



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ

**“Ασαφής λογική για ευφυή έλεγχο με εφαρμογές σε οχήματα αυτόματης
πλοήγησης”**
“Fuzzy logic for intelligent control with applications in auto-motive vehicles”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργάκης Θωμάς

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Τσουκαλάς Ελευθέριος

Καθηγητής

Μπαργιώτας Δημήτριος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Βόλος 2017

Διπλωματική εργασία για την απόκτηση του Διπλώματος του Μηχανικού Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στα πλαίσια του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Copyright © GeorgakisThomas, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστώ θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές κ. Τσουκαλά Ελευθέριο και τον κ. Μπαργιώτα Δημήτριο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και την άριστη συνεργασία και τις υποδείξεις που διευκόλυναν την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Τσουκαλά για τις κατευθύνσεις που μου έδωσε καθώς αποδείχτηκαν πολύτιμες. Ιδιαίτερα τον ευχαριστώ για το άμεσο ενδιαφέρον που έδειξε όποτε του ζητήθηκε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους που κέρδισα αυτά τα χρόνια και για ότι περάσαμε μαζί. Τους ευχαριστώ για την στήριξή τους και την πολύτιμη βοήθεια τους. Όλους αυτούς τους ανθρώπους που μου έμαθαν να αγωνίζομαι και να παλεύω στη ζωή μου για το οτιδήποτε, από το πιο μικρό ως το πιο μεγάλο, να μην τα παρατάω στις δυσκολίες και να μη το βάζω κάτω. Σε όλους αυτούς που ο καθένας από την πλευρά του με βοήθησαν να φτάσω στο τέλος των σπουδών μου.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την οικογένεια μου που όλα αυτά τα χρόνια με στήριξαν, με βοήθησαν και με εμπιστεύτηκαν. Θεωρώ πως πρέπει να τους ευχαριστήσω για την υλική και ηθική στήριξη που μου έδειξαν. Χωρίς αυτούς τίποτα δεν θα ήταν εφικτό.

Abstract

Fuzzy logic in our days is a powerful way to put know-how into intelligent systems in a short period of time. Particularly in recent years it has proved very important its use in the design of systems in the automotive industry. Fuzzy logic is a design technology that has been particularly applied in recent years in Japan, Korea, Germany, Sweden, France. First, the control systems in cars are nonlinear, they contain many parameters and are quite complex. Second, the optimization of most systems is based on engineering know-how rather than on mathematical models, for example "good handling" or "comfortable driving" are optimization goals that cannot be defined mathematically.

This diploma thesis provides an effective way of designing an automotive braking system as well as an anti-blocking system (ABS) using fuzzy logic. The responses of both systems will be simulated using Matlab's Fuzzy Logic Toolbox.

The first system is able to avoid accidents caused by delaying the driver's response to critical situations. Car collision avoidance systems, which aim to enhance the active safety of the vehicle, have become a hot research topic in recent years. However, many of today's systems ignore, for example, various parameters, such as the active protection of pedestrians and other vulnerable groups in the transport system.

The purpose of this fuzzy logic controller is to brake the car when it approaches an obstacle over a certain range of distance. This system uses a base of 60 rules and four engagement functions. The three system parameters are the vehicle's distance to the obstacle, the vehicle speed and the speed of the obstacle. The output of the controller automatically determines the braking force of the car.

Automated navigation vehicles need to constantly adjust their speed according to road conditions, traffic, etc. With the increase in vehicle speed and density, anti-blocking systems are constantly being developed and applied to these vehicles taking into account the safety performance of the vehicle. Anti-blocking systems are used in modern cars to prevent wheel locking during brake braking. The aim of the ABS controller in this thesis is to keep the wheel slip ratio as close as possible to the constant slip value of 0.2, which is the ideal slip value to reduce the braking distance and ensure safe operation vehicle while braking. The vehicle has been simulated on a dry paved road taking into account only straight braking.

Περίληψη

Η ασαφής λογική στις μέρες μας είναι ένας ισχυρός τρόπος για να βάλουμε την τεχνογνωσία σε ευφυή συστήματα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια έχει αποδειχτεί πολύ σημαντική η χρήση της σε σχεδίαση συστημάτων στον χώρο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η ασαφής λογική είναι μία τεχνολογία σχεδιασμού που εφαρμόζεται ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια στην Ιαπωνία, Κορέα, Γερμανία, Σουηδία, Γαλλία. Οι λόγοι είναι πολλαπλοί. Πρώτον τα συστήματα ελέγχου στα αυτοκίνητα είναι μη γραμμικά, περιλαμβάνουν πολλές παραμέτρους και είναι αρκετά περίπλοκα. Δεύτερον, η βελτιστοποίηση των περισσότερων συστημάτων βασίζονται στην τεχνογνωσία της μηχανικής αντί σε μαθηματικά μοντέλα, για παράδειγμα ο «καλός χειρισμός» ή η «άνετη οδήγηση» είναι στόχοι βελτιστοποίησης που δεν μπορούν να οριστούν μαθηματικά.

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρέχει έναν αποτελεσματικό τρόπο σχεδιασμού ενός αυτόματου συστήματος πέδησης αυτοκινήτου καθώς και ενός συστήματος αντί-μπλοκαρίσματος τροχών (ABS) χρησιμοποιώντας ασαφής λογική. Οι αποκρίσεις και των δύο συστημάτων θα προσομοιωθούν με την χρήση του Fuzzy Logic Toolbox της Matlab.

Το πρώτο σύστημα έχει τη δυνατότητα να αποφεύγει ατυχήματα που προκαλούνται από την καθυστέρηση της αντίδρασης του οδηγού σε κρίσιμες καταστάσεις. Τα συστήματα αποφυγής συγκρούσεων αυτοκινήτων, τα οποία στοχεύουν στην ενίσχυση της ενεργητικής ασφάλειας του οχήματος, έχουν γίνει ένα θερμό ερευνητικό θέμα τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, πολλά από τα σημερινά συστήματα αγνοούν για παράδειγμα διάφορους παραμέτρους, όπως την ενεργό προστασία των πεζών και άλλων ευάλωτων ομάδων στο σύστημα μεταφοράς. Σκοπός του συγκεκριμένου ελεγκτή ασαφούς λογικής είναι να φρενάρει το αυτοκίνητο όταν προσεγγίζει ένα εμπόδιο σε ένα συγκεκριμένο εύρος απόστασης. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί μία βάση 60 κανόνων και τεσσάρων συναρτήσεων συμμετοχής. Οι τρεις παράμετροι του συστήματος είναι η απόσταση του οχήματος με το εμπόδιο, η ταχύτητα του οχήματος καθώς και η ταχύτητα του εμποδίου. Η έξοδος του ελεγκτή καθορίζει αυτόματα την δύναμη φρεναρίσματος του αυτοκινήτου.

Τα οχήματα αυτόματης πλοήγησης έχουν την ανάγκη να προσαρμόζουν συνεχώς την ταχύτητά τους σύμφωνα με τις συνθήκες του οδοστρώματος, της κυκλοφορίας κλπ. Με την αύξηση της ταχύτητας και της πυκνότητας των οδικών οχημάτων, τα συστήματα αντί-μπλοκαρίσματος τροχών αναπτύσσονται διαρκώς και εφαρμόζονται σε αυτά τα οχήματα λαμβάνοντας υπόψη την επίδοση της ασφάλειας του οχήματος. Τα συστήματα αντί-μπλοκαρίσματος τροχών χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα αυτοκίνητα για να αποτρέψουν το μπλοκάρισμα των τροχών κατά την πέδηση φρεναρίσματος. Ο στόχος του ελεγκτή ABS στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι να διατηρήσει τον λόγο ολίσθησης του τροχού όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη σταθερή τιμή ολίσθησης 0,2, η οποία είναι η ιδανική επιθυμητή τιμή ολίσθησης προκειμένου να μειωθεί η απόσταση φρεναρίσματος και να εξασφαλιστεί η ασφαλή λειτουργία του οχήματος ενώ πραγματοποιείται πέδηση. Το όχημα έχει προσομοιωθεί σε στεγνό ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα λαμβάνοντας υπόψη μόνο την ευθεία φρεναρίσματος.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ABSTRACT	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	9
Κεφάλαιο 1	12
Εισαγωγή	12
1.1 Ευφυής έλεγχος.....	12
1.2 Ευφυείς ελεγκτές.....	12
1.3 Τεχνικές του ευφυούς ελέγχου	13
1.3.1 Έμπειρα συστήματα	14
1.3.2 Ασαφής λογική.....	14
1.3.3 Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα	14
1.3.4 Υβριδικά συστήματα	15
Κεφάλαιο 2	16
Ασαφής λογική.....	16
2.1 Εισαγωγή	16
2.2 Το ασαφές σύνολο	18
2.2.1 Στοιχεία των ασαφών συνόλων	20
2.2.2 Πράξεις μεταξύ ασαφών συνόλων.....	21
2.3 Ο ασαφής κανόνας.....	22
2.3.1 Ασαφής συμπερασμός του στοιχειώδους ασαφούς συστήματος	22
2.3.2 Ασαφής συμπερασμός συστήματος με περισσότερους του ενός ασαφείς κανόνες.	27
Κεφάλαιο 3	30
Σύστημα αποφυγής σύγκρουσης.....	30
3.1 Εισαγωγή	30
3.2 Στρατηγική ελέγχου φρεναρίσματος	32

Κεφάλαιο 4	36
Σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος τροχών (ABS)	36
4.1 Εισαγωγή	36
4.1.1 Λειτουργία του συστήματος ABS	37
4.2 Στόχοι ενός συστήματος ABS	38
4.2.1 Μείωση της απόστασης κατά τη διάρκεια φρεναρίσματος	38
4.2.2 Σταθερότητα οχήματος.....	38
4.2.3 Ομαλότητα οχήματος	39
4.3 Τα μέρη ενός συστήματος ABS και η λειτουργία τους	39
4.4 Μοντελοποίηση του συστήματος.....	41
4.5 Σύστημα ελέγχου ανατροφοδότησης κλειστού βρόχου.....	43
Κεφάλαιο 5	44
Ασαφής ελεγκτής συστήματος πέδησης οχήματος.....	44
5.1 Σχεδίαση του Ασαφή Ελεγκτή	44
5.2 Λεκτικός διαμερισμός εισόδων-εξόδου	46
5.3 Διατύπωση κανόνων του ασαφούς συστήματος ελέγχου.....	47
Κεφάλαιο 6	51
Ασαφής ελεγκτής συστήματος ABS.....	51
6.1 Εισαγωγή	51
6.2 Σχεδίαση του ασαφή ελεγκτή	51
6.3 Λεκτικός διαμερισμός εισόδων-εξόδου	52
6.4 Διατύπωση κανόνων του ασαφούς συστήματος ελέγχου.....	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	56

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Ευφυής Έλεγχος

Τα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου βρίσκονταν στο επίκεντρο για πολλές δεκαετίες, προσφέροντας στην ανθρωπότητα συστήματα που πλέον θεωρούνται απαραίτητα, όπως είναι ο θερμοστάτης σε οικιακές εφαρμογές, το τηλέφωνο, το αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων, οι αυτόματοι υαλοκαθαριστήρες στα αυτοκίνητα κτλ. Ωστόσο το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης στη βιομηχανία καθώς και οι συνεχείς αυξανόμενες απαιτήσεις πολύπλοκων διαδικασιών οδήγησαν στην προσπάθεια εύρεσης νέων μη-συμβατικών τεχνικών, οι οποίες στηρίζονται στην ανθρώπινη γνώση και εμπειρία (Υπολογιστική Νοημοσύνη).

Μέρη της Υπολογιστικής Νοημοσύνης αποτελούν τα Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems), η Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic) και τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks), όπως και οι συνδυασμοί τους. Η περιοχή αυτή είναι γνωστή ως **Ευφυής Έλεγχος**.

Ο Ευφυής Έλεγχος χρησιμοποιείται σε πολύπλοκα συστήματα στα οποία είναι δύσκολο ή και αδύνατο να βρεθεί το μαθηματικό μοντέλο, σε αντίθεση με τις συμβατικές τεχνικές, στις οποίες είναι απαραίτητη η γνώση της διεργασίας.

Ουσιαστικά ο Ευφυής Έλεγχος στηρίζεται στη μίμηση του ανθρώπου και την αναπαραγωγή της ανθρώπινης γνώσης, εμπειρίας και συλλογισμού. Βασικό μέλημα του είναι να βρίσκει λύσεις στο πρόβλημα ελέγχου μιας διαδικασίας αντιδρώντας όπως ένας άνθρωπος χειριστής, δηλαδή επιδιώκει ο χειριστής της διαδικασίας να προτυποποιείται.

Η πρώτη εφαρμογή του Ευφυή Ελέγχου στη βιομηχανία (σύμφωνα με τον Ρ. Κίνγκ) ήταν στα τέλη του 1970 και έκτοτε έχει επιφέρει αξιόλογη βελτίωση στην ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος, την αύξηση της παραγωγικότητας, την εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και την αύξηση της διαθεσιμότητας του βιομηχανικού εξοπλισμού.

Σήμερα τα Ευφυή Συστήματα χρησιμοποιούνται σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές όπως σε βιομηχανίες τσιμέντου, πετρελαιοειδών, λιπασμάτων κτλ.

1.2 Ευφυείς Ελεγκτές

Στα Ευφυή Συστήματα υπάρχει σαφής διαχωρισμός της γνώσης της ελεγχόμενης διαδικασίας από το μηχανισμό συμπερασμού, με αποτέλεσμα ένας ευφυής ελεγκτής να

έχει την ικανότητα να είναι πολύ εύκαμπτος και να είναι δυνατή η χρήση του σε οποιαδήποτε διαδικασία απλά αλλάζοντας τη βάση γνώσης του.

Στον Ευφυή Έλεγχο οι λεκτικοί κανόνες (Linguist Rules) αναπαριστούν τη γνώση που είναι της μορφής “εάν (αίτια) τότε (συμπέρασμα)”. Ένας απλός λεκτικός κανόνας είναι:

AN

η Είσοδος 1 είναι Χαμηλή και η Είσοδος 2 είναι Υψηλή

TOTE

η Έξοδος είναι Κανονική

Είναι αυτονόητο σύμφωνα με τα παραπάνω, ότι ένας λεκτικός κανόνας μπορεί να γραφεί σε οποιαδήποτε υψηλή γλώσσα προγραμματισμού (όπως C++, LISP κτλ.) εφόσον υλοποιείται απλά με ένα σετ εντολών της μορφής AN...TOTE...ΑΛΛΙΩΣ (IF.....THEN....ELSE).

Στόχος του ευφυούς ελεγκτή (σύμφωνα με τον Ροβέρτο - Ε. Κινγκ) είναι να ενεργεί όπως ο άνθρωπος χειριστής, με τους ίδιους κανόνες δίχως όμως τα μειονεκτήματά του. Οι ευφυείς ελεγκτές, εφόσον λειτουργούν όπως και οι άνθρωποι χειριστές, έχουν την ικανότητα να ανταπεξέλθουν κάτω από ένα περιβάλλον ασάφειας και αβεβαιότητας τόσο της ελεγχόμενης διαδικασίας όσο και του περιβάλλοντός τους. Ένας ευφυής ελεγκτής, με λίγα λόγια, μιμείται τον καλύτερο άνθρωπο χειριστή της συγκεκριμένης διεργασίας. Σημαντικό όμως μειονέκτημά του σε σχέση με τον άνθρωπο χειριστή είναι, ότι δεν κατέχει την ικανότητα προσαρμογής και μάθησης νέων κανόνων.

1.3 Τεχνικές του Ευφυούς Ελέγχου

Οι τεχνικές του Ευφυούς Ελέγχου είναι όπως έχουν αναφερθεί και στις παραπάνω παραγράφους η Ασαφής Λογική, τα Έμπειρα Συστήματα, τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα καθώς και ο συνδυασμός (Υβριδικά Συστήματα).

Πρώτη αναπτύχθηκε η τεχνική της Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Logic), η οποία προτάθηκε το 1965 από τον Lotfi A. Zadeh, καθηγητή του πανεπιστημίου Berkeley της Καλιφόρνιας. Το ίδιο περίπου χρονικό διάστημα με την Ασαφή Λογική αναπτύχθηκαν τα Έμπειρα Συστήματα και έπειτα ακολούθησε η τεχνική των Νευρωνικών Δικτύων στα τέλη της δεκαετίας του 1980.

1.3.1 Έμπειρα Συστήματα

Τα Έμπειρα Συστήματα (Expert Systems ή Knowledge-Based Systems) είναι λογισμικά συστήματα τα οποία μιμούνται την απόδοση ενός έμπειρου ανθρώπου (ειδικού), μεταφέροντας την εμπειρία του σε ένα συγκεκριμένο τομέα του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Στην βιομηχανία τα Έμπειρα Συστήματα εφαρμόστηκαν για πρώτη φορά στις αρχές του 1980 και βρήκαν γρήγορα απήχηση εξαιτίας της μείωσης κόστους για την επίτευξη μίας περίπλοκης διεργασίας, του μειωμένου χρόνου διακοπής, της σύλληψης της ανεπαρκούς πείρας, της ευελιξίας στην παροχή υπηρεσίας, της λειτουργίας σε επικίνδυνες συνθήκες καθώς και της λειτουργίας κάτω από συνθήκες ανεπαρκείς και αβέβαιες.

Τέλος, τα έμπειρα συστήματα εφαρμόζονται στη σχεδίαση, διάγνωση και απεικόνιση των μηχανικών συστημάτων, στην πρόβλεψη των γεγονότων, σε αεροδιαστημικές εφαρμογές καθώς και στη εξήγηση των δεδομένων.

1.3.2 Ασαφής Λογική

Η Ασαφής Λογική (Fuzzy Logic) παρότι πρωτοεφαρμόστηκε στα μέσα του 1960 από τον Zadeh, έγινε αποδεκτή δέκα χρόνια αργότερα. Σε αυτό συντέλεσε το γεγονός ότι για αρκετά χρόνια η κλασική θεωρία των Συστημάτων Ελέγχου απορροφούσε το ενδιαφέρον της επιστημονικής αλλά και της βιομηχανικής κοινότητας, με αποτέλεσμα η τεχνική της Ασαφούς Λογικής να περιφρονηθεί, κυρίως από τις ΗΠΑ.

Η πρώτη εργαστηριακή εφαρμογή της τεχνικής αυτής στον έλεγχο διαδικασιών πραγματοποιήθηκε το 1974 από τον Ebrahim Mamdani, καθηγητή του Πανεπιστημίου Queen Mary College στο Λονδίνο. Ο Mamdani δικαίωσε τον Zadeh με την εφαρμογή αυτή - που ήταν μία απλούστευση στο μηχανισμό συμπερασμού του Zadeh – καθώς έδωσε θεαματικά αποτελέσματα, επιτυγχάνοντας τη χρήση αυτής της τεχνικής σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Περίπου το ίδιο χρονικό διάστημα, ένας άλλος καθηγητής από το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης, ο Larsen, απλούστευσε με διαφορετικό τρόπο το μηχανισμό συμπερασμού του Zadeh.

Τα Συστήματα Ασαφής Λογικής (Fuzzy Logic Systems) εφαρμόζονται σε βιομηχανικό έλεγχο, διάγνωση, αυτοκινητοβιομηχανίες, κ.α.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μεγαλύτερη αναφορά σχετικά με την Ασαφή Λογική.

1.3.3 Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks) είναι αλγόριθμοι οι οποίοι συμπεριφέρονται όπως τα νεύρα του ανθρώπινου εγκεφάλου. Θεωρούνται ιδιαίτερα χρήσιμα στον Ευφυή Έλεγχο εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους, όπως είναι η ικανότητα

τους να ενσωματώνουν τη νέα γνώση χωρίς να αλλοιώνουν την παλιότερη και να μαθαίνουν από εμπειρία και όχι από προγραμματισμό ή προτυποποίηση.

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα πρωτοακούστηκαν το 1943 από τις εργασίες των McCulloch και Pitts. Έπρεπε να περάσουν σαράντα περίπου χρόνια, μετά από μια ακολουθία ανάπτυξης θεωριών σχετικά με αυτά (Hebbs (1949), Rosenblatt (Perceptrons δίκτυα το 1957), Widrow και Hoff (Adaline και μετά τα Madaline δίκτυα), Misky και Pappert (1969), Hopfield (1982), Werbos (1984), Parker (1985) και Rumelhart(1986)) για να αποδειχθεί ότι τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα έχουν προοπτικές για επιτυχή λειτουργία και εφαρμογές. Από τότε η εξέλιξη των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων ήταν ραγδαία και σήμερα αποτελούν σημαντικό πεδίο ανάπτυξης σε αρκετές εφαρμογές, όπως στη ρομποτική, την επεξεργασία εικόνας και ομιλίας, στην αναγνώριση στόχου ενός ραντάρ, διαγνώσεις λαθών, μηχανική όραση, συστήματα αναγνώρισης ταυτότητας και ταξινόμησης προτύπων, κ.α.

1.3.4 Υβριδικά Συστήματα

Τα Ευφυή Συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν τις τεχνικές των Έμπειρων Συστημάτων, της Ασαφούς Λογικής καθώς και των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, έχουν επιφέρει αξιόλογη αύξηση στην παραγωγικότητα και στο χρόνο επισκευής του εξοπλισμού, μείωση του κόστους παραγωγής και του φόρτου εργασίας των χειριστών της διαδικασίας, εξοικονόμηση ενέργειας, και επιπλέον έχουν βοηθήσει στη λήψη ευκολότερων και γρηγορότερων αποφάσεων από πλευράς χειριστών. Ωστόσο η εφαρμογή τους έχει δημιουργήσει κατά καιρούς αρκετά προβλήματα με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να γίνεται μία νέα προσπάθεια ανάπτυξης νέων τεχνικών που να συνδυάζουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά κάθε τεχνικής. Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται *υβριδικές (hybrid)* και οι τεχνικές που συνδυάζουν είναι:

- Νευρωνικά Δίκτυα στο σχεδιασμό ασαφών συστημάτων
- Ασαφή συστήματα στο σχεδιασμό Νευρωνικών Δικτύων

Κεφάλαιο 2

Ασαφής Λογική

2.1 Εισαγωγή

Η θεωρία της ασαφούς λογικής (fuzzy logic) διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον καθηγητή L.A. Zadeh το 1965. Δέκα χρόνια αργότερα άρχισε να προκαλεί το ενδιαφέρον των επιστημόνων και σταδιακά αναγνωρίστηκε ευρέως από την επιστημονική κοινότητα, έχοντας ως κύρια εφαρμογή τον έλεγχο συστημάτων. Οι κύριοι λόγοι που συνέβαλαν στην αποδοχή των ασαφών συστημάτων ελέγχου σχετιζόνταν με την ευκολία του σχεδιασμού τους και την απλότητα τους, καθώς και με την ιδιότητα τους να ελέγχουν πολύπλοκες και συνεχώς μεταβαλλόμενες διαδικασίες.

