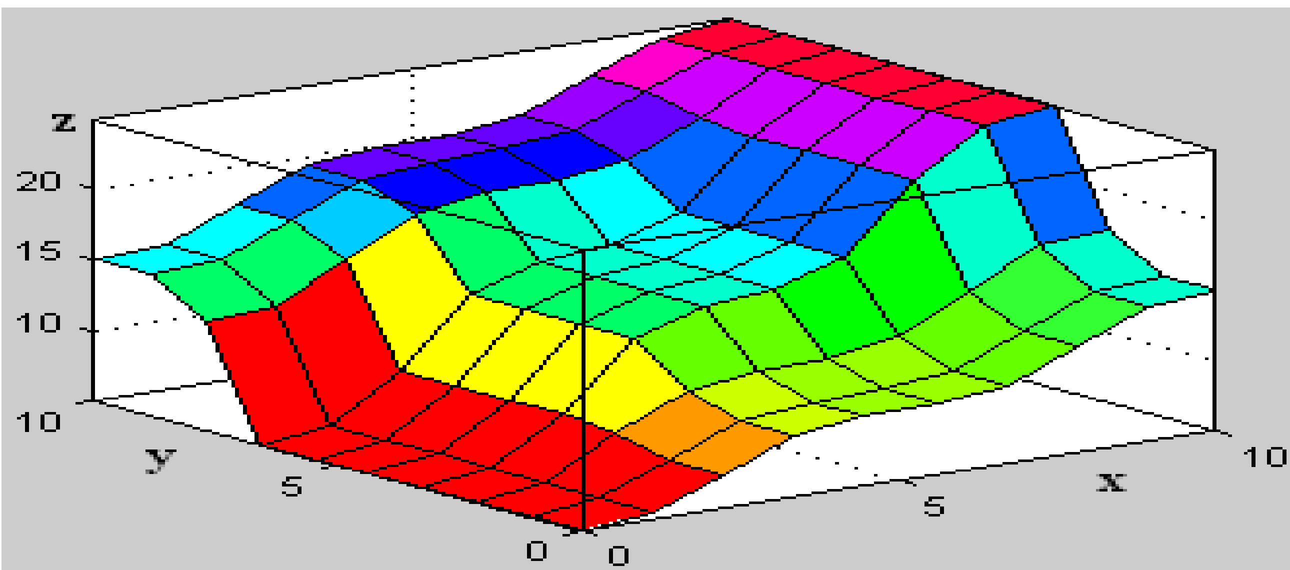
ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ - Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών
Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών ΤΕ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΑΓΑΚΟΥ-ΛΙΑΚΑΚΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Α.Μ.3547

ΣΑΜΠΑΘΙΑΝΑΚΗ ΝΙΚΟΛΑΟΥ Α.Μ.1170

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>Πτυχιακή εργασία με κωδικό AJK6</u>

Θέμα: Σχεδίαση ενός θερμοκηπιακού συστήματος θέρμανσης και εξαερισμού με χρήση Ασαφούς ελεγκτή.

Σκοπός: Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής είναι η ανάπτυξη ενός ασαφούς ελεγκτή για την επίτευξη ιδανικών συνθηκών θερμοκρασίας και εξαερισμού για την ορθή ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των φυτών ενός θερμοκηπίου.

1. Εισαγωγή στην Ασαφή λογική

Π.1 http://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_control_system

Η Ασαφής λογική χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο των μηχανών.
Ο όρος Ασαφή στην πραγματικότητα δίνεται για να αποδώσει την έννοια που δεν μπορεί να αποδοθεί με τις εκφράσεις αλήθεια ή ψέμα ή ακόμα και την έκφραση μερικώς αλήθεια. Παρόλα αυτά εναλλακτικές προτάσεις όπως οι **Γενετικοί Αλγόριθμοι** και τα **Νευρωνικά Δίκτυα** μπορούν να αποδώσουν και να λειτουργήσουν τόσο καλά όσο η **Ασαφής Λογική,** αλλά η ασαφή λογική έχει το πλεονέκτημα και την επίλυση για προβλήματα που κοστίζουν στον άνθρωπο και τα ανθρώπινα συστήματα την δυσκολία να κατανοήσουν . Έτσι με την εμπειρία που αποκτά ο άνθρωπος από την ασαφή λογική μπορεί να σχεδιάσει και να κατασκευάσει ελεγκτές που τον βοηθούν στο να αντιμετωπίζει ευκολότερα μηχανισμούς και διαδικασίες που ίδει σήμερα έχει κατακτήσει ή ακόμα και να δημιουργήσει νέες καλύτερες.

Π.2 http://www.facstaff.bucknell.edu/mastascu/econtrolhtml/Fuzzy/Fuzzy1.html

Να τι ανέφεραν μερικοί σπουδαίοι επιστήμονες για την ασαφή λογική:

«Fuzzy theory is wrong, wrong, and pernicious. What we need is more logical thinking, not less. The danger of fuzzy logic is that it will encourage the sort of imprecise thinking that has brought us so much trouble. Fuzzy logic is the cocaine of science.»

[1] Professor William Kahan
University of California at Berkeley

"Fuzzification" is a kind of scientific permissiveness. It tends to result in socially appealing slogans unaccompanied by the discipline of hard scientific work and patient observation.

[2] Professor Rudolf Kalman
University of Florida at Gainesville

As complexity increases, precise statements lose meaning and meaningful statements lose precision.

Professor Lofti Zadeh
University of California at Berkeley
quoted in McNeill & Freiberger, p 43

So far as the laws of mathematics refer to reality, they are not certain. And so far as they are certain, they do not refer to reality.

Albert Einstein
in Geometry & Experience

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα της ασαφής λογικής,και ιδιαίτερα στην εφαρμογή της πάνω στον έλεγχο συστημάτων.

Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αποτελεσματικότητα που έχει επιδείξει η χρήση της ασαφούς λογικής σε έναν σημαντικό αριθμό εφαρμογών κεντρίζοντας έτσι το ενδιαφέρον αρκετών ερευνητών.

2.Που χρησιμοποιείται η ασαφή λογική:

- **Στα αυτόματα κιβώτια ταχυτήτων στα αυτοκίνητα**
- **Στην εστίαση των φακών σε πολλές μηχανές λήψης εικόνας και βίντεο**
- **Στους ελεγκτές ταξιδίου σε πολλά αυτοκίνητα**
- **Σε πολλούς αυτοκινητόδρομους στην Ιαπωνία**
- **Σε πολλά προγράμματα υπολογιστών**
- **Στην εναέρια κυκλοφορία και πλοήγηση**
- **Σε συστήματα εξαερισμού και διαχείριση της θερμοκρασίας διαφόρων εγκαταστάσεων**
- **Σε τοπογραφικά συστήματα χαρτογράφησης**
- **Σε δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών**
- **Ανελκυστήρες**
- **Ο έλεγχος του επιπέδου του υγρού σε δεξαμενές**
- **Ο βιολογικός καθαρισμός του νερού**
- **Ο έλεγχος τριφασικών κινητήρων**
- **η αυτόματη λειτουργία τρένων**
- **Στο σύστημα φρένων ABS**
- **Σε ιατρικές εφαρμογές**
- **Στην οικολογία**
- **Στην στατιστική**
- **Στην γενετική επιστήμη**
- **Στην Πυρηνική φυσική**
- **Στην κοινωνιόλογια**
- **Στην Ψυχολογία**
- **Στην Διαστημική τεχνολογία**
- **Και σε πολλές άλλες εφαρμογές**

Μελετώντας την ασαφή λογική είναι σαν να μελετάμε ένα είδος λογικής. Όλοι είμαστε λίγο πολύ εξοικειωμένοι με τις διάφορες αρχές της λογικής. Η ασαφής λογική είναι βασισμένη πάνω στις παραδοσιακές λογικές αλλά τις εξελίσσει επομένως η ασαφή λογική μπορεί να λύσει βασικά προβλήματα που μένουν άλυτα χρησιμοποιώντας τις παραδοσιακές λογικές.

Όπως και με πολλά άλλα πράγματα όλα ξεκίνησαν από τους αρχαίους Έλληνες οι οποίοι πρώτοι ανακάλυψαν και ανέλυσαν την έννοια της λογικής. Ο Αριστοτέλης αν και δεν ήταν ο πρώτος που ανακοίνωσε στα ιδρύματα την έννοια της παραδοσιακής λογικής, ήταν σίγουρα ο πρώτος που την ανέπτυξε.

Η *κλασική δίτιμη (0-1)Αριστοτέλεια λογική*

Η ***κλασική δίτιμη (Αριστοτέλεια) λογική*** είναι γνωστή από την Αρχαιότητα (500 π.Χ.), θεμελιώθηκε από τους αρχαίους Έλληνες φιλόσοφους (***Αριστοτέλης, Πυθαγόρας, Στωικοί-Χρύσιππος***, κ.λπ.) και αποτελεί τη βάση της λεγόμενης δυτικής σκέψης και του δυτικού πολιτισμού.

Σύμφωνα με την κλασική δίτιμη λογική μια λογική πρόταση μπορεί να πάρει μόνον δύο τιμές, δηλ. μπορεί να είναι αληθής ή ψευδής (1 ή 0), αποκλείοντας τρίτη λύση (Αρχή της Απόκλεισης του Τρίτου). Έτσι σύμφωνα με τη Δίτιμη Λογική, αν μια λογική πρόταση δεν είναι αληθής (άσπρη) τότε θα είναι αναγκαία ψευδής (μαύρη), ενώ αν δεν είναι ψευδής τότε θα είναι αναγκαία αληθής.

Χαρακτηριστικός είναι ο ισχυρισμός του :

«Τα πράγματα είτε υπάρχουν είτε όχι.»

Άρα με την αρχή αυτής της λογικής δεν υπάρχει τίποτα ανάμεσα σε δύο καταστάσεις. Η αρχή αυτή καλείται **αρχή του αποκλειόμενου μέσου ή *νόμος της του τρίτου αποκλείσεως.***

Στην τυπική λογική γράφεται:

$$P \vee \neg P..$$

Συχνά επίσης σημειώνεται ως:

$$\forall P(P \vee \neg P)$$

για κάθε πρόταση P, P είναι αληθής ή "όχι-P" είναι αληθής.

Π.3 Οικονόμου Παναγιώτης Δρ. Ε. Παπαγεωργίου
http://www.terrapapers.com/wp-content/uploads/2014/02/fuzzy_logic.pdf

Ένα Ιστορικό λογικό παράδοξο της δίτιμης (Αριστοτέλειας) Λογικής:

***<u>Το παράδοξο του Κρητικού Επιμενίδη</u>*: *<u>"Κρῆτες ἀεὶ ψεῦσται - Οι Κρητικοί λένε πάντα ψέματα“</u>* :**
Ο Επιμενίδης λέει ότι οι Κρητικοί λένε πάντα ψέματα
Ο Επιμενίδης όμως είναι Κρητικός
Άρα ο Επιμενίδης λέει ψέματα, ότι οι Κρητικοί ψεύδονται
Άρα οι Κρητικοί λένε την αλήθεια
Άρα και ο Επιμενίδης λέει την αλήθεια
Άρα οι Κρητικοί είναι ψεύτες, κ.ο.κ. (φαύλος κύκλος).

- **Δηλ. ο Κρητικός Επιμενίδης ψεύδεται όταν λέει ότι όλοι οι Κρητικοί λένε πάντα ψέματα; Εάν ψεύδεται, λέει την αλήθεια. Αλλά εάν λέει την αλήθεια, τότε ψεύδεται.**

Δίτιμη Λογική   και Πλειότιμη-Ασαφής Λογική

Η δίτιμη Αριστοτέλεια λογική επικράτησε πλήρως από τον 10^{ο} αιώνα στον δυτικό πολιτισμό, για δύο κυρίως λόγους:

- 1^{ο}) γιατί απλουστεύει κατά πολύ τη συλλογιστική των προβλημάτων, και
- 2^{ο}) γιατί αποδίδει απόλυτη «βεβαιότητα» στην απόδειξη και αποδοχή της «αλήθειας».

Όμως αυτή η απόλυτη «βεβαιότητα» της δίτιμης λογικής καθώς και οι φυσικές ατέλειες της «ασπρόμαυρης» συλλογιστικής της, αποδείχθηκαν «ανθρωπο-λογικά» ανεπαρκείς για την ερμηνεία τόσο της φυσικής γλώσσας και της ανθρώπινης συμπεριφοράς, όσο και της συνήθως ασαφούς πραγματικότητας που μας περιβάλλει.

Η ασαφής λογική (fuzzy logic) είναι μια επέκταση της κλασσικής αριστοτέλειας λογικής. Μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής "με κάποιο βαθμό αληθείας", και όχι απλά αληθής ή ψευδής. Με απλά λόγια, η ασαφής λογική λέει ότι τα πράγματα συχνά δεν είναι «άσπρο-μαύρο» αλλά «αποχρώσεις του γκρι». Η ιδέα αυτή απετέλεσε επανάσταση στη θεωρία της λογικής, γιατί ξέφυγε από το μοντέλο που κυριαρχούσε εδώ και 2500 χρόνια, δηλαδή το μοντέλο του «0-1», «αληθές-ψευδές».

Ο κυρίαρχος τρόπος λειτουργίας της επιστήμης απαιτεί προτάσεις οι οποίες είναι είτε ΑΛΗΘΕΙΣ είτε ΨΕΥΔΕΙΣ.Ο τρόπος λειτουργίας της ανθρώπινης λογικής όμως δεν θέτει ακριβή όρια μεταξύ ΑΛΗΘΟΥΣ και ΨΕΥΔΟΥΣ.

Πρώτος που ασχολήθηκε με την ασαφή λογική είναι ο
Lotfi A. Zadeh (University of California at Berkeley) το 1965.

Εικόνα 1

Περσο-Αμερικανός Μηχανικός
Θεμελιωτής της Ασαφούς Λογικής

Η ασαφής λογική προτάθηκε από τον Lotfi A Zadeh (UCLA,Berkeley)

- Πρόταση: Ο Γιώργος είναι νέος.
- Δεδομένο: Ο Γιώργος είναι 22 ετών.

Η ΑΛΗΘΕΙΑ του ο Γιώργος είναι νέος είναι θέμα βαθμού (matter of degree)

Π.4 Μητράκης Νικόλαος
Διπλωματική Εργασία Επιβλέπων Καθηγητής: Θεοχάρης Ιωάννης
Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2003 Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ
Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών
Θέμα: Μελέτη και Προσομοίωση Ασαφών Ελεγκτών

Η ασαφής λογική δίνει μια ικανοποιητική λύση στη λεγόμενη αρχή του ασυμβίβαστου: «Καθώς η πολυπλοκότητα ενός συστήματος αυξάνει, η ικανότητα μας να προβαίνουμε σε ακριβείς και σημαντικές δηλώσεις για τη συμπεριφορά του μειώνεται μέχρι που να φθάσουμε σε ένα όριο πέρα του οποίου ακρίβεια και σημαντικότητα καθίστανται σχεδόν αμοιβαίως αποκλειόμενα χαρακτηριστικά». Είναι προφανές ότι η αρχή αυτή είναι απόρροια της κβαντικής αρχής της απροσδιοριστίας του Heisenberg.

Οι ασαφείς ελεγκτές αποτελούν συστήματα διακριτού χρόνου και επιπλέον χαρακτηρίζονται από έντονη μη γραμμικότητα. Αντιθέτως, οι ελεγκτές που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις του αυτομάτου ελέγχου μπορεί να είναι διακριτού ή συνεχούς χρόνου και είναι κυρίως γραμμικοί. Είσοδοι και στις δύο περιπτώσεις αποτελούν το σφάλμα της εξόδου του ελεγχόμενου συστήματος με την είσοδο αναφοράς και τα χαρακτηριστικά αυτού του σφάλματος όπως η μεταβολή και ο ρυθμός μεταβολής του. Η έξοδος των ασαφών όσο και των γραμμικών ελεγκτών μπορεί να είναι το σήμα ελέγχου ή η προσαύξηση του σήματος αυτού, ανάλογα πάντα με την μορφή του ελεγκτή.

