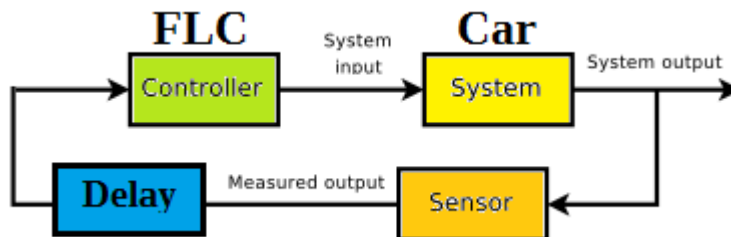


Εργασία 2 Car control with FLC

Φοιτητής : Μπεκιάρης Θεοφάνης ΑΕΜ:8200

Μοντελοποίηση του συστήματος στο Simulink

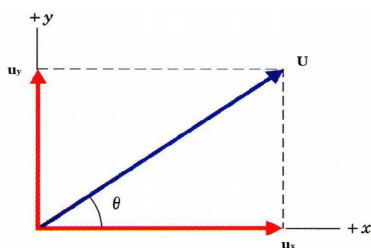
Αρχικά πρέπει να κατασκευάσουμε το μοντέλο του υπό μελέτη συστήματος. Για αυτό τον σκοπό θα χρησιμοποιήσουμε το γραφικό περιβάλλον του Simulink. Το μοντέλο μας θα έχει την εξής συνήθης μορφή.



Δηλαδή το συνολικό σύστημα θα είναι συνδεδεμένο σε μορφή κλειστού βρόχου και το υποσύστημα του αυτοκινήτου θα οδηγείται από τον Fuzzy ελεγκτή, επιπλέον στο βρόχο ανατροφοδότησης θα είναι συνδεδεμένος ο αισθητήρας που θα μετράει την δεδομένη κατάσταση του συστήματος του αυτοκινήτου και θα τροφοδοτεί με τα δεδομένα στον ελεγκτή μετά όμως από κάποια καθυστέρηση. Συγκεκριμένα από την εκφώνηση της εργασίας ο αισθητήρας υπολογίζει κάθε χρονική στιγμή την κάθετη (dv) και οριζόντια (dh) απόσταση από τα εμπόδια και την διεύθυνση (θ) της ταχύτητας.

Μοντέλο του συστήματος αυτοκινήτου

Το μοντέλο του συστήματος αυτοκινήτου περιγράφεται από την θέση του (x, y) και τον προσανατολισμό του (γωνία θ). Επομένως αυτό που θέλουμε να ξέρουμε κάθε στιγμή για να μπορούμε να περιγράψουμε το μοντέλο είναι αυτά τα μεγέθη. Παρατηρούμε ότι οι εξισώσεις που το περιγράφουν είναι:



$$U = u_x * x + u_y * y$$

ή

$$u_x = |U| * \cos\theta * x$$

$$u_y = |U| * \sin\theta * y$$

Ολοκληρώνουμε τις παραπάνω εξισώσεις για να πάρουμε σχέσεις συναρτήσεων των συντεταγμένων (x, y) και τις γωνίας θ , λαμβάνοντας υπόψη ότι η ταχύτητα είναι σταθερή $|U| = 0.05 \text{ m/s}$ και ότι λόγω της σύμβασης για το πρόσημο της γωνίας, η γωνία θεωρείται μικρότερη του μηδενός άρα έχουμε:

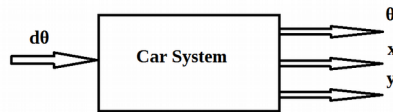
$$x = x_0 + 0.05 * \int \cos\theta \, dt$$

$$y = y_0 - 0.05 * \int \sin\theta \, dt \quad \text{όπου το μείον λόγω του ότι } \theta < 0 \text{ στο σχήμα της εκφώνησης}$$

Επίσης η είσοδος στο σύστημα του αυτοκινήτου που προέρχεται από το σύστημα του αισθητήρα είναι η μεταβολή της γωνίας, η οποία θα πρέπει να μετασχηματίζεται στην απόλυτη τιμή της γωνίας

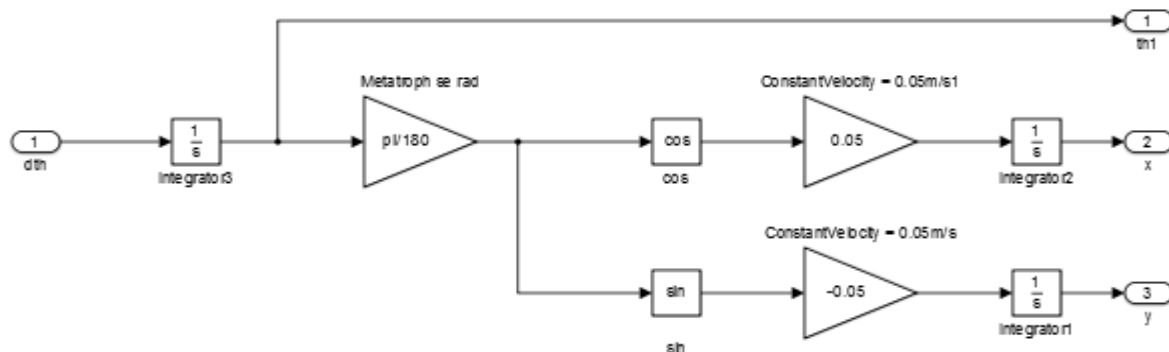
$$\theta = \theta_0 + \int d\theta$$

Οι παραπάνω εξισώσεις περιγράφουν το σύστημα του αυτοκινήτου με είσοδο την μεταβολή της γωνίας $d\theta$ και εξόδους την γωνία θ , και τις συντεταγμένες (x,y) .



