

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

8ο ΕΞΑΜΗΝΟ

ΕΡΓΑΣΙΑ #2

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΧΑΡΗΣ Ι.

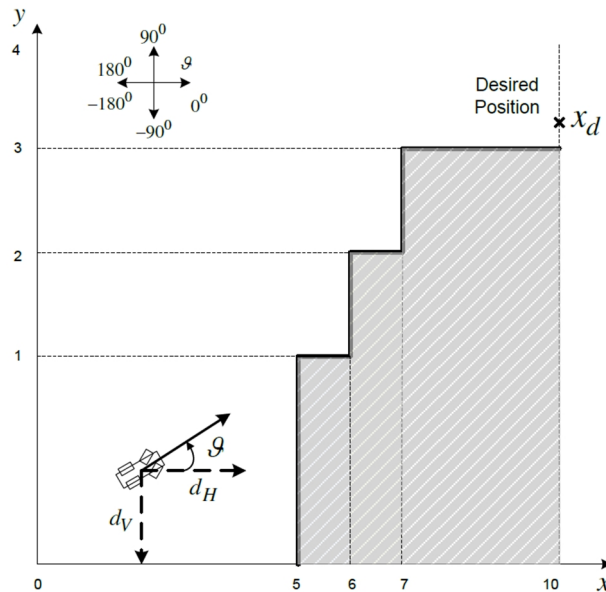
Όνομα : ΘΑΝΑΣΗΣ ΧΑΡΙΣΟΥΔΗΣ
Α.Ε.Μ. : 9026

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 9 Φεβρουαρίου 2020

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΣΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΗ

"6" - [CarControl_Ser06.pdf]

“Η εργασία αυτή έχει σκοπό τον σχεδιασμό FLC για τον έλεγχο της κίνησης ενός οχήματος αποφεύγοντας ακίνητα (σταθερά) εμπόδια, όπως φαίνεται ακολούθως:



Εικόνα 1: Αρχική, τελική θέση οχήματος και σταθερά εμπόδια

Ασαφής Ελεγκτής:

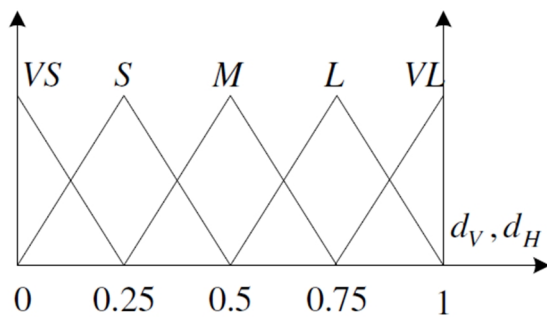
Είσοδοι: κάθετη απόσταση $d_V \in [0,1]m$ (5 λεκτικές τιμές), κάθετη απόσταση $d_H \in [0,1]m$ (5 λεκτικές τιμές), γωνία διεύθυνσης ταχύτητας $\theta \in [-180,180]^\circ$ (5 λεκτικές τιμές)

Έξοδος: γωνία διεύθυνσης ταχύτητας $\Delta\theta \in [-130,130]^\circ$ (5 λεκτικές τιμές)

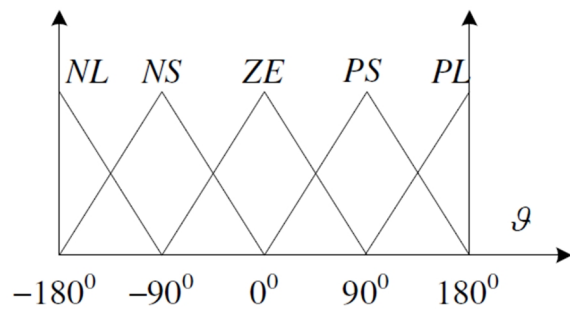
Fuzzifier: Singleton

AND \rightarrow min, ALSO \rightarrow max, Mamdani Rc

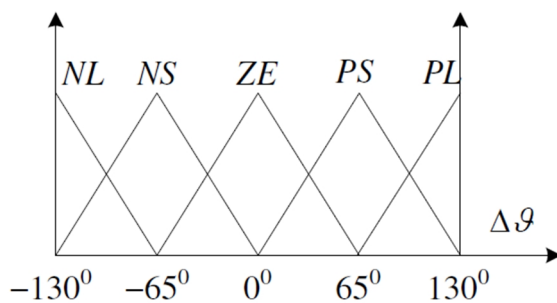
De-Fuzzifier: Center of Area (COA)



Εικόνα 2: Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για d_V , d_H



Εικόνα 3: Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για θ



Εικόνα 4: Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για $\Delta\theta$

Ζητούμενα Εργασίας:

1. Να σχεδιασθή η ασαφής βάση κανόνων που να απαρτίζεται από κανόνες της μορφής: IF d_V is S AND d_H is S AND θ is N THEN $\Delta\theta$ is P. Να περιγραφεί η επιλογή και λειτουργία κάθε κανόνα της βάσης.
2. Να υλοποιηθεί πρόγραμμα στο MATLAB που να υλοποιεί τον ασαφή ελεγκτή (με χρήση του FIS Editor)
3. Δοθείσας της αρχικής θέσης του οχήματος $(x, y)_{init} = (3.8, 0.5)$ να υλοποιηθεί στο MATLAB πρόγραμμα που προσομοιώνει την διαδικασία ελέγχου της αποφυγής εμποδίων με χρήση του FLC και για αρχικές γωνίες διεύθυνσης ταχύτητας ως εξής:
 - i. $\theta_1 = 0^\circ$
 - ii. $\theta_2 = 45^\circ$
 - iii. $\theta_3 = -45^\circ$
4. Να σχεδιαστούν οι πορείες του οχήματος για να φτάσει στην τελική θέση $(x, y)_d = (10, 3.2)$ για κάθε μία από τις αρχικές διευθύνσεις με βάση τόσο τις αρχικές MFs όσο και τις τροποποιημένες (εάν χρειάζονται τροποποιήσεις οι αρχικές MFs)''

Πίνακας Περιεχομένων

1.	Πρόβλημα Ελέγχου – Υλοποίηση Αισθητήρων	6
2.	Ασαφής Βάση Κανόνων (Fuzzy Rule Base)	7
2.1.	Χωρίς τον Αισθητήρα Κάθετης Απόστασης	7
2.2.	Με (μερική) Χρήση του Αισθητήρα Κάθετης Απόστασης	8
3.	Προσομοίωση Διαδικασίας Ελέγχου	11
3.1.	Προσομοίωση με Αρχικές Παραμέτρους MFs	11
3.1.1.	Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_1 = 0^\circ$	11
3.1.2.	Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_2 = 45^\circ$	12
3.1.3.	Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_3 = -45^\circ$	13
3.2.	Τροποποίηση Παραμέτρων MFs για Μείωση Σφάλματος	14
3.2.1.	Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_1 = 0^\circ$	16
3.2.2.	Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_2 = 45^\circ$	17
3.2.3.	Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_3 = -45^\circ$	18

