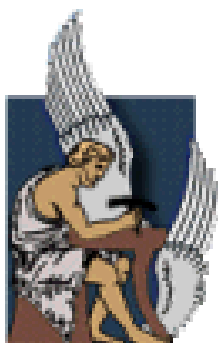


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΟΡΑΣΗΣ
ΓΙΑ ΕΝΑΕΡΙΑ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗ ΑΠΟ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ
ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ**

Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για
την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

υπό

ΚΟΝΤΙΤΣΗ ΜΙΧΑΗΛ

ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2003

© Copyright υπό Κοντίτση Μιχαήλ

Έτος 2003

Η διατριβή του Κοντίτση Μιχαήλ, εγκρίνεται

Καθ. Κίμων Βαλαβάνης

Αναπλ. Καθ. Βασίλειος Κουϊκόγλου

Επικ. Καθ. Νικόλαος Τσουρβελούδης

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	10
1.1 Κίνητρο	10
1.2 Διατύπωση του προβλήματος	11
1.3 Μεθοδολογία	11
1.4 Περίληψη αποτελεσμάτων	12
1.5 Δομή της εργασίας	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σύντομη βιβλιογραφική επισκόπηση.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ασαφής λογική	15
3.1 Εισαγωγή.....	15
3.2 Βασικοί όροι	15
3.3 Ασαφείς Αλγόριθμοι.....	17
3.4 Τελεστές ασαφούς λογικής	18
3.5 Πράξεις με ασαφή σύνολα	18
3.6 Γλωσσικές Μεταβλητές	19
3.7 Συνδετικά	19
3.8 Ασαφείς ελεγκτές	20
3.9 Σχεδιασμός ασαφούς αλγορίθμου.....	21
3.10 Ασαφοποίηση μεταβλητών εισόδου	22
3.11 Απο-ασαφοποίηση της εξόδου.....	24
3.12 Ασαφείς ελεγκτές βασισμένοι στο πρότυπο Takagi-Sugeno	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Περιγραφή συστήματος	28
4.1 Εισαγωγή.....	28
4.2 Περιγραφή της δομής του σήματος	30
4.3 Υποσύστημα μείωσης θορύβου	30
4.4 Υποσύστημα εξαγωγής χαρακτηριστικών	31
4.5 Ταξινόμηση Διανυσμάτων Χαρακτηριστικών.....	36
4.6 Υποσύστημα ενεργοποίησης συναγερμού	41
4.7 Εκτίμηση υπολογιστικού κόστους	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποτελέσματα εφαρμογής εντοπισμού πυρκαγιάς.....	45
5.1 Αλλαγές και ρυθμίσεις.....	45
5.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Σχεδίαση με τη βοήθεια γενετικού αλγόριθμου	52
6.1 Εισαγωγή.....	52
6.2 Βασικά στοιχεία γενετικού αλγορίθμου	52
6.3 Λειτουργία του γενετικού αλγορίθμου	53
6.4 Αποτελέσματα.....	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Παρατηρήσεις και Συμπεράσματα	60
7.1 Αξιολόγηση αλγόριθμου	60
7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις	61
Βιβλιογραφία	62

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθ. κ. Κίμωνα Βαλαβάνη και τον Επικ. Καθ. κ. Νικόλαο Τσουρβελούδη οι οποίοι μου έδωσαν την δυνατότητα να εργαστώ πάνω σε ένα τόσο πρωτοποριακό θέμα. Ως άμεσοι επιβλέποντες της εργασίας, παρείχαν κάθε δυνατή βοήθεια δίνοντας πάντα λύση στα όποια προβλήματα παρουσιάστηκαν.

Επίσης νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον Αναπλ. Καθ. κ. Βασίλειο Κουϊκόγλου για την γενικότερη υποστήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια της παρουσίας μου στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

Ειδικές ευχαριστίες στον Λέκτορα κ. Ιωάννη Νικολό για τις ιδέες και την συμβολή του στον εμπλουτισμό της εργασίας.

Τέλος θα πρέπει να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Ευάγγελο Θεοδώρου, Ελευθέριο Δοϊτσίδα, Πολυχρόνη Σπανουδάκη για την συνδρομή τους στην προσπάθειά μου.

Σύντομο βιογραφικό

Ο Κοντίσης Μιχαήλ του Φιλίππου και της Θεολογίας γεννήθηκε στην Κώ στις 7 Ιουνίου 1976. Αποφοίτησε από το 2ο Λύκειο Ρόδου το 1994 με γενικό βαθμό 19 και 3/10. Το ίδιο έτος εισήχθη στο Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης από όπου και αποφοίτησε το 2001 με βαθμό 7,36 (Λίαν καλώς). Κατόπιν έγινε δεκτός στο Μεταπτυχιακό πρόγραμμα του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εναέρια επιτήρηση έχει αποδειχθεί μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος σε μια πληθώρα εφαρμογών όπως η προσπάθεια καταγραφής και διαφύλαξης του φυσικού πλούτου, η επιτήρηση συνόρων και οι επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Μέχρι τώρα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η επιτήρηση βασίζεται σε επανδρωμένα αεροσκάφη στα οποία το πλήρωμα είναι επιφορτισμένο με το έργο της αναγνώρισης των εκάστοτε στόχων είτε με απλή επισκόπηση, είτε με χρήση ειδικών αισθητήρων υπερύθρων. Ακόμα και στις εφαρμογές εκείνες στις οποίες χρησιμοποιούνται μη επανδρωμένα αεροσκάφη, αυτά χρησιμοποιούνται ως φορείς αισθητήρων τα σήματα των οποίων μεταδίδονται σε κάποιο κέντρο, όπου η αξιολόγηση ανατίθεται πάλι στο προσωπικό. Σκοπός της εργασίας είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας αναπτύσσοντας ένα σύστημα μηχανικής όρασης ικανό να επεξεργάζεται τα δεδομένα από κάμερα υπερύθρων και να εντοπίζει θερμικές εστίες, οι οποίες, με τη σειρά τους, αντιστοιχούν στον στόχο της κάθε εφαρμογής.

Η ανάπτυξη του εν λόγω συστήματος περιλαμβάνει την υλοποίηση των ακόλουθων συστατικών στοιχείων :

- Επεξεργασία εικόνας από αισθητήρα υπέρυθρων (IR camera)
- Εξαγωγή διανυσμάτων χαρακτηριστικών (feature vector) από την εικόνα
- Ταξινόμηση (classification) των διανυσμάτων χαρακτηριστικών (feature vector) και λήψη απόφασης

Το υποσύστημα επεξεργασίας εικόνας αναλαμβάνει να απομακρύνει τον θόρυβο και να φέρει την λαμβανόμενη εικόνα σε μορφή κατάλληλη για το επόμενο στάδιο της εξαγωγής των χαρακτηριστικών. Ως τέτοια θεωρούνται η ένταση, το εμβαδόν, το

σχήμα των περιοχών που σχηματίζονται στην εικόνα. Τα διανύσματα χαρακτηριστικών που προκύπτουν, αξιολογούνται και ταξινομούνται αναλόγως από τον ταξινομητή. Το μέρος αυτό του συστήματος είναι υπεύθυνο για την τελική λήψη απόφασης ενεργοποίησης του συναγερμού εντοπισμού στόχου. Η ανάπτυξή του βασίζεται στην θεωρία ασαφούς λογικής.

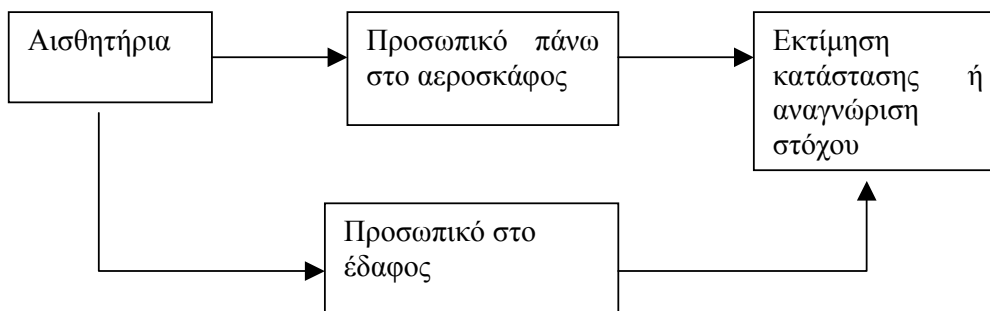
Τέλος περιλαμβάνεται μια διαδικασία αυτοματοποίησης της σχεδίασης με χρήση γενετικού αλγόριθμου και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του στην εναέρια επιτήρηση με σκοπό τον εντοπισμό πυρκαγιών.

Αφιερωμένη στην μνήμη της μητέρας μου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο

Η εναέρια επιτήρηση έχει αποδειχθεί μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος σε πληθώρα εφαρμογών όπως η προσπάθεια καταγραφής [1][2] και διαφύλαξης του φυσικού πλούτου, η επιτήρηση συνόρων και οι επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης. Μέχρι τώρα, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η επιτήρηση βασίζεται σε επανδρωμένα αεροσκάφη στα οποία το πλήρωμα είναι επιφορτισμένο με το έργο της οπτικής αναγνώρισης των εκάστοτε στόχων είτε με απλή επισκόπηση, είτε με χρήση ειδικών αισθητήρων υπερύθρων. Ακόμα και στις εφαρμογές εκείνες στις οποίες χρησιμοποιούνται μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), ο ρόλος τους περιορίζεται σε αυτόν του φορέα αισθητήρων τα σήματα των οποίων μεταδίδονται σε κάποιο κέντρο[3], όπου η αξιολόγηση ανατίθεται πάλι στο προσωπικό όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1. Σκοπός της εργασίας είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας αναπτύσσοντας ένα σύστημα μηχανικής όρασης ικανό να επεξεργάζεται τα δεδομένα από αισθητήρες και συγκεκριμένα από κάμερα υπερύθρων. Το σύστημα αυτό θα δώσει την δυνατότητα σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη να εκτελούν αποστολές επιτήρησης χωρίς την άμεση εποπτεία ανθρώπων.



Σχήμα 1.1 : Διαδικασία εναέριας επιτήρησης με επανδρωμένα αεροσκάφη

1.2 Διατύπωση του προβλήματος

Το πρόβλημα της εναέριας επιτήρησης ανάγεται στην λήψη, επεξεργασία και τελική αξιολόγηση μια σειράς εικόνων. Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχωρίζει κάθε λαμβανόμενη εικόνα σε διαφορετικές περιοχές και να ενημερώνει για την παρουσία ή μη ενός προδιαγεγραμμένου στόχου (θερμικό στίγμα οφειλόμενο πχ σε παρουσία έμβιου όντος ή εστίας πυρκαγιάς). Από την παραπάνω απαίτηση προκύπτει μια σειρά από ζητήματα που θα πρέπει να αντιμετωπίσει ο σχεδιαστής ενός τέτοιου συστήματος με κυριότερα την επιλογή ή την ανάπτυξη μεθόδων:

- A) Τμηματοποίησης (segmentation) της εικόνας
- B) Περιγραφής αναζητούμενου αντικειμένου-στόχου
- Γ) Λήψης απόφασης

1.3 Μεθοδολογία

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της τμηματοποίησης της εικόνας σε περιοχές χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος εξάπλωσης περιοχής (region growing) [4][5]. Με την χρήση αυτού του αλγόριθμου εξάγονται από την εικόνα οι περιοχές που θα αξιολογηθούν αργότερα για να διαπιστωθεί αν ταιριάζουν στην περιγραφή του αντικειμένου. Μαζί με τις περιοχές εξάγονται και κάποια χαρακτηριστικά τους όπως το μέγεθος και η μέση ένταση. Τα δεδομένα αυτά δημιουργούν διάνυσματα χαρακτηριστικών που αξιολογούνται με την βοήθεια ενός ασαφούς ταξινομητή (fuzzy classifier). Ο τελευταίος δέχεται σαν είσοδο το διάνυσμα χαρακτηριστικών κάθε περιοχής και αποδίδει σε αυτή μια τιμή ενδεχόμενης παρουσίας του αντικειμένου. Ο λόγος πίσω από την επιλογή της ασαφούς λογικής ως βάσης για την ανάπτυξη του ταξινομητή είναι η αμεσότητα με την οποία είναι δυνατό να ενσωματωθεί στο σύστημα η ανθρώπινη ή άλλη εμπειρία [6].

Τέλος, σε μια προσπάθεια αυτοματοποίησης της σχεδίασης του ταξινομητή, χρησιμοποιήθηκαν γενετικοί αλγόριθμοι για την επιλογή ορισμένων παραμέτρων της λειτουργίας του.

1.4 Περίληψη αποτελεσμάτων

Το σύστημα αφού αναπτύχθηκε και εξειδικεύτηκε στον εντοπισμό πυρκαγιών, αξιολογήθηκε ως προς την απόδοση του για μια σειρά εικόνων που ελήφθησαν τόσο από περιοχές όπου υπήρχε όσο και από περιοχές που απουσίαζε θερμική εστία. Έτσι πέρα από τον έλεγχο για τη δυνατότητα του συστήματος να εντοπίζει το αντικείμενο όταν αυτό υπάρχει, εξετάστηκε και η συμπεριφορά του συστήματος όταν ο στόχος του απουσιάζει.

Γενικά η συμπεριφορά του ήταν ικανοποιητική, με υψηλά ποσοστά εντοπισμού των θερμικών εστιών (~90%) και με σχετικά λίγες περιπτώσεις ψευτοσυναγερμών (false alarms). Ενδιαφέροντα επίσης αποτελέσματα έδωσε η δοκιμή του συστήματος που προέκυψε από τον γενετικό αλγόριθμο. Η απόδοσή του φαίνεται να κυμαίνεται στα ίδια περίπου πλαίσια με αυτήν του προηγούμενου συστήματος.

1.5 Δομή της εργασίας

Η εργασία είναι δομημένη με τον εξής τρόπο:

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια βιβλιογραφική επισκόπηση. Ακολουθεί το Κεφάλαιο 3 όπου υπάρχει μια μικρή αναφορά στην ασαφή λογική που αποτελεί την θεωρητική βάση για την ανάπτυξη του συστήματος. Το τέταρτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην περιγραφή του όλου συστήματος μηχανικής όρασης, ενώ στο πέμπτο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγόριθμου σε μια σειρά από εικόνες με σκοπό τον εντοπισμό εστίας πυρκαγιάς. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους

γενετικούς αλγόριθμους και στην προσπάθεια που έγινε για την επιλογή ορισμένων σχεδιαστικών παραμέτρων του συστήματος με την βοήθειά τους. Ακολουθούν, στο έβδομο κεφάλαιο, οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που προέκυψαν. Τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφία πάνω στην οποία στηρίχτηκε η εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Σύντομη βιβλιογραφική επισκόπηση

Το πεδίο της τμηματοποίησης εικόνας και εντοπισμού αντικειμένων σε αυτές είναι τόσο ευρύ ώστε μια πλήρης βιβλιογραφική επισκόπηση του να αποτελεί από μόνη της μια ξεχωριστή εργασία. Για τον λόγο αυτό θα περιοριστεί η παρούσα αναφορά μόνο στις μεθόδους εκείνες που έτυχαν εφαρμογής σε συστήματα ενσωματωμένα σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV).

Μία από τις κατηγορίες προβλημάτων που έχουν αντιμετωπιστεί από διάφορους ερευνητές είναι αυτή της εκτίμησης κατάστασης [7]. Στις εργασίες που ασχολούνται με αυτή την κατηγορία προβλημάτων παρουσιάζονται τεχνικές αναπαράστασης της πληροφορίας και εξαγωγής συμπερασμάτων. Με την χρήση κανόνων της μορφής IF...Then... επιχειρείται αξιολόγηση της παρατηρούμενης κατάστασης. Στις πρακτικές εφαρμογές αυτών των μεθόδων περιλαμβάνονται η εκτίμηση κατάστασης της κυκλοφορίας σε οδικά δίκτυα και η εκτίμηση λειτουργίας ή φθοράς γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [8].

Τέλος μια κατηγορία προβλημάτων αφορά στον εντοπισμό συγκεκριμένων αντικειμένων από την λαμβανόμενη εικόνα όπως αυτοκίνητα, κτήρια, δρόμοι και άλλες κατασκευές [9]. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των υπό αναζήτηση αντικειμένων (πχ ακμές, γωνίες κλπ) με σκοπό να ταυτοποιηθούν αυτές με κάποιο δεδομένο πρότυπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ασαφής λογική

3.1 Εισαγωγή

Ο θεωρητικός φορέας για την υλοποίηση μιας μεγάλης κατηγορίας ευφυών συστημάτων είναι η θεωρία ασαφών συνόλων, που εισήχθη από τον Lotfi A. Zadeh του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Berkeley των ΗΠΑ στα μέσα της δεκαετίας του '60. Η θεωρία της ασαφούς λογικής βασίζεται στην προϋπόθεση ότι ο περιβάλλον χώρος απαρτίζεται από στοιχεία που ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής [10].

3.2 Βασικοί όροι

Στην κλασική θεωρία συνόλων, ένα σύνολο αποτελείται από ένα πεπερασμένο ή άπειρο αριθμό στοιχείων. Τα στοιχεία όλων των συνόλων υπό μελέτη ανήκουν σε ένα σταθερό *υπερσύνολο αναφοράς* (universe of discourse). Τα στοιχεία ενός υπερσυνόλου αναφοράς που περιέχει το σύνολο υπό μελέτη ανήκουν ή όχι στο υπό μελέτη σύνολο A .

Αυτό μπορεί να εκφραστεί με τη χαρακτηριστική συνάρτηση του Boole (crisp ή Boolean characteristic function) $f_A(x)$ του σαφούς συνόλου A :

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 & \alpha\nu \quad x \in A \\ 0 & \alpha\nu \quad x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

Η ασάφεια μπορεί να εισαχθεί στη θεωρία των συνόλων αν γενικευτεί η χαρακτηριστική συνάρτηση ώστε να λαμβάνει άπειρο αριθμό τιμών στο κλειστό διάστημα $[0,1]$.

Εάν X είναι το *υπερσύνολο αναφοράς* με επί μέρους στοιχεία x , τότε $X=\{x\}$. Ένα *ασαφές σύνολο* (fuzzy set) A του υπερσυνόλου αναφοράς X μπορεί να εκφραστεί συμβολικά ως ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών (ordered pairs),

$$A = \int \{\mu_A(x)/x\} \quad \text{ή} \quad \sum \{\mu_A(x)/x\} \quad \text{για} \quad x \in X \quad (3.2)$$

για τη συνεχή και τη διακριτή περίπτωση, αντιστοίχως¹. Η $\mu_A(x)$ καλείται *συνάρτηση συμμετοχής* (membership function) του x στο σύνολο A και είναι μια απεικόνιση από το υπερσύνολο αναφοράς X στο κλειστό διάστημα $[0,1]$. Η συνάρτηση συμμετοχής υποδεικνύει το βαθμό κατά τον οποίο το σύνολο x ανήκει στο σύνολο A , δηλαδή

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (3.3)$$

Το *σύνολο στήριξης* (support set) ενός ασαφούς συνόλου A είναι το σύνολο των στοιχείων του υπερσυνόλου αναφοράς X για το οποίο $\mu_A(x) > 0$. Ένα ασαφές σύνολο μπορεί να θεωρηθεί ως μια απεικόνιση του συνόλου στήριξης στο κλειστό διάστημα $[0,1]$.

