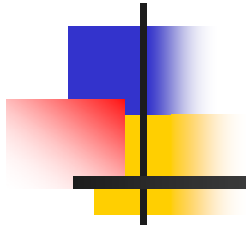
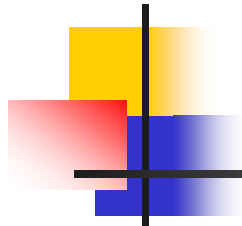


ΑΣΑΦΗ ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΟΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ





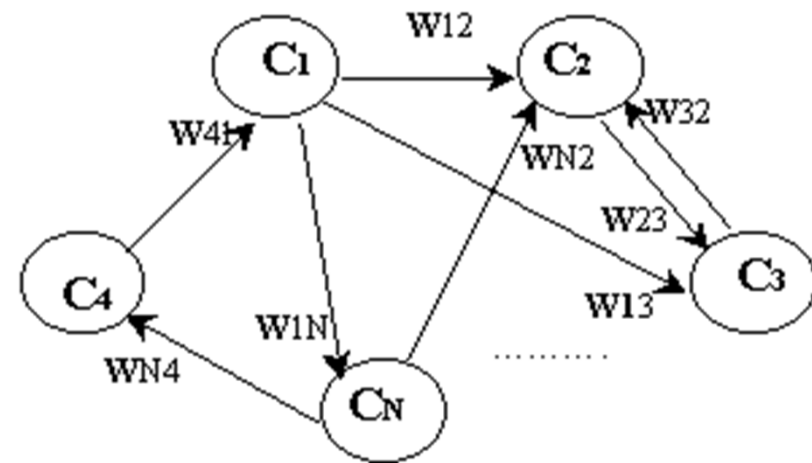
ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα (Fuzzy Cognitive Maps)
- Μαθηματικά Μοντέλα των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων
- Μεθοδολογίες Ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων
- Μοντελοποίηση και Έλεγχο ενός Συστήματος
- Μοντελοποίηση του συντονιστή ενός ιεραρχικού συστήματος
- Εφαρμογές Ασαφών Γνωστικών Δικτύων
- Ερευνητικές κατευθύνσεις

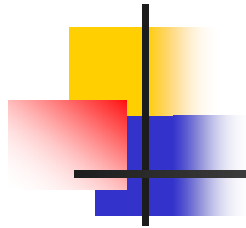
Ασαφή Γνωστικά Δίκτυα (Fuzzy Cognitive Maps)

Κόμβοι – Έννοιες (Concepts)

- Καταστάσεις (states)
- Μεταβλητές (variables)
- Γεγονότα (events)
- Εισόδους (inputs)
- Εξόδους (outputs)
- Βλάβες (failures)
- Ενέργειες (actions)
- Στόχους (goals)



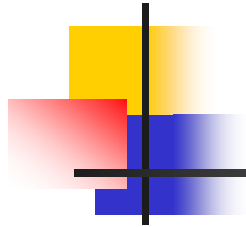
Διασυνδέσεις μεταξύ των εννοιών-κόμβων, εκφράζουν την υφιστάμενη σχέση αιτίας και αποτελέσματος



Σχέσεις Αιτίας και Αποτελέσματος

- Η κατεύθυνση της διασύνδεσης καταδεικνύει εάν η τιμή του κόμβου C_i επιδρά στην τιμή του κόμβου C_j , ή αντίστροφα.
- Η τιμή του βάρους μιας διασύνδεσης W_{ij} εκφράζει το βαθμό με τον οποίο ο κόμβος C_i επηρεάζει την τιμή του κόμβου C_j .
- Το πρόσημο του βάρους μιας διασύνδεσης W_{ij} εκφράζει εάν η σχέση μεταξύ των κόμβων είναι ανάλογη, δηλαδή αύξηση της τιμής του ενός κόμβου προκαλεί αύξηση στην τιμή και του άλλου κόμβου και αντιστρόφως.
- Θετική αιτιότητα μεταξύ δύο εννοιών $W_{ij} > 0$
- Αρνητική αιτιότητα $W_{ij} < 0$
- Καμία σχέση $W_{ij} = 0$.

Μέθοδος Υπολογισμού



$$A_i^t = f \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N A_j^{t-1} W_{ji} \right) \quad \begin{array}{l} W_{ij} \in [-1, 1] \\ A_i \in [0, 1] \end{array}$$

• A_i^t η τιμή του κόμβου C_i στο βήμα t

• A_j^{t-1} η τιμή του κόμβου C_j στο βήμα $t-1$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$$

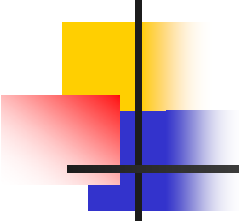
• W_{ij} η τιμή του βάρους της διασύνδεσης από κόμβο C_i προς C_j

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} 0 & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ \vdots & 0 & W_{ij} & \vdots \\ \vdots & W_{ji} & \ddots & \vdots \\ W_{N1} & \vdots & \vdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}^t = f(\mathbf{A}^{t-1} \mathbf{W})$$

Μαθηματικά μοντέλα ΑΓΔ

Μαθηματικό μοντέλο


$$A_i^t = f \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N A_j^{t-1} W_{ji} + A_i^{t-1} \right) \quad \text{Όπου δίνεται το } A_1^0$$

Γενικευμένη μέθοδος υπολογισμού

$$A_i^t = f \left(g_1 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N A_j^{t-1} W_{ji} + g_2 A_i^{t-1} \right) \quad 0 \leq g_1(t), g_2(t) \leq 1$$

Συνολικός κανόνας υπολογισμού τιμών σε κάθε βήμα

$$\mathbf{A}^t = f(\mathbf{A}^{t-1} \mathbf{W} + \mathbf{A}^{t-1})$$

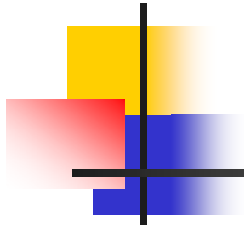
$$\mathbf{A}^t = f(g_1 \mathbf{A}^{t-1} \mathbf{W} + g_2 \mathbf{A}^{t-1})$$

Συναρτήσεις κατωφλίου (threshold)

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

$$f(x) = \tanh(x)$$

Διαδικασία Επιλογής και ανάπτυξης ΑΓΔ



- **Στάδιο I**

Επιλογή πλήθους N και του είδους κόμβων C_i που αποτελούν το ΑΓΔ

- **Στάδιο II**

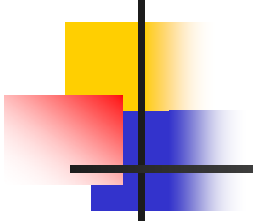
Καθορισμός συσχέτισης μεταξύ των κόμβων, ποιος κόμβος επηρεάζει ποιόν.

- **Στάδιο III**

Είδος της συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων: θετική $W_{ij} > 0$, είτε αρνητική $W_{ij} < 0$ ή δεν υφίσταται.

- **Στάδιο IV**

Καθορισμός του βαθμού συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων, ποια είναι η τιμή του βάρους διασύνδεσης W_{ij} μεταξύ των κόμβων



Μέθοδοι δημιουργίας και ανάπτυξης Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

1. Περιγραφή των βαρών του ΑΓΔ με χρήση Λεκτικών μεταβλητών

Οι ειδικοί χρησιμοποιούν λεκτικές μεταβλητές για να περιγράψουν τη συσχέτιση μεταξύ των κόμβων. Οι προτεινόμενες λεκτικές μεταβλητές συνδυάζονται και εξάγεται μια αριθμητική τιμή για κάθε βάρος W_{ij} διασύνδεσης.

2. Προσδιορισμός των βαρών του ΑΓΔ με το συμπερασμό ενός λεκτικού κανόνα

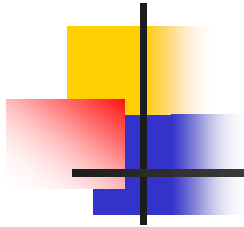
Περιγραφή της σχέσης μεταξύ δύο κόμβων με χρήση ενός λεκτικού κανόνα, από τον οποίο συμπεραίνεται μια λεκτική μεταβλητή για τη διασύνδεση

3. Συμπερασμός μιας συνάρτησης βάρους κάθε διασύνδεσης του ΑΓΔ με χρήση λεκτικών κανόνων

Περιγράφεται η σχέση μεταξύ δύο κόμβων με λεκτικούς κανόνες, από τους οποίους εξάγεται μια συνάρτηση που περιγράφει το βαθμό συσχέτισης των κόμβων.

ΜΕΘΟΔΟΣ Ι

Περιγραφή των βαρών του ΑΓΔ με χρήση Λεκτικών Μεταβλητών

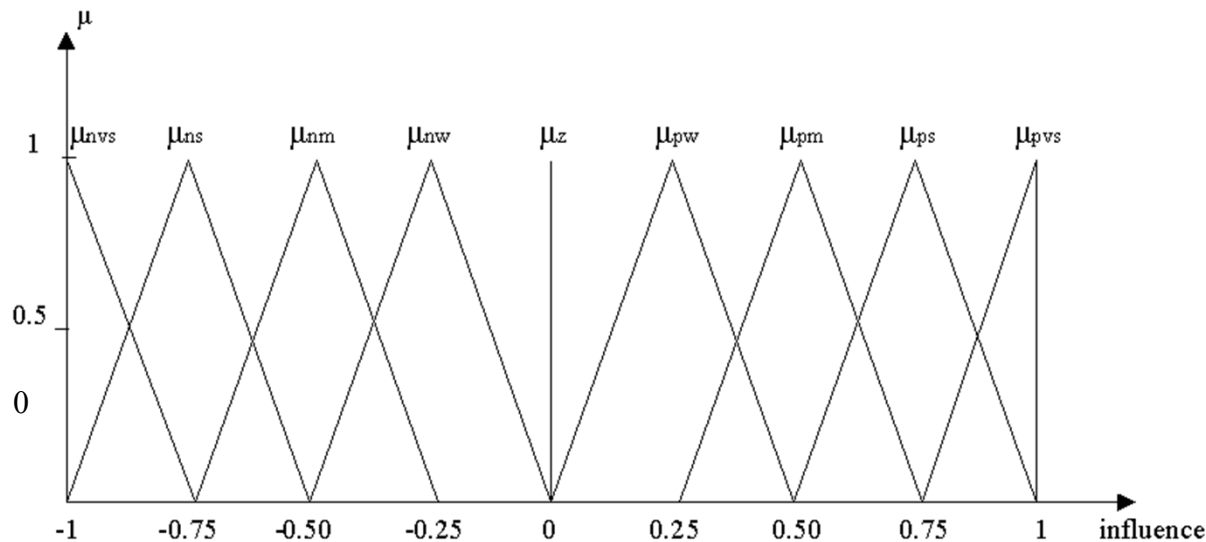


- *Ο βαθμός συσχέτισης W_{ij} μεταξύ δύο κόμβων εκφράζεται από τους ειδικούς με μια λεκτική μεταβλητή.*
- *Καθορίζεται το σύνολο στο οποίο παίρνουν τιμές οι λεκτικές μεταβλητές και οι συναρτήσεις συμμετοχής μ_i .*
- *Εφαρμόζεται μια μέθοδος (min-max) για το συνδυασμό των λεκτικών μεταβλητών, προκύπτει η συνολική σχέση και με αποασαφοποίηση με χρήση της μεθόδου Κέντρου Βάρους προκύπτει η αριθμητική τιμή του βάρους κάθε διασύνδεσης μεταξύ των κόμβων.*
- *Η προτεινόμενη μέθοδος είναι πιο αντικειμενική και είναι πιο εύκολο στους ειδικούς να περιγράψουν το βαθμό συσχέτισης μεταξύ δύο εννοιών με χρήση λεκτικών μεταβλητών.*

Παράδειγμα χρήσης Λεκτικών μεταβλητών

Προτείνεται λοιπόν, οι λεκτικές τιμές της μεταβλητής *Επίδραση* να ανήκουν στο ακόλουθο σύνολο:

$T(\text{Επίδραση}) = \{\text{αρνητικά πολύ ισχυρή, αρνητικά ισχυρή, αρνητικά μέση, αρνητικά αδύνατη, μηδενική, θετικά αδύνατη, θετικά μέση, θετικά ισχυρή, θετικά πολύ ισχυρή}\}$



- ◆ $M(\text{αρνητικά πολύ ισχυρή}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση μικρότερη από -75\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{nvs}$
- ◆ $M(\text{μηδενική}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο 0' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_z$
- ◆ $M(\text{θετικά ισχυρή}) = \text{το ασαφές σύνολο για 'επίδραση κοντά στο 75\%' με συνάρτηση συμμετοχής } \mu_{ps}$

ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΙ

Προσδιορισμός των βαρών του ΑΓΔ από το συμπέρασμα ενός λεκτικού κανόνα

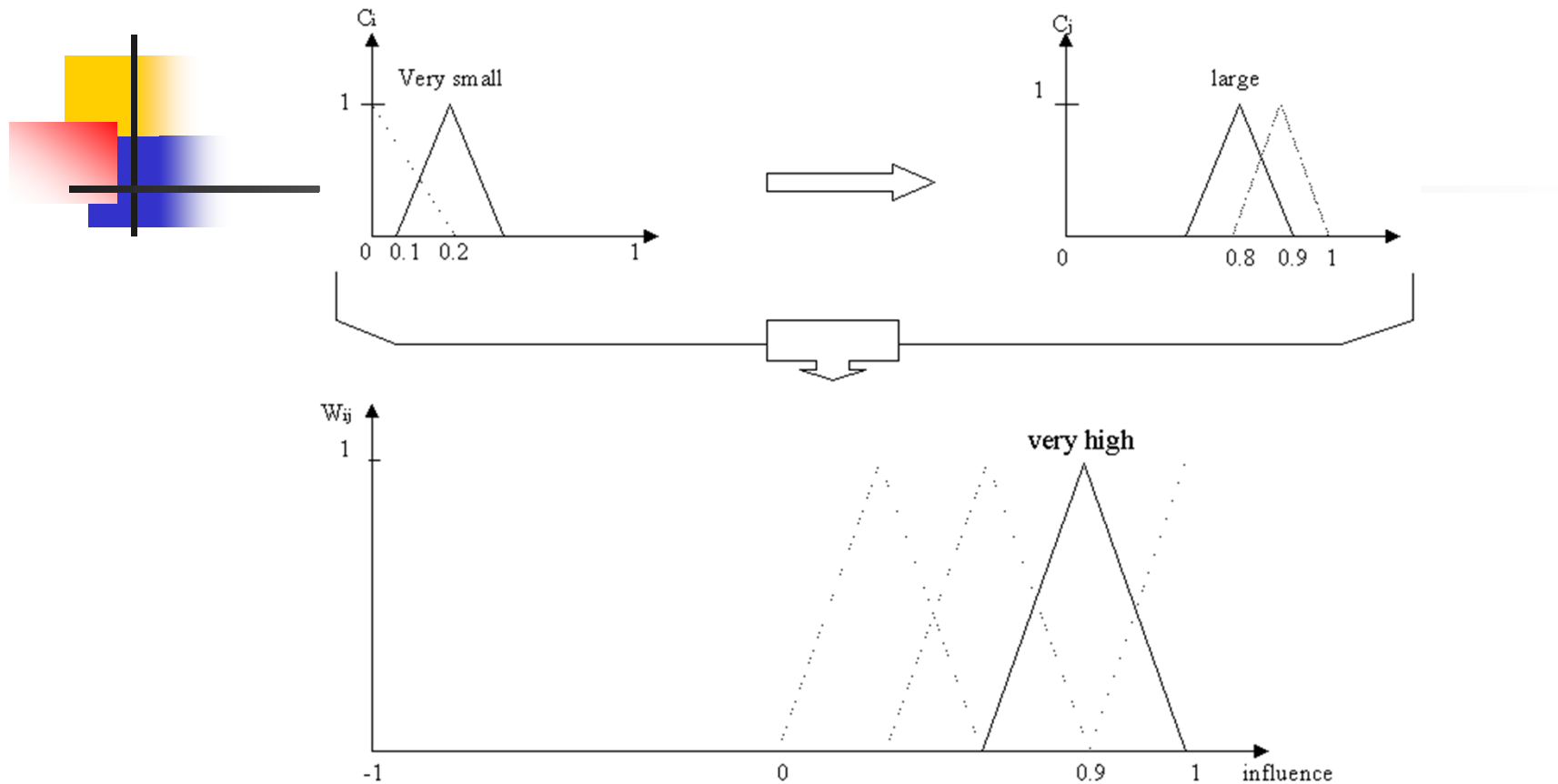
➤ Η σχέση αιτιότητας μεταξύ δύο κόμβων περιγράφεται με έναν λεκτικό κανόνα και ο οποίος συμπεραίνει το βαθμός συσχέτισης μεταξύ των κόμβων:

ΕΑΝ μια μεταβολή A συμβεί στην τιμή του κόμβου C_i ΤΟΤΕ μια μεταβολή B προκαλείται στην τιμή του κόμβου C_j και επομένως η επίδραση του κόμβου C_i στον κόμβο C_j θα είναι Γ

➤ Εφαρμόζεται μια μέθοδος για το συνδυασμό των λεκτικών μεταβλητών που συμπεραίνονται από το λεκτικό κανόνα και έτσι καθορίζονται τα βάρη των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων

➤ Η προτεινόμενη μέθοδος είναι πιο κατανοητή και καθοδηγεί τους ειδικούς να βγάλουν αντικειμενικά συμπεράσματα για τη σχέση των δύο κόμβων.

Παράδειγμα εφαρμογής ενός λεκτικού συμπερασμού



*ΕΑΝ μια **μικρή** αλλαγή συμβεί στην τιμή του κόμβου C_i ΤΟΤΕ μια **πάρα πολύ μεγάλη αλλαγή** συμβαίνει στην τιμή του κόμβου C_j*

Συμπέρασμα Σ4:

*Η επίδραση του C_i στο C_j είναι **θετική και πολύ μεγάλη** και άρα το W_{ij} είναι **θετικό και πολύ μεγάλο***

ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΙΙ

Χρήση ενός γλωσσικού κανόνα για την περιγραφή της
συσχέτισης μεταξύ δύο κόμβων και εξαγωγή μιας
συνάρτησης βάρους

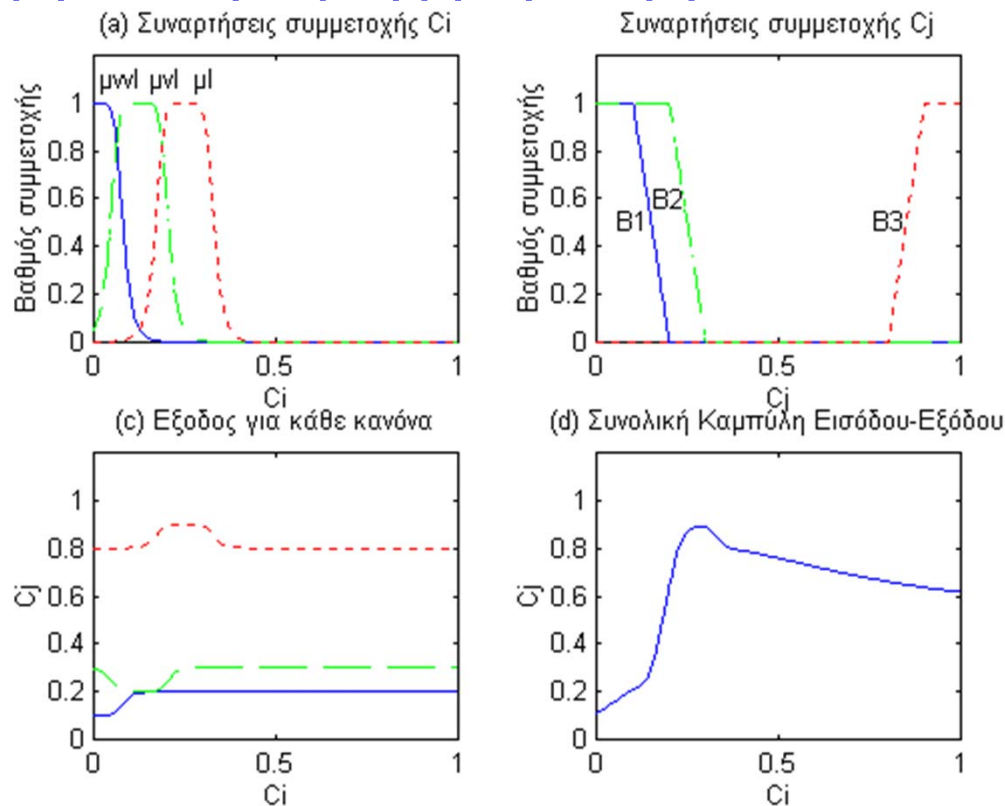
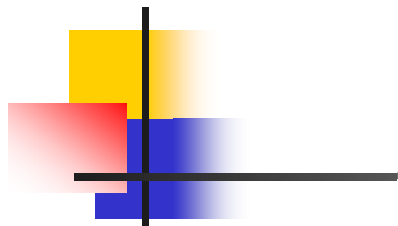
- Η σχέση αιτιότητας μεταξύ δύο κόμβων περιγράφεται με έναν λεκτικό κανόνα:

EAN η τιμή του κόμβου C_i είναι A

TOTE η τιμή του κόμβου C_j είναι B

- Εφαρμόζεται μια μέθοδος για το συνδυασμό των λεκτικών κανόνων που περιγράφουν τη σχέση δύο κόμβων και προκύπτει μια συνάρτηση εισόδου εξόδου η οποία περιγράφει το βάρος της διασύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων.
- Είναι μια απλούστατη μεθοδολογία και η περιγραφή της συσχέτισης δύο κόμβων με μια συνάρτηση είναι πρωτοποριακή και διευκολύνει την εφαρμογή αλγορίθμων εκπαίδευσης σε ΑΓΔ

Εξαγωγή συνάρτησης βάρους για κάθε διασύνδεση

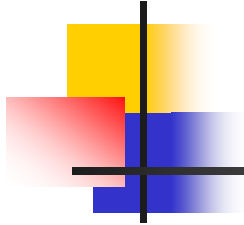


❖ EAN η τιμή του κόμβου C_i είναι **Πάρα πολύ Χαμηλή** (μ_{vvl}) TOTE η τιμή του κόμβου C_j είναι **Πάρα πολύ Χαμηλή** (B1)

❖ EAN η τιμή του κόμβου C_i είναι **Πολύ Χαμηλή** (μ_{vl}) TOTE η τιμή του κόμβου C_j είναι **Χαμηλή** (B2)

❖ EAN η τιμή του κόμβου C_i είναι **Χαμηλή** (μ_l) TOTE η τιμή του κόμβου C_j είναι **Πολύ Υψηλή** (B3)

Αλγόριθμοι εκπαίδευσης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων



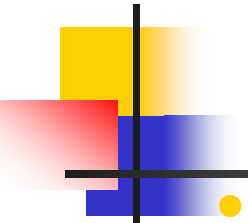
- Πρώτης τάξης κανόνας εκπαίδευσης των βαρών των διασυνδέσεων μεταξύ των κόμβων του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου βασίζεται στη συσχέτιση ή Hebbian αλγόριθμο εκμάθησης. Κανόνας για υπολογισμό της μεταβολής της τιμής του βάρους κάθε διασύνδεσης:

$$\dot{w}_{ij} = -w_{ij} + \dot{A}_i \dot{A}_j$$

- Προτείνεται ο ακόλουθος κανόνας εκπαίδευσης που στηρίζεται στο διαφορίσιμο Hebbian αλγόριθμο εκπαίδευσης και υπολογίζει τη μεταβολή του βάρους μεταξύ δύο κόμβων από τη μεταβολή των τιμών των κόμβων

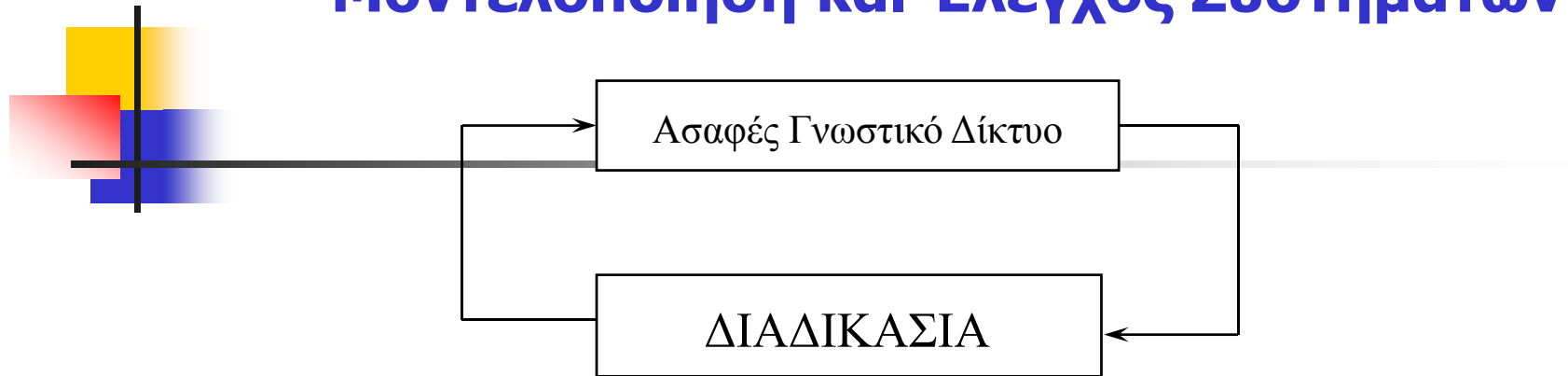
$$\dot{w}_{ji} = -w_{ji} + s(A_j^t)s(A_i^t) + \dot{s}(A_j^{t-1})\dot{s}(A_i^{t-1})$$
$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$$

Χαρακτηριστικά των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων

- 
- Τα ΑΓΔ αποτελούν έναν συνδυασμό και συγκερασμό μεθοδολογιών προερχόμενων από την Ασαφή Λογική και τα Νευρωνικά Δίκτυα.
 - Τα ΑΓΔ είναι δίκτυα ενός επιπέδου που αποτελούνται από κόμβους-έννοιες. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των κόμβων και τα αντίστοιχα βάρη εκφράζουν τις υφιστάμενες σχέσεις αιτίας και αποτελέσματος.
 - Η ανθρώπινη γνώση και εμπειρία που αντικατοπτρίζεται σε ένα ΑΓΔ εμπεριέχεται στη μεθοδολογία ανάπτυξης του ΑΓΔ, στη δομή του και τα βάρη των διασυνδέσεων
 - Ένα ΑΓΔ αξιοποιεί την ανθρώπινη γνώση και εμπειρία και υλοποιεί μια συμβολική παρουσίαση της συμπεριφοράς και λειτουργίας του συστήματος με χρήση μιας συνοπτικής και περιληπτικής μεθόδου