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1:	Αρχική, τελική θέση οχήματος και σταθερά εμπόδια.....	2
Εικόνα 2:	Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για d_v , d_H	3
Εικόνα 3:	Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για θ	3
Εικόνα 4:	Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για $\Delta\theta$	3
Εικόνα 5:	Έξοδος των υλοποιημένων αισθητήρων απόστασης σε διάφορες θέσεις του οχήματος.....	6
Εικόνα 6:	Πορεία οχήματος με τον FLC χωρίς τον αισθητήρα κάθετης απόστασης..	8
Εικόνα 7:	Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_1 = 0^\circ$	11
Εικόνα 8:	Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_2 = 45^\circ$	12
Εικόνα 9:	Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_3 = -45^\circ$	13
Εικόνα 10:	Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για d_v (PRIN) ...	15
Εικόνα 11:	Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για d_v (META) ...	15
Εικόνα 12:	Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για $\Delta\theta$ (PRIN)	15
Εικόνα 13:	Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για $\Delta\theta$ (META)	15
Εικόνα 14:	Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_1 = 0^\circ$	16
Εικόνα 15:	Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_2 = 45^\circ$	17

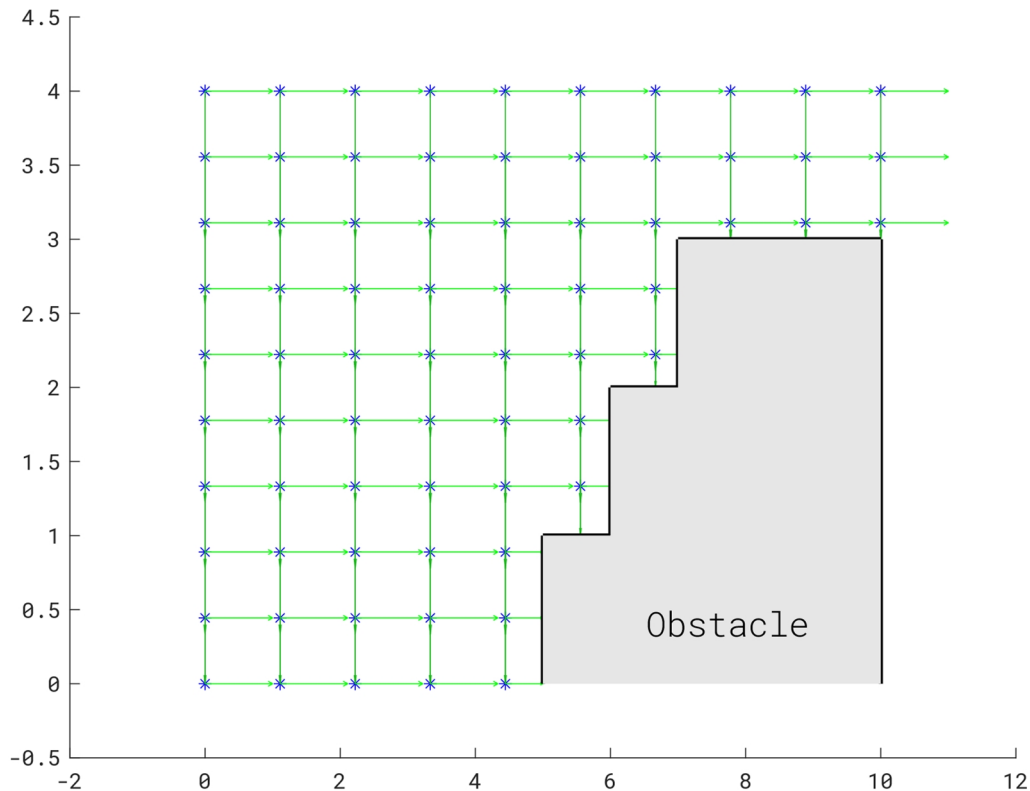
Εικόνα 16: Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_3 = -45^\circ$ 18

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Στοιχεία διαδρομής για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_1 = 0^\circ$	12
Πίνακας 2: Στοιχεία διαδρομής για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_2 = 45^\circ$	13
Πίνακας 3: Στοιχεία διαδρομής για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_3 = -45^\circ$	14
Πίνακας 4: Στοιχεία διαδρομής για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_1 = 0^\circ$	16
Πίνακας 5: Στοιχεία διαδρομής για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_2 = 45^\circ$	17
Πίνακας 6: Στοιχεία διαδρομής για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_3 = -45^\circ$	18

1. Πρόβλημα Ελέγχου – Υλοποίηση Αισθητήρων

Όπως αναφέρεται παραπάνω, οι αισθητήρες απόστασης διαβάζουν στο εύρος 0 έως 1m ενώ το πραγματικό εύρος τιμών της οριζόντιας απόστασης θα είναι 0 έως 10m ενώ της κάθετης θα είναι 0 έως 4m. Για το λόγο αυτό οι αισθητήρες που διαβάζουν τις παραπάνω αποστάσεις είναι κορεσμένοι για αποστάσεις μεγαλύτερες από 1m. Παρακάτω φαίνονται οι μετρούμενες οριζόντιες και κάθετες αποστάσεις (ως μήκη των οριζόντιων και κάθετων βελών αντίστοιχα) από διάφορα σημεία – πιθανές θέσεις του οχήματος (script στο αρχείο `test_sensors.m`):



Εικόνα 5: Έξοδος των υλοποιημένων αισθητήρων απόστασης σε διάφορες θέσεις του οχήματος

Έτσι όταν κάποιος αισθητήρας δώσει απόσταση 1 σημαίνει απόσταση $\geq 1m$. Το πρόβλημα ελέγχου είναι επομένως το εξής:

Για δεδομένη σταθερή γραμμική ταχύτητα $0.05m/s$ και για ακαριαία στροφή το όχημα από την αρχική θέση $(3.8, 0.5)$ πρέπει να οδηγηθεί με ασφάλεια (δηλ. αποφεύγοντας το σταθερό εμπόδιο που φαίνεται στην Εικόνα 5 παραπάνω) στην τελική θέση $(10, 3.2)$, με FLC που δέχεται σαν είσοδο την κάθετη, d_v , την οριζόντια, d_h απόσταση, την τρέχουσα γωνία διεύθυνσης της γραμμικής ταχύτητας, θ και δίνοντας σαν έξοδο την (ακαριαία) μεταβολή της γωνίας αυτής, $\Delta\theta$. Στόχος ελέγχου ως προς την προσέγγιση της τελικής θέσης είναι η ελαχιστοποίηση της απόστασης από τον άξονα y ($y_{τελικο} \approx y_d = 3.2$).