Το κύριο όμως μειονέκτημα των ασαφών ελεγκτών είναι ο μεγάλος αριθμός των παραμέτρων που πρέπει να ρυθμιστούν για να ικανοποιηθούν τα κριτήρια που έχουν τεθεί σε κάθε περίπτωση, ως προς την επιθυμητή απόκριση του ελεγχόμενου συστήματος. Η εύρεση του πεδίου τιμών των ασαφών μεταβλητών, η μορφή των συναρτήσεων συμμετοχής των ασαφών συνόλων, η επιλογή του μηχανισμού εξαγωγής συμπεράσματος και των τελεστών που χρησιμοποιεί η ασαφής λογική, 5Εισαγωγή Στον Ασαφή Έλεγχο ο σχεδιασμός της ασαφούς βάσης κανόνων, ο καθορισμός των πιθανών κερδών κλιμακοποίησης που μπορεί να διαθέτει ο ελεγκτής, η επιλογή του χρόνου δειγματοληψίας και ένας αριθμός ακόμη παραμέτρων καθιστούν την διαδικασία ρύθμισης του ασαφούς ελεγκτή μια χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία.

Επιπλέον, η έλλειψη πλήρους θεωρητικού και μαθηματικού υπόβαθρου για την κατάλληλη ρύθμιση αυτών των παραμέτρων καθιστά των ασαφή έλεγχο μια διαδικασία που στηρίζεται κυρίως σε προσπάθειες δοκιμής και σφάλματος. Οι παραπάνω παρατηρήσεις έχουν επιφέρει μεγάλη κριτική πάνω στη χρήση της ασαφούς λογικής στον έλεγχο συστημάτων σε σχέση με την απλότητα του γραμμικού ελέγχου. Στο γραμμικό έλεγχο απαιτείται η εύρεση των τιμών το πολύ τριών κερδών και για αυτήν την διαδικασία υπάρχουν διαθέσιμα αρκετά μαθηματικά εργαλεία που μπορούν να προσφέρουν μια πλήρη θεωρητική αντιμετώπιση του προβλήματος.

Η μη γραμμικότητα των ασαφών ελεγκτών εγείρει όμως και προβληματισμό για την ευστάθεια των συστημάτων ασαφούς ελέγχου στις πρακτικές εφαρμογές. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ευστάθειας των FLC έχουν γίνει κάποια βήματα χρησιμοποιώντας θεωρήσεις και τεχνικές από την θεωρία των μη γραμμικών συστημάτων. Μερικές από τις τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί αφορούν την χρήση της άμεσης μεθόδου Lyapynov για τον καθορισμό συνθηκών για τη γενική ευστάθεια συστημάτων υπό ασαφή έλεγχο, την ύπαρξη συνθηκών για την απόλυτη ευστάθεια των συστημάτων ασαφούς ελέγχου ή την εφαρμογή του κριτηρίου Popov για τον ασαφή έλεγχο συστημάτων συνεχούς χρόνου και του κριτηρίου δίσκου για τον έλεγχο διακριτών συστημάτων. Οι περισσότερες όμως από αυτές τις τεχνικές βασίζονται σε συνθήκες και υποθέσεις που στην πραγματικότητα είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν. Επομένως και η ευστάθεια των ασαφών ελεγκτών αποτελεί ένα ανοικτό πρόβλημα.

3. ΑΣΑΦΗΣ ΛΟΓΙΚΗ

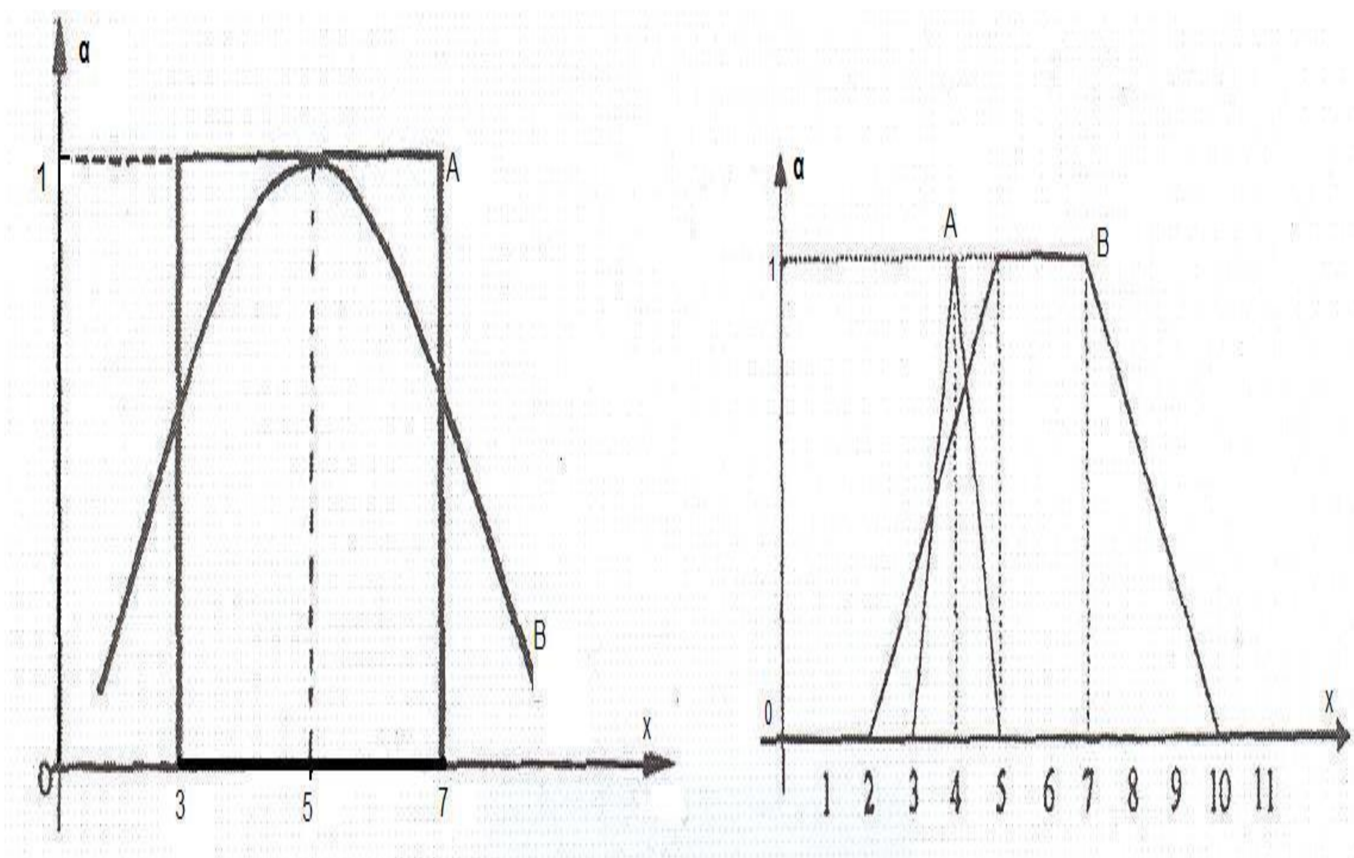
Βασικές έννοιες-ορισμοί

Η Ασαφής Λογική βασίζεται στην επέκταση της έννοιας ***του Δίτιμου Συνόλου*** (1), στη γενικευμένη έννοια ***του Ασαφούς Συνόλου*** (2):

$$I_A : X \to \{0,1\}, \quad \mu\varepsilon \quad I_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{αν} \quad x \in A \\ 0, & \text{αν} \quad x \notin A \end{cases}, \qquad (1)$$

$$\mu_A : X \to [0,1], \qquad \mu\varepsilon \qquad \mu_A(x) = \alpha \in [0,1], \qquad (2)$$

Σύγκριση κλασικού και ασαφούς συνόλου



Εικόνα 2

Κλασικό Σύνολο, $A = \{3, 5, 7\}$

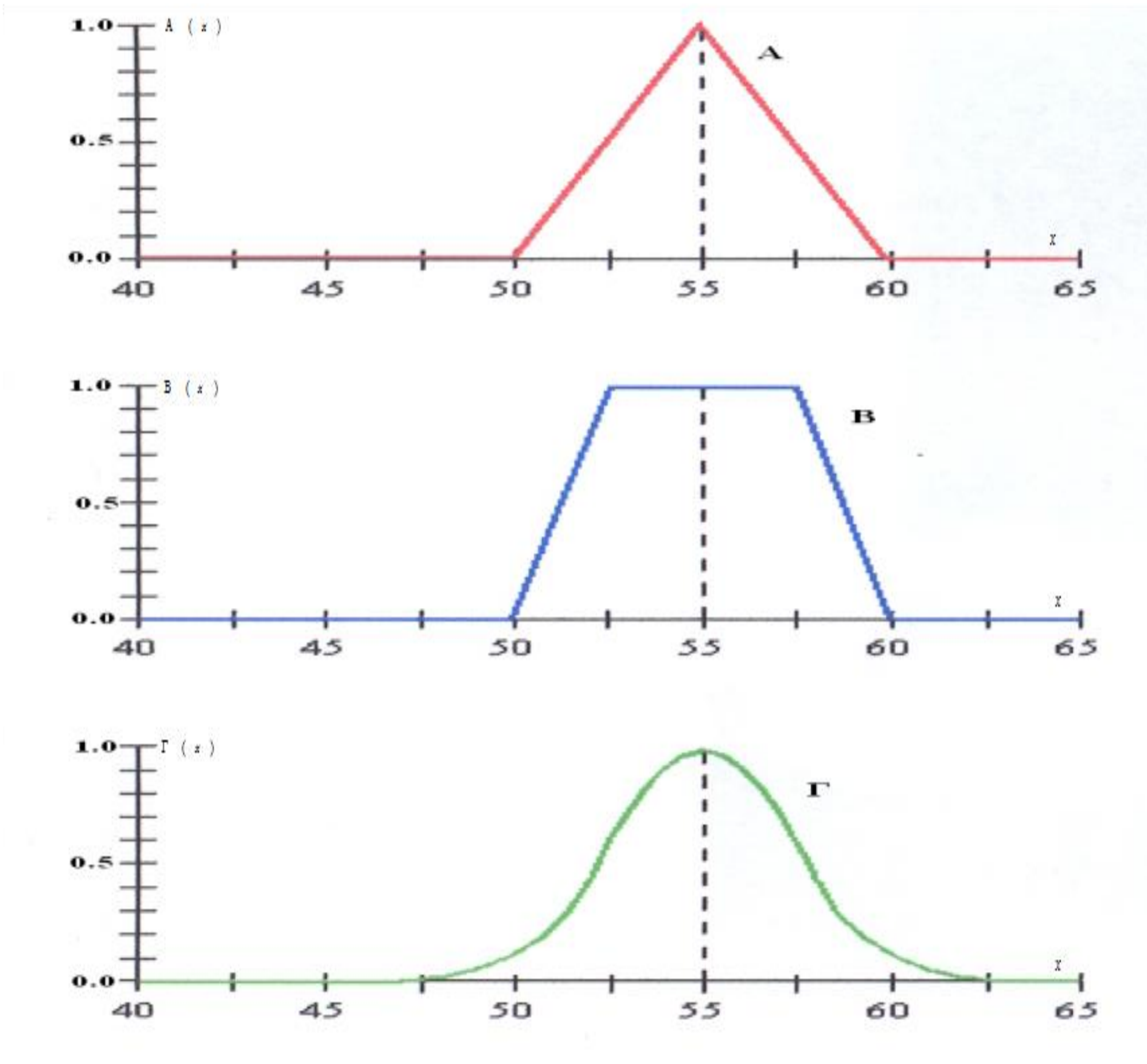
Ασαφές Σύνολο, $B = \{\text{περίπου } 5\}$

Συνήθη στη πράξη, ασαφή σύνολα :

A, Τριγωνικό, "περίπου 4"

B, Τραπεζοειδές, "περίπου μεταξύ 5 και 7"

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΗΘΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ*:*
Α-*Τριγωνικού,* Β- *Τραπεζοειδούς και* Γ- *καμπανοειδούς ,*
***που εκφράζουν την ίδια ασαφή έννοια, «x περίπου* 55»**



Εικόνα 3

Έτσι για την αντιμετώπιση τέτοιων γλωσσικών ασαφών εκφράσεων, το *Ασαφές Σύνολο* επεκτείνει την έννοια ενός δίτιμου συνόλου μέσω της *συνάρτησης συμμετοχής*, δηλ.

$$\mu_A : x \in X \to \mu_A(x) \in [0,1]$$

Δηλαδή:

$\mu_A(x) = 1$, σημαίνει ότι το x ανήκει ολοκληρωτικά στο A,

$\mu_A(x) = 0$, σημαίνει ότι το x δεν ανήκει καθόλου στο A,

$0 < \mu_A(x) < 1$, σημαίνει ότι το x ανήκει μερικά, δηλ. κατά κάποιο βαθμό στο A.

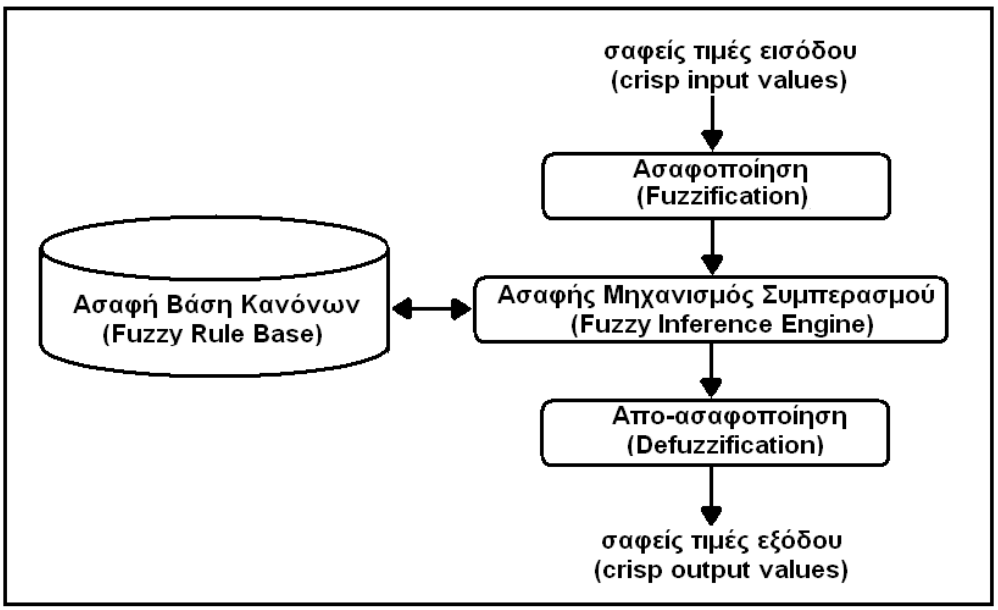
Ο αριθμός $\mu_A(x) \in [0,1]$ δηλώνει τον βαθμό συμμετοχής με τον οποίο το στοιχείο $x \in X$ ανήκει (συμμετέχει) στο ασαφές υποσύνολο A του X.

4. Εισαγωγή στους ασαφείς ελεγκτές

Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός ***ασαφούς ελεγκτή (fuzzy controller)*** είναι:

- ***Η βάση γνώσης*** *(knowledge base)* στην οποία είναι αποθηκευμένοι οι κανόνες (if-then rules) για τον έλεγχο της διαδικασίας.
- ***Τα ασαφή σύνολα*** *(fuzzy sets)* τα οποία χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν της μεταβλητές εισόδου και εξόδου με τους λεκτικούς όρους.
- ***Ο ασαφοποιητής*** *(fuzzifier)* ο οποίος μετατρέπει τις πραγματικές τιμές της εισόδου σε ασαφή σύνολα

- ***Ο μηχανισμός συμπερασμού*** *(inference engine)* ο οποίος επεξεργάζεται τις εξόδους του ασαφοποιητή και με χρήση της βάσης γνώσης εξάγει τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων.
- ***Ο αποσαφοποιητής*** *(defuzzifier)* ο οποίος μετατρέπει τα συμπεράσματα που εξάγει ο μηχανισμός συμπερασμού σε πραγματικούς αριθμούς για να μπορεί να γίνει μετάδοση της δράσης ελέγχου στην διαδικασία.