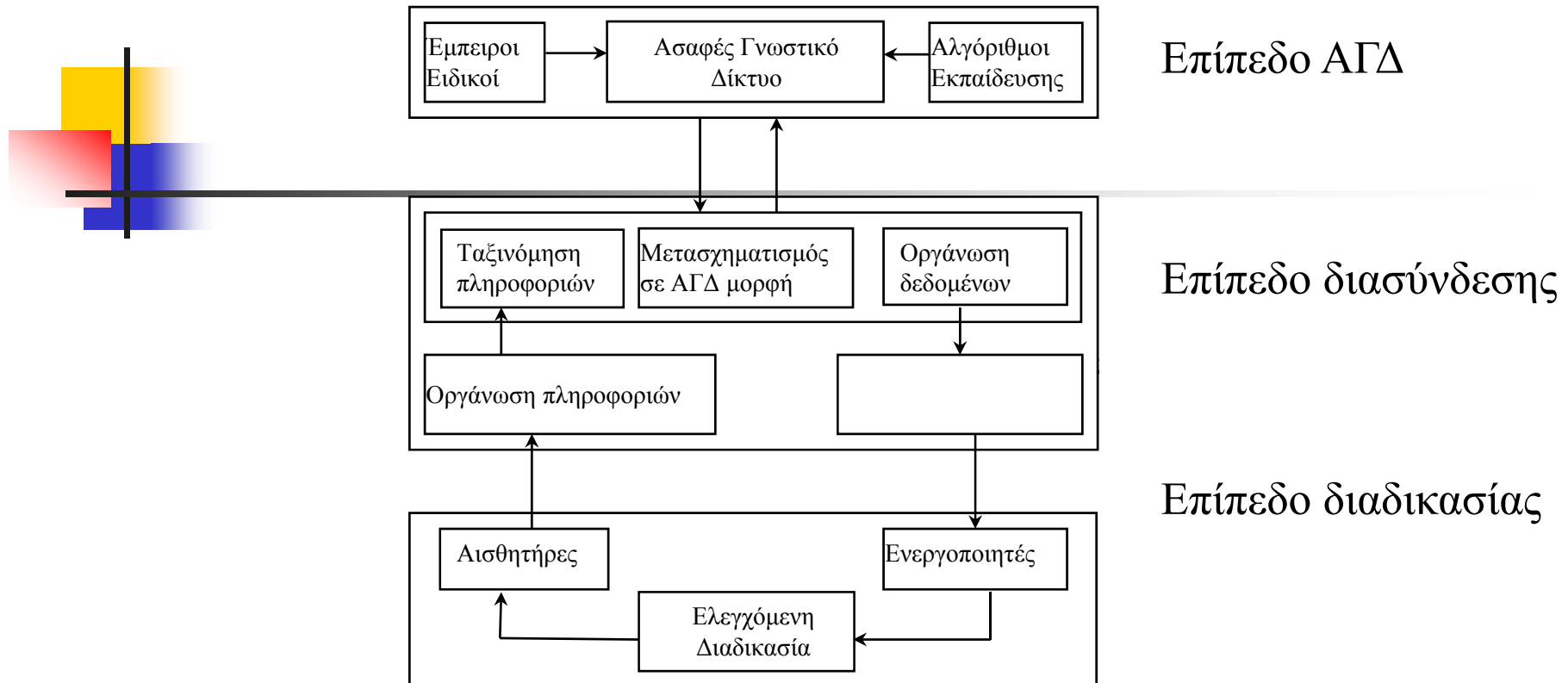
Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο

Μοντελοποίηση και Έλεγχος Συστημάτων



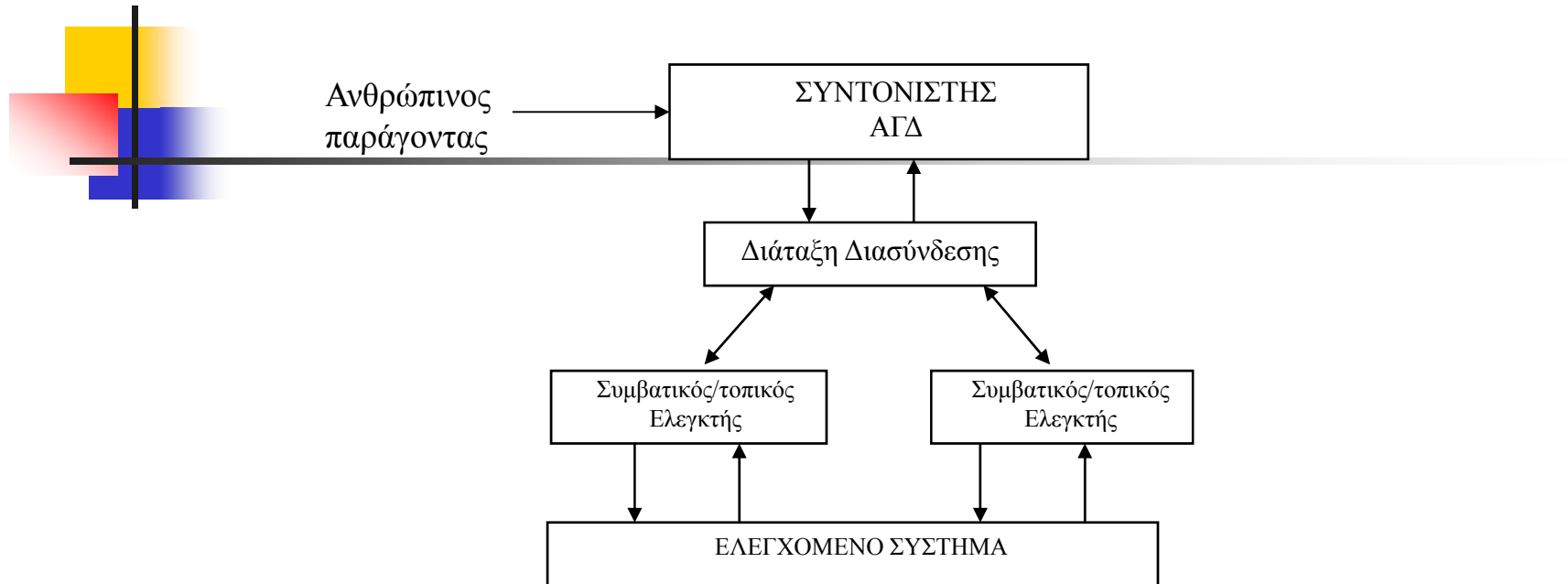
- Άμεση σχέση μεταξύ διαδικασίας και του ελεγκτή. Το ΑΓΔ και το ελεγχόμενο σύστημα αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο.
- Το ΑΓΔ αναπτύσσεται έτσι ώστε να οδηγείται και συγκλίνει πάντα σε μια περιοχή τιμών. Αποτελεί την επιθυμητή λειτουργία του συστήματος και μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τις νέες συνθήκες και ανάγκες του συστήματος.
- Υπάρχει συνεχής ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ της διαδικασίας και του ΑΓΔ, δηλαδή μεταξύ πραγματικών μεγεθών και των επιθυμητών τιμών τους.

Αναλυτική περιγραφή της προτεινόμενης δομής

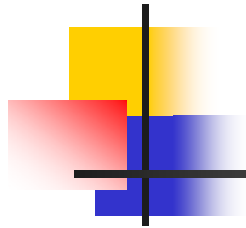


- Υπάρχει μετάδοση πληροφοριών και δεδομένων μεταξύ των τριών επιπέδων.
- Στη διάταξη διασύνδεσης οι μετρήσεις και άλλες πληροφορίες από το κατώτερο επίπεδο, οργανώνονται σε ομάδες, κατηγοριοποιούνται και τελικά μετασχηματίζονται σε κατάλληλη μορφή για μετάδοση στο ΑΓΔ
- Οι τιμές των κόμβων του ΑΓΔ που αποτελούν εισόδους στην ελεγχόμενη διαδικασία, μετασχηματίζονται σε πραγματικές τιμές μεταβλητών, οργανώνονται, καθορίζονται τα στοιχεία ελέγχου και σχεδιασμού και τα οποία δίνουν τα κατάλληλα σήματα εισόδου και μεταδίδονται στους ενεργοποιητές.

Εποπτικός Έλεγχος Συστημάτων με Χρήση ΑΓΔ



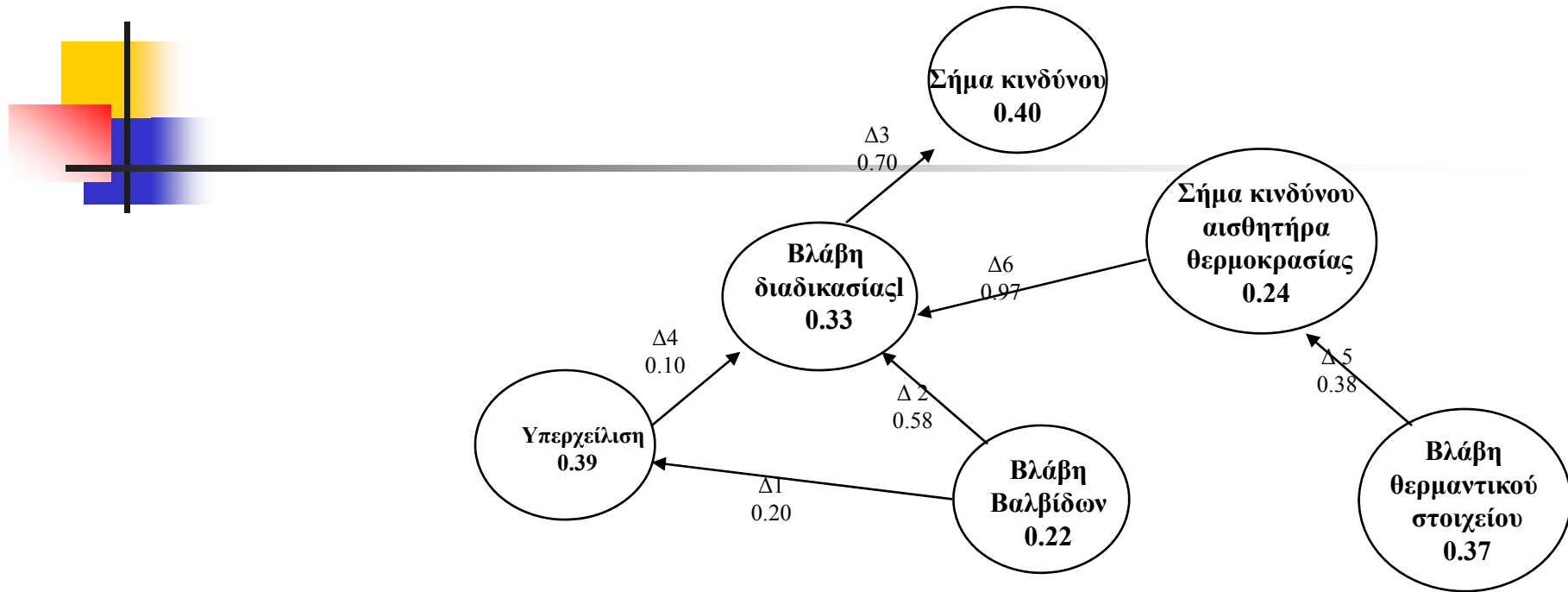
- Το ΑΓΔ εμπεριέχει γνώσεις για τα υποσυστήματα σε αντιστοιχία με τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος επιβλέπει το συνολικό σύστημα.
- Περιλαμβάνει ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες και χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό των αιτιατών μοντέλων, των διαφόρων κανόνων και τακτικών με βάση τα οποία ο άνθρωπος εποπτεύει και ελέγχει το σύστημα.



Εποπτικός Έλεγχος με Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο

- Ο συντονιστής λαμβάνει και επεξεργάζεται μόνο ουσιαστικές πληροφορίες από τους τοπικούς ελεγκτές.
- Επεξεργάζεται γεγονότα, καταστάσεις, τη συμπεριφορά και τους αντικειμενικούς σκοπούς του συνολικού συστήματος.
- Συντονιστής διαπιστώνει ανεπιθύμητες καταστάσεις ή μη επιτρεπόμενες λειτουργίες και επεμβαίνει.
- Ο συντονιστής υλοποιεί όλες ή ένα τμήμα των ενεργειών που πραγματοποιεί ο άνθρωπος-χειριστής του συνολικού συστήματος:
 - η διάγνωση ανωμαλιών στη λειτουργία,
 - η πρόβλεψη βλαβών,
 - λήψη αποφάσεων,
 - ο σχεδιασμός,-