Οι τιμές μιας *ασαφούς μεταβλητής* (fuzzy variable) μπορεί να θεωρηθούν ετικέτες (labels) ασαφών συνόλων. Γενικότερα, οι τιμές μιας ασαφούς μεταβλητής μπορεί να είναι προτάσεις σε κάποια προδιαγραμμένη γλώσσα με συνδυασμό ασαφών μεταβλητών, γλωσσικών περιγραμμάτων (linguistic descriptors) και *υπεκφυγών* (hedges). Η εξάρτηση μιας γλωσσικής μεταβλητής από μια άλλη (ανεξάρτητη) περιγράφεται από μια *ασαφή εξαρτημένη δήλωση* (fuzzy conditional statement) που έχει την μορφή:

$$R : \text{EAN } \Delta_1 \text{ TOTE } \Delta_2$$

ή συμβολικά

$$\Delta_1 \rightarrow \Delta_2$$

όπου Δ_1 και Δ_2 είναι *ασαφείς* δηλώσεις της μορφής

$$\Delta : x \text{ είναι } A$$

και A είναι ένα ασαφές υποσύνολο του υπερσυνόλου αναφοράς X .

Δυο ή περισσότερες ασαφείς εξαρτημένες δηλώσεις μπορούν να συνδυαστούν (η μια ενσωματώνεται στην άλλη) ώστε να σχηματίσουν μια ένθετη ασαφή εξαρτημένη δήλωση της μορφής:

¹ Τα σύμβολα \int και \sum εκφράζουν το “σύνολο” και δεν έχουν καμιά σχέση με το κλασικό άθροισμα ή ολοκλήρωμα.

$R : \text{ΕΑΝ } \Delta_1 \text{ ΤΟΤΕ } (\text{ΕΑΝ } \Delta_2 \text{ ΤΟΤΕ } \Delta_3).$

Είναι προφανές ότι αυτή η δήλωση μπορεί να εκφραστεί επίσης ως δύο συνδεδεμένες εξαρτημένες δηλώσεις:

$R^1 : \text{ΕΑΝ } \Delta_1 \text{ ΤΟΤΕ } R^2$

και

$R^2 : \text{ΕΑΝ } \Delta_2 \text{ ΤΟΤΕ } \Delta_3$

3.3 Ασαφείς Αλγόριθμοι

Δύο ή παραπάνω εξαρτημένες δηλώσεις μπορούν να συνδυαστούν με το συνδετικό ΕΙΤΕ ώστε να σχηματίσουν ένα *ασαφή* αλγόριθμο R'' της μορφής :

$R'' : R^1 \text{ ΕΙΤΕ } R^2 \text{ ΕΙΤΕ...ΕΙΤΕ } R''$

Για παράδειγμα ένα υποσύνολο των κανόνων για τον έλεγχο μιας ατμομηχανής είναι:

ΕΑΝ ΣΤΑ είναι ΑΜΕ ΤΟΤΕ (ΕΑΝ ΜΣΤ είναι ΟΧΙ (ΑΜΕ Ή ΑΜΣ) ΤΟΤΕ ΜΠΚ είναι ΘΜΕ)

ΕΙΤΕ

ΕΑΝ ΣΤΑ είναι ΑΜΣ ΤΟΤΕ (ΕΑΝ ΜΣΤ είναι (ΘΜΕ Ή ΘΜΙ) ΤΟΤΕ ΜΠΚ είναι ΘΜΙ)

ΕΙΤΕ

ΕΑΝ ΣΤΑ είναι ΑΜΙ ΤΟΤΕ (ΕΑΝ ΜΣΤ είναι ΘΜΣ ΤΟΤΕ ΜΠΚ είναι ΘΜΙ)

όπου

ΣΤΑ = Σφάλμα Ταχύτητας

ΜΣΤ = Μεταβολή Σφάλματος ταχύτητας

ΜΠΚ = Μεταβολή στην Παροχή Καυσίμου

και

ΑΜΕ, ΑΜΣ, ΑΜΙ = Αρνητικά Μεγάλο, Μέσο, Μικρό

ΘΜΕ, ΘΜΣ, ΘΜΙ = Θετικά Μεγάλο, Μέσο, Μικρό

3.4 Τελεστές ασαφούς λογικής

Οι τελεστές (operators) \min (για *minimum* ή ελάχιστος) και \max (για *maximum* ή μέγιστος) μπορεί να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τα συμφραζόμενα. Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν σε ανεξάρτητα στοιχεία καθώς και σε σύνολα και πίνακες για κάθε στοιχείο τους ξεχωριστά.

Οι πράξεις \min και \max δύο στοιχείων ορίζονται ως:

$$\alpha \wedge \beta = \min(\alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha & \text{εάν } \alpha \leq \beta \\ \beta & \text{εάν } \alpha > \beta \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\alpha \vee \beta = \max(\alpha, \beta) = \begin{cases} \alpha & \text{εάν } \alpha \geq \beta \\ \beta & \text{εάν } \alpha < \beta \end{cases} \quad (3.4)$$

3.5 Πράξεις με ασαφή σύνολα

Ένα ασαφές σύνολο A του X θεωρείται *κενό* εάν η συνάρτηση συμμετοχής του είναι μηδενική παντού, δηλαδή

$$A = 0 \text{ εάν } \mu_A(x) = 0 \quad \forall x \in X \quad (3.5)$$

Το *συμπλήρωμα* (complement) \bar{A} ενός ασαφούς συνόλου ορίζεται ως:

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X \quad (3.6)$$

Δύο ασαφή σύνολα θεωρούνται *ισότιμα* όταν οι συναρτήσεις συμμετοχής τους είναι ίσες παντού, δηλαδή

$$A = B \text{ εάν } \mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (3.7)$$

Ένα ασαφές σύνολο B είναι *υποσύνολο* ενός συνόλου A εάν η συνάρτηση συμμετοχής του B είναι μικρότερη ή ίση με αυτή του A παντού στο X , δηλαδή

$$B \subset A \text{ εάν } \mu_B(x) \leq \mu_A(x) \quad \forall x \in X \quad (3.8)$$

Η *ένωση* δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (3.9)$$

Η τομή δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (3.10)$$

Το γινόμενο δύο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως:

$$\mu_{A \bullet B}(x) = \mu_A(x) \bullet \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (3.11)$$

3.6 Γλωσσικές Μεταβλητές

Μια γλωσσική μεταβλητή παίρνει τιμές που είναι οι *προτάσεις* μιας φυσικής ή τεχνητής γλώσσας. Γενικά η τιμή μιας γλωσσικής μεταβλητής είναι ένας σύνθετος όρος αποτελούμενος από ατομικούς όρους. Οι όροι αυτοί έχουν τις εξής υποκατηγορίες:

- *Πρωτεύοντες όροι* (primary terms) που είναι *ετικέτες* ασαφών συνόλων του υπερσυνόλου αναφοράς.
- Την *άρνηση* (negation) ΟΧΙ (NOT) και τα *συνδετικά* (connectives) ΚΑΙ (AND) και Ή (OR).
- *Δείκτες* (markers) όπως οι παρενθέσεις

Οι πρωτεύοντες όροι μπορούν να έχουν συνεχείς ή διακριτές συναρτήσεις συμμετοχής. Οι συνεχείς συναρτήσεις ορίζονται με αναλυτικές συναρτήσεις.

3.7 Συνδετικά

Η άρνηση ΟΧΙ και τα συνδετικά ΚΑΙ και Ή μπορούν να οριστούν μέσω των πράξεων του συμπληρώματος, τομής και ένωσης αντίστοιχα. Συνήθως το συνδετικό ΚΑΙ χρησιμοποιείται με μεταβλητές που έχουν διαφορετικά υπερσύνολα αναφοράς. Εάν

$$A = \{\mu_A(x) / x\} \text{ για } x \in X \quad (3.12)$$

$$B = \{\mu_B(y) / y\} \text{ για } y \in Y \quad (3.13)$$

τότε

$$\begin{aligned} A \text{ ΚΑΙ } B &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) / (x, y) \text{ για } x \in X, y \in Y \\ &= \mu_{A \cap B}(x, y) / (x, y) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Το συνδετικό Ή συνδέει γλωσσικές τιμές της ίδιας μεταβλητής. Οι δύο μεταβλητές αναφοράς πρέπει να ανήκουν στο ίδιο υπερσύνολο αναφοράς. Εάν

$$A = \{\mu_A(x) / x\} \text{ για } x \in X$$

$$B = \{\mu_B(x) / x\} \text{ για } x \in X$$

τότε

$$\begin{aligned} A \text{ Ή } B &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) / x & (3.15) \\ &= \mu_{A \cup B}(x) / x & \text{για } x \in X \end{aligned}$$

Το συνδετικό Ή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με μεταβλητές σε διαφορετικά υπερσύνολα αναφοράς εάν οι μεταβλητές βρίσκονται στο μέρος της συνθήκης σε μια σχέση της μορφής 'ΕΑΝ...ΤΟΤΕ' (όμοια με τη γνωστή εντολή IF...THEN του συμβατικού προγραμματισμού σε υψηλή γλώσσα).

Η πράξη ΟΧΙ είναι συνώνυμη με την άρνηση στη φυσική γλώσσα. Έτσι εάν,

$$A = \{\mu_A(x) / x\} \text{ για } x \in X$$

$$ΟΧΙ \ A = \bar{A} = \{1 - \mu_A(x) / x\} \quad (3.16)$$

Γλωσσικά περιγράμματα χρησιμεύουν στη δημιουργία ενός ευρύτερου συνόλου γλωσσικών τιμών μιας γλωσσικής μεταβλητής από μια μικρότερη συλλογή πρωτευόντων όρων. Χρησιμοποιώντας το περίγραμμα πολύ σε συνδυασμό με τα συνδετικά ΟΧΙ, ΚΑΙ και τον πρωτεύοντα όρο μεγάλο, μπορούμε να δημιουργήσουμε τα επιπλέον ασαφή σύνολα πολύ μεγάλο, πάρα πολύ μεγάλο, ΟΧΙ πολύ μεγάλο κ.λ.π. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τη συνάρτηση συμμετοχής σύνθετων όρων, όπως π.χ

$$A = \text{ΟΧΙ μικρό ΚΑΙ ΟΧΙ μεγάλο}$$

Η συνάρτηση συμμετοχής της οποίας είναι

$$\mu_A(x) = [1 - \mu_{\text{ΜΙΚΡΟ}}(x)] \wedge [1 - \mu_{\text{ΜΕΓΑΛΟ}}(x)]. \quad (3.18)$$

3.8 Ασαφείς ελεγκτές

Τα απαραίτητα δομικά συστατικά στοιχεία ενός ασαφούς ελεγκτή είναι τα εξής:

- Η βάση δεδομένων πραγματικού χρόνου όπου μετά από εξομάλυνση καταχωρούνται οι τιμές των μεταβλητών που συλλέγονται από τη φυσική

διαδικασία από τις διάφορες τοπικές μονάδες ελέγχου (TME) καθώς και οι εξοδοί του ελεγκτή (δηλαδή οι δράσεις ελέγχου) που κατά τακτά χρονικά διαστήματα μεταφέρονται και πάλι στις TME. Η βάση δεδομένων πραγματικού χρόνου συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί σαν ο συνδετικός κρίκος μεταξύ της φυσικής διαδικασίας και του ελεγκτή.

- *Η βάση γνώσης* στην οποία είναι καταχωρημένη η κωδικοποιημένη γνώση (δηλαδή οι κανόνες ελέγχου) για τον έλεγχο της διαδικασίας.
- *Τα ασαφή σύνολα* που είναι καταχωρημένα είτε σε αναλυτική ή διακριτή μορφή σε ειδικό αρχείο. Ο μηχανισμός συμπερασμού χρησιμοποιεί τα σύνολα αυτά για να αποδώσει τις πράξεις ελέγχου στη διαδικασία.
- *Τον ασαφοποιητή* όπου οι φυσικές μεταβλητές της διαδικασίας μετατρέπονται στη γλώσσα των ασαφών συνόλων.
- *Το μηχανισμό συμπερασμού ή μηχανισμό συμπερασμάτων* όπου οι αποφάσεις ελέγχου βάσει των διαθέσιμων κανόνων σε μορφή ασαφών συνόλων.
- *Τον από-ασαφοποιητή* όπου τα ασαφή σύνολα των εξόδων του ελεγκτή μετατρέπονται σε σαφείς δράσεις ελέγχου προς μετάδοση στους ενεργοποιητές της διαδικασίας μέσω των TME.

Ο αλγόριθμος ενός ασαφούς ελεγκτή μπορεί να εκτελείται σε τακτά χρονικά διαστήματα (ο “χρόνος δειγματοληψίας”) που είναι προκαθορισμένα βάσει στοιχείων που έχουν σχέση με τη δυναμική συμπεριφορά της διαδικασίας υπό έλεγχο. Μια κοινή τακτική είναι να τίθεται ο χρόνος δειγματοληψίας ίσος ή μεγαλύτερος του χρόνου σταθεροποίησης μετά από κάποια σταθερή διέγερση της διαδικασίας. Εναλλακτικά ο ασαφής ελεγκτής μπορεί να εκτελείται με εντολές διακοπών σε χρονικές στιγμές που καθορίζονται από έναν *εκτελεστή* του πληροφοριακού συστήματος. Βάσει κάποιου κριτηρίου που σχετίζεται με τον ρυθμό εξέλιξης των σφαλμάτων του κλειστού συστήματος, ο εκτελεστής αποφασίζει πότε θα εκτελεστεί ο ελεγκτής. Με τον τρόπο αυτό ο ελεγκτής εκτελείται μόνο όταν απαιτείται.

3.9 Σχεδιασμός ασαφούς αλγορίθμου

Οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού ενός ασαφούς ελεγκτή είναι:

- *Οι στρατηγικές ασαφοποίησης:*
(α) Προσδιορισμός του τελεστή ασαφοποίησης.

- Η βάση δεδομένων πραγματικού χρόνου:
 - (α) Διακριτοποίηση/κανονικοποίηση των υπερσυνόλων αναφοράς.
 - (β) Η διάσπαση των ασαφών χώρων εισόδων και εξόδων.
 - (γ) Επιλογή των ασαφών συνόλων.
- Η βάση γνώσης:
 - (α) Η επιλογή των σημμάτων/καταστάσεων που αποτελούν τα αίτια.
 - (β) Επιλογή των μεταβλητών ελέγχου.
 - (γ) Εύρεση των κανόνων ελέγχου.
 - (δ) Λογισμικό και πληρότητα των ασαφών κανόνων.
- Η λογική του μηχανισμού συμπεράσματος:
 - (α) Ορισμός της ασαφούς συνεπαγωγής.
 - (β) Ορισμός της συνδετικής σχέσης ‘ΚΑΙ’.
 - (γ) Ορισμός του όρου ‘ΕΙΤΕ’.
 - (δ) Ορισμός του τελεστή σύνθεσης.
 - (ε) Λογισμικό του μηχανισμού συμπερασμού.
- Η από-ασαφοποίηση:
 - (α) Τεχνικές από-ασαφοποίησης.
 - (β) Υπολογισμός της σαφούς τιμής της εξόδου του ελεγκτή σε φυσικές τιμές.

3.10 Ασαφοποίηση μεταβλητών εισόδου

Στην πράξη τα δεδομένα μιας διαδικασίας είναι σαφείς (crisp) και συνεπώς απαιτείται ασαφοποίηση των τιμών των μετρήσεων στα πρώτα στάδια της διαδικασίας συνεπαγωγής. Οι γλωσσικοί κανόνες που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο μιας διαδικασίας έχουν την μορφή πολλαπλών αιτιών και ενός συμπεράσματος. Σε περίπτωση πολλαπλών εξόδων ο ασαφής γλωσσικός ελεγκτής αποσυνθέτεται σε ένα σύνολο ελεγκτών πολλαπλών εισόδων και μιας εξόδου (AE1, AE2...) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Παρακάτω περιγράφεται ο ασαφής αλγόριθμος αλλά για να απλουστευτούν οι μαθηματικές πράξεις θα υποθεθεί ότι ο ελεγκτής έχει τρεις μόνο εισόδους και μια έξοδο. Είναι προφανές ότι η ανάλυση εύκολα επεκτείνεται για περισσότερες εισόδους.

Έστω ότι οι τρεις είσοδοι και η μοναδική έξοδος του ελεγκτή χαρακτηρίζονται από τις μεταβλητές x_1, x_2, x_3 και y αντίστοιχα. Εάν οι κανόνες έχουν τη συνήθη μορφή:

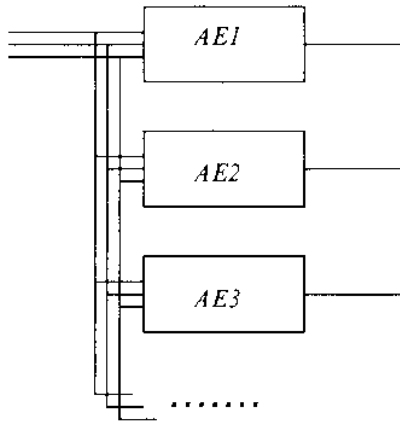
EAN (A_1 KAI A_2 KAI A_3) TOTE B

Η ασαφής εξαρτημένη σχέση καθορίζεται από:

$$\mu_R(x_1, x_2, x_3) = \phi(\mu_A^1(x_1) \wedge \mu_A^2(x_2) \wedge \mu_A^3(x_N), \mu_B(y)) \quad (3.19)$$

$$= \phi(\wedge (\mu_A^j(x_k) \mu_B(y)) \text{ για } j = 1, 2, 3 \quad (3.20)$$

όπου $\phi(.)$ είναι η σχέση γινομένου και είναι *max-min* ή *max-product*.



Σχήμα 3.1 Αποσύνθεση ασαφούς ελεγκτή πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων σε ένα σύνολο ασαφών ελεγκτών πολλαπλών εισόδων-μιας εξόδου.

Η διατύπωση,

$$\sigma^j(k) = \mu_A^1(x_1) \wedge \mu_A^2(x_2) \dots \wedge \mu_A^N(x_N) \text{ όπου } \sigma^j(k) \in [0,1] \quad (3.21)$$

είναι ο βαθμός εκπλήρωσης (degree of fulfillment) του j -οστού κανόνα και υπολογίζεται σε κάθε χρονική στιγμή. Ο βαθμός εκπλήρωσης ουσιαστικά περιγράφει κατά πόσο οι εισόδους του ελεγκτή ταιριάζουν τα αίτια του κάθε κανόνα και έχει την έννοια *βάρους* που αποδίδεται σε κάθε κανόνα. Στην πράξη, ένας πολύ μικρός αριθμός κανόνων έχει μη-μηδενικά βάρη.