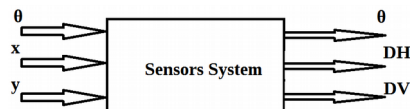
Ο ολοκληρωτικός όρος στις παραπάνω εξισώσεις στο Simulink είναι ένας ολοκληρωτής της μορφής $1/s$ μέσα στον οποίο ορίζουμε την αρχική τιμή (x_0 ή y_0 ή θ_0) που δίνεται από την εκφώνηση. Δεδομένου των παραπάνω τελικά το μοντέλο του αυτοκινήτου στο Simulink είναι:

Σύστημα αυτοκινήτου



Μοντέλο αισθητήρα

Τα δεδομένα εισόδου του αισθητήρα είναι οι συντεταγμένες του οχήματος (x,y) και η γωνία προσανατολισμού θ . Με τα δεδομένα αυτά ο αισθητήρας υπολογίζει την οριζόντια και κάθετη απόσταση του από τα εμπόδια, και προωθεί τα δεδομένα αυτά μαζί με την γωνία προσανατολισμού στο σύστημα του FLC.



Ο τρόπος λειτουργίας του αισθητήρα προκύπτει από το σχήμα εμποδίων της εκφώνησης και σε μορφή αλγορίθμου είναι ο εξής:

Κάθετη απόσταση DV

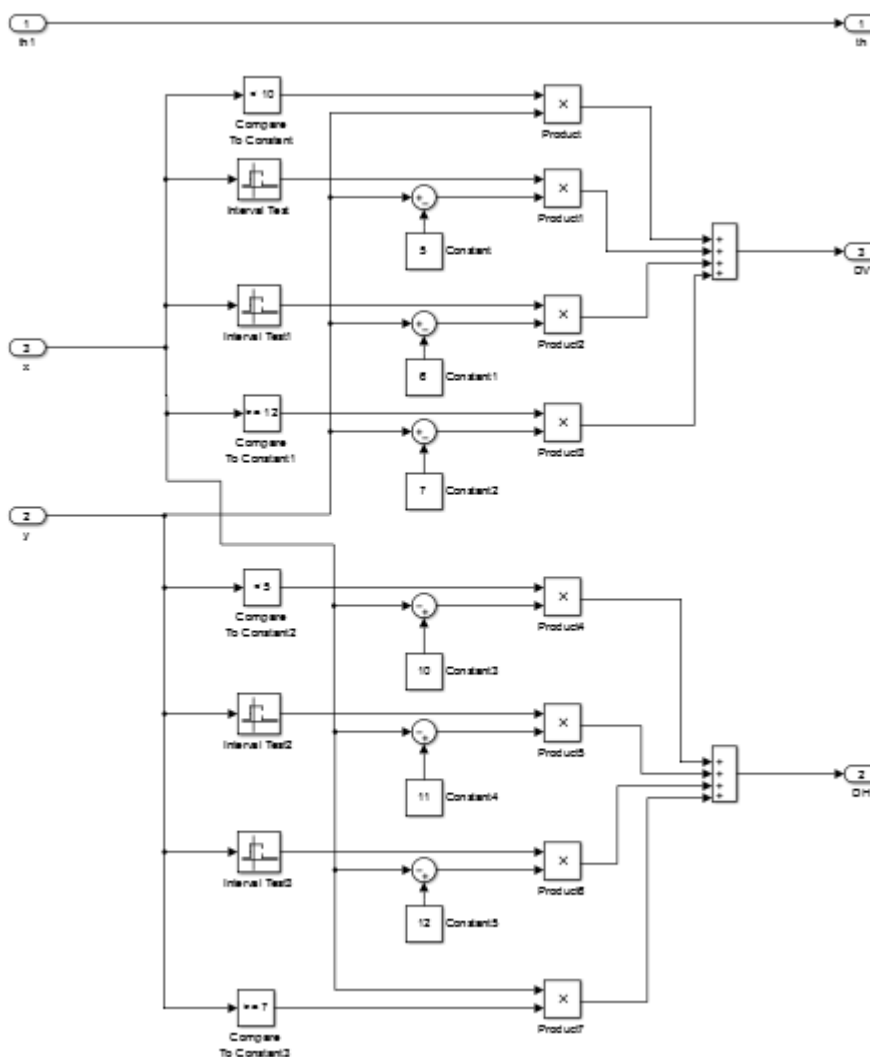
```
if (x<10)
    DV = y;
elseif(x<11)
    DV = y-5;
elseif(x<12)
    DV = y-6;
else
    DV = y-7;
```

Οριζόντια απόσταση DH

```
if(y<5)
    DH = 10-x;
elseif(y<6)
    DH = 11-x;
elseif(y<7)
    DH = 12-x;
else
    DH = x;
```

