

ΑΣΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ

2020 - 2021

Εργασία 2 - Car Control

Ονοματεπώνυμο: Παπαδάμ Στέφανος

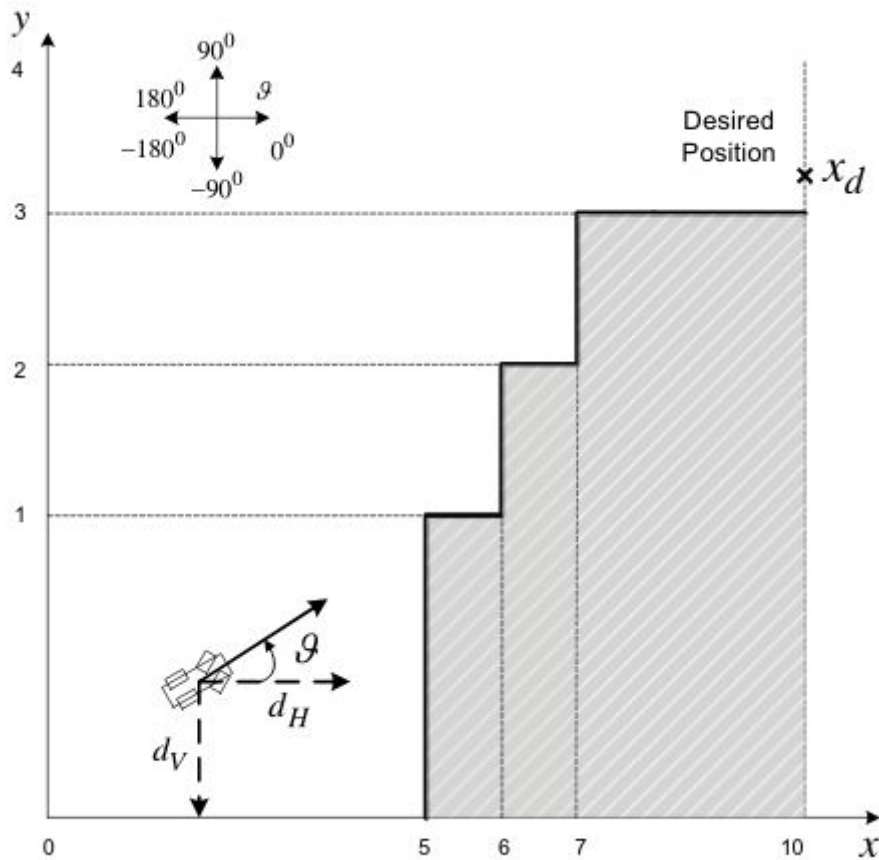
ΑΕΜ: 8885

email: sgpapadam@ece.auth.gr

Ομάδα Εργασίας: 1

Περιγραφή του προβλήματος

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό την υλοποίηση ενός ασαφούς ελεγκτή (FLC) ο οποίος θα οδηγήσει το όχημα με ασφάλεια στην επιθυμητή θέση (x_d, y_d). Το όχημα σε όλη τη διάρκεια της διαδρομής θα πρέπει να αποφεύγει τα εμπόδια που βρίσκονται στη διαδρομή του. Η λογική αυτή απεικονίζεται καλύτερα στην Εικόνα 1.

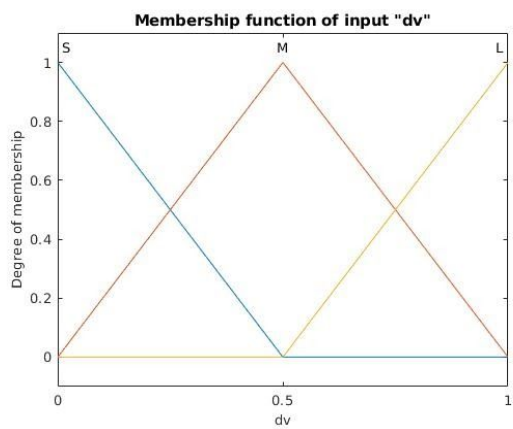


Εικόνα 1: Στόχος του οχήματος

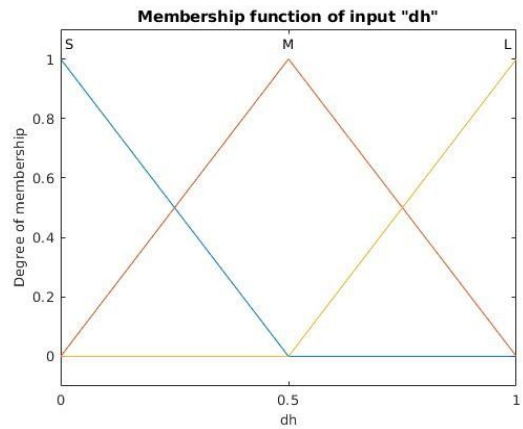
Λειτουργία FLC

Ο ελεγκτής FLC που καλούμαστε να σχεδιάσουμε θα πρέπει να έχει τις εξής αρχικές εισόδους και εξόδους (πριν τη βελτιστοποίηση):