Η βασική διαφορά των ασαφών μοντέλων από τα κλασικά εντοπίζεται στις πληροφορίες που επεξεργάζονται. Τα κλασικά μοντέλα αποφεύγουν να χρησιμοποιούν ακαθόριστες, ανακριβείς και αβέβαιες πληροφορίες, καθώς κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε λήψη εσφαλμένων αποφάσεων. Αντίθετα, τα ασαφή μοντέλα, τα οποία δεν απαιτούν ακριβή αριθμητικά δεδομένα των μεταβλητών ελέγχου και των παραμέτρων του συστήματος, μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτού του είδους τις πληροφορίες. Οι ελεγκτές που είναι σχεδιασμένοι με βάση την ασαφή λογική έχουν την έμφυτη ιδιότητα να χειρίζονται ασαφή στοιχεία και στοιχεία με θόρυβο. Βασίζονται στην ανθρώπινη ικανότητα να αντιλαμβάνεται την συμπεριφορά του συστήματος με ποιοτικούς κανόνες. Μέσω ενός συνόλου απλών λεκτικών κανόνων (linguistic rules), η ασαφής λογική μπορεί να μοντελοποιήσει τη γνώση και την εμπειρία ενός πεπειραμένου χρήστη. Έτσι διαμορφώνεται ένα σύστημα βασισμένο στη γνώση (knowledge based system) το οποίο οδηγεί σε απλούστερα μοντέλα που είναι πιο εύχρηστα και πιο κοντά στη ανθρώπινη λογική. Με αυτό τον τρόπο γίνεται εφικτός ο έλεγχος συστημάτων ακόμα και σε συνθήκες λειτουργίας στις οποίες οι κλασικές μέθοδοι ελέγχου αποτυγχάνουν.

Όπως κατά την εκμάθηση μιας γλώσσας προγραμματισμού τείνει να καθιερωθεί πλέον η πρώτη εφαρμογή να είναι η εκτύπωση στην οθόνη της φράσης Hello World, για τους ίδιους ακριβώς λόγους έχει σχεδόν καθιερωθεί η πρώτη προσέγγιση στις έννοιες της ασαφούς λογικής να πραγματοποιείται με το παράδειγμα του φρεναρίσματος ενός αυτοκινήτου.

Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι οδηγούμε ένα όχημα με κάποια ταχύτητα και σε κάποια απόσταση αντιλαμβανόμαστε ένα εμπόδιο. Για απλότητα ας θεωρήσουμε ότι το οδόστρωμα είναι επίπεδο και ομαλό. Το ερώτημα είναι ο τρόπος με τον οποίο θα χειριστούμε την κατάσταση. Ένα πολύ μαθηματικό μυαλό θα μπορούσε να αναγνωρίσει αμέσως την αναλυτική μαθηματική φόρμουλα $F = f(d,u)$, η οποία θα του έδινε την δύναμη F με ακρίβεια κάποιων δεκαδικών ψηφίων που θα έπρεπε να ασκήσει στο φρένο του αυτοκινήτου, προκειμένου να σταματήσει ομαλά πριν από το εμπόδιο. Η σχέση βέβαια αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος του αυτοκινήτου, ο τύπος του φρένου, το βάρος του αυτοκινήτου η κατεύθυνση του ανέμου, κ.τ.λ. Μια τέτοια

μαθηματική προσέγγιση επομένως είναι αδύνατη για τον κοινό νου. Ακόμα και αν χρησιμοποιούσαμε ένα σύστημα κλασσικού αυτόματου ελέγχου (pid controler), τα πράγματα θα ήταν εξαιρετικά δύσκολα διότι ο κλασσικός ελεγκτής θα έπρεπε να ρυθμίζει τα κέρδη του ανάλογα με τις συνθήκες, οι οποίες μπορεί να μεταβληθούν πολλές φορές κατά τη διάρκεια της πέδησης (π.χ. ένας ξαφνικός άνεμος κατά τη φορά του αυτοκινήτου). Στο παράδειγμα του φρεναρίσματος, δεν έχουμε ένα σταθερά διαμορφωμένο περιβάλλον η έστω ένα περιβάλλον που μεταβάλλεται με προβλέψιμο τρόπο. Οι συνθήκες μεταβάλλονται απρόβλεπτα η και αντιφατικά ορισμένες φορές (π.χ. αν ο δρόμος σε ένα σημείο έχει λάδια ο τρόπος του φρεναρίσματος θα πρέπει να ακολουθήσει εντελώς διαφορετική στρατηγική). Γεννιέται λοιπόν το ερώτημα: Πως καταφέρνει ο οδηγός να φρενάρει το όχημα ακόμα και σε δύσκολες γρήγορα μεταβαλλόμενες συνθήκες και μάλιστα κατά τρόπο ομαλό έτσι ώστε να μην ταλαιπωρηθούν επιβάτες και εμπορεύματα;

Ο οδηγός του αυτοκινήτου έχει συσσωρευμένη εμπειρία τόσο από την εκπαίδευση του όσο και από την εμπειρία του ως οδηγός. Η εμπειρία αυτή είναι οργανωμένη υπό μορφή κανόνων. Για παράδειγμα ο οδηγός γνωρίζει ότι αν το εμπόδιο είναι μακριά και η ταχύτητα του είναι μικρή δεν χρειάζεται να φρενάρει. Αν όμως το εμπόδιο είναι κοντά και η ταχύτητα του είναι μεγάλη τότε πρέπει να πατήσει πολύ φρένο. Οι όροι πολύ, λίγο, μικρή ταχύτητα μεγάλη ταχύτητα, μικρή απόσταση, μεγάλη απόσταση, κ.τ.λ. είναι λεκτικοί (linguistic) όροι. Ο οδηγός είναι σε θέση να εκτιμήσει πότε μια ταχύτητα είναι μικρή η μεγάλη. Π.χ. ταχύτητα 50 km/h σε στεγνό οδόστρωμα μπορεί να θεωρηθεί μικρή. Η ίδια ταχύτητα όμως υπό διαφορετικές συνθήκες π.χ. σε κατοικημένη περιοχή και βρεγμένο οδόστρωμα είναι μάλλον μέτρια και υπό άλλες συνθήκες π.χ. το οδόστρωμα έχει λάδια είναι μάλλον μεγάλη. Είναι δυνατόν να μεταφέρουμε την εμπειρία του οδηγού σε ένα μηχανικό ελεγκτή χρησιμοποιώντας τα κλασσικά μαθηματικά εργαλεία; Μια τέτοια μμεταφορά θα δημιουργούσε κανόνες της μορφής:

Αν η ταχύτητα είναι από 10km/h έως 20km/h και η απόσταση από 80 έως 100m τότε άσκησε στο φρένο πίεση 0.1 atm

Αν η ταχύτητα είναι από 21km/h έως 40km/h και η απόσταση από 30 έως 79m τότε άσκησε στο φρένο πίεση 0.4 atm

Αυτή η αντιμετώπιση έχει σημαντικές αδυναμίες. Τι θα συμβεί αν η ταχύτητα είναι 11 km/h? Ο ελεγκτής θα συμπεριφερθεί με τον ίδιο τρόπο που θα συμπεριφερθεί στην περίπτωση που η ταχύτητα είναι 19km/h? Μια λύση στο πρόβλημα φαίνεται να είναι η μεγαλύτερη διακριτοποίηση κάθε μεταβλητής, π.χ. ανά 1km/h. Τι θα συμβεί όμως αν έχουμε 10 μεταβλητές εισόδου και κάθε μια διακριτοποιείται σε 50 τμήματα? Θα δημιουργηθούν κανόνες. Σε κάθε περίπτωση ο στόχος που είναι η μεταφορά της εμπειρίας του οδηγού φαίνεται ότι δεν επιτυγχάνεται τόσο αποτελεσματικά με τον αυστηρά αριθμητικό (50 10 = crisp) τρόπο που επιχειρήσαμε. Το ανθρώπινο μυαλό χειρίζεται λεκτικούς όρους (linguistic terms) παρά αριθμούς και η μηχανή που φιλοδοξεί να μιμηθεί τον τρόπο λειτουργίας του θα πρέπει να το λάβει σοβαρά υπόψη. Ας δούμε πως θα αντιμετώπιζε ο άνθρωπος το παράδειγμα της πέδησης. Ένας έμπειρος οδηγός θα λειτουργούσε βάση λεκτικών κανόνων π.χ.

Αν η ταχύτητα είναι μικρή και η απόσταση είναι μέτρια τότε δύναμη πέδησης μικρή

Αν η ταχύτητα είναι μέτρια και η απόσταση είναι μέτρια τότε δύναμη πέδησης μέτρια

Αν η ταχύτητα είναι μεγάλη και η απόσταση είναι μικρή τότε δύναμη πέδησης μεγάλη κ.τ.λ.

Οι όροι μέτρια, μεγάλη, μικρή είναι οι λεκτικοί όροι οι οποίοι συμπλέκονται μεταξύ τους με συνδέσμους (connectives) και συνθέτουν κανόνες (rules). Πως όμως θα χειριστεί λεκτικούς όρους μια υπολογιστική μηχανή που χειρίζεται μόνο αριθμούς? Εδώ υπάρχει ασυμφωνία χαρακτήρων. Σε τέτοιες περιπτώσεις υποχωρεί ο ποιο λογικός που στην περίπτωση μας είναι ο άνθρωπος και δημιουργεί τη γέφυρα επικοινωνίας. Η γέφυρα αυτή είναι η ασαφής λογική. Ο Zadeh που θεωρείται ο 'πατέρας' της ασαφούς λογικής δήλωσε ότι η προσπάθεια μας να κατασκευάσουμε μηχανές με νοημοσύνη δεν μπορεί να προχωρήσει αν δεν βρεθεί ένας τρόπος ώστε οι μηχανές να σκέφτονται με παρόμοιους μηχανισμούς με τον άνθρωπο.

2.2 Το ασαφές σύνολο

Το ασαφές σύνολο είναι ίσως η βασικότερη έννοια του οικοδομήματος της ασαφούς λογικής. Ο κλασικός τρόπος περιγραφής ενός συστήματος που στηρίζεται στην αυστηρή λογική ότι μια κατάσταση μπορεί να έχει δύο μόνο μορφές ύπαρξη ή απουσία συνεπάγεται απώλεια πληροφορίας καθώς η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνεται. Αν υιοθετηθεί λοιπόν ο τρόπος περιγραφής ενός συστήματος με τον αυστηρά αριθμητικό τρόπο υπάρχουν δύο επιλογές α) απλό μαθηματικό μοντέλο με απώλεια πληροφορίας ιδιαίτερα στις οριακές καταστάσεις (π.χ. ταχύτητα 21 km/h) β) μη απώλεια πληροφορίας με πολύπλοκο μαθηματικό μοντέλο.

Ο Zadeh συνειδητοποίησε λοιπόν ότι ο πυρήνας του αδιεξόδου είναι ο δυαδικός τρόπος αναπαράστασης της πληροφορίας κατά τον οποίο μια τιμή μιας μεταβλητής είτε ανήκει είτε δεν ανήκει σε ένα υποσύνολο του πεδίου ορισμού της. Πρότεινε λοιπόν ένα διευρυμένο τρόπο αναπαράστασης όπου μια τιμή ανήκει ταυτόχρονα σε πολλά υποσύνολα, στο κάθε ένα με ένα βαθμό συμμετοχής. Κάθε τέτοιο υποσύνολο που περιλαμβάνει στοιχεία όπου κάθε ένα έχει ένα βαθμό συμμετοχής είναι το ασαφές σύνολο.

Ας θεωρήσουμε τη μεταβλητή που αντιπροσωπεύει την ταχύτητα ενός αυτοκινήτου σε ένα αυτοκινητόδρομο με πεδίο ορισμού από 0 km/h έως 120 km/h. Κάνουμε τις έξης ερωτήσεις στον οδηγό:

ΕΡ: 'πόσο σίγουρος είσαι ότι η ταχύτητα 15 km/h είναι μικρή?'

ΑΠ: 100%. ΕΡ: 'πόσο σίγουρος είσαι ότι η ταχύτητα 20 km/h είναι μικρή?'

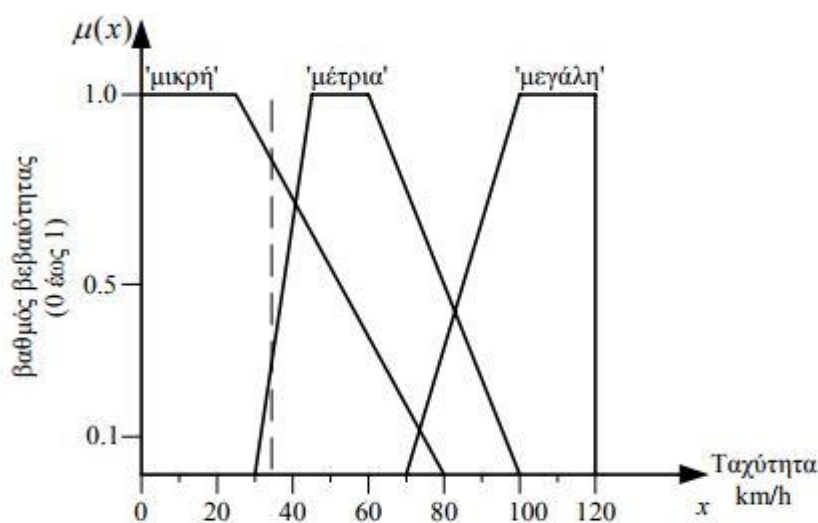
ΑΠ: 100%. ΕΡ: 'πόσο σίγουρος είσαι ότι η ταχύτητα 40 km/h είναι μικρή?'

ΑΠ: 90% είναι και λίγο μέτρια.

ΕΡ: 'πόσο σίγουρος είσαι ότι η ταχύτητα 60 km/h είναι μικρή?'

ΑΠ: λίγο ένα 10-20% διότι 60 km/h ταχύτητα είμαι πιο σίγουρος ότι είναι μέτρια.

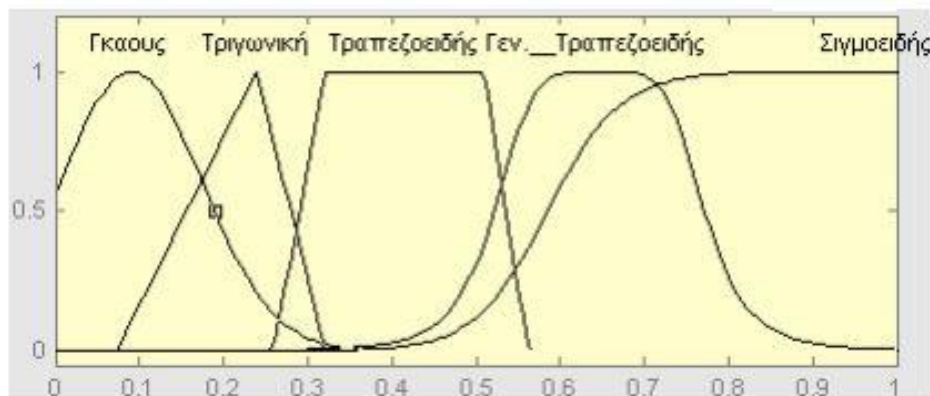
Αν κάνουμε παρόμοιες ερωτήσεις για μικρή μέτρια και για μεγάλη ταχύτητα και παραστήσουμε γραφικά τη βεβαιότητα από 0 έως 1 του οδηγού συναρτήσει της ταχύτητας θα πάρουμε το παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 2-1).



Εικόνα 2-1 : Γραφική παράσταση ασαφών συνόλων

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μια λεκτική αναπαράσταση της ταχύτητας. Η ταχύτητα έχει 'διαμεριστεί' όπως λέμε σε λεκτικούς (linguistic) όρους. Από το σημείο αυτό και μετά μπορούμε να μιλάμε για την ταχύτητα με λεκτικούς αντί αυστηρά αριθμητικούς όρους. Για μια ταχύτητα 32 km/h θα λέγαμε ότι η ταχύτητα αυτή είναι μικρή με βαθμό βεβαιότητας 0.8 και μέτρια με βαθμό βεβαιότητας 0.3. Ο βαθμός αυτός βεβαιότητας ονομάζεται βαθμός συμμετοχής $\mu(x)$ μιας τιμής στο αντίστοιχο ασαφές σύνολο που εκφράζεται από την συνάρτηση $x \mu(x)$. Η περιγραφή μιας μεταβλητής x με λεκτικούς όρους ονομάζεται διαμερισμός της μεταβλητής και η περιγραφή μιας αυστηρά αριθμητικής τιμής με λεκτικούς όρους όπως για παράδειγμα η ταχύτητα των 32 km/h ονομάζεται 'ασαφοποίηση' (fuzzyfication) της crisp τιμής.

Η μορφή των συναρτήσεων του σχήματος (Εικόνα 2-1), που ονομάζονται συναρτήσεις συμμετοχής δεν είναι απαραίτητο να είναι τραπεζοειδής. Μπορεί να είναι τριγωνική, Γκαουσιανή γενικευμένη τραπεζοειδής η ακόμα και μια συγκεκριμένη αριθμητική τιμή. Διάφοροι τύποι συναρτήσεων συμμετοχής που αναπαριστούν ασαφή σύνολα απεικονίζονται στην Εικόνα 2-2.



Εικόνα 2-2: Διάφοροι τύποι συναρτήσεων συμμετοχής.

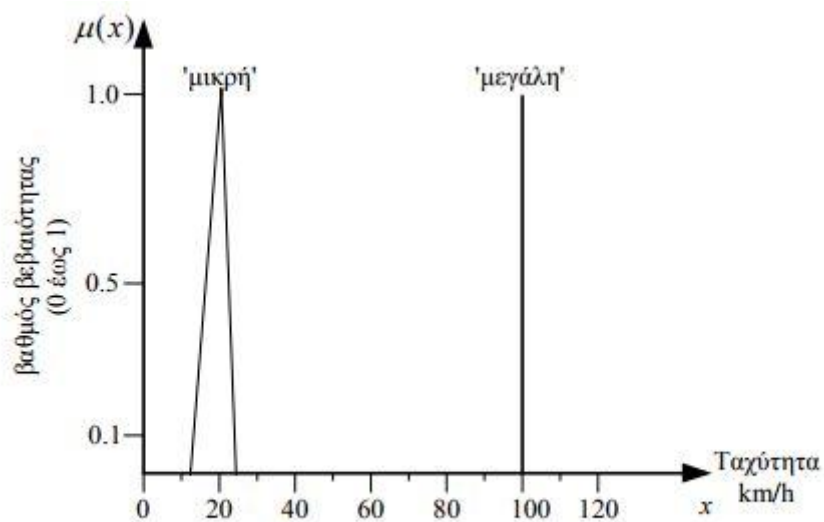
2.2.1 Στοιχεία των ασαφών συνόλων

Για την αναπαράσταση ενός ασαφούς συνόλου έχουν καθιερωθεί διάφοροι τρόποι. Όταν ένα ασαφές σύνολο έχει πεδίο ορισμού X που αποτελείται από διακριτές και πεπερασμένες τιμές x_1, x_2, \dots, x_n , το ασαφές σύνολο αναπαρίσταται ως η ένωση των διατεταγμένων ζευγών $x_i / \mu(x_i) : i = 1, 2, \dots, n$. Όπου $x_i \in X$ και $\mu(x_i) \in [0, 1]$ ο αντίστοιχος βαθμός συμμετοχής της τιμής x_i . Αν A είναι ασαφές σύνολο τότε έχουμε την ακόλουθη αναπαράσταση $A = \{x_1 / \mu(x_1) + x_2 / \mu(x_2) + \dots + x_n / \mu(x_n)\}$. Στην περίπτωση που το X είναι συνεχές και μη πεπερασμένο τότε: $A = \{ \int \mu(x) / x \}$ ή απλούστερα $\mu(x)$. Το '+' δεν είναι το σύμβολο της αριθμητικής πρόσθεσης αλλά της ένωσης και το '/' δεν είναι το σύμβολο της διαίρεσης αλλά ένας διαχωριστής για να δείξει το διατεταγμένο ζεύγος 'τιμή / βαθμός συμμετοχής τιμής'. Επίσης το ολοκλήρωμα συμβολίζει την ένωση όλων των διατεταγμένων ζευγών που όταν το X είναι συνεχές η ένωση ταυτίζεται με τη $\mu(x)$ που ονομάζεται συνάρτηση συμμετοχής. Το πεδίου ορισμού της $\mu(x)$ ονομάζεται και universe of discourse (υπερσύνολο αναφοράς) του ασαφούς συνόλου.

Το υποσύνολο του πεδίου ορισμού της συνάρτησης συμμετοχής για το οποίο το πεδίο τιμών λαμβάνει τιμές ίσες προς τη μονάδα ονομάζεται 'κόρος' (core) του ασαφούς συνόλου. Αν είναι ο κόρος της C $\mu(x)$ τότε γράφουμε:

$$x \in C \subseteq Y \Leftrightarrow \mu(x) = 1.$$

Το πλάτος ενός ασαφούς συνόλου που είναι το εύρος του πεδίου ορισμού του, αποτελεί ένα μέτρο της ασάφειας (fuzziness) του όρου που περιγράφει, η οποία αντικατοπτρίζει το βαθμό αβεβαιότητας για το συγκεκριμένο όρο. Για παράδειγμα όσο πιο ξεκάθαρο είναι το γεγονός ότι η ταχύτητα γύρω από τα 20km/h είναι μικρή τόσο πιο 'στενό' ασαφές σύνολο με κόρο στο 20 χρειάζεται για να την περιγράψει. Όσο όμως η αβεβαιότητα μας για την περιοχή 'μικρή ταχύτητα' αυξάνεται τόσο πιο 'πλατύ' πρέπει να είναι το ασαφές σύνολο που περιγράφει τον όρο 'μικρή ταχύτητα'.



Εικόνα 2-3 : Ασάφεια ασαφούς συνόλου

2.2.2 Πράξεις μεταξύ ασαφών συνόλων

Μεταξύ ασαφών συνόλων ορίζονται ορισμένες πράξεις οι βασικότερες από τις οποίες είναι:

- A) Η ένωση (union)
- B) Η τομή (intersection)
- Γ) Το συμπλήρωμα ενός ασαφούς συνόλου (complement)

Έστω τρία ασαφή σύνολα A, B, C, που ορίζονται στο πεδίο ορισμού X. Με συναρτήσεις συμμετοχής $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$, $\mu_C(x)$.