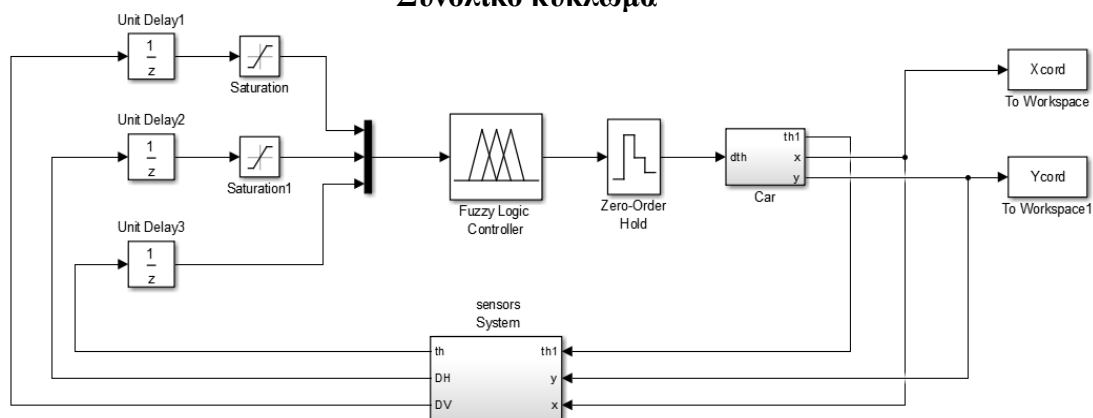
Σε κυκλωματική μορφή ο παραπάνω αλγόριθμος λειτουργίας δίνει το σύστημα του αισθητήρα και σχεδιάζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

Σύστημα αισθητήρα



Η πρώτη βαθμίδα είναι συγκρίτες που παίζουν τον ίδιο ρόλο με τα if, στην τελευταία βαθμίδα έχουμε πολλαπλασιαστές που επιτρέπουν την διέλευση των επιθυμητών σημάτων μόνο αν η αντίστοιχη βαθμίδα if είναι ενεργοποιημένη. Τέλος στην μεσαία βαθμίδα διαμορφώνονται τα επιθυμητά σήματα εξόδου για τις αποστάσεις DV και DH.

Συνολικό κύκλωμα



Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το κύκλωμα του συνολικού μοντέλου που περιέχει το μοντέλο του αυτοκινήτου, του αισθητήρα, τον Fuzzy ελεγκτή, τις καθυστερήσεις, μία μονάδα συγκράτησης και τέλος δύο μονάδες κορεσμού για τα σήματα DV και DH καθώς ζητείται στην εκφώνηση τα σήματα αυτά να βρίσκονται στο διάστημα $[0,1]$ m.

Κατασκευή Fuzzy ελεγκτή

Αρχικά θα πρέπει να διαμορφώσουμε την βάση κανόνων του ελεγκτή, οι βασικοί κανόνες που θα μας καθοδηγήσουν στην σχεδίαση της βάσης κανόνων είναι ότι αυτό που θέλουμε είναι:

1. Κατά την κίνηση του οχήματος να έχουμε για όσο περισσότερο χρονικό διάστημα γίνεται μικρή γωνία θ έτσι ώστε το όχημα να κινείται προς τα δεξιά εκεί που βρίσκεται ο στόχος μας, το σημείο (15,7.2).
2. Το όχημα να κρατάει μία μέτρια κάθετη απόσταση από τα εμπόδια, δηλαδή να μην είναι ούτε πολύ μακριά από αυτά αλλά ούτε και πολύ κοντά.
3. Η κατακόρυφη συνιστώσα δεν θα πρέπει να είναι πολύ μικρή
4. Όταν το όχημα φτάσει κοντά στο στόχο τότε να προσεγγίσει την επιθυμητή τιμή $y = 7.2$

Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να κατασκευάσουμε την βάση κανόνων παίρνοντας τον συνδυασμό των δυνατών περιπτώσεων που μπορεί να έχουν οι είσοδοι και με γνώμονα τις παραπάνω απαιτήσεις να βρούμε την εξόδου του συστήματος.

Έστω ότι το $\theta = N[-180, 0]$

DV	DH	S	M	L
S		ZE	P	P
M		ZE	P	P
L		ZE	P	P

Έστω ότι το $\theta = ZE[-180, 180]$

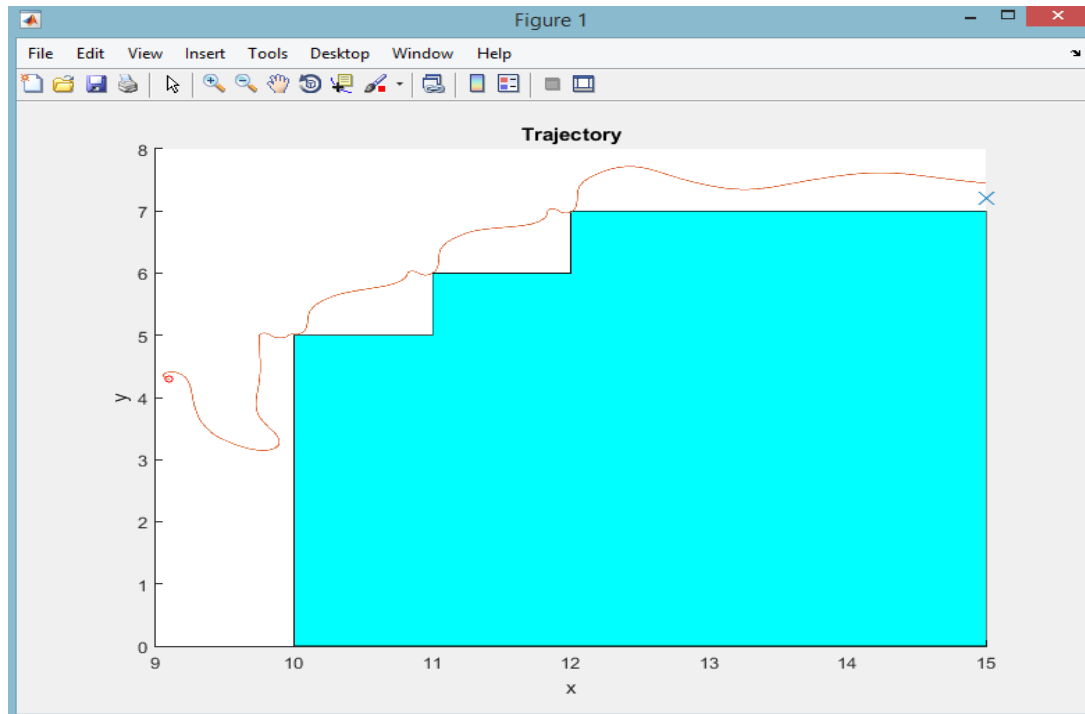
DV	DH	S	M	L
S		N	N	N
M		N	ZE	ZE
L		N	ZE	P

