση κανόνων οι κανόνες **R1**, **R2** (η ενέργεια **delwm** διαγράφει από τον χώρο εργασίας το αντίστοιχο γεγονός):

```
R1: if A then delwm(B)
R2: if B then addwm(C)
F1: A
F2: B
```

Στον πρώτο κύκλο λειτουργίας ενεργοποιούνται και εισέρχονται στο σύνολο συγκρούσεων και οι δύο κανόνες. Έστω ότι για κάποιον λόγο (αναλύονται οι στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων στην επόμενη ενότητα) πυροδοτείται πρώτα ο κανόνας **R1**, στις ενέργειες του οποίου συμπεριλαμβάνεται η διαγραφή του γεγονότος **B**, το οποίο είχε ενεργοποιήσει τον κανόνα **R2** στον πρώτο κύκλο. Στον δεύτερο κύκλο θα διαγραφεί ο κανόνας **R2** από το σύνολο συγκρούσεων, γιατί πλέον η συνθήκη του δεν ικανοποιείται από τα τρέχοντα περιεχόμενα του χώρου εργασίας. Συνεπώς, αν δεν υπάρχουν άλλοι κανόνες στη βάση κανόνων, το σύστημα παραγωγής θα τερματίσει την λειτουργία του και στον χώρο εργασίας θα υπάρχει μόνο το γεγονός **A**.

Με την βοήθεια του παραπάνω παραδείγματος επιδεικνύεται ότι η σειρά εκτέλεσης των κανόνων είναι πολύ σημαντική για τα αποτελέσματα ενός συστήματος παραγωγής. Αν στο προηγούμενο παράδειγμα επιλεγθεί να πυροδοτηθεί πρώτα ο κανόνας **R1** στον πρώτο κύκλο λειτουργίας, τότε θα προστεθεί το γεγονός **C** στην μνήμη, ενώ στην συνέχεια θα πυροδοτηθεί στον δεύτερο κύκλο ο κανόνας **R2** ο οποίος θα διαγράψει το γεγονός **B**. Τελικά, στον χώρο εργασίας θα υπάρχουν τα γεγονότα **A** και **B**, αποτέλεσμα το οποίο διαφέρει από την προηγούμενη περίπτωση.

Ο έλεγχος της σειράς εκτέλεσης των κανόνων και συνεπώς τα αποτελέσματα ενός συστήματος παραγωγής εξαρτώνται από τις στρατηγικές επίλυσης συγκρούσεων που έχουν επιλεγθεί από τον προγραμματιστή του συστήματος. Συνεπώς, στα συστήματα παραγωγής ο προγραμματιστής μπορεί να ελέγξει έστω και έμμεσα την εκτέλεση των κανόνων, σε αντίθεση με τα συστήματα εξαγωγής συμπερασμάτων όπου οι δυνατότητες για έλεγχο της εκτέλεσης από τον προγραμματιστή είναι ελάχιστες. Αυτό οφείλεται σαφώς και στην διαφορετική φύση των δύο ειδών κανόνων, καθώς οι συμπερασματικοί κανόνες θεωρούνται υψηλού επιπέδου (δηλωτική γνώση), ενώ οι κανόνες παραγωγής χαμηλότερου επιπέδου (διαδικαστική γνώση).

### Αλγόριθμος RETE

Η φάση της ενεργοποίησης των κανόνων περιλαμβάνει όπως είδαμε την *ταυτοποίηση* των συνθηκών των κανόνων με τα γεγονότα στο χώρο εργασίας. Ο πιο απλός αλλά και αναποτελεσματικός (ή αφελής) τρόπος ταυτοποίησης είναι η αντιστοίχιση και ο έλεγχος όλων των συνθηκών όλων των κανόνων με όλα τα δεδομένα στη μνήμη εργασίας, σε κάθε κύκλο παραγωγής. Μία τέτοια προσέγγιση θα προκαλούσε σημαντική καθυστέρηση στην διαδικασία εκτέλεσης προγραμμάτων κανόνων παραγωγής που αγγίζει ακόμα και το 90% του συνολικού χρόνου εκτέλεσης. Προφανώς, έχουν προταθεί πολύ πιο "έξυπνοι" και αποτελεσματικοί αλγόριθμοι ταυτοποίησης, ο σημαντικότερος των οποίων είναι ο αλγόριθμος RETE. Το κύριο χαρακτηριστικό του αλγόριθμου RETE είναι ότι αποφασίζει ποιοι κανόνες ταυτοποιούνται με τα γεγονότα *επαυξητικά* (*incrementally*), δηλαδή σε κάθε κύκλο το σύνολο συγκρούσεων δεν υπολογίζεται από μηδενική βάση, αλλά μόνο τα στιγμιότυπα κανόνων που θα προστεθούν στο (ή θα αφαιρεθούν από το) ήδη υπάρχον σύνολο.