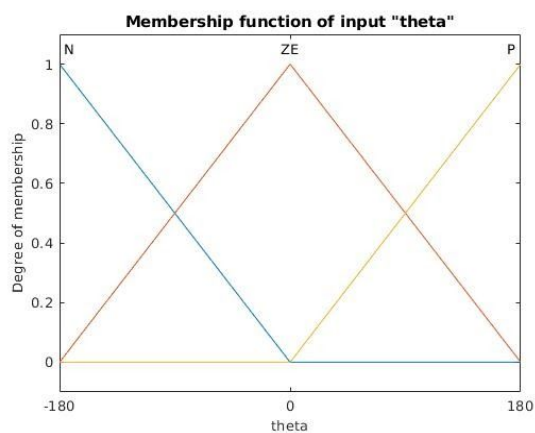
- **Είσοδοι**
 - **dv** : Η κάθετη απόσταση του οχήματος από τα εμπόδια. Η μεταβλητή αυτή ανήκει στο ασαφές σύνολο της Εικόνας 2.
 - **dh** : Η οριζόντια απόσταση του οχήματος από τα εμπόδια. Η μεταβλητή αυτή ανήκει στο ασαφές σύνολο της Εικόνας 3.
 - **θ** : Η διεύθυνση της ταχύτητας του οχήματος. Η μεταβλητή αυτή ανήκει στο ασαφές σύνολο της Εικόνας 4.
- **Έξοδοι**
 - **$d\theta$** : Η μεταβολή στη διεύθυνση του οχήματος. Η μεταβλητή αυτή ανήκει στο ασαφές σύνολο της Εικόνας 5.



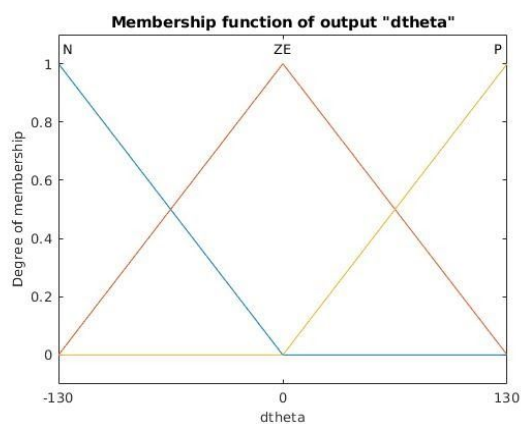
Εικόνα 2: Ασαφές σύνολο κάθετης απόστασης dv .



Εικόνα 3: Ασαφές σύνολο οριζόντιας απόστασης dh .



Εικόνα 4: Ασαφές σύνολο διεύθυνσης ταχύτητας θ .



Εικόνα 5: Μεταβολή διεύθυνσης ταχύτητας $\Delta\theta$.

Βάση κανόνων

Η βάση κανόνων η οποία χρησιμοποιεί ο ασαφής ελεγκτής συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα:

		θ		
		N	ZE	P
dh	S	P	P	ZE
	M	P	P	ZE
	L	P	ZE	N

Αρχικά, όπως φαίνεται στον πίνακα χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι μεταβλητές εισόδου dh και θ . Ο λόγος για τον οποίο δεν χρησιμοποιήθηκε η κάθετη απόσταση dn είναι διότι παίζει μικρότερο ρόλο στην αποφυγή των εμποδίων το οποίο προέκυψε έπειτα από εκτέλεση του μοντέλου και για να απλοποιηθεί η διαδικασία μειώνοντας τον αριθμό των μεταβλητών. Όπως φαίνεται και στις επόμενες ενότητες το αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικό με τη χρήση των δύο μεταβλητών. Ο συλλογισμός από τον οποίο προέκυψε ο παραπάνω πίνακας είναι ο εξής:

1. Όταν η οριζόντια απόσταση dh είναι μεγάλη (L) τότε η μεταβολή ($\Delta\theta$) στη διεύθυνση της ταχύτητας θα πρέπει να είναι αντίθετη από την εκάστοτε διεύθυνση της ταχύτητας (θ) διότι το όχημα βρίσκεται μακριά από τα εμπόδια και επιθυμούμε να κινηθεί οριζόντια ώστε να πλησιάσει. Για να κινηθεί οριζόντια θα πρέπει να μηδενιστεί η διεύθυνση της ταχύτητας ($\theta = 0$).
2. Όταν η οριζόντια απόσταση dh είναι μεσαία (M) τότε το όχημα βρίσκεται στην επιθυμητή απόσταση από τον τοίχο οπότε η μεταβολή ($\Delta\theta$) στη διεύθυνση της ταχύτητας θα πρέπει να είναι θετική (P) σε περίπτωση που η διεύθυνση ταχύτητας (θ) είναι αρνητική (N) ή μηδενική (ZE). Σε περίπτωση που η διεύθυνση ταχύτητας (θ) είναι θετική τότε δεν χρειάζεται κάποια αλλαγή οπότε η μεταβολή θα είναι μηδενική (ZE). Το όχημα με αυτόν τον τρόπο θα πρέπει να στρίψει αριστερά και να κινηθεί παράλληλα στο εμπόδιο έχοντας διεύθυνση ταχύτητας (θ) ίση με 90 μοίρες.
3. Όταν η οριζόντια απόσταση dh είναι μικρή (S) τότε το όχημα βρίσκεται κοντά στον τοίχο οπότε θα πρέπει να απομακρυνθεί. Οπότε προκύπτει ότι η μεταβολή ($\Delta\theta$) στη διεύθυνση της ταχύτητας θα πρέπει να είναι θετική (P) σε περίπτωση που η διεύθυνση ταχύτητας (θ) είναι αρνητική (N) ή μηδενική (ZE) διότι σε αυτές τις περιπτώσεις το όχημα κινείται προς τον τοίχο οπότε και επιθυμούμε να το απομακρύνουμε από αυτόν. Σε περίπτωση που η διεύθυνση ταχύτητας (θ) είναι θετική τότε δεν χρειάζεται κάποια αλλαγή διότι το όχημα θα συνεχίσει να κινείται μακριά από τον τοίχο οπότε η μεταβολή θα είναι μηδενική (ZE).

Περιγραφή κώδικα

Παρακάτω θα γίνει μία σύντομη περιγραφή της λογικής που ακολουθεί ο κώδικας για να λύσει το πρόβλημα. Αρχικά, γίνονται κάποιες αρχικοποιήσεις των μεταβλητών που μας ενδιαφέρουν όπως η αρχική θέση, η αρχική ταχύτητα και η επιθυμητή θέση. Έπειτα, αναπαριστούμε μέσω διαγραμμάτων τις αρχικές συναρτήσεις συμμετοχής των εισόδων και της εξόδου που δίνονται στην εκφώνηση. Στη συνέχεια, υλοποιείται ένας βρόχος που τρέχει και για τις τρεις αρχικές διευθύνσεις ταχύτητας που δίνονται στην εκφώνηση, $\theta = [0, -45, -90]$. Εντός αυτού του βρόχου τρέχει ένας εμφωλευμένος βρόχος για όση διάρκεια η διαφορά της θέσης του οχήματος και της επιθυμητής είναι μεγαλύτερη από ένα σφάλμα που ορίζουμε εμείς. Ο λόγος που δεν θεωρούμε μηδενικό αυτό το σφάλμα δηλαδή το όχημα να πέσει πάνω ακριβώς στην επιθυμητή θέση είναι διότι ο αλγόριθμος θα έμπαινε σε έναν ατέρμων βρόχο προσπαθώντας να προσεγγίσει ακριβώς την επιθυμητή θέση καθώς είναι πολύ

δύσκολο να πετύχουμε τέτοια ακρίβεια. Εντός, λοιπόν, του βρόχου αυτού παίρνουμε την εκτίμηση του μοντέλου για τη μεταβολή της διεύθυνσης της ταχύτητας ($d\theta$) μέσω της συνάρτησης `evalfis()` και ανανεώνουμε την θέση και τον προσανατολισμό του οχήματος ως εξής:

- $\theta_{\text{new}} = \theta_{\text{prev}} + \Delta\theta$
- $x_{\text{new}} = x_{\text{prev}} + \cos(\theta) * u$
- $y_{\text{new}} = y_{\text{prev}} + \sin(\theta) * u$