Η ένωση δίνεται από τη σχέση:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (2-1)$$

Η τομή δίνεται από τη σχέση:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad \forall x \in X \quad (2-2)$$

Και το συμπλήρωμα ενός ασαφούς συνόλου από τη σχέση:

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad \forall x \in X \quad (2-3)$$

2.3 Ο ασαφής κανόνας

Τα ασαφή σύνολα που εκφράζουν λεκτικούς όρους συνδυάζονται μεταξύ τους και δημιουργούν ασαφείς κανόνες που αναπαριστούν τη γνώση που έχουμε για το σύστημα. Ένας ασαφής κανόνας αποτελείται από δύο βασικά μέρη α) το τμήμα υπόθεσης (premise part) και β) το τμήμα απόδοσης ή απόφασης (consequent part). Ένας απλός κανόνας είναι της μορφής:

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B \quad (2-4)$$

Το τμήμα if x is A είναι το τμήμα υπόθεσης και το τμήμα then y is B το τμήμα απόφασης ή συμπεράσματος. Όπου A και B ασαφή σύνολα. x είναι η τιμή μιας μεταβλητής εισόδου, η οποία ασαφοποιείται (fuzzyfication), δηλαδή αποκτά ένα βαθμό συμμετοχής στο ασαφές σύνολο A . y είναι η έξοδος του συστήματος που εκφράζει την απόφαση του κανόνα και παρέχεται από το μηχανισμό του συμπεράσματος (inference) σε ασαφή μορφή. Στη συνέχεια το ασαφές συμπέρασμα από-ασαφοποιείται με το μηχανισμό της αποασαφοποίησης (defuzzyfication), και προκύπτει μια crisp τιμή που είναι το τελικό αριθμητικό συμπέρασμα που μπορεί να χειριστεί η υπολογιστική μηχανή ή ένα αισθητήριο. Ένας κανόνας μπορεί να πάρει διάφορες μορφές εκτός από αυτή της εξίσωσης (2-4). Άλλοι κύριοι χαρακτηριστικοί τύποι κανόνων είναι της μορφής:

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } c \quad (2-5)$$

Όπου το c είναι αριθμός η μπορεί να θεωρηθεί και crisp ασαφές σύνολο και:

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } c_0 + c_1 x \quad (2-6)$$

Όπου $c_0, c_1 \in \mathcal{R}$. Για περισσότερες από μία εισόδους x_1, x_2, \dots, x_n , οι κανόνες επεκτείνονται στις αντίστοιχες μορφές:

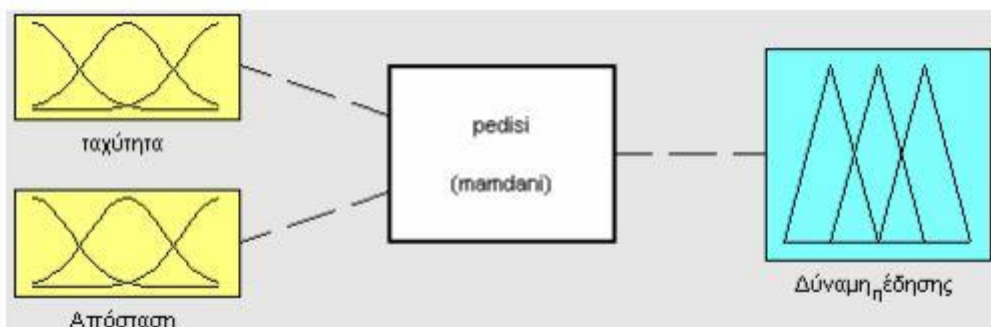
$$\text{if } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } A_2 \text{ and } \dots x_n \text{ is } A_n \text{ Then } y \text{ is } B \quad (2-7)$$

2.3.1 Ασαφής συμπερασμός του στοιχειώδους ασαφούς συστήματος

Το βασικό ζητούμενο είναι ο τρόπος λειτουργίας του ασαφούς κανόνα. Ο τρόπος λειτουργίας του κανόνα διασπάται σε τρεις μεγάλες φάσεις:

- A) Ασαφοποίηση (fuzzyfication)**
- B) Ασαφής συνεπαγωγή (fuzzy implication)**
- C) Αποασαφοποίηση (defuzzyfication)**

Για να καταλάβουμε καλύτερα τις φάσεις αυτές μπορούμε να παρακολουθήσουμε τις αναγκαιότητες που εξυπηρετούν. Ας θυμηθούμε λοιπόν ότι η ασαφής λογική δημιουργήθηκε για να βοηθήσει τις υπολογιστικές μηχανές να χειριστούν λεκτικούς όρους. Οι λεκτικοί αυτοί όροι μικρό-μέτριο κ.τ.λ. αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή υπό μορφή συναρτήσεων συμμετοχής που $\mu_{A1}, \mu_{A2}, \dots, \mu_{An}$ που εκφράζουν τα αντίστοιχα ασαφή σύνολα A_1, A_2, \dots, A_n . Ας υποθέσουμε επίσης ότι έχουμε ένα φυσικό σύστημα με x_1, x_2, \dots, x_n εισόδους και μια γ η λειτουργία του οποίου διέπεται από ένα κανόνα της μορφής 2-7, για απλότητα θεωρώ ότι θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα ευφυές σύστημα το οποίο να φρενάρει ένα αυτοκίνητο με ένα κανόνα που ο οδηγός έχει αποκτήσει από την εμπειρία του. Έστω ότι οι επιλέγουμε δύο εισόδους $x_1 = u$ (ταχύτητα αυτοκινήτου) και $x_2 = (\text{απόσταση από το εμπόδιο})$.



Εικόνα 2.4: Το σύστημα της πέδησης του αυτοκινήτου με δύο εισόδους

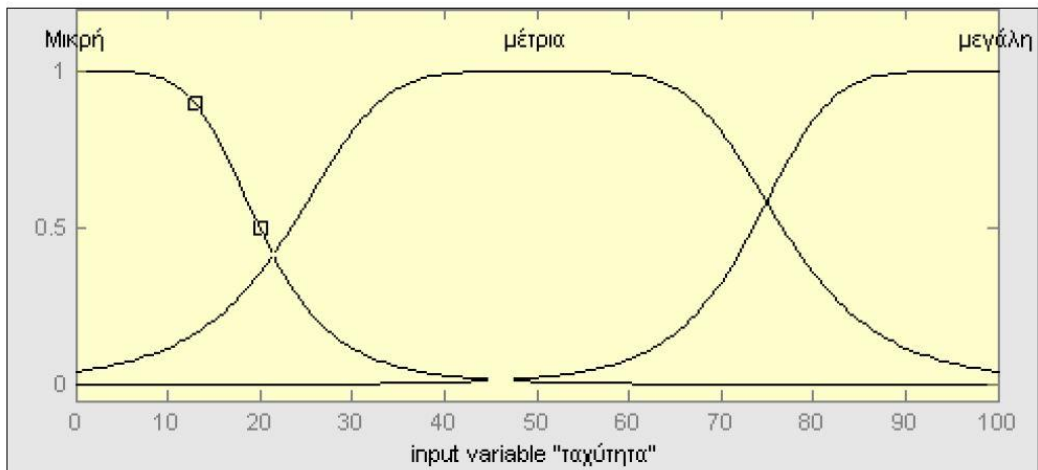
Η έξοδος του κανόνα $y = F$ (δύναμη πέδησης στο φρένο). Έστω ότι διατυπώνουμε τον εξής κανόνα:

Αν η ταχύτητα είναι μεγάλη και η απόσταση μικρή τότε δύναμη πέδησης μεγάλη (2-8)

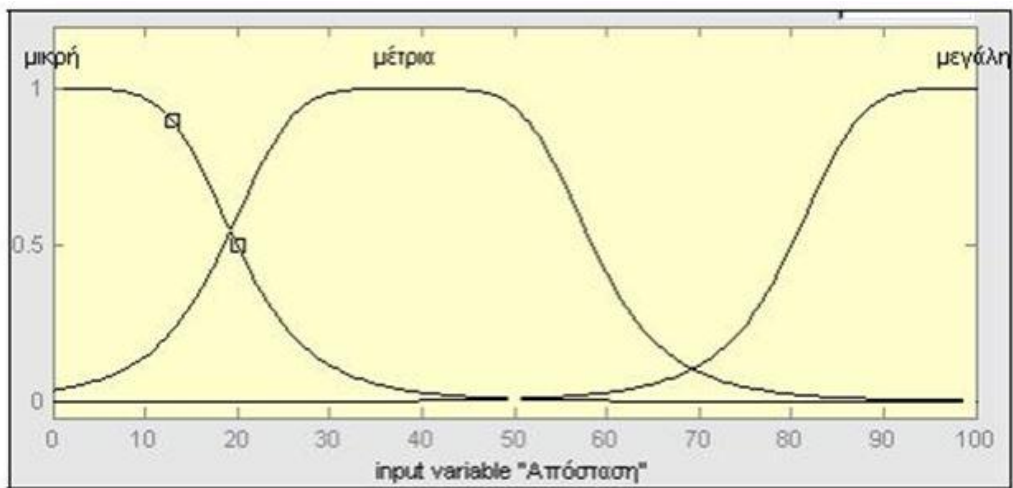
Ας δούμε πως μέσω της ασαφούς λογικής θα δώσουμε στον υπολογιστή να καταλάβει, τι θα μας απαντήσει και πως θα συνεννοηθούμε τελικά.

Εκτελούμε τα εξής βήματα:

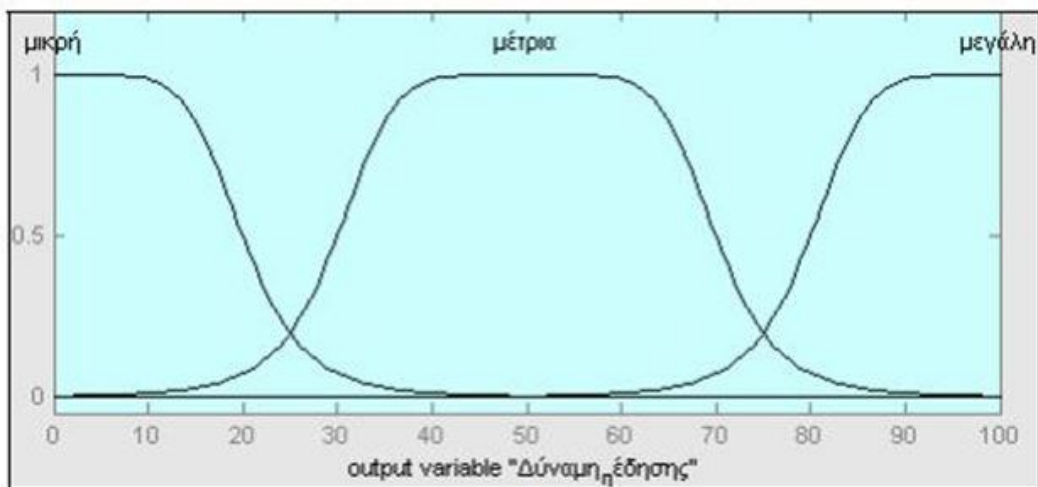
1. Λεκτικός διαμερισμός των εισόδων: Θα πρέπει δηλαδή να αναπαραστήσει τις μεταβλητές εισόδου και εξόδου με λεκτικούς όρους. Ένας διαμερισμός των εισόδων και των εξόδων φαίνεται στα σχήματα



Εικόνα 2.5: Διαμερισμός της εισόδου 'ταχύτητα' σε λεκτικούς όρους



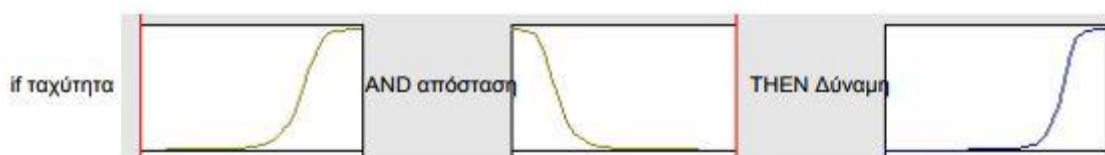
Εικόνα 2.6: Διαμερισμός της εισόδου 'απόσταση' σε λεκτικούς όρους



Εικόνα 2.7: Διαμερισμός της εξόδου 'δύναμη πέδησης' σε λεκτικούς όρους

Ο αριθμός των λεκτικών όρων που θα διαμερίσουν μια μεταβλητή, η μορφή και οι ακριβείς τους θέσεις καθορίζονται από το σχεδιαστή του συστήματος και αποτελεί ακόμα και σήμερα ένα από τα πιο κρίσιμα και ενεργά πεδία έρευνας στον τομέα των ασαφών συστημάτων. Επίσης δεν είναι απαραίτητο όλα τα ασαφή σύνολα να είναι ίδιου τύπου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέγονται γενικευμένες τραπεζοειδής για την είσοδο και για την έξοδο τριγωνικές συναρτήσεις συμμετοχής.

2. Διατύπωση των κανόνων: Έχοντας διαμερίσει τις εισόδους και τις εξόδους τα ασαφή σύνολα μπορούν να αποθηκευτούν στον υπολογιστή υπό μορφή συναρτήσεων. Στη συνέχεια διατυπώνονται οι κανόνες. Στην περίπτωση μας έχουμε ένα κανόνα. Επιλέγοντας τα αντίστοιχα ασαφή σύνολα από κάθε μεταβλητή ο κανόνας μπορεί να παρασταθεί γραφικά στην Εικόνα 2-8.



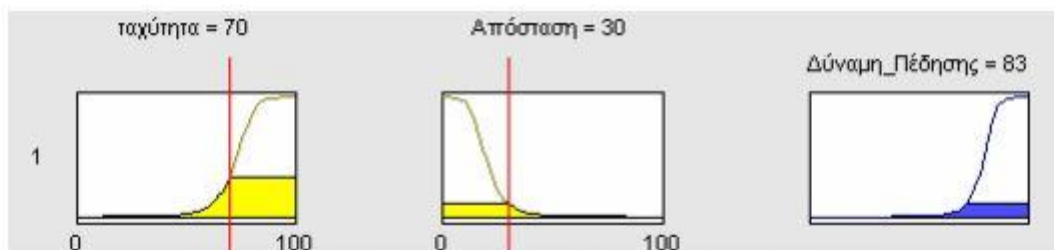
Εικόνα 2-8: Γραφική παράσταση του ασαφούς κανόνα

3. Καθορισμός του τύπου της ασαφούς συνεπαγωγής (fuzzy implication): Για να κατανοήσουμε τις παραμέτρους της ασαφούς συνεπαγωγής θα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε το μηχανισμό της, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο κανόνας. Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι κατασκευάζεται το ασαφές σύστημα της πέδησης του αυτοκινήτου με τον ένα κανόνα που απεικονίζεται στην Εικόνα 2-8. Οι αισθητήρες που μετρούν την απόσταση και την ταχύτητα του αυτοκινήτου δίνουν ταχύτητα= 70 km/h και απόσταση 30 m. Οι τιμές αυτές εισάγονται στο ασαφές σύστημα και ασαφοποιούνται. Δηλαδή η ταχύτητα των 70 km/h είναι μεγάλη με βαθμό βεβαιότητας 0.4 και η απόσταση των 30 m είναι μικρή με βαθμό βεβαιότητας 0.2. Το ερώτημα είναι: πως θα ενεργοποιηθεί ο κανόνας που δίνεται στην Εικόνα 2-8 για δώσει αποτέλεσμα? Ο κανόνας λέει:

*Αν η ταχύτητα είναι **μεγάλη** (είναι με βεβαιότητα **0.4**)
και
η απόσταση **μικρή** (είναι με βεβαιότητα **0.2**)
τότε δυναμη πέδησης **μεγάλη***

Προφανώς θα πρέπει να βρούμε ένα τρόπο να υλοποιήσουμε το 'και (and)' και το 'τότε'. Ο τρόπος με τον οποίο υλοποιείται αριθμητικά το και καθορίζεται από τον τύπο του ασαφούς συμπερασμού. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι υλοποίησης του AND οι κυριότεροι είναι με τον τελεστή MIN και με τον τελεστή product. Ο τελεστής Min λαμβάνει το μικρότερο από τους βαθμούς συμμετοχής και παράγει το λεγόμενο βαθμό εκπλήρωσης (degree of fulfillment) του κανόνα. Ο τελεστής του γινομένου υπολογίζει το βαθμό εκπλήρωσης του κανόνα ως το

αριθμητικό γινόμενο των βαθμών συμμετοχής των ασαφοποιημένων τιμών. Στην περίπτωση μας αν εφαρμοστεί το MIN ο κανόνας έχει βαθμό εκπλήρωσης 0.2. Αν εφαρμοστεί το γινόμενο ο κανόνας έχει βαθμό εκπλήρωσης 0.08. Εννοιολογικά ο βαθμός εκπλήρωσης του κανόνα εκφράζει τη βαρύτητα που έχει το αποτέλεσμα του κανόνα. Η βαρύτητα αυτή εκφράζεται (για συστήματα mamdani) με το αντίστοιχο α-cut του ασαφούς συνόλου που εκφράζει το αποτέλεσμα του κανόνα. Συνεπώς αν είναι ο βαθμός εκπλήρωσης του κανόνα το αποτέλεσμα της εφαρμογής του είναι το α-cut ασαφές σύνολο της εξόδου του με $w \alpha = w$. Στην Εικόνα 2-9 παριστάνεται γραφικά ο μηχανισμός του ασαφούς συμπερασμού για τις τιμές ταχύτητα = 70 και απόσταση = 30. Το αποτέλεσμα είναι το σκιασμένο ασαφές σύνολο της εξόδου.



Εικόνα 2-9: Γραφική παράσταση του ασαφούς συμπερασμού.

Παρατηρώντας το αποτέλεσμα του κανόνα βλέπουμε ότι αυτό εκφράζεται από ένα υποκανονικό ασαφές σύνολο. Το γεγονός ότι είναι υποκανονικό δεν μας πειράζει καθόλου. Το ερώτημα όμως είναι το πως θα αξιοποιηθεί από το μηχανισμό που θα ασκήσει την πίεση στο φρένο. Το μηχανικό σύστημα που θα ασκήσει την πίεση καταλαβαίνει μόνο σαφείς αριθμητικές τιμές και όχι ασαφείς όρους. Στο σημείο αυτό αναφέρεται το τελικό βήμα της σχεδίασης

4. Μέθοδος αποασαφοποίησης (defuzzification). Η διαδικασία της αποασαφοποίησης είναι αντίθετη αυτής της ασαφοποίησης και παράγει μια αυστηρά αριθμητική (τιμή crisp τιμή) από ένα ασαφές σύνολο. Είναι δηλαδή μια απεικόνιση, η οποία απεικονίζει ένα ασαφές σύνολο σε ένα πραγματικό αριθμό. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αποασαφοποίησης:

(a) Αποασαφοποίηση κεντρικής τιμής (centroid defuzzification or center of area): Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται το κέντρο βάρους της κατανομής του ασαφούς συνόλου δίνεται από τη σχέση:

$$x^* = \frac{\int x \cdot \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx}$$

ο υπολογισμός της κεντρικής τιμής της σκιασμένης επιφάνειας του ασαφούς συνόλου της εξόδου δίνει τον πραγματικό αριθμό 83. Αυτή είναι και η τιμή, η οποία

θα δοθεί στο μηχανικό σύστημα το οποίο θα πιέσει το φρένο. Αν δηλαδή η δύναμη πέδησης μετριέται π.χ. σε N τότε στο φρένο θα πρέπει να ασκηθεί δύναμη 83N.

- (b) Αποασαφοποίηση μέσου όρου των μεγίστων (mean of maxima or mom): σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται ο μέσος όρος των μεγίστων τιμών του ασαφούς συνόλου της εξόδου. Υπενθυμίζεται για πολλοστή φορά ότι το ασαφές σύνολο το οποίο αποασαφοποιείται είναι η σκιασμένη περιοχή της εξόδου του κανόνα (Εικόνα 2-9). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή λαμβάνονται οι τιμές του πεδίου ορισμού που έχουν το μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής και υπολογίζεται η μέση τιμή τους. Η εφαρμογή της μεθόδου mom στο παράδειγμα που εξετάζουμε δίνει αποτέλεσμα 86.5 N.
- (c) Αποασαφοποίηση άθροισης των μεγίστων (sum of maxima som): Η μέθοδος αυτή υπολογίζει το άθροισμα των μεγίστων τιμών.

2.3.2 Ασαφής συμπερασμός συστήματος με περισσότερους του ενός ασαφείς κανόνες

Τα περισσότερα ασαφή συστήματα εμπλέκουν περισσότερους του ενός κανόνες. Στο παράδειγμα της πέδησης του αυτοκινήτου μπορούμε να προσθέσουμε περισσότερους κανόνες και να δημιουργήσουμε τη λεγόμενη βάση κανόνων (rule base). Έστω λοιπόν ότι δημιουργούμε την ακόλουθη βάση που αποτελείται από τρεις κανόνες:

R^1 : Αν ταχύτητα μεγάλη και απόσταση μικρή τότε δύναμη πέδησης μεγάλη
 R^2 : Αν ταχύτητα μεγάλη και απόσταση μέτρια τότε δύναμη πέδησης μέτρια
 R^3 : Αν ταχύτητα μέτρια και απόσταση μέτρια τότε δύναμη πέδησης μέτρια

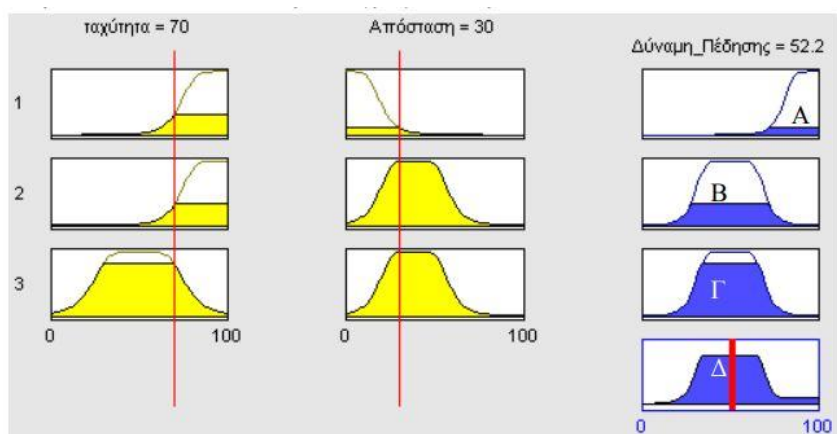
Εικόνα 2-10: Λεκτική διατύπωση τριών κανόνων

Για το σχεδιασμό του συστήματος θα πρέπει να ακολουθήσουμε τα βήματα της προηγούμενης παραγράφου. Συνεπώς:

1. Λεκτικός διαμερισμός των εισόδων: όπως και στην προηγούμενη παράγραφο.
2. Διατύπωση των κανόνων.
3. Καθορισμός του τύπου της ασαφούς συνεπαγωγής (fuzzy implication). Επιλέγουμε MIN.
4. Αποασαφοποίηση: Επιλέγουμε αποασαφοποίηση κεντρικής τιμής.