Χρησιμοποιώντας τον κανόνα συνθετικού συμπεράσματος, ο ασαφής αλγόριθμος συμπεραίνει την κατάλληλη τιμή της εξόδου του ελεγκτή y από τις *τρέχουσες τιμές* των αντιστοίχων εισόδων x_1, x_2, x_3 . Εάν στη χρονική στιγμή k οι τιμές των εισόδων είναι $x_1(k), x_2(k), x_3(k)$ η τιμή της εξόδου με *max-min* σύνθεση είναι:

$$Y(k) = X_1(k) \wedge X_2(k) \wedge X_3(k) \circ R^N \quad (3.22)$$

Η παραπάνω διαδικασία απλοποιείται σημαντικά εάν θεωρηθεί ότι τα ασαφή σύνολα των μεταβλητών εισόδου είναι *μονοσύνολα*, δηλαδή:

$$\mu_{x_i(k)} = 1 \text{ εάν } x_i = x_i(k)$$

=0 αλλιώς

οπότε :

$$\begin{aligned} \mu_Y(y) &= \vee_{x_1} \vee_{x_2} \vee_{x_3} [1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge \mu_{R^N}(x_1, x_2, x_3, y)] \\ &= \mu_{R^N}(x_1, x_2, x_3, y) \end{aligned} \quad (3.23)$$

3.11 Απο-ασαφοποίηση της εξόδου

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές απο-ασαφοποίησης, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει θεωρητική βάση για καμιά από αυτές. Για τον έλεγχο διαδικασιών το βασικό κριτήριο επιλογής μιας κατάλληλης τεχνικής είναι η υπολογιστική απλότητα και η συμβατότητα με την εφαρμογή.

Σύμφωνα με το κριτήριο της υπολογιστικής απλότητας έχουν προταθεί οι ακόλουθες υποψήφιες τεχνικές:

1) *Απο-ασαφοποίηση μεγίστου* (Maximum defuzzifier): Στην τεχνική αυτή εξετάζεται η σύνθετη συνάρτηση συμμετοχής του συμπεράσματος, δηλαδή της εξόδου του ελεγκτή, και επιλέγεται ως έξοδος η τιμή της μεταβλητής y όπου $\mu_Y(y)$ είναι μέγιστο. Συνεπώς

$$\hat{y}_{MAX} = \max \mu_Y(y). \quad (3.24)$$

Η μέθοδος δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ειδικά όταν υπάρχουν πολλαπλά μέγιστα.

2) *Από-ασαφοποίηση με μέσο όρο μεγίστων* (Mean of Maxima defuzzifier)- *MOM*:

Στην τεχνική αυτή εξετάζεται η συνάρτηση συμμετοχής $\mu_Y(y)$ για να βρεθούν οι τιμές (εφόσον υπάρχουν) του y όπου $\mu_Y(y)$ είναι μέγιστη. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος των τιμών της εξόδου που αντιστοιχούν στην συνθήκη αυτή, δηλαδή:

$$\hat{y}_{MOM} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \max \mu_Y(y_j). \quad (3.25)$$

Στην περίπτωση που μόνο ένα μέγιστο υπάρχει τότε η τεχνική αυτή είναι όμοια με την προηγούμενη. Στην περίπτωση που υπάρχει πλήθος τιμών με μέγιστη τιμή τότε υπολογίζεται ο μέσος όρος.

3) *Απο-ασαφοποίηση κέντρου* (Center of Area ή COA – defuzzifier): Στην τεχνική αυτή υπολογίζεται το κέντρο του εμβαδού της σύνθετης συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου $\mu_Y(y)$, η οποία και θεωρείται ως το τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή η σαφής τιμή της εξόδου. Εδώ:

$$\hat{y}_{COA} = \frac{\int_S y \mu_Y(y) dy}{\int_S \mu_Y(y) dy}, \quad (3.26)$$

όπου S είναι το σύνολο στήριξης της συνάρτησης $\mu_Y(y)$. Στην περίπτωση που το σύνολο υποστήριξης είναι διακριτό, η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\hat{y}_{COA} = \frac{\sum_{i=1}^I y_i \mu_Y(y_i)}{\sum_{i=1}^I \mu_Y(y_i)}. \quad (3.27)$$

Στην τεχνική αυτή τα σχήματα των συναρτήσεων συμμετοχής παίζουν μεγάλο ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα.

4) *Απο-ασαφοποίηση κέντρου βάρους* (Center of Gravity – COG): Στην τεχνική αυτή υπολογίζεται το κέντρο βάρους όλων των συναρτήσεων συμμετοχής των I κανόνων που έχουν ενεργοποιηθεί σταθμισμένοι με τον βαθμό εκπλήρωσης σ_i για κάθε κανόνα. Εδώ δεν υπολογίζεται το συνδυαστικό ΕΙΤΕ, έτσι το τελικό αποτέλεσμα στην περίπτωση που οι συναρτήσεις είναι συμμετρικές είναι:

$$\hat{y}_{COG} = \frac{\sum_{i=1}^I \sigma_i \mu_Y^i(y_i)}{\sum_{i=1}^I \mu_Y^i(y_i)}. \quad (3.28)$$

Όλες οι παραπάνω τεχνικές έχουν στόχο την εύρεση σαφούς τιμής της εξόδου του ελεγκτή (δηλαδή της μεταβλητής ελέγχου) από την σύνθετη συνάρτηση συμμετοχής εξόδου. Με την σαφή τιμή θα οδηγηθεί ο ενεργοποιητής της διαδικασίας υπό έλεγχο. Η διαδικασία της αποσαφοποίησης μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά με έναν τελεστή $def(.)$, δηλαδή:

$$\hat{y}(k) = def(\mu_Y), \quad (3.29)$$

όπου $\hat{y}(k)$ είναι η αριθμητική τιμή της εξόδου του ελεγκτή την χρονική στιγμή k .

Με σύγκριση των παραπάνω τεχνικών συμπεραίνουμε ότι η τεχνική *MOM* παράγει καλύτερα αποτελέσματα στη μεταβατική συμπεριφορά ενός κλειστού συστήματος ελέγχου. Η τεχνική *COA* παράγει καλύτερη στατική συμπεριφορά, δηλαδή σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση του συστήματος και έχει συμπεριφορά που παρομοιάζει με αυτή ενός ελεγκτή δύο όρων (PI).

3.12 Ασαφείς ελεγκτές βασισμένοι στο πρότυπο Takagi-Sugeno

Εκτός από τους κλασικούς ασαφείς ελεγκτές υπάρχει και ο ελεγκτής Takagi-Sugeno [10]. Η βασική διαφορά του από τους κλασικούς ασαφείς ελεγκτές είναι ότι δεν χρησιμοποιεί ασαφείς συνεπαγωγές για να ασκήσει έλεγχο στο σύστημα.

Αντίθετα, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος, ο ελεγκτής επιλέγει το κατάλληλο προ-επιλεγμένο δυναμικό πρότυπο της διαδικασίας και τον αντίστοιχο νόμο ελέγχου που να ικανοποιεί κάποια κριτήρια για τον έλεγχο του συστήματος μέσω λεκτικών κανόνων της κλασικής μορφής “Εάν...Τότε...”.

Ο ελεγκτής Takagi-Sugeno χαρακτηρίζεται από δύο ομάδες λεκτικών κανόνων, η διαφορά στους οποίους εντοπίζεται στη μορφή του επακόλουθου των κανόνων. Η πρώτη ομάδα κανόνων περιγράφει το δυναμικό πρότυπο του συστήματος ανοικτού βρόχου σε αναλυτική μορφή όπου το επακόλουθο του κανόνα περιέχει την αντίστοιχη καταστατική εξίσωση του ανοικτού συστήματος. Κάθε κανόνας δίνει μια τμηματική διανυσματική περιγραφή του δυναμικού προτύπου της γενικής μορφής:

$$\frac{dx}{dt} = f(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad (3.30)$$

όπου \mathbf{x} είναι το n-διάστατο διάνυσμα καταστάσεων και \mathbf{u} το m-διάστατο διάνυσμα ελέγχου. Στη συνέχεια, το δυναμικό αυτό πρότυπο γραμμικοποιείται γύρω από το αντίστοιχο λειτουργικό σημείο, οπότε θα έχει την κλασική διανυσματική μορφή ενός γραμμικού δυναμικού συστήματος:

$$\frac{dx}{dt} = A\mathbf{x} + B\mathbf{u} \quad (3.31)$$

Το πρότυπο της διαδικασίας υπό έλεγχο είναι είτε αποτέλεσμα βαθιάς γνώσης της δυναμικής της διαδικασίας ή μια από τις γνωστές μεθόδους αναγώρισης. Το σύνολο των κανόνων συνεπώς εκφράζει τα δυναμικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας με ανοικτό βρόχο και καλείται Ασαφές Πρότυπο Ανοικτού Βρόχου.

Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει τους λεκτικούς κανόνες που περιγράφουν τον απαιτούμενο νόμο ελέγχου που εγγυάται την ευστάθεια του κλειστού συστήματος καθώς και βασικά δυναμικά χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση αυτή κάθε κανόνας περιγράφει έναν *τμηματικό νόμο ελέγχου* που υπολογίζεται με βάση το δυναμικό πρότυπο του αντιστοίχου κανόνα ελέγχου. Το σύνολο των λεκτικών κανόνων αποτελεί τον *ολικό νόμο ελέγχου* του συστήματος.

Τα αποτελέσματα των δύο συνόλων συνδυάζονται για να δώσουν το σύστημα κλειστού βρόχου που παρουσιάζει την επιθυμητή *δυναμική απόδοση*. Το γενικό πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει ο ελεγκτής των Tagaki-Sugeno συνοψίζοντας ως εξής:

Δοθείσης μιας ελεγχόμενης διαδικασίας που εκφράζεται από ένα σύνολο καταστατικών εξισώσεων της μορφής (3.30), ζητείται ένας νόμος ελέγχου ανατροφοδότησης της κατάστασης της διαδικασίας:

$$u = g(x)$$

που να ικανοποιεί δεδομένα κριτήρια ευστάθειας.

Για την επίλυση του προβλήματος πρέπει πρώτα να οριστεί ο χώρος κατάστασης του συστήματος, ο οποίος τώρα δεν αποτελείται από τις γνωστές μετρούμενες μεταβλητές αλλά από τα ασαφή τους σύνολα.

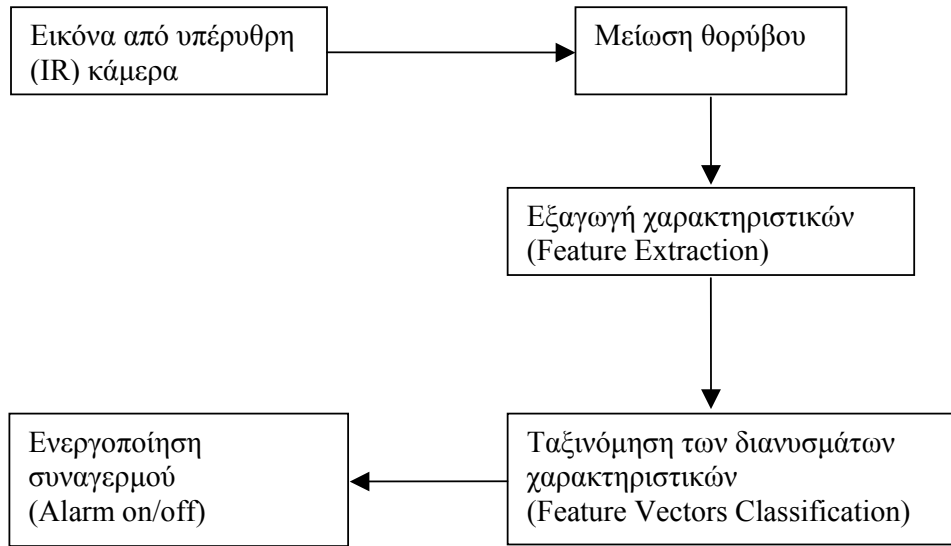
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Περιγραφή συστήματος

4.1 Εισαγωγή

Η λειτουργία του συστήματος μηχανικής όρασης ξεκινάει με την λήψη εικόνων από κάμερα που βρίσκεται προσαρμοσμένη στο μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Unmanned Aerial Vehicle) όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1. Η εικόνα που λαμβάνεται από την κάμερα υποβάλλεται σε μια αρχική επεξεργασία που αποσκοπεί στην μείωση του θορύβου. Κατόπιν η εικόνα διαχωρίζεται σε διάφορες περιοχές. Ως χαρακτηριστικά στοιχεία των περιοχών επιλέγονται το *μέγεθος* και η *μέση ένταση* (φωτεινότητα). Η εξαγωγή αυτών των χαρακτηριστικών παράγει μια σειρά από διανύσματα το καθένα από τα οποία περιέχει πληροφορία για την αντίστοιχη περιοχή. Ο ταξινομητής (classifier) εξετάζει κάθε διάνυσμα και του αποδίδει μια τιμή που αντιστοιχεί στο ενδεχόμενο να πρόκειται για περιοχή που υπάρχει το αντικείμενο που αναζητείται (πχ ζώο, ναυαγός, εστία φωτιάς κλπ). Αν σε μια περιοχή αποδίδεται υψηλή τιμή για το ενδεχόμενο ύπαρξης αντικειμένου επί μακρό χρονικό διάστημα, τότε ενεργοποιείται ο συναγερμός.



Εικόνα 4.1: Μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UAV) με προσαρμοσμένη κάμερα.



Σχήμα 4.1: Δομικό διάγραμμα του συστήματος μηχανικής όρασης.

Η όλη διαδικασία παρουσιάζεται σε μορφή δομικού διαγράμματος στο Σχήμα 4.1. στο οποίο φαίνεται ότι το σύστημα μηχανικής όρασης αποτελείται από τα παρακάτω συστατικά στοιχεία:

1. Υποσύστημα μείωσης θορύβου (Noise Reduction)
2. Υποσύστημα εξαγωγής χαρακτηριστικών (Feature Extraction) από την εικόνα
3. Υποσύστημα ταξινόμησης (Classification) των διανυσμάτων χαρακτηριστικών (Feature vectors)
4. Υποσύστημα ενεργοποίησης συναγερμού

Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται και αναλύονται τα προαναφερθέντα μέρη του συστήματος.

4.2 Περιγραφή της δομής του σήματος

Πριν την παρουσίαση των επιμέρους τμημάτων του συστήματος, κρίνεται απαραίτητη η αναφορά στην δομή και στην μορφή του λαμβανόμενου προς επεξεργασία σήματος. Στην παρούσα περίπτωση πρόκειται για μια μονόχρωμη εικόνα η οποία λαμβάνεται από υπέρυθρη κάμερα. Ο όρος *μονόχρωμη εικόνα* αναφέρεται σε μια διδιάστατη συνάρτηση έντασης φωτεινότητας $f(x,y)$, όπου x και y οι χωρικές συντεταγμένες, της οποίας η τιμή σε κάθε σημείο (x,y) είναι ανάλογη της φωτεινότητας της εικόνας σε εκείνο το σημείο. Για να είναι εφικτή η επεξεργασία της με χρήση ψηφιακών υπολογιστών θα πρέπει η εικόνα $f(x,y)$ να υποστεί διακριτοποίηση. Ως ψηφιακή εικόνα θεωρείται η εικόνα $f(x,y)$ που έχει διακριτοποιηθεί τόσο όσον αφορά στις χωρικές συντεταγμένες όσο και στην φωτεινότητα. Μια ψηφιακή εικόνα μπορεί να θεωρηθεί ως πίνακας του οποίου οι δείκτες των γραμμών i και στηλών j καθορίζουν ένα σημείο στην εικόνα ενώ το ίδιο το στοιχείο του πίνακα έχει την τιμή της φωτεινότητας της εικόνας στο σημείο αυτό. Το σημείο αυτό ονομάζεται εικονοστοιχείο (pixel). Στην ψηφιακή εικόνα $f[i,j]$ που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, οι τιμές φωτεινότητας διακριτοποιούνται σε 256 επίπεδα το καθένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία απόχρωση του γκρι. Έτσι το μαύρο αντιστοιχεί στην τιμή μηδέν (0) και το λευκό στο 255.

4.3 Υποσύστημα μείωσης θορύβου

Το σήμα που λαμβάνεται από οποιαδήποτε συσκευή υπόκειται σε θόρυβο. Για να αποφευχθούν ανεπιθύμητα φαινόμενα που οφείλονται σ' αυτόν, όπως η λανθασμένη ταξινόμηση μιας περιοχής, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές. Μία από αυτές αποτελεί η χρήση χωρικών φίλτρων ή масκών όπως αναφέρονται συχνά στην βιβλιογραφία. Τα φίλτρα αυτά δεν είναι παρά τετραγωνικοί πίνακες $g[i,j]$ των οποίων η συνέλιξη με την ψηφιακή εικόνα $f[i,j]$ έχει σαν αποτέλεσμα μια άλλη εικόνα $h[i,j]$ απαλλαγμένη από σημαντικό μέρος του θορύβου. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$h[i,j] = f[i,j] * g[i,j] = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f[k,l] g[i-k, j-l],$$

όπου n η διάσταση του $n \times n$ φίλτρου. Αυτής της μορφής είναι και το φίλτρο Gauss του οποίου τα στοιχεία δίνονται από την σχέση :

$$g[i, j] = ce^{-\frac{(i^2 + j^2)}{2\sigma^2}}$$

όπου c μια σταθερά κανονικοποίησης και σ η διασπορά της Γκαουσιανής. Επιλέγοντας $\sigma = 1$ και διάσταση του φίλτρου $n=5$, προκύπτει το παρακάτω 5×5

χωρικό φίλτρο :

$$g = \frac{1}{348} \begin{bmatrix} 1 & 5 & 8 & 5 & 1 \\ 5 & 20 & 34 & 20 & 5 \\ 8 & 34 & 56 & 34 & 8 \\ 5 & 20 & 34 & 20 & 5 \\ 1 & 5 & 8 & 5 & 1 \end{bmatrix}.$$

Η επιλογή της μορφής του φίλτρου έγινε με βάση την ιδιότητα των Gauss φίλτρων να εξομαλύνουν την εικόνα χωρίς να βλάπτουν την ευκρίνειά της [4][11]. Η επιλογή για την χρήση ή μη ενός τέτοιου φίλτρου, που αυξάνει κατάτι το συνολικό υπολογιστικό κόστος του συστήματος, βρίσκεται στην διακριτική ευχέρεια του σχεδιαστή μηχανικού και εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα των λαμβανόμενων εικόνων.