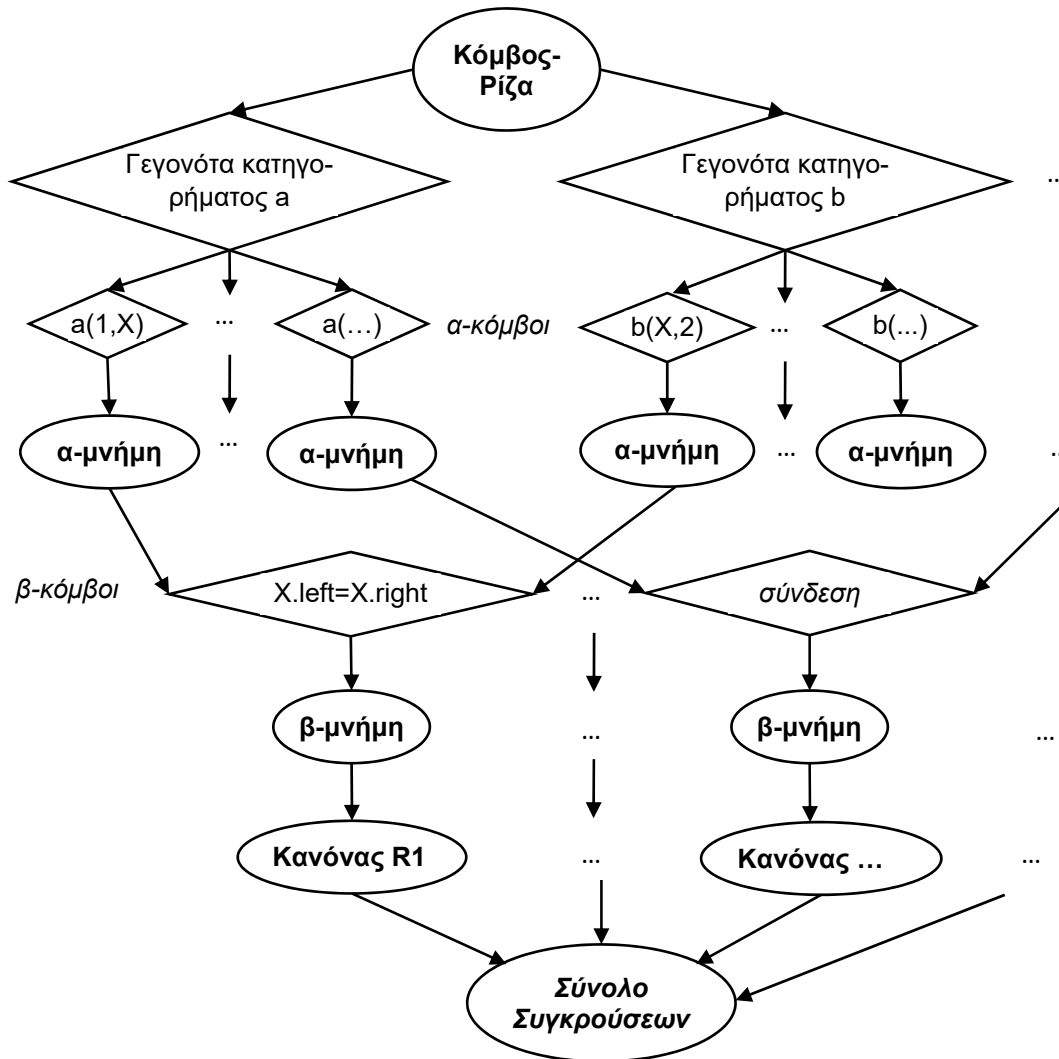
Ο αλγόριθμος RETE βασίζεται στην μετάφραση των συνθηκών των κανόνων παραγωγής σε έναν γράφο, ο οποίος ονομάζεται *δίκτυο διάκρισης* (*discrimination network*) ή *δίκτυο RETE* (*RETE network*). Ο παραπάνω γράφος δέχεται στην είσοδό του τις αλλαγές (προσθήκες/αφαιρέσεις) των γεγονότων στο χώρο εργασίας, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί κατά τον προηγούμενο κύκλο παραγωγής και παράγει στην έξοδό του τα στιγμιότυπα κανόνων που θα πρέπει να προστεθούν στο (ή να αφαιρεθούν από το) σύνολο συγκρούσεων. Το δίκτυο διάκρισης κρατάει κάποιες πληροφορίες για τα γεγονότα που εισήχθησαν στο παρελθόν, έτσι ώστε να μπορεί να αποφασίζει αν τα νέοι εισαχθέντα γεγονότα συνδυάζονται με τα παλιά μπορούν να ικανοποιήσουν τη συνθήκη κάποιου κανόνα.