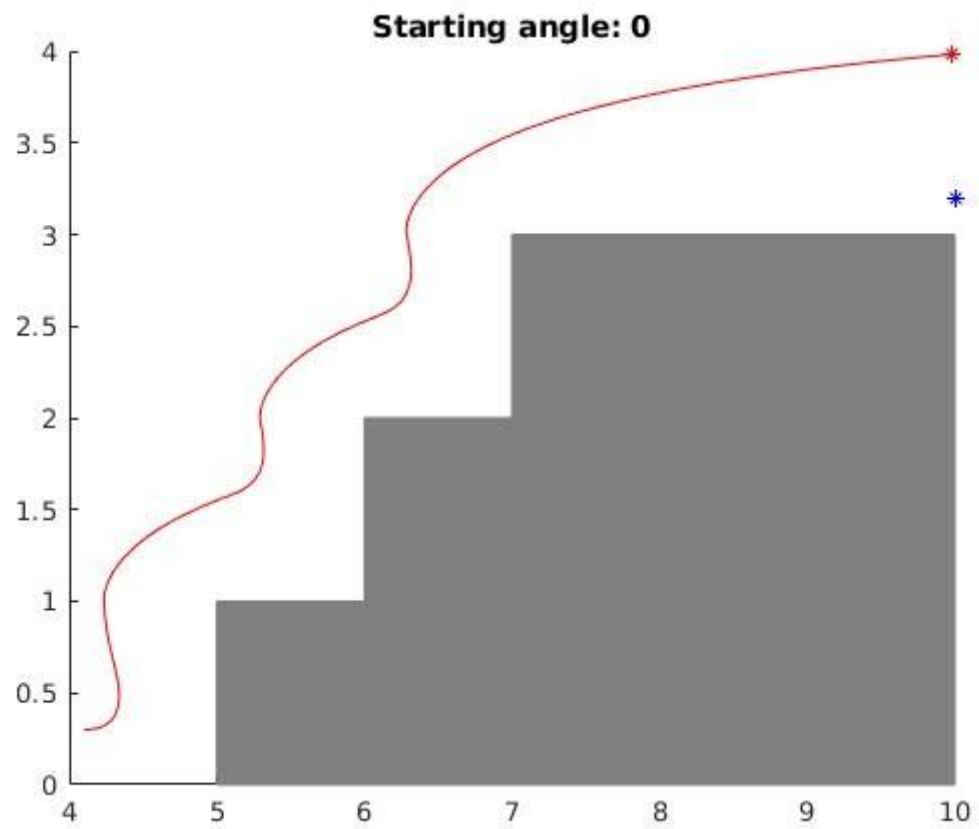
Έπειτα, διατηρούμε στους πίνακες `x_values` και `y_values` τις συντεταγμένες του οχήματος σε κάθε βήμα για να απεικονιστεί στη συνέχεια η τροχιά του. Ανανεώνουμε έπειτα τις αποστάσεις των εμποδίων d_h και d_v και βγαίνουμε από το βρόχο. Στο τέλος του προγράμματος απεικονίζουμε τα εμπόδια του σχήματος σαν σταθερά ορθογωνία παραλληλόγραμμα μαζί με την τροχιά που ακολούθησε το όχημα για κάθε αρχική διεύθυνση.

Αρχικά Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε μία από τις τρεις αρχικές γωνίες προσανατολισμού. Οι επιθυμητές συντεταγμένες είναι (10, 3.2) και οι αρχικές (4.1, 0.3). Οι τρεις αρχικοί προσανατολισμοί είναι $\theta = [0, -45, -90]$.

Περίπτωση 1

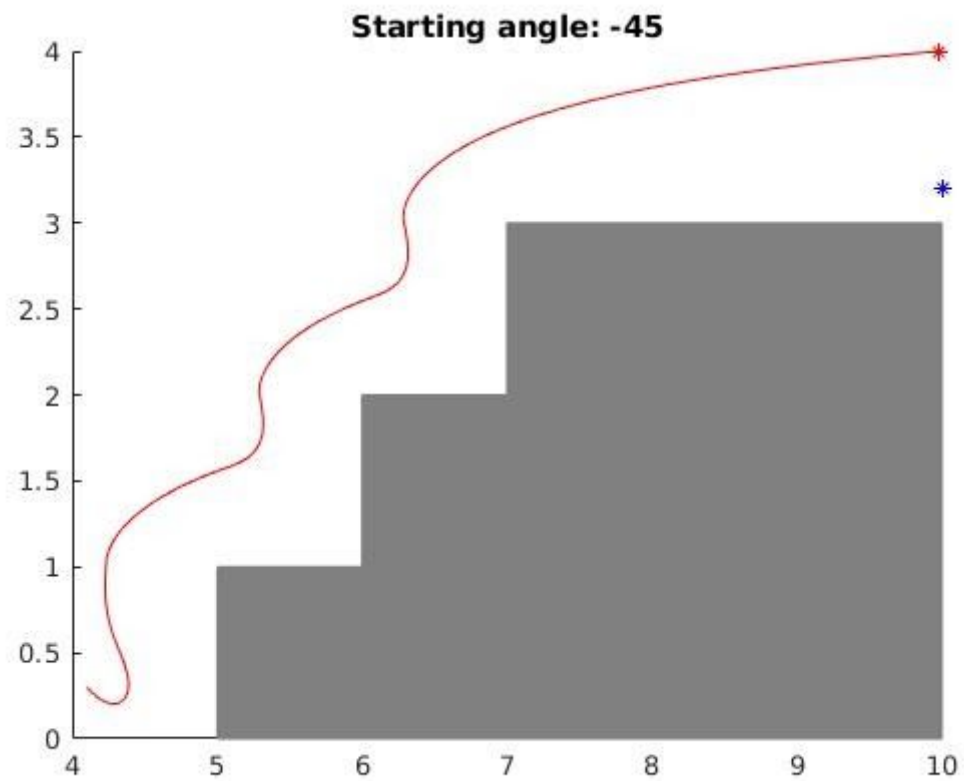
- γωνία προσανατολισμού $\theta = 0$
- τελική θέση $x = 9.9781$, $y = 3.9824$.