Εικόνα 4

Χαρακτηριστικό διάγραμμα ροής του ασαφούς συμπερασμού

Οι είσοδοι σε έναν ασαφή ελεγκτή είναι σήματα (δηλαδή σαφείς μεταβλητές) και επομένως πρέπει ο σχεδιαστής ενός ασαφούς ελεγκτή να κάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. ***Λεκτική κατανομή των εισόδων*:** Ο σχεδιαστής πρέπει να αναπαραστήσει τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου με τους λεκτικούς όρους.

2**. *Διατύπωση των κανόνων:*** Τα ασαφή σύνολα μετά την κατανομή των εισόδων και εξόδων αποθηκεύονται υπό τη μορφή συναρτήσεων συμμετοχής στον υπολογιστή και έπειτα ακολουθεί η διατύπωση των κανόνων.

3. ***Καθορισμό του τύπου της ασαφούς συνεπαγωγής:*** Μετά τη διατύπωση των κανόνων είναι απαραίτητος ο καθορισμός του ασαφούς τύπου συνεπαγωγής. Οι πιο γνωστοί τύποι ασαφούς συνεπαγωγής είναι:

α) του ***Mamdani,*** όπου χρησιμοποιείται ο τελεστής max-min, ο οποίος λαμβάνει το μικρότερο από τους βαθμούς συμμετοχής των ασαφοποιημένων τιμών και παράγει το *βαθμό εκπλήρωσης (degree of fulfillment)* του κάθε κανόνα. Ο βαθμός εκπλήρωσης του κανόνα δηλώνει τη βαρύτητα που έχει το αποτέλεσμα του κανόνα.

β) του ***Larsen,*** όπου χρησιμοποιείται ο τελεστής max-product, ο οποίος πολλαπλασιάζοντας τους βαθμούς συμμετοχής των ασαφοποιημένων τιμών υπολογίζει το βαθμό εκπλήρωσης του κανόνα.

4. ***Από-ασαφοποίηση:*** Η από-ασαφοποίηση παράγει μία αυστηρή ή crisp τιμή από ένα ασαφές σύνολο. Είναι με λίγα λόγια, η αντίθετη διαδικασία από την ασαφοποίηση. Οι μέθοδοι από-ασαφοποίησης είναι:

- ***Από-ασαφοποίηση κεντρικής τιμής*** *(Centroid defuzzycation ή center of area ή COA),* όπου υπολογίζεται το κέντρο βάρους της κατανομής του ασαφούς συνόλου της εξόδου:

$$x'_{COA} = \frac{\int x \cdot \mu(x)dx}{\int \mu(x)dx}$$

- ***Από-ασαφοποίηση μέσου όρου των μεγίστων*** *(Mean of Maxima ή MOM),* όπου υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών εξόδου που έχουν τον μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής:

$$x'_{MOM} = \frac{1}{m}\sum^{m} \max \mu(x)$$

- ***Από-ασαφοποίηση μικρότερου από τους μέγιστους*** *(Smallest of maxima ή SOM),* όπου υπολογίζεται από τις μέγιστες τιμές εξόδου εκείνη που έχει το μικρότερο βαθμό συμμετοχής.

- ***Από-ασαφοποίηση μεγαλύτερου από τους μέγιστους*** *(Largest of maxima ή LOM),* όπου υπολογίζεται από τις μέγιστες τιμές εξόδου εκείνη που έχει το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η μέθοδος από-ασαφοποίησης της κεντρικής τιμής ή κεντρώου (Centroid ή COA), εξαιτίας της ικανότητάς της να παρουσιάζει σε σχέση με τις άλλες μεθόδους το πιο μικρό σφάλμα.

Ο Zadeh με το βιβλίο του "Fuzzy Sets" το 1965, παρουσίασε τη θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy set theory), σύμφωνα με την οποία μια τιμή μπορεί να ανήκει ταυτόχρονα σε πολλά υποσύνολα, στο κάθε ένα με ένα βαθμό συμμετοχής. Το ασαφές σύνολο είναι ένα τέτοιο υποσύνολο το οποίο περιλαμβάνει στοιχεία, που το κάθε ένα έχει ένα βαθμό συμμετοχής.

5. Βασικοί Όροι

Στην κλασική θεωρία των συνόλων, ένα σύνολο αποτελείται από ένα πεπερασμένο ή άπειρο αριθμό στοιχείων και μπορεί να αναπαρασταθεί από την απαρίθμηση των στοιχείων του ως εξής:

$$A = \{a_{1,}\ a_{2,} a_{3,\ldots,}\ a_n\}$$

Τα στοιχεία όλων των συνόλων υπό μελέτη ανήκουν σε ένα ***υπερσύνολο αναφοράς*** (universe of discourse).

Αν αυτά τα στοιχεία a_i(i=1,….,n) του A είναι όλα μαζί ένα υποσύνολο του υπερσυνόλου αναφοράς X, το σύνολο A μπορεί να αναπαρασταθεί από όλα τα στοιχεία x Є X από τη χαρακτηριστική συνάρτηση

$$\mu_{\mathrm{A}}(x)=\begin{cases}1 & \alpha\nu\ x\in X\\ 0 & \alpha\lambda\lambda\iota\omega\varsigma\end{cases}$$

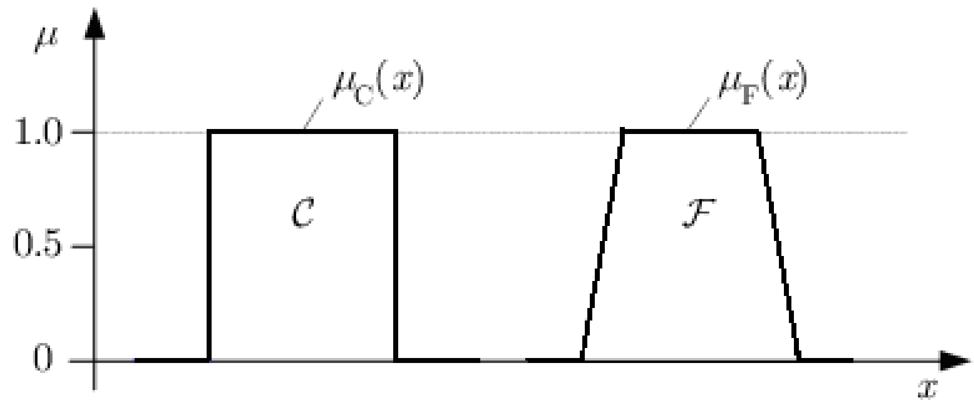
Στην κλασική θεωρία των συνόλων το $\mu_A(x)$ έχει μόνο τις τιμές 0 (``false'') και 1 (``true'') που είναι οι τιμές της αλήθειας. Τέτοια σύνολα επίσης ονομάζονται *crisp σύνολα (crisp sets)*. Τα μη- crisp σύνολα ονομάζονται *ασαφή σύνολα* (fuzzy sets).

Ασαφές Σύνολο *είναι* οποιοδήποτε σύνολο το οποίο επιτρέπει τα μέλη του να έχουν διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής (συνάρτηση συμμετοχής) στο διάστημα [0,1].

Για τα ασαφή σύνολα επίσης μπορεί να οριστεί μία συνάρτηση, η οποία ονομάζεται *Συνάρτηση Συμμετοχής (*Membership Function).

Η συνάρτηση συμμετοχής *(ή MF)* υποδεικνύει το βαθμό κατά τον οποίο το σύνολο x ανήκει στο σύνολο A, δηλαδή

$$\mu_{\mathrm{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$$



Εικόνα 5

Χαρακτηριστική συνάρτηση συμμετοχής ενός κλασσικού ή crisp συνόλου (αριστερά) και ενός ασαφούς συνόλου (δεξιά)

Τα ασαφή σύνολα συχνά αναπαρίστανται από σύνολα διατεταγμένων ζευγών (ordered pairs) ως εξής:

$$A = \int \{\mu_A(x)/x\} \quad \acute{\eta} \quad \sum \{\mu_A(x)/x\} \quad \gamma\iota\alpha \ x \in X$$

Τα σύμβολα $\int$ και $\sum$ εκφράζουν το σύνολο και όχι το κλασικό ολοκλήρωμα ή το άθροισμα. Σε πιο απλή μορφή η παραπάνω σχέση (3) μπορεί να γραφεί ως:

$$\mu_A(x) = \{\mu_1(x)/x_1, \mu_2(x)/x_2, \ldots\ldots, \mu_n(x)/x_n,\}$$

6. Βασικές Ιδιότητες Ασαφών Συνόλων

Κάποιες *βασικές ιδιότητες* των ασαφών συνόλων είναι οι εξής:

- Το *ύψος (height)* ενός ασαφούς συνόλου A, hgt(A), ορίζεται ως :

$$hgt(A) = \sup_{x \in X} \mu_{\mathrm{A}}(x)$$

Τα ασαφή σύνολα των οποίων το ύψος είναι ίσο με το 1, ονομάζονται *κανονικά*.

- Ο κόρος *(core)* ενός ασαφούς συνόλου είναι το υποσύνολο του πεδίου ορισμού της συνάρτησης συμμετοχής για το οποίο το πεδίο τιμών παίρνει τιμές ίσες με τη μονάδα.

$$core(A) = \left\{ x \in X \setminus \mu_{\mathrm{A}}(x) = 1 \right\}$$

Το *σύνολο στήριξης (support set)* ενός ασαφούς συνόλου είναι το σύνολο των στοιχείων του υπερσυνόλου αναφοράς X για το οποίο ισχύει ότι :

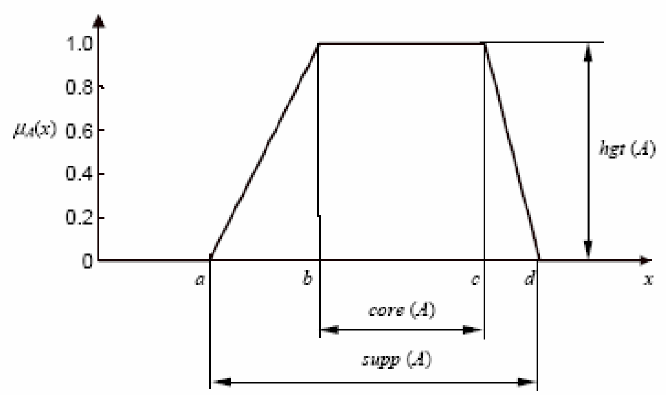
$$\mathrm{supp}(A) = \left\{ x \in X \setminus \mu_{\mathrm{A}}(x) > 0 \right\}$$

Κανονικό ασαφές σύνολο *(normal set)* είναι το ασαφές σύνολο του οποίου ο πυρήνας δεν είναι κενό σύνολο, δηλαδή υπάρχει τουλάχιστον ένα στοιχείου του τέτοιο ώστε $\mu_A(x) = 1$

Σύνολο α-τομής *(a-cut)* A_α είναι ένα κλασσικό ή crisp σύνολο το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία x Є X που έχουν μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής από μία τιμά α.

$$A_a = \{x \in X \setminus \mu_A(x) \geq a\} \quad \acute{o}\pi o\upsilon \quad 0 < a \leq 1$$

Κυρτό ασαφές σύνολο *(convex fuzzy set)* είναι το ασαφές σύνολο το οποίο έχει μονότονα αύξουσα ή μονότονα φθίνουσα συνάρτηση συμμετοχής.



Εικόνα 6

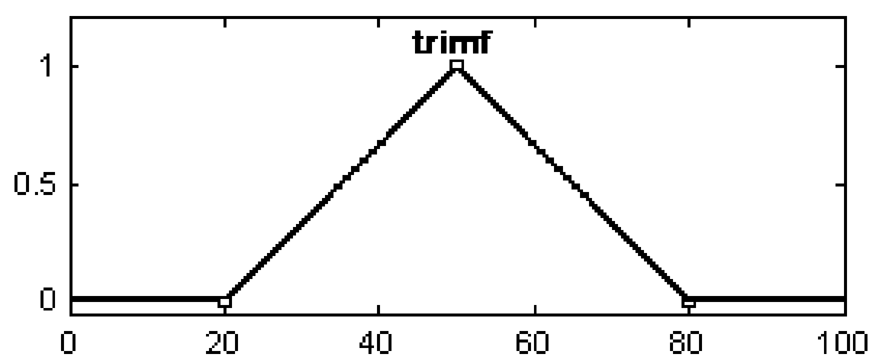
Ύψος, υποστήριξη και κόρος ενός ασαφούς συνόλου

7. Συναρτήσεις Συμμετοχής

Υπάρχουν διάφοροι **τύποι συναρτήσεων συμμετοχής** *(Membership functions ή MF's)* που αναπαριστούν τα ασαφή σύνολα όπως είναι η *τριγωνική μορφή* (*triangular mf*), η *τραπεζοειδή* (trapezoidal mf), η *καμπανοειδή* (generalize *bell mf ή gbell mf),* η *γκαουσιανή* (*gaussian mf*), η *μορφή s* (*s mf)*, η *μορφή pi* (*pi mf*), η *μορφή z* (*z mf*), η *σιγμοειδή* (*sigmoidal mf*) ή ακόμα και μια συγκεκριμένη μαθηματική τιμή.

- **Η τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής** (*triangular mf*) χαρακτηρίζεται από τις τρεις παραμέτρους {a, b, c}, ως εξής:

$$triangle(x;a,b,c)=\max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}\right),0\right)$$

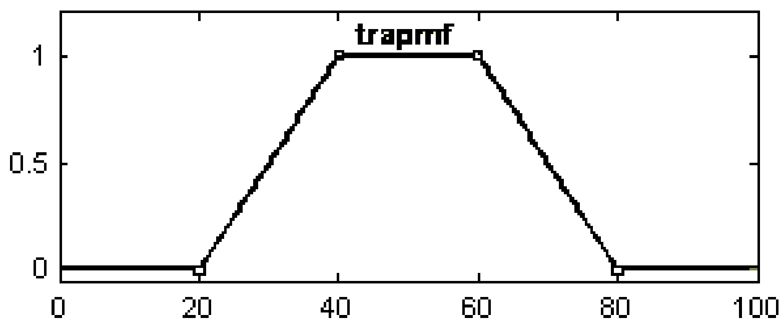


Εικόνα 7

Παράδειγμα τριγωνικής συνάρτησης συμμετοχής (x; 20, 50, 80)

- **Η τραπεζοειδής συνάρτηση συμμετοχής** *(trapezoidal mf)* χαρακτηρίζεται από τις τέσσερις παραμέτρους {a, b, c, d}, ως εξής:

$$trapezoid(x;a,b,c,d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right)$$

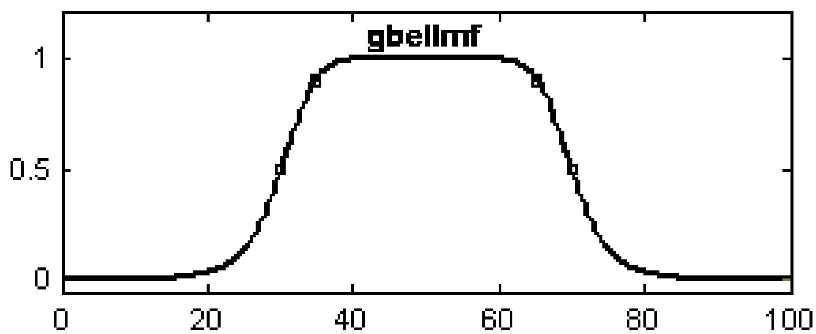


Εικόνα 8

Παράδειγμα τραπεζοειδής συνάρτησης συμμετοχής (x; 20, 40, 60, 80)

- **Η καμπανοειδής συνάρτηση συμμετοχής** (generalize *bell mf ή gbell mf)* χαρακτηρίζεται από τις τρεις παραμέτρους {a, b, c}, ως εξής:

$$bell(x;a,b,c) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}$$

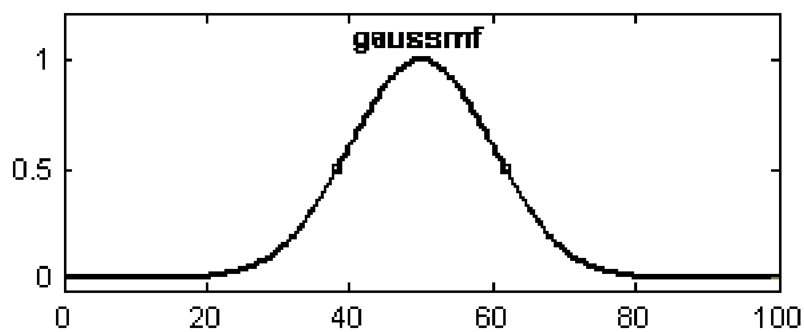


Εικόνα 9

Παράδειγμα καμπανοειδής συνάρτησης συμμετοχής (x; 20, 4, 50)

- **Η γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής** *(gaussian mf)* χαρακτηρίζεται από τις δύο παραμέτρους {σ, c}, όπου το σ καθορίζει το πλάτος της συνάρτησης συμμετοχής (mf) και το c αναπαριστά το κέντρο της mf :

$$gaussian(x;\sigma,c) = e^{-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}$$

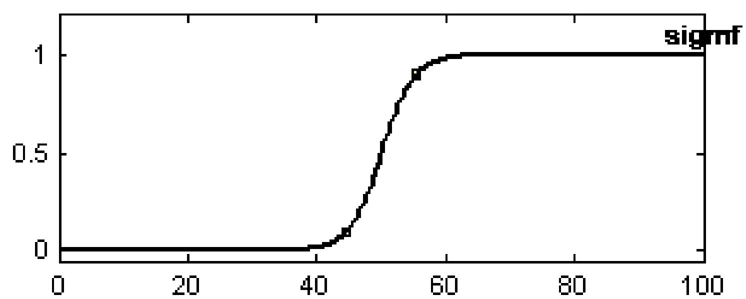


Εικόνα 10

Παράδειγμα γκαουσιανής συνάρτησης συμμετοχής (x; 10, 50)

- **Η σιγμοειδή συνάρτηση συμμετοχής** (*sigmoidal mf*) χαρακτηρίζεται από τις δύο παραμέτρους {α, c}, ως εξής:

$$sigmoid(x;a,c) = \frac{1}{1+e^{-a(x-c)}}$$



Εικόνα 11

Παράδειγμα σιγμοειδής συνάρτησης συμμετοχής (x; 0.4, 50)

8. Πράξεις Ασαφών Συνόλων

Μεταξύ των ασαφών συνόλων ορίζονται ορισμένες πράξεις όπως είναι η ένωση (union), η τομή (intersection), το γινόμενο (product, το αλγεβρικό άθροισμα (probor) και το συμπλήρωμα (complement) ενός ασαφούς συνόλου.