Στο σημείο αυτό απαιτείται ένα ακόμα σημαντικότερο βήμα στο σχεδιασμό μετά το βήμα 3 και πριν το βήμα 4. Το βήμα της Ασαφούς συνάθροισης των κανόνων (fuzzy aggregation). Για να κατανοήσουμε το βήμα αυτό μπορούμε να παραστήσουμε γραφικά τους τρεις κανόνες (Εικόνα 2-10) και να παρακολουθήσουμε τη λειτουργία τους. Με δεδομένο το λεκτικό διαμερισμό των εισόδων και της εξόδου (Εικόνα 2-5 έως Εικόνα 2-7), επιλέγουμε τα

κατάλληλα ασαφή σύνολα οπότε οι κανόνες στην Εικόνα 2-10 απεικονίζονται γραφικά στην Εικόνα 2-11

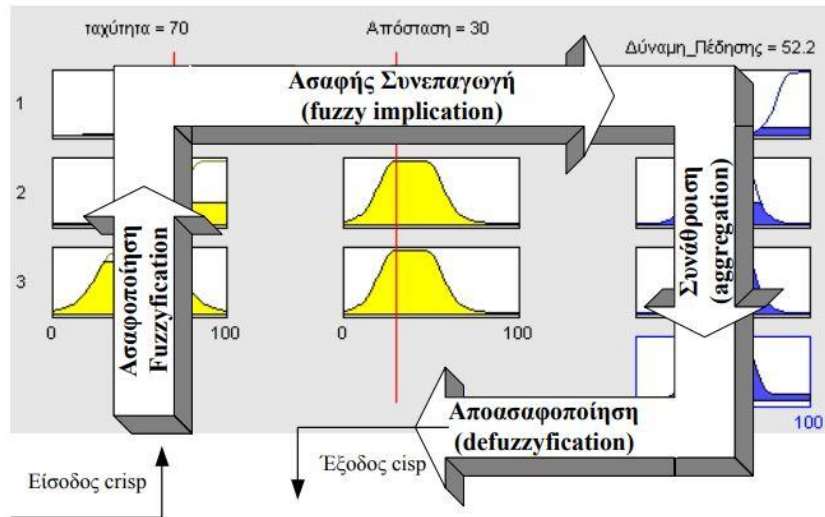


Εικόνα 2-11: Ασαφές σύστημα τριών κανόνων.

Για τιμές εισόδου [70,30] παρατηρούμε πως ασαφοποιούνται οι τιμές, πως ενεργοποιείται κάθε κανόνας και τα αντίστοιχα α-cuts που δημιουργούνται στις εξόδους κάθε κανόνα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στην διατύπωση των κανόνων (Εικόνα 2-10) οι κανόνες 2 και 3 έχουν το ίδιο τμήμα απόφασης. Παρατηρούμε όμως για συγκεκριμένες τιμές (Εικόνα 2-11) τα συμπεράσματα του κανόνα 2 και 3 είναι διαφορετικά ασαφή σύνολα (σκιασμένες περιοχές) γεγονός που οφείλεται στο διαφορετικό βαθμό εκπλήρωσης κάθε κανόνα για τις ίδιες τιμές εισόδου. Άρα λοιπόν για ταχύτητα=70 km/h και απόσταση =30 m, οι κανόνες ενεργοποιούνται και κάθε ένας προτείνει το δικό του ασαφές συμπέρασμα ο κανόνας 1 προτείνει το ασαφές σύνολο Α (σκιασμένη περιοχή), ο κανόνας 2 προτείνει το Β (σκιασμένη περιοχή) και ο κανόνας 3 προτείνει το ασαφές σύνολο Γ (σκιασμένη περιοχή). Ενώ στην προηγούμενη παράγραφο είχαμε ένα ασαφές συμπέρασμα το οποίο αποασαφοποιήσαμε εδώ έχουμε τρία ασαφή συμπεράσματα. Τα τρία αυτά συμπεράσματα θα πρέπει να τα συνθέσουμε καταρχήν σε ένα ασαφές συμπέρασμα ο μηχανισμός που υλοποιεί αυτή τη σύνθεση ονομάζεται ασαφής συνάθροιση των κανόνων (fuzzy aggregation). Υλοποιείται με διάφορους τρόπους ο βασικότερος είναι με την εφαρμογή του τελεστή MAX. Εφαρμόζοντας τον τελεστή MAX στα ασαφή σύνολα Α,Β,Γ, προκύπτει το ασαφές σύνολο Δ σύμφωνα με τη σχέση 2-1. Στη συνέχεια το ασαφές αυτό σύνολο αποασαφοποιείται με εφαρμογή μιας μεθόδου αποασαφοποίησης (π.χ. centroid) και προκύπτει η τελική πραγματική τιμή που είναι το αποτέλεσμα του συστήματος των τριών κανόνων. Άρα:

Είσοδος: {ταχύτητα=70 km/h , Απόσταση =30 m} → Έξοδος {Δύναμη πέδησης 52.2 N}.

Ο μηχανισμός του ασαφούς συμπερασμού μπορεί να παρασταθεί γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής:



Εικόνα 2-12: Διάγραμμα ροής του Ασαφούς Συμπερασμού.

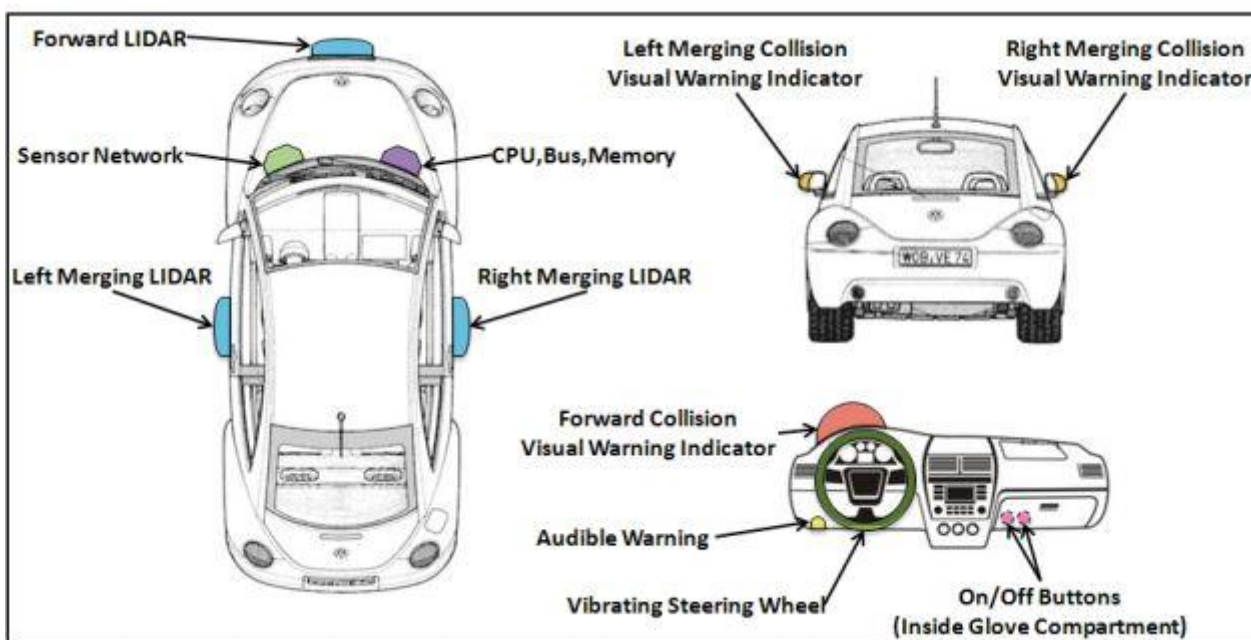
Κεφάλαιο 3

Σύστημα αποφυγής σύγκρουσης

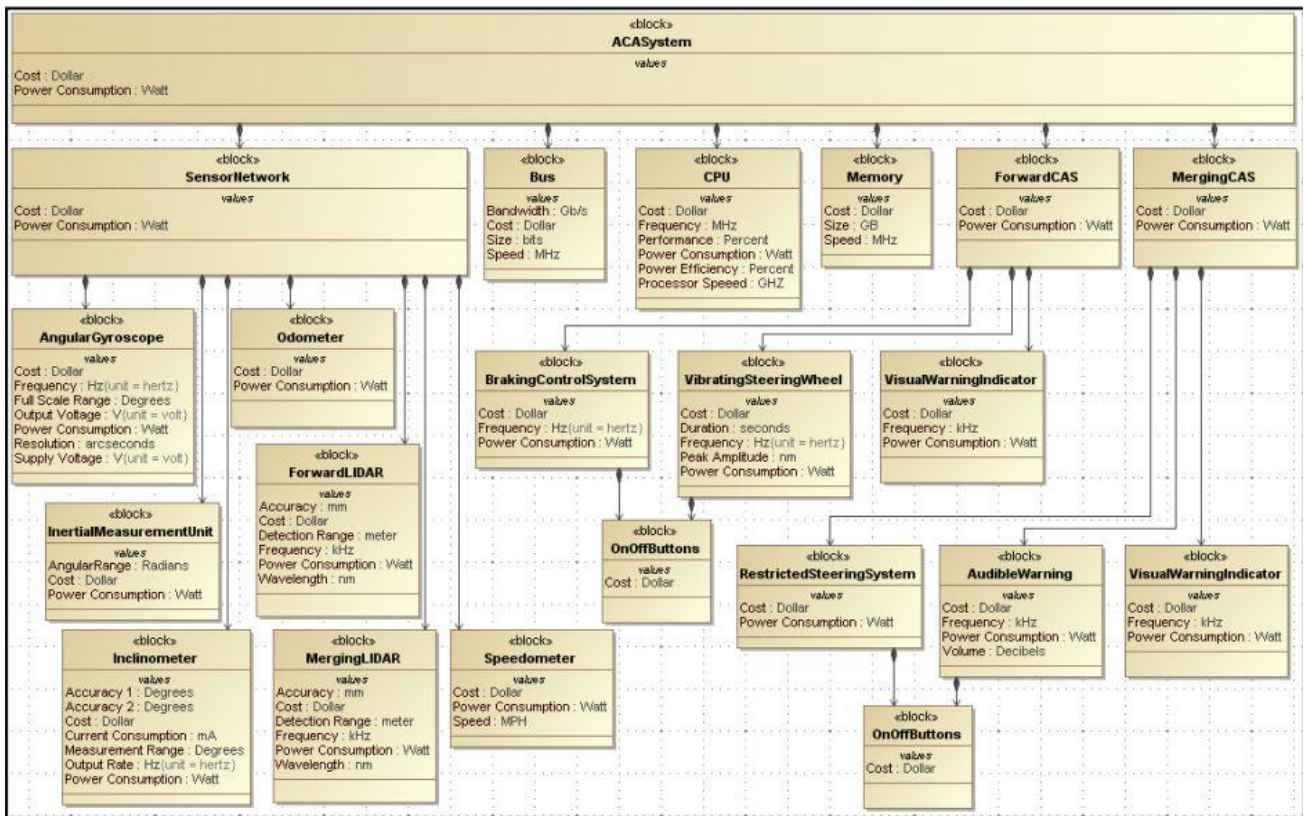
3.1 Εισαγωγή

Το σύστημα προειδοποίησης-αποφυγής σύγκρουσης είναι σε θέση να προειδοποιεί ενεργά τους οδηγούς όταν υπάρχει επικείμενος κίνδυνος σύγκρουσης παρέχοντας επαρκή χρόνο στον οδηγό για να αντιδράσει, να πάρει τα κατάλληλα μέτρα για να αποφύγει ή για να μειώσει τη σοβαρότητα ενός ατυχήματος. Αρκετά από αυτά τα συστήματα είναι εξοπλισμένα με αυτόνομη πέδηση, που σημαίνει ότι το όχημα θα φρενάρει αυτόματα αν ο οδηγός δεν ανταποκριθεί έγκαιρα. Μελέτες έχουν δείξει ότι τέτοιου είδους συστήματα μπορούν να σώσουν περίπου 5.000 θανάτους και 50.000 σοβαρούς τραυματισμούς ετησίως σε ολόκληρη την ΕΕ.

Ένα σύστημα αποφυγής σύγκρουσης είναι ένα σύστημα ασφαλείας αυτοκινήτων σχεδιασμένο να μειώνει τη σοβαρότητα μιας σύγκρουσης. Είναι επίσης γνωστό ως pre crash system, forward collision warning system ή collision mitigating system. Χρησιμοποιεί ραντάρ (όλες τις καιρικές συνθήκες) και μερικές φορές λέιζερ (LIDAR) και κάμερα (που χρησιμοποιεί αναγνώριση εικόνας) για να ανιχνεύσει μια επικείμενη συντριβή. Οι αισθητήρες GPS μπορούν να ανιχνεύσουν σταθερούς κινδύνους όπως πλησιάζουν τα σήματα στάσης μέσω μιας βάσης δεδομένων τοποθεσίας.

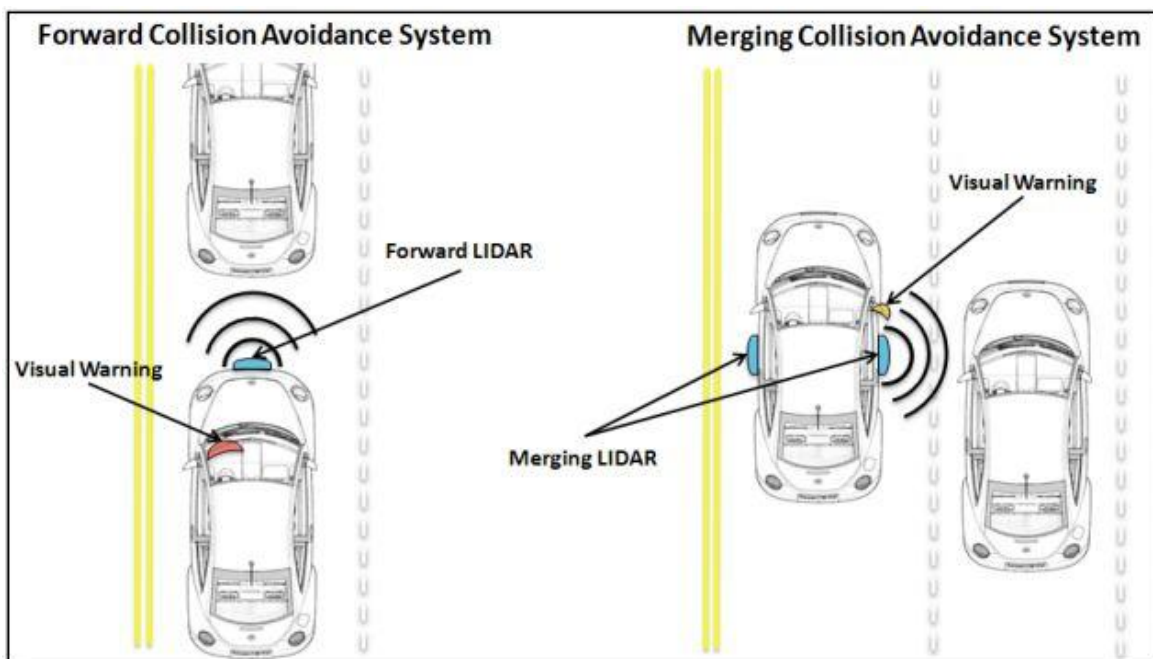


Εικόνα 3.1: Επισκόπηση των στοιχείων του συστήματος



Εικόνα 3.2: Δομή Συστήματος

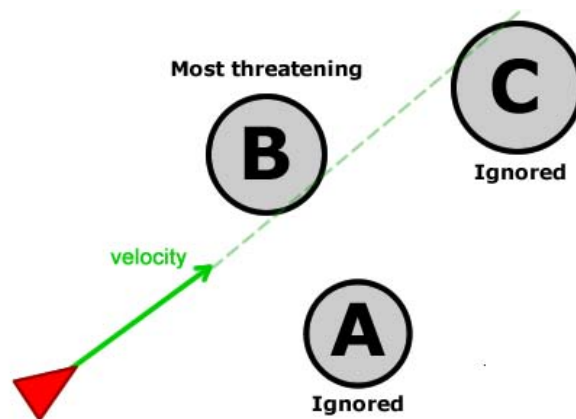
Μόλις ολοκληρωθεί η ανίχνευση, τα συστήματα αυτά είτε παρέχουν προειδοποίηση στον οδηγό όταν υπάρχει επικείμενη σύγκρουση είτε αναλαμβάνουν δράση αυτόνομα χωρίς την είσοδο του οδηγού (με πέδηση ή σύστημα διεύθυνσης ή και τα δύο). Η αποφυγή σύγκρουσης με πέδηση είναι κατάλληλη σε χαμηλές ταχύτητες του οχήματος (π.χ. κάτω από 50 km / h), ενώ η αποφυγή σύγκρουσης με σύστημα διεύθυνσης είναι κατάλληλη σε υψηλότερες ταχύτητες του οχήματος.



Εικόνα 3.3: Forward and Merging Collision Avoidance System

Η βασική ιδέα πίσω από την αποφυγή σύγκρουσης είναι να δημιουργηθεί μια δύναμη διεύθυνσης για την αποφυγή εμποδίων κάθε φορά που κάποιος είναι αρκετά κοντά με σκοπό να εμποδίσει τη διέλευση του οχήματος. Ακόμα κι αν σε ένα περιβάλλον υπάρχουν πολλά εμπόδια, αυτή η συμπεριφορά θα χρησιμοποιήσει ένα από αυτά κάθε φορά για να υπολογίσει τη δύναμη αποφυγής.

Η υλοποίηση ενός πραγματικού συστήματος αποφυγής σύγκρουσης αυτοκινήτων είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο έργο. Οι μηχανικοί συστημάτων πρέπει να εξετάσουν άπειρο αριθμό σεναρίων στα οποία πρέπει να εκτελεστεί με ασφάλεια το σύστημα. Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα του έργου σε ένα διαχειρίσιμο επίπεδο, η ακόλουθη εξέλιξη του συστήματος προϋποθέτει ότι το όχημα υποδοχής ταξιδεύει προς τα εμπρός σε ένα ίσιο τμήμα της εθνικής οδού. Επιπλέον, εξετάζουμε μόνο σενάρια μεταξύ του οχήματος υποδοχής και ενός άλλου οχήματος ή εμποδίου.



Εικόνα 3.4: Τα αντικείμενα μπροστά από τον χαρακτήρα αναλύονται και το κοντινότερο επιλέγεται ως το πιο επικίνδυνο

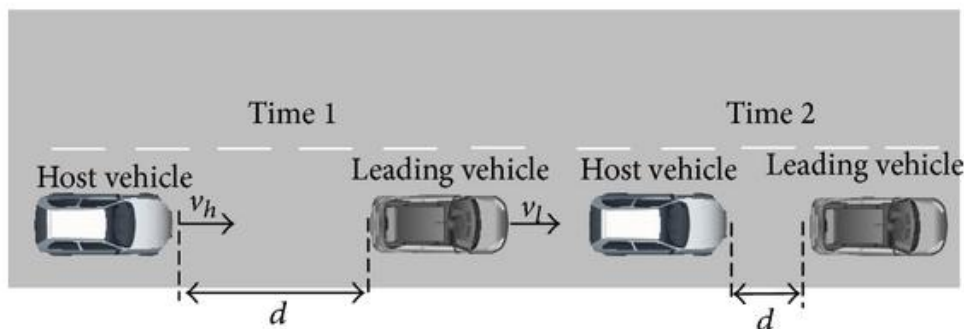
Σε forward collision warning system αναλύονται μόνο τα εμπόδια μπροστά από τον χαρακτήρα. Η πλησιέστερη, θεωρείται ότι είναι η πιο απειλητική και επιλέγεται για αξιολόγηση. Έτσι, ο χαρακτήρας είναι σε θέση να αποφύγει όλα τα εμπόδια στην περιοχή, μεταβαίνοντας από το ένα στο άλλο.

3.2 Στρατηγική ελέγχου φρεναρίσματος

Το σύστημα αποφυγής σύγκρουσης περιλαμβάνει τις ακόλουθες τεχνικές: αντίληψη και επεξεργασία περιβάλλοντος, αξιολόγηση της κατάστασης της κυκλοφορίας, της μοντελοποίησης της δυναμικής του οχήματος και τεχνικές εκτέλεσης ελέγχου. Ο κύριος σκοπός της αντίληψης και επεξεργασίας του περιβάλλοντος είναι η ανίχνευση των παραμέτρων του οχήματος σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας όλα τα είδη των αισθητήρων για να πάρουμε ακριβείς και αξιόπιστες πληροφορίες μέσα από την απαραίτητη επεξεργασία των σημάτων που πήραμε.

Μετά τον εντοπισμό των πεζών και των οχημάτων μπροστά από το όχημα που βρισκόμαστε, το όχημα πρέπει να κρατήσει μία ασφαλή απόσταση από το μπροστινό εμπόδιο. Διαφορετικά, πρέπει να ελέγχεται όταν κρίνεται ως επικίνδυνο. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα απλοποιήσουμε το πρόβλημα της αποφυγής σύγκρουσης στα εξής σενάρια:

- (i) Το επικίνδυνο όχημα βρίσκεται σε απόσταση από το όχημα που ελέγχουμε, είναι στην ίδια λωρίδα κατεύθυνσης, επιβραδύνει και φρενάρει.
- (ii) Δεύτερον, ένα όχημα ή ένας πεζός βρίσκονται σε απόσταση από το όχημα που ελέγχουμε και είναι ακινητοποιημένα. Στην περίπτωση του πεζού θεωρούμε την ταχύτητά του αμελητέα.
- (iii) Ένα όχημα ή πεζός εμφανίζονται μπροστά στο όχημα που ελέγχουμε πολύ ξαφνικά



Εικόνα 3.5: Το όχημα που βρίσκεται μπροστά επιβραδύνει και φρενάρει

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5, το d αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ του οχήματος που ελέγχουμε και του μπροστινού οχήματος. Εάν το όχημα μας εντοπίσει ότι το μπροστινό όχημα επιβραδύνει, τότε το όχημά μας πρέπει να επιβραδύνει ή ακόμη και να φρενάρει για να εξασφαλίσει ασφαλή απόσταση μεταξύ των δύο οχημάτων. Η κρίσιμη απόσταση φρεναρίσματος μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

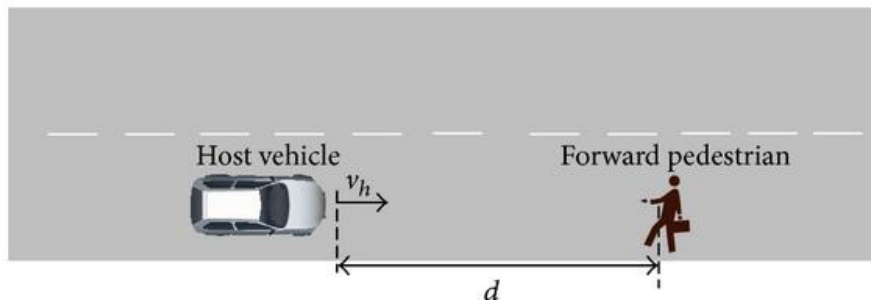
$$d_{w1} = v_h t_r + \frac{(v_h - v_l) t_i}{2} + \frac{v_h^2 - v_l^2}{2fg} + d_{\min}, \quad (1)$$

Όπου d_{w1} είναι η κρίσιμη απόσταση φρεναρίσματος για επιβράδυνση, v_h και v_l είναι η ταχύτητα του οχήματος που ελέγχουμε και του οχήματος που βρίσκεται μπροστά μας, t_r είναι το άθροισμα του χρόνου αντίδρασης του οδηγού και του χρόνου πέδησης το οποίο παίρνει τιμές από 0.8 έως 1.2s, t_i είναι ο χρόνος μέχρι να αρχίσει το όχημα να επιβραδύνει φρενάροντας με τιμές από 0.1 έως 0.2s, f είναι ο συντελεστής τριβής του δρόμου, g είναι η βαρύτητα της Γης και d_{\min} είναι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του οχήματος που ελέγχουμε

και του οχήματος που βρίσκεται μπροστά μας όταν είναι σταματημένα και παίρνει τιμές από 2 έως 5m.

