



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Σχεδίαση ασαφούς ελεγκτή (FLC) για έλεγχο κίνησης οχήματος

Μελέτη και υλοποίηση

Εργασία #2 στο μάθημα
της Υπολογιστικής Νοημοσύνης
του

ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΠΟΛΥΝΟΠΟΥΛΟΥ (ΑΕΜ:9584)

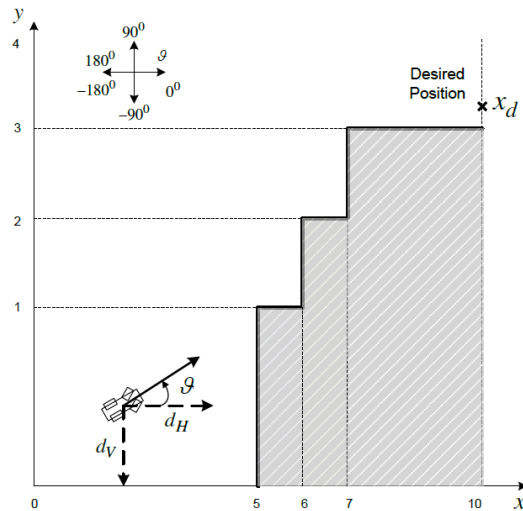
Διδάσκοντες: Θεοχάρης Ιωάννης
Χαδουλός Χρήστος

Περιεχόμενα

Περιγραφή Συστήματος	3
Δεδομένα & Ζητούμενα προβλήματος	4
Σχεδίαση Βάσης Κανόνων	5
Προσομοίωση Διαδικασίας	7
Αρχικές Παράμετροι	7
Τροποποιημένες Παράμετροι	7
Συμπεράσματα	9

Περιγραφή Συστήματος

Η εργασία αυτή έχει σκοπό τον σχεδιασμό ενός ασαφούς ελεγκτή (*Fuzzy Logic Controller*) για τον έλεγχο της κίνησης ενός οχήματος. Στόχος είναι η αποφυγή εμποδίων σε δεδομένο χώρο 2-διαστάσεων όπως φαίνεται στο Σχ.1 και η άφιξη σε επιθυμητή θέση (x_d, y_d).



Σχ. 1.1

Ασαφής Ελεγκτής:

Είσοδοι: - κάθετη απόσταση $d_v \in [0,1]$ m (3 λεκτικές τιμές)

- οριζόντια απόσταση $d_h \in [0,1]$ m

- διεύθυνση ταχύτητας $\theta \in [-180, 180]^\circ$ (3 λεκτικές τιμές)

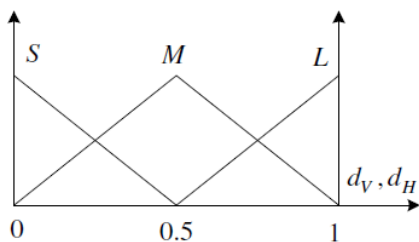
Έξοδοι: - μεταβολή διεύθυνσης ταχύτητας $\Delta\theta \in [-130, 130]^\circ$

Ασαφοποιητής: Singleton

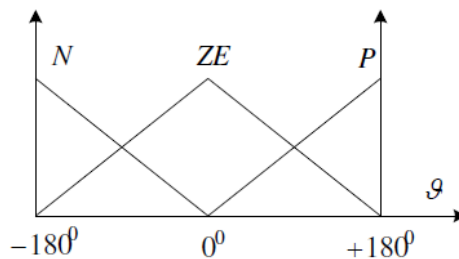
Απο-ασαφοποιητής: Center of Area (COA)

AND \rightarrow min, ALSO \rightarrow max,

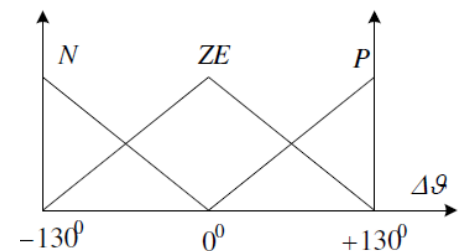
Τελεστής Συμπερασμού: Mamdani, R_c



Σχ.1.2: Συναρτήσεις συμμετοχής 3 λεκτικών τιμών για d_h, d_v με ασαφή σύνολα (S: Small, M:Medium, L:Large)



Σχ.1.3: Συναρτήσεις συμμετοχής 3 λεκτικών τιμών για θ με ασαφή σύνολα (N:Negative, ZE:Zero, P:Positive)