Εικόνα 6: Πορεία οχήματος με αρχική γωνία 0.

Περίπτωση 2

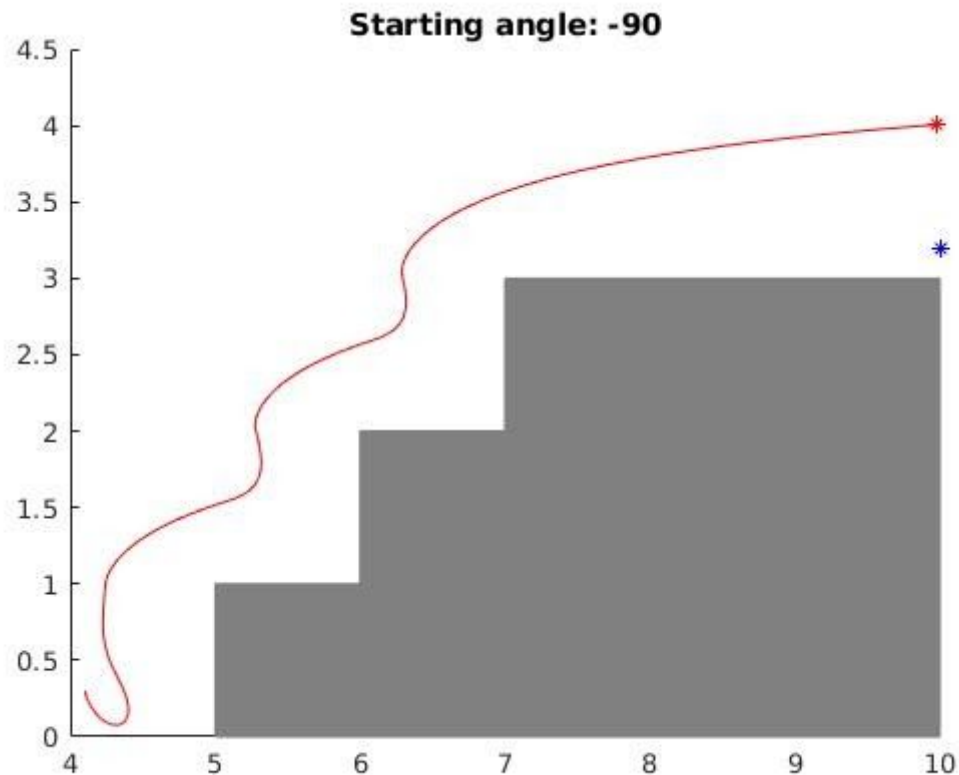
- γωνία προσανατολισμού $\theta = -45$
- τελική θέση $x = 9.9788$, $y = 3.999$.



Εικόνα 7: Πορεία οχήματος με αρχική γωνία -45 .

Περίπτωση 3

- γωνία προσανατολισμού $\theta = -90$
- τελική θέση $x = 9.9822$, $y = 4.0055$.