Έστω ότι το $\theta = P[0, 180]$

DV	DH	S	M	L
S		P	N	N
M		ZE	N	N
L		ZE	N	N

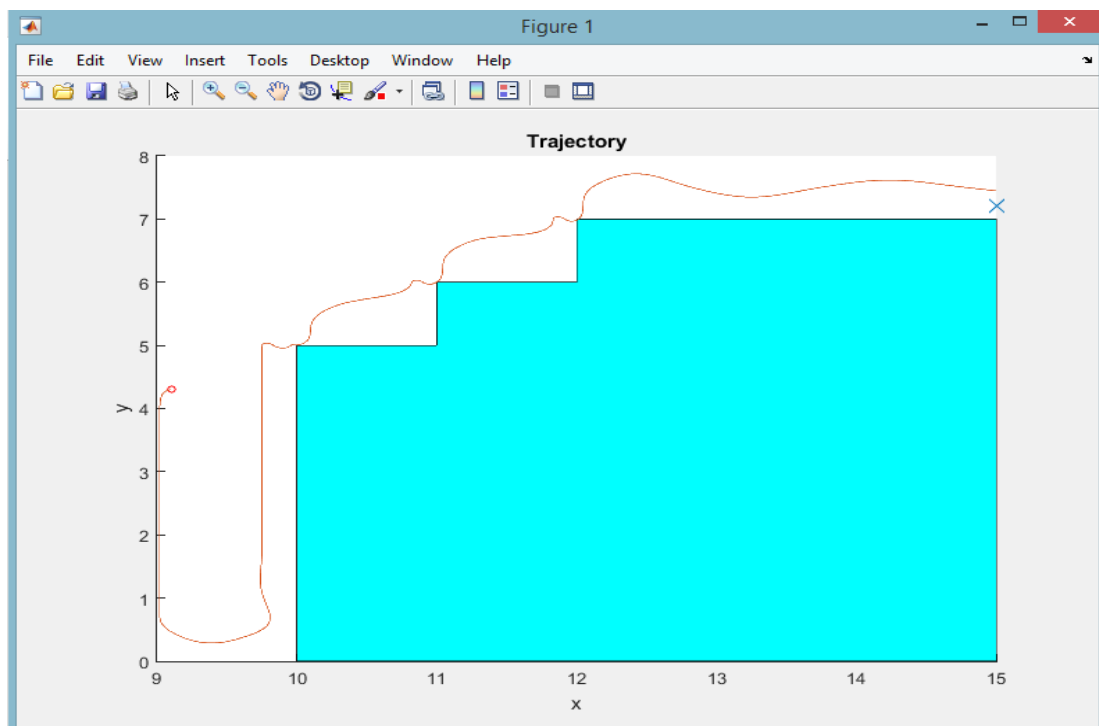
Σύμφωνα με την βάση κανόνων που σχεδιάστηκε παραπάνω και την μορφή συναρτήσεων συμμετοχής για τις εισόδους και εξόδους όπως περιγράφονται στην εκφώνηση η τροχιά του οχήματος είναι:

Για αρχική γωνία $\theta = -170^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 7.449)$

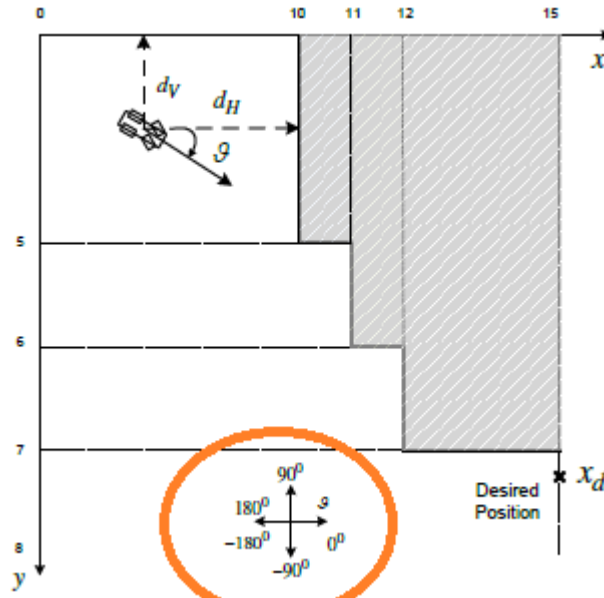
Για αρχική γωνία $\theta = 170^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 7.449)$

Παρατήρηση

Υπενθυμίζουμε ότι στο σχεδιασμό του συστήματος αλλά και στον σχεδιασμό της βάσης οι γωνία προσανατολισμού έχει αντίθετη φορά από την συνηθισμένη σύμβαση που έχουμε για την φορά την γωνία θ σε σχέση με την φορά των αξόνων x και y . Σύμφωνα με την εκφώνηση



Άρα στα παραπάνω διαγράμματα τροχιάς του οχήματος οι θετικές γωνίες είναι προς τα κάτω και οι αρνητικές προς τα πάνω προς την κατεύθυνση του στόχου $(x,y) = (15,7.2)$ αφού το σχήμα είναι γυρισμένο ανάποδα σε σχέση με το σχήμα της εκφώνησης.