Σχ.1.4: Συναρτήσεις συμμετοχής 3 λεκτικών τιμών για $\Delta\theta$ με ασαφή σύνολα (N:Negative, ZE:Zero, P:Positive)

Δεδομένα και Ζητούμενα Προβλήματος

Στο παρών πρόβλημα στόχος του FLC είναι να οδηγηθεί το όχημα από την αρχική θέση (x_{init}, y_{init}) = (4.1, 0.3) στην τελική θέση (x_d, y_d) = (10, 3.2) με σταθερό μέτρο ταχύτητας $u = 0.05$ m/sec λαμβάνοντας υπόψη την κάθετη και οριζόντια απόσταση από τα εμπόδια. Ακόμη οι αρχικές διευθύνσεις έχουν τιμές $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = -45^\circ$, $\theta_3 = -90^\circ$ και μας ζητείται να γίνει η υλοποίηση του ελεγκτή, η προσομοίωση της διαδικασίας ελέγχου και η σχεδίαση των πορειών του οχήματος. Με σκοπό τις παραπάνω λειτουργίες επιλέγεται μια βάση κανόνων για τις συναρτήσεις συμμετοχής που θα περιγραφεί ακολούθως.

Σχεδίαση Βάσης Κανόνων

Η πλήρης ασαφής βάση κανόνων θα περιλαμβάνει ένα κανόνα για κάθε πιθανό συνδυασμό των εισόδων και δεδομένου ότι κάθε μια από τις τρεις (3) εισόδους περιγράφεται από τρεις (3) λεκτικές τιμές θα χρειαστούν $3 \times 3 \times 3 = 27$ ασαφείς κανόνες για τη βάση.

Οι κανόνες που απαρτίζουν τη βάση είναι της μορφής:

$$IF d_v \text{ is } A \text{ AND } d_h \text{ is } B \text{ AND } \theta \text{ is } C \text{ THEN } \Delta\theta \text{ is } D$$

Με στόχο την απλοποίηση του συστήματος παρατηρήθηκε ότι το σύστημα επιτυγχάνει, ακόμη και αν δε λάβουμε υπόψη την κάθετη απόσταση d_v στο τμήμα υπόθεσης. Ωστόσο οι οριζόντιες και κάθετες αποστάσεις από τα εμπόδια ελέγχονται για κάθε βήμα του οχήματος ανεξάρτητα από την παραπάνω λογική. Ο ακριβής καθορισμός της βάσης κανόνων και των συναρτήσεων συμμετοχής είναι αποτέλεσμα μιας διαδικασίας δοκιμής και σφάλματος.

Η παραγωγή κανόνων απεικονίζεται στους παρακάτω πίνακες και συνοψίζεται στους αντίστοιχους 5 κανόνες:

$\theta \text{ is } N$

$d_v d_h$	S	M	L
S	P	P	P
M	P	P	P
L	P	P	P

→ IF $\theta \text{ is } N$ THEN $\Delta\theta \text{ is } P$

Πίνακας 2.1: Βάση Κανόνων για $\theta \text{ is } N$

θ is ZE

$d_v d_h$	S	M	L
S	P	P	ZE
M	P	P	ZE
L	P	P	ZE

→ IF d_h is not L AND θ is ZE THEN $\Delta\theta$ is P

→ IF d_h is L AND θ is ZE THEN $\Delta\theta$ is ZE

Πίνακας 2.2: Βάση Κανόνων για θ is ZE

θ is P

$d_v d_h$	S	M	L
S	ZE	ZE	N
M	ZE	ZE	N
L	ZE	ZE	N

→ IF d_h is not L AND θ is P THEN $\Delta\theta$ is ZE

→ IF d_h is L AND θ is P THEN $\Delta\theta$ is N

Πίνακας 2.3: Βάση Κανόνων για θ is P

Θεωρούμε δηλαδή, ότι για αρνητική γωνία προσανατολισμού ($\theta = N$) η μεταβολή στη διεύθυνση πρέπει να είναι θετική ($\Delta\theta = P$), έτσι ώστε να αντιστραφεί η πορεία του οχήματος προς τον επιθυμητό στόχο.