2. Ασαφής Βάση Κανόνων (Fuzzy Rule Base)

Η πλήρης ασαφής βάση κανόνων θα περιλαμβάνει ένα κανόνα για κάθε πιθανό συνδυασμό των εισόδων και δεδομένου ότι κάθε μία από τις τρεις (3) εισόδους περιγράφεται από πέντε (5) λεκτικές τιμές θα χρειαστούν $5 \times 5 \times 5 = 125$ ασαφείς κανόνες για την πλήρη βάση. Ωστόσο, κάνουμε μία σημαντική παρατήρηση – απλοποίηση που βοηθά στη δραματική μείωση του αριθμού των κανόνων που χρειάζονται για τον FLC στο συγκεκριμένο πρόβλημα:

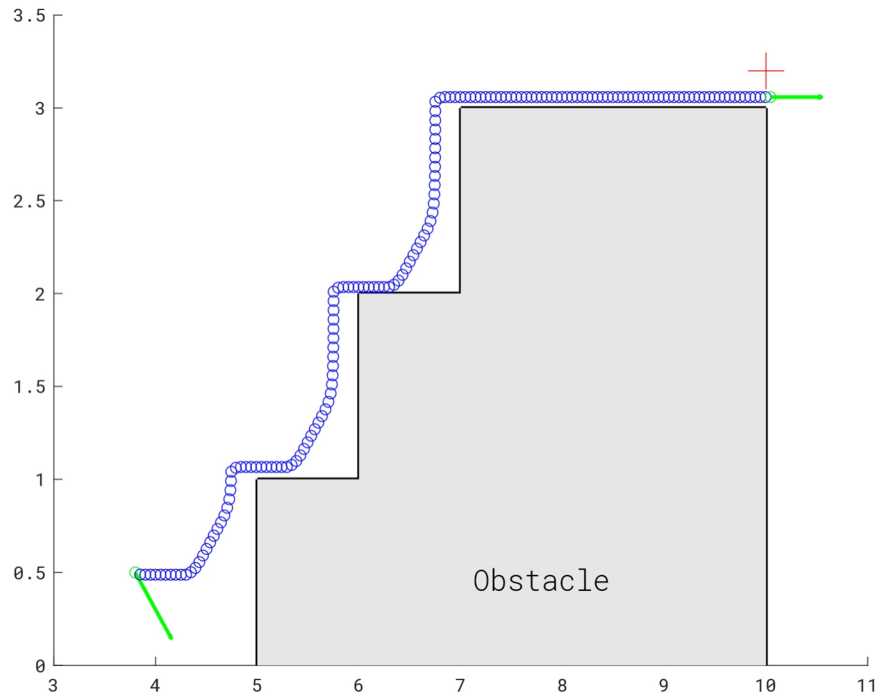
Η κάθετη απόσταση δεν είναι απαραίτητη (ενν. να ελέγχεται απαραίτητα) σε κάθε συνδυασμό της οριζόντιας απόστασης και της τρέχουσας γωνίας θ αλλά μόνο όταν όχημα είναι εσωτερικά στις γωνίες του εμποδίου ($x \in [5,6]$ & $y \in [1,2]$, $x \in [6,7]$ & $y \in [2,3]$) καθώς και στην τελική ευθεία ($x \geq 7$ & $y > 3$) ώστε στο τέλος να κάνει ευθεία πορεία προσεγγίζοντας τον τελικό στόχο.

2.1. Χωρίς τον Αισθητήρα Κάθετης Απόστασης

Έτσι, αρχικά αγνοώντας εντελώς τον αισθητήρα κάθετης απόστασης, d_v , (ισοδυναμεί με το να βάλουμε “and (d_v is ANY)” στο τμήμα υπόθεσης όλων των κανόνων της βάσης) θα είχαμε την παρακάτω βάση των $5 \times 5 = 25$ ασαφών κανόνων:

1. If (d_H is VS) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NS)	$d_H = VS$: Όταν d_H πολύ μικρή, θέλω να στρίψει το όχημα προς τα επάνω - δεξιά απότομα (αποφυγή σύγκρουσης)
2. If (d_H is VS) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is NL)	
3. If (d_H is VS) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is PL)	
4. If (d_H is VS) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
5. If (d_H is VS) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NS)	
6. If (d_H is S) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NL)	$d_H = S$: Όταν d_H μικρή, θέλω να στρίψει το όχημα προς τα επάνω - δεξιά σχετικά γρήγορα (αλλά όχι «τέρμα» απότομα)
7. If (d_H is S) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is PL)	
8. If (d_H is S) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is PS)	
9. If (d_H is S) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
10. If (d_H is S) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
11. If (d_H is M) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NL)	$d_H = M$: Όταν d_H μέτρια, θέλω να αρχίσει το όχημα στροφή προς τα επάνω - δεξιά καθώς αρχίζει να πλησιάζει το εμπόδιο
12. If (d_H is M) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is PL)	
13. If (d_H is M) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is PS)	
14. If (d_H is M) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is NS)	
15. If (d_H is M) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
16. If (d_H is L) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NL)	$d_H = L$: Όταν d_H μεγάλη, σημαίνει πως απέχουμε από εμπόδιο, άρα διατήρηση ευθείας πορείας προς τα δεξιά
17. If (d_H is L) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is PL)	
18. If (d_H is L) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
19. If (d_H is L) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is NS)	
20. If (d_H is L) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
21. If (d_H is VL) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NL)	$d_H = VL$: Όταν d_H πολύ μεγάλη, σημαίνει ότι το όχημα βρίσκεται είτε διαγώνια πάνω στις εξωτερικές γωνίες του εμποδίου είτε στην τελική ευθεία είτε στην αρχή. Οπότε θέλουμε να διατηρήσει ευθεία δεξιά πορεία.
22. If (d_H is VL) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is PS)	
23. If (d_H is VL) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
24. If (d_H is VL) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is NS)	
25. If (d_H is VL) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NL)	

Η παραπάνω ασαφής βάση κανόνων βρίσκεται στο αρχείο *car_flc_initial_no_dv.fis*, ενώ η προσομοίωση του FLC χρησιμοποιώντας αυτή τη βάση μας και για αρχική γωνία -45° δίνει την ακόλουθη πορεία του οχήματος:



Εικόνα 6: Πορεία οχήματος με τον FLC χωρίς τον αισθητήρα κάθετης απόστασης

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6 παραπάνω για την σχετικά «καλή» πορεία του οχήματος, η αγνόηση του αισθητήρα κάθετης απόστασης έχει τα ακόλουθα αρνητικά αποτελέσματα:

1. Το όχημα πλησιάζει πολύ στις οριζόντιες επιφάνειες των εσωτερικών γωνιών του εμποδίου, κάτι γενικά μη επιθυμητό
2. Δεν υπάρχει κάποιος τρόπος για να ελέγξουμε την απόσταση της τελικής ευθείας του οχήματος ($y \geq 7$) από την εξωτερική ανώτερη οριζόντια επιφάνεια του εμποδίου και άρα και της τεταγμένης της τελικής θέσης του οχήματος (y_{final})

Επομένως, θα θέλαμε χρησιμοποιώντας την dn να ελέγξουμε πότε το όχημα εισέρχεται πάνω από μία οριζόντια επιφάνεια του εμποδίου και να αυξήσουμε λίγο τη γωνία διεύθυνσης ώστε να εξαλείψουμε αμφότερα τα παραπάνω αρνητικά αποτελέσματα από τη μη χρησιμοποίηση της dn .