Συνεχίζοντας τώρα στον σχολιασμό του αποτελέσματος της τροχιάς, παρατηρούμε ότι το όχημα κινείται κοντά στα εμπόδια όπως θέλαμε, όπως φαίνεται όμως από το αποτέλεσμα για $\theta = 170^\circ$ αυτό δεν είναι μία πολύ καλή πρακτική αφού το όχημα εκτελεί μια μεγάλη καμπυλωτή τροχιά προς τα κάτω και μετά ξανά επανέρχεται προς τα πάνω και έτσι η διαδικασία απαιτεί περισσότερο χρόνο. Επιπλέον βλέπουμε και από τις δυο γραφικές ότι στις γωνίες το όχημα πλησιάζει υπερβολικά κοντά στα εμπόδια. Παρόλα τα ελαττώματα που έχει ο σχεδιασμός σε γενικές γραμμές βλέπουμε ότι η λογική σχεδίασης της βάσης είναι σωστή αφού τελικά το όχημα καταφέρνει και φτάνει πολύ κοντά στο σημείο στόχος.

Παρακάτω φαίνονται επιπλέον προσπάθειες για την κατασκευή της βάσης κανόνων και οι αλλαγές που έγιναν σε σχέση με την αρχική βάση καθώς και τα αποτελέσματα από την κίνηση του οχήματος.

Second attempt

Έστω ότι το $\theta = N[-180, 0]$

DV	DH	S	M	L
S		ZE	P	P
M		ZE	P→ZE	P→ZE
L		ZE	P	P

Έστω ότι το $\theta = ZE[-180, 180]$

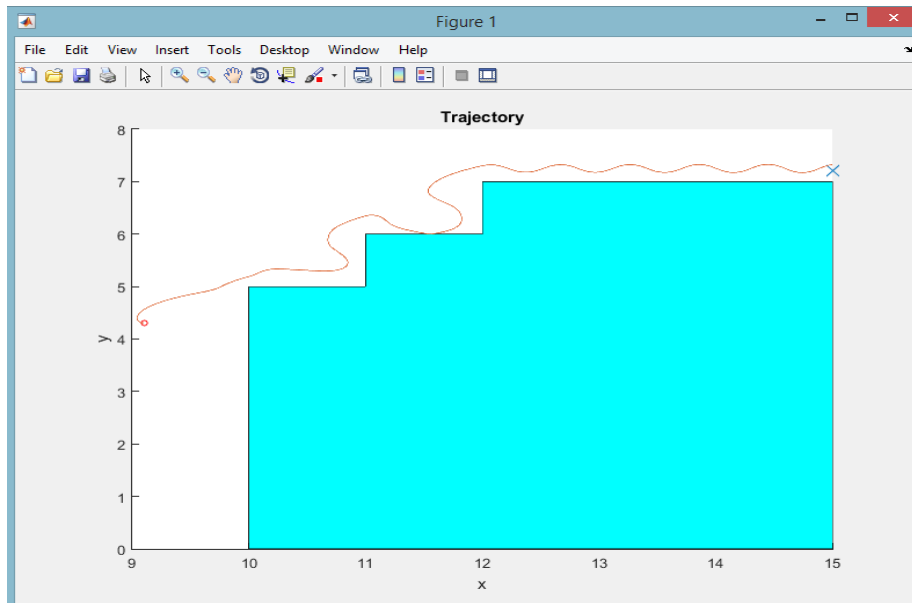
DV	DH	S	M	L
S		N	N→ZE	N
M		N	ZE	ZE→P
L		N	ZE	P→ZE