- **Η ένωση** *(union) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως εξής:*

$$\mu_{\mathrm{A\cup B}}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \forall\ x \in X$$

- **Η τομή** *(intersection) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως εξής:*

$$\mu_{\mathrm{A\cap B}}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad \forall\ x \in X$$

- **Το γινόμενο** *(product) δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως εξής:*

$$\mu_{\mathrm{A\cap B}}(x) = \mu_A(x) \bullet \mu_B(x) \quad \forall\ x \in X$$

- **Το αλγεβρικό άθροισμα** *(probor)* δύο ασαφών συνόλων Α και Β στο Χ ορίζεται ως εξής:

$$\mu_{A\cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\cdot\mu_B(x) \quad \forall\, x \in X$$

- **Το συμπλήρωμα** *(complement)* ενός ασαφούς συνόλου ορίζεται ως εξής:

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x) \quad \forall\, x \in X$$

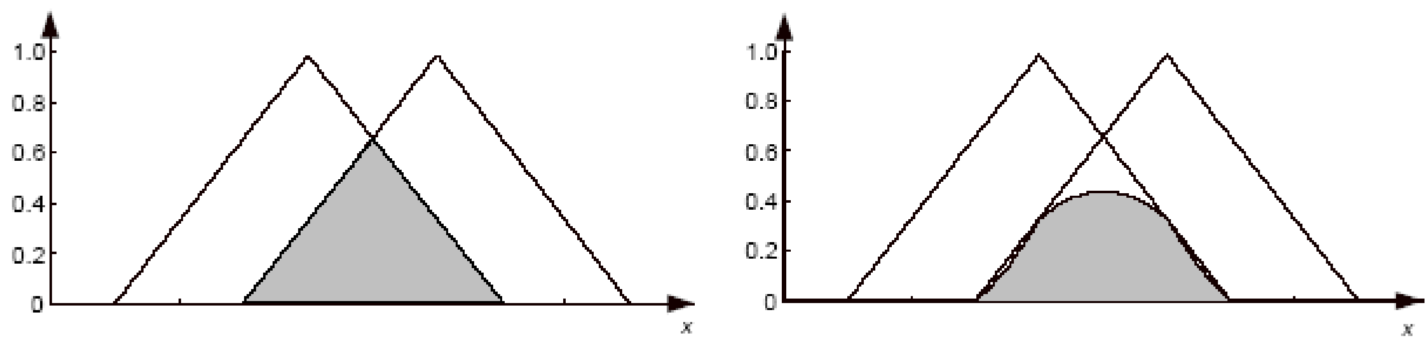
Αν η συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς συνόλου Α είναι μικρότερη ή ίση με τη συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς συνόλου Β, τότε το ασαφές σύνολο Α είναι ***υποσύνολο*** *(subset)* του ασαφούς συνόλου Β:

$$(A \subseteq B)\ \alpha\nu\ \mu_A(x) \le \mu_B(x) \quad \forall\, x \in X$$

Π.7 Ασαφή Συστήματα Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις Παπαδάκης Στέλιος Αδαμίδης Παναγιώτης Θεσσαλονίκη, Μάιος 2004

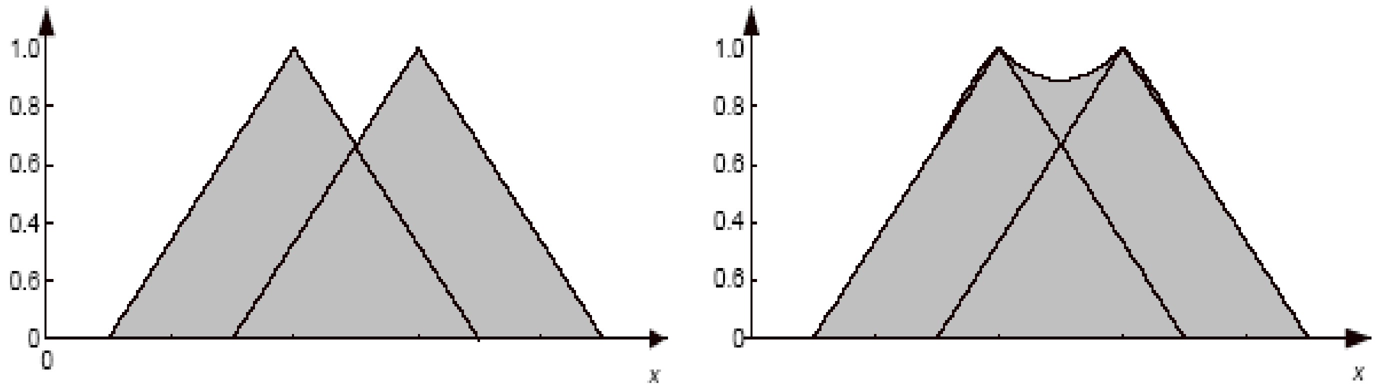
Ισότιμα (identical) **ασαφή σύνολα είναι δύο ασαφή σύνολα A και B όταν οι συναρτήσεις συμμετοχής τους σε όλα τα σημεία είναι όμοιες:**

$$A = B\ \alpha\nu\ \mu_{\mathrm{A}}(x) \equiv \mu_{\mathrm{B}}(x) \quad \forall x \in X$$



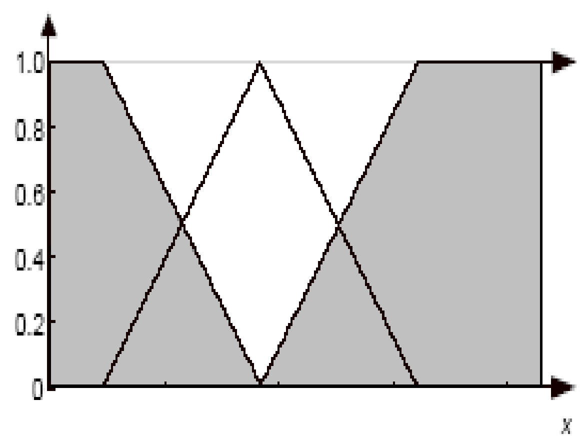
Εικόνα 12

Minimum (αριστερά) και Product (δεξιά) δύο ασαφή συνόλων



Εικόνα 13

Maximum (αριστερά) δύο ασαφή συνόλων και Probabilistic sum(δεξιά) δύο ασαφή συνόλων



Εικόνα 14

Complement ενός ασαφούς συνόλου

9. Λεκτικοί Τροποποιητές ή Φράκτες

Τα ασαφή σύνολα εκφράζουν ασαφή έννοιες που χρησιμοποιούνται καθημερινά στη φυσική γλώσσα του ανθρώπου, όπως είναι για παράδειγμα οι λεκτικοί όροι “κοντός”, “*μέτριος*” και “*ψηλός*”. Οι ασαφείς αυτές έννοιες έχουν τη δυνατότητα να παράγουν άλλες ασαφείς έννοιες με την χρήση *λεκτικών τροποποιητών ή φρακτών (linguistic modifiers or linguistic hedges),* όπως "πολύ" (very), "πολύ πολύ "(very very), "ελαφρά" (slightly), "σχεδόν" (rather), "επιπλέον" (plus) και "λιγότερο" (minus). Για παράδειγμα ο λεκτικός όρος “*ψηλός*" με τους παραπάνω λεκτικούς τροποποιητές παράγει ασαφείς έννοιες όπως "πολύ ψηλός" (very tall), "πολύ πολύ ψηλός" (very very tall), "ελαφρώς ψηλός" (slightly tall) κτλ.

Αν "A" ένας λεκτικός όρος και $\mu_A(x)$ η συνάρτηση συμμετοχής του, τότε σύμφωνα με τα παραπάνω οι τροποποιημένοι όροι του που θα παραχθούν, θα έχουν τις αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής :

- **“Very A”:** $\mu_{veryA}(x) = \mu_A^2(x)$
- **“Very Very A”:** $\mu_{veryveryA}(x) = \mu_A^4(x)$

- **“Plus A”:** $$\mu_{plusA}(x) = \mu_A^{1.25}(x)$$

- **“Minus A”:** $$\mu_{MinusA}(x) = \mu_A^{0.75}(x)$$

- “**Slightly A”:** $$\mu_{slightlyA}(x) = \sqrt{\mu_A(x)}$$

10. Ασαφείς Κανόνες

Ένας ασαφής κανόνας (if-then rule) είναι στην πιο απλή μορφή του:

<u>**"*If x is A then y is B*"**</u>

όπου το τμήμα «*If x is A*» είναι το τμήμα *υπόθεσης (premise part)* και το τμήμα «*then y is B*» είναι το τμήμα *απόφασης ή συμπεράσματος (consequent part).*

Οι ασαφείς κανόνες είναι υποθετικές προτάσεις και αποτελούν απαραίτητα δομικά στοιχεία συστημάτων εξαγωγής συμπερασμάτων. Για να γίνει αυτό κατανοητό αρκεί να ερμηνευτούν τα στοιχεία του παραπάνω κανόνα:

- Α, Β είναι τα ασαφή σύνολα τα οποία συνδυάζονται μεταξύ τους,
- x είναι η τιμή μιας μεταβλητής εισόδου η οποία παίρνει ένα βαθμό συμμετοχής στο ασαφές σύνολο Α *(διαδικασία της ασαφοποίησης "fuzzyfication"),*

- y είναι η έξοδος του συστήματος που εξάγεται από μηχανισμό συμπεράσματος (inference engine) σε ασαφή μορφή και δηλώνει την απόφαση του κανόνα.

Το ασαφές συμπέρασμα μετά από-ασαφοποιείται με τον μηχανισμό της αποσαφοποίησης (defuzzification) ώστε στο τέλος να προκύψει μία σαφής τιμή.

Σε περίπτωση περισσότερων της μίας εισόδου x_1, x_2, x_3,…x_n οι κανόνες έχουν την εξής μορφή:

$$\textbf{\textit{If}}\ \mathbf{x_1}\ \textbf{\textit{is}}\ \boldsymbol{A_1}\ \textbf{and}\ \mathbf{x_2}\ \textbf{\textit{is}}\ \boldsymbol{A_2}\ \textbf{and....}\ \mathbf{x_n}\ \textbf{\textit{is}}\ \boldsymbol{A_n}\ \textbf{\textit{then y is B}}$$

Ακολούθως μπορούν να υπάρχουν και παραπάνω από μία έξοδοι.

11. Συστήματα Ασαφούς Λογικής

Τα Συστήματα Ασαφούς Λογικής διαφοροποιούνται ανάλογα με τις μορφές που μπορεί να πάρει ένας κανόνας. Οι πιο γνωστές από αυτές τις μορφές είναι:

- ***Τύπου Mamdani***: είναι η μορφή που αναφέρθηκε παραπάνω, δηλαδή "*If x is A then y is B"* , και ονομάστηκε έτσι προς τιμή του Ebrahim Mamdani, που ήταν ένας από τους πρώτους που εφάρμοσε την Ασαφή Λογική. Οι έξοδοι των κανόνων της μορφής αυτής είναι ασαφή σύνολα.

- ***Τύπου Sugeno – Takagi:*** είναι ένας κανόνας της μορφής "*If x is A then y is c",* όπου το c είναι αριθμός ή και ένα crisp ασαφές σύνολο.

- ***Τύπου Takagi - Sugeno – Kang ή T-S-K:*** είναι μία επέκταση του προηγούμενου κανόνα και αποτελεί έναν από τους κυριότερους τύπους ασαφούς κανόνα ο οποίος χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές ανάπτυξης ασαφών συστημάτων. Έχει τη μορφή "*If x is A then y is* $c_0 + c_1 x$", *όπου* $c_0, c_1 \in R$. Οι έξοδοι των κανόνων της μορφής αυτής είναι συναρτήσεις των εισόδων.

12. Το Ασαφές Μοντέλο Mamdani

Το ***ασαφές μοντέλο Mamdani*** προτάθηκε σαν μία πρώτη προσπάθεια ελέγχου ενός συστήματος -συγκεκριμένα ενός συνδυασμού μία ατμομηχανής και ενός λέβητα- από ένα σύνολο ασαφών κανόνων (fuzzy if-then rules) .

Η διαδικασία του ασαφούς συμπερασμού του μοντέλου Mamdani εκτελείται αρχικά με την **ασαφοποίηση** των τιμών των εισόδων (fuzzyfication), την **εκτίμηση των κανόνων** (rule evaluation), την **συνάθροιση** (aggregation) **των συμπερασμάτων των εξόδων** και τέλος την **από-ασαφοποίηση** τους (defuzzification). Τα βήματα της διαδικασίας αυτής είναι τα εξής :

1ο βήμα: Στη διαδικασία της **ασαφοποίησης** καθορίζεται ο βαθμός κατά τον οποίο οι τιμές των εισόδων ανήκουν στο καθένα από τα ασαφή σύνολα.

2ο βήμα: Στη συνέχεια αφού οι είσοδοι ασαφοποιηθούν, εφαρμόζονται στα υποθετικά μέρη (antecedents) των κανόνων. Αν ένας κανόνας έχει πολλές υποθέσεις, τότε μέσω των τελεστών AND ή OR δίνεται ένα αριθμός που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της εκτίμησης του μέρους της υπόθεσης.

Αν χρησιμοποιηθεί ο τελεστής **AND** τότε υπάρχουν *δύο περιπτώσεις*: α) Αν ο AND χρησιμοποιείται ως **min** (**τελεστής ελαχίστου Mamdani**) τότε δίνεται ο μικρότερος αριθμός που εκφράζει την εκτίμηση του κανόνα, ενώ β) αν χρησιμοποιείται ως **prod** (**τελεστής γινομένου Larsen**) τότε δίνεται ένας αριθμός που εκφράζει το γινόμενο της εκτίμησης του κανόνα.