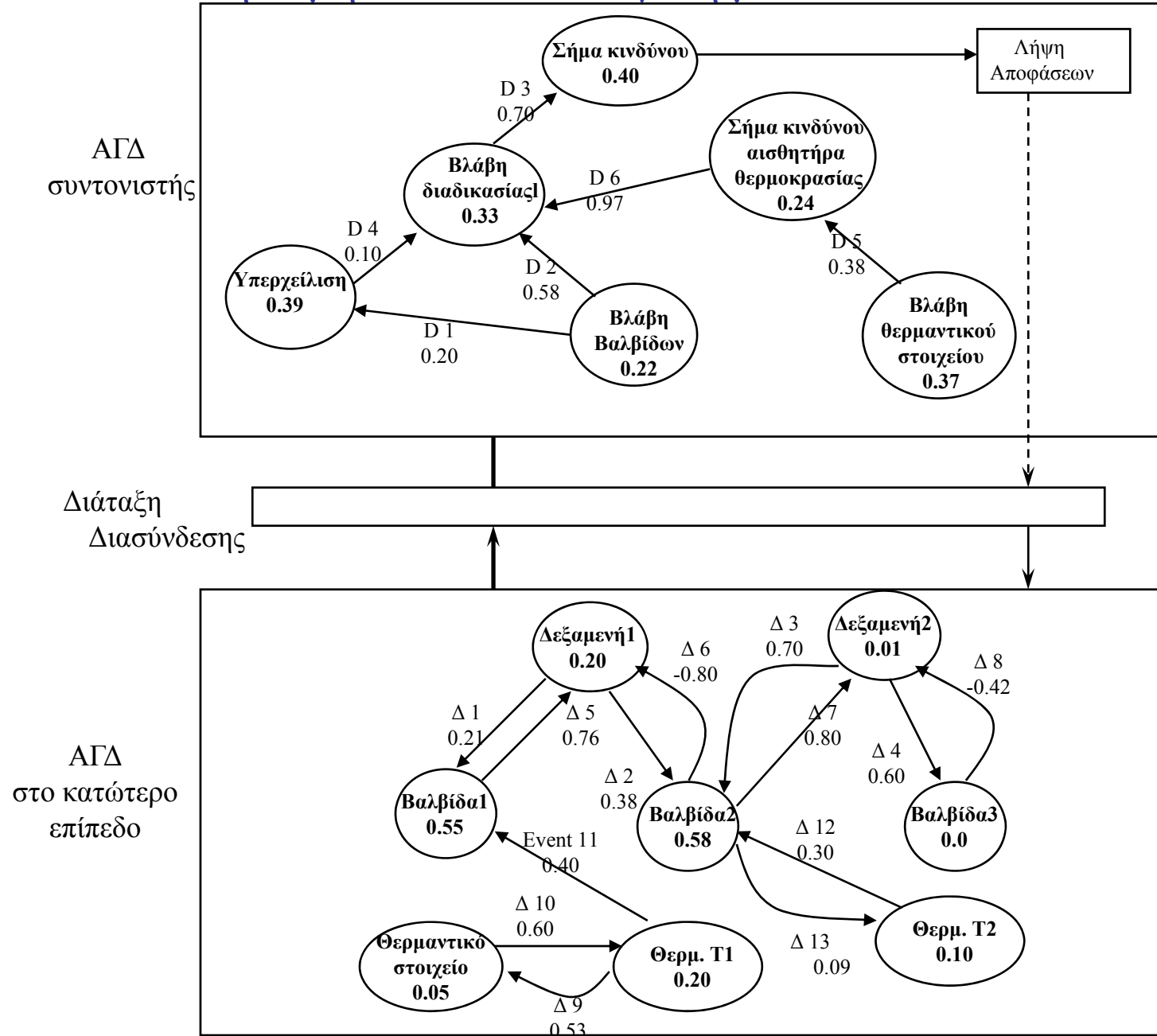
Παράδειγμα μοντελοποίησης συντονιστή για περιπτώσεις βλαβών



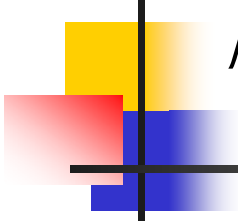
Έννοιες- κόμβοι :

- καταστάσεις βλαβών των βαλβίδων,
- κακή λειτουργία του θερμαντικού στοιχείου,
- διαρροές από τις δεξαμενές,
- συνθήκες υπερχείλισης,
- υπέρβαση της θερμοκρασίας του υγρού,

Διεπίπεδη δομή εποπτικού ελεγκτή με ένα ΑΓΔ σε κάθε επίπεδο



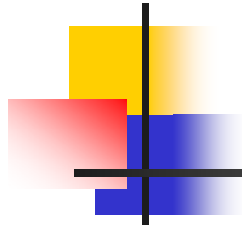
ΑΓΔ & Βιομηχανικά Συστήματα.



Το σύνολο των πληροφοριών που υπάρχουν σε ένα πολύπλοκο βιομηχανικό σύστημα δημιουργούν ένα θεμελιώδες λειτουργικό μοντέλο του συστήματος.

- Μεγάλες ποσότητες τεχνικών και ποιοτικών πληροφοριών
- Πληροφορίες για τα γενικά χαρακτηριστικά της παραγωγικής διαδικασίας
- Πληροφορίες για το γενικό πλάνο και σχεδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας
- Πληροφορίες για τη συμπεριφορά διαφόρων υποσυστημάτων
- Ένα σύνολο από ιδιότητες, ποιοτικά χαρακτηριστικά και μεταβλητές που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και λειτουργία του συνολικού συστήματος

Ανάπτυξη ενός ΑΓΔ για μια παραγωγική διαδικασία



Κόμβος C1 : Απαξίωση προϊόντος

Κόμβος C2 : Εσωτερικές μεταβολές διαδικασίας

Κόμβος C3 : Κακής ποιότητας πρώτη ύλη

Κόμβος C4 : Τεχνικά προβλήματα μηχανών

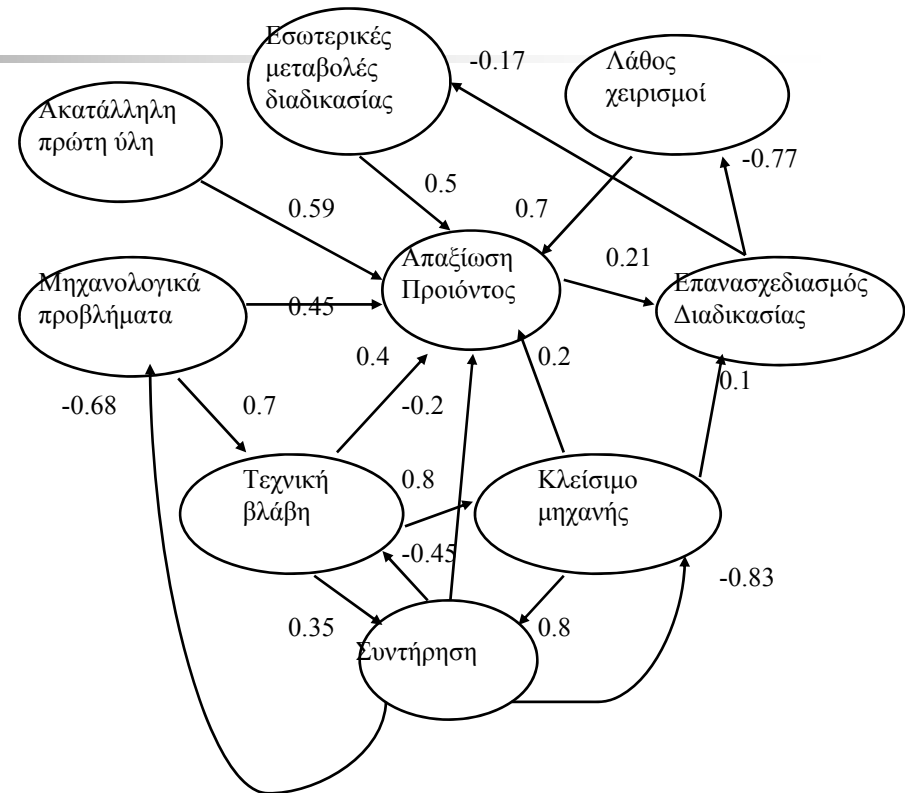
Κόμβος C5 : Τεχνική βλάβη υποσυστήματος

Κόμβος C6 : Λανθασμένοι χειρισμοί των μηχανών

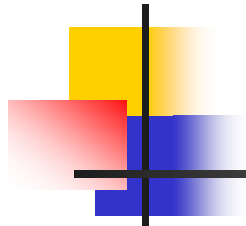
Κόμβος C8 : Απαιτείται κλείσιμο μηχανής

Κόμβος C7: Απαιτείται ανασχεδιασμός διαδικασίας

Κόμβος C9: Απαιτείται να γίνει συντήρηση

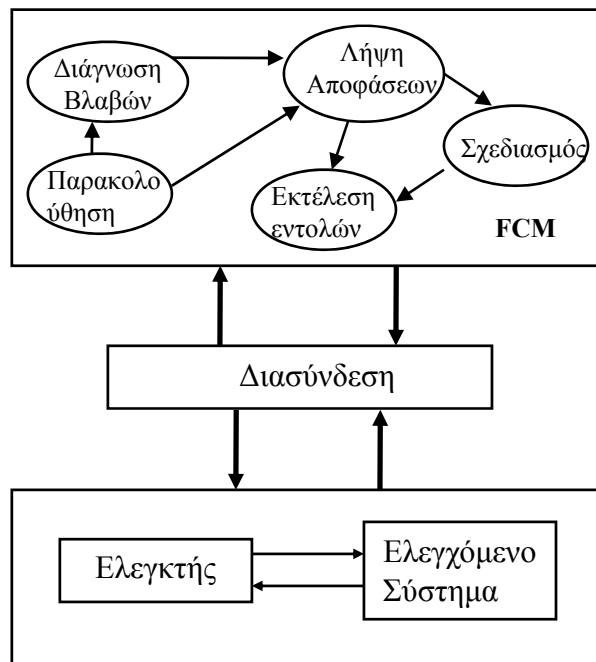


Ιεραρχική δομή βιομηχανικού πολύπλοκου συστήματος



Ο συντονιστής υλοποιεί :

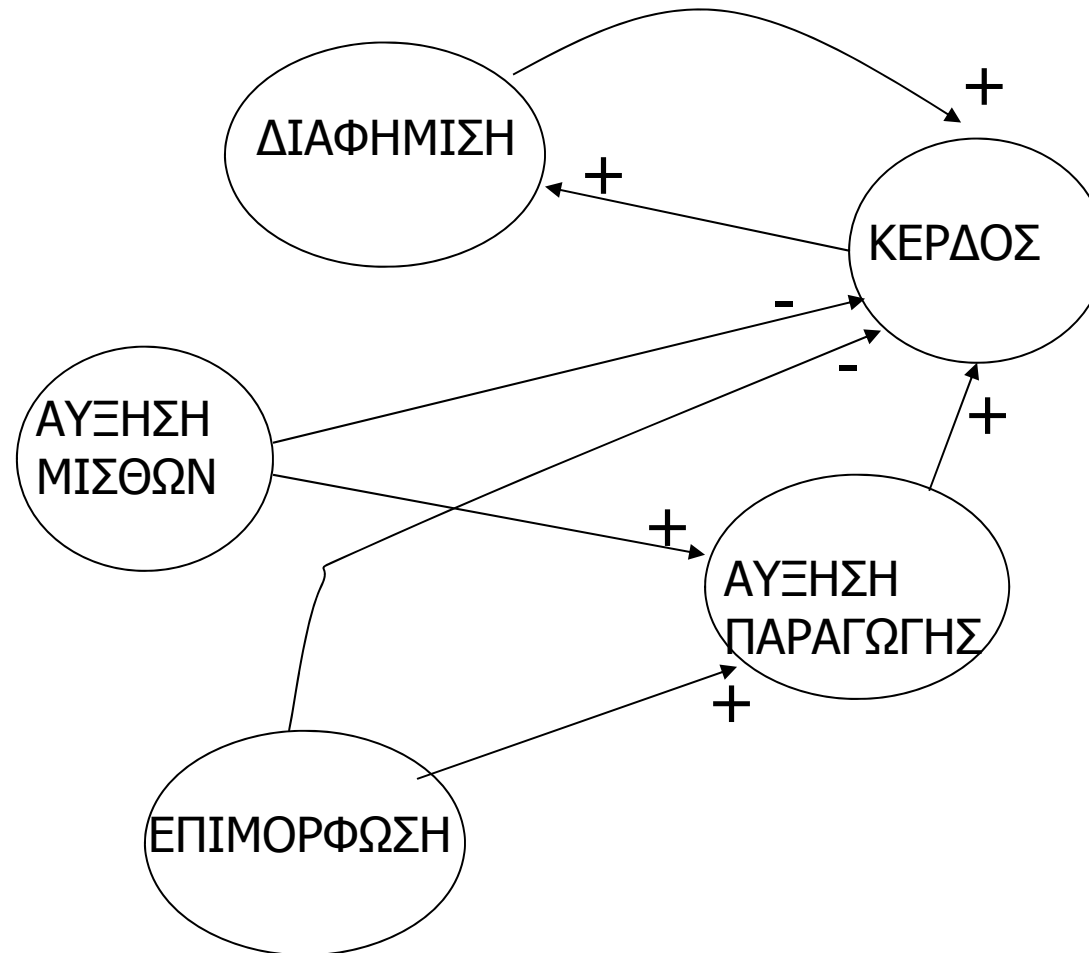
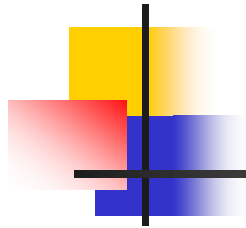
- παρακολούθηση της λειτουργίας
- λήψη αποφάσεων
- σχεδιασμό και αποστολή εντολών
- οργάνωση του συνολικού συστήματος
- στρατηγικό σχεδιασμό
- ανάλυση και πρόληψη βλαβών.

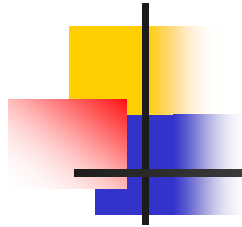


Επαυξημένο ΑΓΔ για:

- λήψη αποφάσεων,
- σχεδιασμό,
- παρακολούθηση λειτουργίας,
- διάγνωση βλαβών και
- αποστολή εντολών

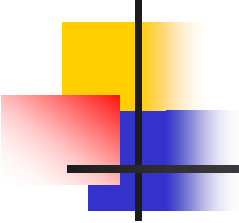
Ένα παράδειγμα Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου





Περιοχές εφαρμογής ΑΓΔ

- Ανάλυση και λήψη αποφάσεων
- Επιχειρησιακή Έρευνα
- Περιγραφή της δομής φυσικού κόσμου
- Μοντελοποίηση πολιτικών και κοινωνικών συστημάτων
- Ανάλυση Ηλεκτρικών κυκλωμάτων
- Μοντέλα για Διάγνωση σφαλμάτων
- Έλεγχο συστημάτων



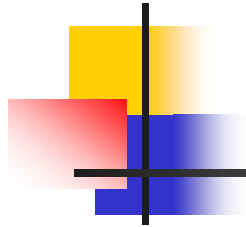
Περιοχές εφαρμογής και χρήσης των ΑΓΔ

⇒Έλεγχο διαδικασιών.