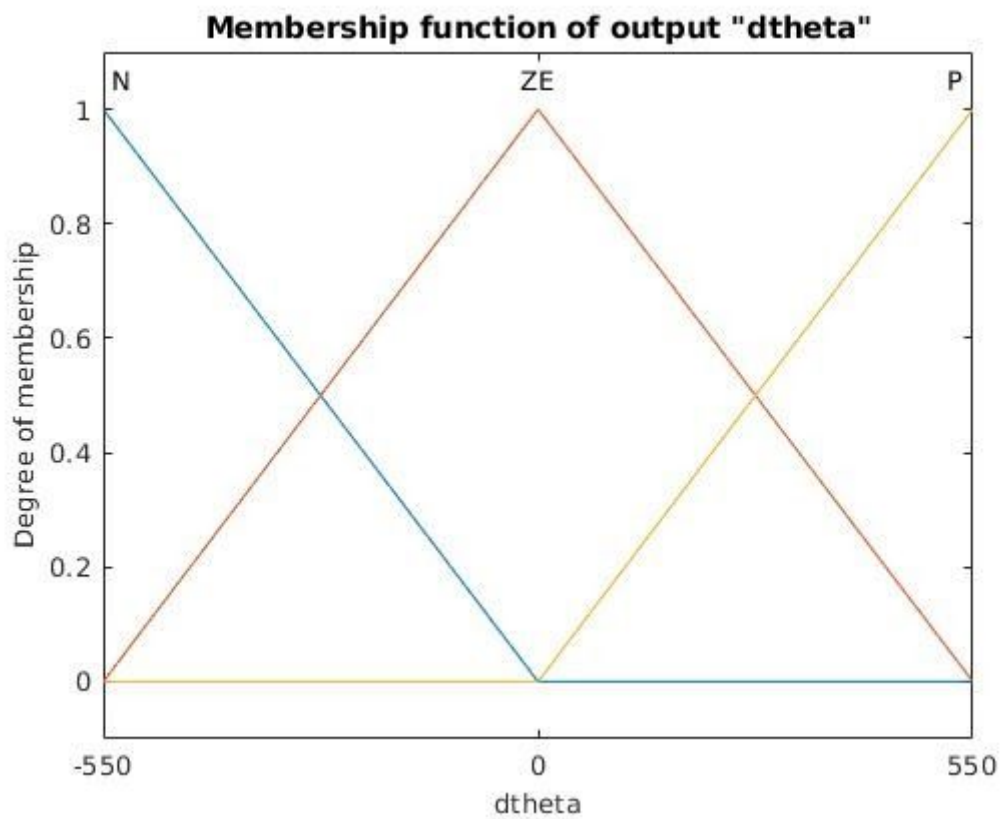
Εικόνα 8: Πορεία οχήματος με αρχική γωνία -90.

Από τα παραπάνω τρία σχήματα παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά σε ότι αφορά την y συντεταγμένη του οχήματος. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η διαφορά της αρχικής με την τελική θέση ως προς την y συντεταγμένη είναι κοντά στο 25%. Αντίθετα, ως προς το την x συντεταγμένη τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα καθώς το ποσοστό της διαφοράς των δύο θέσεων είναι κοντά στο 0.2%. Η διαφορά στην y συντεταγμένη είναι σημαντική για αυτό και θα βελτιώσουμε τον ασαφή ελεγκτή.

Βελτιστοποίηση Συστήματος

Μετά τα αποτελέσματα που πήραμε από τις αρχικές συναρτήσεις συμμετοχής των εισόδων και της εξόδου μας θα προσπαθήσουμε να βελτιώσουμε το μοντέλο μας προκειμένου η τελική θέση να είναι πιο κοντά στην επιθυμητή. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι το όχημα πραγματοποιεί πολύ “ανοιχτές” στροφές όταν πλησιάζει στα εμπόδια προκειμένου να απομακρύνεται αρκετά από αυτά και φτάνοντας τελικά στην τελική θέση με μεγάλο σφάλμα κατά τον άξονα y . Επομένως αυτό που θα βοηθούσε είναι το όχημα να στρίβει πιο απότομα όταν συναντά εμπόδιο έτσι ώστε να κινείται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα παράλληλα στα εμπόδια και έτσι να καταλήξει σε κοντύτερο y . Για να γίνουν πιο απότομες οι στροφές θα πρέπει να αυξηθεί το εύρος τιμών της εξόδου $\Delta\theta$. Μετά από δοκιμές προκύπτει ότι το

καλύτερο αποτέλεσμα το πετυχαίνουμε για $\Delta\theta \in [-550, 550]$. Η νέα συνάρτηση συμμετοχής της εξόδου είναι αυτή που φαίνεται στην Εικόνα 9.