Ακόμη, για μηδενική γωνία προσανατολισμού ($\theta = ZE$) διακρίνω τις περιπτώσεις:

- $d_h = L$: όταν η οριζόντια απόσταση είναι μεγάλη, σημαίνει ότι απέχουμε από εμπόδιο, άρα διατηρούμε τη πορεία ευθεία ($\Delta\theta = ZE$).
- $d_h = M$ ή S : όταν η οριζόντια απόσταση είναι μεσαία ή μικρή, σημαίνει ότι προσεγγίζουμε κάποιο εμπόδιο, άρα αλλάζουμε την πορεία με θετική γωνία ($\Delta\theta = P$).

Ακόμη, για θετική γωνία προσανατολισμού ($\theta = P$) διακρίνω τις περιπτώσεις:

- $d_h = M$ ή S : όταν η οριζόντια απόσταση είναι μεσαία ή μικρή, σημαίνει ότι προσεγγίζουμε κάποιο εμπόδιο, αλλά δεδομένης του υπάρχοντος θετικού προσανατολισμού διατηρώ μηδενική μεταβολή ($\Delta\theta = ZE$).
- $d_h = L$: όταν η οριζόντια απόσταση είναι μεγάλη, σημαίνει ότι απέχουμε από εμπόδιο, άρα μεταβάλλουμε τη γωνία αρνητικά ($\Delta\theta = N$) για να διατηρήσουμε πορεία κατά x .

Για οποιοδήποτε απόσταση $\geq 1m$, ο αισθητήρας του αυτοκινήτου θα λάβει ως μέγιστο $1m$, όπως ορίζει το πεδίο ορισμού του.

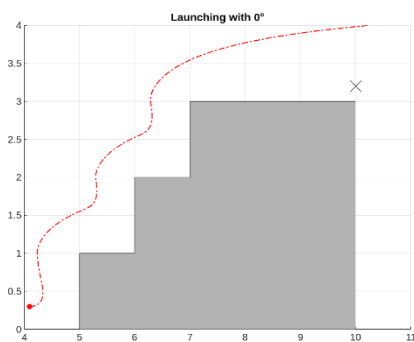
Η παραπάνω ασαφής βάση κανόνων μαζί με τις αρχικές συναρτήσεις συμμετοχής βρίσκονται στο αρχείο initial_cntrl.fis

Προσομοίωση Διαδικασίας

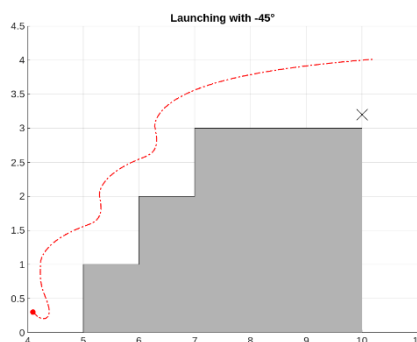
Αρχικές Παράμετροι:

- Συναρτήσεις συμμετοχής: όπως φαίνονται στα Σχ.1.2, 1.3, 1.4
- Αρχικές γωνίες προσανατολισμού: $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = -45^\circ$, $\theta_3 = -90^\circ$

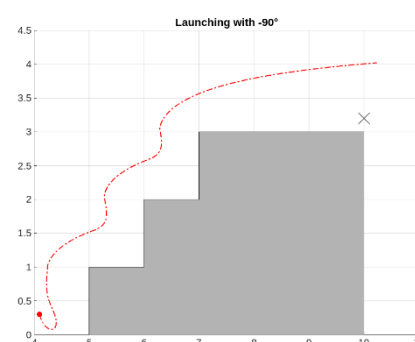
Η προσομοίωση του ασαφής ελεγκτή με τη χρήση της βάσης κανόνων που ορίσαμε, δίνει τις παρακάτω πορείες του οχήματος.



Σχήμα 3.1: Πορεία οχήματος για $\theta_1 = 0^\circ$



Σχήμα 3.2: Πορεία οχήματος για $\theta_2 = -45^\circ$



Σχήμα 3.3: Πορεία οχήματος για $\theta_3 = -90^\circ$

Με το σύμβολο "x" ορίζουμε τον επιθυμητό στόχο. Ο ελεγκτής παρά την διαισθητικά σωστή λειτουργία του, αποτυγχάνει και το πρόγραμμα τερματίζει εφόσον το όχημα έχει βγει από τα όρια που έχουμε θέσει. Σε όλες τις περιπτώσεις λαμβάνουμε το μήνυμα:

LIMIT EXCEEDED AT (10.2, 4.0)

Ακόμη παρατηρούμε ότι οι πορείες για τις γωνίες $\theta_2 = -45^\circ$, $\theta_3 = -90^\circ$ σχεδόν ταυτίζονται, δηλαδή το όχημα αλλάζει γωνία προσανατολισμού αρκετά γρήγορα κατά την εκκίνηση και καταφέρνει να μην επηρεάζεται από τον αρχικό του προσανατολισμό.