2.2. Με (μερική) Χρήση του Αισθητήρα Κάθετης Απόστασης

Παρατηρώντας την προσομοίωση χωρίς τον αισθητήρα κάθετης απόστασης, dn , της Εικόνας 6 παραπάνω, βλέπουμε ότι κάθε φορά που το όχημα εισέρχεται πάνω από μία από τις οριζόντιες επιφάνειες του εμποδίου η οριζόντια απόσταση είναι πολύ μεγάλη ($d_H = VL$, αφού «βλέπει» την επόμενη κάθετη επιφάνεια του εμποδίου σε απόσταση $\geq 1m$) ενώ η γωνία διεύθυνσης είναι μηδενική ($\theta = ZE$). Δεδομένου ότι τότε και μόνο τότε χρειάζεται να ελέγξει ο FLC την κάθετη απόσταση από την

οριζόντια επιφάνεια που βρίσκεται από κάτω από το όχημα. Έτσι, στη νέα βάση κανόνων θα υπάρχουν όλοι οι προηγούμενοι κανόνες (της βάσης χωρίς την d_v) με προσθήκη της εισόδου d_v στους κανόνες το τμήμα υπόθεσης των οποίων περιέχει $d_H=VL$ και $\theta=ZE$ (κανόνας 23) και προσθήκη τεσσάρων (4) νέων ασαφών κανόνων με τις δύο αυτές εισόδους καθώς και όλες τις πιθανές λεκτικές τιμές της εισόδου d_v .

Η νέα και τελική ασαφής βάση κανόνων, φαίνεται ακολούθως:

1. If (d_H is VS) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NS)	} Προηγούμενοι Κανόνες της Βάσης (βλ. παραπάνω για εξήγηση της επιλογής και λειτουργίας των κανόνων)
2. If (d_H is VS) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is NL)	
3. If (d_H is VS) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is PL)	
4. If (d_H is VS) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
5. If (d_H is VS) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NS)	
6. If (d_H is S) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
7. If (d_H is S) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is PL)	
8. If (d_H is S) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is PS)	
9. If (d_H is S) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
10. If (d_H is S) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
11. If (d_H is M) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
12. If (d_H is M) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is PL)	
13. If (d_H is M) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is PS)	
14. If (d_H is M) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is NS)	
15. If (d_H is M) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
16. If (d_H is L) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
17. If (d_H is L) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is PL)	
18. If (d_H is L) and (θ is ZE) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
19. If (d_H is L) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is NS)	
20. If (d_H is L) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
21. If (d_H is VL) and (θ is NL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
22. If (d_H is VL) and (θ is NS) then ($\Delta\theta$ is PS)	
24. If (d_H is VL) and (θ is PS) then ($\Delta\theta$ is NS)	
25. If (d_H is VL) and (θ is PL) then ($\Delta\theta$ is NL)	
23. If (d_H is VL) and (θ is ZE) and (d_v is VS) then ($\Delta\theta$ is PS)	
26. If (d_H is VL) and (θ is ZE) and (d_v is S) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
27. If (d_H is VL) and (θ is ZE) and (d_v is M) then ($\Delta\theta$ is ZE)	
28. If (d_H is VL) and (θ is ZE) and (d_v is VL) then ($\Delta\theta$ is PS)	

Οι υπογραμμισμένοι με κίτρινο κανόνες είναι αυτοί στους οποίους λαμβάνεται υπόψη η είσοδος d_v καθώς σε αυτούς οι άλλες δύο εισόδους ενεργοποιούνται (στο core) όταν το όχημα εισέρχεται (ή βρίσκεται στην αρχή ως προς τον οριζόντιο άξονα) πάνω από τις οριζόντιες επιφάνειες του εμποδίου. Ο λόγος που δεν υπάρχει κανόνας για $d_v = L$ είναι διότι λίγο μετά μόνο από τις άλλες δύο εισόδους θα φτάσει το όχημα πιο πάνω και έτσι $d_v \rightarrow VL$ (αναφερόμαστε στις εσωτερικές γωνίες του εμποδίου).

Η εξήγηση της επιλογής/λειτουργίας των κανόνων αυτών (23, 26-28) είναι ότι όταν το όχημα εισέρχεται στις οριζόντιες επιφάνειες η κάθετη απόσταση θα είναι πολύ μικρή (VS) και επομένως η ενεργοποίηση του κανόνα 23 θα οδηγήσει σε μικρή αύξηση της γωνίας διεύθυνσης ταχύτητας του οχήματος με αποτέλεσμα η d_v να τείνει να αυξηθεί. Όταν γίνει αυτό και άρα d_v «μεγαλύτερη» από VS τότε θέλουμε διατήρηση ευθείας πορείας σε όχι μεγάλη απόσταση πάνω από τις οριζόντιες επιφάνειες και άρα $\Delta\theta \approx \theta$ (ZE) από εκεί και μετά. Αντίστοιχα πριν από την είσοδο στις οριζόντιες επιφάνειες του εμποδίου θα είναι $d_v \geq 1$ και άρα d_v θα είναι VL. Προκειμένου να

αποφύγουμε την είσοδο πολύ κοντά στις οριζόντιες επιφάνειες θα ενεργοποιηθεί ο κανόνας 28 ο οποίος και θα δώσει μία θετική κλίση (αλλιώς θα έμπαινε οριζόντια το όχημα) στη διεύθυνση της ταχύτητας του οχήματος, θέτοντας $\Delta\theta$ σε PS.

Ακολουθούν τα διαγράμματα προσομοίωσης, όπου φαίνονται η αρχική και τελική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, η αρχική και τελική θέση καθώς και συνολική απόσταση της διαδρομής που διένυσε το όχημα υπό τον έλεγχο του FLC.