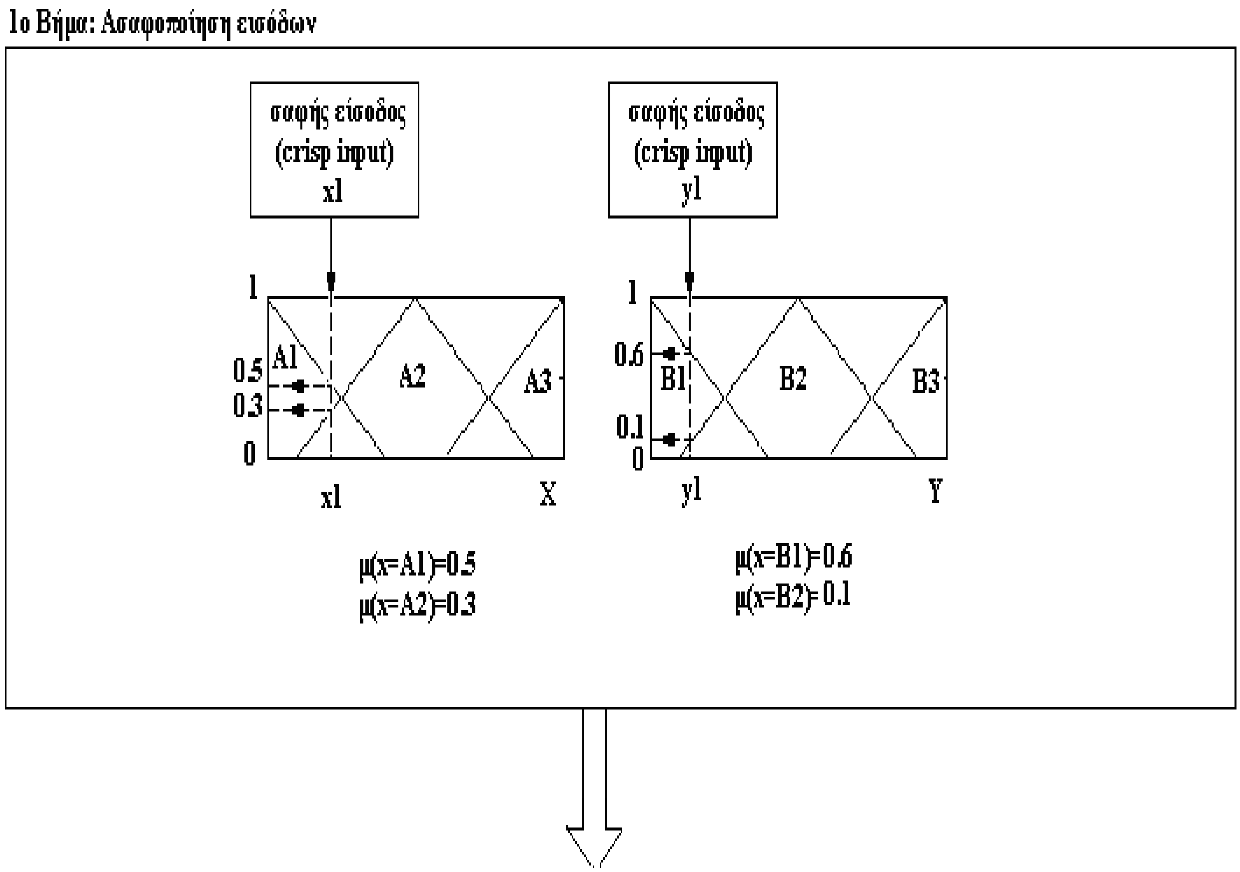
Επίσης αν χρησιμοποιηθεί ο τελεστής **OR** τότε υπάρχουν δύο περιπτώσεις: α) Αν ο OR χρησιμοποιείται ως **max** (**τελεστής μεγίστου Mamdani**) τότε δίνεται ο μεγαλύτερος αριθμός της αποτίμησης του κανόνα, ενώ β) αν χρησιμοποιείται ως **probor** τότε δίνεται ένας αριθμός που εκφράζει το αλγεβρικό άθροισμα της εκτίμησης του κανόνα.

Ο αριθμός αυτός εφαρμόζεται στη συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος (consequent) και η συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος παρουσιάζεται είτε με ευθεία αποκοπή (clipping) είτε με διαβαθμισμένη αποκοπή (scaling) στο επίπεδο της τιμής της υπόθεσης του κανόνα Η μέθοδος που η συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος παρουσιάζεται με ευθεία αποκοπή ονομάζεται **Συσχέτιση Ελαχίστου (Correlation Minimum)** ενώ η μέθοδος που παρουσιάζεται με διαβαθμισμένη αποκοπή ονομάζεται **Συσχέτιση Γινομένου (Correlation Product)**.

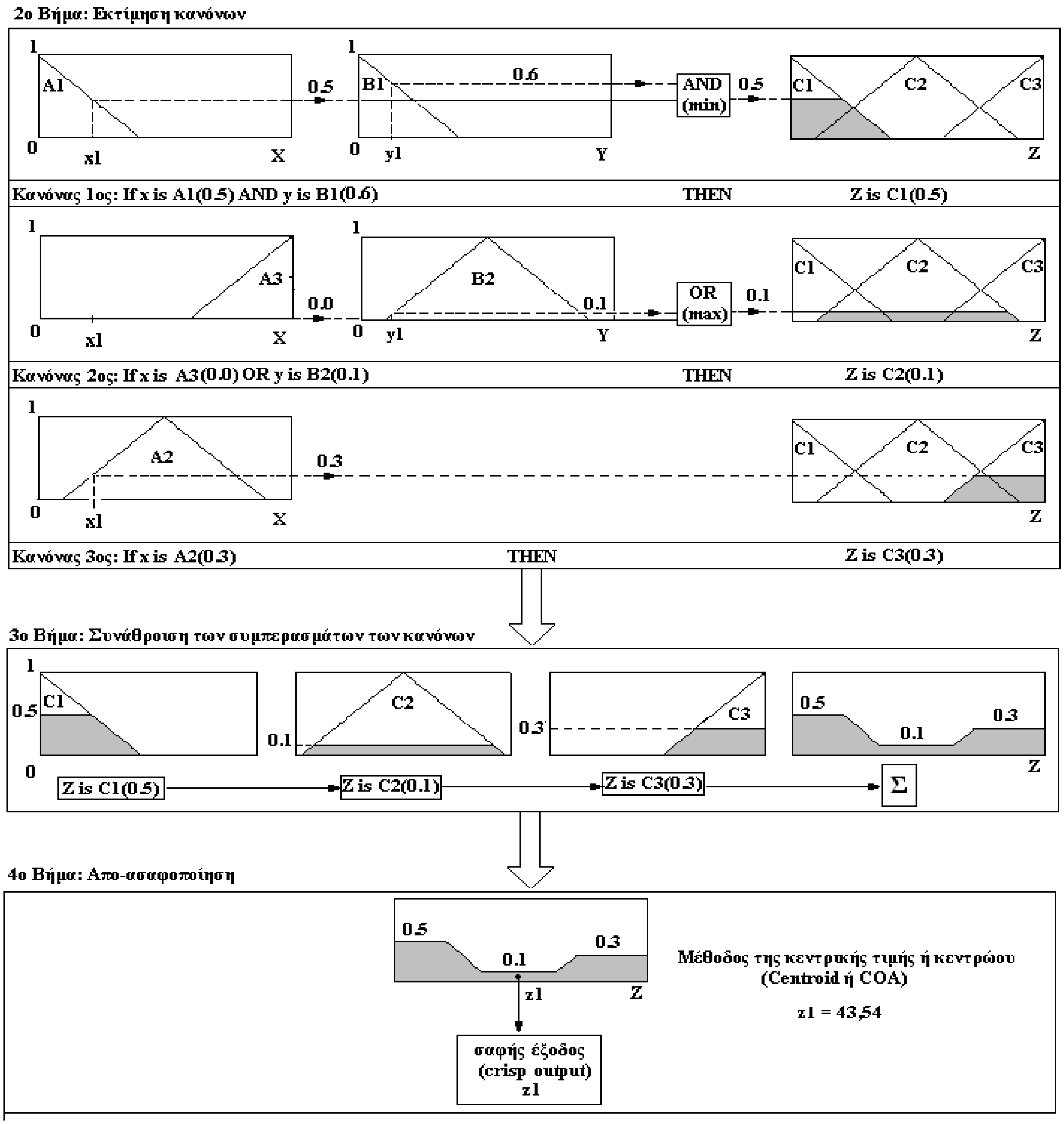
Η μέθοδος της Συσχέτισης Ελαχίστου προτιμάται για την απλότητα και τους γρήγορους μαθηματικούς της υπολογισμούς, παρόλο που παρουσιάζει απώλεια πληροφορίας εξαιτίας του ότι αποκόπτονται τα πάνω μέρη των συναρτήσεων συμμετοχής. Σε αντίθεση η μέθοδος της Συσχέτισης Γινομένου διατηρεί καλύτερα το σχήμα του ασαφούς συνόλου με αποτέλεσμα τη μικρότερη απώλεια πληροφορίας, καθώς η συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος του κανόνα προσαρμόζεται στον πολλαπλασιασμό των βαθμών συμμετοχής της τιμής των υποθέσεων του κανόνα.

3ο βήμα: Σε αυτό το σημείο τα συμπεράσματα όλων των κανόνων συναθροίζονται. ***Συνάθροιση (Aggregation)*** ονομάζεται η διαδικασία της συνένωσης των συμπερασμάτων όλων των κανόνων. Συγκεκριμένα οι συναρτήσεις συμμετοχής των συμπερασμάτων συνδυάζονται σε ένα ασαφή σύνολο.

4ο βήμα: Η ***από-ασαφοποίηση*** είναι η διαδικασία μετατροπής του ασαφούς συνόλου σε μία crisp τιμή. Υπάρχουν όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες παραγράφους πολλές μέθοδοι από-ασαφοποίησης όπως είναι η COA, MOM, SOM, LOM κτλ.


1ο Βήμα: Ασαφοποίηση εισόδων
σαφής είσοδος
(crisp input)
x1
σαφής είσοδος
(crisp input)
y1
1
0.5
0.3
0
A1
A2
A3
x1
X
1
0.6
0.1
0
B1
B2
B3
y1
Y
μ(x=A1)=0.5
μ(x=A2)=0.3
μ(x=B1)=0.6
μ(x=B2)=0.1

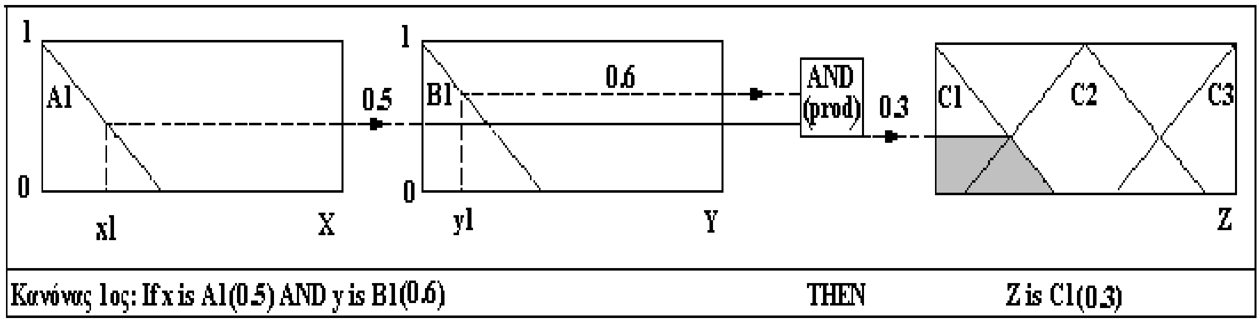
Εικόνα 15



Εικόνα 16

Βασική δομή του Mamdani ασαφή συμπερασμού

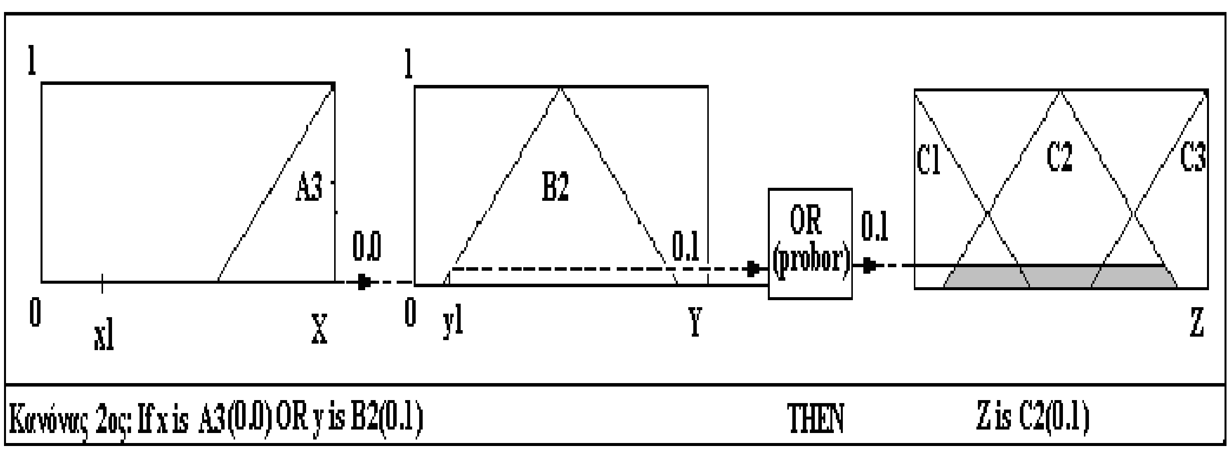
Ο κανόνας 1 μπορεί αν χρησιμοποιηθεί το AND (prod) να αναπαρασταθεί ως εξής:



Εικόνα 17

Ο τελεστής AND product στον ασαφή συμπερασμό

Ο κανόνας 2 μπορεί αν χρησιμοποιηθεί το OR (probor) να αναπαρασταθεί ως εξής



Εικόνα 18

13. Συστήματα τύπου Sugeno

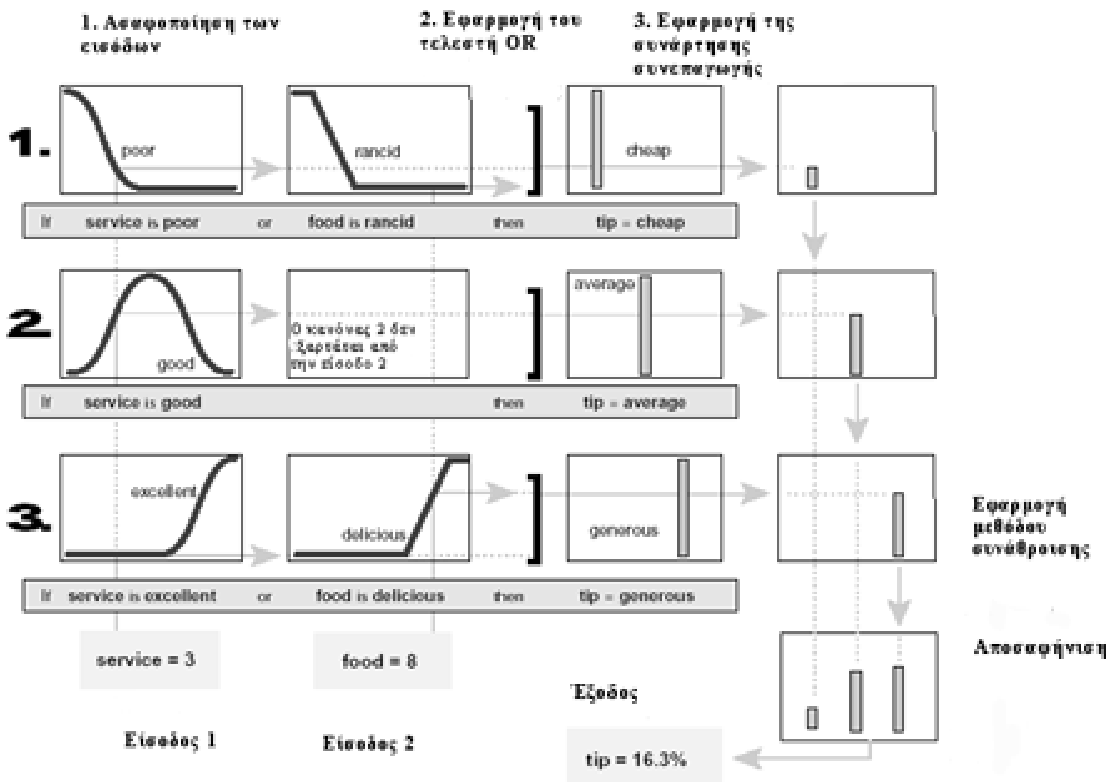
Παραπάνω ασχοληθήκαμε με τα συστήματα Mamdani που είναι και τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα. Ωστόσο υπάρχει και η μέθοδος Sugeno που εισήχθηκε το 1985 και έχει αρκετές ομοιότητες με τη μέθοδο των συστημάτων Mamdani. Για παράδειγμα τα 2 πρώτα βήματά της (ασαφοποίηση των εισόδων και εφαρμογή των τελεστών) είναι ακριβώς τα ίδια. Η κύρια διαφορά ανάμεσα στα δύο συστήματα έγκειται στο ότι οι συναρτήσεις συμμετοχής στην έξοδο των συστημάτων Sugeno είναι μόνο γραμμικές ή σταθερές συναρτήσεις.

