

ΤΕΙ – Α
ΣΤΕΦ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΖΥΜΩΣΗΣ (CFR)
ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ

ΤΩΝ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:
ΜΑΡΙΝΟΠΟΥΛΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ
ΧΡΥΣΟΥΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2002

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πολυπλοκότητα της κατεργασίας συνεχής ζύμωσης κάνει δύσκολη τη σύνθεση των συστημάτων για τον αυτόματο έλεγχο τους. Σ' αυτό το χαρτί, μια μέθοδος για ιεραρχικό έλεγχο μιας από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την κατεργασία συνεχής ζύμωσης, η απορρέουσα τιμή του θρεπτικού μέσου είναι προτεινόμενη. Ο έλεγχος των βρόγχων για την απορρέουσα τιμή διαλυμένης συγκέντρωσης οξυγόνου διεξήχθη στο πρώτο υποτιθέμενο επίπεδο αδιάκοπης ενέργειας των μικροοργανισμών. Παράγεται μια ασαφής λογική μη γραμμικού προγραμματισμού. Το πρόβλημα του ελέγχου στρατηγικής σε μια δραστηριότητα αλλαγής των εν ζωή κυττάρων λύνεται στο επίπεδο. Πληροφορίες σχετικά με αυτή την αλλαγή περιέχονται στα μέσα ελέγχου παύσης της ροής του θρεπτικού μέσου. Εδώ αποκαλούμε την διαδικασία ζύμωσης CFP.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απαίτηση για υψηλά οικονομική αποδοτικότητα της CFP απαιτεί αυστηρή παρατήρηση των εμπειρικά εγκατεστημένων άριστων συνθηκών. Η συνολική κάλυψη της CFP από ένα άριστο σύστημα ελέγχου είναι ακόμα ένα πρόβλημα που πρέπει να λυθεί. Οι δυσκολίες εδώ εμφανίζονται από την πολυπλοκότητα των διαδικασιών της μικροβιακής σύνθεσης, η οποία λαμβάνει χώρα στους ζωντανούς οργανισμούς. Για αυτό το λόγο, από την άποψη της θεωρίας αυτόματου ελέγχου, η CFP μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μη γραμμικό, μη στάσιμο, κακό-ορισμένο αντικείμενο ελέγχου. Για αυτό δεν υπάρχει ακόμα κανένα ικανοποιητικό μαθηματικό μοντέλο για το σκοπό αυτόματου ελέγχου, το οποίο μοντέλο θα μπορούσε να περιγραφεί επαρκώς όλες τις σχέσεις εισαγωγής -εξαγωγής στην CFP.

Τα σημερινά συστήματα για τον αυτόματο έλεγχο της CFP συνήθως περιλαμβάνουν μόνο τον έλεγχο πάνω σε μερικές παραμέτρους του μέσου, όπου η διαδικασία λαμβάνει χώρα, όπως PH, θερμοκρασία και διαλυμένη συγκέντρωση οξυγόνου (DO).

Ένας από τους τρόπους βελτίωσης των συστημάτων αυτόματου ελέγχου της CFP είναι η ανάπτυξη των μεθόδων για ικανοποιητικό έλεγχο του υποστρώματος απορρέουσας τιμής, αφού και η παραγωγικότητα και η οικονομική κατανάλωση του θρεπτικού υποστρώματος, εξαρτάται από αυτόν.

2.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗΣ

Στο "1" συζητήθηκε μια προσέγγιση για την σύνθεση της ασαφούς λογικής βάση γλωσσολογικής προσέγγισης. Χωρίς την ύπαρξη ικανοποιητικού μοντέλου και ικανής επαναληψιμότητας που επιλέχθηκαν με τη βοήθεια ειδικών εκτιμήσεων και μετά από μετατροπή της στρατηγικής ελέγχου σε μια σειρά λογικών σχέσεων, εξασφαλίζεται ο παρακάτω παρευρισκόμενος πίνακας 1 της ασαφούς λογικής. Όπου E είναι το λάθος για το διαλυμένο οξυγόνο μετρημένης αξίας DO σε σχέση με το προσδιορισμένο DO_{sp}, ΔE είναι η απόκλιση του και οι εκτιμήσεις στον παρευρισκόμενος πίνακα και ο συνδυασμός αυτών μας δίνει τις αποκλίσεις του ελέγχου υποστρώματος απορρέουσας τιμής. Το σχεδιάγραμμα του συστήματος ελέγχου φαίνεται στο σχήμα 1.

III NAKAS 1

[illegible]

Στην περίπτωση της σύνθεσης, θεωρείται μια αδιάκοπη δραστηριότητα μικροοργανισμού. Ο παραγόμενος ελεγκτής συγκρίνεται με έναν άριστο PI ελεγκτή όταν απομνηθεί το σύστημα, αποδεικνύοντας τα προτερήματα της ασαφής λογικής.

3.Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ ΣΕ ΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗΣ

Από τεχνολογικής απόψεως, ο έλεγχος της CFP βρέθηκε ότι απαιτεί να λαμβάνονται υπόψη οι διαφοροποιήσεις στην δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Αφού κατά τη διάρκεια της βιοτεχνολογικής διεργασίας αυτό αλλάζει σύμφωνα με έναν νόμο σχεδόν καθόλου υπεύθυνο για την μοντελοποίηση και δεν εκθέτει καλή παραγωγικότητα, είναι πρακτικά ενδιαφέρον να σχεδιάσουμε μια στρατηγική για την τροποποίηση του σημείου αναφοράς DOsp βάση γλωσσολογικής προσέγγισης. Επί τω λόγω αυτό έχει παραχθεί ένας αλγόριθμος για τον έλεγχο στο δεύτερο επίπεδο της ιεραρχίας, παραγόμενος για μια τροποποίηση επιθεώρησης της DOsp σε συμμόρφωση με το διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα 2.

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τις πληροφορίες σχετικά με τις αλλαγές στο DO πάνω στην παύση της "φουρνιάς" υποστρώματος, η οποία είναι επηρεασμένη σε ανακατεμένα χρονικά διαστήματα. Δύο τυπικές περιπτώσεις απεικονίζονται στο σχήμα 3.

Από τα χαρακτηριστικά που παράγονται, ένα μπορεί να χαρακτηρίσει την δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Αυτό είναι ανάλογο και αντιστρόφως ανάλογο με το χρόνο διακοπής. Ο τύπος λειτουργίας είναι περίπλοκος χάρη στο ότι και οι δύο παράμετροι απαιτούνται για τον σωστό προσδιορισμό της δραστηριότητας. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα του πειράματος το σημείο αναφοράς του DOsp έχει διορθωθεί σε μια απαραίτητη κατεύθυνση μέσα στο διάστημα $/2.7/ \text{ mg/l}$. Οι διαφοροποιήσεις εισαγωγής για την ασαφή λογική θέτοντας σε εφαρμογή αυτόν το αλγόριθμο είναι $\tau[s]$ και $\lambda[\text{mg/l s}]$, ενώ της εξαγωγής είναι ΔDOsp . Η εκτίμηση των ειδικών για τα επίπεδα ικανής επαναληψιμότητας για τη σχετική διακριτική αξία στις επιλεγόμενες ασαφείς διαφοροποιήσεις έδωσαν τα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 2a,b,c.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

a

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z	1	0,7	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0,2	0,6	1	0,5	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0,1	0,3	0,7	1	0,3	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,5	0,7	1

b

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Z	1	0,8	0,3	0	0	0	0
S	0	0,1	0,4	1	0,2	0	0
M	0	0	0	0,4	1	0,8	0
G	0	0	0	0	0,4	0,6	1

	c					
	-1	-0,5	0	0,5	1,0	1,5
Z	1	0,6	0,1	0	0	0
S	0	0,1	1	0,1	0	0
M	0	0	0,2	1	0,1	0
G	0	0	0	0,1	0,7	1

Οι κανόνες προσδιορισμού του χειροκίνητου ελέγχου που προσδιορίστηκαν από τον χειριστή έχουν την ακόλουθη γλωσσολογική μορφή:

1. If (τ is Z and λ is Z) or (τ is S and (λ is Z or λ is S)) or (τ is M and (λ is Z or λ is M)) or (τ is G and (λ is Z or λ is S or λ is M)), then $\Delta DOsp$ is G.
2. If (τ is Z and λ is S) or (τ is M and λ is M) or (τ is G and λ is G), then $\Delta DOsp$ is S.
3. If (τ is Z and λ is M) or (τ is S and λ is M) or (τ is M and λ is G), then $\Delta DOsp$ is Z.
4. If (τ is Z and λ is G) or (τ is S and λ is G), then $\Delta DOsp$ is N.

Η διαδικασία υπολογισμού του παρευρισκόμενου πίνακα ελέγχου οδηγεί στο αποτέλεσμα που φαίνεται στον πίνακα 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
0,1	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,25	1,25
0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,15	1,15	1,15	1,15
0,3	0	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,75	0,8	0,9	1,0
0,4	-0,2	0	0	0	0,15	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6	0,8
0,5	-0,5	-0,3	-0,3	-0,1	0	0	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6
0,6	-0,8	-0,75	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	0	0	0,1	0,3	0,4

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μέθοδος που παρουσιάστηκε βασίζεται σε μια ήδη κλασική γλωσσολογική προσέγγιση στην ασαφή λογική και οι αρχές του επόπτη ελέγχου συνδυάζουν όλα τα πλεονεκτήματα του χειροκίνητου και αυτόματου ελέγχου. Αυτό αυξάνει την ικανότητα του συστήματος για την CFP και μπορεί εύκολα να υπονοηθεί σε μικρό-διαδικασία ή σε πραγματικά συστήματα χρονικού ελέγχου.

ΑΣΑΦΗΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Τα συστήματα ελέγχου που στηρίζονται στην ασαφή λογική είναι συστήματα βασισμένα σε κανόνες στα οποία ένα σύνολο από κανόνες ασαφούς λογικής παριστούν ένα μηχανισμό αποφάσεων του ελέγχου, προκειμένου να ρυθμίζουν τις λειτουργίες του συστήματος. Ο σκοπός του συστήματος ασαφούς ελέγχου είναι να αντικαταστήσουν τον ανθρώπινο παρατηρητή με ένα σύστημα βασισμένο σε κανόνες ασαφούς λογικής.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, ο άνθρωπος-παρατηρητής παρατηρεί ποσότητες διαβάζοντας ένα όργανο μετρήσεως ή ένα διάγραμμα (ασαφής μεταβλητή) και εκτελεί μια καθορισμένη πράξη, όπως να πατήσει ή να γυρίσει ένα μοχλό (παρέχοντας μια ασαφή πράξη). Με παρόμοιο τρόπο ο ασαφής έλεγχος, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες (crisp) πληροφορίες από ένα αριθμό αισθητήρων, μέσω της διαδικασίας της δημιουργίας ασάφειας μετατρέπει τις πληροφορίες αυτές σε λεκτικές πληροφορίες ή ασαφής συναρτήσεις συμμετοχής.