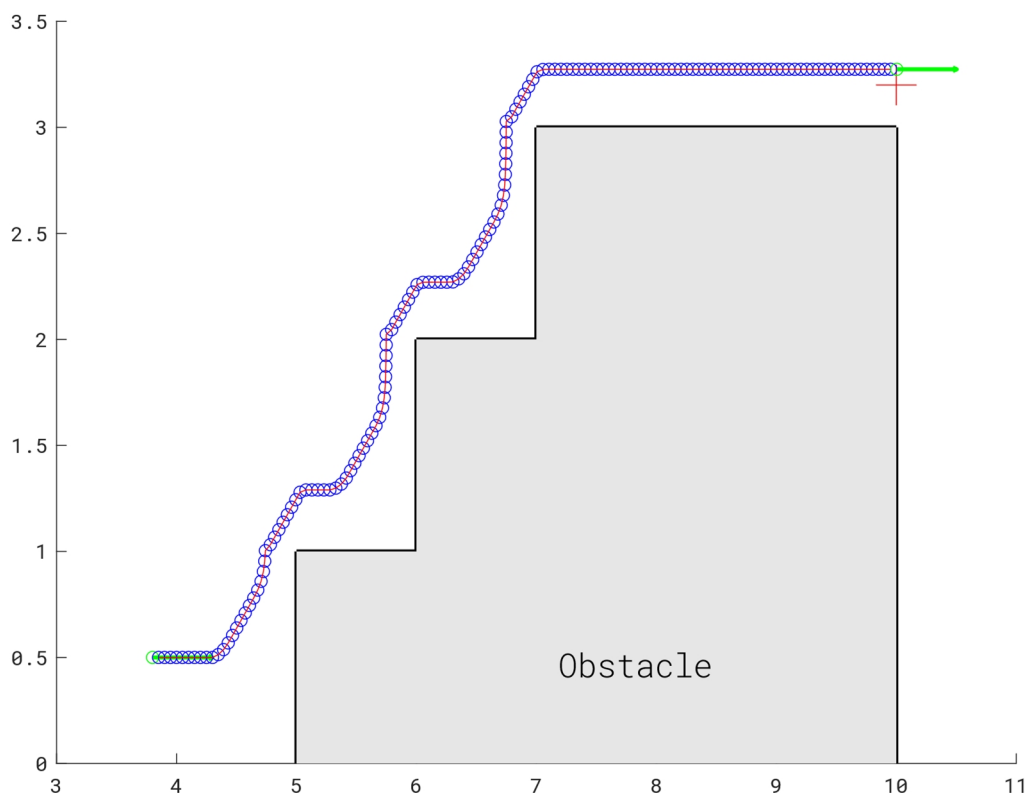
3. Προσομοίωση Διαδικασίας Ελέγχου

3.1. Προσομοίωση με Αρχικές Παραμέτρους MFs

Χρησιμοποιώντας τις παρατηρήσεις που έγιναν προηγουμένως, καταλήξαμε στη ασαφή βάση κανόνων που φαίνεται παραπάνω η οποία αποτελείται από 28 ασαφείς κανόνες, σημαντικά μικρότερος αριθμός σε σύγκριση με τους 125 ασαφείς κανόνες της πλήρους ασαφούς βάσης κανόνων για τις συγκεκριμένες λεκτικές τιμές των εισόδων του συστήματος.

Χωρίς να αλλάξουμε τις MFs των λεκτικών τιμών των ασαφών μεταβλητών εισόδου και εξόδου του συστήματος (και άρα αυτές θα είναι όπως δίνονται στις Εικόνες 2 έως 4 στην αρχή του παρόντος εγγράφου), προσομοιώνουμε τη διαδικασία ελέγχου του FLC. Η ασαφής αυτή βάση χωρίς αλλαγή στις συναρτήσεις συμμετοχής (MFs) των λεκτικών τιμών υλοποιείται στο αρχείο *car_flc_initial.fis*. Το Matlab script βρίσκεται στο αρχείο *main_2.m*. Ως αποτέλεσμα της προσομοίωσης, παίρνουμε τα ακόλουθα μονοπάτια (πορείες) για το υπό-έλεγχο όχημα για κάθε μια από τις αρχικές γωνίες διεύθυνσης ταχύτητας.

3.1.1. Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_1 = 0^\circ$



Εικόνα 7: Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_1 = 0^\circ$

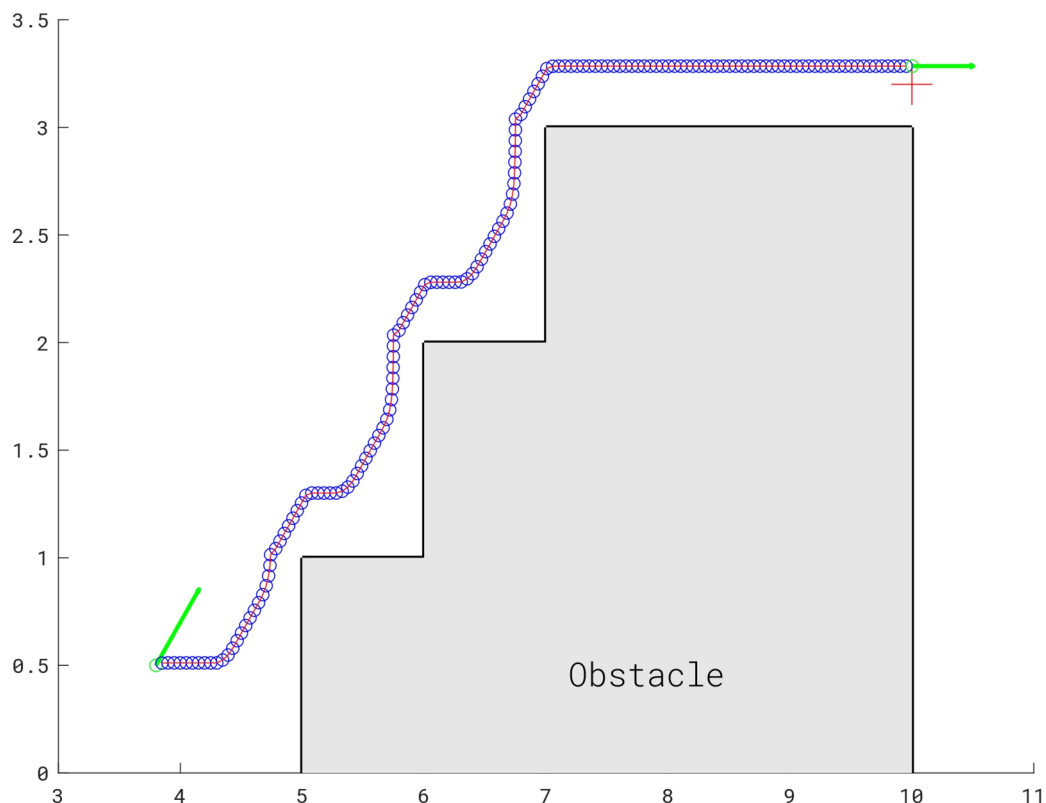
Η τελική θέση του οχήματος καθώς και στοιχεία της διαδρομής φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Θέση-Στόχος, $(x,y)_{\text{target}}$	(10, 3.2)
Τελική θέση, $(x,y)_{\text{final}}$	(10.0042, 3.274)
Ευκλείδεια Απόσταση από Στόχο	74.0993 mm
Μήκος Διαδρομής*	14.6288 m

Πίνακας 1: Στοιχεία διαδρομής για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_1 = \theta^\circ$

* Το μήκος της διαδρομής που διανύθηκε υπολογίζεται ως το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα πάνω στην interpolation curve (χρησιμοποιήθηκε Piecewise Cubic Hermite Interpolating Polynomial - PCHIP) που εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα στην εκάστοτε εικόνα που εμφανίζει τη διαδρομή του οχήματος από τη προσομοίωση.