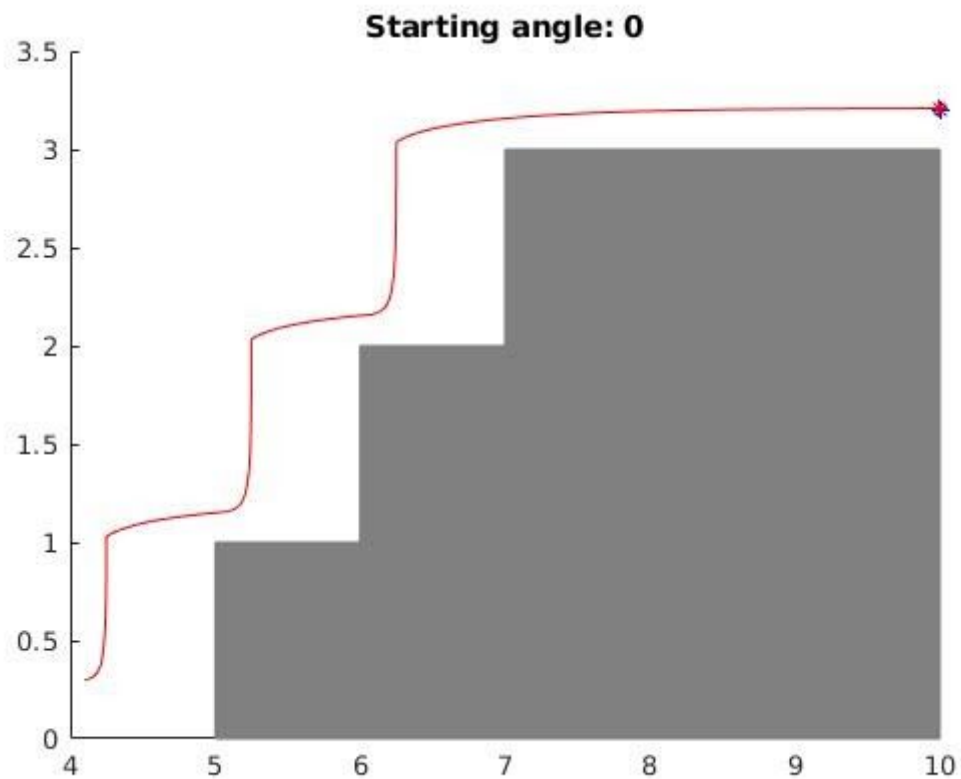
Εικόνα 9: Βελτιωμένη συνάρτηση συμμετοχής εξόδου $\Delta\theta$.

Τελικά Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε μία από τις τρεις αρχικές γωνίες προσανατολισμού για το βελτιωμένο μοντέλο. Υπενθυμίζεται ότι οι επιθυμητές συντεταγμένες είναι (10, 3.2) και οι αρχικές (4.1, 0.3). Οι τρεις αρχικοί προσανατολισμοί είναι $\theta = [0, -45, -90]$.

Περίπτωση 1

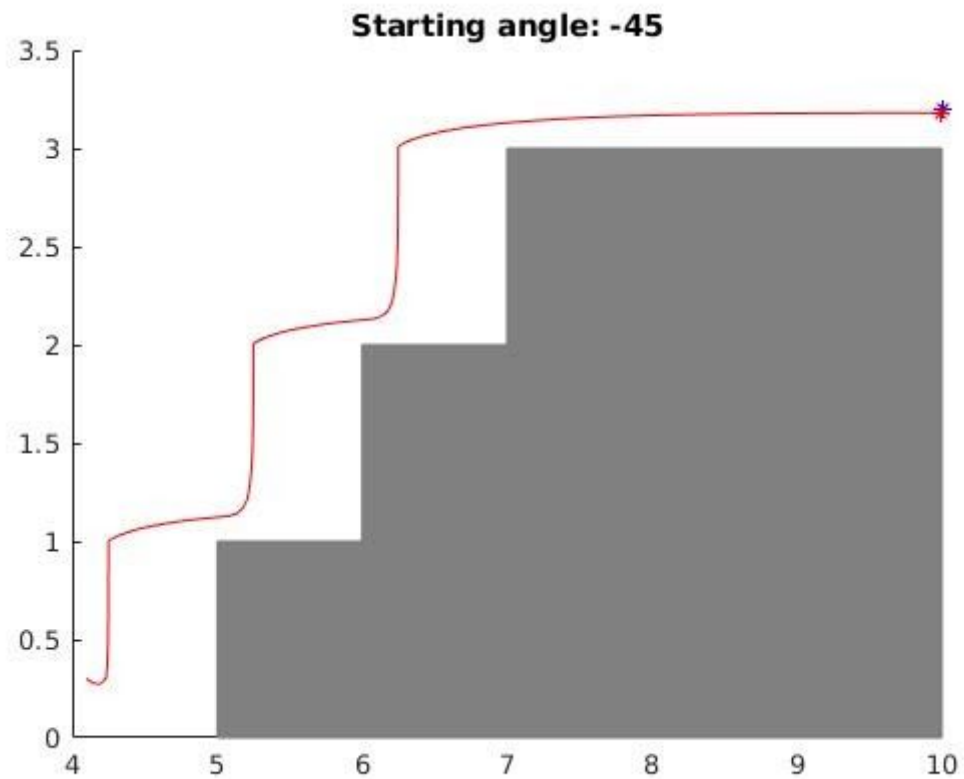
- γωνία προσανατολισμού $\theta = 0$.
- τελική θέση $x = 9.9866$, $y = 3.2088$.