⇒Επιχειρήσεις και βιομηχανικά μοντέλα

⇒Ιατρικές εφαρμογές – Σύστημα Λήψης Απόφασης

⇒Διάγνωση σε προβλήματα λογοθεραπείας



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- ✓ Η απαίτηση για εύρεση νέων μοντέλων καθοδηγεί την έρευνα σε ζητήματα μοντελοποίησης και ελέγχου συστημάτων με στόχο την ανάπτυξη ιεραρχικού ευφυούς ελέγχου για πολύπλοκα συστήματα.
- ✓ Εύρεση νέων υπολογιστικών κανόνων και ολοκληρωμένων μεθόδων δημιουργίας και ανάπτυξης των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων,
- ✓ Μοντελοποίηση και έλεγχος συστήματος με μια νέα δομή.
- ✓ Προτείνεται η μοντελοποίηση του συντονιστή σε μια νέα δομή εποπτικού-ιεραρχικού ελέγχου με χρήση Ασαφών Γνωστικών Δικτύων.
- ✓ Σημαντικές προοπτικές για εφαρμογές των Ασαφών Γνωστικών Δικτύων για τη μοντελοποίηση και έλεγχο πολύπλοκων συστημάτων.



Ανάπτυξη Συστήματος Λήψης Απόφασης- Πρόβλημα Ακτινοθεραπείας

Πρόβλημα Ακτινοθεραπείας:

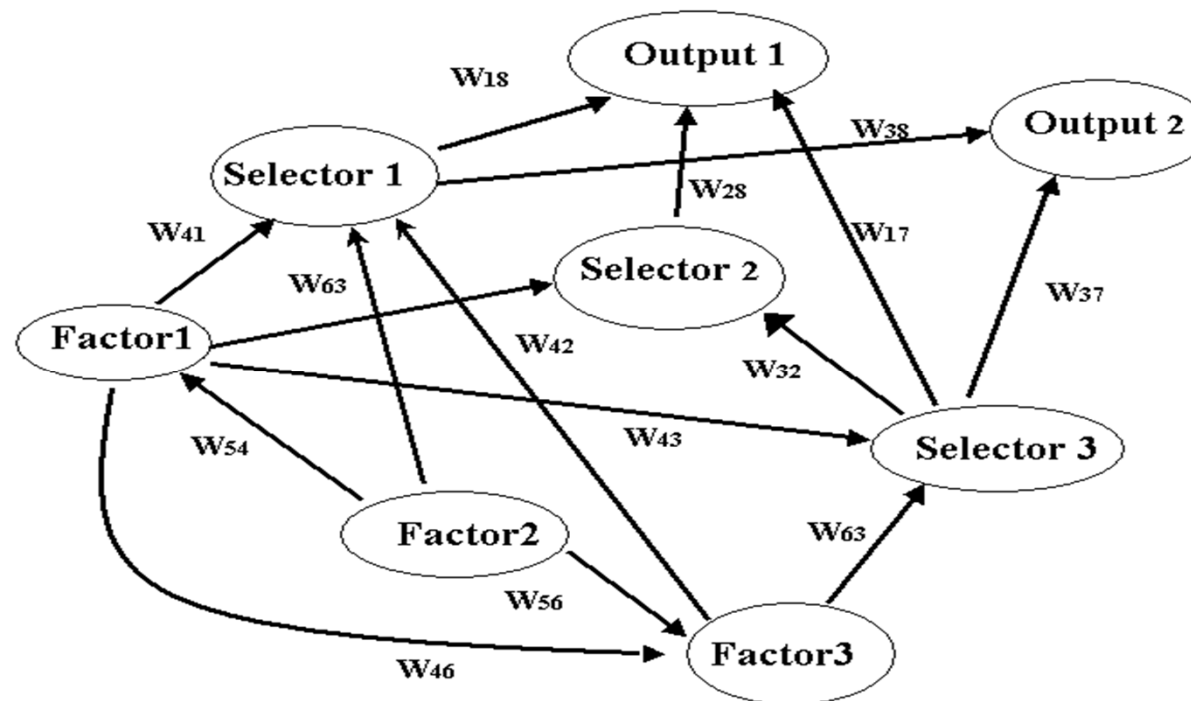
- Πολύπλοκο πρόβλημα
- Περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν
- Περιέχει ασάφεια

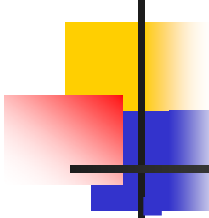
Στόχοι Ακτινοθεραπείας:

- ❖ Μέγιστη δυνατή δόση στον όγκο-στόχο (tumor)
- ❖ Ελάχιστη δυνατή δόση στους υγιείς ιστούς και τα ευαίσθητα όργανα

Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο-Σύστημα Υποστήριξης Απόφασης (FCM-DSS)

- Συμβολική παρουσίαση της συμπεριφοράς & λειτουργίας του συστήματος
- Χρησιμοποιεί τη γνώση των έμπειρων γιατρών
- Λεκτικοί κανόνες “if-then” για την περιγραφή των αλληλεπιδράσεων





Διεπίπεδο Ιεραρχικό Σύστημα Λήψης Απόφασης

Κατώτερο Επίπεδο *Clinical Treatment Simulation Tool (CTST-FCM)* (33 κόμβοι-195 ιδιασυνδέσεις)

F-C, S-C: παράγοντες και μεταβλητές της θεραπείας

Αρχικές Τιμές: AAPM TG 23 & experimental data

Υπολογισμός των OUT-Cs: αποδεκτές ή όχι σύμφωνα με τα σχετικά πρωτόκολλα

- **Επιφάνεια Διασύνδεσης (Διεπαφή)**

Αποτελείται από ένα σύνολο ασαφών κανόνων IF-THEN

- **Ανώτερο Επίπεδο** (Για έλεγχο & Λήψη Απόφασης)

Επόπτης-ΑΓΔ (6 κόμβοι-12 διασυνδέσεις)

- Υπολογισμός των βαρών χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο AHL
- Υπολογισμός της τιμής του κόμβου "Final Dose"
- Τελική αποδοχή ή όχι της θεραπείας για τη συγκεκριμένη προτεινόμενη τεχνική

- **Αλγόριθμος για την Εποπτεία της Θεραπείας**



Κατώτερο Επίπεδο-Μοντέλο CTST-FCM

Αναπαριστά τους παράγοντες & τις μεταβλητές της ακτινοθεραπείας

Factor-Concepts: Μέγεθος του όγκου, σχήμα του όγκου, θέση, μετάσταση σε άλλα σημεία, ομοιομορφία της δόσης, μέρος του ασθενή που ακτινοβολείται, σκεδαζόμενη ακτινοβολία, χρόνος θεραπείας κ.τ.λ.

Selector-Concepts: ποιότητα της ακτινοβολίας, είδος, μέγεθος του πεδίου ακτινοβολήσης, βαρύτητα πεδίου, κατεύθυνση δεσμών, αριθμός πεδίων, φίλτρα, εμπόδια, ακινητοποίηση του ασθενούς.

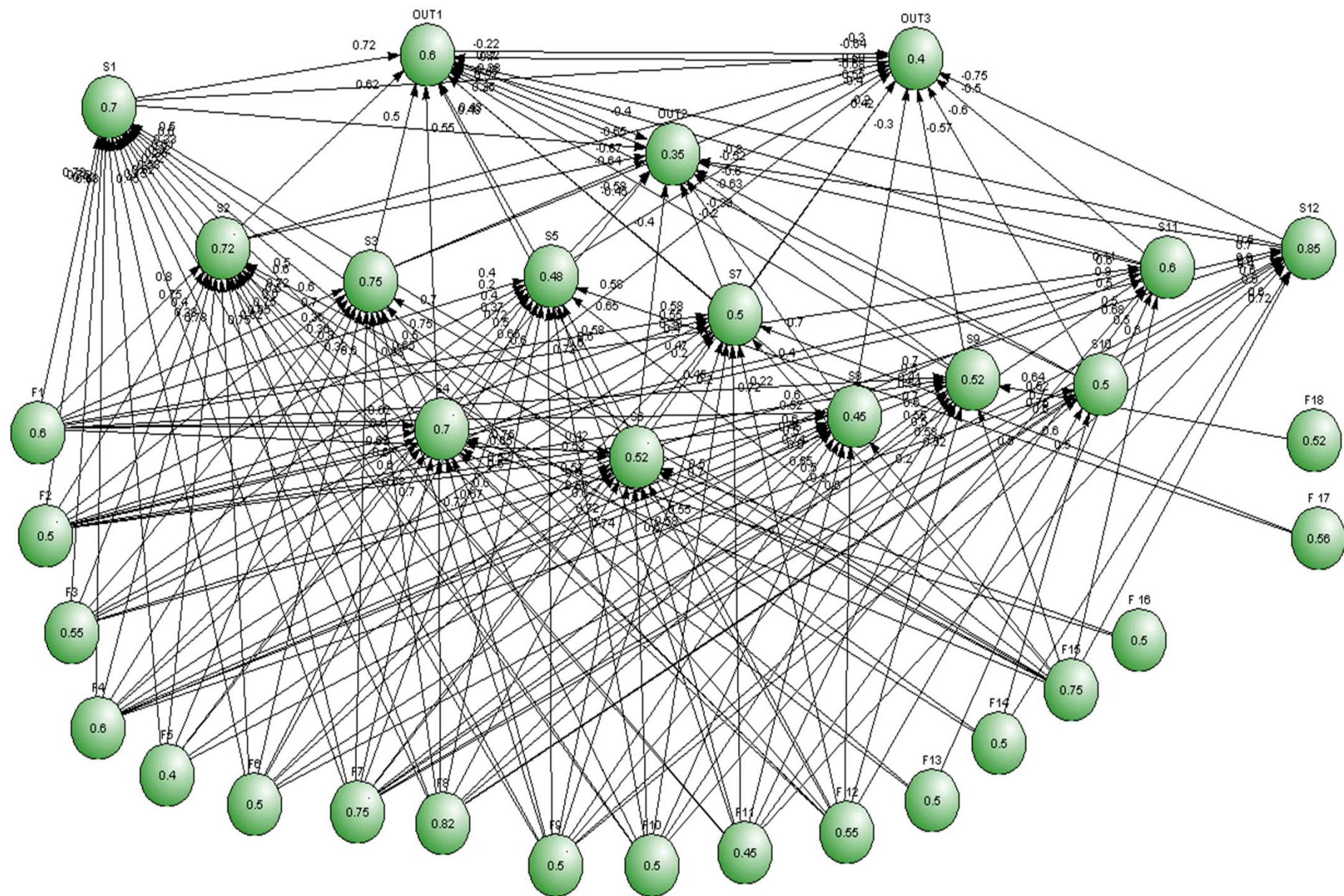
Output-Concepts: (1) Δόση που λαμβάνει ο όγκος-στόχος,

(2) Ποσό του όγκου του υγιούς ιστού,

(3) Ποσό του όγκου των ευαίσθητων οργάνων που ακτινοβολείται

Πρωτόκολλα πειραμάτων AAPM TG 23 -ICRU 50

Κατώτερο Επίπεδο-Μοντέλο CTST-FCM



Ανώτερο Επίπεδο: Επόπτης-ΑΓΔ (1)

UC1: Εντοπισμός του όγκου

UC2: Δόση που καθορίζεται από το σχεδιασμό θεραπείας

UC3: Μηχανικοί παράγοντες

UC4: Ανθρώπινοι Παράγοντες

UC5: Τοποθέτηση του ασθενή

UC6: Τελική Δόση στον όγκο-στόχο

$$W^{upper-level} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.43 \\ 0.28 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.57 \\ 0 & -0.3 & 0 & 0 & 0 & -0.39 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.32 & -0.43 \\ 0 & 0 & 0 & -0.37 & 0 & 0.68 \\ 0.22 & 0.67 & 0 & 0 & 0.54 & 0 \end{bmatrix}$$

Στόχοι του Επόπτη-ΑΓΔ:

➤ Τελική Δόση (FD) μεταξύ αποδεκτών ορίων

$$FD_{\min} \leq FD \leq FD_{\max}$$

➤ Δόση σχεδιασμού θεραπείας μεταξύ αποδεκτών ορίων

$$D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$$

Μη επιθυμητό/αποδεκτό αποτέλεσμα, επιστροφή στο
κατώτερο επίπεδο ➡ Νέες τιμές για τις μεταβλητές & αλληλεπιδράσεις