Τότε μέσω ενός συνόλου από ασαφής κανόνες «IF-THEN» όπως σε ένα έμπειρο σύστημα επιδρούν σε κάποιες ασαφής εξόδους. Οι ασαφής εξόδοι ξαναμετατρέπονται σε συγκεκριμένες (crisp) τιμές με τη διαδικασία του αποσαφηνισμού μέσω μεθόδων weighted average όπως η μέθοδος centroidal. Το αποτέλεσμα είναι μια τιμή της εξόδου y . Με αυτό τον τρόπο, έχει επιτευχθεί μια προσεγγιστική τιμή για την έξοδο y αντί για την πραγματική τιμή της εξόδου y .

Όπως δείχθηκε παραπάνω ένας ασαφής έλεγχος παίρνει τη μορφή ενός συνόλου από IF-THEN κανόνες όπου το μέρος της απόφασης (IF) και το μέρος του συμπεράσματος (THEN) είναι συναρτήσεις μέλους. Κατά συνέπεια από διάφορους κανόνες που συνδυάζονται αριθμητικά προκύπτει ένας και μόνο πραγματικός αριθμός (δυαδικός) εξόδου.

Στα πλαίσια ενός έξυπνου ασαφούς συστήματος, όπως και στα τυπικά έξυπνα συστήματα, οι τυπικοί κανόνες μπορεί να είναι το αποτέλεσμα της γνώσης ενός ανθρώπου (χειριστής).

Π.Χ. Αν η θερμοκρασία είναι υψηλή τότε μείωσε το ρεύμα σε μεσαία επίπεδα. Σε αυτό τον κανόνα, υψηλή και μεσαία, είναι ασαφείς μελέτες. Τέτοιοι τυπικοί λεκτικοί κανόνες μπορούν να μεταφραστούν σε γλώσσα υπολογιστή όπως IF (A is A1 and B is B1 and C is C1 and D is D1) THEN (E is E1 and F is F1). Χρησιμοποιώντας ένα σύνολο από τέτοιους κανόνες, ένας συγκεκριμένος αριθμός από κανόνες μπορεί να προκύψει στη μορφή της φυσικής γλώσσας, όπως εάν ένας χειριστής παρουσιάζει το έργο του ελέγχου. Σε οποιοδήποτε πρακτικό σύστημα, όπως σε ένα σύστημα κλιματισμού, ο χειριστής συχνά ρυθμίζει ή ομαλοποιεί τη λειτουργία μέσω κουμπιών μέχρις ότου η επιθυμητή ψύξη (ή θέρμανση) μπορεί να επιτευχθεί στον επιθυμητό χρόνο. Μια τέτοια γνώση ενός χειριστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό ενός ασαφούς συστήματος ελέγχου για ένα σύστημα κλιματισμού.

Ένας από τους πλέον γνωστούς τρόπους στο σχεδιασμό ενός ασαφούς συστήματος ελέγχου είναι μέσω των ασαφών συστημάτων βασισμένων σε κανόνες (Fuzzy rule based system). Ένας εναλλακτικός τρόπος πραγματοποίησης ενός συστήματος ελέγχου με ασαφή λογική, το οποίο μοιάζει με ένα κλασσικό σύστημα, είναι η χρησιμοποίηση μιας σταθεράς της κλασσικής λογικής (crisp logic). Εμείς χρησιμοποιούμε τον πρώτο τρόπο σχεδιασμού ενός ασαφούς συστήματος ελέγχου.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ

Η μεθοδολογία ανάπτυξης ενός έμπειρου συστήματος βασισμένου στην ασαφή λογική είναι μια ελαφρώς δομημένη τεχνική για την ανάπτυξη ενός ασαφούς

συστήματος και χρησιμεύει σαν οδηγός. Είναι μια πρωτοκυκλική μέθοδος και περιγράφει μια κυκλική μέθοδο περιγραφής ενός βασικού συστήματος που ανανεώνεται και επεκτείνεται με την λειτουργία.

Η μεθοδολογία από μόνη της αναπαράστα μια προσπάθεια τυποποίησης και δόμησης μιας δι-επικοινωνιακής διαδικασίας. Σ' αυτή τη διαδικασία ο αρχικός σχεδιασμός γίνεται στο χαρτί και όχι στον υπολογιστή. Αυτό είναι ένα σημαντικό κομμάτι της εξέλιξης του ασαφούς συστήματος που στηρίζεται στην πλήρη κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος και της δυναμικής του εξέλιξης.

Επειδή η πιστοποίηση του ασαφούς συστήματος γίνεται με οπτικά μέσα, είναι σημαντική η προσομοίωση. Αυτή η προσομοίωση μπορεί να γίνεται είτε μέσω επιφανειών ελέγχου είτε μέσω ροής δεδομένων. Στην προσομοίωση μέσω επιφάνειας ελέγχου, οι κύκλοι ελέγχου ορίζονται από τα καρτεσιανά γινόμενα των χώρων που ορίζουν οι μεταβλητές εισόδου-εξόδου. Στην προσομοίωση μέσω ροής δεδομένων (γενικά καλύτερη προσέγγιση) ο μηχανικός προετοιμάζει ένα αρχείο με πιθανά στιγμιότυπα για κάθε μεταβλητή. Το μοντέλο διαβάζει τιμές από το αρχείο δεδομένων και εξετάζει τη συμπεριφορά της μεταβλητής εξόδου σε κάθε χρονική στιγμή.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΛΟΓΙΚΗ

Υπάρχουν 5 βασικά στάδια για την κατασκευή ενός μοντέλου με ασαφή λογική σε μια απλοποιημένη μεθοδολογία. Τα στάδια αυτά είναι:

- Επιλογή των μεταβλητών που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του συστήματος (έλεγχος και επιλογή)
- Ορισμός των επιφανειών ελέγχου (ασαφών συνόλων)
- Γραφή των σχέσεων μεταξύ των χώρων εισόδου και εξόδου (κανόνες)
- Εκτέλεση του μοντέλου προσομοίωσης του συστήματος
- Μετατροπή της ασαφούς εξόδους σε πραγματικές τιμές

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος πληροφοριών με ασαφή λογική αποτελεί μια σχετικά εύκολη διαδικασία-μια επιφάνεια ελέγχου σχεδιάζεται έτσι ώστε να ανταποκρίνεται σωστά σε ένα σύνολο δεδομένων. Αυτή η επιφάνεια ελέγχου (απόκριση συστήματος) υπάρχει για τη σωστή αντίδραση στα δεδομένα (βάση δεδομένων, λογιστικά φύλλα κ.τ.λ.) αλλάζοντας είτε τη μορφή των ασαφών συνόλων είτε τους κανόνες του συστήματος.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΟΡΟΥΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ ΕΞΟΔΟΥ

Το πρώτο βήμα του σχεδιασμού ενός συστήματος με ασαφή λογική είναι η παρακολούθηση τεχνικών ανάλυσης που χρησιμοποιείται από συστήματα εμπορικών εφαρμογών και έξυπνων συστημάτων. Το πρώτο μας έργο είναι να ορίσουμε το είδος της πληροφορίας που δέχεται το σύστημα, ποιες είναι οι βασικές και ουσιαστικές μετατροπές των πληροφοριών, και ποιες πληροφορίες παίρνουμε στην έξοδο του συστήματος. Ακόμα και αν δεν έχουμε ένα αυστηρό μαθηματικό μοντέλο για τη διαδικασία, πρέπει να έχουμε βαθιά γνώση των παραπάνω τριών δεδομένων. Η μοντελοποίηση μέσω ασαφών συνόλων περιέχει την ανάπτυξη της καλύτερης υπολογισμένης επιφάνειας ελέγχου ενός τυπικού συστήματος. Το κομμάτι της ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ συνιστάται από ένα σύνολο κανόνων που περιγράφουν τη συμπεριφορά της εξόδου του μοντέλου η οποία δίνεται σε ένα σύνολο τιμών που επικοινωνεί με το

λεξιλόγιο του ασαφούς συνόλου. Σε αντίθεση με τα καθαρά μαθηματικά μοντέλα και τα τυπικά έμπειρα συστήματα γενικώς, τα μοντέλα με ασαφή λογική δουλεύουν από έξω προς τα μέσα, που σημαίνει ότι γνωστής της συμπεριφοράς ενός συστήματος, θέλουμε να την προσομοιώσουμε με ασαφής περιοχές. Κάθε διαδικασία μπορεί να ενσωματώσει αυτή τη λειτουργία σε ξεχωριστό μοντέλο με ασαφή λογική ή όσο αφορά τα λειτουργικά στοιχεία του μοντέλου μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα σύνολο πολιτικών.

ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Αυτό αναμφίβολα είναι το πιο δύσκολο κομμάτι του μοντέλου. Από ένα κόσμο συνεχή και διακριτό, ποιοτικό και ποσοτικό, αραιό και πυκνό, με ακριβής και ανακριβής πληροφορίες πρέπει να αναγνωρίσουμε εκείνες που ελέγχουν κατευθείαν τη λειτουργία του συστήματος και εκείνες που οδηγούν το μοντέλο σε μια τιμή εξόδου. Αυτές είναι οι μεταβλητές ελέγχου και επίλυσης αντίστοιχα. Οι μεταβλητές συμπεριφοράς, μπορεί να είναι ενδογενείς στο μοντέλο, υπό την έννοια, ότι, κάνουμε αυθαίρετο έλεγχο στις τιμές τους, και εξωγενείς ως προς το μοντέλο (όπως η διάρκεια της ηλιοφάνειας του Οκτωβρίου, η μέση θερμοκρασία στο Οχάιο, η απαιτούμενη μέση ταχύτητα ενός κινητήρα, η επαγωγή και η χωρητικότητα ενός συνόλου πηνίων, η τιμή ενός προϊόντος μιας ανταγωνιστικής εταιρίας κ.τ.λ.). Ένα σημαντικό κομμάτι στην αναγνώριση των μεταβλητών συμπεριφοράς και η εδραίωση, η ικανότητα διαχωρισμού, η ομαδοποίηση και η αποκοπή. Με αυτό εννοούμε την αναγνώριση και απομόνωση των μεταβλητών που τελικά επιδρούν στη συμπεριφορά του συστήματος από ένα σύνολο πιθανών μεταβλητών. Παρόμοιες μεταβλητές μπορούν να αποφασιστούν. Μάκρο-μεταβλητές, υψηλότερου επιπέδου από το μοντέλο μπορούν να χωριστούν σε μεμονωμένες μεταβλητές. Μεταβλητές ελέγχου που επιδρούν μόνο σε οριακά σημεία ή μόνο όταν οι πρωταρχικές μεταβλητές φθάσουν κάποιο ειδικό επίπεδο κατάστασης, χωρίζονται σύμφωνα με τον ενσωματωμένο κανόνα. Μεταβλητές χωρίς σπουδαίο ρόλο πρέπει να απορρίπτεται από το σύστημα.

ΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ

Γράφοντας τους κανόνες που περιγράφουν τη λειτουργία του συστήματος είναι το τελευταίο συνθετικό βήμα στο κτίσιμο ενός ασαφούς μοντέλου. Από τη στιγμή που οι κανόνες έχουν γραφεί και μεταφραστεί, έχει προσδιοριστεί ένα σύνολο δράσεων στο υποκείμενο ορισμένο σύνολο. Οι κανόνες γράφονται στη παρακάτω μορφή IF τ is Z and λ is Z THEN ΔDO_{sp} is G , όπου τ και λ είναι μονόμετρες εκφράσεις και Z και G γλωσσικές μεταβλητές στο μοντέλο. Για τα συστήματα που δεν υποστηρίζουν φραγμούς, η γλωσσική μεταβλητή είναι ακριβώς ισοδύναμη με ένα ασφαλές σύνολο. Στη γραφή των κανόνων πρέπει να λάβουμε υπόψη την παρακάτω πρακτική.

- Ομαδοποίηση όλων των κανόνων που επιδρούν στην ίδια μεταβλητή επίλυσης.
- Τακτοποίηση των κανόνων για εύκολη ανάγνωση.
- Δομή του κανόνα.
- Χρησιμοποίηση μια ονοματολογικής μετατροπής για την αναγνώριση διαφορετικών ομάδων μεταβλητών συμπεριφοράς. Θα μπορούσαν να ονομαστούν οι μεταβλητές ελέγχου με 'Ипρ' και μεταβλητές ελέγχου 'Отр'. Μια ονοματολογική μετατροπή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει την πηγή της μεταβλητής, τη χρησιμοποίησή της, τη διάστασή της ή το πλήθος αριθμού.

- Χρησιμοποίηση σχολείων που να περιγράφουν το σκοπό του κανόνα, περιλαμβάνοντας τη μέθοδο προσέγγισης για τη φιλοσοφία της. Θα πρέπει επίσης να δίνονται σχόλια σε ομάδα κανόνων ώστε να φαίνεται ο συνολικός τους ρόλος.
- Χρησιμοποίηση περιθωρίων γύρω από τους κανόνες.
- Αν είναι δυνατή, η χρησιμοποίηση κανόνων για μεικτές περιπτώσεις-ή μεταβλητές να γράφονται το πρώτο γράμμα με κεφαλαίο και τα υπόλοιπα με μικρά, αλλά τα ασαφή σύνολα και τα όρια με κεφαλαία και όλα τα γλωσσικά στοιχεία με μικρά γράμματα.

Αυτή η πρακτική δίνει ένα δομημένο τρόπο κωδικοποίησης του μοντέλου. Επίσης βελτιώνει την ενημέρωση, ποιότητα και επεκτασιμότητα του μοντέλου. Επειδή οι κανόνες υποστηρίζουν τη μηχανική λειτουργία του σκάφους μοντέλου η σαφήνεια και η κατανόηση είναι πολύ σπουδαίο στοιχείο.

Γραφή των συνήθων υποθετικών κανόνων.

Αυτοί είναι οι κανόνες που έχουν τη μορφή IF (ασαφής έκφραση) THEN (ασαφής πράξη) και ο βαθμός στον οποίον παίρνεται η σαφής πράξη εξαρτάται από το βαθμό της αλήθειας της προηγούμενης πρότασης. Κάθε υποθετικός κανόνας εξετάζει την συμβιβαστότητα μεταξύ μιας ομάδας μεταβλητών ελέγχου και ενός ή περισσότερων ασαφών συνόλων. Αυτές οι συγκρίσεις μπορούν να ορισθούν με τελεστές AND και OR (από διάφορες τάξεις τελεστών). Η αλήθεια του αποτελέσματος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας ασαφούς περιοχής που αντιστοιχεί σε μια από τις μεταβλητές επίλυσης. Τα περισσότερα από τα ασαφή μοντέλα, ειδικά στις εφαρμογές ελέγχου, αποτελούνται κυρίως από υποθετικούς κανόνες.

ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ (DO)

Ο έλεγχος της τάσης του διαλυμένου οξυγόνου είναι απαραίτητος στην παραγωγή αντιβιοτικών και οργανικών οξέων. Οι μετρήσεις του είναι απαραίτητες για την κατανόηση των ζυμώσεων και συνεισφέρει σημαντικά στον υπολογισμό των συντελεστών μεταφοράς μάζας οξυγόνου.

Οι πιο εμπορικά διαθέσιμοι αισθητήρες για το διαλυμένο οξυγόνο δουλεύουν πάνω σε μια polarografic αρχή μέσα στην οποία ένα εφαρμοσμένο ή αυτό-παρακινούμενο (γαλβανόμετρο) volt χρησιμοποιήθηκε για να μειώσει το οξυγόνο της καλυμμένης μεμβράνης καθόδου και για να παράγει ένα μετρήσιμο ρεύμα (για αυτό το λόγο οι αισθητήρες ονομάζονται αμπερομετρικοί). Ένα παράδειγμα ενός μη γαλβανομετρικού ζευγαριού καθόδου/ ανόδου είναι Pt/Ag και ένα γαλβανομετρικό ζευγάρι είναι το Ag/Pb. Το μέγεθος του ρεύματος προσδιορίζεται από την κλίμακα της άφιξης του οξυγόνου κατά την κάθοδο η οποία από μόνη της προσδιορίζεται από την κλίμακα της διάχυσης του οξυγόνου διαμέσου της μεμβράνης η οποία εξυπηρετεί την διαχώριση της καλλιέργειας υγρού από τον ηλεκτρολύτη μέσα στην έρευνα. Εάν η κάθοδος είναι κλειστή στην μεμβράνη και η άνοδος διατηρείται μη πολωμένη (π.χ. έχει μια περιοχή επιφάνειας που είναι πολύ μεγαλύτερη από της καθόδου), τότε η συνολική πίεση του οξυγόνου μέσα στην εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης θα κλείσει στο μηδέν. Σα συνέπεια, η οδηγούμενη πίεση για τη διάχυση του οξυγόνου θα εξαρτάται μόνο από την μερική πίεση του οξυγόνου έξω από την μεμβράνη. Μπορεί να φανεί ότι είναι η μερική πίεση, και όχι η συγκέντρωση του οξυγόνου, που μετριέται εκθέτοντας τον αισθητήρα στο νερό, στον αέρα, ή στα μέσα της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και πίεσης και παρατηρώντας ότι οι μελέτες είναι ίδιες.

Το μέγεθος των εξωτερικών συνθημάτων θα προσδιοριστεί από την εξωτερική μερική πίεση του οξυγόνου, την περιοχή της καθόδου/ μεμβράνης, το υλικό της μεμβράνης και η λεπτότητα της μεμβράνης. Από ένα κατάλληλο σχέδιο του αισθητήρα μπορεί να κανονιστεί ότι η εκροή ρεύματος είναι αναλογική στο οξυγόνο μερικής πίεσης με ένα υπολειπόμενο ρεύμα (αυτό το ρεύμα παράγεται με την απουσία του οξυγόνου) κοντά στο μηδέν. Μια μεγαλύτερη καθόδου/ μεμβράνη παράγει ένα υψηλότερο ρεύμα όπως κάνει μια λεπτότερη μεμβράνη ή το υλικό μιας μεμβράνης υψηλότερης διάχυσης (το καουτσούκ σιλικόνης καλύτερα από το PTFE). Ένα υπολειπόμενο ρεύμα μεγαλύτερο από το μηδέν μπορεί να προκληθεί από μικρές κυκλοφορίες ή μέσα στον καθετήρα ή μέσα στην έρευνα, με μόλυνση των ηλεκτρολυτών με άλλα ήλεκτρο-δραστικά είδη, ή από διαρροή του οξυγόνου μέσα στον όγκο των ηλεκτρολυτών. Για αυτό το λόγο, ένα μηδαμινό υπολειπόμενο ρεύμα κατορθώνεται καλύτερα σαν αποτέλεσμα καλού σχεδίου.

Μια λεπτότερη μεμβράνη επιτρέπει μια πιο γρήγορη ανταπόκριση, αλλά υπάρχει ένα όριο του πόσο λεπτή μπορεί να είναι μια μεμβράνη για λόγους μηχανικής δύναμης, σταθερότητα του συστήματος, και το μήκος του μονοπατιού διάχυσης. Με μια πολύ λεπτή μεμβράνη υπάρχουν κίνδυνοι:

- 1) ρήξη της μεμβράνης
- 2) σημαντική διάχυση των άλλων ουσιών εκτός από οξυγόνο, το οποίο μπορεί να δηλητηριάσει την ηλεκτροχημική αντίδραση
- 3) το λύγισμα της μεμβράνης και
- 4) ηλεκτροχημική παραφόρτιση της καθόδου, η οποία προκαλεί ένα μονοπάτι διάχυσης για να επεκταθεί μέσα στο περιβαλλόμενο μέσο και για αυτό το λόγο προκαλεί την εκροή να είναι εξαρτημένη από την ταχύτητα του μέσου μέσα από την εγγύτητα της έρευνας.

Μια συχνά χρησιμοποιημένη μεμβράνη είναι 25 PTFE, η οποία παρέχει μια ανταπόκριση 90% για ένα λεπτό. Ο χρόνος ανταπόκρισης αυτής της εντολής είναι καθαρά ακατάλληλος για τα δυναμικά πειράματα οξυγόνου και για αυτό το λόγο, χρησιμοποιούνται οι λεπτότερες μεμβράνες και οι διορθώσεις στην έρευνα ανταπόκρισης.

Οι πολαρογραφικές έρευνες είναι ευαίσθητες στη θερμοκρασία έχοντας έναν συντελεστή θερμοκρασίας σχεδόν 3% στο εκατοντάβαθμο. Σε περιπτώσεις, όπου η γρήγορη ανταπόκριση δεν είναι απαραίτητα μια εναλλακτική μορφή του αισθητήρα διαλυμένου οξυγόνου έχει χρησιμοποιηθεί πετυχημένα σε εργαστήρια. Αυτή είναι μια σωληνωτή έρευνα που περιγράφηκε από την PHILLIPS και την JOHNSON. Με αυτή την τεχνική, η ροή του ελεύθερου αερίου οξυγόνου περνάει διαμέσου των τυλιγμάτων του σωληνωτού πλαστικού, π.χ., η PTFE ανεβαίνει στο ζυμωτή και το περιεχόμενο αερίου οξυγόνου υπολογίζεται από την διέξοδο των τυλιγμάτων. Η τεχνική δίνει μια αργή ανταπόκριση εξαιτίας της μονωμένης διάχυσης μέσα στον τοίχο του σωληνωτού πλαστικού (π.χ. λίγα λεπτά για 50% ανταπόκριση με 150μm PTFE τοίχο) και η μεταφορά μόνωσης μεταξύ των ελίκων και του αναλυτή αερίων (π.χ. άλλο ένα ή δυο λεπτά). Ωστόσο, αν αυτή η αργή ανταπόκριση είναι αποδεκτή, η τεχνική έχει ένα αριθμό σημαντικών προτερημάτων:

- 1) μόνο ένα απλό πλαστικό τύλιγμα βρίσκεται μέσα στο ζυμωτή και αυτό μπορεί εύκολα να αντέξει την αποστείρωση ατμού χωρίς αλλαγή της ιδιοκτησίας μετά την πρώτη αποστείρωση
- 2) οι έλικες δοκιμάζουν μια μεγαλύτερη δύναμη του **broth** απ' ότι το σημείο της πολαρογραφικής έρευνας και

3) τα υπολογίσιμα εξαρτήματα είναι στο εξωτερικό του ζυμωτή και γι' αυτό το λόγο έχουν γρήγορα πρόσβαση για τη διατήρηση και την ισορρόπηση χωρίς τον κίνδυνο μιας μόλυνσης της καλλιέργειας.