Εικόνα 10: Βελτιωμένη πορεία οχήματος με αρχική γωνία 0.

Περίπτωση 2

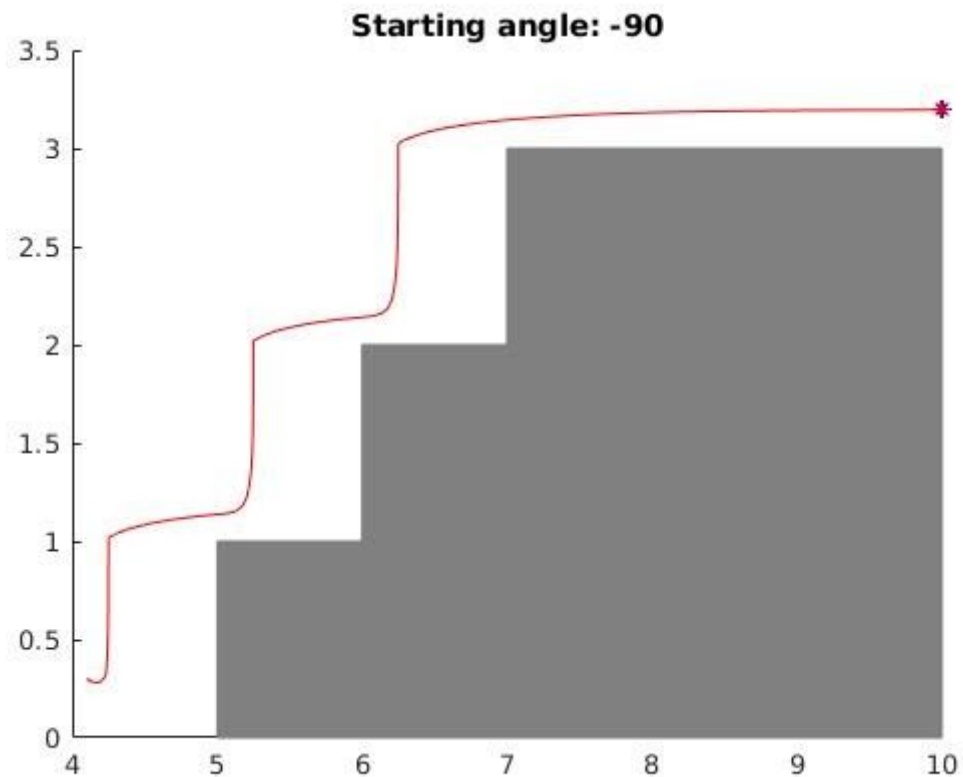
- γωνία προσανατολισμού $\theta = -45$.
- τελική θέση $x = 9.9866$, $y = 3.1818$.



Εικόνα 11: Βελτιωμένη πορεία οχήματος με αρχική γωνία -45.

Περίπτωση 3

- γωνία προσανατολισμού $\theta = -90$.
- τελική θέση $x = 9.9866$, $y = 3.1962$.



Εικόνα 12: Βελτιωμένη πορεία οχήματος με αρχική γωνία -90.

Έπειτα από την βελτίωση που πραγματοποιήσαμε παρατηρούμε ότι το αποτέλεσμα είναι σαφώς καλύτερο από το προηγούμενο καθώς η τελική θέση του οχήματος είναι πολύ κοντά στην επιθυμητή. Επίσης, οι στροφές έγιναν περισσότερο απότομες με το όχημα να κινείται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα παράλληλα στα εμπόδια το οποίο θέλαμε να επιτύχουμε για να βρεθούμε πιο κοντά στο επιθυμητό σημείο. Το νέο σφάλμα ως προς τους άξονες x , y είναι κοντά στο 0.2% και 0.1% αντίστοιχα, το οποίο υποδεικνύει και την καλύτερη λειτουργία του μοντέλου.