Μπεκιάρης Θεοφάνης ΑΕΜ: 8200 Ασαφή Συστήματα 2018

Έστω ότι το $\theta = P[0, 180]$

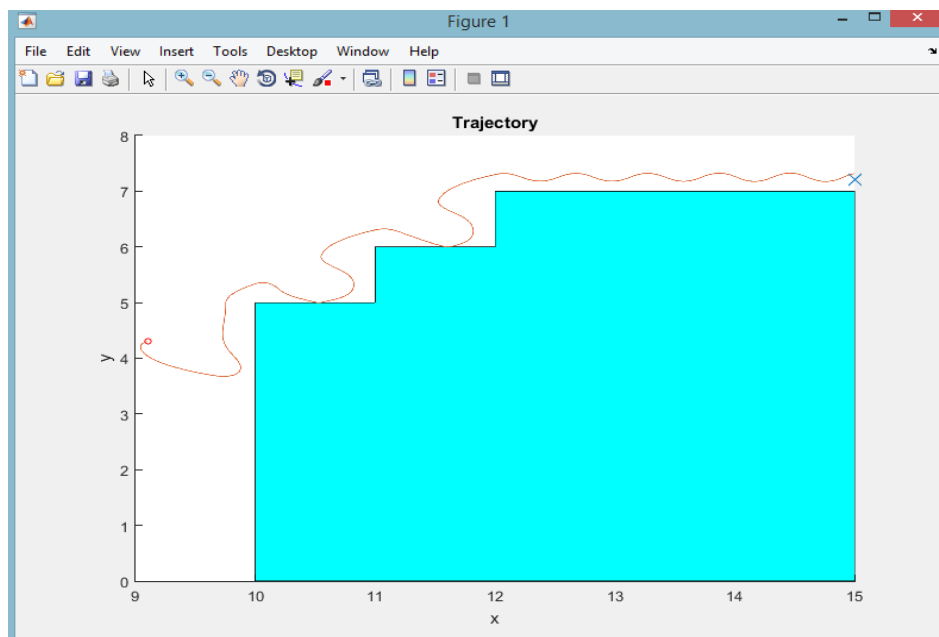
DV	DH	S	M	L
S		$P \rightarrow N$	N	N
M		ZE	$N \rightarrow ZE$	$N \rightarrow ZE$
L		ZE	N	N

Για αρχική γωνία $\theta = -170^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 7.323)$

Για αρχική γωνία $\theta = 170^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 7.315)$

Τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα από τα αρχικά, συνεχίζουμε κάνοντας καλύτερες επιλογές ώστε το όχημα να μην κάνει ταλαντώσεις και να μην πλησιάζει τόσο κοντά στα εμπόδια.

Third attempt

Έστω ότι το $\theta = N[-180, 0]$

DV	DH	S	M	L
S		ZE	P	P
M		ZE	P	P
L		ZE	P	P

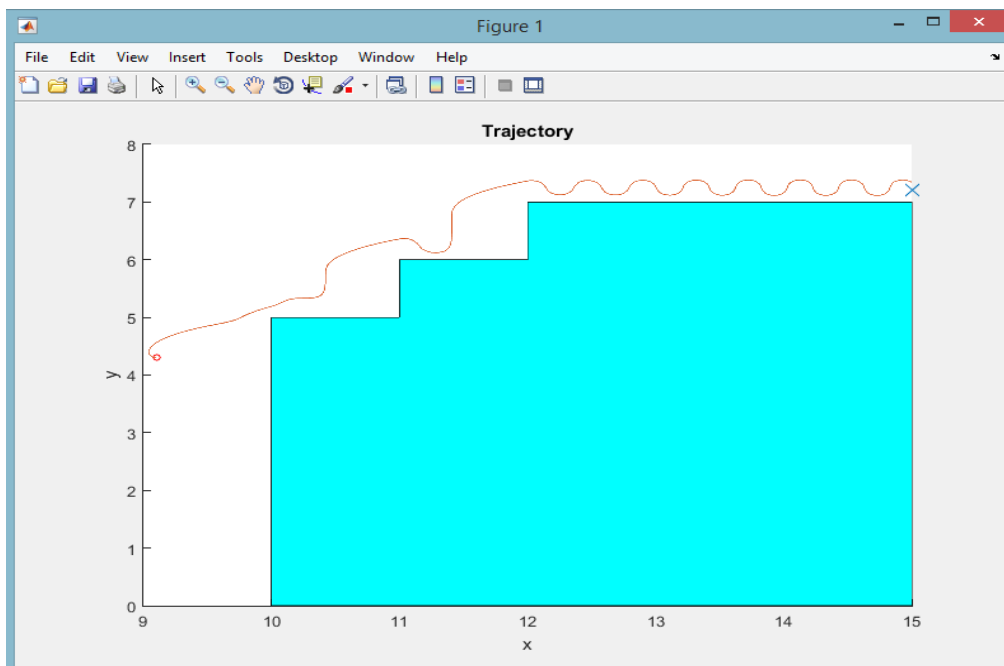
Έστω ότι το $\theta = ZE[-180, 180]$

DV	DH	S	M	L
S		N	N	N
M		N	A)ZE \rightarrow N	1 ZE \rightarrow P
L		N	ZE	1 P \rightarrow ZE

Έστω ότι το $\theta = P[0, 180]$

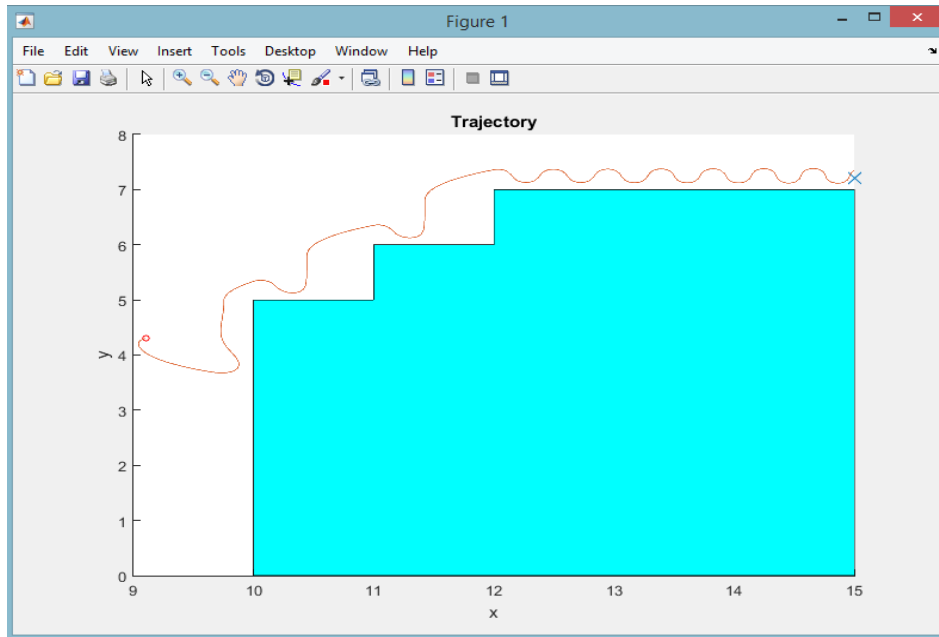
DV	DH	S	M	L
S		P	N	N
M		ZE	N	N
L		ZE	N	N