Αφού έχουμε την κρίσιμη απόσταση φρεναρίσματος, είναι απαραίτητο να εκτιμήσουμε την παρούσα κατάσταση ασφαλούς κυκλοφορίας. Σύμφωνα με το (2), αν η πραγματική απόσταση μεταξύ του οχήματος και του μπροστινού του είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη απόσταση φρεναρίσματος, η κατάσταση της κυκλοφορίας είναι ασφαλής και το όχημα μπορεί να διατηρήσει την ταχύτητα που είχε. Αλλιώς, εάν ο οδηγός δεν επιβραδύνει ή πάρει άλλα μέτρα ασφαλείας όταν η απόσταση που έχει είναι μικρότερη ή ίση από την κρίσιμη απόσταση, αυτή η κατάσταση κρίνεται ως επικίνδυνη και η αυτόματη πέδηση επιβράδυνσης του οχήματος πρέπει να εφαρμοστεί άμεσα:

$$\begin{aligned} d &> d_{w1}, \quad \text{safe} \\ d &\leq d_{w1}, \quad \text{dangerous.} \end{aligned} \quad (2)$$



Εικόνα 3.6: Πεζός εμφανίζεται μπροστά από το όχημα

Με τον ίδιο τρόπο, η κατάσταση ασφαλούς κυκλοφορίας μπορεί να εκτιμηθεί σύμφωνα με την σχετική απόσταση μεταξύ του οχήματος που ελέγχουμε και του πεζού ή του οχήματος που βρίσκονται στη ίδια γραμμή κυκλοφορίας. Η ταχύτητα με την οποία περπατά ο πεζός θεωρείται αμελητέα σε σχέση με την ταχύτητα του οχήματος και θεωρείται μηδενική. Οπότε η κρίσιμη απόσταση φρεναρίσματος μεταξύ του οχήματος και του πεζού μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$d_{w2} = v_h \left(t_r + \frac{t_i}{2} \right) + \frac{v_h^2}{2fg} + d_{\min}, \quad (3)$$

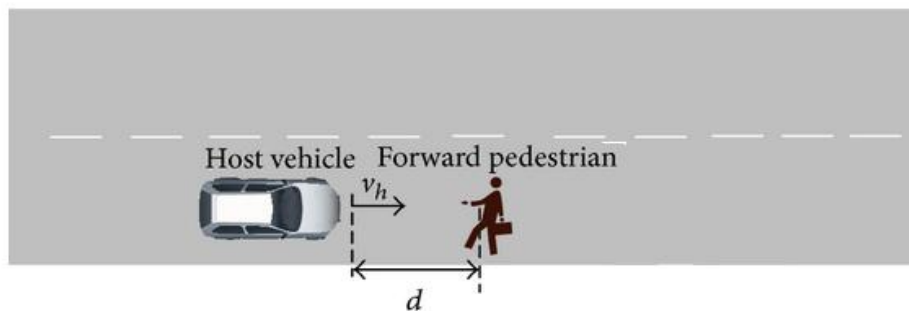
Όπου d_{w2} είναι η κρίσιμη απόσταση φρεναρίσματος για επιβράδυνση του οχήματος και d_{\min} είναι η ελάχιστη απόσταση του οχήματος με τον πεζό όταν σταματάει και παίρνει τιμές από 2 έως 5m.

Εάν η πραγματική απόσταση του οχήματος από τον πεζό είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη απόσταση φρεναρίσματος, το όχημα μπορεί να κρατήσει την ταχύτητα του και ο πεζός

μπορεί να περάσει τον δρόμο με ασφάλεια. Εάν όμως η απόσταση είναι μικρότερη ή ίση με την κρίσιμη απόσταση φρεναρίσματος, όπως φαίνεται στο (4), και ο οδηγός εξακολουθεί να μην επιβραδύνει ή να πάρει άλλα μέτρα ασφαλείας, αυτή η κατάσταση κρίνεται ως επικίνδυνη και η αυτόματη πέδηση επιβράδυνσης του οχήματος πρέπει να εφαρμοστεί άμεσα:

$$d > d_{w2}, \quad \text{safe} \tag{4}$$

$$d \leq d_{w2}, \quad \text{dangerous.}$$



Εικόνα 3.6: Πεζός ή όχημα εμφανίζεται ξαφνικά μπροστά στο όχημα που ελέγχουμε σε πολύ μικρή απόσταση

Όταν οι πεζοί διασχίζουν τον δρόμο από πολύ κοντινή απόσταση από το όχημα γρήγορα και ξαφνικά ή ένα άλλο όχημα εμφανίζεται ξαφνικά μπροστά από το όχημα σε πολύ κοντινή απόσταση στην ίδια λωρίδα κυκλοφορίας, μπορούμε να βρούμε την πραγματική απόσταση d η οποία είναι πολύ μικρή ανάμεσα από το όχημα και το εμπόδιο. Αυτή η κατάσταση κρίνεται ως πολύ επικίνδυνη και χρειάζεται να ελέγξουμε το όχημα με το μέγιστο φρενάρισμα επιβράδυνσης σε επείγουσες καταστάσεις την ίδια στιγμή:

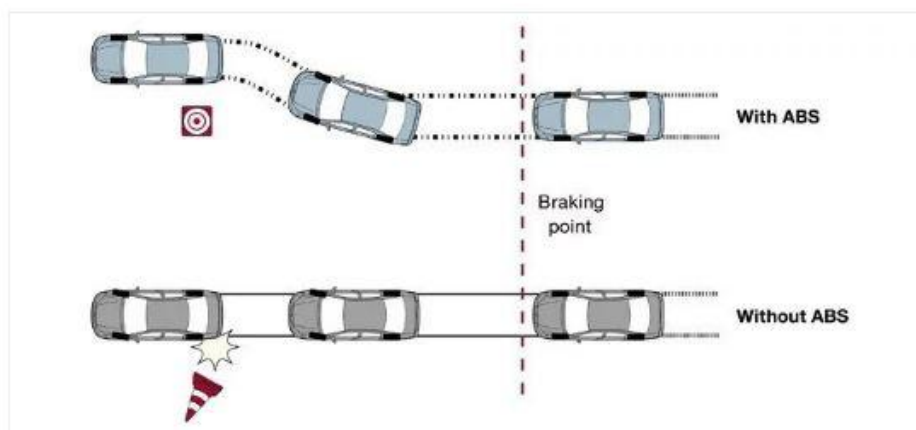
$$d \leq \frac{d_{w2}}{2}, \quad \text{extremely dangerous.} \tag{5}$$

Κεφάλαιο 4

Σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος τροχών (ABS)

4.1 Εισαγωγή

Η όλο και μεγαλύτερη ανάγκη για μείωση των ατυχημάτων, τα οποία προκαλούνται από την αυξανόμενη πυκνότητα της κυκλοφορίας και τις υψηλότερες ταχύτητες και τα οποία έχουν ως συνέπεια μεγάλους αριθμούς νεκρών και τραυματιών, οδήγησε τα τελευταία χρόνια την παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία σε εντατικές προσπάθειες για βελτίωση τόσο της ενεργητικής όσο και της παθητικής ασφάλειας των οχημάτων. Σημαντική συμβολή στην ενίσχυση της ενεργητικής ασφάλειας έχει προσφέρει τις τελευταίες δεκαετίες το **Σύστημα Αντί-μπλοκαρίσματος Τροχών (Anti-lock Braking System / ABS)**.



Εικόνα 4.1: Με ABS έχουμε μεγαλύτερη σταθερότητα και ασφάλεια σε ένα όχημα κατά το φρενάρισμα

Το **σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος τροχών** είναι ηλεκτρονικό και μηχανικό σύστημα ελέγχου της κίνησης των τροχών κατά τη διαδικασία φρεναρίσματος ενός οχήματος (αυτοκίνητο, μοτοσυκλέτα κ.ά) έτσι ώστε να αποφεύγεται η συνεχής ακινητοποίηση τους (μπλοκάρισμα). Το μπλοκάρισμα των τροχών είναι μη επιθυμητό κατά το φρενάρισμα ενός αυτοκίνητου γιατί μειώνει σημαντικά την πρόσφυση του, δηλαδή μειώνει τη δυνατότητα αλλαγής πορείας και υπό ορισμένες συνθήκες αυξάνει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για την ακινητοποίηση του.

Όπως το όνομα δηλώνει, το σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος κατά την πέδηση είναι ένα σύστημα ασφαλείας σε αυτοκίνητα που κρατά τους τροχούς από το κλείδωμα και βοηθά τους οδηγούς τους να διατηρήσουν τον έλεγχο του τιμονιού. Επίσης αναφερόμενο ως αντιολισθητικό σύστημα πέδησης μερικές φορές, επιτρέπει στους τροχούς ενός οχήματος

να διατηρούν την επαφή έλξης με το έδαφος έτσι ώστε να μην εισέρχονται σε ανεξέλεγκτη ολίσθηση.

Με το σύστημα ABS, έχουμε περισσότερο έλεγχο στο αυτοκίνητό μας σε καταστάσεις όπως η απότομη πέδηση. Βασικά, έχει σχεδιαστεί για να βοηθήσει τον οδηγό να διατηρήσει κάποια ικανότητα οδήγησης και να αποφύγει την ολίσθηση κατά την πέδηση.

4.1.1 Λειτουργία του συστήματος ABS

Η απόδοση ενός συστήματος πέδησης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, που έχουν άμεση ή έμμεση σχέση με το σύστημα και επηρεάζουν τη συνολική επιβράδυνση του αυτοκινήτου.

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η συνολική απόδοση του συστήματος πέδησης είναι:

1. Η λειτουργική κατάσταση του συστήματος πέδησης και ιδιαίτερα ο συντελεστής τριβής που αναπτύσσεται ανάμεσα σε τύμπανο – σιαγόνες ή ανάμεσα σε δίσκους – τακάκια.
2. Η κατάσταση των ελαστικών και του οδοστρώματος και ο συντελεστής τριβής μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος.

Κατά το φρενάρισμα αναπτύσσεται μία δύναμη τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος. Ταυτόχρονα δημιουργείται ολίσθηση ανάμεσα στο ελαστικό και την επιφάνεια του οδοστρώματος. Όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής τριβής και όσο πιο μικρό το ποσοστό της ολίσθησης κάθε τροχού, τόσο καλύτερη είναι και η απόσταση φρεναρίσματος.

Όταν μπλοκάρει ένας τροχός, επομένως, έχει ολίσθηση 100% και η δύναμη τριβής είναι κατά κανόνα μικρότερη από εκείνη που εμφανίζεται σε τροχό που κυλάει ακόμα. Το σύστημα ABS δημιουργεί τέτοιες συνθήκες δυνάμεων πέδησης στον τροχό έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δύναμη τριβής. Ταυτόχρονα απομένει μία αρκετά μεγάλη δύναμη πλάγιας ευστάθειας για να υπάρχει ικανότητα εκτέλεσης ελιγμών και να εξασφαλίζεται η ευστάθεια της πορείας.

Για να επιτύχει τις παραπάνω ιδανικές συνθήκες πέδησης, το σύστημα ABS ελέγχει την πίεση των υγρών των φρένων. Ο έλεγχος της πίεσης των υγρών των φρένων περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια λειτουργίας του συστήματος:

1. Την αύξηση της πίεσης.
2. Την συγκράτηση της πίεσης σε σταθερή τιμή.
3. Την μείωση της πίεσης.

Η αρχική αύξηση της πίεσης προέρχεται από τη δύναμη που ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ του φρένου. Στη συνέχεια η συγκράτηση, η μείωση και η αύξηση πάλι της πίεσης γίνεται από το ίδιο το σύστημα. Με τον τρόπο αυτό, το μπλοκάρισμα των τροχών καθίσταται αδύνατο ενώ η πέδηση πραγματοποιείται στο σημείο της μέγιστης δυνατής τριβής, επιτυγχάνοντας το βέλτιστο δυνατό φρενάρισμα του οχήματος. Σημειώνεται ότι τα οχήματα που διαθέτουν

σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος τροχών, ακριβώς εξαιτίας του γεγονότος ότι οι τροχοί δεν μπλοκάρουν δεν δημιουργούν ίχνη πέδησης των ελαστικών στο οδόστρωμα.

4.2 Στόχοι ενός συστήματος ABS

4.2.1 Μείωση της απόστασης κατά την διάρκεια φρεναρίσματος

Ο πρωταρχικός στόχος του φρεναρίσματος ενώ ένα όχημα είναι σε κίνηση είναι να σταματήσει το όχημα ή να μειώσει την ταχύτητα του οχήματος. Η απόσταση που το όχημα θα καλύψει πριν σταματήσει-ακινητοποιηθεί είναι συνάρτηση της μάζας του οχήματος, την αρχική ταχύτητα του οχήματος και τη δύναμη φρεναρίσματος. Εάν όλοι οι παράγοντες παραμείνουν σταθεροί τότε η μέγιστη δύναμη πέδησης θα καταλήξει στην ελάχιστη απόσταση ακινητοποίησης. Ωστόσο, η μέγιστη τιμή του συντελεστή τριβής μεταξύ των τροχών του οχήματος και της επιφάνειας του οδοστρώματος αναλογεί με τις οδικές συνθήκες ή τις επιφάνειες. Αυτό σημαίνει ότι διατηρώντας όλους τους τροχούς ενός οχήματος κοντά στη κορυφή, το σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος μπορεί να επιτύχει τη μέγιστη δύναμη τριβής και έτσι να διατηρηθεί η απόσταση ακινητοποίησης στο ελάχιστο. Αν και αυτός είναι ο πρωταρχικός στόχος του συστήματος φρεναρίσματος, το σύστημα πρέπει επίσης να λάβει υπόψη την ασφάλεια του οχήματος. Η ασφάλεια του οχήματος υπολογίζεται από δύο παράγοντες, συγκεκριμένα τη σταθερότητα του οχήματος και την ομαλότητα του οχήματος.

4.2.2 Σταθερότητα οχήματος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αν και ο πρωταρχικός στόχος των συστημάτων αντί-μπλοκαρίσματος είναι να μειώσουμε την απόσταση ακινητοποίησης κατά το φρενάρισμα, χρειάζεται επίσης να λάβουμε υπόψη μας τη σταθερότητα του οχήματος. Η μέγιστη δύναμη τριβής μπορεί να μην είναι επιθυμητή σε όλες τις περιπτώσεις. Σε περιπτώσεις όπου η επιφάνεια του δρόμου είναι για παράδειγμα χιονισμένη ή έχει χαλίκι, το αντιολισθητικό σύστημα θα αυξήσει την απόσταση ακινητοποίησης κατά το φρενάρισμα. Αν σε αυτές τις περιπτώσεις εφαρμοστεί η μέγιστη δύναμη φρεναρίσματος και στις δύο πλευρές του οχήματος, αυτό θα οδηγήσει σε στροφή κίνηση που θα τείνει να τραβήξει το όχημα στην υψηλότερη πλευρά τριβής με αποτέλεσμα να αυξηθεί σημαντικά η αστάθεια του οχήματος. Αυτό θα προκαλέσει τον οδηγό να αντιδράσει στρίβοντας υπερβολικά το τιμόνι προς την άλλη πλευρά με αποτέλεσμα το όχημα να είναι ασταθές. Έτσι το σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος διατηρεί την ολίσθηση και των δύο πίσω τροχών στις χαμηλότερες τιμές της τριβής μεταξύ των δύο. Με τον τρόπο αυτό η πλευρική δύναμη αυξάνεται και επομένως πετυχαίνουμε καλύτερη σταθερότητα στο όχημα.

4.2.3 Ομαλότητα οχήματος

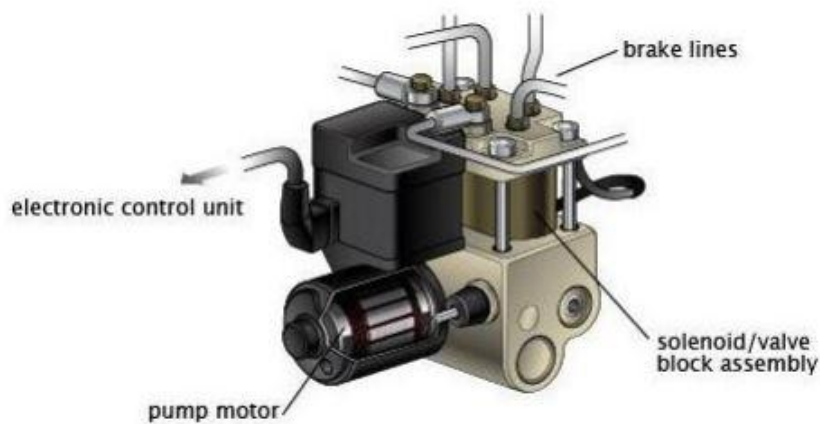
Αυτός είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες κατά το σχεδιασμό του συστήματος αντί-μπλοκαρίσματος. Ο καλός έλεγχος της μέγιστης δύναμης φρεναρίσματος είναι εξαιρετικά σημαντικός για να επιτύχουμε ικανοποιητική ομαλότητα στο όχημα καθώς συμβάλλει στην εξισορρόπηση των πλευρικών δυνάμεων που ενεργούν στο όχημα. Η επίτευξη καλής ομαλότητας του οχήματος είναι εξαιρετικά κρίσιμη, καθώς μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή ανεπιθύμητων εμποδίων στο δρόμο. Για τα οχήματα που είναι εξοπλισμένα με σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος, τα χαρακτηριστικά των ελαστικών παίζουν σημαντικό ρόλο. Η αναλογία ολίσθησης είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που συμβάλλουν στη σταθερότητα του συστήματος και τη διαχείρισή του. Η αναλογία ολίσθησης ορίζεται ως η διαφορά της ταχύτητας του οχήματος με την ταχύτητα του τροχού διααιρεμένη με την ταχύτητα του οχήματος. Μπορεί να εκφραστεί και ως ποσοστό.

$$\text{Slip Ratio \%} = \left[\frac{\text{vehicle speed} - \text{wheel speed}}{\text{vehicle speed}} \right] \times 100 \quad (4-1)$$

4.3 Τα μέρη ενός συστήματος ABS και η λειτουργία τους

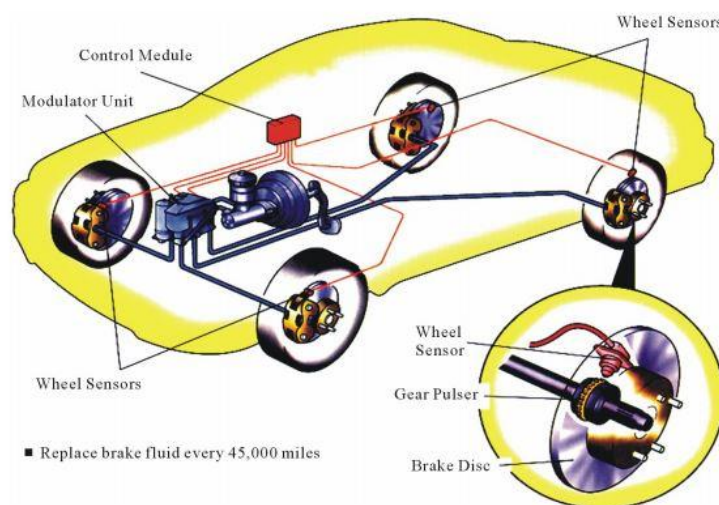
Τα μέρη που αποτελούν ένα τυπικό σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος τροχών είναι ο αισθητήρας ταχύτητας, οι βαλβίδες, η αντλία και ένας ελεγκτής. Ο ελεγκτής για το ABS είναι γνωστός και ως ECU (Electronic Control Unit). Το ECU είναι μια ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου που λαμβάνει, ενισχύει και φιλτράρει τα σήματα από τον αισθητήρα για τον υπολογισμό της ταχύτητας και της επιτάχυνσης περιστροφής του κάθε τροχού. Το ECU λαμβάνει σήμα από τους αισθητήρες στο κύκλωμα και ελέγχει την πίεση φρένων, σύμφωνα με τα δεδομένα που αναλύονται από τη μονάδα. Εάν το ECU ανιχνεύσει ότι ένας συγκεκριμένος τροχός κινείται σημαντικά βραδύτερα από τους άλλους, τότε πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα σε αυτή την περίπτωση. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι ότι αν ένας τροχός κινείται πιο αργά από τον άλλο τότε αυτό είναι μια πρώιμη ένδειξη ότι θα μπορούσε να υπάρξει περίπτωση κλειδώματος του τροχού. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, μια υπόθεση κλειδώματος τροχού θα μπορούσε να είναι επιβλαβής, δεδομένου ότι θα έθετε σε κίνδυνο την ασφάλεια του οχήματος και του οδηγού. Θα μπορούσε να οδηγήσει το όχημα σε ολίσθηση ή να προκαλέσει ανεπιθύμητη κίνηση στροφής. Σε περίπτωση που ανιχνευθεί ότι υπάρχει ένας τόσο αργός κινούμενος τροχός, το ECU ενεργοποιεί τις βαλβίδες για να μειώσει την υδραυλική πίεση στο φρένο στον επηρεασμένο τροχό. Με τη μείωση της πίεσης πέδησης σε αυτόν τον τροχό, με τη σειρά του τώρα αρχίζει να περιστρέφεται ταχύτερα και να ταιριάζει αντίστοιχα με την ταχύτητα των άλλων τροχών. Οι βαλβίδες εντός του συστήματος πέδησης έχουν ορισμένες τυπικές λειτουργίες. Οι βαλβίδες κυρίως ανοίγουν και αφήνουν το υδραυλικό υγρό από την αντλία να φτάσει στο σύστημα πέδησης. Μια άλλη σημαντική λειτουργία των βαλβίδων είναι να βλέπει αν διατηρείται η πίεση που παρέχεται στο φρενάρισμα. Αυτό γίνεται με το κλείσιμο των βαλβίδων για να αντισταθούν σε οποιαδήποτε περαιτέρω πίεση που παρέχονται στο σύστημα πέδησης. Τρίτον, η μείωση της πίεσης πέδησης αποδίδεται επίσης στις βαλβίδες

καθώς ανοίγουν για να επιτρέπουν την απελευθέρωση του υδραυλικού υγρού από το σύστημα. Οι βαλβίδες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προβλήματα απόφραξης με την πάροδο του χρόνου και μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στο σύστημα πέδησης.