Ένας τυπικός ασαφής κανόνας σε συστήματα sugeno μηδενικής τάξης έχει την μορφή:

if x is A and y is B then z = k

όπου A και B είναι τα ασαφή σύνολα της προϋπόθεσης ενώ κ είναι μια αριθμητική τιμή. Αφού η συνέπεια του κανόνα είναι μια σταθερά τότε αυτό σημαίνει ότι το βήμα 3 εκφυλίζεται σε ένα απλό πολλαπλασιασμό ενώ το βήμα 4 καταλήγει να είναι η συγκέντρωση όλων των σταθερών

.



Εικόνα 19

Ένα σύστημα sugeno πρώτης τάξης θα έχει κανόνες με τη γενική μορφή

if x is A and y is B then z = p*x + q*y + r

όπου A και B είναι τα ασαφή σύνολα της προϋπόθεσης ενώ τα p,q,r είναι σταθερές.Ένας τρόπος για να δούμε τα συστήματα πρώτης τάξης είναι να θεωρήσουμε ότι κάθε κανόνας προσδιορίζει τη θέση ενός κινούμενου singleton. Το singleton αυτό μπορεί να κινείται στο χώρο της εξόδου, με γραμμικό τρόπο και η θέση του εξαρτάται από τις τιμές των εισόδων.

Συστήματα sugeno ανώτερης τάξης είναι εφικτά , όμως δεν προσφέρουν σημαντικές βελτιώσεις και ταυτόχρονα εισαγάγουν σημαντική πολυπλοκότητα.

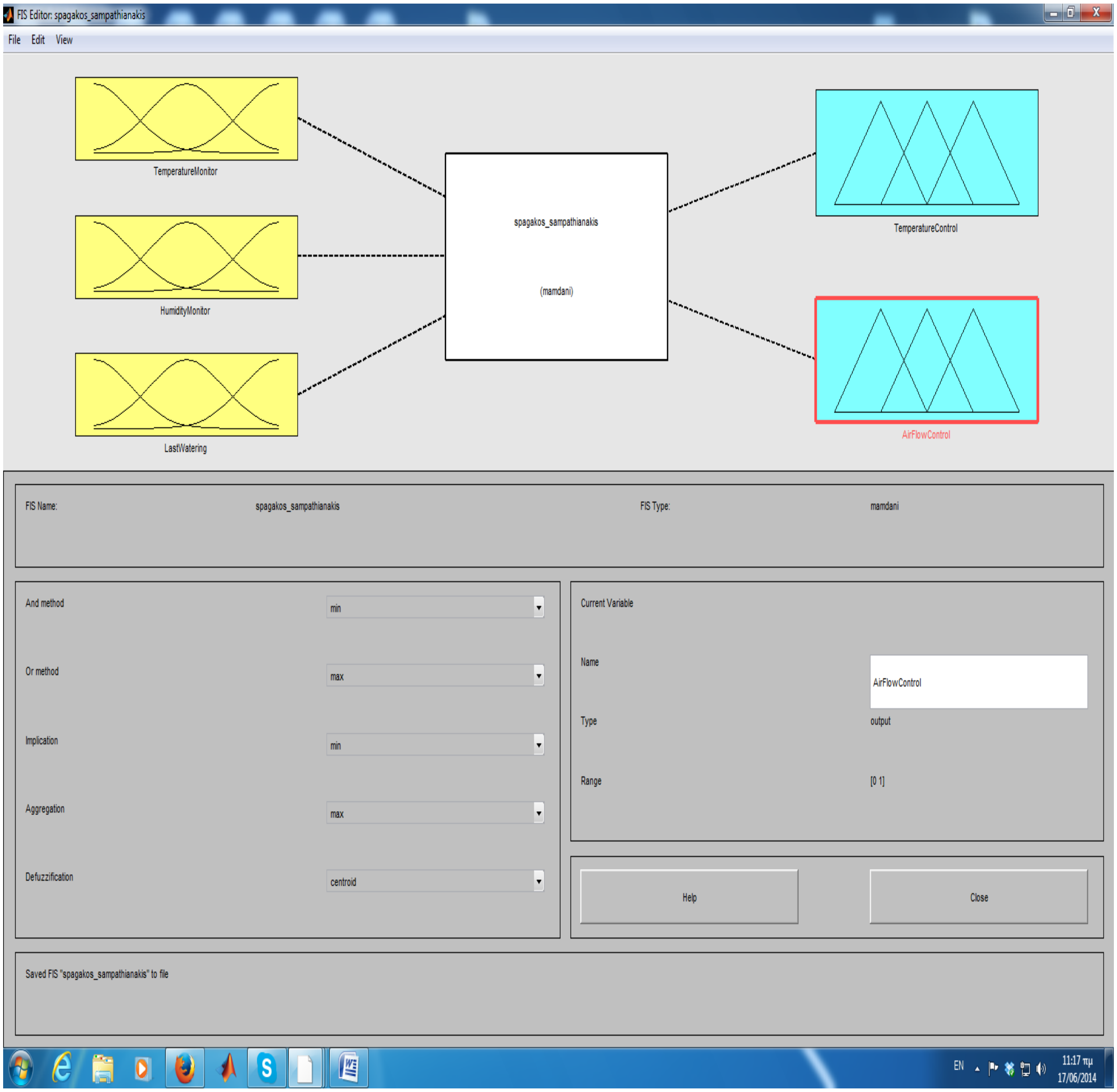
Στη συλλογιστική Takagi-Sugeno που ονομάζεται και «συναρτησιακή συλλογιστική» (*functional reasoning*) το συμπέρασμα των κανόνων δίνεται με τη μορφή γραμμικών συναρτήσεων. Αυτή είναι και η ουσιαστική διαφορά με τη μέθοδο του Mamdani που αναφέρθηκε. Το μοντέλο Takagi-Sugeno έχει αποδειχθεί ότι είναι ικανό να προσεγγίσει οποιαδήποτε συνάρτηση με κάθε βαθμό ακρίβειας.

14. Συνοψίζοντας για τις μεθόδους Mamdani και Takagi-Sugeno

- Η μέθοδος Mamdani είναι ευρέος αποδεκτή για τη σύλληψη έμπειρης γνώσης και επιτυγχάνει την περιγραφή της με έναν πιο «διαισθητικό» ή πιο ανθρώπινο τρόπο (human-like).Ωστόσο είναι αρκετά υπολογιστικά πολύπλοκη μέθοδος.
- Η συλλογιστική Takagi-Sugeno είναι πολύ απλή και οδηγεί σε ταχείς υπολογισμούς, είναι εύκολα εφαρμόσιμη, και αποδίδει ικανοποιητικά σε τεχνικές βελτιστοποίησης και προσαρμογής γεγονός που την καθιστούν κατάλληλη για δυναμικά μη γραμμικά προβλήματα ελέγχου.

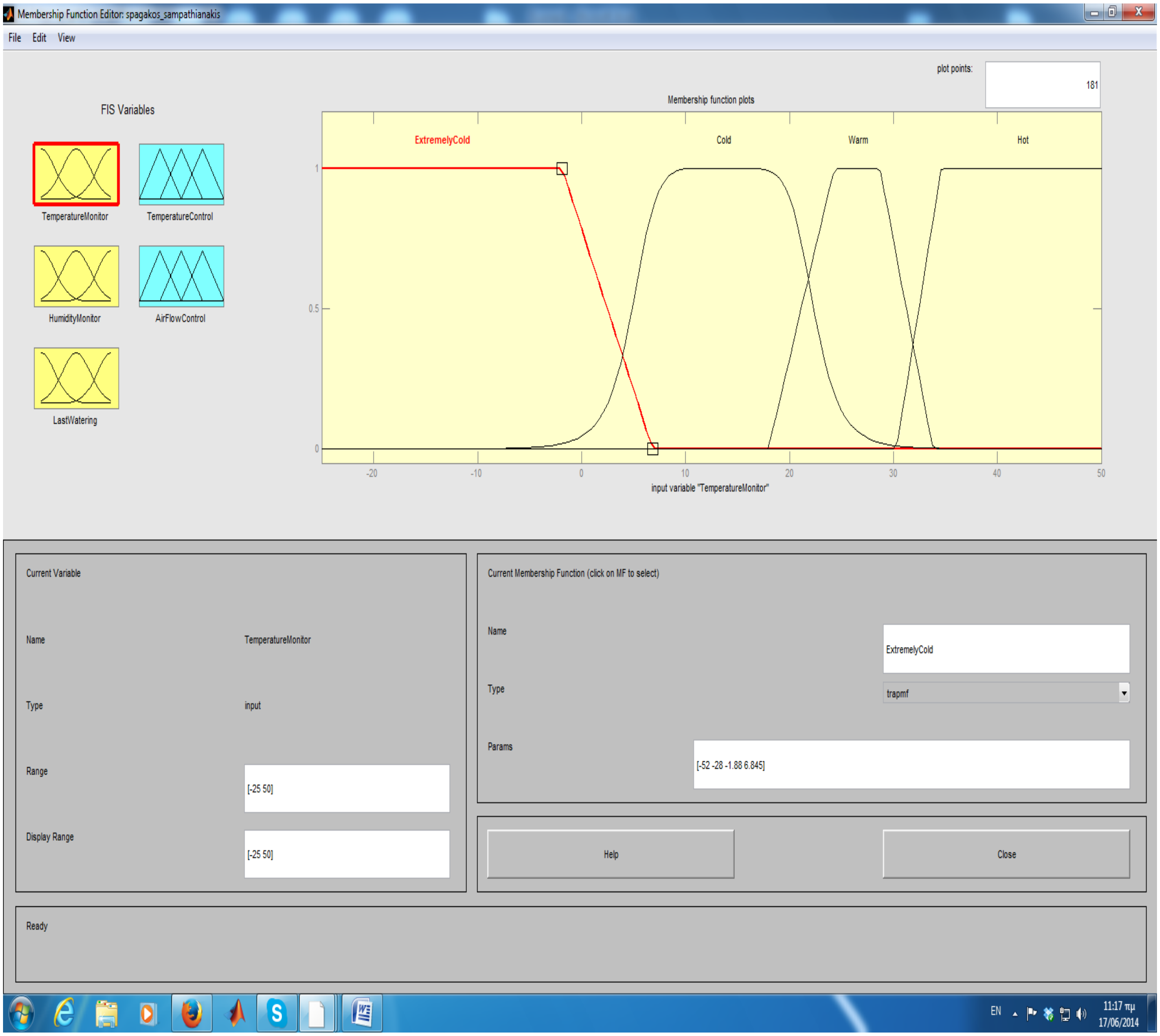
15. Ο ΑΣΑΦΗΣ ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΣΤΟ MATLAB

Τελικά εμείς αποφασίσαμε να υλοποιήσουμε τον fuzzy controller με την μέθοδο Mamdani και παραθέτουμε τις εικόνες του ελεγκτή που κατασκευάσαμε.