Η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου μέσα στο αέριο ατμού (0 με περίπου 100 ppm) μπορεί να μετρηθεί από ορθούς αναλυτές. Με τη δική μας εμπειρία αυτή η μέθοδος της μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου, είναι πάρα πολύ αξιόπιστη και διατηρεί την ισορρόπηση της μετά από πολλές βδομάδες ζύμωσης.

Ο Kasser έχει προτείνει μια τεχνική για τον έλεγχο της ισορρόπησης του αισθητήρα διαλυμένου οξυγόνου κατά την διάρκεια μιας ζύμωσης με περιοδικές αλλαγές στην πίεση του ζυμωτή και τη σύγκριση της αλλαγής στην εκροή με μια αναφορά αλλαγής που κατέχεται με ένα φρέσκο αισθητήρα.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η μέτρηση της θερμοκρασίας και ο έλεγχος είναι κρίσιμα στη ζύμωση όχι μόνο για τα άμεσα αποτελέσματα πάνω στην κουλτούρα, αλλά επίσης εξαιτίας των αποτελεσμάτων πάνω σε άλλους αισθητήρες.

Πολλές μορφές αισθητήρων θερμοκρασίας έχουν χρησιμοποιηθεί στη ζύμωση συμπεριλαμβάνοντας πλατινένιους θερμοστάτες αντίστασης, θερμάστρες, υδράργυρο μέσα στο ατσάλι και υδράργυρο μέσα στο γυαλί.

Ο χρόνος ανταπόκρισης των διαφορετικών μορφών εξαρτάται σημαντικά από την κατασκευή τους και αν κρατούν άμεση επαφή με την κουλτούρα ή αν είναι τοποθετημένες σε ένα ανοξείδωτο ατσάλινο θύλακα. Όπου χρησιμοποιείται αυτός ο θύλακας είναι φρόνιμο να χρησιμοποιηθεί ένα μέσο μεταφοράς θέρμανσης, αλλιώς ο αισθητήρας θα ανταποκριθεί πάρα πολύ αργά.

Αλλα χαρακτηριστικά αυτών των αισθητήρων, που αξίζει να σημειωθούν είναι το πρόβλημα με την κρύα διασταύρωση αποζημίωσης για ένα **thermocouple** (συχνά απαιτώντας έναν πλατινένιο θερμόμετρο αντίστασης για να κατορθώσεις μια αυτόματη αποζημίωση), προστασία εναντίον των ανοιχτών κυκλωμάτων με ένα **thermocouple**, μια μη γραμμική εκροή της θερμάστρας, και πιθανόν αμφιλεγόμενα αποτελέσματα θερμοκρασίας. Με όλες τις μορφές των ερευνών είναι σημαντικό να επιβεβαιώσουμε, με τη βοήθεια της κατάλληλης θερμικής μόνωσης, που μετριέται η θερμοκρασία είναι αντιπροσωπευτικό της θερμοκρασίας της τοπικής κουλτούρας από την έρευνα και όχι η θερμοκρασία από το ζυμωτή τοίχου διαμέσου του οποίου προεξέχει η έρευνα.

Σε μερικούς ζυμωτές μπορεί να είναι επιθυμητό να χρησιμοποιήσουν παραπάνω από μια έρευνα λαμβάνοντας υπόψη τις ποικιλίες στον αναμιγμένο όγκο και επίσης για να παρέχει μια επαλήθευση εναντίον των μεγάλων λαθών στις μετρήσεις θερμοκρασίας. Επιπλέον, το αποτέλεσμα της αμφιλεγόμενης θερμοκρασίας πάνω στον πίνακα απόδοσης του ελεγκτή πρέπει να βρίσκεται στο μυαλό του.

ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΖΥΜΩΣΗΣ

Η μέτρηση της αναλογίας της ζύμωσης, μεταφράζεται εδώ σαν εναλλασσόμενη ταχύτητα από τον εξωθητή, είναι σημαντικό στον έλεγχο του αναμιγμένου όγκου και της προμήθειας οξυγόνου και τα θρεπτικά συστατικά στη φάση των αερίων.

Η ταχύτητα ζύμωσης είναι η πιο εύκολα μετρήσιμη με τη βοήθεια ενός οπτικού ή έγκυρου ρεπρίζ (μηχανής). Αυτά τα εξαρτήματα είναι διαθέσιμα και έχουν χρόνο ανταπόκρισης και ακρίβεια που είναι μια λειτουργία του αριθμού των παλμών ανά περιστροφή.

ΔΥΝΑΜΗ ΖΥΜΩΣΗΣ

Η ζύμωση παρέχει ένα αναμιγμένο όγκο και μια μεταφορά αερίου και επίσης επιβεβαιώνει την μεταφορά θέρμανσης και την παρουσίαση ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος για τους αισθητήρες. Η μέτρηση της δύναμης που απαιτείται για να κατορθώσει αυτούς τους αντικειμενικούς στόχους είναι μια σημαντική ένδειξη της κατάστασης της ζύμωσης.

Η πιο εύκολη μέτρηση δύναμης για να γίνει είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος του ταραγμένου κινητήρα (και, αν απαιτείται, ο κινητήρας συμπίεσης αέρα). Αυτό κατορθώνεται διαμέσου των μετασχηματιστών ρεύματος σε προμήθειες ηλεκτρικών καλωδίων και παρέχει μια μελέτη σε watt διαμέσου ενός κατάλληλου πομπού. Τέτοια εξαρτήματα παρέχουν μια ακρίβεια των $\pm 0,5\%$ fsd. Ωστόσο αυτό δεν λαμβάνει υπόψη το αποτέλεσμα της δύναμης που παίρνουμε από την απόδοση του κινητήρα ή τις απώλειες που συμβαίνουν στο κουτί ταχυτήτων και στη λαβή. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί είτε υπολογίζοντας είτε μετρώντας το μέγεθος αυτών των αποτελεσμάτων είτε ταιριάζοντας **torque transducer** μέσα στον ταραγμένο ζυμωτή. Το τελευταίο είναι δύσκολο να κατορθωθεί εξαιτίας της δυσκολίας να κάνεις ηλεκτρική επαφή σε μια εναλλασσόμενη λαβή μέσα στον ζυμωτή. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας δακτυλίους αλλά οι επιτυχημένες εγκαταστάσεις είναι σπάνιες στις γνώσεις του συγγραφέα. Μια εναλλακτική είναι να μετρήσεις την αύξηση αναλογίας της θερμοκρασίας πάνω από τη μικρή κλίμακα θερμοκρασίας και να το αλλάξεις αυτό μέσα από την εισροή δύναμης. Αυτή η μέτρηση μπορεί να γίνει είτε κατά τη διάρκεια μιας ζύμωσης είτε στο τέλος (αλλά και στις δυο περιπτώσεις μια άδεια χρειάζεται να γίνει για τη μεταβολική ζέστη) για να παρέχει μια εμπειρική σχέση μεταξύ της διανεμημένης δύναμης με την κουλτούρα και την καταναλωμένη δύναμη από τον κινητήρα. Αυτή η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια μιας ζύμωσης.

Η ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΟΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

DACS, από ορισμού, κάνουν πάρα πολλές σημαντικές λειτουργίες. Πρώτον, πρέπει να είναι ικανά να αιχμαλωτίζουν ή να αποκτούν τις πληροφορίες που παράγονται από το πεδίο αισθητήρων και/ ή των πομπών. Γενικά, αυτή η πληροφορία είναι διαθέσιμη σε μια μορφή μερικών αναλογικών ρευμάτων/ volt ή μια διακριτική επαφή κλεισίματος και παρουσιάζει την αξία της παραμέτρου που δίνετε από την διαδικασία. Για παράδειγμα, η εκροή αισθητήρα διαλυμένου οξυγόνου από ένα γαλβανόμετρο τυπικά εκφράζεται σαν ένα σύνθημα χαμηλών επιπέδων millivolt που είναι αναλογικό στη σχετική αναλογία της μείωσης του οξυγόνου το οποίο συμβαίνει κατά τη μερίδα καθόδου κατά τη διαδικασία έρευνας διαλυμένου οξυγόνου. Τα παρατηρημένα volt μπορούν να είναι συσχετιζόμενα με τη συγκέντρωση οξυγόνου μέσα στο **broth** του ζυμωτή. Η λειτουργία του DACS είναι να ελέγχει την εκροή volt της έρευνας αλλάζοντας το σύνθημα σε μια ευανάγνωστη μορφή. Κανονικά, αυτή η αλλαγή συμβαίνει μέσω μια αναλογικής σε ψηφιακή (A/D) τροποποίηση η οποία έχει ως αποτέλεσμα ένα ευανάγνωστο ψηφιακό σύστημα. Το πλάτος του επιπέδου συστήματος και οι τύποι που ένα σύστημα ελέγχου μπορεί να φιλοξενήσει ποικίλουν δραματικά. Τα μικρά συστήματα μπορούν συχνά να αποδεχτούν συνθήματα εισροής από μόνο ένα ή δυο τύπους, ενώ τα πιο πολύπλοκα βιομηχανικά συστήματα μπορούν να αποδεχτούν πολλά αδέσποτα επίπεδα συνθημάτων.