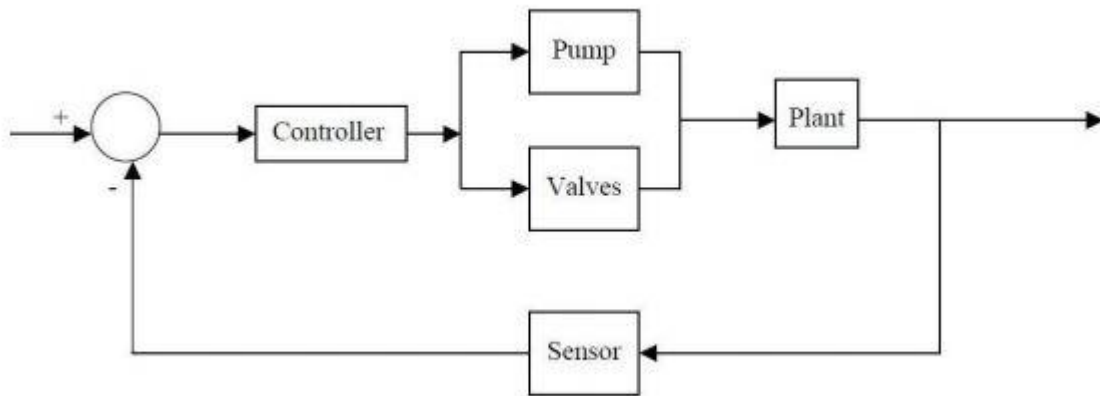


Εικόνα 4.2: Διάταξη αντλίας και βαλβίδας

Το ECU, όπως αναφέρθηκε, παρακολουθεί επίσης εάν ένας συγκεκριμένος τροχός περιστρέφεται σημαντικά ταχύτερα από τους άλλους τροχούς. Υπάρχει μια ισχυρή πιθανότητα ότι θα μπορούσε να συμβεί το αντίθετο από την παραπάνω κατάσταση. Εάν διαπιστωθεί μια τέτοια κατάσταση η υδραυλική πίεση του φρένου στον συγκεκριμένο τροχό αυξάνεται η οποία στη συνέχεια επιβραδύνεται μειώνοντας την ταχύτητα του τροχού. Και πάλι αυτό γίνεται μέχρι να ταιριάζει με την ταχύτητα περιστροφής των άλλων τροχών. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς έτσι ώστε να διατηρείται μια σταθερή ταχύτητα για όλους τους τροχούς. Το ECU είναι επίσης προγραμματισμένο να αγνοεί διαφορές στις ταχύτητες περιστροφής των τροχών κάτω από ένα κρίσιμο σημείο. Ο λόγος για αυτό είναι ότι όταν ένα αυτοκίνητο κάνει μια στροφή, οι δύο τροχοί στρίβουν αργότερα από τους άλλους δύο. Εάν εμφανιστεί κάποιο σφάλμα σε οποιοδήποτε μέρος του ABS τότε ανάβει μια προειδοποιητική λυχνία, η οποία βρίσκεται συνήθως κοντά στο ταχύμετρο του οχήματος. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το σύστημα ABS θα μπορούσε να απενεργοποιηθεί μέχρι να διορθωθεί το σφάλμα.



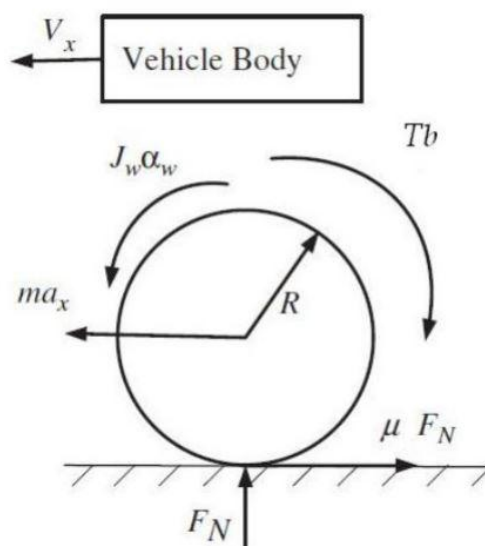
Εικόνα 4.3: Τα τυπικά μέρη ενός συστήματος ABS



Εικόνα 4.4: Σύστημα κλειστού βρόχου με τα μέρη ενός συστήματος ABS

4.4 Μοντελοποίηση του συστήματος

Ένα σύστημα οχήματος στο σύνολό του αποτελείται από πολλά μέρη και παραμέτρους. Για να οικοδομήσουμε ένα πλήρες μοντέλο για ένα σύστημα οχήματος με όλα αυτά τα μέρη και τα χαρακτηριστικά θα ήταν εξαιρετικά περίπλοκο και θα μπορούσαν να υπάρχουν πολλά θέματα σχεδιασμού για τα ίδια. Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο απλουστευμένου τετραμελούς οχήματος. Με αυτόν τον τρόπο, όλα τα βασικά χαρακτηριστικά του οχήματος που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του οχήματος έχουν διατηρηθεί. Αυτό το τετραμελές μοντέλο οχήματος έχει χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό του ABS συστήματος. Η Εικόνα 4.5 δείχνει το μοντέλο του οχήματος.



Εικόνα 4.5: Μοντέλο οχήματος

Η ροπή στο κέντρο του τροχού δίνεται από:

$$J_{\omega} \alpha_{\omega} = \mu \times R \times F_n - T_b \quad (4-2)$$

Η ισορροπία των δυνάμεων πέδησης στον άξονα x για το όχημα δίνεται από:

$$m \times a_x = - \mu \times F_n = m \times (dV_x/dt) \quad (4-3)$$

Η ολίσθηση του τροχού δίνεται από:

$$\lambda = (V_x - \omega R) / V_x \quad (4-4)$$

Η επιτάχυνση του τροχού δίνεται από:

$$\alpha_{\omega} = d\omega R / dt \quad (4-5)$$

Όπου

α_{ω} = γωνιακή επιτάχυνση τροχού

a_x = γραμμική επιτάχυνση οχήματος

J = αδράνεια

ω = γωνιακή ταχύτητα τροχού

R = ακτίνα τροχού

V_x = γραμμική ταχύτητα οχήματος

F_n = κάθετη αντίδραση του τροχού στο δρόμο

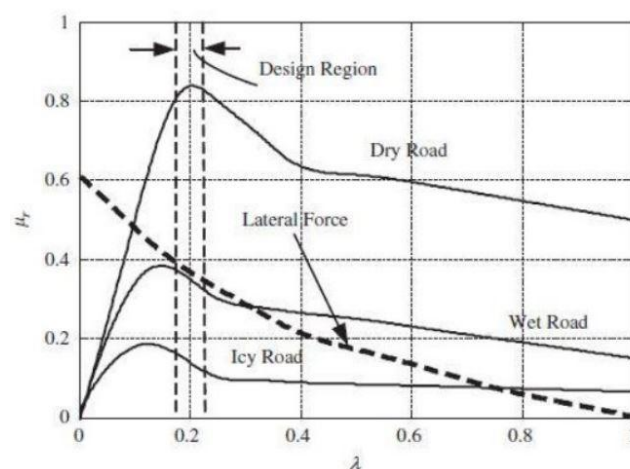
T_b = ροπή φρεναρίσματος

μ = συντελεστής τριβής

λ = ολίσθηση τροχού

m = μάζα του μοντέλου

όπου $\alpha_{\omega} > 0$, $V_x > 0$, με $-1 < \lambda < 1$

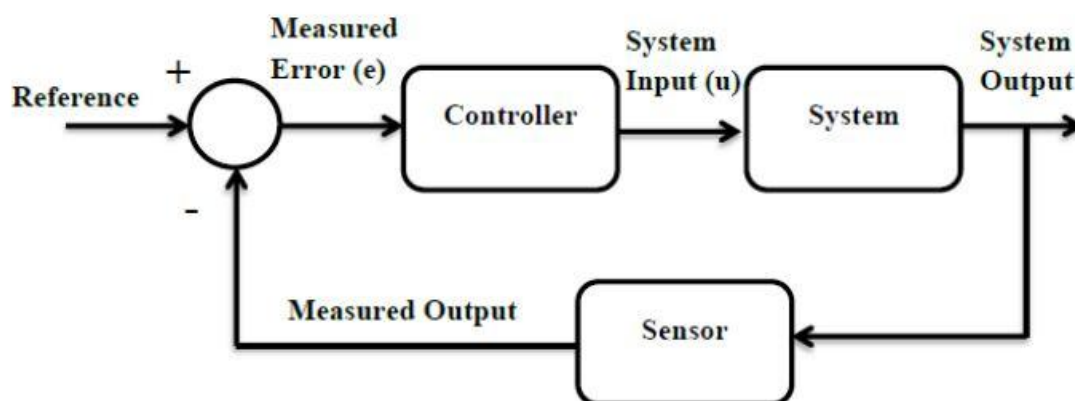


Εικόνα 4.6: Γράφημα του συντελεστή τριβής των οδικών επιφανειών με τον λόγο της ολίσθησης του τροχού

Το γράφημα της Εικόνας 4.6 είναι ένα γράφημα του συντελεστή τριβής των επιφανειών του οδοστρώματος έναντι της ολίσθησης του τροχού. Για να έχουμε μια σταθερή τιμή της βέλτιστης ολίσθησης, πρέπει να δούμε τον καλύτερο συμβιβασμό μεταξύ του συντελεστή τριβής μεταξύ ελαστικού και δρόμου. Από την Εικόνα 4.6 μπορούμε να δούμε σαφώς ότι για όλες σχεδόν τις οδικές επιφάνειες η βέλτιστη τιμή της ολίσθησης είναι κοντά στο 0,2. Έτσι ο στόχος μας είναι να κάνουμε τον ελεγκτή ABS για την ολίσθηση του τροχού να ολισθήσει όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτή την τιμή για να μεγιστοποιηθεί ο συντελεστής τριβής.

4.5 Σύστημα ελέγχου ανατροφοδότησης κλειστού βρόχου

Ένα σύστημα ελέγχου ανάδρασης κλειστού βρόχου πρέπει να εφαρμοστεί για να μελετηθεί ο έλεγχος ABS στο μοντέλο του οχήματος. Η εικόνα 4.7 αναπαριστά το διάγραμμα για ένα τέτοιο σύστημα.



Εικόνα 4.7: Σύστημα ελέγχου ABS ανατροφοδότησης κλειστού βρόχου

Στην περίπτωσή μας, ο λόγος ολίσθησης εξόδου τροφοδοτείται πίσω στον ελεγκτή όπου συγκρίνεται με τη σταθερή τιμή 0.2. Αυτό το μετρούμενο σφάλμα τροφοδοτείται ως είσοδος στον ελεγκτή. Στη συνέχεια ο ελεγκτής θα προσαρμόσει ανάλογα την έξοδο ανάλογα με την τιμή του μετρούμενο σφάλματος στις ολισθήσεις. Αυτή η έξοδος είναι η σχετική μεταβολή της πίεσης πέδησης.

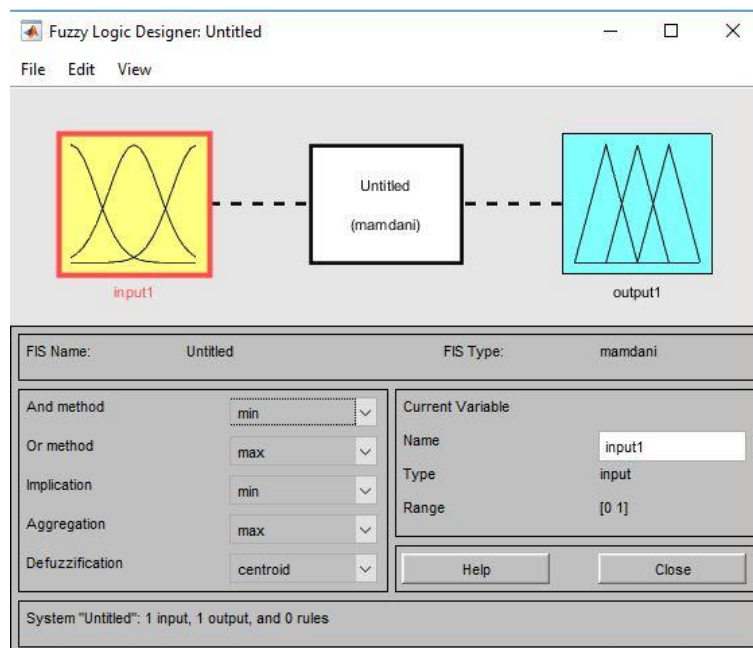
Στη συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα κατασκευαστεί και θα μελετηθεί το μοντέλο ελεγκτή ABS, συγκεκριμένα ένας ελεγκτής ασαφούς λογικής. Στην προσομοίωση του ελεγκτή θα εξετάσουμε πως συμπεριφέρεται το μοντέλο κάτω από ένα στεγνό ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα όταν λαμβάνεται υπόψη η πέδηση σε ευθεία γραμμή.

Κεφάλαιο 5

Ασαφής ελεγκτής συστήματος πέδησης οχήματος

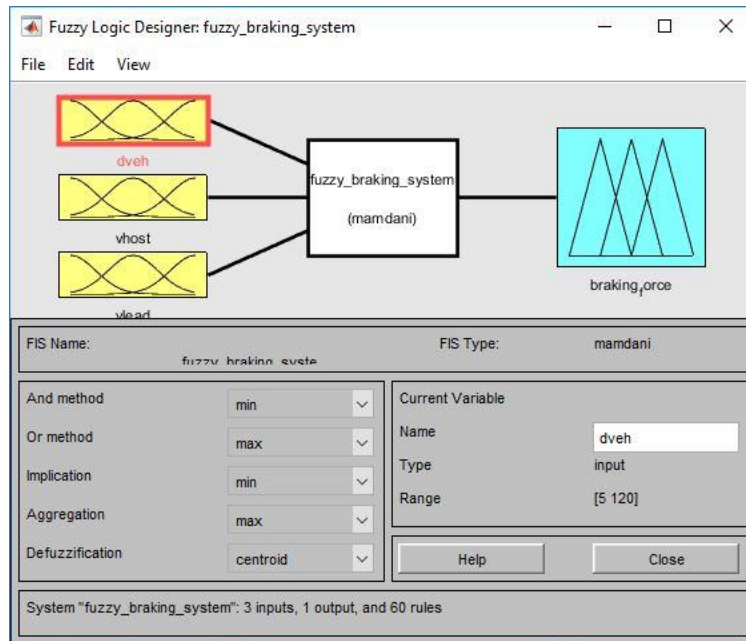
5.1 Σχεδίαση του Ασαφή Ελεγκτή

Ο ασαφής ελεγκτής (fuzzy controller) έχει σχεδιαστεί με ένα ειδικό πρόγραμμα που υπάρχει στο πακέτο του λογισμικού Matlab και ονομάζεται Fuzzy Logic Designer (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Άνοιγμα του Fuzzy Logic Designer

Για την κατασκευή του συστήματος πέδησης με ασαφή ελεγκτή χρησιμοποιήθηκε η ασαφής μέθοδος συμπερασμού Mamdani, ο **τριγωνικός τύπος συνάρτησης (trimf)**, τόσο για τις εισόδους όσο και για την έξοδο, οι τελεστές **AND(min)**, **OR(max)**, η **συνεπαγωγή min (Mamdani)**, η **συνάθροιση max** και ο **από-ασαφοποιητής centroid** (Εικόνα 5.2). Το fuzzy αρχείο που δημιουργήθηκε με τρεις εισόδους (inputs) και μία έξοδο (output) ονομάστηκε fuzzy_braking_system.fis.



Εικόνα 5.2: Ο Fuzzy Logic Designer για τον ελεγκτή τριών εισόδων και μίας εξόδου

Οι είσοδοι του συστήματος είναι με την σειρά η απόσταση του οχήματος με το εμπόδιο (όχημα ή πεζός) που βρίσκεται μπροστά του (dveh), η ταχύτητα του οχήματος (vhost) καθώς και η ταχύτητα του εμποδίου που προηγείται του οχήματος (vlead). Η έξοδος είναι η δύναμη πέδησης (braking_force).

Τα υπερσύνολα αναφοράς είναι [5 120], [0 130], [0 130] για την κάθε είσοδο αντίστοιχα και [0 13.5] για την έξοδο του συστήματος. Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για το σύστημα είναι (m) για την απόσταση, (km/h) για την ταχύτητα και (KN) για την δύναμη πέδησης. Τα όρια για το υπερσύνολο αναφοράς της εξόδου έχουν εκτιμηθεί ως εξής:

Η μέγιστη τιμή $P_{br\ max}$ της δύναμης πέδησης ενός οχήματος είναι ίση προς τη δύναμη τριβής του δρόμου. Όταν όλοι οι τροχοί του οχήματος είναι ακινητοποιημένοι με τα φρένα, η μέγιστη τιμή της δύναμης πέδησης (σε N) είναι:

$$P_{br\ max} = P_{br1} + P_{br2} = \phi_{\chi} Z_1 + \phi_{\chi} Z_2 = \phi_{\chi} (Z_1 + Z_2) \quad (5-1)$$

αλλά επειδή ισχύει ότι: $Z_1 + Z_2 = G_a$ (5-2)

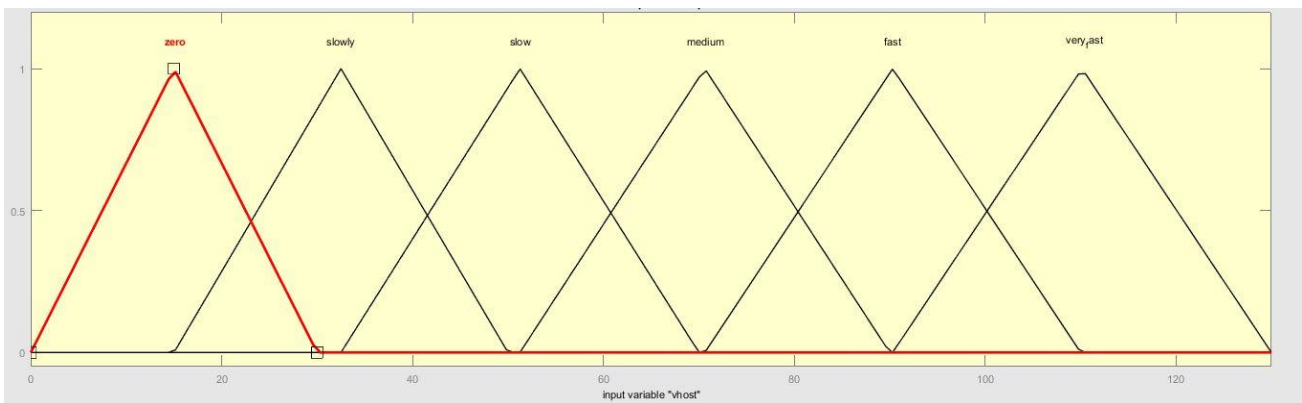
τότε: $P_{br\ max} = \phi_{\chi} G_a$ (5-3)

Όπου ϕ_{χ} ο συντελεστής τριβής, Z_1 και Z_2 η κάθετη αντίδραση του οχήματος στις μπροστινές και πίσω ρόδες και G_a η δύναμη της βαρύτητας του οχήματος. Δεδομένου ότι η μέγιστη τιμή του συντελεστή ϕ_{χ} κυμαίνεται μεταξύ 0.8 - 0.9, το μέγεθος της δύναμης πέδησης κατά την πέδηση επί στεγνού ασφαλτοστρωμένου δρόμου μηδενικής κλίσεως, μπορεί να φτάσει

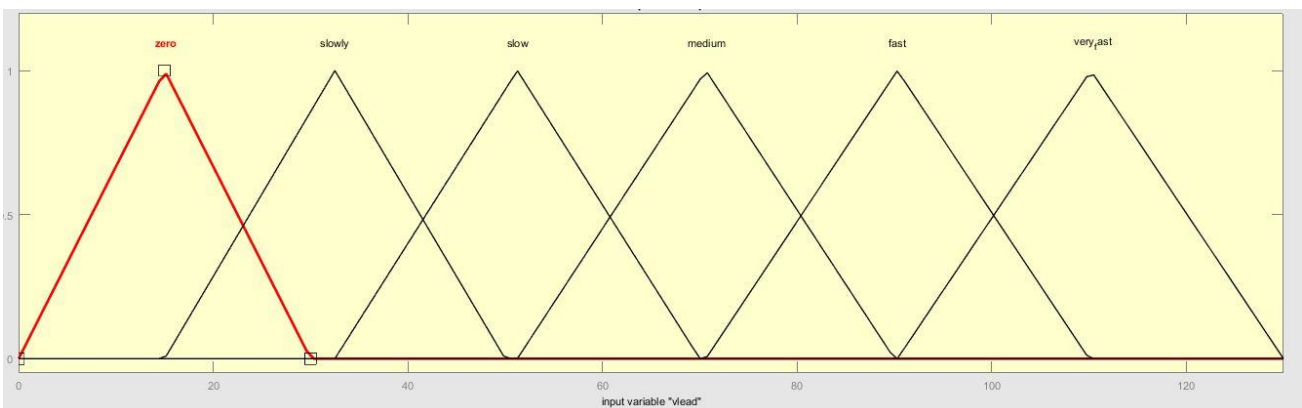
το 80 - 90% της δύναμης βαρύτητας του οχήματος. Δεδομένου οχήματος μάζας 1600 kg η μέγιστη δύναμη πέδησης διαμορφώνεται στα 13.5 KN .

5.1.1 Λεκτικός διαμερισμός εισόδων-εξόδου

Για το λεκτικό διαμερισμό των εισόδων *vhost*, *vlead* χρησιμοποιήθηκαν 6 λεκτικοί όροι: *zero*, *slowly*, *slow*, *medium*, *fast*, *very_fast* με εύρος τιμών [0, 30], [15, 50], [32.5, 70], [51.25, 90], [70.65, 110], [90.3, 130] αντίστοιχα (Εικόνα 5.3, 5.4).