3.1.2. Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_2 = 45^\circ$



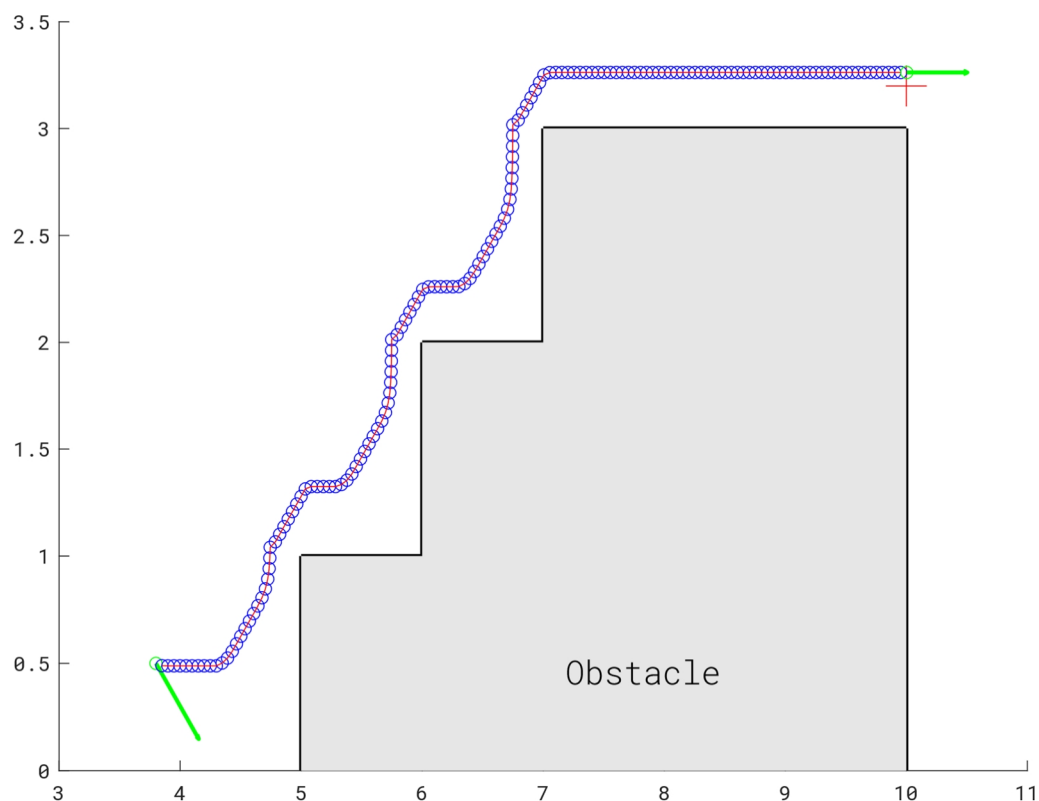
Εικόνα 8: Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_2 = 45^\circ$

Η τελική θέση του οχήματος καθώς και στοιχεία της διαδρομής φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Θέση-Στόχος, $(x,y)_{\text{target}}$	(10, 3.2)
Τελική θέση, $(x,y)_{\text{final}}$	(10.0042, 3.2845)
Ευκλείδεια Απόσταση από Στόχο	84.6119 mm
Μήκος Διαδρομής	14.695 m

Πίνακας 2: Στοιχεία διαδρομής για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_2 = 45^\circ$

3.1.3. Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_3 = -45^\circ$



Εικόνα 9: Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_3 = -45^\circ$

Η τελική θέση του οχήματος καθώς και στοιχεία της διαδρομής φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Θέση-Στόχος, $(x,y)_{\text{target}}$	(10, 3.2)
--------------------------------------	-----------

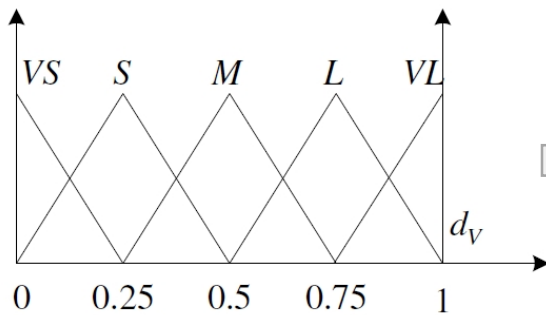
Τελική θέση, $(x,y)_{final}$	(10.0042, 3.2631)
Ευκλείδεια Απόσταση από Στόχο	63.2638 mm
Μήκος Διαδρομής	14.6079 m

Πίνακας 3: Στοιχεία διαδρομής για αρχικές παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_3 = -45^\circ$

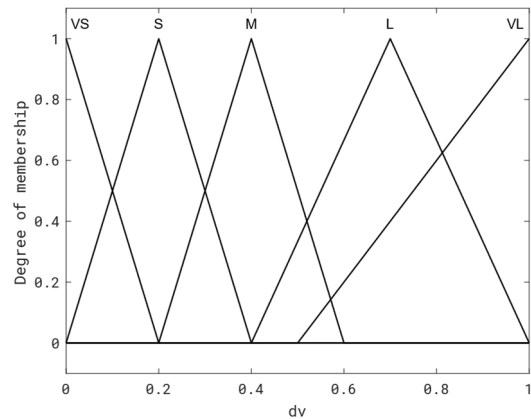
Όπως φαίνεται στις Εικόνες 7 έως 9 αλλά και στους Πίνακες 1 έως 3 παραπάνω στο σφάλμα τελικής θέσης κυριαρχεί η απόκλιση από τον άξονα y (σε ποσοστό άνω του 99.7%), κάτι στο οποίο, όπως μας επισημάνθηκε στην εκφώνηση, πρέπει να δοθεί έμφαση για την κατά το δυνατό εξάλειψή του. Στη συνέχεια θα τροποποιήσουμε λίγο τις παραμέτρους των MFs των λεκτικών τιμών των εισόδων προκειμένου να επιτύχουμε μηδενικό σφάλμα προσέγγισης της τεταγμένης της τελικής θέσης-στόχου.