4.4 Υποσύστημα εξαγωγής χαρακτηριστικών

Ένα πολύ σημαντικό έργο στην όλη διαδικασία της αυτοματοποιημένης επιτήρησης είναι ο καθορισμός του αντικειμένου που το σύστημα θα πρέπει να αναζητήσει και η επιλογή των χαρακτηριστικών εκείνων που μπορούν να περιγράψουν το αντικείμενο με σχεδόν μοναδικό τρόπο. Η μέση ένταση μιας περιοχής καθώς και το μέγεθός της το καταφέρνουν αυτό σε ικανοποιητικό βαθμό, διότι οι περιοχές της εικόνας που αντιστοιχούν στο αντικείμενο που το σύστημα αναζητά εμφανίζονται συνήθως φωτεινότερες, δηλαδή με μεγαλύτερη μέση ένταση η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\text{Μέση ένταση} = \frac{\sum_{\forall \text{ εικονοστοιχείο} \in \text{περιοχή}} \text{τιμή_έντασης_εικονοστοιχείου}}{\text{αριθμός εικονοστοιχείων της περιοχής}}.$$

Έχοντας επιλέξει τα χαρακτηριστικά, αυτό που απομένει είναι να εξαχθούν από την εικόνα. Η διαδικασία της εξαγωγής χαρακτηριστικών γίνεται με την βοήθεια ενός αλγορίθμου τμηματοποίησης (segmentation) εικόνας που ονομάζεται αλγόριθμος εξάπλωσης περιοχής (region growing). Έστω ότι το σύνολο R αντιπροσωπεύει το σύνολο της περιοχής της εικόνας. Η τμηματοποίηση μπορεί να θεωρηθεί ως η διαδικασία εκείνη που διαχωρίζει το R σε n υποπεριοχές R_1, R_2, \dots, R_n , έτσι ώστε:

$$\alpha) \bigcup_{i=1}^n R_i = R$$

β) R_i , είναι μια συνδεδεμένη περιοχή για $i=1,2,\dots,n$

γ) $R_i \cap R_j = \emptyset$ για όλα τα i και j με $i \neq j$

δ) $P(R_i) = \text{TRUE}$ για $i=1,2,\dots,n$, και

ε) $P(R_i \cup R_j) = \text{FALSE}$ για $i \neq j$

όπου $P(R_i)$ είναι μια λογική συνθήκη που αφορά στα εικονοστοιχεία (pixel) που ανήκουν στο σύνολο R . Συνδεδεμένη ονομάζεται μια περιοχή όταν οι τιμές των εντάσεων των εικονοστοιχείων που την αποτελούν ικανοποιούν κάποιο κριτήριο ομοιότητας και για κάθε εικονοστοιχείο που ανήκει στην περιοχή ένα τουλάχιστον γειτονικό του είναι κι αυτό μέλος της ίδιας περιοχής. Η συνθήκη (α) δηλώνει ότι η τμηματοποίηση είναι πλήρης, δηλαδή κάθε εικονοστοιχείο ανήκει σε μια περιοχή. Η δεύτερη συνθήκη απαιτεί η κάθε περιοχή να είναι συνδεδεμένη ενώ η τρίτη υποδηλώνει ότι οι περιοχές δεν πρέπει να αλληλοκαλύπτονται. Η συνθήκη (δ) αναφέρεται στις ιδιότητες που έχουν τα σημεία σε μια περιοχή, πχ $P(R_i) = \text{TRUE}$ αν όλα τα εικονοστοιχεία της περιοχής έχουν την ίδια ένταση. Τέλος η πέμπτη συνθήκη υποδηλώνει ότι οι περιοχές R_i και R_j είναι διαφορετικές ως προς την λογική πρόταση P .

Με δεδομένη την παραπάνω μαθηματική διατύπωση, η προσέγγιση στο ζήτημα της τμηματοποίησης έγινε με τη μέθοδο της συσσώρευσης εικονοστοιχείων (region growing by pixel aggregation). Η συγκεκριμένη διαδικασία ξεκινάει με ένα σύνολο αρχικών σημείων (seed points) από τα οποία αναπτύσσονται οι περιοχές με την συσσώρευση σε αυτές των γειτονικών σημείων του αρχικού που έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά.

Τα βασικά τμήματα, λοιπόν, ενός τέτοιου αλγορίθμου (region growing) είναι

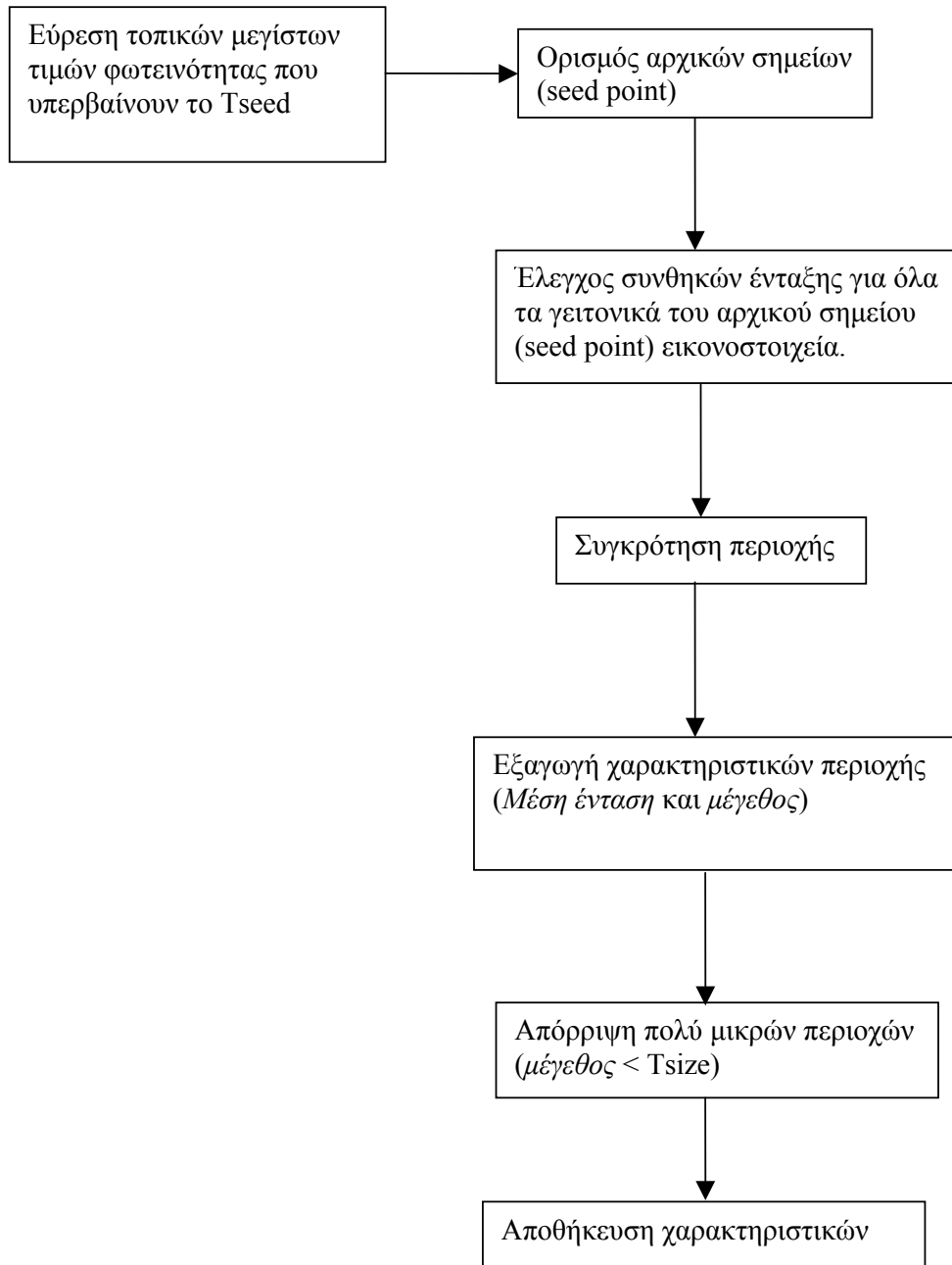
- Επιλογή κατώφλιου τιμής για τα σημεία που θα αποτελέσουν τα αρχικά μέλη μιας περιοχής (seed points)
- Επιλογή αρχικών σημείων (seed points) από την εικόνα Εξαγωγή περιοχών με βάση κάποιο κριτήριο ομοιότητας μεταξύ των εικονοστοιχείων (pixel) που θα ανήκουν στην ίδια περιοχή. Ως κατώφλι τιμής για τα αρχικά σημεία (seed points), επιλέγεται μια σχετικά υψηλή τιμή T_{seed} ($T_{seed} > 190$) αφού τα εικονοστοιχεία των περιοχών που αντιστοιχούν στο αναζητούμενο αντικείμενο πιθανολογείται ότι θα εμφανίζονται λαμπρότερα στην εικόνα. Στο επόμενο βήμα, γίνεται η επιλογή των ίδιων των σημείων της εικόνας που θα αποτελέσουν τα αρχικά μέλη μιας περιοχής (seed points). Αυτά αποτελούν τοπικά μέγιστα στην εικόνα τα οποία ξεπερνούν το προαναφερθέν κατώφλι έντασης. Τέλος, η εξαγωγή των περιοχών γίνεται με βάση τον περιορισμό στην απόλυτη διαφορά της τιμής έντασης κάθε σημείου της περιοχής από τιμή του αντίστοιχου seed point. Επιπροσθέτως, εφαρμόστηκε ο περιορισμός της κατά 8 συνδεσιμότητας (8-connectivity). Για να ενταχθεί δηλαδή ένα εικονοστοιχείο p (pixel) με φωτεινότητα g σε μια περιοχή S θα πρέπει να ισχύει :

$$|g - g(\text{seed point})| < D_{seed},$$

και το p να συνδέεται (8-connected) με ένα τουλάχιστον εικονοστοιχείο της περιοχής S , όπου D_{seed} σταθερά και $g(\text{seed point})$ είναι η τιμή της έντασης του αρχικού σημείου (seed point) της περιοχής S .

Από τις περιοχές που σχηματίστηκαν απορρίπτονται αυτές που έχουν μέγεθος μικρότερο από κάποιο κατώφλι T_{size} . Έτσι απομακρύνονται από το σύστημα πολύ μικρές περιοχές οφειλόμενες κατά πάσα πιθανότητα σε θόρυβο. Τελικώς, για κάθε περιοχή αποθηκεύονται:

- Η θέση (i, j) στην εικόνα του αρχικού σημείου (seed point) από το οποίο προέκυψε η περιοχή
- Η μέση τιμή της έντασης της περιοχής
- Ο αριθμός των εικονοστοιχείων (pixel) που την αποτελούν (μέγεθος).



Σχήμα 4.2.: Δομικό διάγραμμα υποσυστήματος εξαγωγής χαρακτηριστικών

Το δομικό διάγραμμα του υποσυστήματος εξαγωγής χαρακτηριστικών δίνεται στο Σχήμα 4.2. Ακολουθεί ένα παράδειγμα λειτουργίας του αλγόριθμου. Έστω η παρακάτω αρχική Εικόνα 4.2 που έχει ληφθεί από ένα UAV:



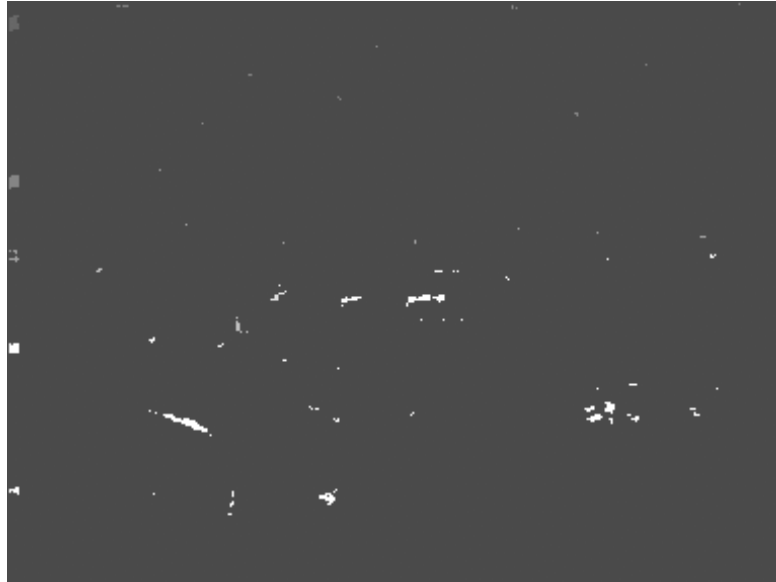
Εικόνα 4.2: Αρχική εικόνα από την κάμερα του UAV

Αρχικά επιλέγονται τα σημεία που θα αποτελέσουν τα αρχικά μέλη μιας περιοχής (seed points)(κάποια από αυτά τα σημεία σημειώνονται με βέλη).



Εικόνα 4.3 : Επιλογή σημείων για ανάπτυξη περιοχών

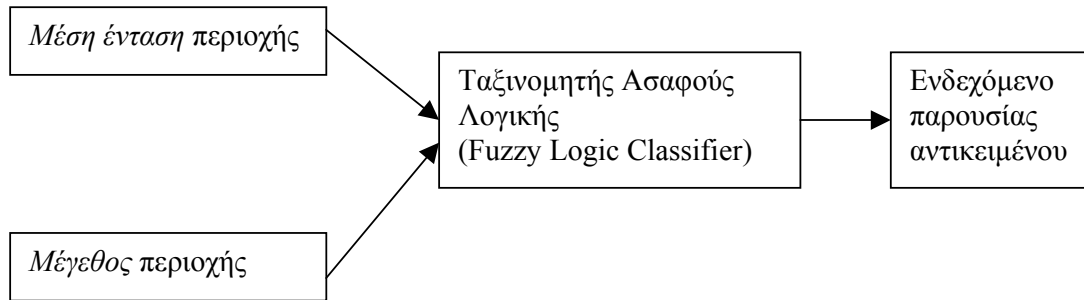
Στη συνέχεια με βάση τα προαναφερθέντα σημεία εξάγονται οι περιοχές που φαίνονται στην Εικόνα 4.4.



Εικόνα 4.4 : Επιλογή περιοχών προς αξιολόγηση

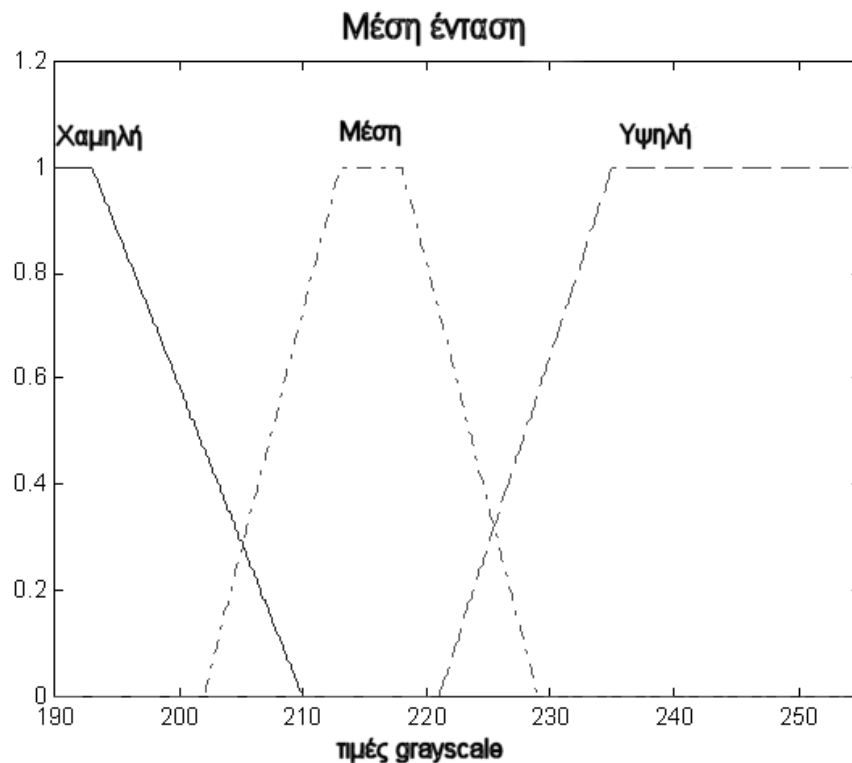
4.5 Ταξινόμηση Διανυσμάτων Χαρακτηριστικών

Η σχεδίαση του ταξινομητή βασίστηκε στην θεωρία ασαφούς λογικής. Η επιλογή αυτή προτιμήθηκε για την απλότητά της και για τον άμεσο τρόπο με τον οποίο ενσωματώνει την εμπειρία μέσα στη δομή του ταξινομητή. Η διαδικασία της ταξινόμησης φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Αρχικά, στα στοιχεία των διανυσμάτων χαρακτηριστικών αντιστοιχίζονται κάποιες συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions).

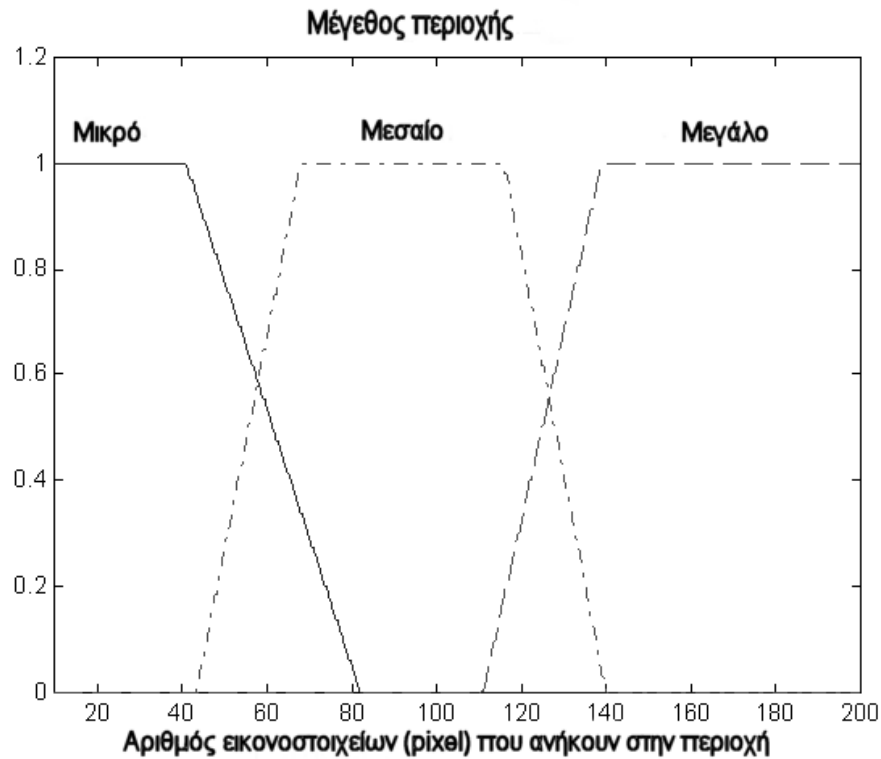


Σχήμα 4.3.: Γενικό δομικό διάγραμμα της διαδικασίας ταξινόμησης

Έτσι, στην μέση ένταση αποδίδονται τρεις λεκτικές μεταβλητές, χαμηλή (*Low*), μέση (*Mid*) και υψηλή (*High*) όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4. Ομοίως και για το χαρακτηριστικό του μεγέθους αντιστοιχούν οι λεκτικές τιμές, μικρό (*Small*), μεσαίο (*Medium*) και μεγάλο (*Large*), που αναπαρίστανται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.4.: Συναρτήσεις συμμετοχής για την μέση ένταση.



Σχήμα 4.5.: Συναρτήσεις συμμετοχής για το μέγεθος της περιοχής.