Καθώς το απαιτούμενο πεδίο συνθημάτων έχει αιχμαλωτιστεί, η δεύτερη σημαντική λειτουργία του συστήματος ελέγχου είναι αυτή της διαδικασίας στοιχείου. Η

διαδικασία των πληροφοριών περικλείει μια ευρεία ποικιλία λειτουργιών. Είναι σημαντικό για το σύστημα ελέγχου να προσδιορίζει την ποιότητα των εισερχόμενων στοιχείων. Για παράδειγμα, το σύστημα πρέπει να έχει την ικανότητα να ξεχωρίζει τα συνθήματα που είναι έγκαιρα από αυτά που είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας θορύβου ή από τους αποτυχημένους αισθητήρες και πομπούς. Αυτή η ικανότητα παρέχεται από μια συνδυασμένη **hardware/ software** λύση. Επιπρόσθετα, το σύστημα πρέπει να είναι ικανό να αλλάζει τα άμεσα μεταφρασμένα συνθήματα σε μια φυσικά σημαντική αξία. Τυπικά, αυτό κατορθώθηκε από μια απλή κλιμάκωση. Για παράδειγμα, εάν η εκροή του πομπού διαλυμένου οξυγόνου διαβαστεί σαν 5 mV (όπου το σύστημα έχει προηγουμένως ισορροπηθεί όπως το 0 και το 10mV είναι ίσο με το 0 και 100% της διαπότισης, αντίστοιχα), το σύστημα ελέγχου πρέπει να είναι ικανό να μεταφραστεί σαν μια αντιπροσωπευτική τάση οξυγόνου ανταποκρινόμενη στο 50% της διαπότισης στη διαδικασία της θερμοκρασίας. Μια άλλη φανερή ικανότητα η οποία είναι επιθυμητή είναι η ικανότητα επιπλέον αλλαγής στην διαδικασία συνθήματος σε απόλυτα μηχανικά θέματα. Σ' αυτή την περίπτωση του διαλυμένου οξυγόνου, αυτό θα πρέπει να απαιτεί ότι η DACS θέτει μια πρόιμη γνώση της συγκέντρωσης διαπότισης οξυγόνου.

Τότε αν η θερμοκρασία ήταν γνωστή (ή ελεγχόταν μεσώ ενός δεύτερου καναλιού συνθήματος εισροής), η απόλυτη συγκέντρωση των μηχανικών θεμάτων (mg/l) του διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να υπολογιστεί.

Μια τρίτη λειτουργία είναι η ικανότητα να υπολογίζει την αξία των μη μετρήσιμων παραμέτρων. Για παράδειγμα, όλοι οι συντελεστές μεταφοράς μάζας, $K_L a$, δεν είναι άμεσα μετρήσιμη από την ήδη υπάρχουσα έρευνα. Ωστόσο, είναι επίσης πιθανόν να υπολογίσεις αυτή την παράμετρο μετρώντας ανεξάρτητα την τάση του διαλυμένου οξυγόνου και πολλές άλλες παραμέτρους. Έτσι, αυτό θα ήταν πιθανόν να είναι χρήσιμο εάν το σύστημα ελέγχου είχε την ικανότητα να ελέγχει τις κατάλληλες παραμέτρους και να υπολογίζει άμεσα τέτοιες παραμέτρους "εισόδου".

Επιπλέον απ' τις παραπάνω αναφερόμενες λειτουργίες, η απόκτηση στοιχείου και τα συστήματα ελέγχου μπορούν να παρέχουν πολλά επιπρόσθετα χαρακτηριστικά. Αυτά περιλαμβάνουν την ικανότητα να επιδεικνύουν το ρεύμα και/ ή τις ιστορικές αξίες των παραμέτρων διαδικασίας. Η ικανότητα να επιδεικνύει την αξία του ρεύματος των παραμέτρων πάνω σε μια σωλήνωση καθόδου ακτίνας (CRT), τυπογράφο, ή συνωμότη επιτρέπει σε ένα να οραματιστεί την κατάσταση ρεύματος της δοσμένης διαδικασίας. Η επιπρόσθετη ικανότητα να κατευθύνει τις πρόσφατα περασμένες αξίες παραμέτρων παρέχουν ένα "παράθυρο" για παροδικές και σταθερές αναλύσεις παραμέτρων και ελέγχων. Προφανώς, η ικανότητα να αποθηκεύσεις ψηφιακά τις πληροφορίες για μελλοντική ανάλυση και σύγκριση είναι επίσης επιθυμητό. Δυστυχώς, η κατεύθυνση και η αποθήκευση των μακροπρόθεσμων ικανοτήτων στοιχείων ακόμα και στα πιο πολύπλοκα συστήματα ελέγχου είναι περιέργως περιορισμένα. Συχνά, τα επιπρόσθετα συστήματα ελέγχου πρέπει να είναι συνδεδεμένα με εμπορικές DACS εγκαταστάσεις για να παρέχουν τη λιγότερη κατεύθυνση και αποθήκευση ικανοτήτων που απαιτούνται για τις συσκευές ζύμωσης.

Αναμφισβήτητα, η σημαντική λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου είναι να θέσει σε λειτουργία τον έλεγχο των αλγορίθμων. Πολλοί αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές διαδικασίες ελέγχου, αλλά ο πιο κοινός είναι ο έλεγχος ανατροφοδότησης. Σε μια τέτοια λειτουργία, η αξία της παραμέτρου ελέγχεται και μπαίνει σε διαδικασία κατάλληλα. Συνεπώς, η αξία της παραμέτρου συγκρίνεται με την επιθυμητή αξία. Αν η διαφορά μεταξύ του σημείου αναφοράς και της ποικιλίας διαδικασίας είναι μικρή, δεν λαμβάνονται μέτρα. Απ' την άλλη μεριά, εάν η απόλυτη αξία της διαφοράς είναι σημαντική, γίνεται ένας έλεγχος δράσης. Αυτή η δράση είναι η τροποποίηση ενός συνθήματος εκροής το οποίο διορθώνει την κατάσταση ενός τελικού

στοιχείου ελέγχου. Στην περίπτωση του ελέγχου διαλυμένου οξυγόνου, για παράδειγμα, η επιθυμητή τάση οξυγόνου θα συγκριθεί με την ελεγμένη αξία διαδικασίας (PV). Εάν το διαλυμένο οξυγόνο ήταν λιγότερο απ' το επιθυμητό, θα λαμβανόταν μια κατάλληλη δράση. Στον έλεγχο διαλυμένου οξυγόνου, όπου η ταχύτητα του ζυμωτή είναι συχνά ελεγμένη, η σημειωμένη πράξη πρέπει να είναι ικανή να αυξήσει την ταχύτητα του προωθητή, διανέμοντας έτσι περισσότερο οξυγόνο στο **broth**. Αν η τάση οξυγόνου ήταν υψηλότερη από το σημείο αναφοράς η δράση πρέπει να είναι ικανή να μειώσει την αναλογία ζύμωσης.

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι ο έλεγχος του αλγορίθμου προσδιορίζει την ακριβή δράση που λαμβάνεται μετά από την παρέκκλιση από το σημείο αναφοράς. Αυτός ο αλγόριθμος καθορίζει και το μέγεθος της ανταπόκρισης εκροής καθώς επίσης και το τελικό στοιχείο ελέγχου από το οποίο η δράση τίθεται σε λειτουργία. Είναι απόλυτα σημαντικό να καθορίσει και τις δύο παραμέτρους από την άποψη της διαδικασίας κάτω από σκέψη. Σαν ένα παράδειγμα, σκέψου τον έλεγχο του διαλυμένου οξυγόνου σε μια βιομηχανική ζύμωση. Ενώ η ζύμωση βασισμένου ελέγχου είναι η πιο κοινή, ο έλεγχος του οξυγόνου πρέπει να είναι επιτυχής ελέγχοντας τέτοιες παραμέτρους όπως η αναλογία αερούχων, η πίεση σκεύους, η θερμοκρασία, και η αναλογία θρεπτικής τροφής. Επιπλέον, η τάση του οξυγόνου μπορεί να ελεγχθεί από συνδυασμό αυτών των παραμέτρων. Σαν αποτέλεσμα η επιλογή των οποιοδήποτε τελικών στοιχείων ελέγχου είναι συχνά μια διαδικασία ή ο προσδιορισμός ευκολίας. Σε μια δεδομένη ευκολία ζύμωσης, οι χαρακτηρισμοί των οργανισμών ή η υποστήριξη των χρησιμότητων μπορούν όλα να έχουν ένα αντίκτυπο στην επιλογή του στοιχείου ελέγχου της εκροής. Ακόμα, η δυναμική συμπεριφορά αυτών των χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης μπορεί να προτείνει τη χρήση περισσότερων από ένα στοιχείο ελέγχου.

Καθώς το στοιχείο ελέγχου έχει επιλεγθεί, η μαθηματική σχέση μεταξύ της παρέκκλισης του σημείου αναφοράς και του μεγέθους της ανταπόκρισης εκροής, πρέπει επίσης να προσδιοριστεί. Ακόμα και μεταξύ του απλού ελέγχου ανατροφοδότησης, ένας αριθμός των πιθανών αλγορίθμων ελέγχου μπορεί να επιλεγθεί. Αυτοί περιέχουν τις κλασικές αναλογικές (P), αναπόσπαστες (I), και προερχόμενες (D) δράσεις. Στον αναλογικό έλεγχο, το μέγεθος της δράσης εκροής είναι μαθηματικά ανάλογο με την παρέκκλιση της εισροής. Η γραμμική σχέση μεταξύ της παρέκκλισης και της ανταπόκρισης της εκροής τίθεται από την P. Ο αναπόσπαστος έλεγχος δράσης χρησιμοποιείται για να μετριάσει τον αναλογικό έλεγχο. Με τον αναπόσπαστο έλεγχο, η παρέκκλιση εισροής ενσωματώνεται με το χρόνο. Η παραγόμενη δράση επίσης χρησιμοποιείται για να μετριάσει την αναλογική ανταπόκριση ελέγχου.

Το αποτέλεσμα του συνδυασμένου PID ελέγχου είναι να παράγει μια ραγδαία, υγρή μέθοδο του PV πάνω στο σημείο αναφοράς οπουδήποτε ανιχνεύεται μια παρέκκλιση εισροής. Μια αναλογική δράση κινεί το PV πάνω στο σημείο αναφοράς ενώ μια αναπόσπαστη δράση αποζημιώνει για την διορθωμένη απόκλιση από το σημείο αναφοράς. Η παραγόμενη δράση παρέχει υγρασία η οποία αποζημιώνει για τις εγγενείς στάσεις του αναπόσπαστου ελέγχου. Στην ιδανική περίπτωση, όταν οι P,I και D έχουν “ρυθμιστεί” σε μια δεδομένη διαδικασία και ευκολία, αποτελείται ένας ιδανικός έλεγχος. Ωστόσο, αυτή η κατάσταση συμβαίνει σπάνια. Κανονικά, είναι δύσκολο να ρυθμίσεις τα συνεχόμενα καθώς η άριστη αξία τους μπορεί να ποικίλει κατά τη διάρκεια της ζύμωσης ή καθώς υπάρχει μια λειτουργία διαδικασίας. Ακόμη, ο παραγόμενος στόχος είναι ευαίσθητος στη φασαρία. Σαν συνέπεια, η χρήση οποιασδήποτε παραγόμενης δράσης μπορεί να αποτελέσει μια μη σταθερή διαδικασία. Σαν αποτέλεσμα, οι περισσότερες ευκολίες ζύμωσης μέσα από τις οποίες έχει επιλεγθεί ο έλεγχος ανατροφοδότησης, είναι ελεγμένη από την χρήση PI δράσης.