Ιεραρχική Διεπίπεδη Δομή

Κριτήρια Ανωτέρου Επιπέδου

$$0.90 \leq FD \leq 0.95$$

$$0.80 \leq D \leq 0.95$$

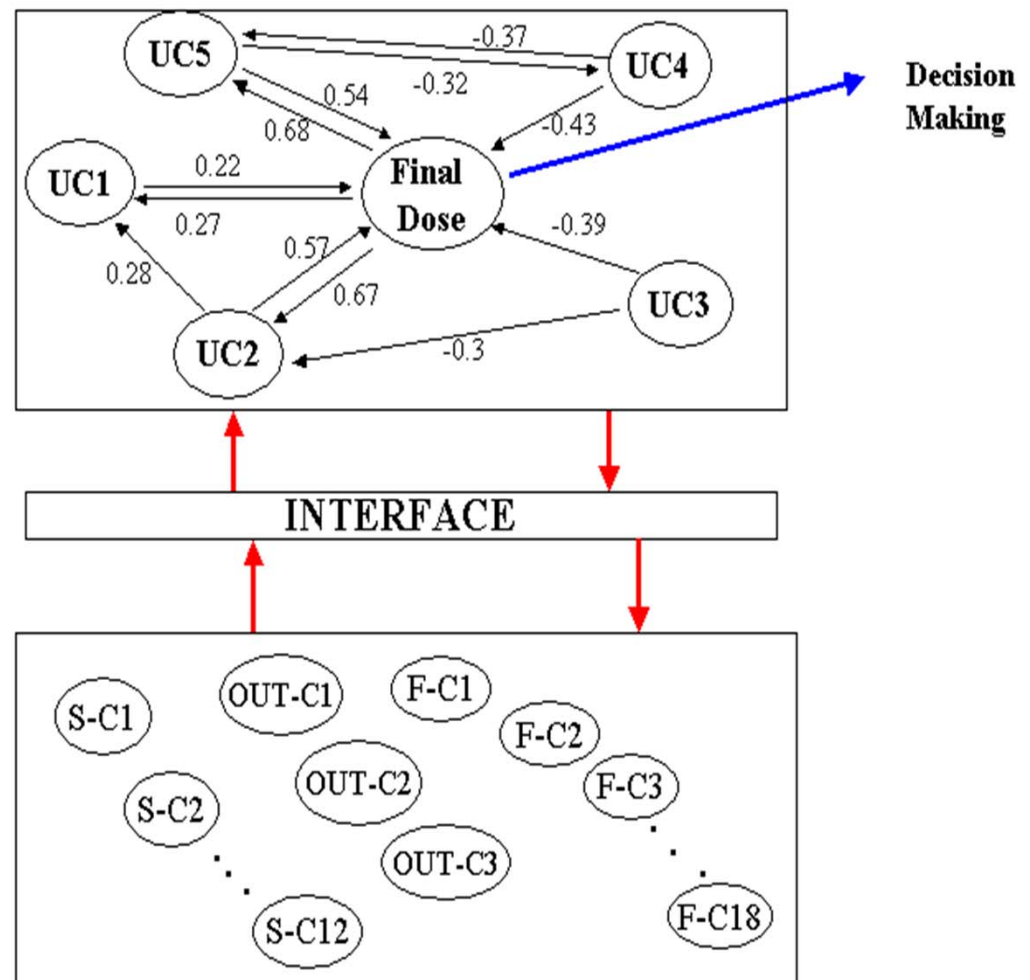
Διεπαφή: Σύνολο Ασαφών Κανόνων
AN-TOTE

Κριτήρια Κατωτέρου Επιπέδου

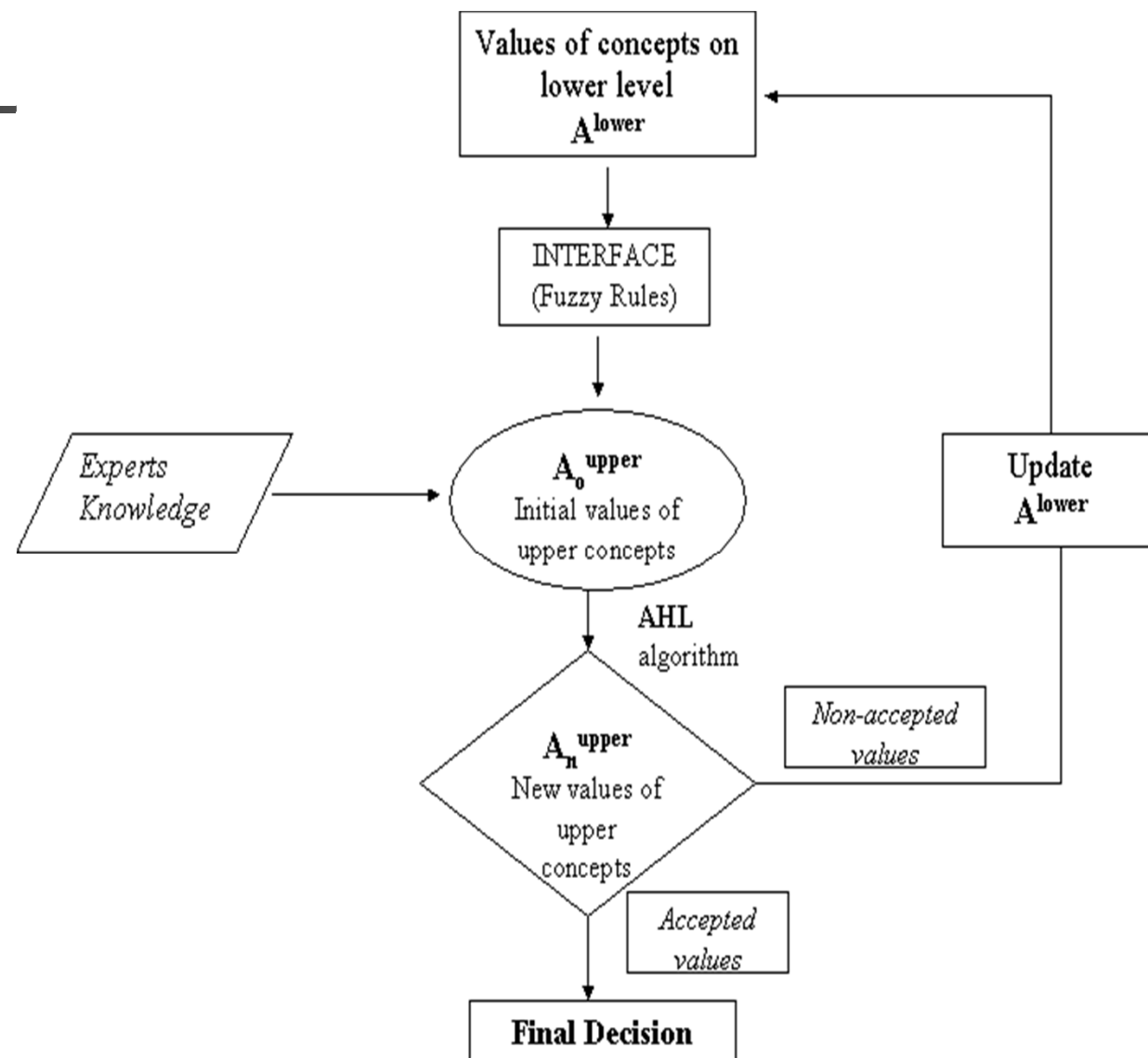
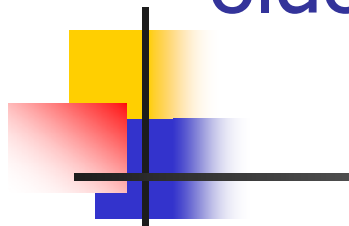
$$OUT - C1 \geq 0.90$$

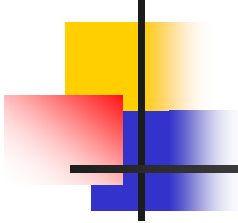
$$OUT - C2 < 0.05$$

$$OUT - C3 < 0.10$$



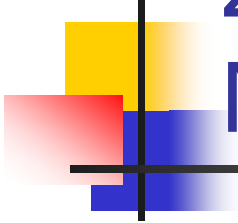
Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου για τη διαδικασία εποπτείας της θεραπείας





Καινοτομία του Προτεινόμενου Συστήματος Λήψης Απόφασης

- Αξιοποιεί και αναπαριστά τη γνώση των έμπειρων γιατρών στην ακτινοθεραπεία (πολύπλοκο πρόβλημα)
- Λαμβάνει υπόψη ποιοτικές και ποσοτικές μεταβλητές
- Καθορίζει την αποδοχή ή όχι της θεραπείας για την προτεινόμενη τεχνική (κρατώντας την τιμή της επιθυμητής δόσης μεταξύ αποδεκτών ορίων)
- Εποπτεύει τη διαδικασία λήψης απόφασης



Συμπεράσματα Διαγνωστικών Μοντέλων

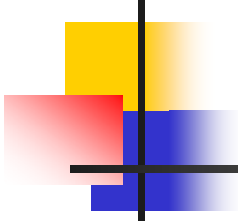
Η συμβολή των προτεινόμενων μοντέλων διάγνωσης και λήψης απόφασης με χρήση ΑΓΔ είναι:

- καλύτερη αναπαράσταση ιατρικής γνώσης, δομημένης σε ένα εύκολα ερμηνεύσιμο και ευέλικτο μοντέλο.
- χρήσιμα εργαλεία για λήψη ιατρικής απόφασης (που μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά τόσο στην αξιολόγηση των διαγνωστικών μεταβλητών όσο και στην εκπαίδευση των ειδικευόμενων γιατρών).
- μέσο καταγραφής της υπάρχουσας ιατρικής γνώσης και εμπειρίας
- βελτίωση της διαγνωστικής ευαισθησίας και ειδικότητας καθώς διαχειρίζονται καλύτερα την ασαφή πληροφορία, έχουν την ικανότητα να συνδυάζουν ποιοτικές και ποσοτικές μεταβλητές, και έχουν την δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής των βαρών τους.



1^ο Παράδειγμα

- Κατασκευή και Εξομείωση Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου για υποβοήθηση στη λήψη απόφασης στο πρόβλημα σχεδιασμού της ακτινοθεραπείας και το ποσοστό της δόσης στον όγκο-στόχο του ασθενούς



ΑΓΔ Λήψης Απόφασης στην Ακτινοθεραπεία

- Ένα απλό Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο σχεδιάζεται για να περιγράψει τις σχέσεις αιτίας και αποτελέσματος μεταξύ των στόχων και των ενεργειών για το σχεδιασμό λήψης απόφασης στο πρόβλημα της ακτινοθεραπείας. Οι κόμβοι-έννοιες που αποτελούν το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο είναι οι ακόλουθοι:
 - *C1: Εντοπισμός του όγκου*
 - *C2: Δόση που καθορίζεται από το σχεδιασμό θεραπείας*
 - *C3: Καθορισμός φίλτρου ακτινοβολήσης*
 - *C4: Ανθρώπινοι παράγοντες-εμπειρία*
 - *C5: Τοποθέτηση του ασθενή*
 - *C6: Ποιοτικός Έλεγχος*
 - *C7: Μηχανικοί Παράγοντες (Βλάβες Μηχανήματος)*
 - *C8: Τελική δόση στον όγκο-στόχο*

ΑΓΔ Λήψης Απόφασης στην Ακτινοθεραπεία

Ο πίνακας βαρών που περιγράφει τις
αιτιατές σχέσεις είναι

W_{ij} →
From C_i
to C_j

	• C1	• C2	• C3	• C4	• C5	• C6	• C7	• C8
• C1	0	0	1	1	0	0	0	1
• C2	0	0	1	0	0	1	0	1
• C3	0	-1	0	0	0	-1	0	0
• C4	0	0	-1	0	-1	0	0	0
• C5	0	0	0	-1	0	0	1	0
• C6	1	1	0	0	0	0	0	1
• C7	0	0	0	0	0	0	0	0,5
• C8	0	0.5	0	0	0	0	0	0

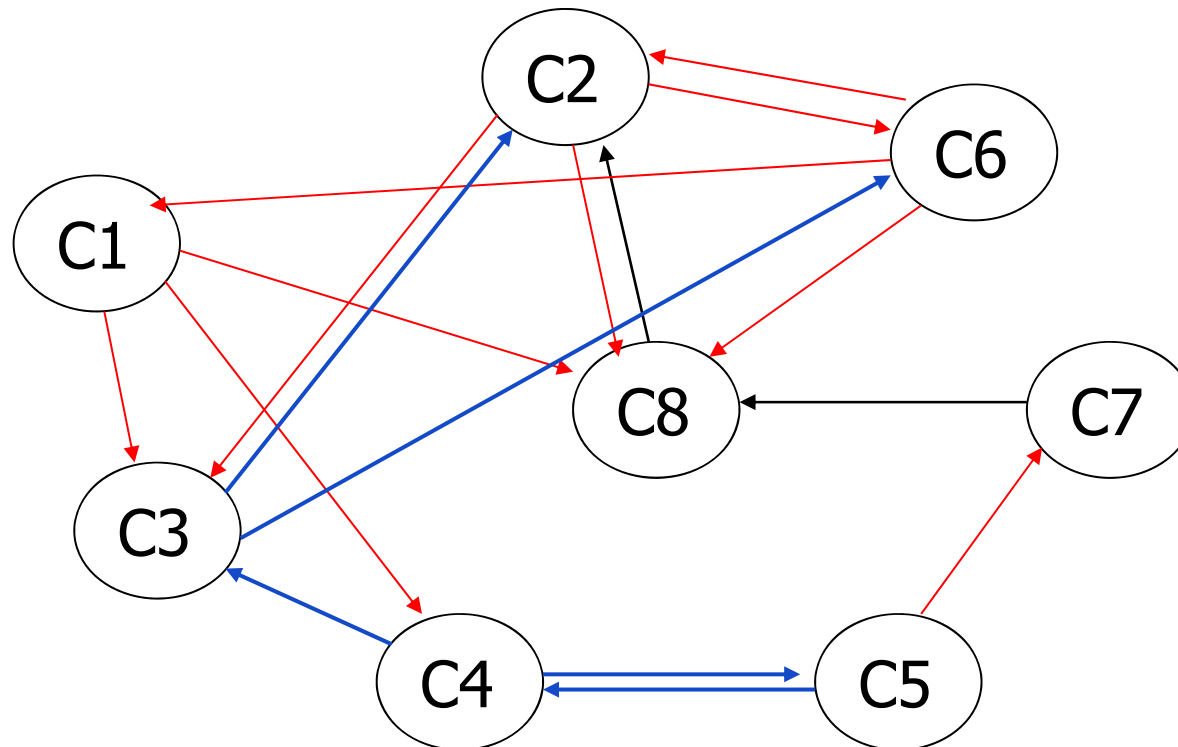
ΑΓΔ Λήψης Απόφασης στην Ακτινοθεραπεία

Ερωτήματα:

- A) Να σχεδιάσετε το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο
- B) Να προσομοιώσετε το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο μέχρι το σημείο σύγκλισής του για τις εξής αρχικές τιμές των κόμβων
 - $C^{(0)} = [1 \ 0,5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$. Να θεωρηθεί ότι η προσομοίωση σταματάει όταν οι τιμές των κόμβων μεταξύ τριών διαδοχικών επαναλήψεων δεν διαφέρουν μεταξύ τους.
- Γ) Να σχολιάσετε τη σύγκλισή του. Εξηγείστε σε κάθε χρονική στιγμή (βήμα) του Ασαφούς Γνωστικού Δικτύου τι σημαίνουν οι τιμές των κόμβων σε σχέση με την τελική δόση στον όγκο-στόχο και την τελική αποδοχή ή όχι της ακτινοθεραπείας.
- Δ) Τι θα συμβεί εάν αυξηθούν οι τιμές των κόμβων C1: Εντοπισμός του όγκου, C3: Καθορισμός φίλτρου ακτινοβολήσης, C4: Ανθρώπινη Εμπειρία, και C6: Ποιοτικός Έλεγχος, που σημαίνει ότι οι τιμές αυτών των κόμβων θα είναι 1 και των υπολοίπων μηδέν;
Να προσομοιώσετε το Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για επτά χρονικές στιγμές (βήματα).

Σχεδιασμός ΑΓΔ για το πρόβλημα Λήψης Απόφασης

Κόκκινο: +1, Μπλέ: -1, μαύρο: 0.5

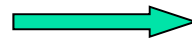


ΑΓΔ-Υπολογισμός των τιμών των κόμβων (1)

Η σχέση που θα εφαρμόσουμε για τον υπολογισμό των τιμών των κόμβων σε κάθε βήμα t , με βάση τις αλληλεπιδράσεις είναι:

$$A_i^{(t+1)} = S \left(A_i^{(t)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(t)} w_{ji} \right)$$

Η συνάρτηση κατωφλίου
(Threshold function)



$$S(y) = \begin{cases} 1, y > 0 \\ 0, y = 0 \\ -1, y < 0 \end{cases}$$

$W_{ij} =$

0	0	1	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0	1
0	-1	0	0	0	-1	0	0
0	0	-1	0	-1	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	1	0
1	1	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0,5
0	0,5	0	0	0	0	0	0

Πίνακας βαρών

ΑΓΔ-Υπολογισμός των τιμών των κόμβων (2)

Οι αρχικές τιμές (διεγέρσεις) των κόμβων δίνονται από το διάνυσμα $A^{(0)} = [1 \ 0,5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$.

$$A_1^{(1)} = S \left(A_1^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j1} \right) = S \left(1 + A_2^{(0)} w_{21} + A_6^{(0)} w_{61} + 0 \right) = S(1) = 1$$

$$A_2^{(1)} = S \left(A_2^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j2} \right) = S \left(1 + A_1^{(0)} w_{12} + A_3^{(0)} w_{32} + A_6^{(0)} w_{62} + 0 \right) = S(0.5 + 0) = 1$$

$$A_3^{(1)} = S \left(A_3^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j3} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{13} + A_2^{(0)} w_{23} + A_6^{(0)} w_{62} + 0 \right) = S(0 + 1 + 1 * 0.5 + 0) = 1$$

$$A_4^{(1)} = S \left(A_4^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j4} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{14} + A_2^{(0)} w_{24} + 0 \right) = S(0 + 1 + 0) = 1$$

ΑΓΔ-Υπολογισμός των τιμών των κόμβων (3)

$$A_5^{(1)} = S \left(A_5^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j5} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{15} + A_2^{(0)} w_{25} + 0 \right) = S(0 + 0) = 0$$

$$A_6^{(1)} = S \left(A_6^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j6} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{16} + A_2^{(0)} w_{26} + A_3^{(0)} w_{36} + 0 \right) = S(0 + 1 * 0.5) = 1$$

$$A_7^{(1)} = S \left(A_7^{(0)} + \sum_{j=1}^8 A_j^{(0)} w_{j7} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{17} + A_2^{(0)} w_{27} + A_5^{(0)} w_{56} + 0 \right) = S(0 + 0) = 0$$

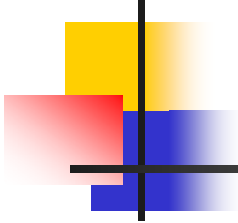
$$A_8^{(1)} = S \left(A_8^{(0)} + \sum_{j=1}^8 A_j^{(0)} w_{j8} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{18} + A_2^{(0)} w_{28} + A_6^{(0)} w_{68} + A_7^{(0)} w_{78} + 0 \right) = S(1 + 0 + 0.5) = 1$$

ΑΓΔ-Υπολογισμός των τιμών των κόμβων (4)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
t=0	1	0.5	0	0	0	0	0	0
t=1	1	1	1	1	0	1	0	1
t=2	1	1	1	1	-1	0	0	1
t=3	1	1	1	1	-1	0	-1	1
t=4	1	1	1	1	-1	0	-1	1
t=5	1	1	1	1	-1	0	-1	1

Μετά από 4 βήματα καταλήγει σε ισορροπία με την αρχική διέγερση των δυο κόμβων C1 και C2.

Τι παρατηρούμε στο σημείο ισορροπίας? Πως ερμηνεύουμε τις τελικές τιμές των κόμβων?



Εξήγηση των αποτελεσμάτων στην κατάσταση ισορροπίας

- Με βάση την αρχική διέγερση αυξήθηκαν οι εξής παράγοντες: C3: το φίλτρο ακτινοβολήσης, οι ανθρωπίνοι παράγοντες και η τελική δόση στον όγκο-στόχο (C8), ενώ **ελαττώθηκε ο ρόλος των μηχανικών βλαβών και η συνεισφορά της ακριβούς τοποθέτησης του ασθενή.**
- Δηλαδή η **τελική δόση που θα λάβει ο όγκος-στόχος** κατά την ακτινοβολήση (εφαρμόζοντας τη συγκεκριμένη τεχνική που ορίσαμε με βάση τις αρχικές συνθήκες) θα είναι **η επιθυμητή** όταν:
 - ❖ θα γίνει σωστός εντοπισμός του όγκου,
 - ❖ θα αυξηθεί η δόση κατά το σχεδιασμό της θεραπείας, το φίλτρο ακτινοβολήσης και η εμπειρία των ανθρώπων,
 - ❖ ενώ ταυτόχρονα θα ελαττωθεί η πιθανότητα μηχανικών βλαβών και ακριβούς τοποθέτησης του ασθενή.

3^ο ερώτημα-Διαφορετική Τεχνική

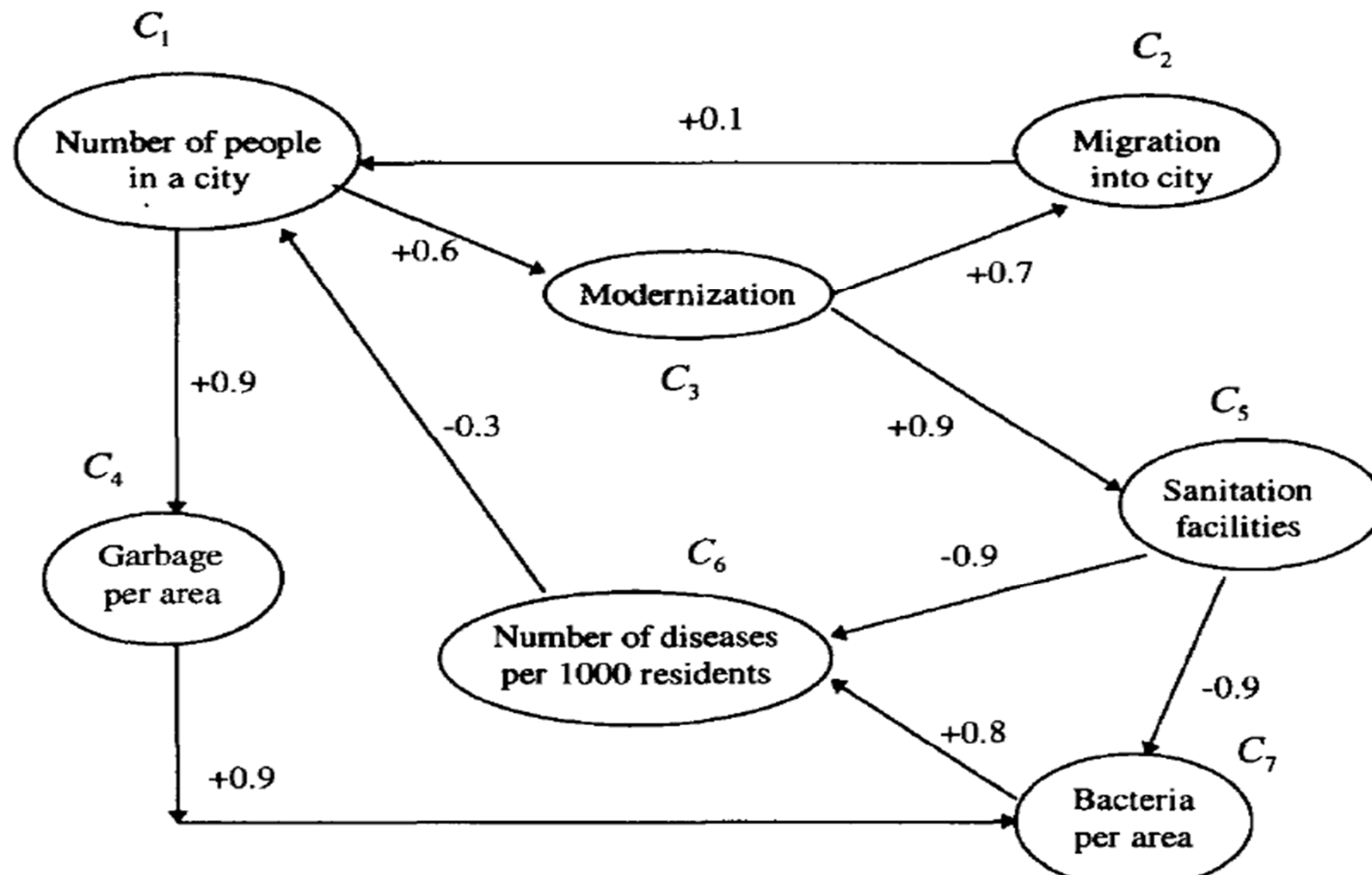
Εφαρμόζουμε μια διαφορετική τεχνική για το σχεδιασμό της ακτινοθεραπείας που ορίζεται από τις εξής αρχικές συνθήκες: εντοπισμός του όγκου ($C1=1$), φίλτρο ακτινοβόλησης ($C3=1$), σημαντική εμπειρία του ανθρώπου ($C4=1$), και ποιοτικός έλεγχος του μηχανήματος ($C6=1$).

$$A^{(0)} = [1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0].$$

Στο σημείο ισορροπίας η τελική δόση και η δόση στο πλάνο θεραπείας έχουν πάρει τις επιθυμητές τους τιμές=1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
t=0	1	0	1	1	0	1	0	0
t=1	1	0	0	1	-1	0	0	1
t=2	1	1	0	1	-1	0	-1	1
t=3	1	1	1	1	-1	1	-1	1
t=4	1	1	1	1	-1	1	-1	1
t=5	1	1	1	1	-1	1	-1	1
t=6	1	1	1	1	-1	1	-1	1
t=7	1	1	1	1	-1	1	-1	1

2^ο Παράδειγμα: ΑΓΔ που αναπαριστά την αύξηση των βακτηριδίων σε μια πόλη ανάλογα με τον πληθυσμό



Κόμβοι και βάρη-αλληλεπιδράσεις

- **C1:** Ο αριθμός των ανθρώπων στην πόλη
- **C2:** Μετανάστευση
- **C3:** Μοντερνισμός (Modernization)
- **C4:** Σκουπίδια ανά περιοχή
- **C5:** Ευκολίες υγιεινής
- **C6:** Αριθμός ασθενειών ανά 1000 κατοίκους
- **C7:** Βακτήρια ανά περιοχή

W_{ij}	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	0	0	0.6	0.9	0	0	0
	0.1	0	0	0	0	0	0
	0	0.7	0	0	0.9	0	0
	0	0	0	0	0	0	0.9
	0	0	0	0	0	-0.9	-0.9
	-0.3	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0.8	0

ΑΓΔ για το πρόβλημα μόλυνσης σε μια πόλη

Η σχέση που θα εφαρμόσουμε για τον υπολογισμό των τιμών των κόμβων σε κάθε βήμα t , με βάση τις αλληλεπιδράσεις είναι:

$$A_i^{(t+1)} = S \left(A_i^{(t)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(t)} w_{ji} \right)$$