Κάθε μια από αυτές περιγράφεται από μια τραπεζοειδή συνάρτηση συμμετοχής. Μια τέτοια συνάρτηση ορίζεται ως:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{x-d}{c-d}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x \leq a, \quad x \geq d \end{cases}$$

όπου a, b, c, d , σταθερές.

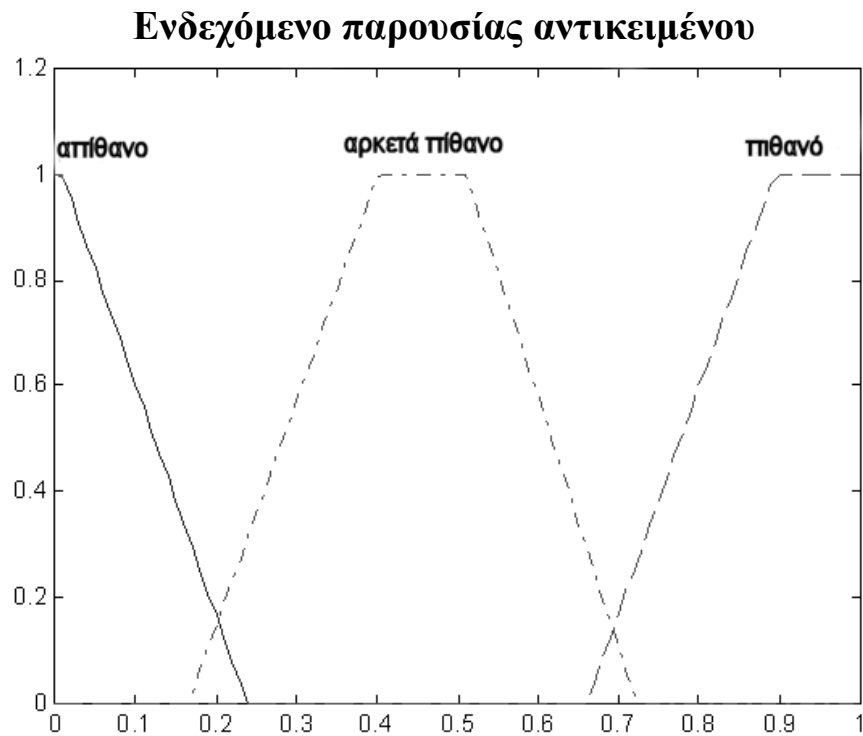
Μετά από αυτήν την διαδικασία της «ασαφοποίησης» των εισόδων, τα αποτελέσματα αξιολογούνται από μια βάση κανόνων. Οι κανόνες αυτοί θα καθορίσουν την τελική έξοδο του Ασαφούς Ταξινομητή αποφασίζοντας για το αν μια περιοχή της εικόνας αντιστοιχεί στο αντικείμενο που αναζητείται ή όχι. Η μορφή των κανόνων είναι η γνωστή AN –TOTE (IF-THEN) όπως για παράδειγμα:

ΑΝ μέση ένταση είναι υψηλή ΚΑΙ μέγεθος είναι μεσαίο TOTE ενδεχόμενο παρουσίας αντικειμένου είναι πιθανό.

Η βάση των κανόνων έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε αν μια περιοχή έχει υψηλή μέση φωτεινότητα και δευτερευόντως μεγάλη έκταση, τότε να αξιολογείται ως πιθανή εστία φωτιάς.

Μεταβλητή εξόδου είναι το *ενδεχόμενο παρουσίας αντικειμένου* και οι συναρτήσεις συμμετοχής της φαίνονται στο Σχήμα 4.6.. Μετά την εξέταση των κανόνων ο Ασαφής Ταξινομητής παράγει έναν αριθμό ο οποίος κατατάσσει το διάνυσμα χαρακτηριστικών κάθε περιοχής σε μία από τις τρεις κλάσεις :

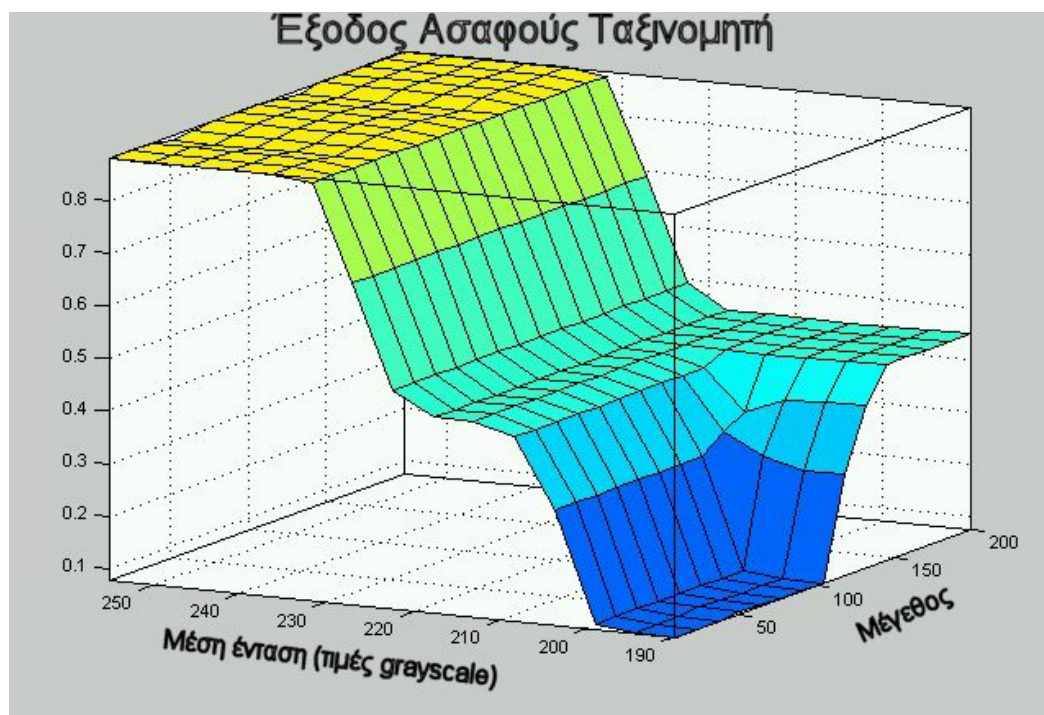
1. Απίθανο ενδεχόμενο παρουσίας αντικειμένου
2. Αρκετά πιθανό ενδεχόμενο παρουσίας αντικειμένου
3. Πολύ πιθανό ενδεχόμενο παρουσίας αντικειμένου.



Σχήμα 4.6.: Συναρτήσεις συμμετοχής για την μεταβλητή εξόδου *ενδεχόμενο παρουσίας αντικειμένου*

Η έξοδος του ταξινομητή σε συνάρτηση με το *μέγεθος* και την *μέση ένταση* των εξαγόμενων περιοχών παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.7, όπου φαίνεται ότι λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$ με τις υψηλότερες τιμές να αντιστοιχούν σε ισχυρότερο

ενδεχόμενο παρουσίας αντικειμένου. Αν η έξοδος του ταξινομητή είναι μικρότερη από $T1_{out}=0.5$ τότε για την περιοχή θεωρείται ότι είναι απίθανο το ενδεχόμενο παρουσίας του αντικειμένου. Ως αρκετά πιθανού ενδεχομένου ταξινομείται μια περιοχή αν η έξοδος πάρει τιμή από $T1_{out}=0.5$ ως $T2_{out}=0.75$, ενώ ως πολύ πιθανού ενδεχομένου οι χαρακτηρίζονται οι περιοχές εκείνες για τις οποίες ο ταξινομητής παράγει έξοδο μεγαλύτερη από 0.75. Για να παρουσιαστεί καλύτερα το αποτέλεσμα της αξιολόγησης των περιοχών, οι τελευταίες χρωματίζονται από τον αλγόριθμο ανάλογα με το πόσο πιθανή είναι η παρουσία αντικειμένου σε αυτές. Έτσι, οι περιοχές που εκτιμάει ο ταξινομητής ως πολύ πιθανές (>0.75) για ύπαρξη θερμικής εστίας χρωματίζονται κόκκινες. Οι περιοχές αρκετά πιθανού ενδεχομένου ($0.5 \rightarrow 0.75$) παρουσιάζονται πορτοκαλί, ενώ οι αντίστοιχες απίθανου ενδεχομένου (<0.5) πράσινες.



Σχήμα 4.7.: Η έξοδος του ταξινομητή σε συνάρτηση με το μέγεθος και την μέση ένταση

Στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζεται μια σειρά από αρχικές εικόνες σε αντιπαραβολή με το αποτέλεσμα της αξιολόγησής τους από το σύστημα. Το σύστημα μηχανικής όρασης και αναγνώρισης προτύπων υλοποιήθηκε σε γλώσσα C.

4.6 Υποσύστημα ενεργοποίησης συναγερμού

Το υποσύστημα ενεργοποίησης συναγερμού αποτελεί το τελευταίο μέρος του συστήματος και είναι υπεύθυνο για την τελική λήψη απόφασης όσον αφορά στην ύπαρξη ή μη του αναζητούμενου αντικειμένου. Η αναγκαιότητα ύπαρξης ενός τέτοιου υποσυστήματος υπαγορεύεται από την παρουσία διαταραχών στην εικόνα, όπως αντανakλάσεις [12], μετατοπίσεις λόγω ανέμου κλπ, που είναι δυνατό να οδηγήσουν σε εσφαλμένη ταξινόμηση. Η ταξινόμηση και μόνο μιας περιοχής ως πολύ πιθανής για την ύπαρξη του αντικειμένου, δεν αρκεί για να ενεργοποιηθεί ο συναγερμός. Η απόφαση αυτή λαμβάνεται μετά από μια σειρά παρατηρήσεων σε διαδοχικές εικόνες. Έτσι η αρχική εκτίμηση του ταξινομητή για το ενδεχόμενο παρουσίας του αντικειμένου σε μια συγκεκριμένη περιοχή, επιβεβαιώνεται ή απορρίπτεται από τις επόμενες εκτιμήσεις του. Μετά από μια σειρά διαδοχικών ταξινομήσεων μιας περιοχής ως πιθανής για την παρουσία αντικειμένου, ενεργοποιείται ο συναγερμός και απενεργοποιείται μόνο μετά από την παρέλευση κάποιου χρόνου κατά τον οποίο το αντικείμενο παύει να εντοπίζεται. Την βάση για την επιλογή αυτού του κριτηρίου αποτελεί η παρατήρηση ότι φαινόμενα όπως αυτό της ανάκλασης ή των αναταράξεων είναι μικρής χρονικής διάρκειας.

Ο μηχανισμός που υλοποιεί τα παραπάνω χρησιμοποιεί ένα μητρώο συναγερμών στο οποίο αποθηκεύονται οι συντεταγμένες της περιοχής που έχουν ταξινομηθεί ως πιθανές για την παρουσία του αντικειμένου καθώς και μια μεταβλητή *persistance* η οποία είναι ενδεικτική του πόσο «επιμένει» το σύστημα να ταξινομεί την περιοχή ως πιθανή. Έτσι κάθε φορά που χαρακτηρίζεται μια περιοχή ως πιθανή η μεταβλητή *persistence* αυξάνει κατά μια σταθερή ποσότητα (πχ. δύο) ενώ σε αντίθετη περίπτωση μειώνεται κατά ένα (1). Ακολούθως ορίζεται ένα κατώφλι T_{off} το οποίο αν ξεπεράσει η τιμή της μεταβλητής *persistence* ενεργοποιείται ο συναγερμός. Αντίστοιχα αν η τιμή της πέσει κάτω από ένα όριο T_{off} το σύστημα απενεργοποιεί τον συναγερμό.

Για να είναι ικανό το σύστημα να συσσωρεύει εκτιμήσεις για μια συγκεκριμένη περιοχή, θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να την αναγνωρίζει και να την παρακολουθεί σε διαδοχικές εικόνες. λειτουργία του συστήματος προκύπτει η απαίτηση για ταυτοποίηση της ίδιας περιοχής στην προηγούμενη και στην επόμενη εικόνα. Η λύση που δόθηκε βασίζεται στην υπόθεση ότι η ίδια περιοχή σε δύο διαδοχικές εικόνες εμφανίζεται ελάχιστα μετατοπισμένη. Κατά αντιστοιχία και τα

αρχικά σημεία (seed point) από τα οποία προέκυψε κάθε περιοχή θα βρίσκονται αρκετά κοντά. Έτσι κάθε περιοχή που βρίσκεται στο μητρώο συναγερμού αναζητείται στην ίδια περίπου περιοχή της επόμενης εικόνας. Η μεταβολή στις συντεταγμένες των περιοχών πρέπει να βρίσκεται κάτω από ένα όριο T_{var} ώστε να θεωρήσει το σύστημα ότι πρόκειται για την ίδιο αντικείμενο που απεικονίζεται στις δύο διαδοχικές εικόνες.

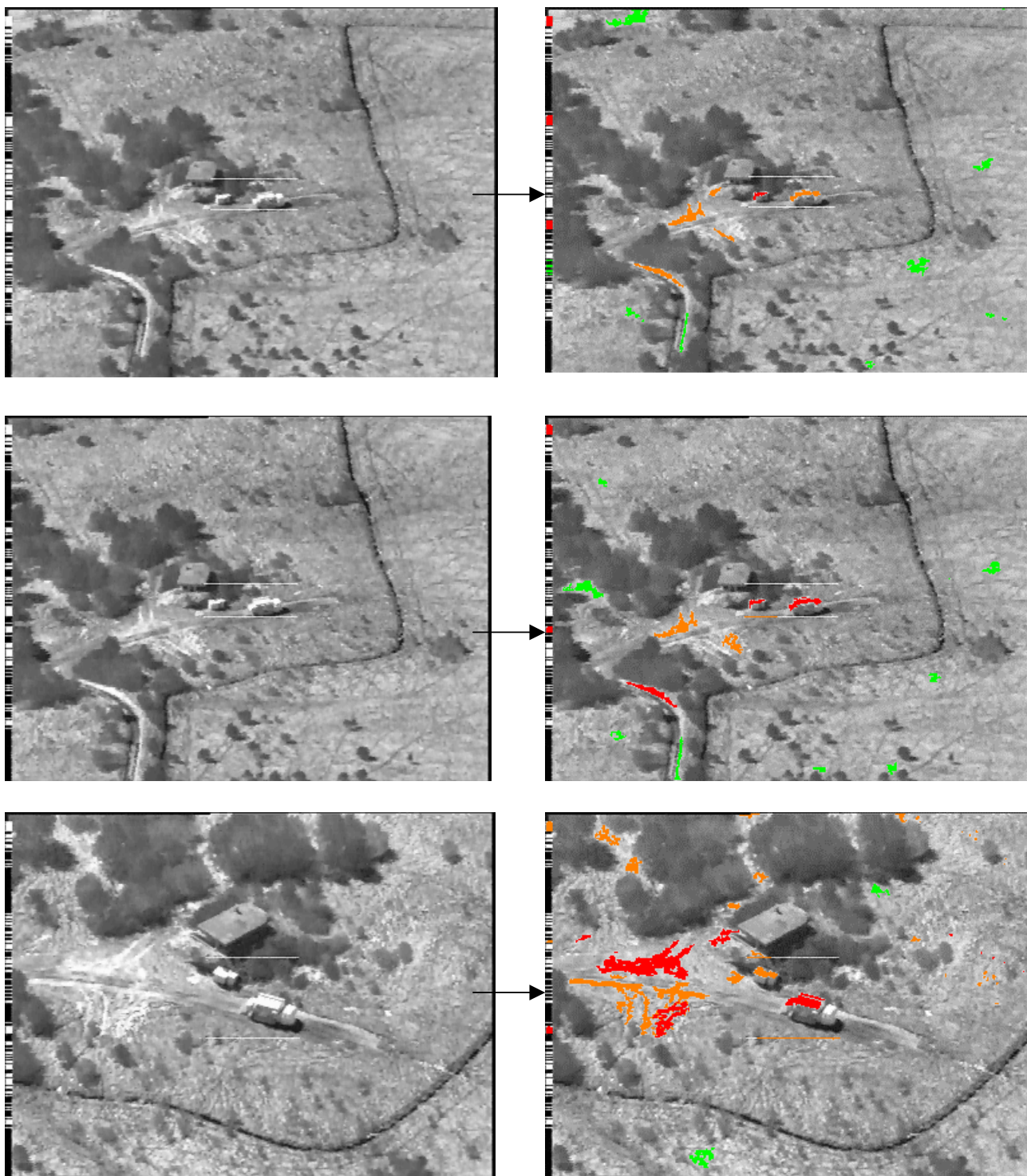
4.7 Εκτίμηση υπολογιστικού κόστους

Για κάθε μέρος του αλγόριθμου έγινε μια εκτίμηση του υπολογιστικού κόστους. Έτσι, το κόστος της διαδικασίας εξαγωγής των χαρακτηριστικών των περιοχών από την εικόνα βρέθηκε να εξαρτάται κυρίως από το γινόμενο των διαστάσεών της $[O(m \times n)]$. Ανάλογης τάξης $O(m \times n)$, ήταν και η πολυπλοκότητα του ταξινομητή ασαφούς λογικής, μόνο που αυτή την φορά οι μεταβλητές m και n αφορούν στον αριθμό των εισόδων και των κανόνων αντίστοιχα. Το συμπέρασμα που είναι δυνατό να εξαχθεί για τον συνολικό αλγόριθμο είναι ότι πιθανότατα είναι δυνατό να εκτελείται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (near real time) σε ένα μέσο σύγχρονο υπολογιστή.