Επιπλέον από τις παραπάνω αναφερόμενες λειτουργίες, η απόκτηση στοιχείου και τα συστήματα ελέγχου μπορούν να παρέχουν έναν αριθμό από άλλες πρακτικές ικανότητες. Η πιο χρήσιμη από αυτές είναι η ικανότητα θέτησης χρόνου. Σαν ξεχωριστό από τον συνεχόμενο έλεγχο, ο «ποσοτικός» έλεγχος διευρύνει τις ικανότητες του συστήματος ελέγχου. Ενώ ο συνεχής έλεγχος επιτρέπει την διατήρηση της διαδικασίας παραμέτρων ο ποσοτικός έλεγχος επιτρέπει τις διαδικασίες να είναι εισαγωγικές, διακοπτόμενες ή τελικές. Επιπλέον, τέτοιες πράξεις όπως οι βασισμένες τροποποιήσεις του σημείου αναφοράς καθώς επίσης οι βασισμένες τροποποιήσεις γεγονότων των τελικών στοιχείων ελέγχου είναι ποσοτικές ικανότητες ελέγχου.

Η τελική ικανότητα της απόκτησης στοιχείου και του συστήματος ελέγχου σχετίζεται με την ικανότητα να επικοινωνεί με άλλα συστήματα υπολογιστών. Από σχεδίου, τα συστήματα ελέγχου τείνουν να στέκονται μόνα σαν συστήματα τα οποία μπορούν αξιόπιστα να θέσουν σε λειτουργία τις στρατηγικές ελέγχου. Σαν συνέπεια, δεν είναι συχνά πιθανόν ή κατάλληλο να τίθεται σε λειτουργία μια μη ελεγχόμενη και συσχετιζόμενη υπολογίσιμη λειτουργία άμεσα με το περιβαλλόμενο σύστημα ελέγχου. Η DACS είναι συχνά μειωμένη με το άλλο υπολογίσιμο περιβάλλον μέσα στο οποίο τίθενται σε λειτουργία τα συσχετιζόμενα καθήκοντα προγραμματισμού. Συνδέοντας άλλους υπολογιστές με το σύστημα ελέγχου ο έλεγχος του περιβάλλοντος που παρέχεται από την DACS θα συμβιβαστεί ενώ ολόκληρο το φάσμα των υπολογίσιμων ενεργειών μπορεί να υποστηριχθεί.

Υπάρχουν τουλάχιστον 4 υπολογίσιμες λειτουργίες οι οποίες έχουν συνδεθεί με τα συστήματα ελέγχου. Μια κατηγορία λειτουργιών περιλαμβάνει αυτές που απαιτείται να συναντήσουν τις βασικές απαιτήσεις ελέγχου αλλά δεν υποστηρίζονται από το επιλεγμένο σύστημα ελέγχου. Για παράδειγμα, αν απαιτείται ποσοτικός έλεγχος, αλλά δεν είναι διαθέσιμος, ένας προγραμματισμένος λογικός ελεγκτής μπορεί να συνδεθεί με το σύστημα για να παρέχει έναν ποσοτικό έλεγχο. Επιπλέον, μπορεί να είναι απαραίτητο να παρέχουν ένα υπολογίσιμο περιβάλλον το οποίο μπορεί να αποδεχτεί την εκροή των πολύπλοκων αναλυτικών τεχνασμάτων τα οποία μπορεί να μην είναι συμβατά με το αρχικό σύστημα ελέγχου. Παραδείγματα τέτοιων αναλυτικών τεχνασμάτων συμπεριλαμβάνουν σπεκτρόμετρα τετραπλάσιας μάζας φασματικές έρευνες, και τετραπλή υπέρυθρη μεταφορά σπεκτρομέτρων. Αυτά τα τεχνάσματα παράγουν τρισδιάστατες παρατάξεις στοιχείων που δεν αποτελούνται από συνηθισμένα συνθήματα. Γι' αυτό ένα υποκατάστατος υπολογιστής συχνά απαιτείται για την διαδικασία εκροής. Τέλος, μπορεί να είναι απαραίτητο να παρέχουν ένα μέσο με το οποίο η συλλογή στοιχείων μπορεί να ενορχηστρωθεί, ιδίως σε συστήματα που παρέχουν κατά κύριο λόγο συνεχή έλεγχο. Σε αυτά τα συστήματα, ο διαχωρισμός των στοιχείων σε ξεχωριστές ποσότητες δεν είναι πάντα ειλικρινής. Μπορεί να είναι απαραίτητο να παρέχουν έναν συντονισμό απόκτησης στοιχείων περιβάλλοντος μέσα στο οποίο τα στοιχεία από μια ζύμωση μπορούν να διαχωριστούν από αυτά που επιλέχτηκαν από άλλη. Μια δεύτερη απαιτούμενη λειτουργία είναι αυτή της παροχής υψηλού επιπέδου υπολογίσιμη ικανότητα. Ενώ πολλές λειτουργίες του συστήματος ελέγχου μπορεί να κάνει περισσότερο πολύπλοκους τους υπολογισμούς εισόδου, η ικανότητα να λύνει τα πολύπλοκα συστήματα από εξισώσεις είναι συχνά περιορισμένη. Γι' αυτό, το αναμενόμενο μοντέλο διαδικασίας απαιτώντας λύση των συστημάτων για τις γραμμικές και μη γραμμικές εξισώσεις έχουν γίνει σχεδόν πάντα στους υπολογιστές ξεχωριστά από το κύριο σύστημα ελέγχου. Προφανώς, η πολυπλοκότητα της λειτουργίας, και ο παγκόσμιος έλεγχος αλγορίθμων έχουν οραματιστεί σαν να έχουν γίνει σε διαφορετικούς υπολογιστές.

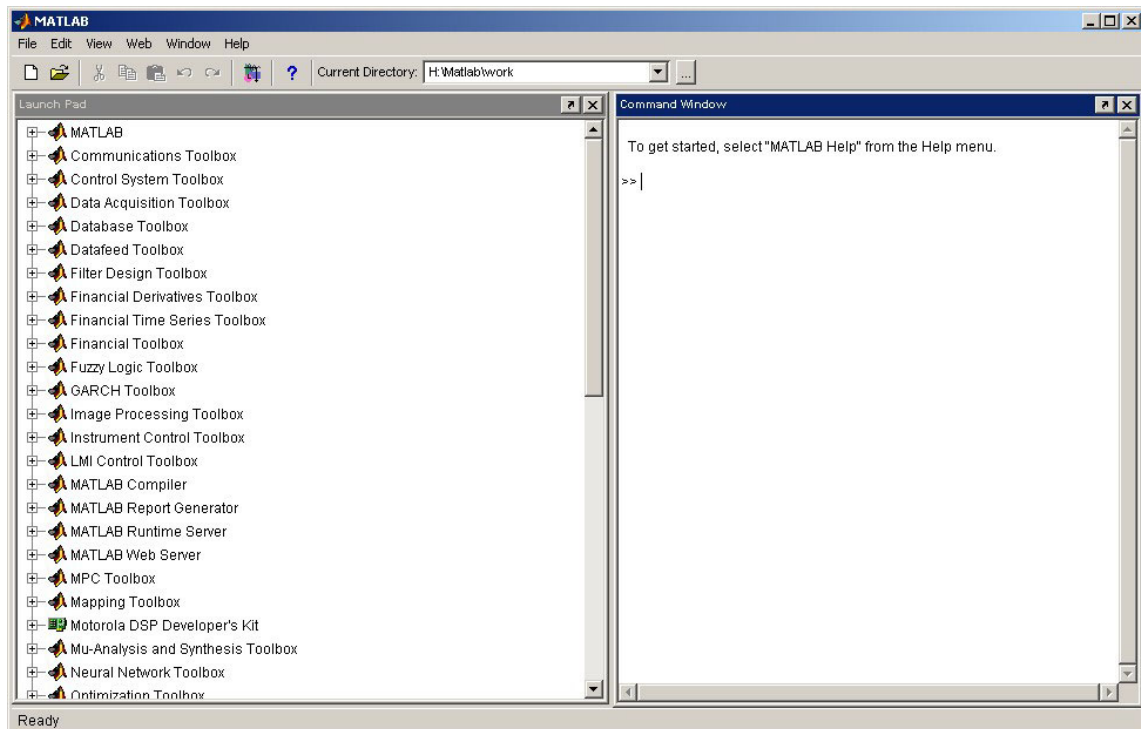
Επιπλέον στις προηγούμενα αναφερόμενα λειτουργίες, είναι επίσης απαραίτητο να παρέχεται ένα περιβάλλον μέσα στο οποίο αναλαμβάνεται ένας αριθμός

συσχετιζόμενων λειτουργιών διαδικασίας. Τυπικά αυτές οι λειτουργίες εμπλέκουν περισσότερες διαδικασίες συλλεγόμενων στοιχείων. Επιπλέον, Τέτοιες σημαντικές λειτουργίες όπως η διαχείριση υλικών και η εγγύηση της διαδικασίας μπορούν να τοποθετηθούν σε έναν υπολογιστή «επιθεώρησης», συνδεδεμένο με το αρχικό σύστημα ελέγχου.