Το δίκτυο *RETE* αποτελείται κυρίως από δύο είδη κόμβων σύγκρισης και δύο είδη κόμβων αποθήκευσης: τους α-κόμβους, που συνοδεύονται από τις α-μνήμες, και τους β-κόμβους, που συνοδεύονται από τις β-μνήμες (Σχήμα 11.7). Οι α-κόμβοι αντιστοιχούν στις συγκρίσεις των τιμών των παραμέτρων των στοιχείων της συνθήκης με σταθερές και οι α-μνήμες που τους συνοδεύουν αποθηκεύουν όλα τα γεγονότα της μνήμης εργασίας που ικανοποιούν τη συνθήκη της σύγκρισης του αντίστοιχου α-κόμβου. Στον παρακάτω κανόνα, για παράδειγμα, υπάρχουν δύο συγκρίσεις (με σταθερές), μια για κάθε γεγονός που εμφανίζεται στη συνθήκη του κανόνα, επομένως θα υπάρχουν στο αντίστοιχο δίκτυο *RETE* δύο ζεύγη α-κόμβων/α-μνημών: ένα για τα γεγονότα του κατηγορήματος **a** και ένα τα γεγονότα του κατηγορήματος **b**.

```
R1: if a(1,X) and b(X,2) then addwm(c(X))
```

Επίσης, στην συνθήκη του κανόνα **R1** υπάρχει μία κοινή μεταβλητή **X** ανάμεσα στα γεγονότα των δύο κατηγορημάτων. Η ύπαρξη κοινής μεταβλητής δηλώνει ότι αν δύο γεγονότα (**a** και **b**) ικανοποιούν τον κανόνα πρέπει να έχουν την ίδια τιμή για τη μεταβλητή **X**, και άρα την ανάγκη *σύνδεσης* (*join*) των δύο συνόλων γεγονότων βάσει του χαρακτηριστικού σύνδεσης, μέσω ενός β-κόμβου. Η σύνδεση δεν πραγματοποιείται μεταξύ όλων των γεγονότων των δύο κατηγορημάτων στην μνήμη εργασίας, αλλά μόνο μεταξύ των γεγονότων που ικανοποιούν τις συγκρίσεις με σταθερές και άρα είναι αποθηκευμένες στις α-μνήμες. Ο σκοπός, λοιπόν, της ύπαρξης των α-μνημών είναι η

μείωση του όγκου των γεγονότων που θα συνδεθούν λόγω των κοινών μεταβλητών, με αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου για την πραγματοποίηση της σύνδεσης.



Σχήμα 11.7: Δίκτυο RETE.

Οι συνδυασμοί γεγονότων που ικανοποιούν τη συνθήκη του β-κόμβου της σύνδεσης αποθηκεύονται στις **β-μνήμες**. Υπάρχουν τόσοι β-κόμβοι και ανάλογες β-μνήμες όσες και οι πράξεις της σύνδεσης που πρέπει να εκτελεστούν στη συνθήκη του κανόνα, λόγω κοινών μεταβλητών. Η πληροφορία για κάθε γεγονός ή συνδυασμό γεγονότων που προωθείται μέσα στο δίκτυο *RETE* ονομάζεται *κουπόνι (token)*. Η τελευταία β-μνήμη παράγει στην έξοδό της ένα κουπόνι το οποίο καλύπτει όλη την συνθήκη του κανόνα και υποδεικνύει ότι ο κανόνας έχει ενεργοποιηθεί και μπορεί να εισαχθεί στο σύνολο συγκρούσεων.

Μετά από την παρουσίαση του αλγορίθμου και του δικτύου RETE είναι φανερό ότι η δομή και λειτουργία ενός συστήματος παραγωγής που δόθηκε στο Σχήμα 11.6, στην οποία φαίνεται ότι τα τροποποιημένα γεγονότα διοχετεύονται μέσα από την βάση κανόνων προκειμένου να διαπιστωθεί ποιοι κανόνες ενεργοποιούνται, είναι υπεραπλου-