Για αρχική γωνία $\theta = -170^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 7.344)$

Για αρχική γωνία $\theta = 170^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 7.350)$

Final attempt

Έστω ότι το $\theta = N[-180, 0]$

DV	DH	S	M	L
S		ZE	P	P
M		ZE	$P \rightarrow ZE$	P
L		ZE	$P \rightarrow ZE$	P

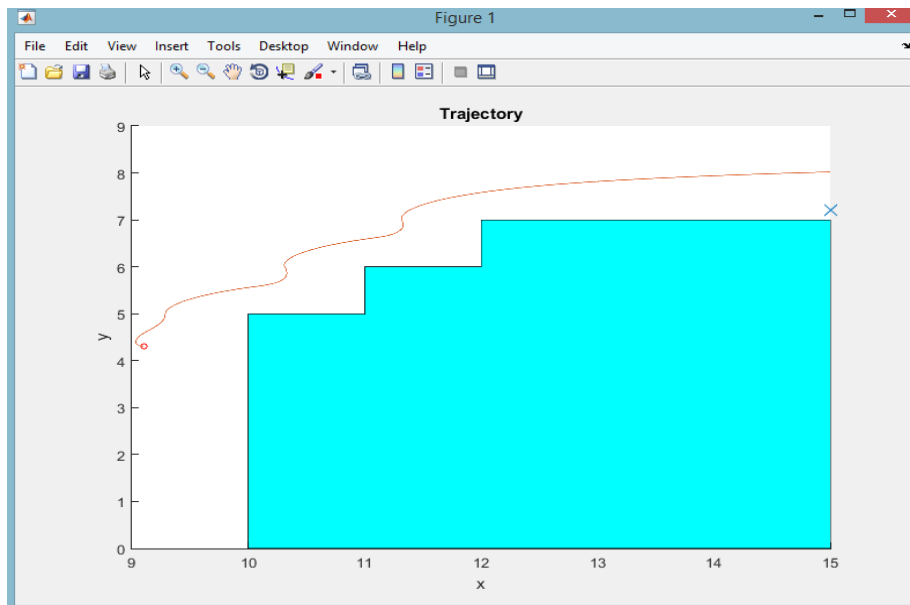
Έστω ότι το $\theta = ZE[-180, 180]$

DV	DH	S	M	L
S		N	N	N
M		N	$ZE \rightarrow N$	ZE
L		N	$ZE \rightarrow N$	$P \rightarrow ZE$

Έστω ότι το $\theta = P[0, 180]$

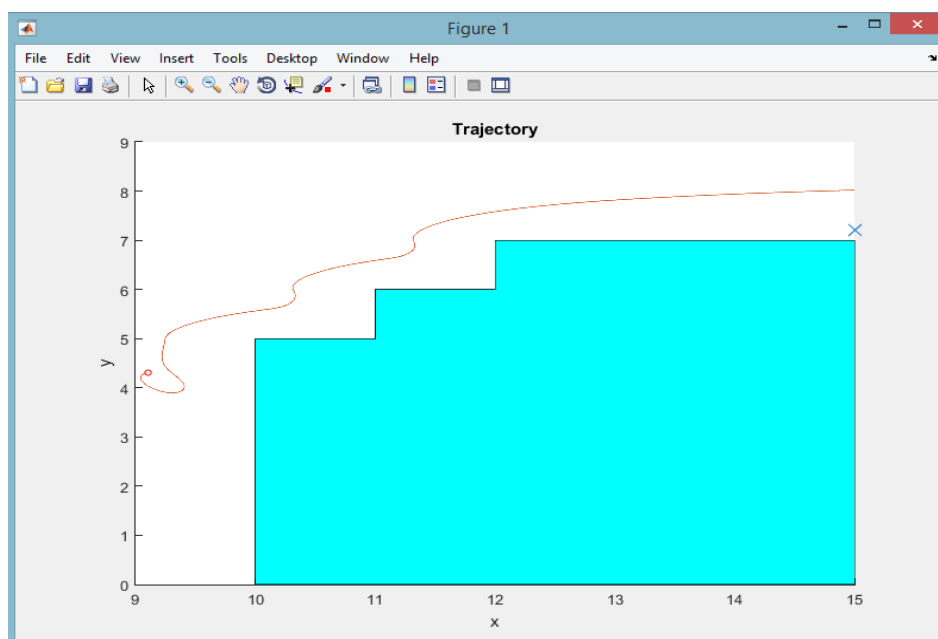
DV	DH	S	M	L
S		P	N	N
M		ZE	N	N
L		ZE	N	N

Για αρχική γωνία $\theta = -170^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 8.021)$