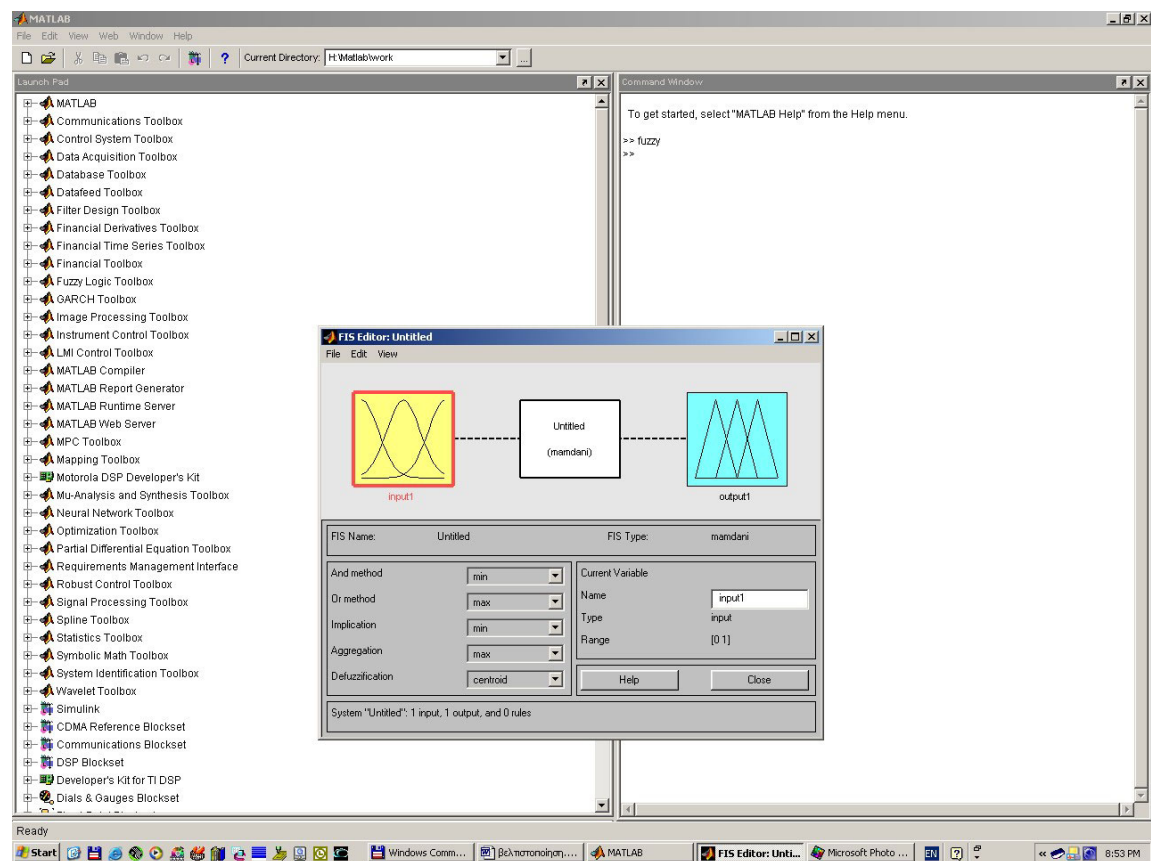
Η τελική λειτουργία που μπορεί να παρέχεται από ένα υπολογιστή επιθεώρησης είναι να ενεργεί σαν μια επικοινωνία γενικού σκοπού. Η χρήση των υπολογιστών γενικού σκοπού η οποία μπορεί να είναι συμβατή με πολλές πηγές στοιχείων συχνά παρέχει το μοναδικό μέσο για την **intercalation** των στοιχείων που συλλέγονται από ποικίλες τοποθεσίες χρησιμοποιώντας πολλά DACS συστήματα. Αυτή η **νόνταλ** λειτουργία παρέχει δυνατότητες επικοινωνίας όχι μόνο με άλλες αποκτήσεις στοιχείων και συστήματα ελέγχου, αλλά επίσης και με άλλα κύρια πλαίσια των μικρό-υπολογιστών. Αυτή η προσέγγιση παρέχει τις βάσεις για ανάπτυξη της βάσης δεδομένων ενσωματώνοντας πληροφορίες από τις εντός και εκτός γραμμής πηγές.

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΟ MAT-LAB

Πρώτα εκκινούμε το MATLAB κάνοντας κλικ στο εικονίδιο.

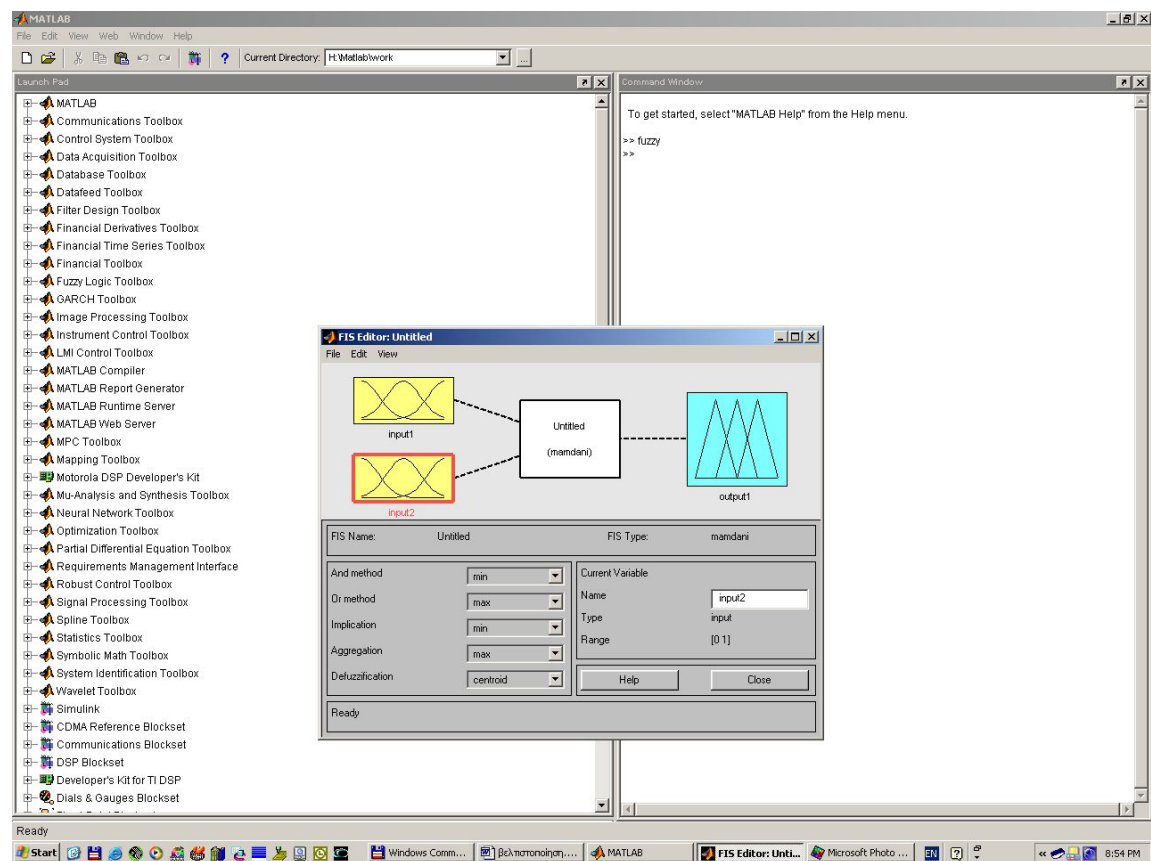


Εφόσον έχουμε μπει στο MAT-LAB μπαίνουμε στο module του fuzzy logic πληκτρολογώντας fuzzy.



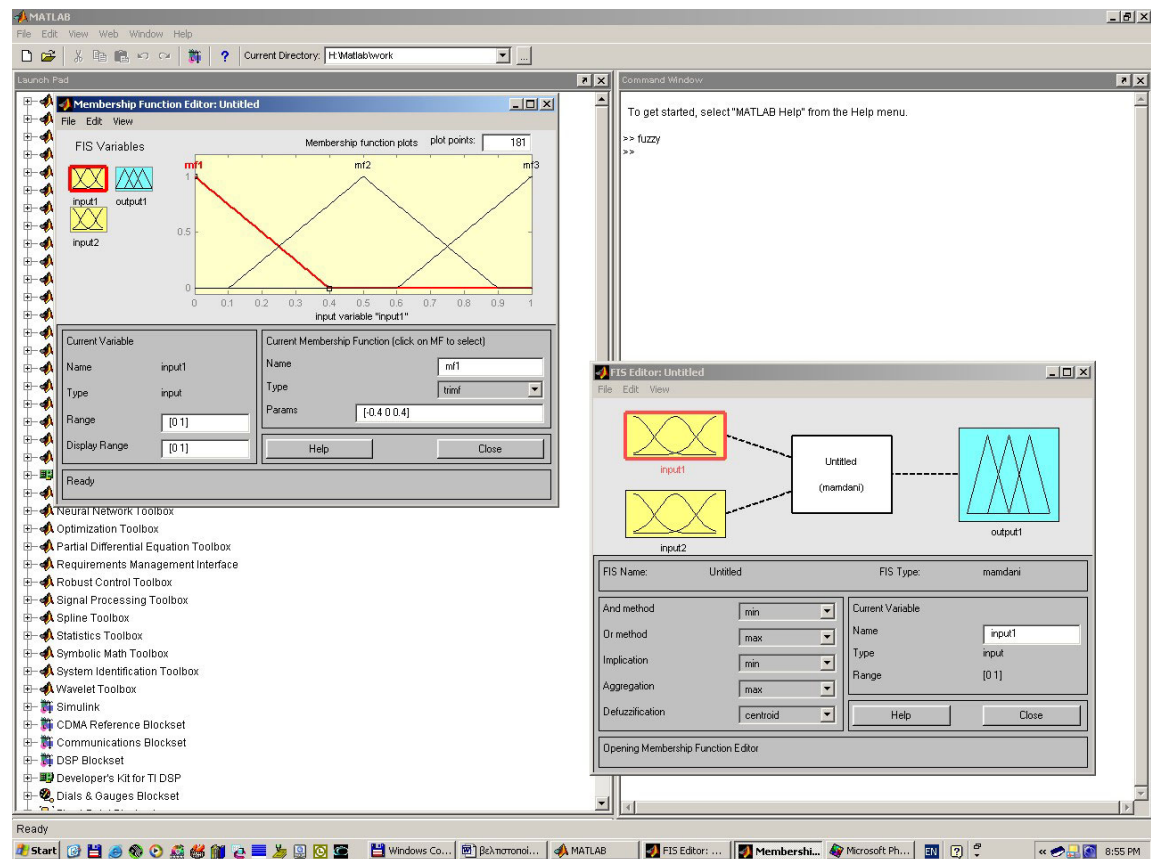
Εκεί προσπαθούμε να φτιάξουμε τις εισόδους και τις εξόδους. Εμείς στο πρόγραμμά μας έχουμε δυο εισόδους και μια έξοδο. Επιλέγουμε από το μενού edit και πάμε στο add variable και input όπου προσθέτουμε άλλη μια είσοδο.

Έπειτα αλλάζουμε το όνομα κάθε εισόδου και της εξόδου εφόσον πρώτα τα έχουμε επιλέξει.