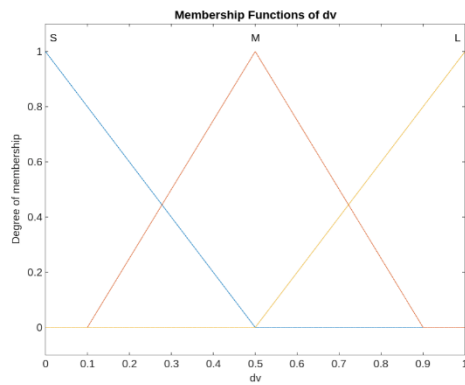
Τροποποιημένες Παράμετροι:

- Συναρτήσεις συμμετοχής: όπως φαίνονται στα Σχ.3.4, 3.5, 3.6, 3.7
- Αρχικές γωνίες προσανατολισμού: $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = -45^\circ$, $\theta_3 = -90^\circ$

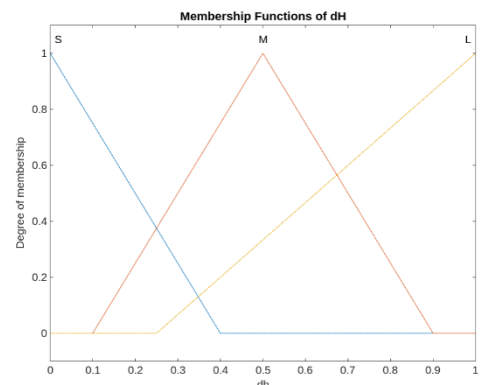
Στη παρούσα φάση θα χρειαστεί να επαναπροσδιορίσουμε τις συναρτήσεις συμμετοχής για τις λεκτικές μεταβλητές του ελεγκτή, έτσι ώστε να πετύχουμε καλύτερο αποτέλεσμα στο σύστημα μας. Παρατηρούμε ότι αρχικά το όχημα αποκτά θετικό προσανατολισμό χωρίς να πλησιάζει "επικίνδυνα" σε κάθετο εμπόδιο. Επομένως, θέλουμε πιο ευρύ το ασαφές σύνολο που προσδιορίζει τη λεκτική τιμή *Large* για την d_h και πιο περιορισμένο το σύνολο της τιμής *Medium* για την d_h , d_v .

Ακόμη, παρατηρούμε ότι το όχημα δυσκολεύεται να μεταβάλει "γρήγορα" την διεύθυνση του. Δοκιμάζοντας να ελαττώσουμε το εύρος των συνόλων *Zero* για την θ και $\Delta\theta$ η πορεία βελτιώνεται κατα πολύ, επιτυγχάνοντας και τον επιθυμητό της στόχο.

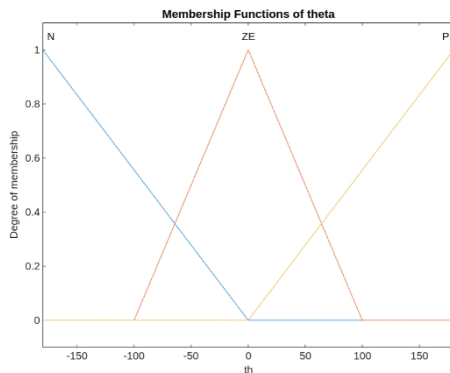
Έπειτα από μια διαδικασία δοκιμής-λάθους θέτουμε τις τροποποιημένες παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής όπως φαίνονται παρακάτω.