Η συνάρτηση κατωφλίου
(Threshold function)



$$S(y) = \begin{cases} 1, y > 0 \\ 0, y = 0 \\ -1, y < 0 \end{cases}$$

Θεωρούμε την περίπτωση που αυξάνεται ο πληθυσμός (αριθμός κατοίκων) και η μετανάστευση και θέλουμε να βρούμε πως αυτά θα επηρεάσουν τις άλλες παραμέτρους και θα καταλήξουν σε ισορροπία. Οι αρχικές τιμές (διεγέρσεις) των κόμβων δίνονται από το διάνυσμα

$$A^{(0)} = [1 \ 0.5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0].$$



Βήματα υπολογισμού των τιμών των κόμβων για $t=1$

$$A_1^{(1)} = S \left(A_1^{(0)} + \sum_{j=1}^7 A_j^{(0)} w_{j1} \right) = S \left(1 + A_2^{(0)} w_{21} + A_3^{(0)} w_{31} + A_4^{(0)} w_{41} + A_5^{(0)} w_{51} + A_6^{(0)} w_{61} \right) = S(1 + 0.1 + (-0.3) * 0) = 1$$

$$A_2^{(1)} = S \left(A_2^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j2} \right) = S \left(1 + A_1^{(0)} w_{12} + A_3^{(0)} w_{32} + A_4^{(0)} w_{42} + A_5^{(0)} w_{52} + A_6^{(0)} w_{62} \right) = S(1 + (-0.3) * 0 + 0) = 1$$

$$A_3^{(1)} = S \left(A_3^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j3} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{13} + A_2^{(0)} w_{23} + A_6^{(0)} w_{62} \right) = S(0 + 1 * 0.6 + 0) = 1$$

$$A_4^{(1)} = S \left(A_4^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j4} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{14} + A_2^{(0)} w_{24} + 0 \right) = S(0 + 1 * 0.9 + 0) = 1$$

$$A_5^{(1)} = S \left(A_5^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j5} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{15} + A_2^{(0)} w_{25} + A_3^{(0)} w_{35} + A_4^{(0)} w_{45} \right) = S(0 + 0) = 0$$

$$A_6^{(1)} = S \left(A_6^{(0)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(0)} w_{j6} \right) = S \left(0 + A_1^{(0)} w_{16} + A_4^{(0)} w_{46} + A_5^{(0)} w_{56} + A_7^{(0)} w_{76} \right) = S(0 + 0) = 0$$

Βήματα υπολογισμού των τιμών των κόμβων-Σημείο Σύγκλισης

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
t=0	1	1	0	0	0	0	0
t=1	1	1	1	1	1	0	1
t=2	1	1	1	1	0	0	0
t=3	1	1	1	1	1	-1	1
t=4	1	1	1	1	1	-1	1
t=5	1	1	1	1	1	-1	1

Αύξηση βακτηριδίων

Αύξηση Σκουπιδιών

Υγιεινή

Τι παρατηρούμε στην κατάσταση ισορροπίας?

Οτι η αύξηση του πληθυσμού και η μετανάστευση οδηγούν σε **αύξηση των σκουπιδιών, του μοντερνισμού και των βακτηριδίων** αλλά σε μείωση του αριθμού των ασθενειών ανά 1000 κατοίκους

Επιπλέον παρατηρήσεις για τη σύγκλιση

Εάν αντί της σχέση υπολογισμού των τιμών των κόμβων

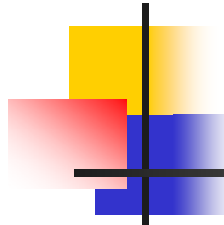
$$A_i^{(t+1)} = S \left(A_i^{(t)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(t)} w_{ji} \right)$$

χρησιμοποιήσουμε τη σχέση που δεν περιλαμβάνει τις προηγούμενες τιμές των κόμβων, δηλ. την:



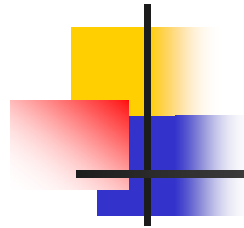
Για τις ίδιες αρχικές συνθήκες, (αρχικό διάνυσμα τιμών των κόμβων $A^{(0)}$), πάλι καταλήγω στην ίδια κατάσταση ισορροπίας αλλά μετά από **Ζ βήματα**.

Επομένως και οι δύο σχέσεις οδηγούν σε σύγκλιση του αλγορίθμου αλλά πιο γρήγορα καταλήγουμε με την πρώτη σχέση όπου λαμβάνονται σε κάθε βήμα t και οι προηγούμενες τιμές των κόμβων προκειμένου να συνεισφέρουν στην εξομείωση του μοντέλου ΑΓΔ.



3^ο Παράδειγμα

- Ασαφές Γνωστικό Δίκτυο για την αναπαράσταση της εμπειρίας του χρήστη και τις επιλογές αναζήτησης μέσω του διαδικτύου
(*Users' experience and search on the WWW*)

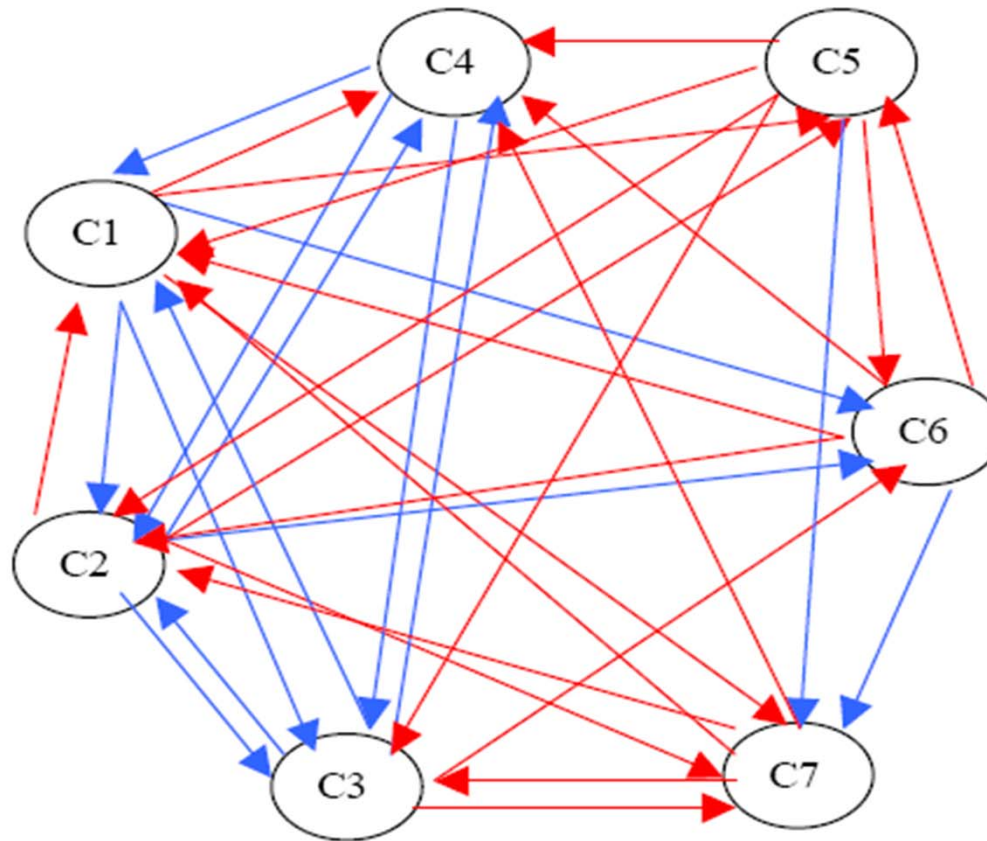


ΑΓΔ για αναζήτηση στο WWW

- Αποτελείται από τους ακόλουθους κόμβους-parameters, states
 - C1: Search Oriented (αναζήτηση)
 - C2: Browse Oriented (Φυλλομέτρηση)
 - C3: Time Constraints (Περιορισμοί χρόνου)
 - C4: Information Constraint (Περιορισμός Πληροφορίας)
 - C5: Success (Επιτυχία)
 - C6: Relevance (Συνάφεια)
 - C7: Failure (Αποτυχία)

ΑΓΔ για αναζήτηση στο WWW

Τα κόκκινα παριστάνουν +1 επίδραση και τα μπλέ -1.



Users' web search

Ο πίνακας βαρών-αλληλεπιδράσεων w_{ij} είναι ο:

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
C_1	0	-1	-1	1	1	-1	1
C_2	1	0	-1	-1	1	-1	1
C_3	-1	-1	0	-1	0	1	1
C_4	-1	-1	-1	0	0	0	0
C_5	1	1	1	1	0	1	-1
C_6	1	1	0	1	1	0	-1
C_7	1	1	1	1	0	0	0

Οι νέες τιμές των κόμβων για κάθε βήμα t υπολογίζονται από την ακόλουθη σχέση:



Η συνάρτηση κατωφλίου
(Threshold function)



$$S(y) = \begin{cases} 0, & \text{if } y \leq 0, \\ 1, & \text{if } y > 0. \end{cases}$$

ΑΓΔ για αναζήτηση στο WWW-1^η Περίπτωση

- Το διάνυσμα εισόδου με τις αρχικές τιμές των κόμβων για επιλογή κατευθυνόμενης αναζήτησης (search oriented) και αποτυχία χρήστη (Failure) είναι: $C^{(0)} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1] = F1$

- $C^{(1)} = C^{(0)} * W = [0 \ -1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 2]$, που μεταφράζεται στο $F2 = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1]$, (αφού εφαρμόσουμε τη συνάρτηση κατωφλίου S)
- $C^{(2)} = C^{(1)} * W = [0 \ -1 \ 0 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1]$, που μεταφράζεται στο $F3 = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$, (αφού εφαρμόσουμε τη συνάρτηση κατωφλίου S)
- $C^{(3)} = C^{(2)} * W = [1 \ 0 \ 0 \ 3 \ 2 \ 1 \ 0]$, που μεταφράζεται στο $F4 = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$,
- $C^{(4)} = C^{(3)} * W = [0 \ -1 \ -1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 0]$, που μεταφράζεται στο $F5 = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0]$

Success

Failure

Παρατηρούμε ότι $F4 = F5$ και το δίκτυο συγκρίνει σε αυτό το σημείο. Από το παραγόμενο διάνυσμα $F5$ συμπεραίνουμε ότι σε αυτή την περίπτωση με αρχικές επιλογές αναζήτησης ($C1$) και αποτυχίας ($C7$), μπορούν οι χρήστες να μετατρέψουν την αποτυχία σε επιτυχία μετά από 5 βήματα με σχετική πληροφορία.

ΑΓΔ για αναζήτηση στο WWW-2^η Περίπτωση

- Το διάνυσμα εισόδου με τις αρχικές τιμές των κόμβων για **επιλογή φυλλομέτρησης (browse oriented)**-- $C2=1$ και **αποτυχία χρήστη (Failure)**-- $C7=1$ είναι: $C^{(0)}=[0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]=F1$
- $C^{(1)}=C^{(0)} * W=[1 \ 0 \ 0 \ -1 \ 1 \ 0 \ 2]$, που μεταφράζεται στο $F2=[1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1]$, (αφού εφαρμόσουμε τη συνάρτηση κατωφλίου S)
- $C^{(2)}=C^{(1)} * W=[2 \ 0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 0 \ 2]$, που μεταφράζεται στο $F3=[1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1]$, (αφού εφαρμόσουμε τη συνάρτηση κατωφλίου S)
- $C^{(3)}=C^{(2)} * W=[1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 2 \ 0 \ 2]$, που μεταφράζεται στο $F4=[1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1]$,

Παρατηρούμε ότι $F3=F4$ και το δίκτυο συγκλίνει σε αυτό το σημείο. Από το παραγόμενο διάνυσμα $F4$ συμπεραίνουμε ότι σε αυτή την περίπτωση με αρχικές **επιλογές φυλλομέτρησης ($C2=1$)** και **αποτυχίας ($C7=1$)**, μπορούν οι χρήστες να καταλήξουν **είτε σε επιτυχία είτε σε αποτυχία**, έχουν τις ίδιες πιθανότητες, μετά από 4 βήματα με πληροφορία υπό περιορισμούς.

ΑΓΔ για αναζήτηση στο WWW-3^η Περίπτωση

- Το διάνυσμα εισόδου με τις αρχικές τιμές των κόμβων για επιλογή **κατευθυνόμενης αναζήτησης (search oriented)**--C1=1 και **επιτυχία χρήστη (Success)**--C5=1 είναι:
 $C^{(0)} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0] = F1$

- $C^{(1)} = C^{(0)} * W = [0 \ -1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$, που μεταφράζεται στο $F2 = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$, (αφού εφαρμόσουμε τη συνάρτηση κατωφλίου S)
- $C^{(2)} = C^{(1)} * W = [1 \ 0 \ 0 \ 3 \ 2 \ 1 \ 0]$, που μεταφράζεται στο $F3 = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]$, (αφού εφαρμόσουμε τη συνάρτηση κατωφλίου S)
- $C^{(3)} = C^{(2)} * W = [0 \ -1 \ -1 \ 2 \ 2 \ 1 \ 0]$, που μεταφράζεται στο $F4 = [1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]$,

Succe

SS

Παρατηρούμε ότι $F3 = F4$ και το δίκτυο συγκρίνει σε αυτό το σημείο. Από το παραγόμενο διάνυσμα $F4$ συμπεραίνουμε ότι σε αυτή την περίπτωση με αρχικές **επιλογές αναζήτησης (C1=1)** και επιτυχίας (**C5=1**), μπορούν οι χρήστες να διατηρήσουν την **επιτυχία της αναζήτησής τους**, μετά από 4 βήματα με πληροφορία υπό περιορισμούς.