3.2. Τροποποίηση Παραμέτρων MFs για Μείωση Σφάλματος

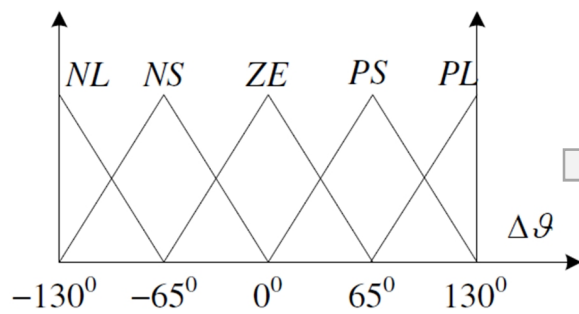
Το πρόβλημα μη μηδενικού σφάλματος τεταγμένης έγκειται και εξαρτάται στη λεκτική τιμή VS και S για την ασαφή μεταβλητή εισόδου d_n και άρα κυρίως στους κανόνες 23 και 26 έως 28. Οι αλλαγές των MFs για τις λεκτικές τιμές της ασαφούς μεταβλητής εισόδου d_n , καθώς και των παραμέτρων των MFs των λεκτικών τιμών της ασαφούς μεταβλητής εξόδου του FLC, $\Delta\theta$, φαίνονται ακολούθως:



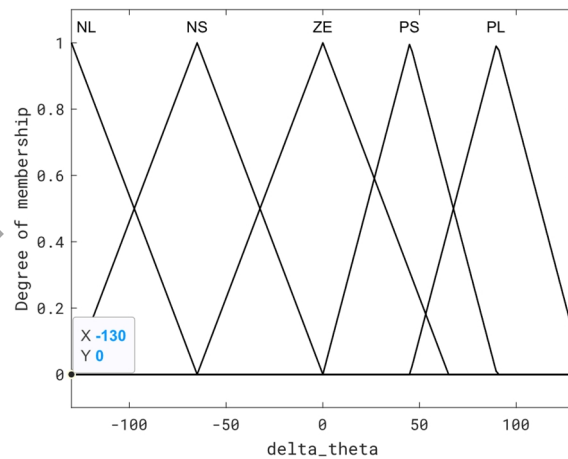
Εικόνα 10: Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για d_v (PRIN)



Εικόνα 11: Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για d_v (META)



Εικόνα 12: Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για $\Delta\theta$ (PRIN)

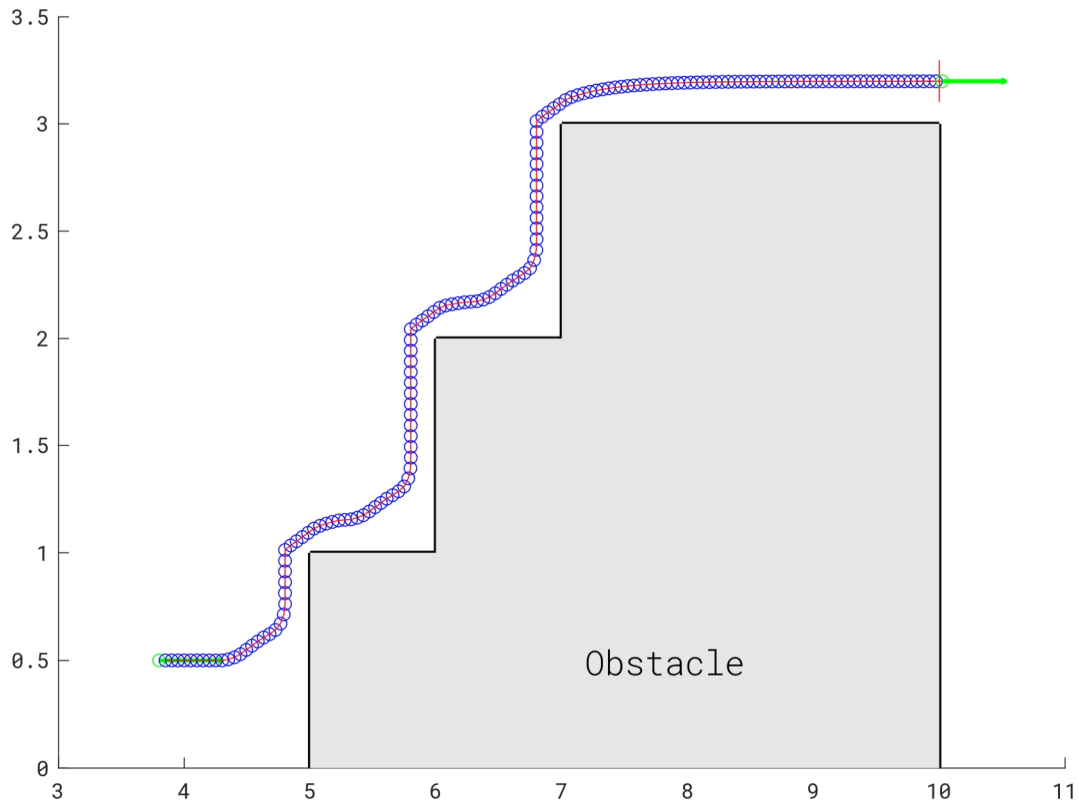


Εικόνα 13: Συναρτήσεις συμμετοχής πέντε (5) λεκτικών τιμών για $\Delta\theta$ (META)

Οι παραπάνω παράμετροι για τις MFs της d_v αλλά και της εξόδου $\Delta\theta$ προέκυψαν με τη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος. Η βάση κανόνων με την τροποποίηση των παραπάνω λεκτικών έχει αποθηκευτεί στο αρχείο *car_flc_modified.fis*.

Ως αποτέλεσμα της προσομοίωσης του FLC με το νέο *.fis* αρχείο που περιέχει τις τροποποιημένες παραμέτρους των MFs των λεκτικών τιμών για την d_v , παίρνουμε τα ακόλουθα μονοπάτια (πορείες) για το υπό-έλεγχο όχημα για κάθε μια από τις αρχικές γωνίες διεύθυνσης ταχύτητας.