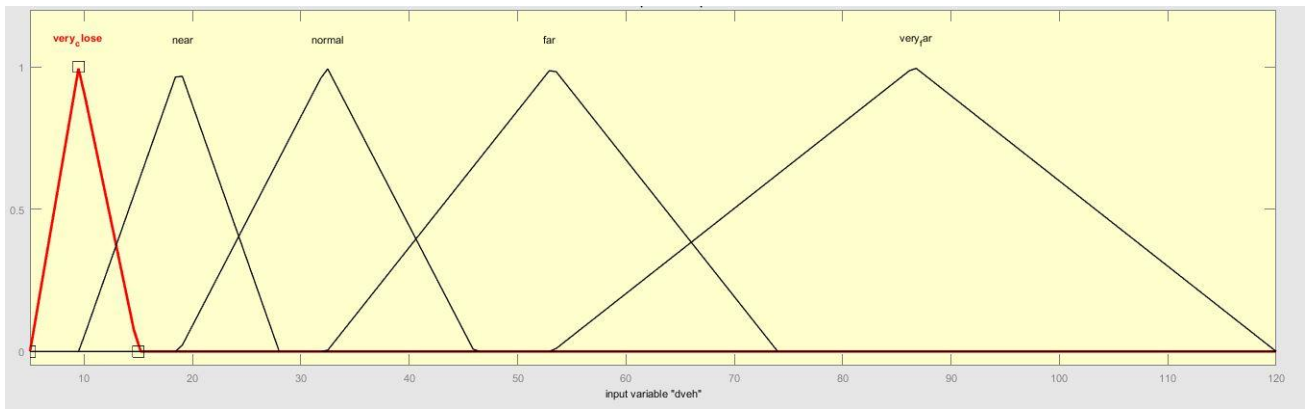


Εικόνα 5.3: Λεκτικός διαμερισμός της εισόδου *vhost*



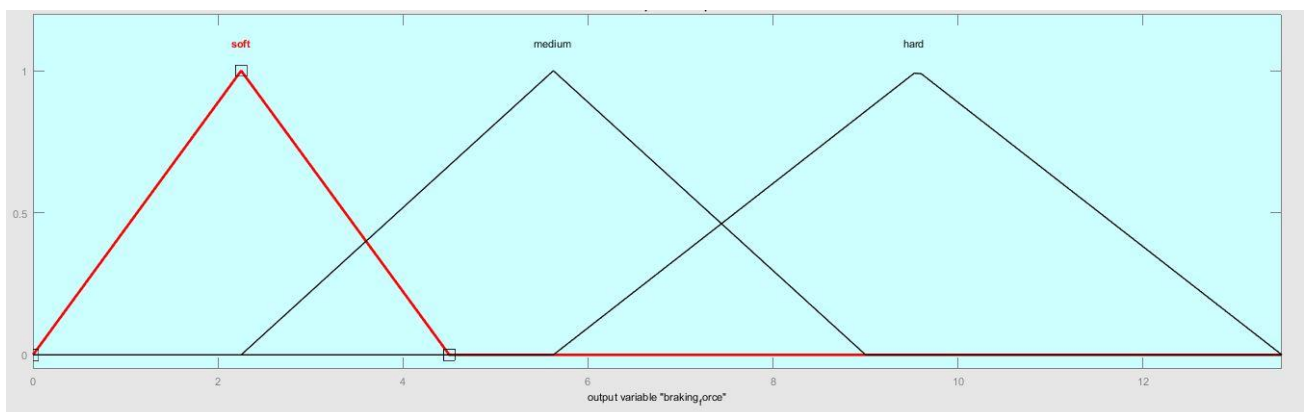
Εικόνα 5.4: Λεκτικός διαμερισμός της εισόδου *vlead*

Επίσης για το λεκτικό διαμερισμό της εισόδου *dneh* χρησιμοποιήθηκαν 5 λεκτικοί όροι: *very close*, *near*, *normal*, *far*, *very far* με εύρος τιμών [5, 14], [9.5, 28], [18.75, 46], [32.4, 74], [53.2, 120] αντίστοιχα (Εικόνα 5.5).



Εικόνα 5.5: Λεκτικός διαμερισμός της εισόδου *dveh*

Τέλος για το λεκτικό διαμερισμό της εξόδου *braking_force* χρησιμοποιήθηκαν 3 λεκτικοί όροι: *soft*, *medium*, *hard* με εύρος τιμών [0, 4.5], [2.25, 9], [5.625, 13.5] αντίστοιχα (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.6: Λεκτικός διαμερισμός της εξόδου *braking_force*

5.1.2 Διατύπωση κανόνων του ασαφούς συστήματος ελέγχου

Η βάση κανόνων (Εικόνα 5.7 (α), (β), (γ)) του ασαφούς συστήματος αυτόματης πέδησης έχει δημιουργηθεί με βάση τον λεκτικό διαμερισμό των εισόδων και εξόδων του συστήματος.

1. If (dveh is very_close) and (vhost is slow) and (vlead is zero) then (braking_force is soft) (1)
2. If (dveh is near) and (vhost is slow) and (vlead is zero) then (braking_force is soft) (1)
3. If (dveh is normal) and (vhost is slow) and (vlead is zero) then (braking_force is soft) (1)
4. If (dveh is very_close) and (vhost is medium) and (vlead is zero) then (braking_force is hard) (1)
5. If (dveh is near) and (vhost is medium) and (vlead is zero) then (braking_force is medium) (1)
6. If (dveh is normal) and (vhost is medium) and (vlead is zero) then (braking_force is soft) (1)
7. If (dveh is very_close) and (vhost is fast) and (vlead is zero) then (braking_force is hard) (1)
8. If (dveh is near) and (vhost is fast) and (vlead is zero) then (braking_force is medium) (1)
9. If (dveh is normal) and (vhost is fast) and (vlead is zero) then (braking_force is medium) (1)
10. If (dveh is far) and (vhost is fast) and (vlead is zero) then (braking_force is soft) (1)
11. If (dveh is very_close) and (vhost is very_fast) and (vlead is zero) then (braking_force is hard) (1)
12. If (dveh is near) and (vhost is very_fast) and (vlead is zero) then (braking_force is hard) (1)
13. If (dveh is normal) and (vhost is very_fast) and (vlead is zero) then (braking_force is medium) (1)
14. If (dveh is far) and (vhost is very_fast) and (vlead is zero) then (braking_force is soft) (1)
15. If (dveh is very_close) and (vhost is slow) and (vlead is slowly) then (braking_force is soft) (1)
16. If (dveh is very_close) and (vhost is medium) and (vlead is slowly) then (braking_force is medium) (1)
17. If (dveh is very_close) and (vhost is fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is hard) (1)
18. If (dveh is very_close) and (vhost is very_fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is hard) (1)
19. If (dveh is near) and (vhost is medium) and (vlead is slowly) then (braking_force is soft) (1)
20. If (dveh is near) and (vhost is fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is hard) (1)
21. If (dveh is near) and (vhost is very_fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is hard) (1)
22. If (dveh is normal) and (vhost is medium) and (vlead is slowly) then (braking_force is soft) (1)
23. If (dveh is normal) and (vhost is fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is medium) (1)
24. If (dveh is normal) and (vhost is very_fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is hard) (1)
25. If (dveh is far) and (vhost is fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is soft) (1)

Εικόνα 5.7 (α) : Βάση κανόνων του ασαφούς συστήματος ελέγχου

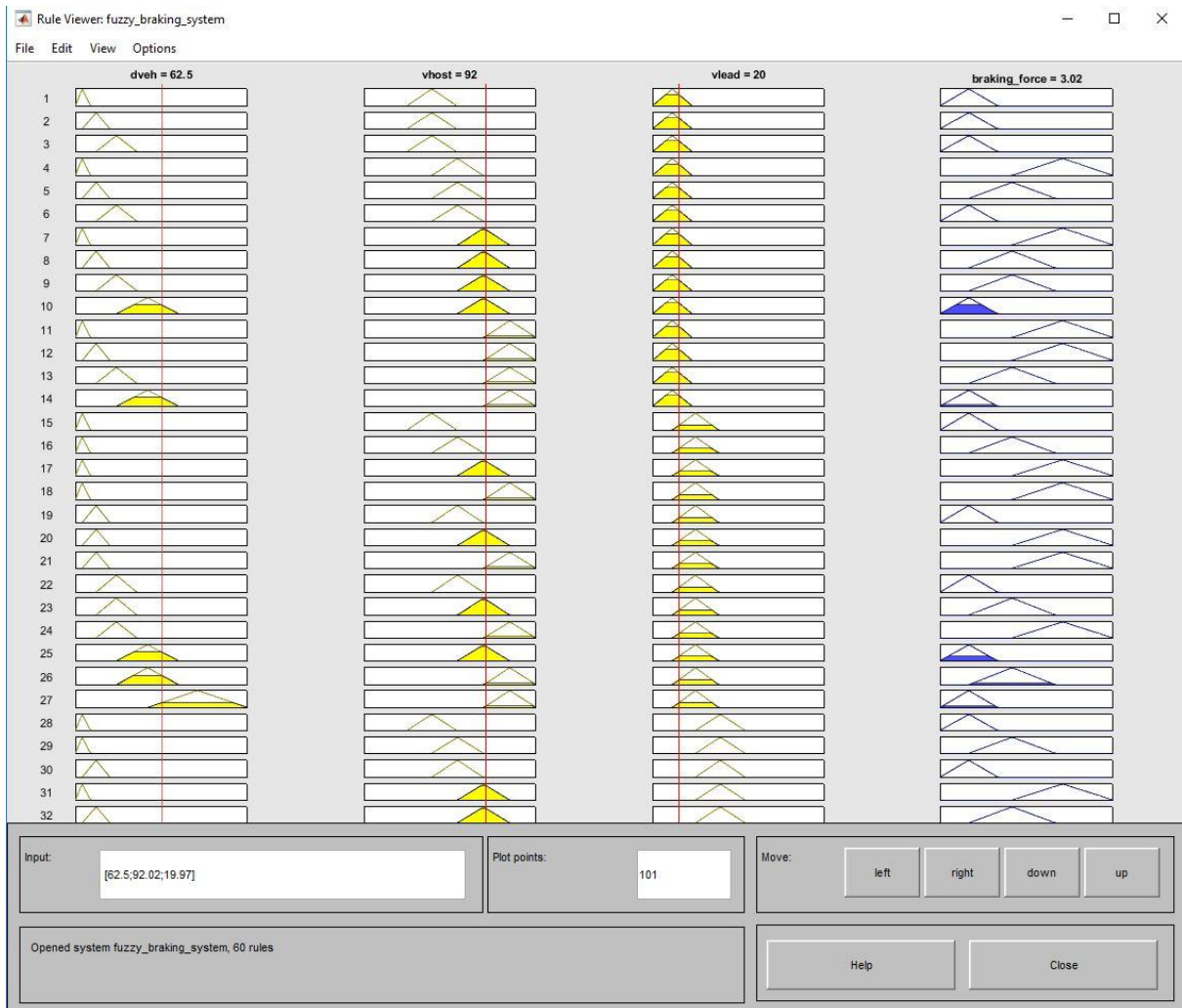
25. If (dveh is far) and (vhost is fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is soft) (1)
26. If (dveh is far) and (vhost is very_fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is medium) (1)
27. If (dveh is very_far) and (vhost is very_fast) and (vlead is slowly) then (braking_force is soft) (1)
28. If (dveh is very_close) and (vhost is slow) and (vlead is slow) then (braking_force is soft) (1)
29. If (dveh is very_close) and (vhost is medium) and (vlead is slow) then (braking_force is medium) (1)
30. If (dveh is near) and (vhost is medium) and (vlead is slow) then (braking_force is soft) (1)
31. If (dveh is very_close) and (vhost is fast) and (vlead is slow) then (braking_force is hard) (1)
32. If (dveh is near) and (vhost is fast) and (vlead is slow) then (braking_force is medium) (1)
33. If (dveh is normal) and (vhost is fast) and (vlead is slow) then (braking_force is soft) (1)
34. If (dveh is far) and (vhost is fast) and (vlead is slow) then (braking_force is soft) (1)
35. If (dveh is very_close) and (vhost is very_fast) and (vlead is slow) then (braking_force is hard) (1)
36. If (dveh is near) and (vhost is very_fast) and (vlead is slow) then (braking_force is hard) (1)
37. If (dveh is normal) and (vhost is very_fast) and (vlead is slow) then (braking_force is medium) (1)
38. If (dveh is far) and (vhost is very_fast) and (vlead is slow) then (braking_force is soft) (1)
39. If (dveh is very_far) and (vhost is very_fast) and (vlead is slow) then (braking_force is soft) (1)
40. If (dveh is very_close) and (vhost is medium) and (vlead is medium) then (braking_force is soft) (1)
41. If (dveh is near) and (vhost is medium) and (vlead is medium) then (braking_force is soft) (1)
42. If (dveh is very_close) and (vhost is fast) and (vlead is medium) then (braking_force is hard) (1)
43. If (dveh is near) and (vhost is fast) and (vlead is medium) then (braking_force is medium) (1)
44. If (dveh is normal) and (vhost is fast) and (vlead is medium) then (braking_force is soft) (1)
45. If (dveh is very_close) and (vhost is very_fast) and (vlead is medium) then (braking_force is hard) (1)
46. If (dveh is near) and (vhost is very_fast) and (vlead is medium) then (braking_force is hard) (1)
47. If (dveh is normal) and (vhost is very_fast) and (vlead is medium) then (braking_force is medium) (1)
48. If (dveh is far) and (vhost is very_fast) and (vlead is medium) then (braking_force is soft) (1)
49. If (dveh is very_far) and (vhost is very_fast) and (vlead is medium) then (braking_force is soft) (1)

Εικόνα 5.7 (β) : Βάση κανόνων του ασαφούς συστήματος ελέγχου (συνέχεια)

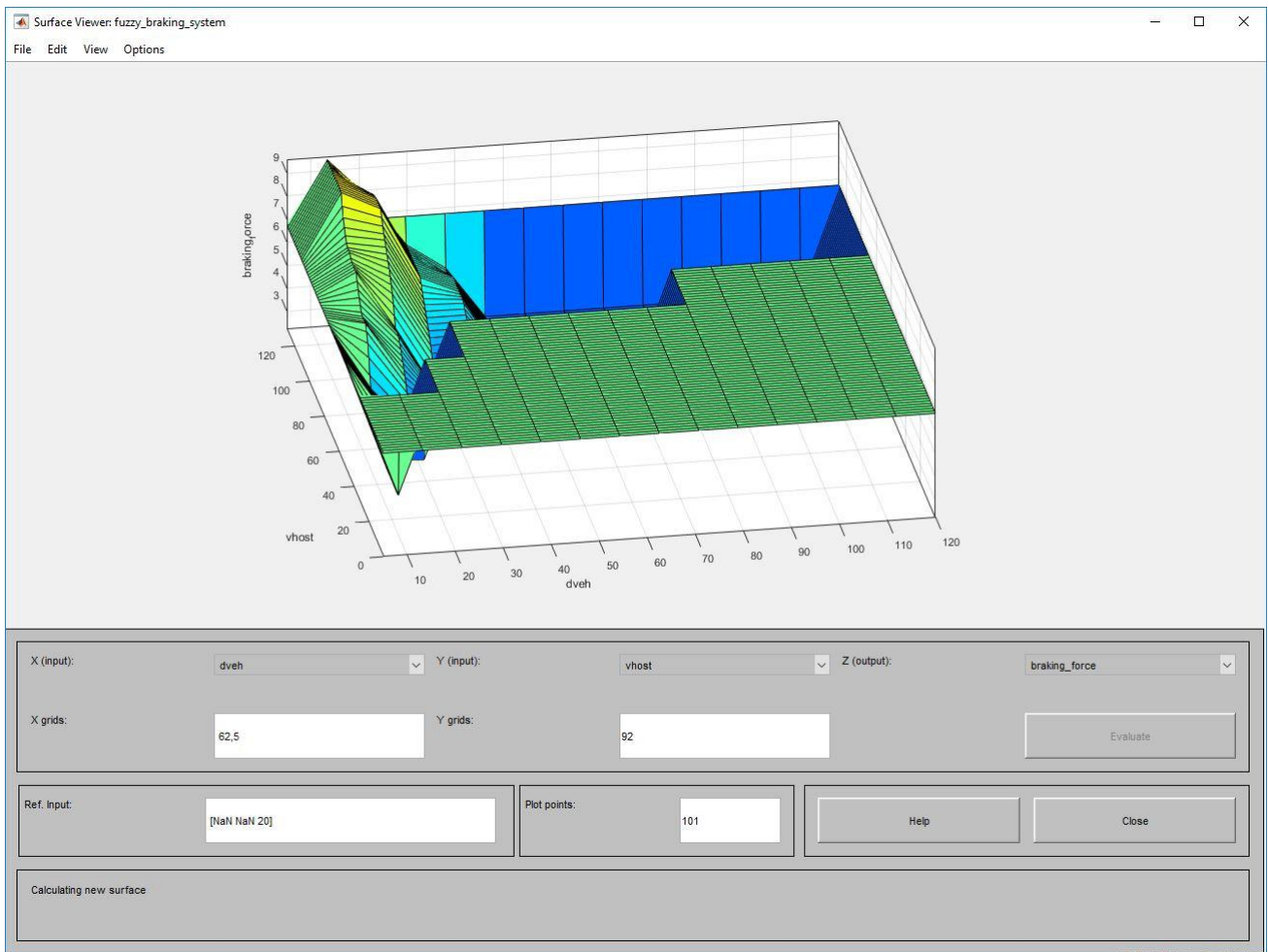
49. If (dveh is very_far) and (vhost is very_fast) and (vlead is medium) then (braking_force is soft) (1)
50. If (dveh is very_close) and (vhost is fast) and (vlead is fast) then (braking_force is medium) (1)
51. If (dveh is near) and (vhost is fast) and (vlead is fast) then (braking_force is soft) (1)
52. If (dveh is normal) and (vhost is fast) and (vlead is fast) then (braking_force is soft) (1)
53. If (dveh is very_close) and (vhost is very_fast) and (vlead is fast) then (braking_force is hard) (1)
54. If (dveh is near) and (vhost is very_fast) and (vlead is fast) then (braking_force is hard) (1)
55. If (dveh is normal) and (vhost is very_fast) and (vlead is fast) then (braking_force is medium) (1)
56. If (dveh is far) and (vhost is very_fast) and (vlead is fast) then (braking_force is soft) (1)
57. If (dveh is very_close) and (vhost is very_fast) and (vlead is very_fast) then (braking_force is hard) (1)
58. If (dveh is near) and (vhost is very_fast) and (vlead is very_fast) then (braking_force is hard) (1)
59. If (dveh is normal) and (vhost is very_fast) and (vlead is very_fast) then (braking_force is medium) (1)
60. If (dveh is far) and (vhost is very_fast) and (vlead is very_fast) then (braking_force is soft) (1)

Εικόνα 5.7 (γ) : Βάση κανόνων του ασαφούς συστήματος ελέγχου (συνέχεια)

Η Εικόνα 5.8 αναπαριστά την προβολή κανόνων της από-ασαφοποιημένης εξόδου.



Εικόνα 5.8: Ο Rule Viewer με την από-ασαφοποιημένη έξοδο



Εικόνα 5.9: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς συστήματος

Κεφάλαιο 6

Ασαφής ελεγκτής συστήματος ABS

6.1 Εισαγωγή

Ο στόχος του ελεγκτή ABS είναι να διατηρεί την ολίσθηση του τροχού όσο το δυνατόν πιο κοντά στην καθορισμένη τιμή. Η σταθερή τιμή της ολίσθησης έχει αποδειχθεί ότι παρέχει βέλτιστη τριβή μεταξύ του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος υπό διαφορετικές οδικές συνθήκες. Όσο πιο κοντά είναι η ολίσθηση στην σταθερή τιμή, τόσο καλύτερος είναι ο έλεγχος. Όχι μόνο εξασφαλίζει ασφάλεια στη λειτουργία του μοντέλου, αλλά εξασφαλίζει επίσης μειωμένο χρόνο και απόσταση κατά το φρενάρισμα του οχήματος μέχρι την ακινητοποίησή του. Επιπλέον, ένας ασαφής ελεγκτής μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δρόμου, την κυκλοφορία του δρόμου, τη μη γραμμικότητα του συστήματος του οχήματος κλπ. Οι ασαφείς ελεγκτές βασίζονται σε βάσεις κανόνων και συναρτήσεις συμμετοχής για τον σχεδίαση του συστήματος. Οι ασαφείς ελεγκτές είναι πιο αποτελεσματικοί και ισχυροί και είναι ευκολότερο να εφαρμοστούν σε σύγκριση με τα κλασικά μοντέλα σε περιοχές που το σύστημα είναι μη γραμμικό.

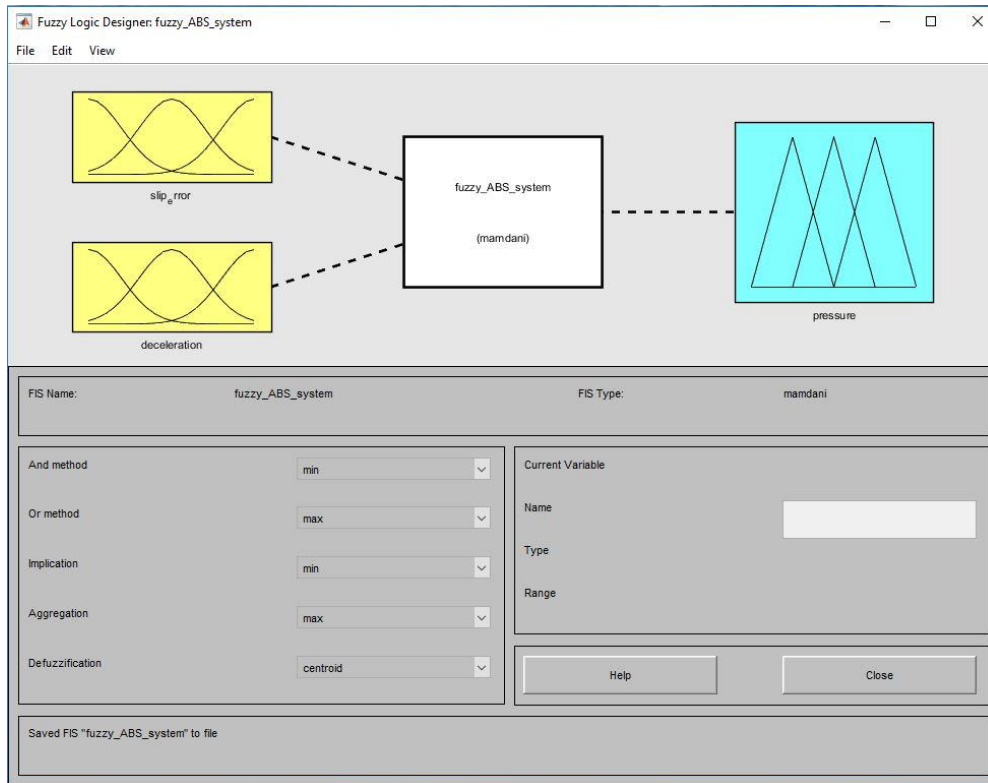
6.2 Σχεδίαση του ασαφούς ελεγκτή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο ασαφής ελεγκτής έχει δύο εισόδους, το σφάλμα στην ολίσθηση, το οποίο είναι η πραγματική ολίσθηση μείον τον σταθερό λόγο ολίσθησης 0,2 και η δεύτερη είσοδος είναι ο ρυθμός μεταβολής αυτού του σφάλματος ολίσθησης, που είναι η επιβράδυνση του οχήματος. Η επιβράδυνση του οχήματος αλλάζει σε σχέση με τον χρόνο και προσομοιώνεται σε πραγματικό χρόνο. Στόχος του ελεγκτή είναι να διατηρήσει την ολίσθηση του οχήματος όσο πιο κοντά στην τιμή 0,2. Όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 5 η σταθερότητα του οχήματος διατηρείται καλύτερα όταν η ενεργή υπολογισμένη ολίσθηση διατηρείται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην επιθυμητή τιμή των 0,2. Στο ασαφές σύστημα έχουν καθοριστεί ένα σύνολο από ασαφείς κανόνες έτσι ώστε όταν φρενάρει το όχημα να φτάσει όσο πιο κοντά στην επιθυμητή τιμή ολίσθησης.