Ένα άλλο μέτρο της πολυπλοκότητας του συστήματος, που έχει να κάνει κυρίως με την περιγραφή, μοντελοποίηση και σχεδίασή του, είναι το σύνολο των παραμέτρων που χρειάζεται να ρυθμιστούν ώστε αυτό να αποδίδει ικανοποιητικά. Οι παράμετροι αυτές αφορούν σε όλα τα επιμέρους υποσυστήματα και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Εικόνες εισόδου

Έξοδος ταξινομητή



Εικόνα 4.5: Παραδείγματα αποτελεσμάτων της λειτουργίας του ταξινομητή

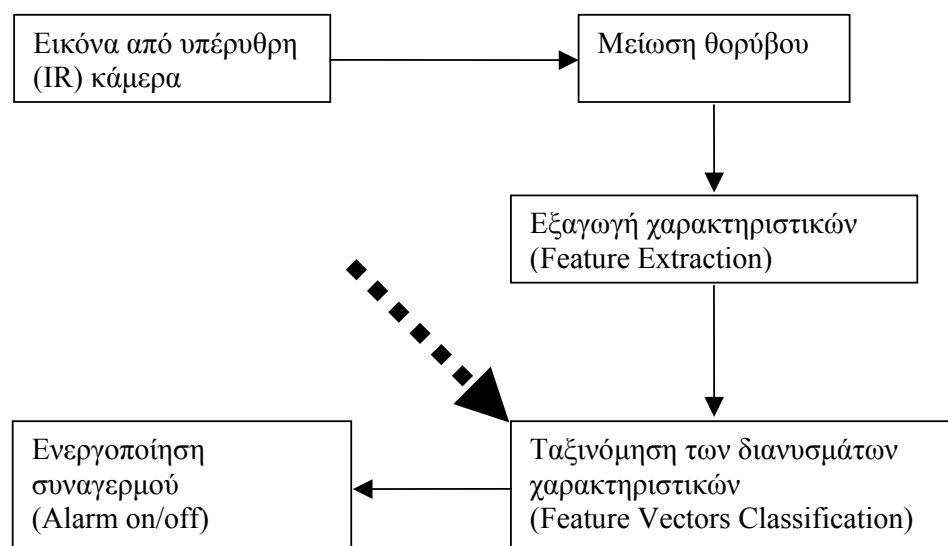
Παράμετρος	Σημασία
Υποσύστημα επεξεργασίας εικόνας (εξαγωγή χαρακτηριστικών)	
Tseed	Κατώφλι έντασης για επιλογή αρχικών σημείων (seed point)
Tsize	Κατώφλι μεγέθους περιοχής
Dseed	Κατώφλι έντασης για το κριτήριο ομοιότητας των εικονοστοιχείων μιας περιοχής
n	Μέγεθος περιοχής επιλογής τοπικού μεγίστου
Υποσύστημα ταξινόμησης (Classification) των διανυσμάτων χαρακτηριστικών (Feature vectors)	
$a_{ij} \ b_{ij} \ c_{ij} \ d_{ij}$ για $i,j = 1,2,3$	Παράμετροι που καθορίζουν την μορφή των συναρτήσεων συμμετοχής των εισόδων και της εξόδου του ασαφούς ταξινομητή
T1out, T2out	Κατώφλια χαρακτηρισμού των περιοχών ανάλογα με την «πιθανότητα» ύπαρξης του αναζητούμενου αντικειμένου
Υποσύστημα ενεργοποίησης συναγερμού	
Ton,	Κατώφλι για την μεταβλητή <i>persistence</i> πάνω από το οποίο ενεργοποιείται ο συναγερμός
Toff	Κατώφλι για την μεταβλητή <i>persistence</i> κάτω από το οποίο απενεργοποιείται ο συναγερμός
Tvar	Όριο μετατόπισης ενός συγκεκριμένου αντικειμένου ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εικόνες

Πίνακας 4.1 : Παράμετροι του συστήματος.

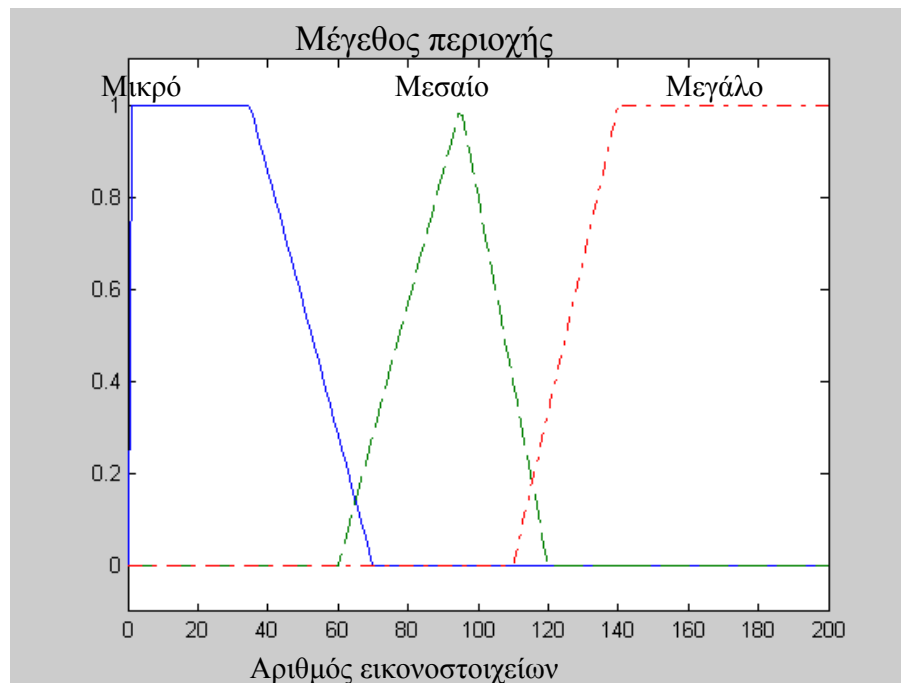
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποτελέσματα εφαρμογής εντοπισμού πυρκαγιάς

5.1 Αλλαγές και ρυθμίσεις

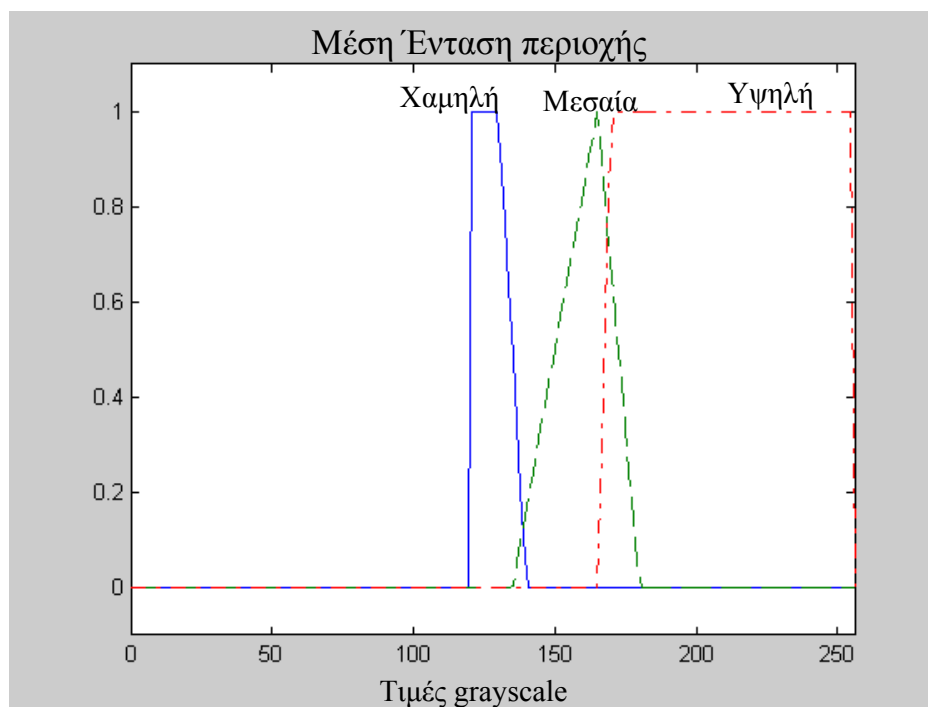
Το σύστημα που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4, τροποποιήθηκε κατάλληλα έτσι ώστε να εντοπίζει εστίες πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα έγιναν διορθωτικού χαρακτήρα επεμβάσεις στην μορφή των συναρτήσεων συμμετοχής του Ασαφούς Ταξινομητή. Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό το σημείο στο οποίο έγιναν αυτές οι αλλαγές, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1 το δομικό διάγραμμα του όλου συστήματος και σημειώνεται με βέλος το υποσύστημα που δέχτηκε τις διορθώσεις. Οι επεμβάσεις έγιναν με βασικό κριτήριο και σκοπό τον καλύτερο διαχωρισμό των περιοχών μεσαίας και μεγάλης μέσης έντασης. Οι νέες συναρτήσεις συμμετοχής που προέκυψαν απεικονίζονται στα Σχήματα 5.2 και 5.3.



Σχήμα 5.1.: Δομικό διάγραμμα του συστήματος μηχανικής όρασης και αναγνώρισης προτύπων όπου σημειώνεται με βέλος το σημείο στο οποίο έγιναν διορθωτικές ρυθμίσεις.

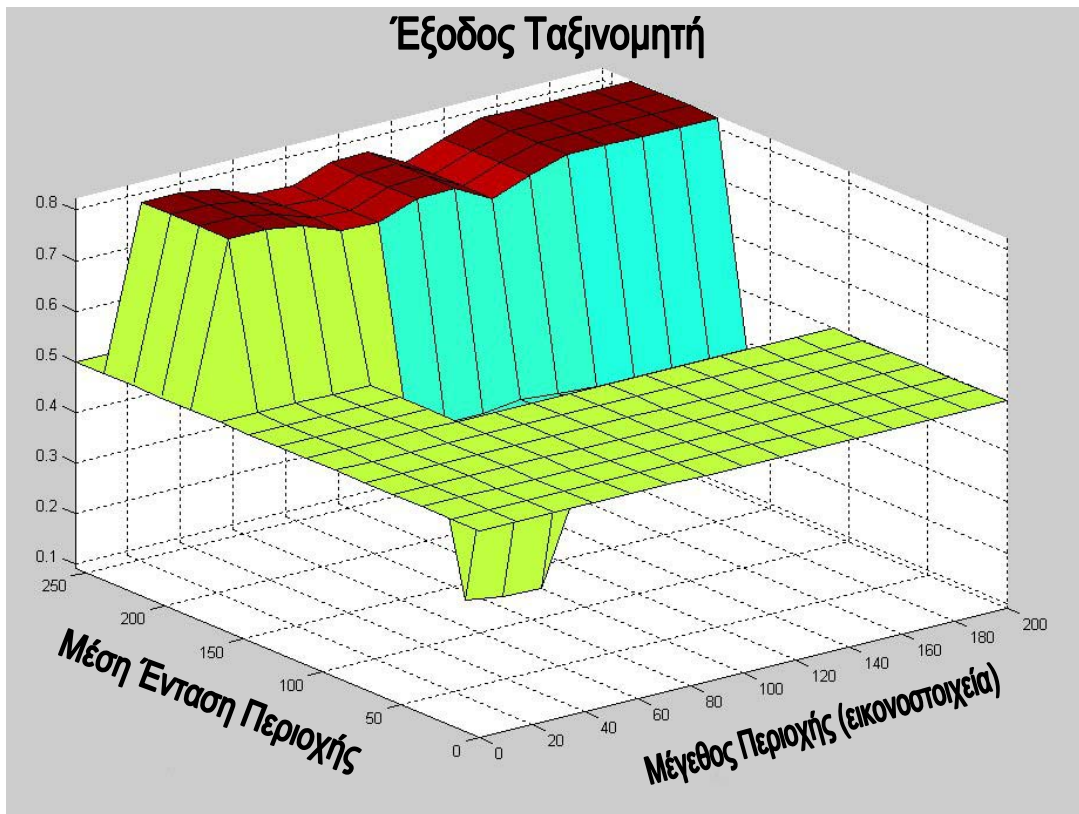


Σχήμα 5.2: Συναρτήσεις συμμετοχής για το μέγεθος της περιοχής.



Σχήμα 5.3: Συναρτήσεις συμμετοχής για την μέση ένταση.

Σαν αποτέλεσμα των αλλαγών αυτών η έξοδος του Ασαφούς Ταξινομητή διαφοροποιήθηκε (Σχήμα 5.4).



Σχήμα 5.4: Η έξοδος του ταξινομητή σε συνάρτηση με το μέγεθος και την μέση ένταση.

Ένα άλλο σημείο της διαδικασίας ταξινόμησης των περιοχών που δέχτηκε αλλαγές ήταν ο τρόπος χαρακτηρισμού των περιοχών ως προς το *ενδεχόμενο παρουσίας πυρκαγιάς*. Έτσι, μια περιοχή χαρακτηρίζεται ως Υψηλής Επικινδυνότητας όταν ο Ασαφής Ταξινομητής της αποδίδει τιμή 0.7 και όχι 0.75 όπως αρχικά είχε επιλεγεί. Ο τρόπος χαρακτηρισμού των περιοχών ως Χαμηλής ή Μέσης Επικινδυνότητας παρέμεινε ως είχε.

Πέρα από τις προαναφερθείσες αλλαγές, πραγματοποιήθηκε και μια προσθήκη που αφορά στην οπτικοποίηση της λειτουργίας του συστήματος. Συγκεκριμένα το σύστημα υπερθέτει στην εικόνα ένα κόκκινο σταυρό ως ένδειξη

ενεργοποίησης του συναγερμού. Το κέντρο του σταυρού υποδεικνύει την περιοχή της εικόνας η οποία προκάλεσε το σήμα συναγερμού.

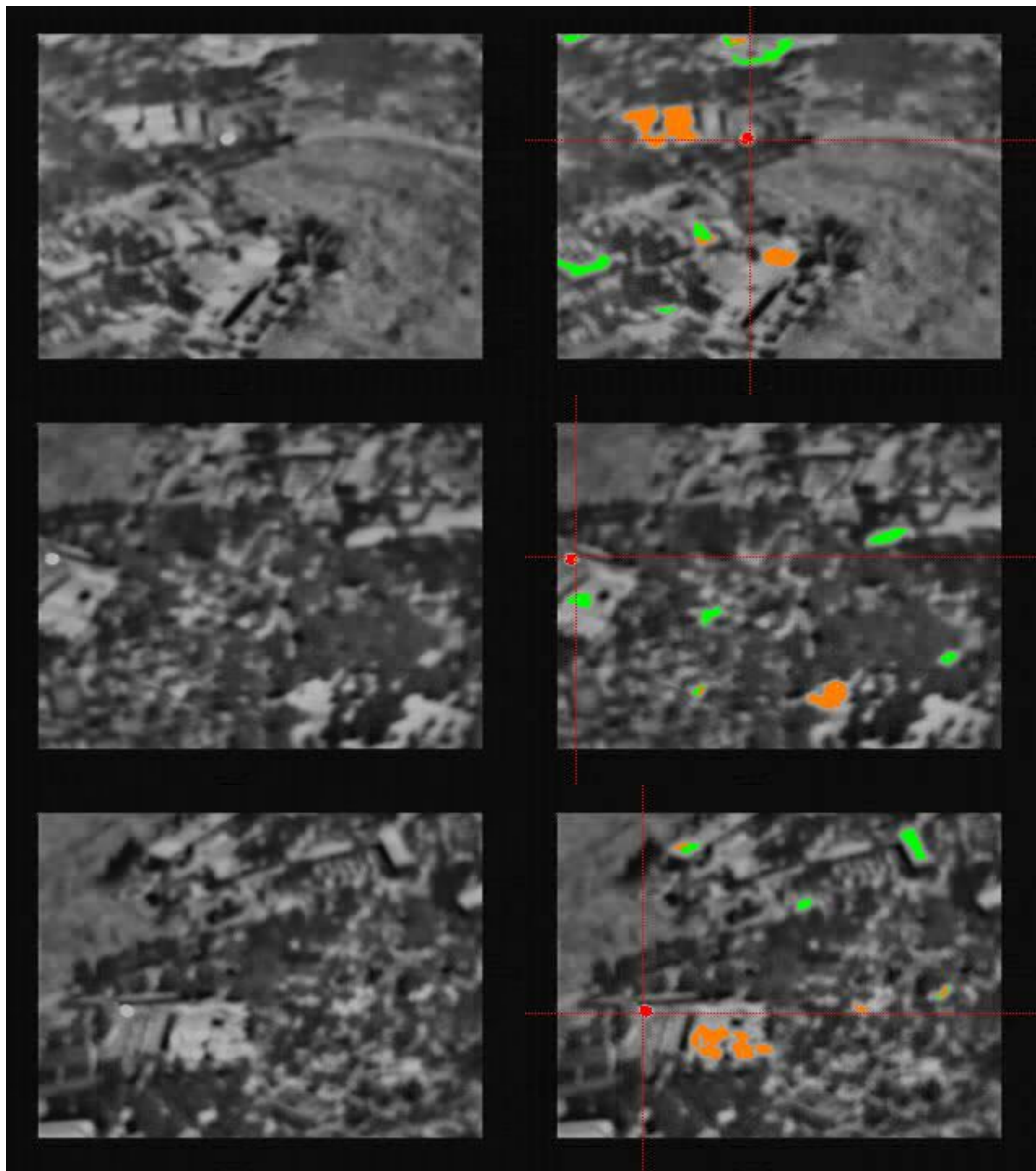
5.2 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται ως ζεύγη εικόνων στις Εικόνες 5.1 και 5.2 αφορούν στην αξιολόγηση περιοχών στις οποίες έχει τοποθετηθεί ελεγχόμενη φωτιά. Όπως είναι εύκολο να παρατηρηθεί, το σύστημα αξιολογεί τις περιοχές και καταφέρνει να εντοπίσει αρκετά καλά τα ίχνη της θερμικής εστίας, ενώ παράλληλα αποδίδει μικρότερο βαθμό επικινδυνότητας στις υπόλοιπες περιοχές της εικόνας.

Εκτός αυτού, ο Ασαφής Ταξινομητής ελέγχθηκε ως προς την ικανότητά του να αποκλείει τους ψευδοσυναγερμούς αφού κλήθηκε να «αποφανθεί» για περιοχές του χώρου στις οποίες δεν υπήρχε εστία φωτιάς. Τα ζεύγη εικόνων στην Εικόνα 5.3, είναι ενδεικτικά της συμπεριφοράς του συστήματος όταν του ζητηθεί να επεξεργαστεί εικόνες στις οποίες απουσιάζει κάποια φωτιά. Το σύστημα εξετάζει διάφορες περιοχές της εικόνας αλλά δεν αποδίδει σε καμία βαθμό επικινδυνότητας ικανό να ενεργοποιήσει το σήμα του συναγερμού. Γενικά η συμπεριφορά του συστήματος όσον αφορά τους ψευδοσυναγερμούς ήταν ικανοποιητική αφού αυτοί παρατηρήθηκαν ελάχιστες φορές.