3.2.1. Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_1 = 0^\circ$



Εικόνα 14: Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_1 = 0^\circ$

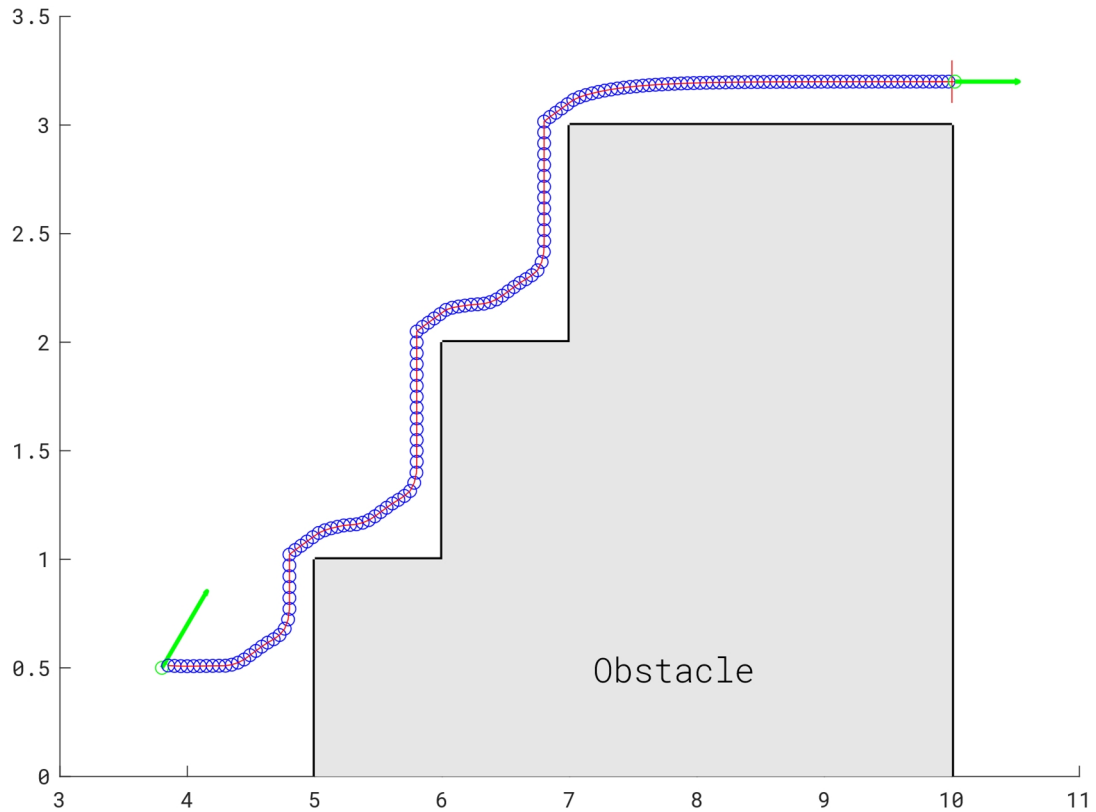
Η τελική θέση του οχήματος καθώς και στοιχεία της διαδρομής φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Θέση-Στόχος, $(x,y)_{\text{target}}$	(10, 3.2)
Τελική Θέση, $(x,y)_{\text{final}}$	(10.0233, 3.2)
Ευκλείδεια Απόσταση από Στόχο	23.3056 mm
Μήκος Διαδρομής*	13.9324 m

Πίνακας 4: Στοιχεία διαδρομής για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_1 = 0^\circ$

* Το μήκος της διαδρομής που διανύθηκε υπολογίζεται και πάλι ως το επικαμπύλιο ολοκλήρωμα πάνω στην interpolation curve (χρησιμοποιήθηκε Piecewise Cubic Hermite Interpolating Polynomial - PCHIP) που εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα στην εκάστοτε εικόνα που εμφανίζει τη διαδρομή του οχήματος από τη προσομοίωση.

3.2.2. Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_2 = 45^\circ$



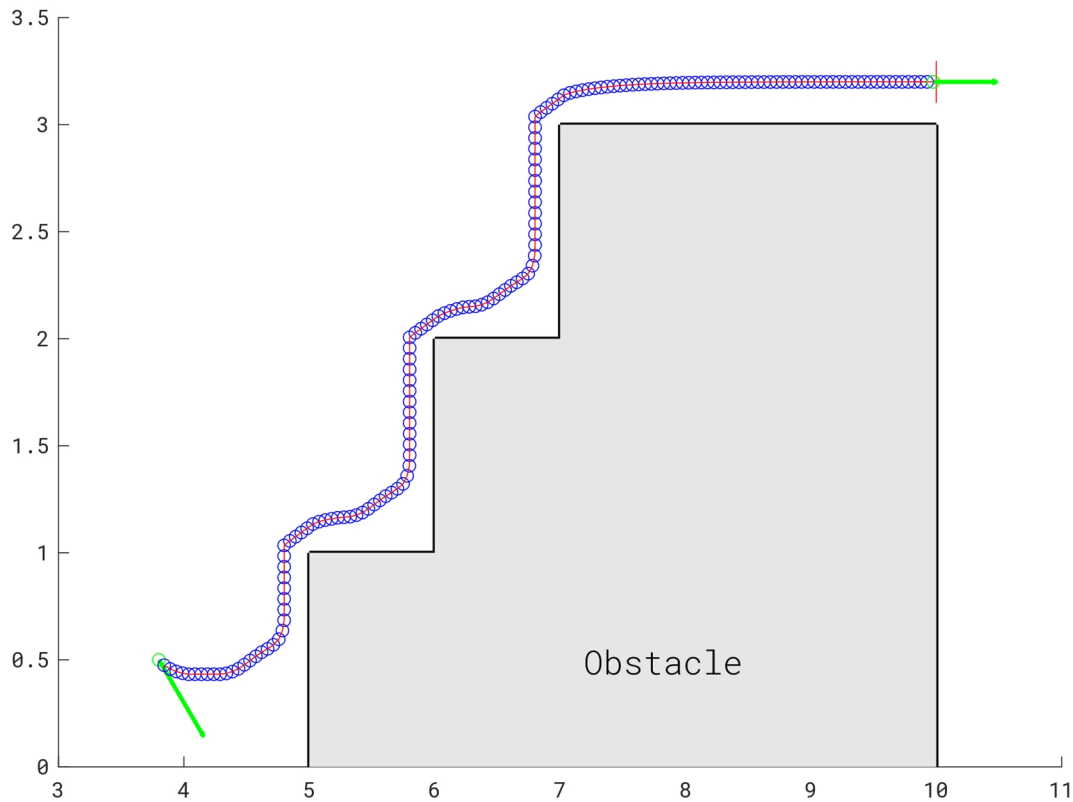
Εικόνα 15: Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_2 = 45^\circ$

Η τελική θέση του οχήματος καθώς και στοιχεία της διαδρομής φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Θέση-Στόχος, $(x,y)_{\text{target}}$	(10, 3.2)
Τελική Θέση, $(x,y)_{\text{final}}$	(10.0237, 3.2)
Ευκλείδεια Απόσταση από Στόχο	23.6751 mm
Μήκος Διαδρομής	13.9558 m

Πίνακας 5: Στοιχεία διαδρομής για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_2 = 45^\circ$

3.2.3. Αρχική Γωνία Διεύθυνσης Ταχύτητας: $\theta_3 = -45^\circ$



Εικόνα 16: Προσομοίωση διαδικασίας ελέγχου για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_3 = -45^\circ$

Η τελική θέση του οχήματος καθώς και στοιχεία της διαδρομής φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Θέση-Στόχος, $(x,y)_{\text{target}}$	(10, 3.2)
Τελική Θέση, $(x,y)_{\text{final}}$	(9.9764, 3.2)
Ευκλείδεια Απόσταση από Στόχο	23.5621 mm
Μήκος Διαδρομής	13.7279 m

Πίνακας 6: Στοιχεία διαδρομής για τροποποιημένες παραμέτρους MFs λεκτικών τιμών και για αρχική γωνία διεύθυνσης ταχύτητας, $\theta_3 = -45^\circ$

Όπως φαίνεται στις Εικόνες 14 έως 16 αλλά και στους Πίνακες 4 έως 6 παραπάνω το σφάλμα προσέγγισης της τεταγμένης της τελικής θέσης-στόχου έχει εκμηδενιστεί, πράγμα που οδηγεί και σε μικρότερα μήκη διαδρομών και φυσικά σε μικρότερες ευκλείδειες απόστασης από την τελική θέση-στόχο.

Θεσσαλονίκη, 9 Φεβρουαρίου 2020