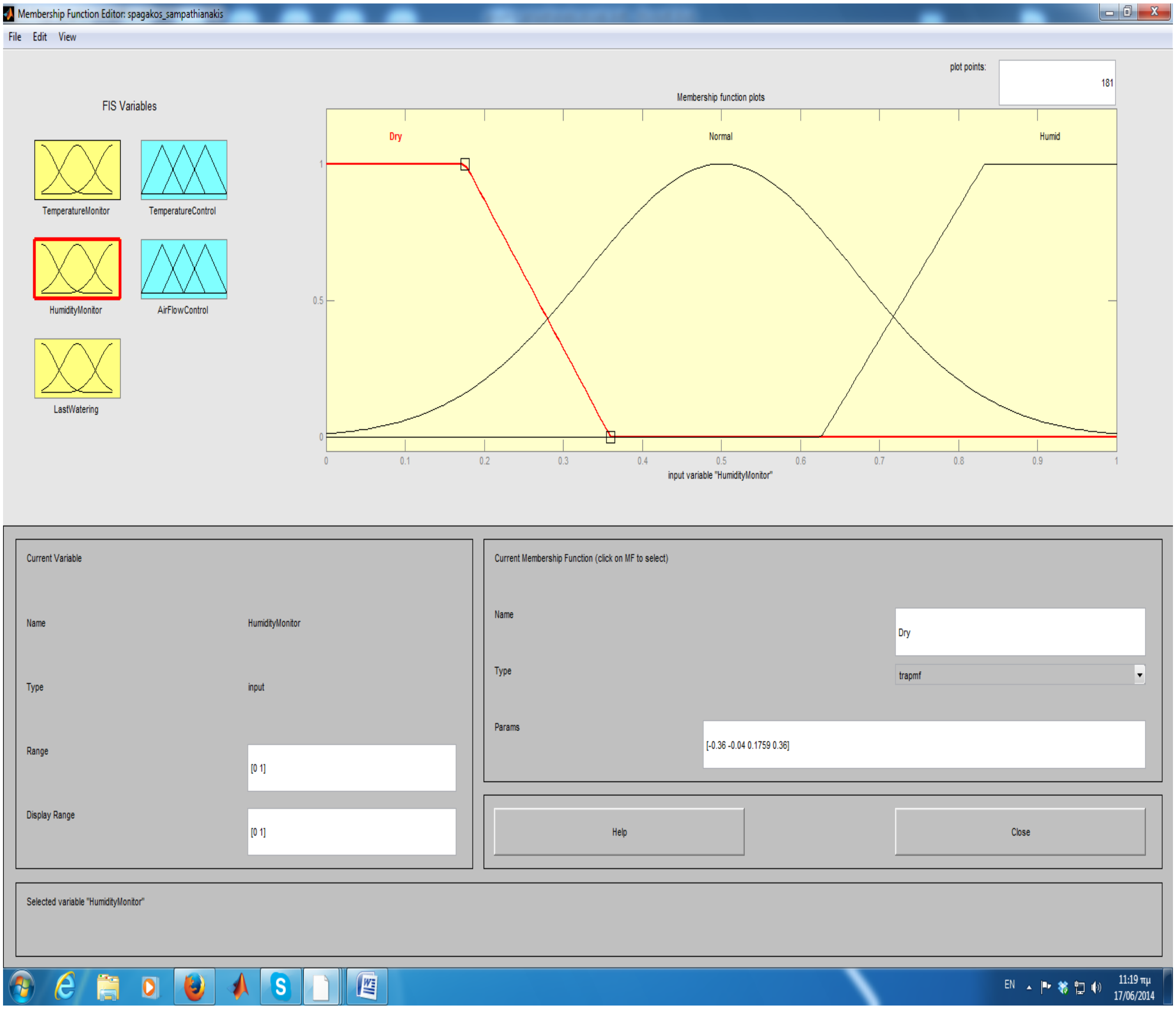
Εικόνα 20

Είσοδοι και έξοδοι του ελεγκτή



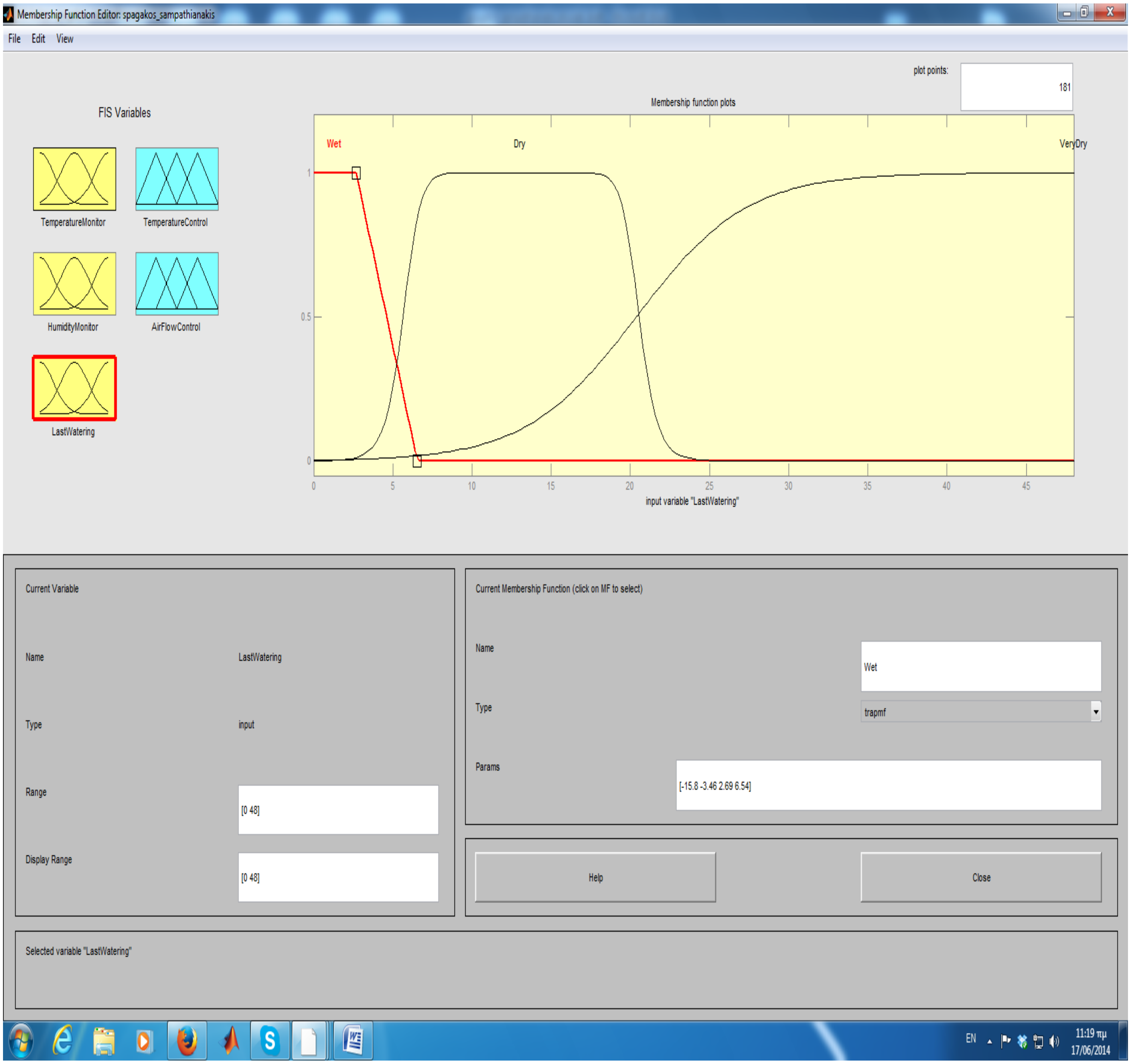
Εικόνα 21

Πρώτη είσοδος η θερμοκρασία



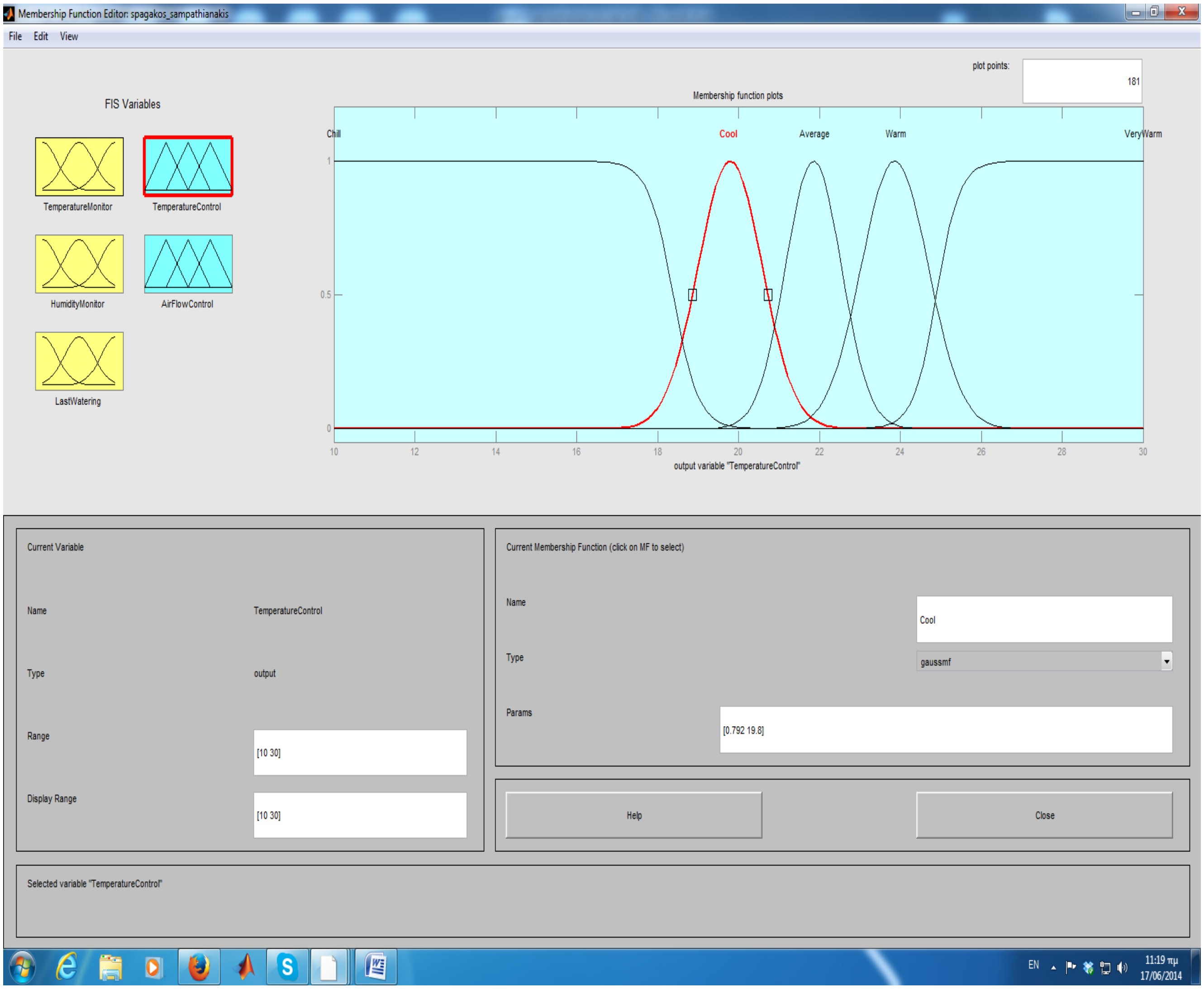
Εικόνα 22

Δεύτερη είσοδος η υγρασία



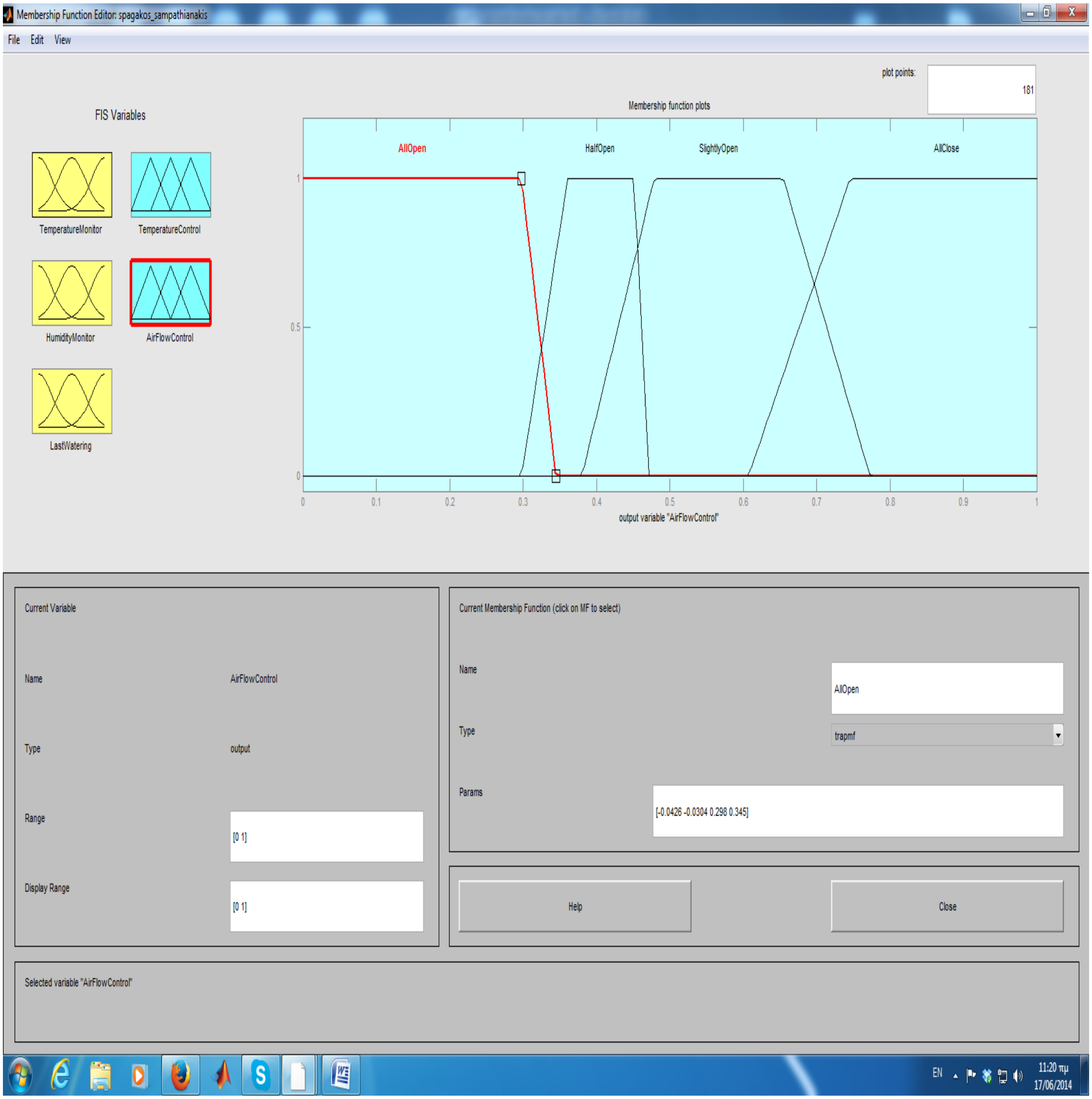
Εικόνα 23

Τρίτη είσοδος οι ώρες μετά το τελευταίο πότισμα.