Εικόνες εισόδου

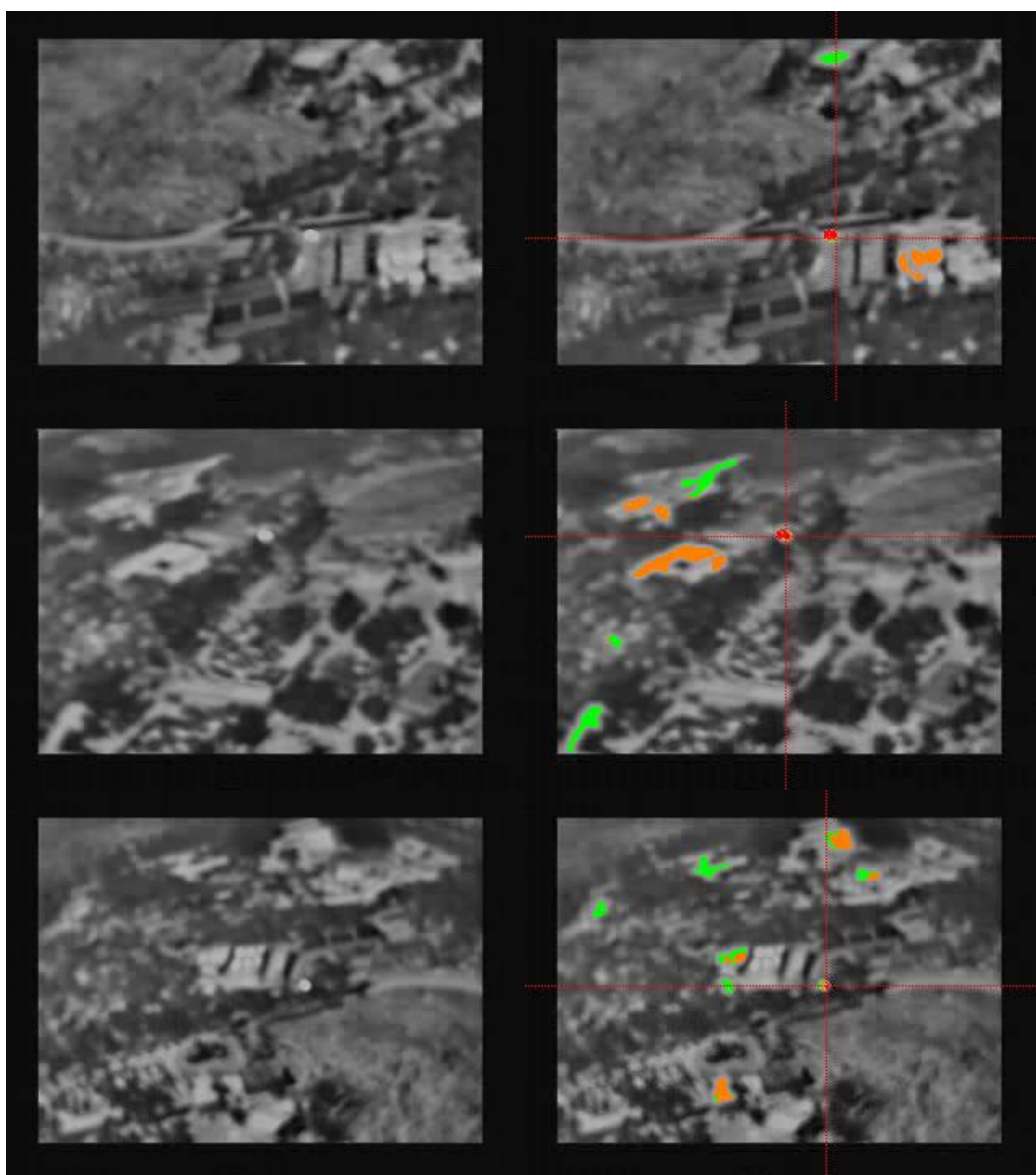
Έξοδος ταξινομητή



Εικόνα 5.1 : Αποτελέσματα της λειτουργίας του ταξινομητή σε περιοχή με φωτιά.

Εικόνες εισόδου

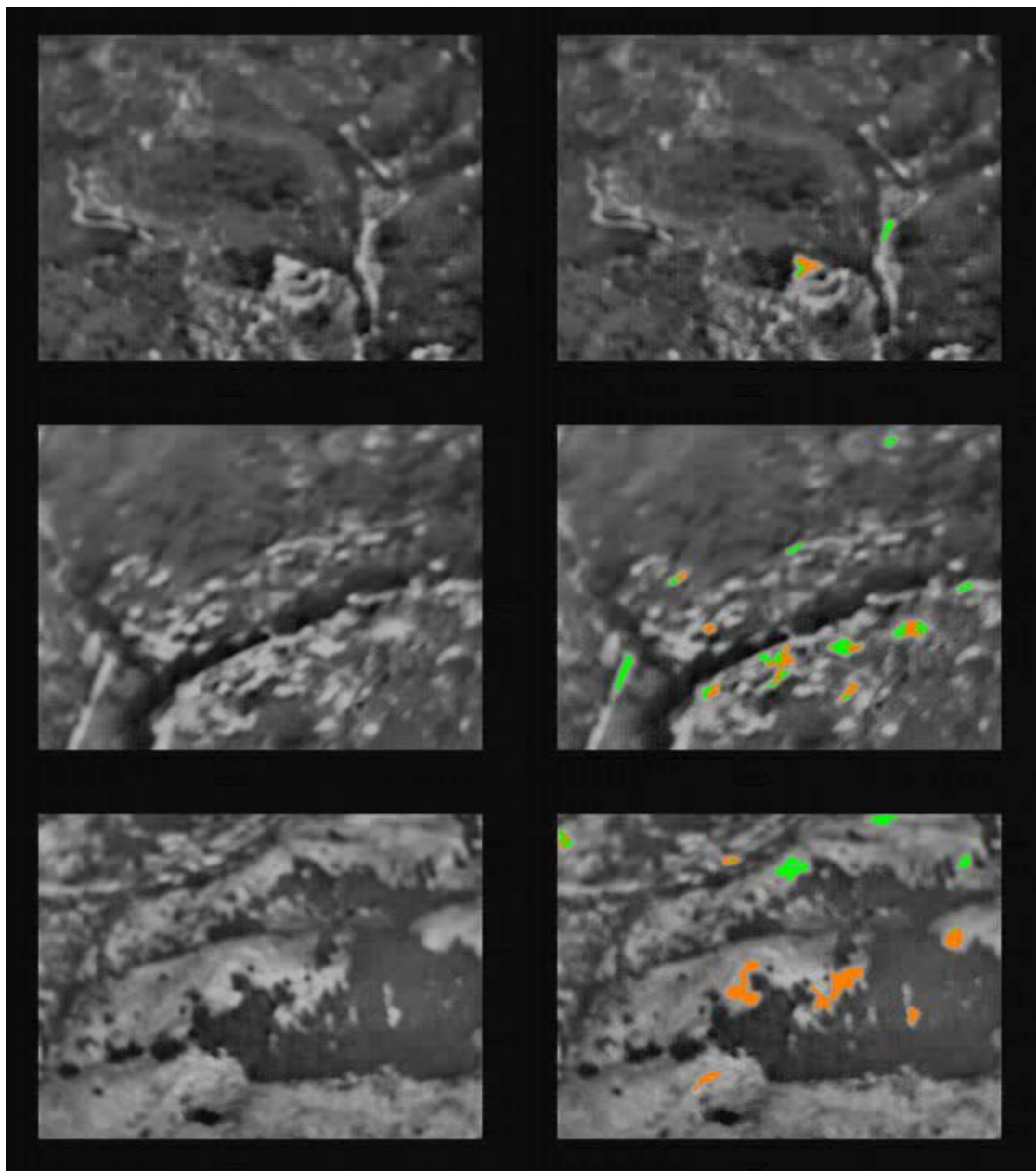
Έξοδος ταξινομητή



Εικόνα 5.2 : Αποτελέσματα της λειτουργίας του ταξινομητή σε περιοχή με φωτιά (διαφορετικές όψεις).

Εικόνες εισόδου

Έξοδος ταξινομητή



Εικόνα 5.3 : Αποτελέσματα της λειτουργίας του ταξινομητή σε περιοχή χωρίς φωτιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Σχεδίαση με τη βοήθεια γενετικού αλγόριθμου

6.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στην προσπάθεια που έγινε προς την κατεύθυνση της αυτοματοποίησης της διαδικασίας σχεδιασμού του συστήματος. Ο στόχος είναι να προκύψει ένα σύστημα προσαρμοσμένο στον εντοπισμό πυρκαγιών σαν αυτό του προηγούμενου κεφαλαίου επιλέγοντας τιμές για ορισμένες παραμέτρους του συστήματος με αυτόματο τρόπο. Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για να διαμορφωθούν αυτόματα είναι οι a_{ij} b_{ij} c_{ij} d_{ij} για $i=1$ και $j=1,2,3$ που καθορίζουν την μορφή των συναρτήσεων συμμετοχής της μεταβλητής εισόδου *μέση ένταση* του ασαφούς ταξινομητή. Από τις μεθόδους που ήταν διαθέσιμες επιλέχθηκε η χρήση γενετικού αλγόριθμου λόγω της πληθώρας των υποψηφίων λύσεων για τις τιμές των παραμέτρων a_{ij} b_{ij} c_{ij} d_{ij} και της ανεπαρκούς γνώσης της μορφολογίας του χώρου αναζήτησης των λύσεων.

6.2 Βασικά στοιχεία γενετικού αλγορίθμου

Ο γενετικός αλγόριθμος που υλοποιήθηκε, όπως άλλωστε και κάθε άλλος, εμπεριέχει τα παρακάτω στοιχεία [13] :

Χρωμοσώματα τα οποία είναι της μορφής $x=(a_{ij} b_{ij} c_{ij} d_{ij})$ για $i=1$ και $j=1,2,3$ και αποτελούν τις εναλλακτικές λύσεις

Συνάρτηση καταλληλότητας (fitness) η οποία καθορίζει το πόσο κατάλληλη είναι μια συγκεκριμένη λύση. Στην συγκεκριμένη υλοποίηση όταν σε μια εικόνα υπάρχει εστία και αυτή εντοπιστεί η συνάρτηση καταλληλότητας είναι $fitness(x) = e^{-0.05dist}$ όπου *dist* η ευκλείδεια απόσταση πάνω στην εικόνα του σημείου που υποδεικνύει ο αλγόριθμος ως εστία από την πραγματική της θέση. Στην

περίπτωση που δεν υπάρχει εστία και το σύστημα δεν ενεργοποιήσει τον συναγερμό τότε $fitness(x)=1$, ενώ $fitness(x)=0$ σε κάθε άλλη περίπτωση.

Τελεστής επιλογής (selection) ο οποίος επιλέγει χρωμοσώματα από τον πληθυσμό για αναπαραγωγή ανάλογα με την καταλληλότητά τους. Κάθε άτομο του πληθυσμού αναμένεται να επιλεγεί για αναπαραγωγή τόσες φορές όσο το πηλίκο της καταλληλότητάς του προς το μέσο όρο καταλληλότητας του πληθυσμού.

Τελεστής διασταύρωσης (crossover) με τη βοήθεια του οποίου επιλέγεται τυχαία μια θέση (locus) στα προς διασταύρωση χρωμοσώματα και ανταλλάσσει τα περιεχόμενά τους από αυτή την θέση και μετά.

Τελεστής μετάλλαξης (mutation) ο οποίος αλλάζει τυχαία τα περιεχόμενα ενός χρωμοσώματος. Με δεδομένη ότι τα χρωμοσώματα περιέχουν πραγματικούς αριθμούς ο τελεστής της μετάλλαξης προσθέτει σε ένα τυχαίο στοιχείο του χρωμοσώματος έναν τυχαίο αριθμό στο $[-5,5]$.

6.3 Λειτουργία του γενετικού αλγόριθμου

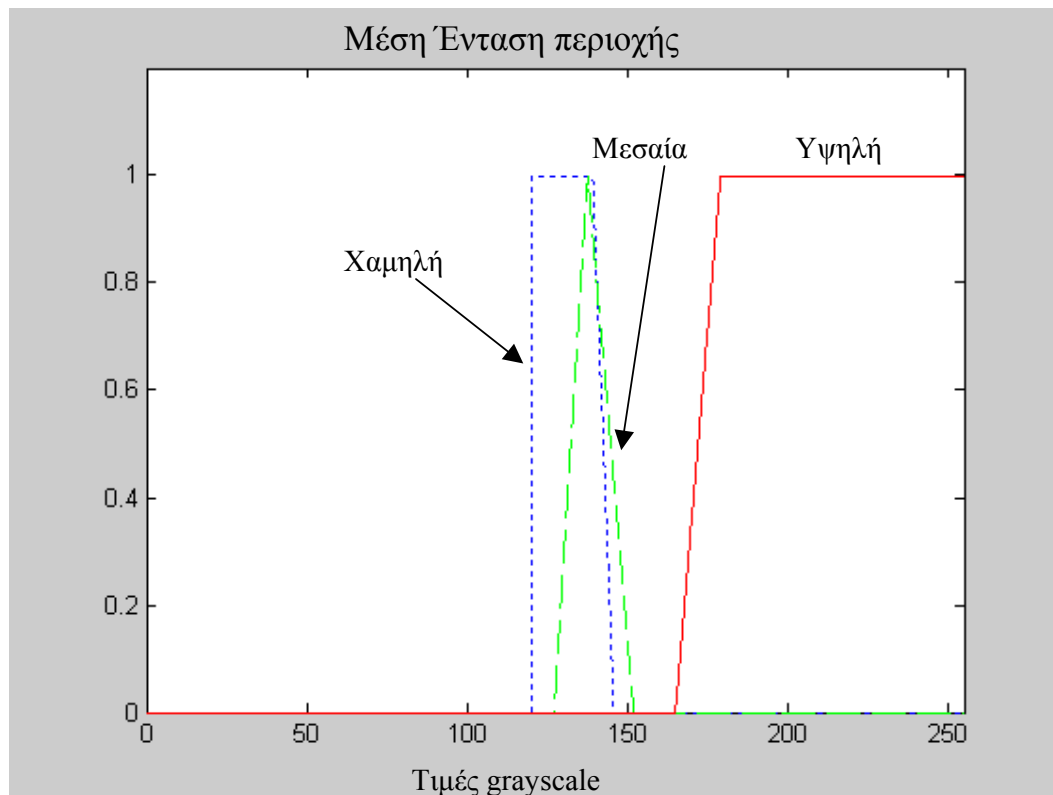
Με δεδομένα τα παραπάνω η λειτουργία του αλγόριθμου έχει ως εξής:

1. Ξεκίνα με ένα τυχαία παραγόμενο πλήθος χρωμοσωμάτων
2. Υπολόγισε την συνάρτηση καταλληλότητας $fitness(x)$ για κάθε χρωμόσωμα x του πληθυσμού
3. Επανάλαβε τα παρακάτω βήματα μέχρι να δημιουργηθούν 100 απόγονοι:
 - α) Επέλεξε ένα ζεύγος χρωμοσωμάτων ως γονείς
 - β) Με πιθανότητα διασταύρωσης $p_c=0.7$ διασταύρωσε τα χρωμοσώματα σε ένα τυχαίο σημείο τους για να δημιουργηθούν δύο απόγονοι. Αν δεν γίνει διασταύρωση, τότε οι απόγονοι είναι ακριβή αντίγραφα των γονιών τους.
 - γ) Μετάλλαξε τους δύο απόγονους σε κάθε σημείο τους με πιθανότητα μετάλλαξης $p_m=0.001$ και τοποθέτησέ τους στον νέο πληθυσμό.
4. Αντικατέστησε τον παλιό πληθυσμό με τον νέο.
5. Πήγαινε στο βήμα 2

Κάθε επανάληψη αυτής της διαδικασίας ονομάζεται γενιά (generation). Το σύνολο των γενεών αποκαλείται τρέξιμο (run). Ένα τρέξιμο στην συγκεκριμένη υλοποίηση

αποτελείται από 100 γενεές. Στο τέλος κάθε τρεξίματος επιλέγεται το καταλληλότερο χρωμόσωμα, δηλαδή αυτό που έδωσε μεγαλύτερη τιμή $fitness(x)$, ως η καλύτερη λύση.

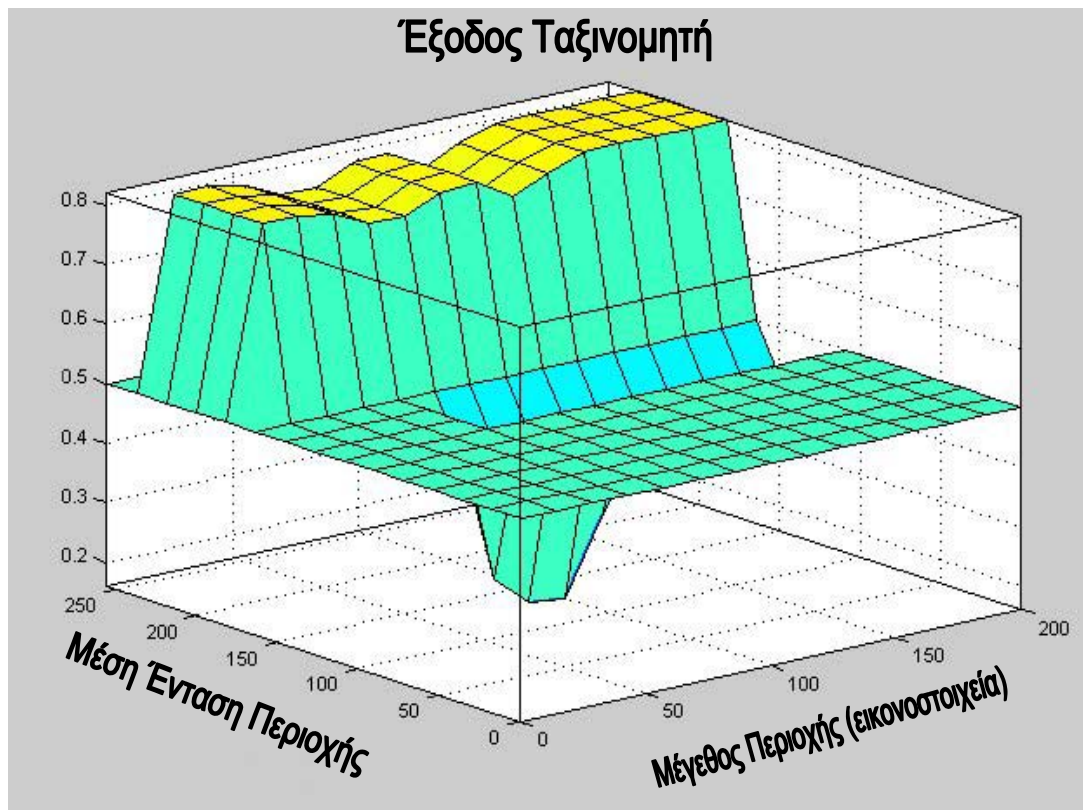
Μετά από μια διαδικασία πειραματισμών που περιελάμβανε αρκετά τρεξίματα του αλγόριθμου, ως «καλύτερη» λύση επιλέχθηκε το χρωμόσωμα που διαμορφώνει τις συναρτήσεις συμμετοχής της μεταβλητής εισόδου *μέση ένταση* του ασαφούς ταξινομητή με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1: Συναρτήσεις συμμετοχής για την *Μέση Ένταση* όπως προέκυψαν από την εφαρμογή του γενετικού αλγόριθμου

Όπως είναι εύκολο να παρατηρηθεί, ο διαχωρισμός ανάμεσα στις συναρτήσεις που αντιστοιχούν στην *Χαμηλή* και στην *Μεσαία* ένταση δεν είναι εμφανής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο γενετικός αλγόριθμος ευνοεί εκείνα τα άτομα-λύσεις που είναι ικανά να εντοπίζουν τις εστίες φωτιάς, χωρίς να δίνουν μεγάλη βαρύτητα στον χαρακτηρισμό των υπόλοιπων περιοχών. Τέλος, η μορφή της εξόδου του ταξινομητή

σε συνάρτηση με το μέγεθος και την μέση ένταση όπως προέκυψε από την εφαρμογή του γενετικού αλγόριθμου φαίνεται στο Σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2: Η έξοδος του ταξινομητή σε συνάρτηση με το μέγεθος και την μέση ένταση όπως προέκυψε από την εφαρμογή του γενετικού αλγόριθμου