Για την κατασκευή του συστήματος ABS με ασαφή ελεγκτή χρησιμοποιήθηκε η ασαφής μέθοδος συμπερασμού Mamdani, ο **τριγωνικός τύπος συνάρτησης (trimf)**, τόσο για τις εισόδους όσο και για την έξοδο, οι τελεστές **AND(min)**, **OR(max)**, η **συνεπαγωγή min (Mamdani)**, η **συνάθροιση max** και ο **από-ασαφοποιητής centroid** (Εικόνα 6.1). Το fuzzy

αρχείο που δημιουργήθηκε με δύο εισόδους (inputs) και μία έξοδο (output) ονομάστηκε fuzzy_ABS_system.fis.

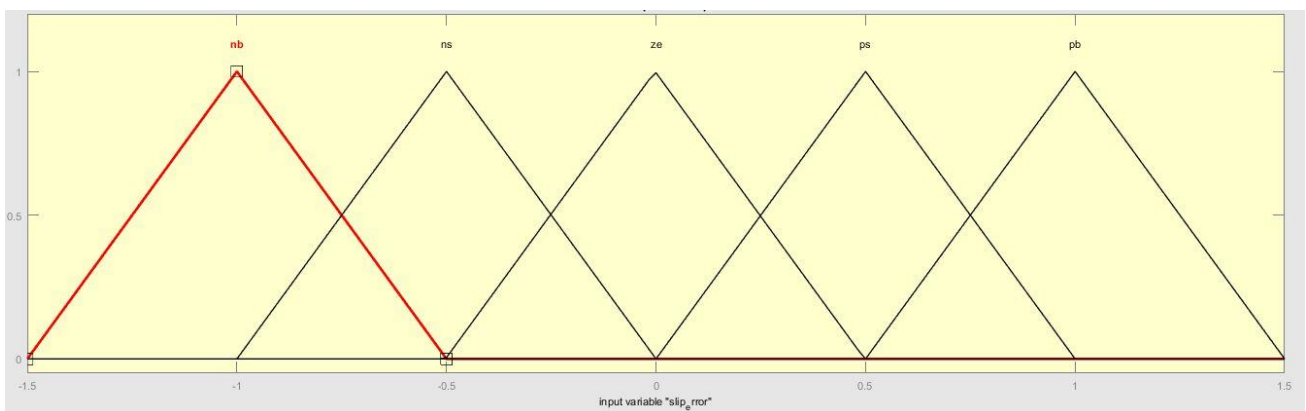
Τα υπεράσυνολα αναφοράς είναι [-1.5 1.5] για την κάθε είσοδο και [-1.5 500] για την έξοδο του συστήματος.



Εικόνα 6.1: Ο Fuzzy Logic Designer για τον ελεγκτή δύο εισόδων και μίας εξόδου

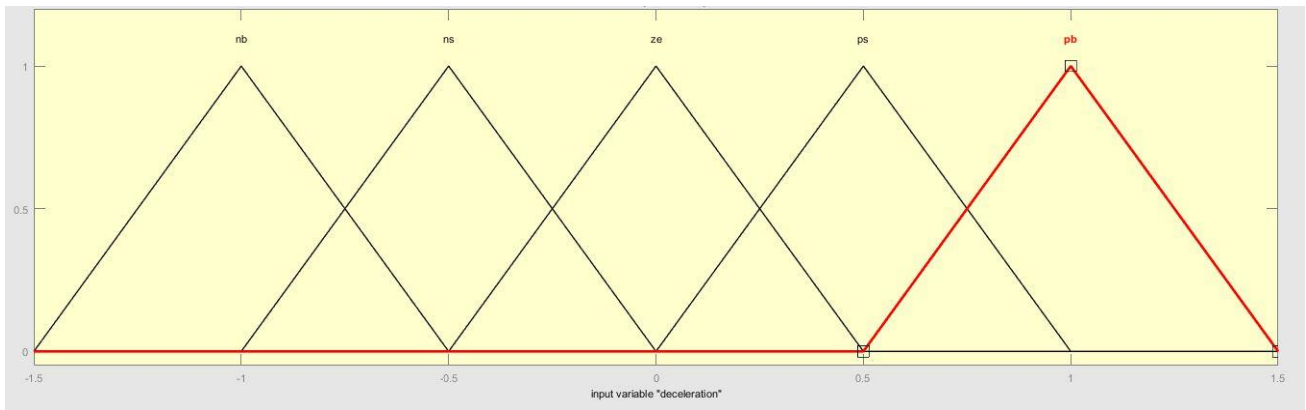
6.2.1 Λεκτικός διαμερισμός εισόδων-εξόδου

Η Εικόνα 6.2 δείχνει τις συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιούνται για την πρώτη είσοδο που είναι το σφάλμα ολίσθησης.



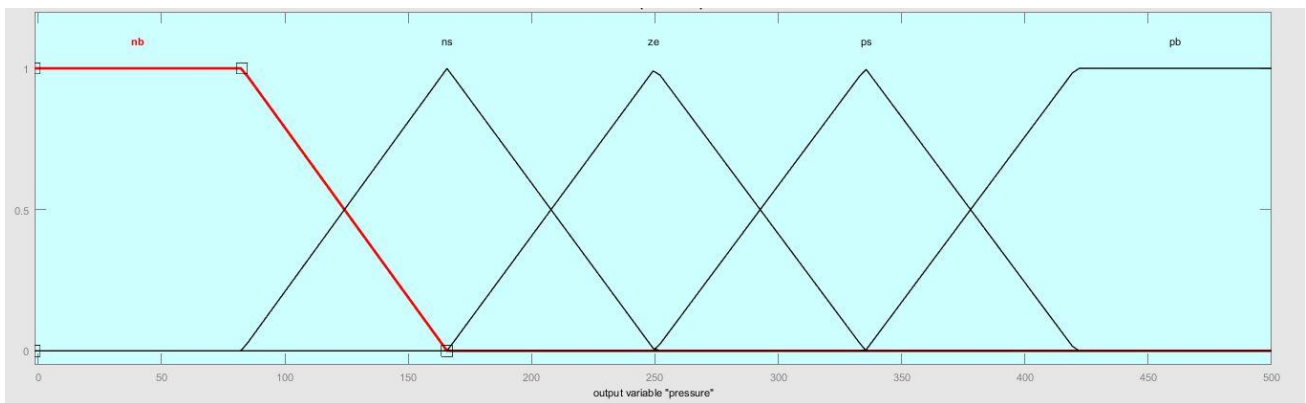
Εικόνα 6.2: Η πρώτη είσοδος του ασαφούς ελεγκτή

Η εικόνα 6.3 δείχνει τις συναρτήσεις συμμετοχής που χρησιμοποιούνται για την δεύτερη είσοδο του συστήματος που είναι ο ρυθμός μεταβολής του σφάλματος ολίσθησης.



Εικόνα 6.3: Η δεύτερη είσοδος του ασαφούς ελεγκτή

Η Εικόνα 6.4 δείχνει την έξοδο του ελεγκτή. Η έξοδος σε αυτή την περίπτωση είναι η πίεση πέδησης. Η πίεση πέδησης ελέγχει την ολίσθηση του οχήματος και εξασφαλίζει την σταθερότά του.



Εικόνα 6.4: Η έξοδος του ασαφούς ελεγκτή

Η ονοματολογία που χρησιμοποιείται για τις συναρτήσεις συμμετοχής είναι ως εξής:

NB: Negative Big

NS: Negative Small

ZO: Zero

PB: Positive Big

PS: Positive small

6.2.2 Διατύπωση κανόνων του ασαφούς συστήματος ελέγχου

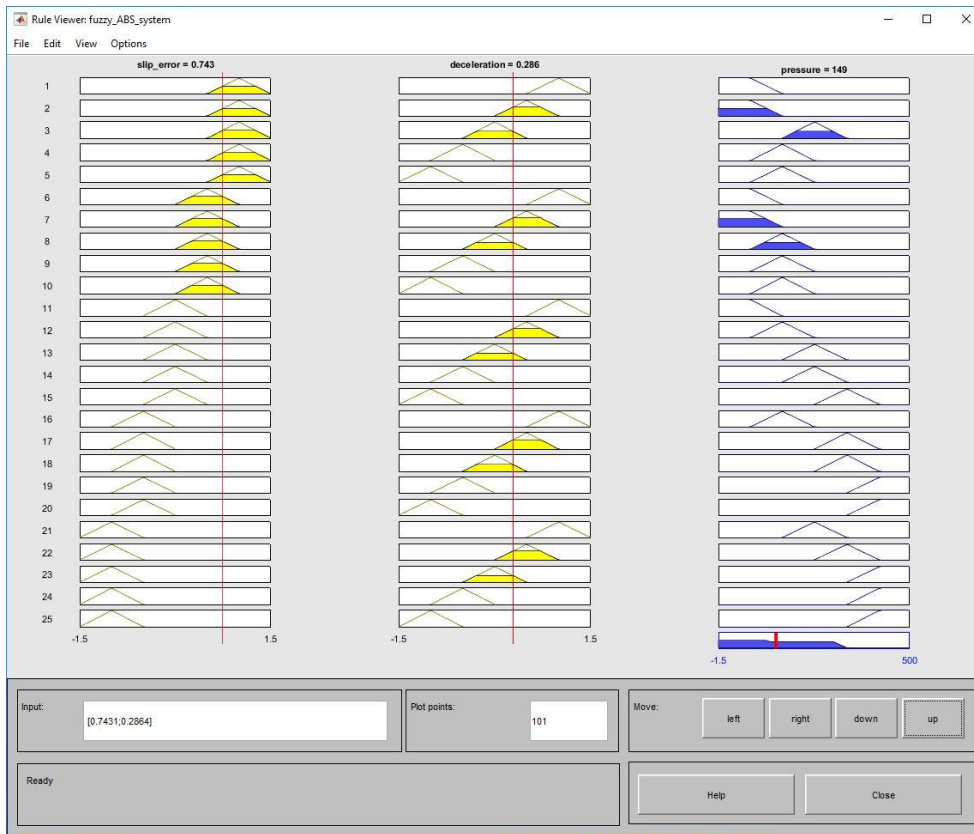
Η βάση κανόνων (Εικόνα 3.6 (α), (β), (γ)) του ασαφούς συστήματος ABS έχει δημιουργηθεί με βάση τον λεκτικό διαμερισμό των εισόδων και εξόδων του συστήματος.

Όπως αναφέρθηκε πριν, στο σύστημά μας έχουμε δύο εισόδους που χρησιμοποιήθηκαν και συγκεκριμένα το Slip Error και το deceleration. Η έξοδος του ελεγκτή είναι η πίεση πέδησης η οποία ποικίλλει ανάλογα με τις αλλαγές στις εισόδους. Πέντε καταστάσεις εξετάστηκαν κατά τη διαμόρφωση της βάσης κανόνων, δηλαδή αρνητικό μικρό (NS), αρνητικό μεγάλο (NB), θετικό μικρό (PS), θετικό μεγάλο (PB) και μηδέν (ZO). Οι κανόνες για τον ασαφή ελεγκτή έχουν ως εξής (Εικόνα 6.5) .

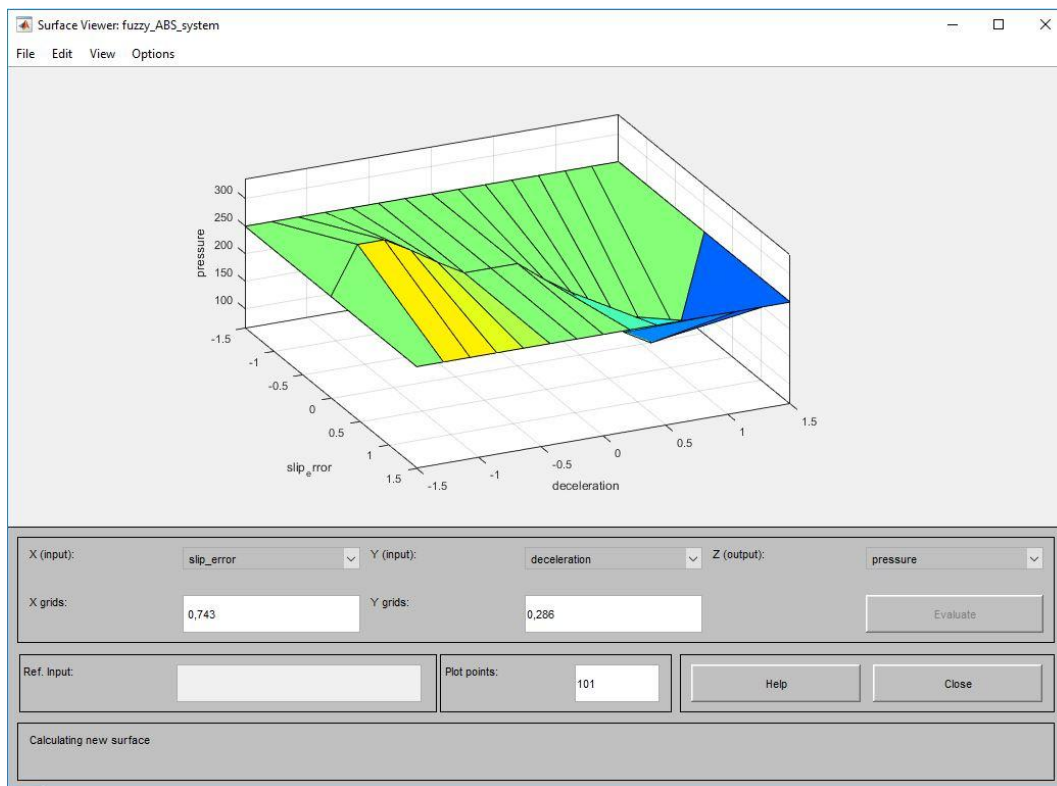
```
1. If (slip_error is pb) and (deceleration is pb) then (pressure is nb) (1)
2. If (slip_error is pb) and (deceleration is ps) then (pressure is nb) (1)
3. If (slip_error is pb) and (deceleration is ze) then (pressure is ze) (1)
4. If (slip_error is pb) and (deceleration is ns) then (pressure is ns) (1)
5. If (slip_error is pb) and (deceleration is nb) then (pressure is ns) (1)
6. If (slip_error is ps) and (deceleration is pb) then (pressure is nb) (1)
7. If (slip_error is ps) and (deceleration is ps) then (pressure is nb) (1)
8. If (slip_error is ps) and (deceleration is ze) then (pressure is ns) (1)
9. If (slip_error is ps) and (deceleration is ns) then (pressure is ns) (1)
10. If (slip_error is ps) and (deceleration is nb) then (pressure is ns) (1)
11. If (slip_error is ze) and (deceleration is pb) then (pressure is nb) (1)
12. If (slip_error is ze) and (deceleration is ps) then (pressure is ns) (1)
13. If (slip_error is ze) and (deceleration is ze) then (pressure is ze) (1)
14. If (slip_error is ze) and (deceleration is ns) then (pressure is ze) (1)
15. If (slip_error is ze) and (deceleration is nb) then (pressure is ps) (1)
16. If (slip_error is ns) and (deceleration is pb) then (pressure is ns) (1)
17. If (slip_error is ns) and (deceleration is ps) then (pressure is ps) (1)
18. If (slip_error is ns) and (deceleration is ze) then (pressure is ps) (1)
19. If (slip_error is ns) and (deceleration is ns) then (pressure is pb) (1)
20. If (slip_error is ns) and (deceleration is nb) then (pressure is pb) (1)
21. If (slip_error is nb) and (deceleration is pb) then (pressure is ze) (1)
22. If (slip_error is nb) and (deceleration is ps) then (pressure is ps) (1)
23. If (slip_error is nb) and (deceleration is ze) then (pressure is pb) (1)
24. If (slip_error is nb) and (deceleration is ns) then (pressure is pb) (1)
25. If (slip_error is nb) and (deceleration is nb) then (pressure is pb) (1)
```

Εικόνα 6.5 : Βάση κανόνων του ασαφούς συστήματος ελέγχου

Η Εικόνα 6.6 αναπαριστά την προβολή κανόνων της από-ασαφοποιημένης εξόδου.



Εικόνα 6.6: Ο Rule Viewer με την από-ασαφοποιημένη έξοδο



Εικόνα 6.7: Γραφική αναπαράσταση του ασαφούς συστήματος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Rogers, M. Hoshuai Y. "The future looks 'fuzzy'", Newsweek, May 28, p 46, 1990.
- [2] R. Timothy, "Fuzzy Logic with Engineering Applications", New York: McGraw Hill, 1994
- [3] Zadeh, Lotfi, "Fuzzy Sets", Information and Control, 1965
- [4] Asai K, "Fuzzy Systems for Information Processing", Burke: IOS Press, Sept. 1995
- [5] Asai K, "Fuzzy Systems for Management", Burke: IOS Press, April 1995
- [6] Baldwin J, "Fuzzy Logic", New York: John Wiley and Sons, July 1996
- [7] Bandemer-Hans, "Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Methods with Applications", New York: John Wiley and Sons, 1995
- [8] Bandler, W., and Kohout, L.J., "Fuzzy Power Sets and Fuzzy Implication Operators", *Fuzzy Sets and Systems* 4:13-30, 1980.
- [9] Berkan-Riza-C, Trubatch-Sheldon, "Fuzzy System Design Principles: Identification and Resolution of the Practical Problems in Designing Fuzzy If-Then Rule Base", Piscataway: IEEE, May 1997
- [10] Driankov Dimiter, Hellendoorn Hans, and Reinfrank, "An Introduction to Fuzzy Control", [16]Springer-Verlag, New York, 1993.
- [11] Dubois, Didier, and Prade, Henri, "A Class of Fuzzy Measures Based on Triangle Inequalities", *Int. J. Gen. Sys.* 8.
- [12] Dubois, Didier, and Prade, Henri, "Mean Value of a Fuzzy Number", *Fuzzy Sets and Systems* 24(3):279-300, 1987.
- [13] Jamshidi-Mohammad, Vadiiee-Nader, Ross-Timothy, "Fuzzy Logic and Control: Software and Hardware Applications", Paramus: Prentice Hall, 1993
- [14] Kaufmann, A., and Gupta, M.M., "Introduction to Fuzzy Arithmetic", Reinhold, New York, 1985.
- [15] Klir George J, Yuan Bo, "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications", Paramus: Prentice-Hall, 1995
- [16] Pedrycz W., Zadeh Lotfi, "Fuzzy Sets Engineering", Boca Raton: CRC Press, 1995.
- [17] Yager, R.R., and Zadeh, L.A., "An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems", Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [18] Zadeh, Lotfi, "The Calculus of Fuzzy Restrictions", *Fuzzy Sets and Applications to Cognitive and Decision Making Processes*, edited by L. A. Zadeh et. al., Academic Press, New York, 1975, pages 1-39.
- [19] Mo Jamshini, "Fuzzy Logic and Control: Software and Hardware Applications", Prentice Hall Publications (1993)
- [20] The Mathworks "Fuzzy Logic Toolbox Users Guide", Version 2.1.2 (2002)
- [21] <http://en.wikipedia.org/wiki/Defuzzification>
- [22] Li J. Zhang, Yu F, "An Investigating into Fuzzy Controller for Anti-Lock Braking System based on road autonomous identification", SAE Paper No. 2001-01- 0599 (2001)
- [23] Ioan Ursu, Felicia Ursu, "An Intelligent ABS Control based on Fuzzy Logic Aircraft Applications", Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Mathematics and Informatics, Alba Iulia (2003)

- [24] Juan A. Carbrera, Antonio Ortiz, Juan J. Castillo, Antonio Simon, "A Fuzzy Logic Control for Antilock Braking System Integrated in the IMMa Tire Test Bench", IEEE Transactions on Vehicular Technology , Vol. 54, No. 6 (2005)
- [25] Cheng Jun, "The Study of ABS Control System with different control methods", China Heavy Duty Truck Corp. Centre, reference number 9837373
- [26] http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-lock_braking_system
- [27] S.B. Choi , "Anti Lock Brake System with a Continuous Wheel Slip Control to Maximize the Braking Performance and the Ride Quality", IEEE Transactions on Control System Technology, vol.16, no.5, (2008)
- [28] Park, J.H. et al. "Wheel Slip Control System for Vehicle stability", Vehicle System Dynamics, 31,262-278
- [29] Darshan Modi, Zarana Padia, Kartik Patel "Fuzzy Logic Anti Lock Brake System", International Journal of Scientific and Engineering Research, Volume 3, Issue 7 (2012)
- [30] Ayman A. Aly, El-Shafei Zeidan, Ahmed Hamed, Farhan Salem "An Anti Lock Breaking System Control: A technical review", Intelligent Control and Automation, 186-195 (2011)
- [31] Parth Bhivate "Modeling and Development of Anti Lock Braking System", Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela, India
- [32] F. Yu, J-Z. Feng, J. Li "A Fuzzy Logic Controller Design for Vehicle ABS with A On-Line Optimized Target Wheel Slip Ratio", International Journal of Automotive Technology, Vol. 3, No. 4, pp. 165-170 (2002)
- [33] Georg F. Mauer, "A Fuzzy Logic Controller for an ABS System", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 3, No. 4 (1995)
- [34] https://en.wikipedia.org/wiki/Collision_avoidance_system
- [35] Θωμάς Γ. Χονδρός, "Σημειώσεις για το μάθημα δυναμική ανάλυση οχημάτων", Πανεπιστήμιο Πατρών, 2007
- [36] Marhatinie Binti Mamat, "Automated car braking system using fuzzy logic controller", Faculty of Electrical & Electronics Engineering Universiti Malaysia Pahang, 2007
- [37] M. Shimizu, M. Usami, and H. Fujinami, "Development of collision-avoidance assist system," in Proceedings of the 2007 JSAE Autumn Convention, No. 148-07, pp. 25–30, 2007.
- [38] D. F. Llorca, V. Milanés, I. Parra Alonso et al., "Autonomous pedestrian collision avoidance using a fuzzy steering controller," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 12, no. 2, pp. 390–401, 2011.
- [39] G. D. Lee and S. W. Kim, "A longitudinal control system for a platoon of vehicles using a fuzzy-sliding mode algorithm," Mechatronics, vol. 12, no. 1, pp. 97–118, 2002.
- [40] K. El Majdoub, F. Giri, H. Ouadi, L. Dugard, and F. Z. Chaoui, "Vehicle longitudinal motion modeling for nonlinear control," Control Engineering Practice, vol. 20, no. 1, pp. 69–81, 2012.
- [41] R. Hayashi, J. Isogai, P. Raksincharoensak, and M. Nagai, "Autonomous collision avoidance system by combined control of steering and braking using geometrically optimised vehicular trajectory," Vehicle System Dynamics, vol. 50, supplement 1, pp. 151–168, 2012.

[42] A. Parajuli and H. B. Riley, "Estimation of critical stopping distances and time to stop for passenger vehicles under various operating conditions," *Modern Traffic and Transportation Engineering Research*, vol. 2, no. 3, pp. 162–173, 2013.

[43] A. Ferrara and C. Vecchio, "Collision avoidance strategies and coordinated control of passenger vehicles," *Nonlinear Dynamics*, vol. 49, no. 4, pp. 475–492, 2007.