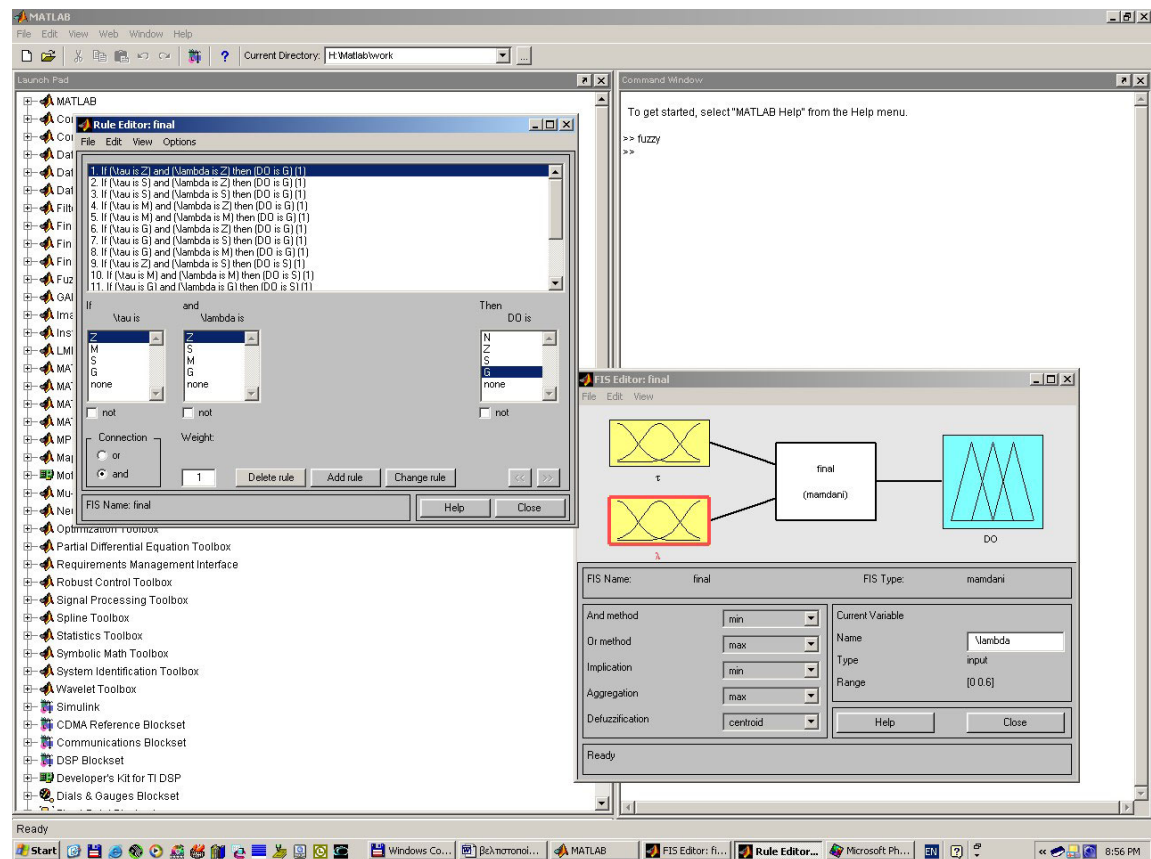


Πατώντας διπλό κλικ στην πρώτη είσοδο ανοίγουμε το membership functions editor και βάζουμε τις γραφικές παραστάσεις. Στην περίπτωση αυτή έχουμε τριγωνικές παραστάσεις γιατί αυτές ταιριάζουν με αριθμητικά δεδομένα της άσκησης.

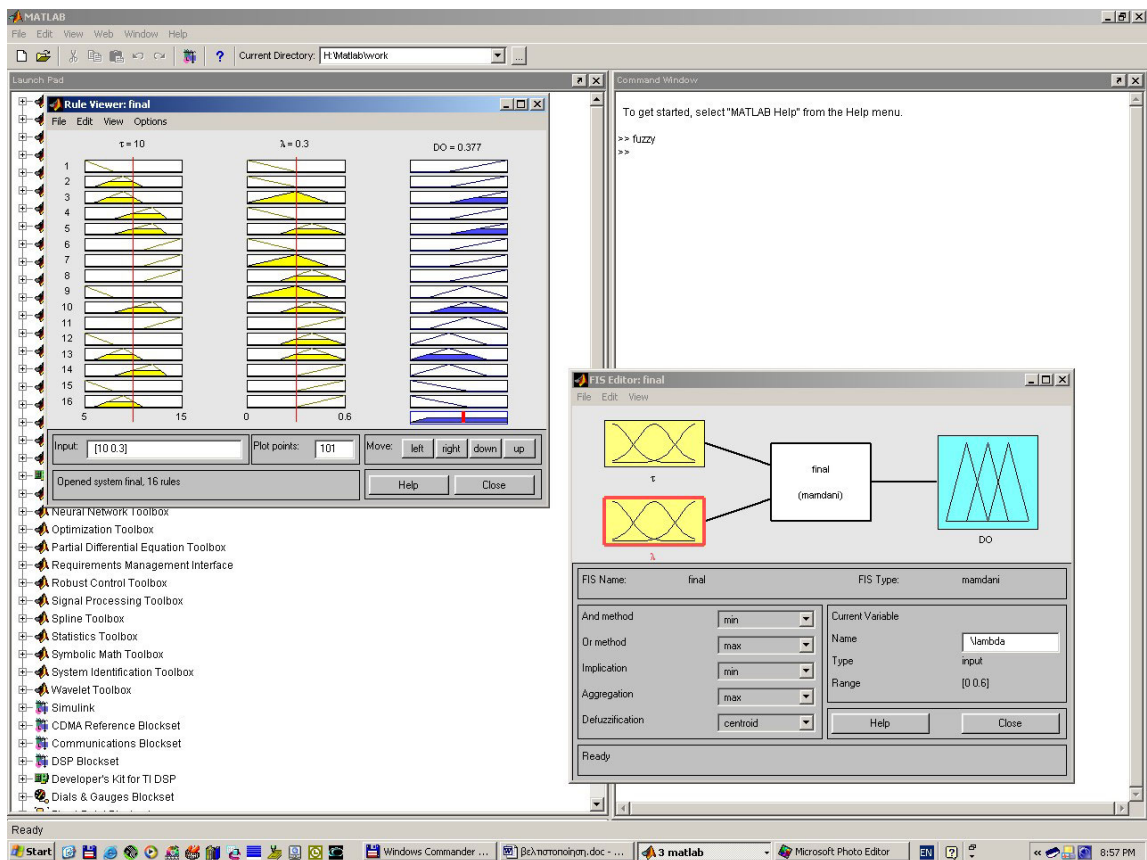
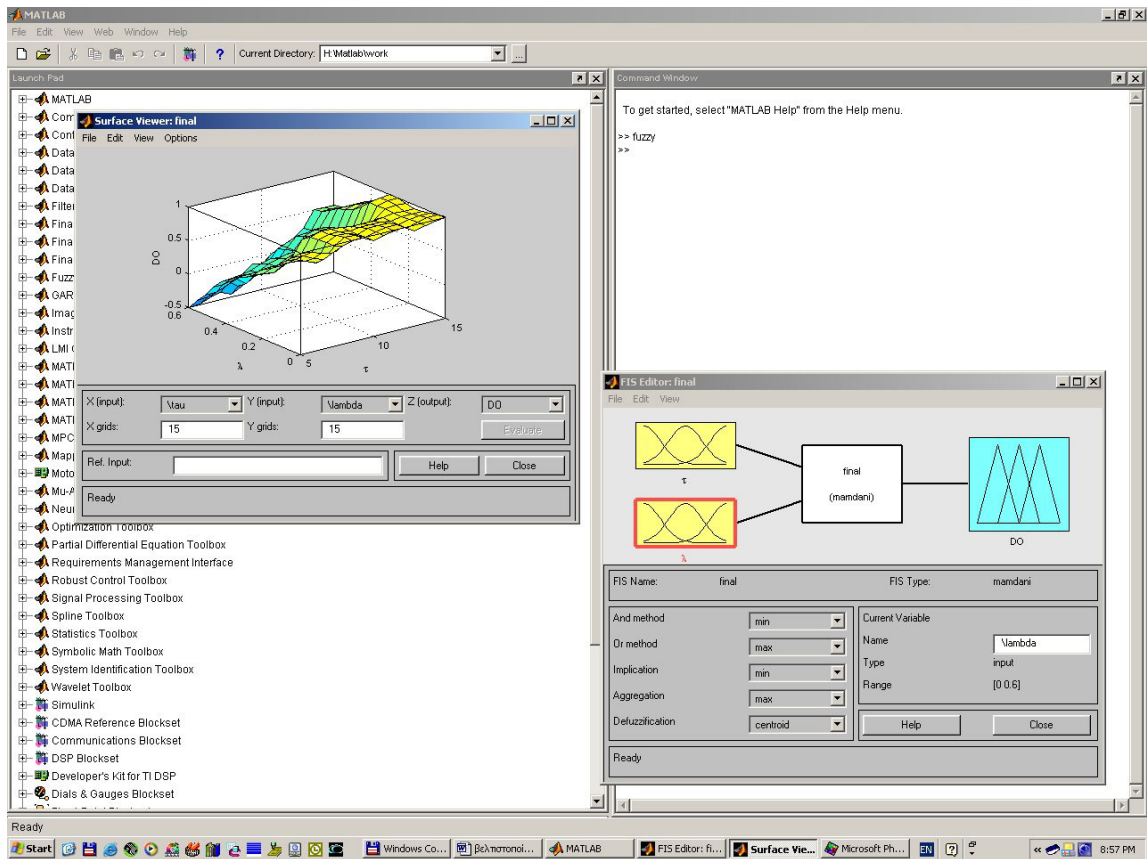
Βάζουμε τα όρια πηγαίνοντας στο range και τέλος βάζουμε τις παραμέτρους των γραφικών παραστάσεων. Επαναλαμβάνουμε το ίδιο για όλες τις εισόδους και την έξοδο.



Το επόμενο βήμα είναι να προσθέσουμε τις σχέσεις IF - THEN πηγαίνοντας στο rules editor.



Αφού βάλουμε όλες τις σχέσεις μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα είτε σε μορφή επιφάνειας πατώντας view surface είτε τα αριθμητικά αποτελέσματα πατώντας view rules.



Αρχείο final.fis για το Matlab

```
[System]
Name='final'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=16
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='      au'
Range=[5 15]
NumMFs=4
MF1='Z': 'trimf', [5 5 8]
MF2='M': 'trimf', [8 12 13.5]
MF3='S': 'trimf', [6 9 11]
MF4='G': 'trimf', [11 15 15]

[Input2]
Name='o'
Range=[0 0.6]
NumMFs=4
MF1='Z': 'trimf', [0 0 0.3]
MF2='S': 'trimf', [0 0.3 0.5]
MF3='M': 'trimf', [0.2 0.4 0.6]
MF4='G': 'trimf', [0.3 0.6 0.6]

[Output1]
Name='DO'
Range=[-1 1.5]
NumMFs=4
MF1='N': 'trimf', [-1 -1 0.5]
MF2='Z': 'trimf', [-1 0 1]
MF3='S': 'trimf', [-0.5 0.5 1.5]
MF4='G': 'trimf', [0 1.5 1.5]

[Rules]
1 1, 4 (1) : 1
3 1, 4 (1) : 1
3 2, 4 (1) : 1
2 1, 4 (1) : 1
2 3, 4 (1) : 1
4 1, 4 (1) : 1
4 2, 4 (1) : 1
4 3, 4 (1) : 1
1 2, 3 (1) : 1
2 3, 3 (1) : 1
4 4, 3 (1) : 1
1 3, 2 (1) : 1
3 3, 2 (1) : 1
2 4, 2 (1) : 1
1 4, 1 (1) : 1
3 4, 1 (1) : 1
```