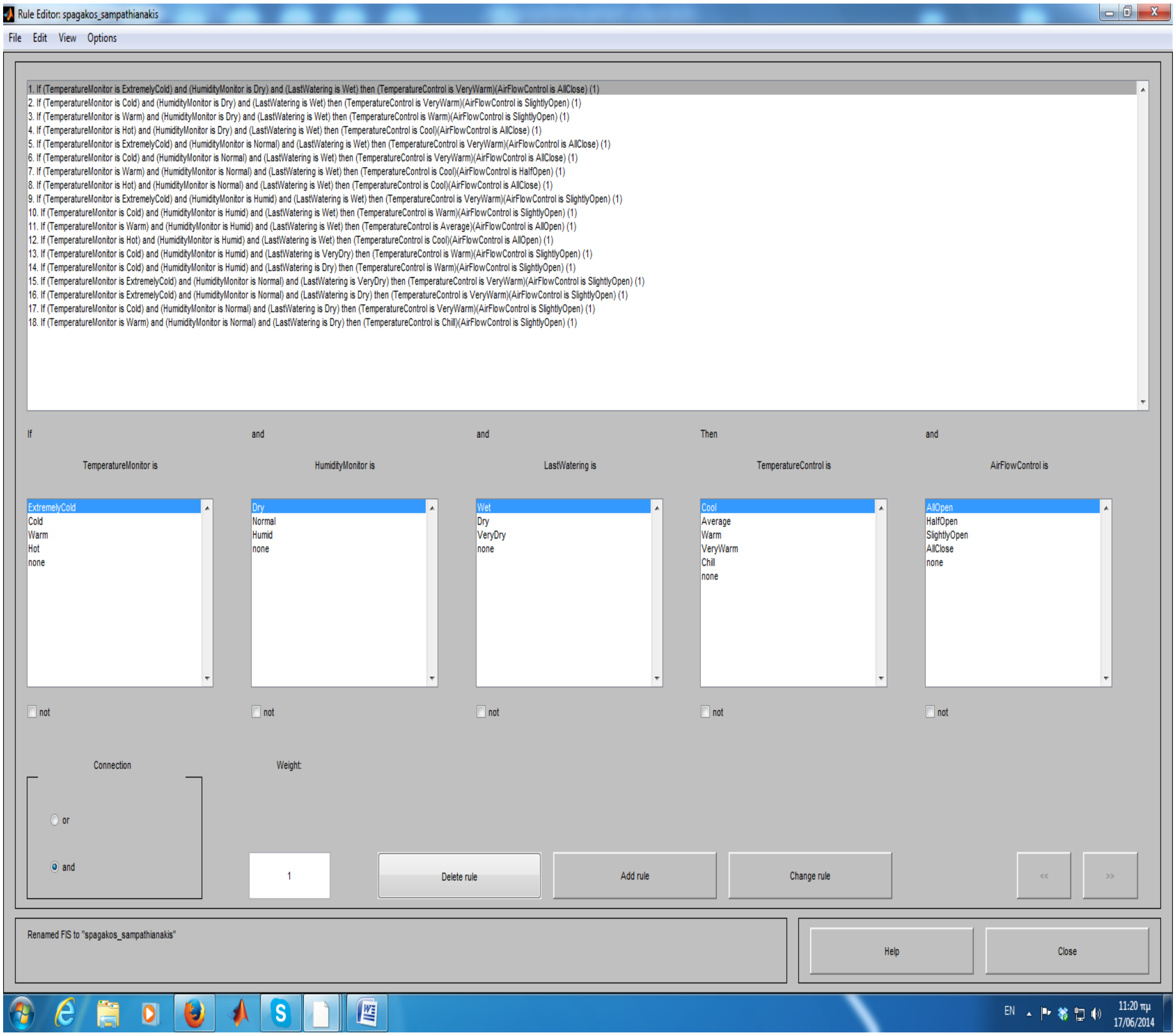
Εικόνα 24

Πρώτη έξοδος ο κλιματισμός



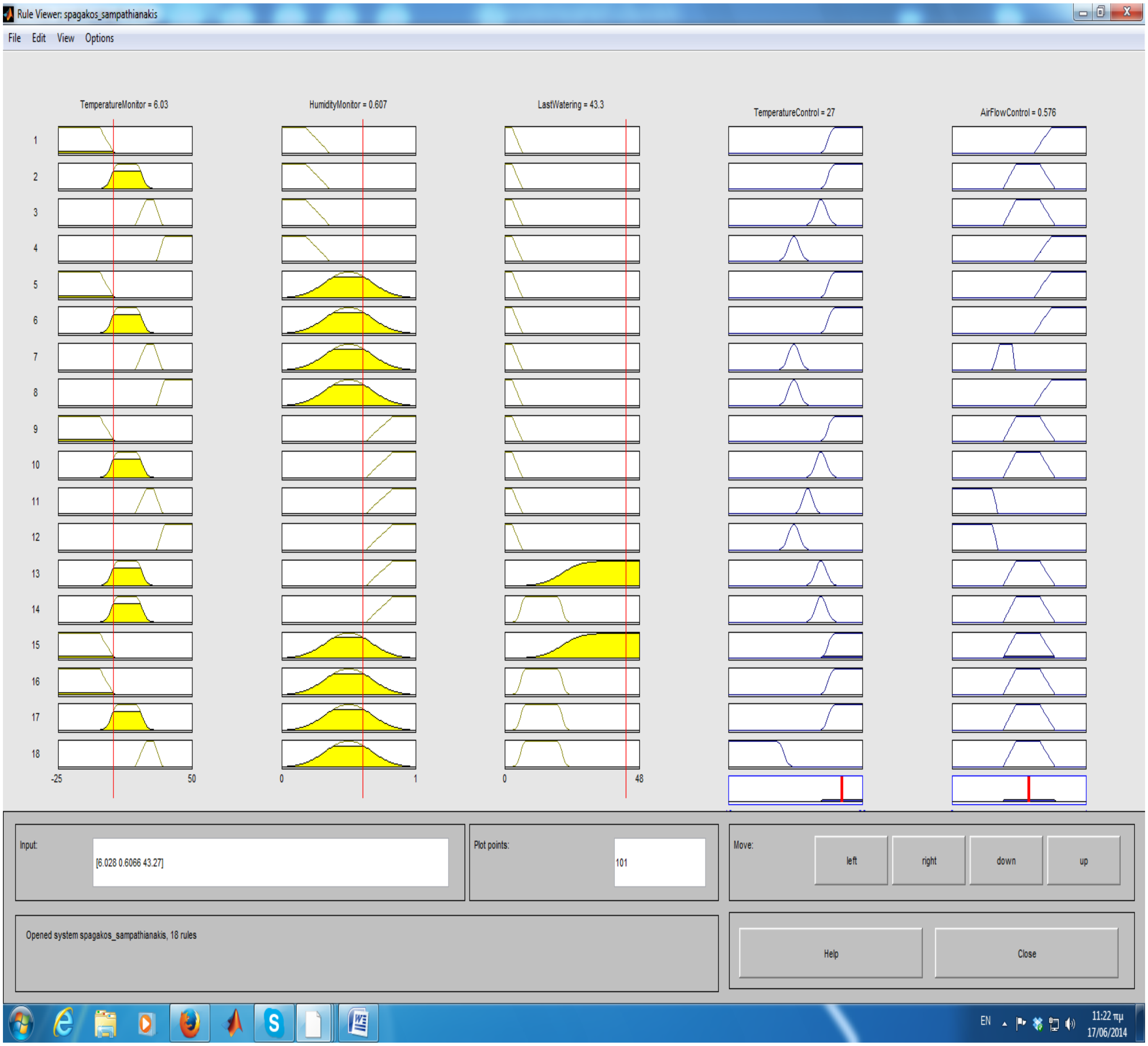
Εικόνα 25

Δεύτερη έξοδος ο εξαερισμός



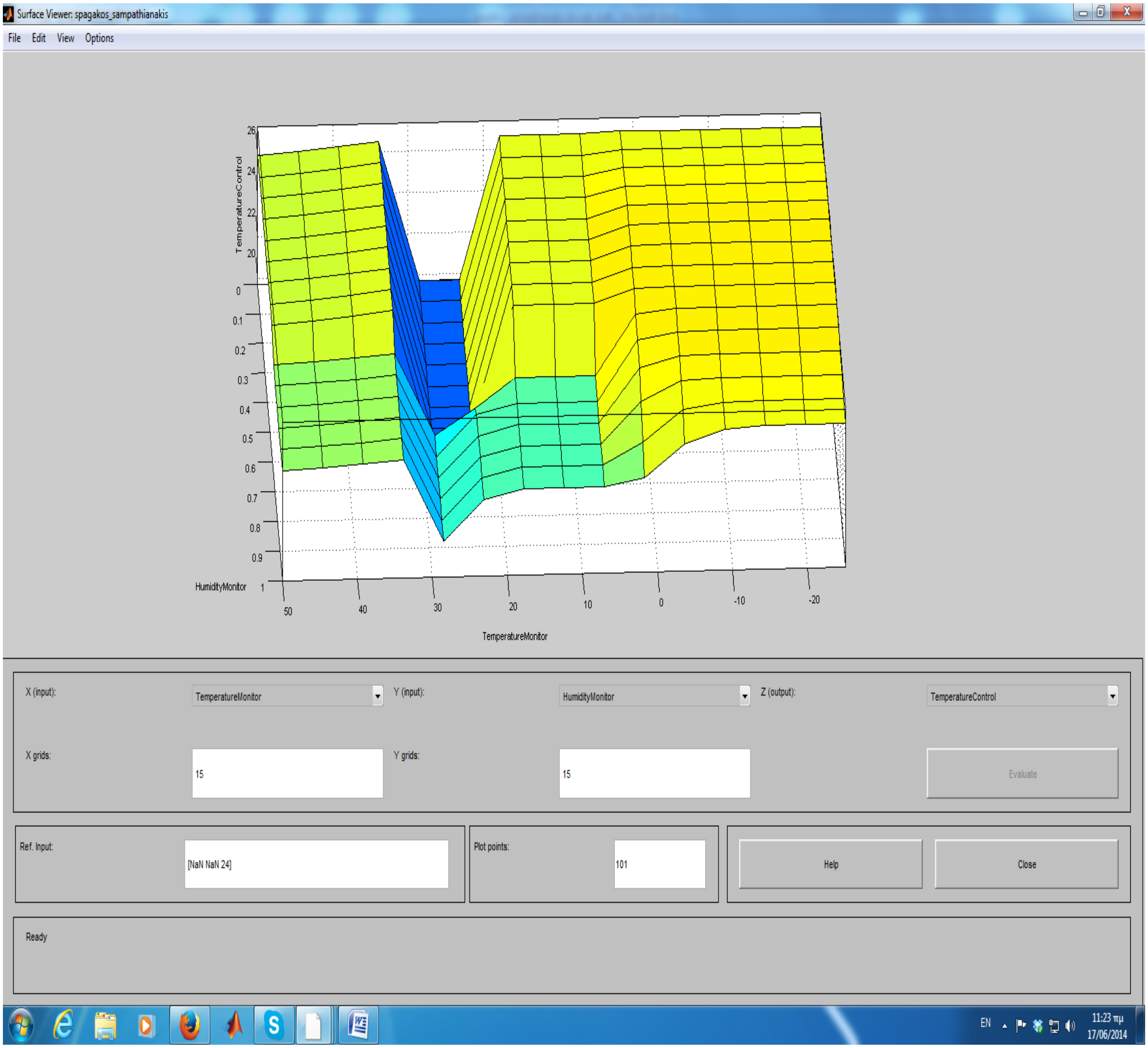
Εικόνα 26

Οι κανόνες που θεσπίσαμε



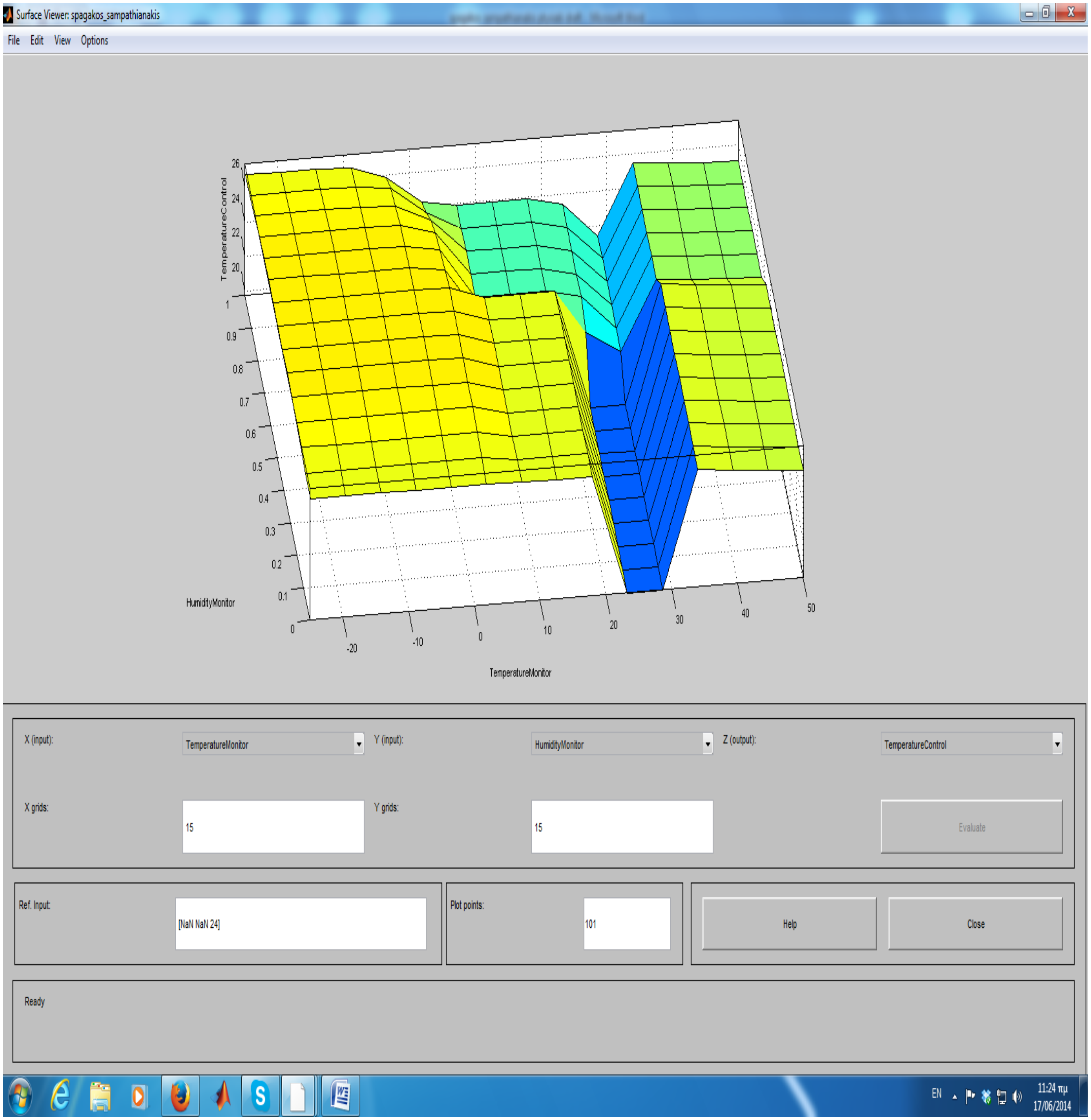
Εικόνα 27

Γενικός έλεγχος των κανόνων



Εικόνα 28

Πρώτη εικόνα του ασαφούς ελεγκτή



Εικόνα 29

Διαφορετική άποψη της από πάνω εικόνας

Τα χαρακτηριστικά του ασαφούς ελεγκτή μας αναλυτικά όπως τα παρουσιάζει το Matlab

Matlab Controller Characteristics

getfis - Get fuzzy system properties.

>> getfis(spagakos_sampathianakis)

Name = spagakos_sampathianakis

Type = mamdani

NumInputs = 3

InLabels =

TemperatureMonitor

HumidityMonitor

LastWatering

NumOutputs = 2

OutLabels =

TemperatureControl

AirFlowControl

NumRules = 18

AndMethod = min

OrMethod = max

ImpMethod = min

AggMethod = max

DefuzzMethod = centroid

ans =

spagakos_sampathianakis

showfis - Display annotated FIS.

showfis(spagakos_sampathianakis)

1. Name spagakos_sampathianakis
2. Type mamdani
3. Inputs/Outputs [3 2]
4. NumInputMFs [4 3 3]
5. NumOutputMFs [5 4]
6. NumRules 18
7. AndMethod min
8. OrMethod max
9. ImpMethod min
10. AggMethod max
11. DefuzzMethod centroid
12. InLabels TemperatureMonitor
13. HumidityMonitor
14. LastWatering
15. OutLabels TemperatureControl

16. AirFlowControl

17. InRange [-25 50]

18. [0 1]

19. [0 48]

20. OutRange [10 30]

21. [0 1]

22. InMFLabels ExtremelyCold

23. Cold

24. Warm

25. Hot

26. Dry

27. Normal

28. Humid

29. Wet

30. Dry

31. VeryDry

32. OutMFLabels Cool

33. Average

34. Warm

35. VeryWarm

36. Chill

37. AllOpen

38. HalfOpen

39. SlightlyOpen

40. AllClose

41. InMFTypes	trapmf
42.	gbellmf
43.	trapmf
44.	trapmf
45.	trapmf
46.	gaussmf
47.	trapmf
48.	trapmf
49.	gbellmf
50.	sigmf
51. OutMFTypes	gaussmf
52.	gaussmf
53.	gaussmf
54.	sigmf
55.	sigmf
56.	trapmf
57.	trapmf
58.	trapmf
59.	trapmf
60. InMFParams	[-52 -28 -1.88 6.845]
61.	[8.739 3.45 13.6 0]
62.	[17.96 24.3 28.7 33.8]
63.	[30.3 34.6 52.68 52.7]
64.	[-0.36 -0.04 0.1759 0.36]
65.	[0.1699 0.5 0 0]

66. [0.626 0.833 1.07 1.35]

67. [-15.8 -3.46 2.69 6.54]

68. [7.46 6.539 13.1 0]

69. [0.286 20.37 0 0]

70. OutMFParams [0.792 19.8 0 0]

71. [0.69 21.85 0 0]

72. [0.83 23.86 0 0]

73. [3.49 24.9 0 0]

74. [-3.22 18.39 0 0]

75. [-0.0426 -0.0304 0.298 0.345]

76. [0.298 0.3611 0.451 0.472]

77. [0.38 0.479 0.6548 0.773]

78. [0.6071 0.746 1.06 1.08]

79. Rule Antecedent [1 1 1]

80. [2 1 1]

81. [3 1 1]

82. [4 1 1]

83. [1 2 1]

84. [2 2 1]

85. [3 2 1]

86. [4 2 1]

87. [1 3 1]

88. [2 3 1]

89. [3 3 1]

90. [4 3 1]

91. [2 3 3]

92. [2 3 2]

93. [1 2 3]

94. [1 2 2]

95. [2 2 2]

96. [3 2 2]

79. Rule Consequent [4 4]

80. [4 3]

81. [3 3]

82. [1 4]

83. [4 4]

84. [4 4]

85. [1 2]

86. [1 4]

87. [4 3]

88. [3 3]

89. [2 1]

90. [1 1]

91. [3 3]

92. [3 3]

93. [4 3]

94. [4 3]

95. [4 3]

96. [5 3]

79. Rule Weight 1

80.	1
81.	1
82.	1
83.	1
84.	1
85.	1
86.	1
87.	1
88.	1
89.	1
90.	1
91.	1
92.	1
93.	1
94.	1
95.	1
96.	1
79. Rule Connection	1
80.	1
81.	1
82.	1
83.	1
84.	1
85.	1
86.	1

87.	1
88.	1
89.	1
90.	1
91.	1
92.	1
93.	1
94.	1
95.	1
96.	1

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Π.1** http://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_control_system

2. **Π.2** http://www.facstaff.bucknell.edu/mastascu/econtrolhtml/Fuzzy/Fuzzy1.html

3. **Π.3** Οικονόμου Παναγιώτης Δρ. Ε. Παπαγεωργίου
http://www.terrapapers.com/wp-content/uploads/2014/02/fuzzy_logic.pdf

4. **Π.4** Μητράκης Νικόλαος
Διπλωματική Εργασία Επιβλέπων Καθηγητής: Θεοχάρης Ιωάννης
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα
Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ
Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών
Θέμα: Μελέτη και Προσομοίωση Ασαφών Ελεγκτών

5. **Π.5** Εισαγωγή στην Ασαφή Λογική Δρ. Κυριάκος Δεληπαράσχος

6. **Π.6** Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών Διπλωματική Εργασία Θέμα: Μελέτη και Προσομοίωση Ασαφών Ελεγκτών Επιβλέπων Καθηγητής: Θεοχάρης Ιωάννης Μητράκης Νικόλαος Α.Ε.Μ.: 3949

7. **Π.7** Ασαφή Συστήματα Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις Παπαδάκης Στέλιος
Αδαμίδης Παναγιώτης Θεσσαλονίκη

8. **Π.8** Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων αποφάσεων Αξιοποίηση Ασαφούς Λογικής Στη Διαμόρφωση Πλάνου Παραγωγής ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ **Σαρρή Μαρία-Ελένη** Υπεύθυνος καθηγητής: Ιωάννης Ψαρράς Καθηγητής ΕΜΠ