6.4 Αποτελέσματα

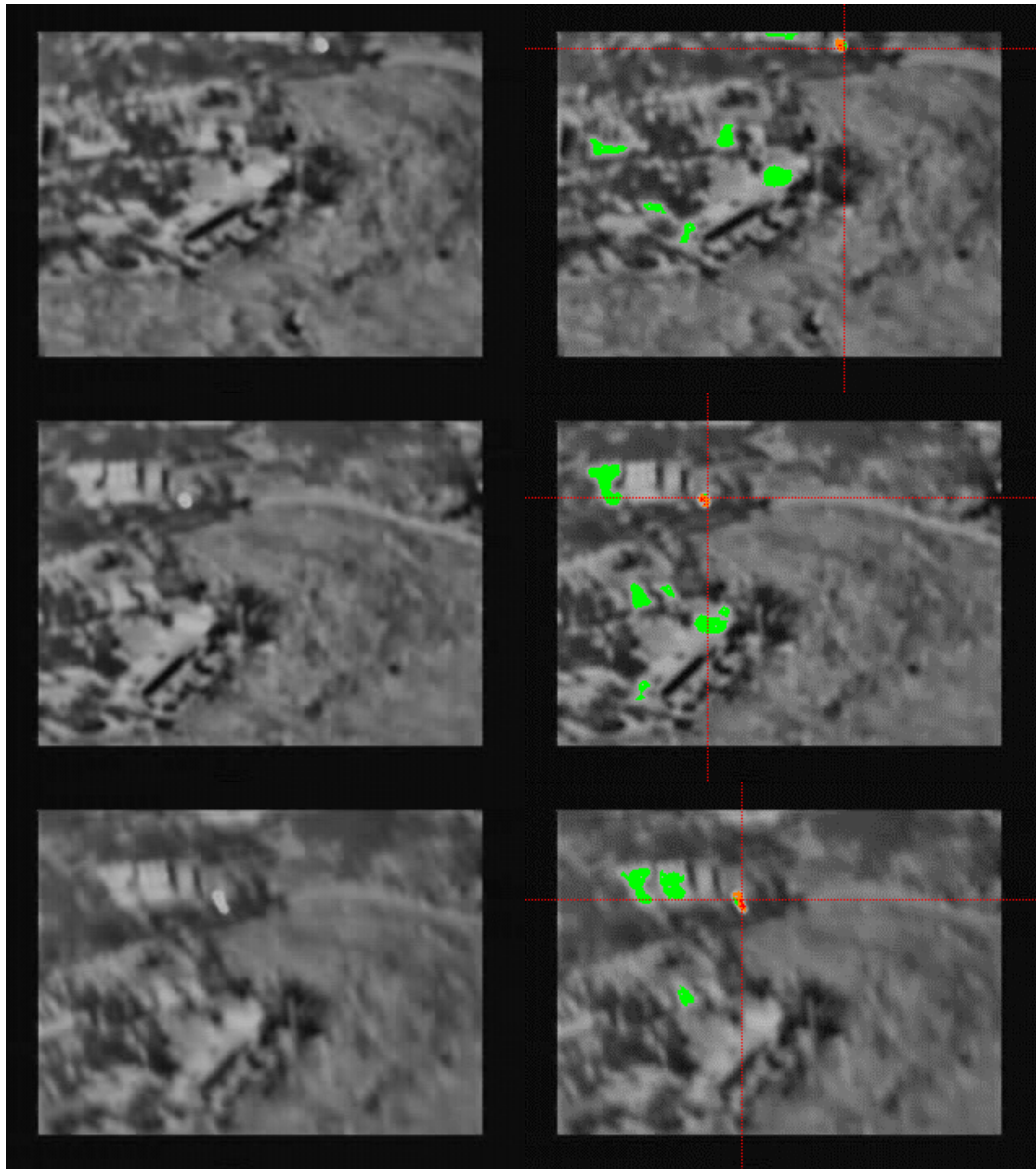
Κατά την διαδικασία της εξέλιξης της λύσης χρησιμοποιήθηκε ως σύνολο εκπαίδευσης, μια σειρά διακοσίων (200) περίπου εικόνων. Ανάμεσα τους υπήρχαν κάποιες στις οποίες όντως υπήρχε θερμικό ίχνος πυρκαγιάς ενώ σε ένα άλλο, μικρότερο, μέρος του συνόλου απουσίαζε κάθε εστία θερμότητας οφειλόμενη σε φωτιά. Το άτομο-λύση που προέκυψε, κατάφερε να ταξινομήσει σωστά το 90% περίπου των εικόνων. Κατόπιν υποβλήθηκε σε δοκιμασία το σύστημα καλούμενο να αντιδράσει και να ταξινομήσει σωστά μια διαφορετική σειρά εικόνων από αυτήν στην

οποία εκπαιδεύτηκε. Και πάλι η απόδοσή του κυμάνθηκε στα ίδια πλαίσια χωρίς να αποφύγει όμως εντελώς κάποιους ψευδοσυναγεργμούς.

Η συμπεριφορά αυτή είναι εμφανής στις Εικόνες 6.1, 6.2 και 6.3 όπου παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια αποτελέσματα της λειτουργίας του συστήματος που σχεδιάστηκε με την βοήθεια γενετικού αλγόριθμου.

Εικόνες εισόδου

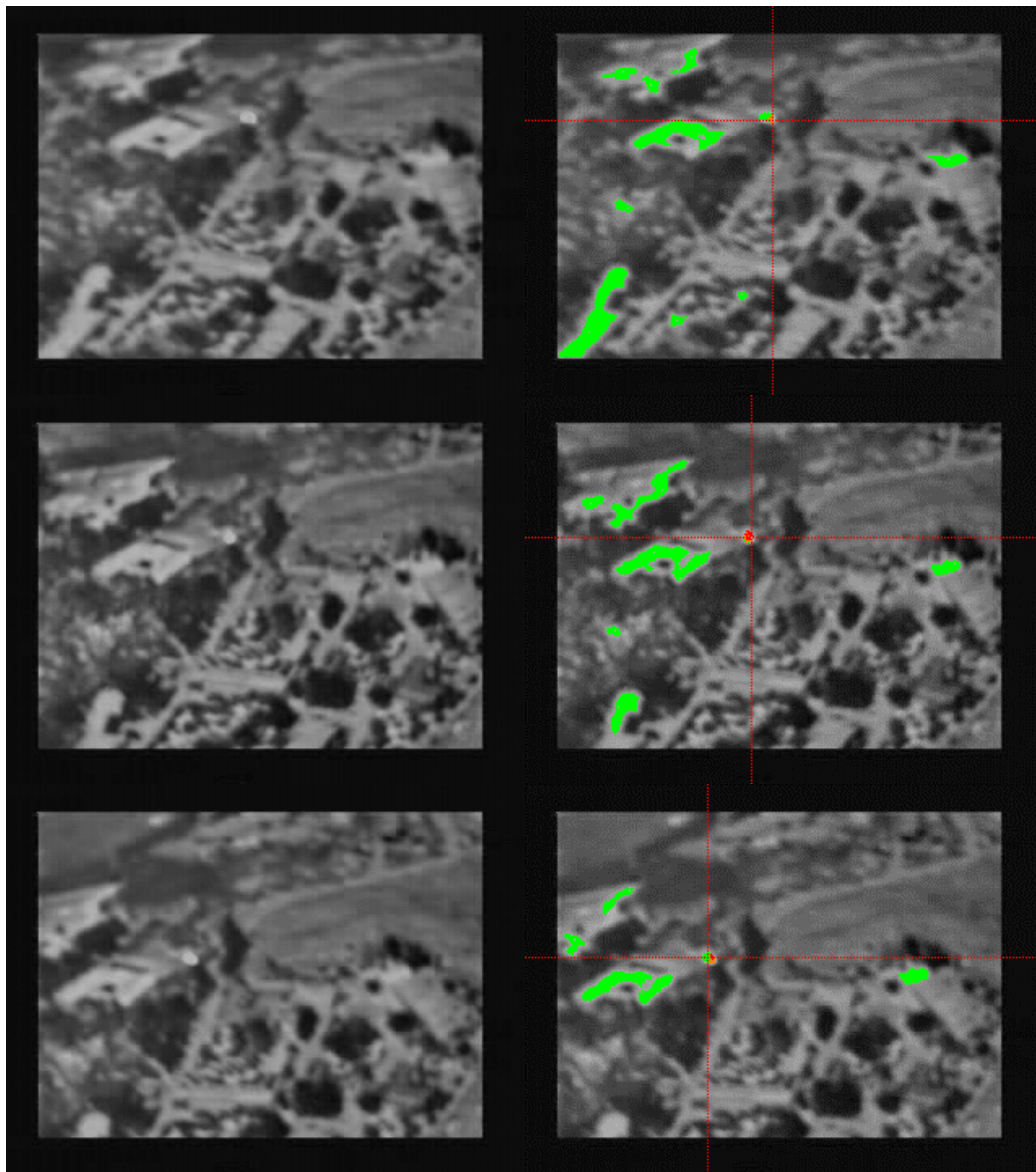
Έξοδος ταξινομητή



Εικόνα 6.1 : Αποτελέσματα της λειτουργίας του ταξινομητή σε περιοχή με φωτιά.

Εικόνες εισόδου

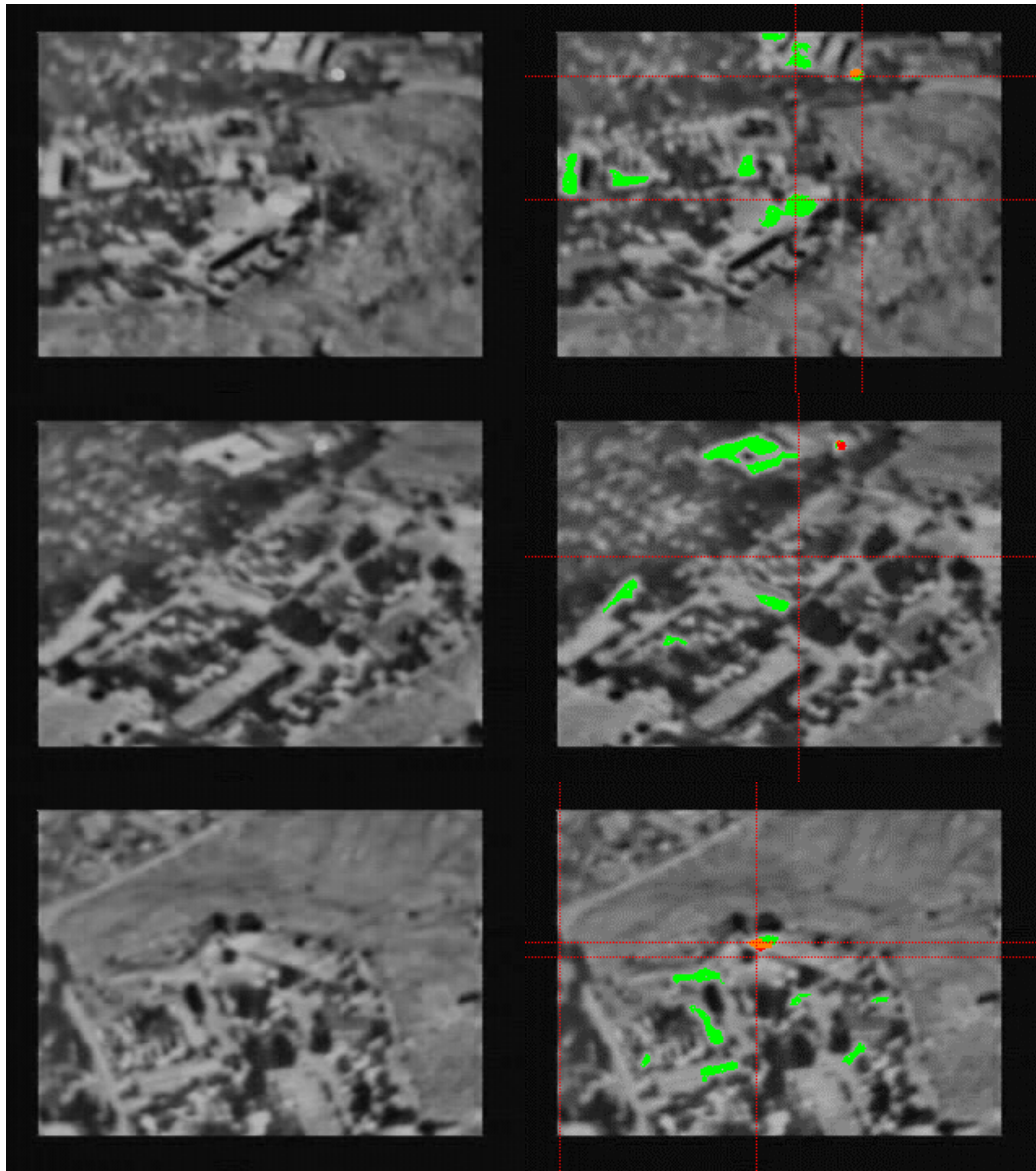
Έξοδος ταξινομητή



Εικόνα 6.2 : Αποτελέσματα της λειτουργίας του ταξινομητή σε περιοχή με φωτιά. (διαφορετικές όψεις).

Εικόνες εισόδου

Έξοδος ταξινομητή



Εικόνα 6.3 : Αποτελέσματα της λειτουργίας του ταξινομητή κατά την οποία δεν αποφεύγονται ψευδοσυναγερμοί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Παρατηρήσεις και Συμπεράσματα

7.1 Αξιολόγηση αλγόριθμου

Στόχος της εργασίας ήταν η παρουσίαση μιας μεθοδολογίας σχεδίασης ενός συστήματος μηχανικής όρασης για εναέρια επιτήρηση με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Οι αλγόριθμοι που υλοποιήθηκαν, τόσο αυτός που αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4 όσο και εκείνος που προέκυψε με την βοήθεια ενός γενετικού αλγόριθμου, επέδειξαν ικανοποιητική συμπεριφορά έχοντας ένα ποσοστό ορθής ανίχνευσης του αναζητούμενου αντικειμένου κοντά στο 90%. Σφάλματα σίγουρα υπήρξαν, ιδιαίτερα στην περίπτωση του συστήματος που προέκυψε από τον γενετικό, αλλά δεν επηρεάζουν την γενική εικόνα της απόδοσης. Κατά την διάρκεια των δοκιμών με διάφορες σειρές εικόνων, το σύστημα κατάφερε να ελαχιστοποιήσει τις εσφαλμένες ταξινομήσεις λόγω ανακλάσεων και διάφορων άλλων διαταραχών χωρίς να θυσιάζει την ευαισθησία ανίχνευσης όπως θα ήταν αναμενόμενο.

Παρ' όλα αυτά το σύστημα δεν διαθέτει την κατ' εξοχήν ιδιότητα ενός «ευφυούς» συστήματος : την προσαρμοστικότητα στα νέα δεδομένα. Αν και η αυτόματη επιλογή κάποιων σχεδιαστικών χαρακτηριστικών του συστήματος, με τον τρόπο που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 7, θα μπορούσε να εκληφθεί ως μιας μορφής προσαρμογής σε δεδομένα, το γεγονός ότι αυτή είναι εφικτή μόνο όταν το σύστημα είναι εκτός λειτουργίας (off line training) εξακολουθεί να στερεί από αυτό την δυνατότητα να αναπροσαρμόζει την δομή του συνεχώς (on line adaptation).

7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Το πρόβλημα που διαπραγματεύεται η παρούσα εργασία ανήκει στο ευρύτερο πεδίο της μηχανικής όρασης, αναγνώρισης προτύπων και ταξινόμησης. Ως τέτοιο παραμένει ανοικτό και επιδέχεται πολλές προσεγγίσεις όσο και προσθήκες. Η προσέγγιση μέσω ασαφούς λογικής που πραγματοποιήθηκε δεν είναι με κανένα τρόπο η μοναδική. Εναλλακτικές αυτής αποτελούν οι στηριζόμενες σε πιθανοθεωρητικά μοντέλα (Bayes classifier) ή σε νευρωνικά δίκτυα.

Μία από τις επεκτάσεις του συστήματος θα μπορούσε να είναι η προσθήκη ενός μηχανισμού μάθησης που να επενεργεί στο σύστημα και να το διαμορφώνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του προσαρμόζοντάς το στις εκάστοτε συνθήκες του προβλήματος (on line adaptation).

Η επιλογή περισσότερων σχεδιαστικών παραμέτρων (βλ. Πίνακα 4.1) με αυτόματο τρόπο, θα ήταν δυνατό να οδηγήσει τόσο στην ανάπτυξη ενός καλύτερου συστήματος, όσο και στην πληρέστερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο συσχετίζονται οι παράμετροι με την επίδοση του συστήματος. Το τελευταίο είναι ένα πολύ καλό βήμα προς την γενικότερη κατανόηση του θέματος της μηχανικής όρασης.

Βιβλιογραφία

- [1] Floyd F Sabins. Jr, Remote Sensing Principles and Interpretation, Freeman, 1990R.
- [2] G.G. Wright, K.B. Matthews, W.M. Cadell and R. Milne, "Reducing the cost of multi-spectral remote sensing: combining near-infrared video imagery with colour aerial photography", Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture 00, 2002, pp. 1-24, (in press).
- [3] Akira Sato, "Research, development and civil application of an autonomous, unmanned helicopter", Aeronautic Operations, YAMAHA MOTOR CO., LTD., Shizuoka, Japan.
- [4] Gonzalez R. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley, 1992.
- [5] James C. Tilton, "Image Segmentation by Region Growing and Spectral Clustering with a Natural Convergence Criterion", NASA's Goddard Space Flight Center, Proceedings of the 1998 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '98), Seattle, WA, July 6-10, 1998.
- [6] S. Pal, S. Mitra, Neuro-fuzzy pattern recognition: methods in soft computing, Wiley, New York, 1999.
- [7] H.S. Nguyen, A.Skowron, M. Szczuka "Situation Identification by Unmanned Aerial Vehicle" W. Ziarko and Y. Yao (Eds.): RSCTC 2000, LNAI 2005, pp. 49-56, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 2001.
- [8] D.I. Jones "Aerial inspection of overhead power lines using video: estimation of image blurring due to vehicle and camera motion", *IEE Proc.-Vis. Image Signal Process*, Vol. 147, No. 2, April 2000.

- [9] Stefan Hinz and Albert Baumgartner «Vehicle Detection in Aerial Images Using Generic Features, Grouping, and Context» B. Radig and S. Florczyk (Eds.): DAGM 2001, LNCS 2191, pp. 45–52, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001.
- [10] Κίνγκ, Ρ. “Υπολογιστική Νοημοσύνη στον Έλεγχο Συστημάτων”. Εκδοτικός Οίκος Π. Τραυλός-Ε. Κωσταράκη, 1998.
- [11] R. Jain, R Kasturi, B.G. Schunck, Machine Vision, McGraw-Hill, New York, 1995.
- [12] Paul Robertson, "An architecture for self-adaptation and its application to aerial image understanding", University of Oxford, Dept. of Engineering Science, P. Robertson, H. Shrobe, and R. Laddaga (Eds.): IWSAS 2000, LNCS 1936, pp. 199–223, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000.
- [13] Mitchel Melanie, “An introduction to genetic algorithms”, MIT Press, 1996.
- [14] Jun Xu, Jiang-qi Zhang and Chang-hong Liang, "Prediction of the performance of an algorithm for the detection of small targets in infrared images", Elsevier, Infrared Physics & Technology, Vol. 42, pp. 17-22, 2001.