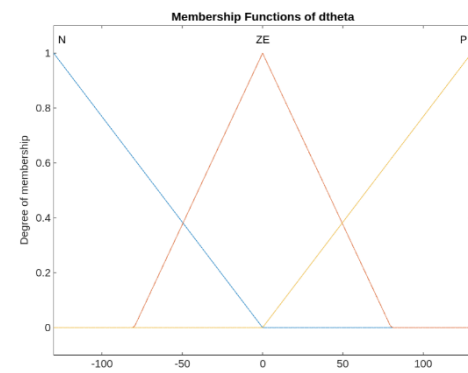
Σχήμα 3.4: Συνάρτηση Συμμετοχής της d_v



Σχήμα 3.5: Συνάρτηση Συμμετοχής της d_h

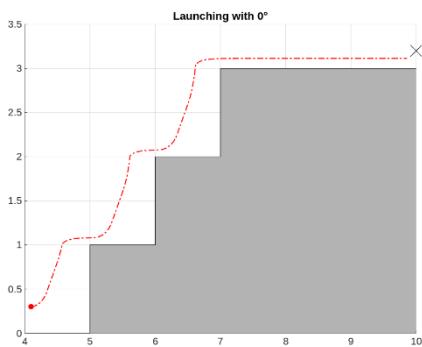


Σχήμα 3.6: Συνάρτηση Συμμετοχής της θ

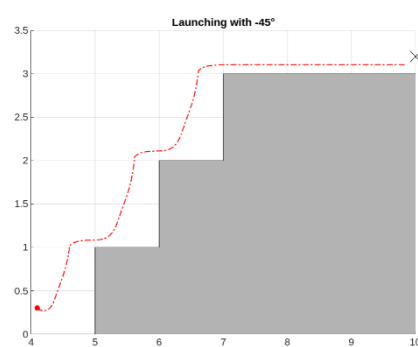


Σχήμα 3.7: Συνάρτηση Συμμετοχής της $\Delta\theta$

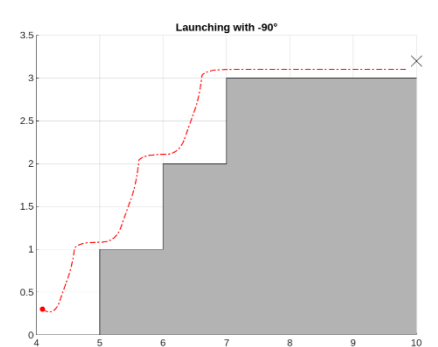
Η προσομοίωση του ασαφή ελεγκτή, δίνει τις παρακάτω πορείες του οχήματος:



Σχήμα 3.8: Πορεία οχήματος με $\theta_1 = 0^\circ$ με τροποποιημένες συναρτήσεις συμμετοχής



Σχήμα 3.9: Πορεία οχήματος με $\theta_2 = -45^\circ$ με τροποποιημένες συναρτήσεις συμμετοχής



Σχήμα 3.10: Πορεία οχήματος με $\theta_3 = -90^\circ$ με τροποποιημένες συναρτήσεις συμμετοχής

Θεωρούμε ότι η πορεία τερματίζει επιτυχώς, όταν η ευκλείδεια απόσταση του οχήματος από τη θέση $(x_d, y_d) = (10, 3.2)$ είναι μικρή ($< 0.2m$).

Σε όλες τις περιπτώσεις λαμβάνουμε το μήνυμα:

REACHED TARGET AT (9.9,3.1)

Η ασαφής βάση κανόνων μαζί με τις τροποποιημένες συναρτήσεις συμμετοχής βρίσκονται στο αρχείο modified_cntrl.fis

Συμπεράσματα & Εκτέλεση Κώδικα

Από τα παραπάνω διαγράμματα, φαίνεται ότι μετά την τροποποίηση των συναρτήσεων συμμετοχής, οι πορείες του οχήματος έχουν βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό. Το όχημα επιτυγχάνει να λαμβάνει την επιθυμητή θέση με μεγάλη ακρίβεια και διακρίνεται ένα μοτίβο στην κίνηση του. Αυτό σημαίνει ότι πετυχαίνουμε ένα σύστημα το οποίο είναι σταθερό και το μοντέλο μπορεί να προβλεφθεί για τις υπάρχοντες συνθήκες που εισάγαμε.

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στο περιβάλλον του Matlab και το πρόγραμμα εκτελείται μέσω του αρχείου model.m

Επιπλέον στο παραδοτέο, περιλαμβάνονται τα αρχεία createFis.m και getSensorData.m

Το πρώτο είναι υπεύθυνο για δημιουργία του ασαφούς συστήματος και το δεύτερο για τη λήψη δεδομένων από τους αισθητήρες του οχήματος, σχετικά με τα εμπόδια. Τα αρχεία (*.fis) δηλ. initial_cntrl.fis, modified_cntrl.fis χρησιμοποιούνται για να φορτώσουμε το ασαφές σύστημα συμπερασμάτων και περιλαμβάνει πληροφορίες για τη βάση κανόνων και τις συναρτήσεις συμμετοχής.

Ο κώδικας είναι αναρτημένος σε αποθετήριο στο [Github](#).