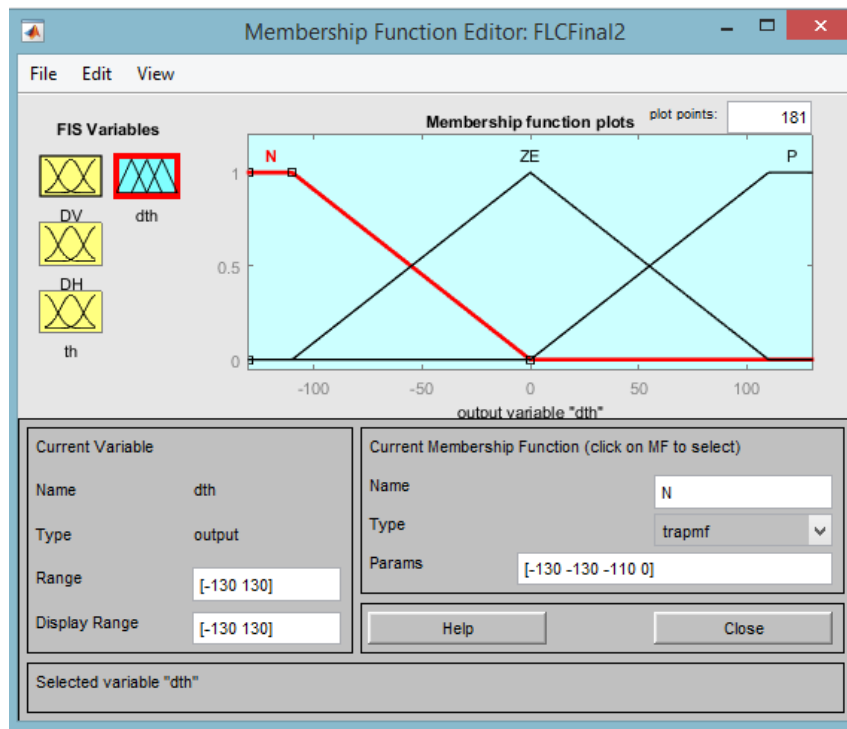
Για αρχική γωνία $\theta = 170^\circ$



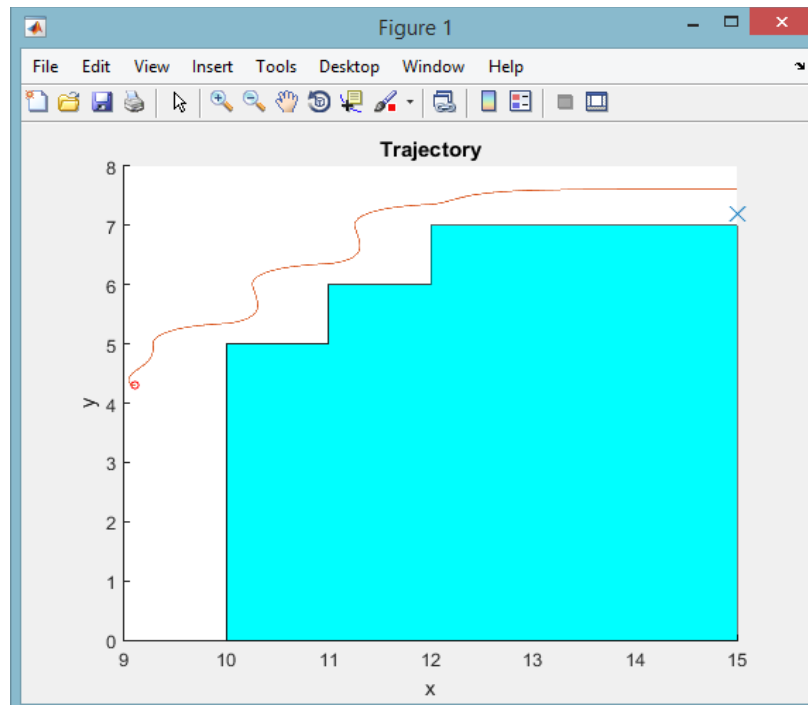
Final position : $(x, y) = (15.000, 8.021)$

Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι πολύ ικανοποιητικά διότι όπως φαίνεται το αυτοκίνητο κινείται προς τον στόχο κρατώντας πολύ ικανοποιητική απόσταση από τα εμπόδια. Παρόλα αυτά πρέπει να γίνουν κάποιες διορθώσεις στις συναρτήσεις συμμετοχής και αυτό δεν μπορούμε να το αποφύγουμε καθώς οι βάση κανόνων δίνουν τις βασικές οδηγίες προσανατολισμού και κίνησης, η μορφή των συναρτήσεων συμμετοχής είναι αυτή που καθορίζει τις λεπτομέρειες στην κίνηση, στην απόσταση από τα εμπόδια, στην γωνία προσανατολισμού και στο που θα καταλήξει εν τέλει αφού οι συναρτήσεις συμμετοχής καθορίζουν το τι είναι ακριβώς το P,ZE,N ή S,M,L. Για παράδειγμα το όχημα καταλήγει πολύ μακριά από τον στόχο. Μία αιτία για αυτό είναι η μορφή της συνάρτησης

συμμετοχής της μεταβλητής εξόδου διότι το όχημα δεν προλαβαίνει να στρίψει τελευταία στροφή και έτσι απομακρύνεται πολύ από το στόχο. Προσαρμόζουμε λοιπόν την έξοδο ως εξής.

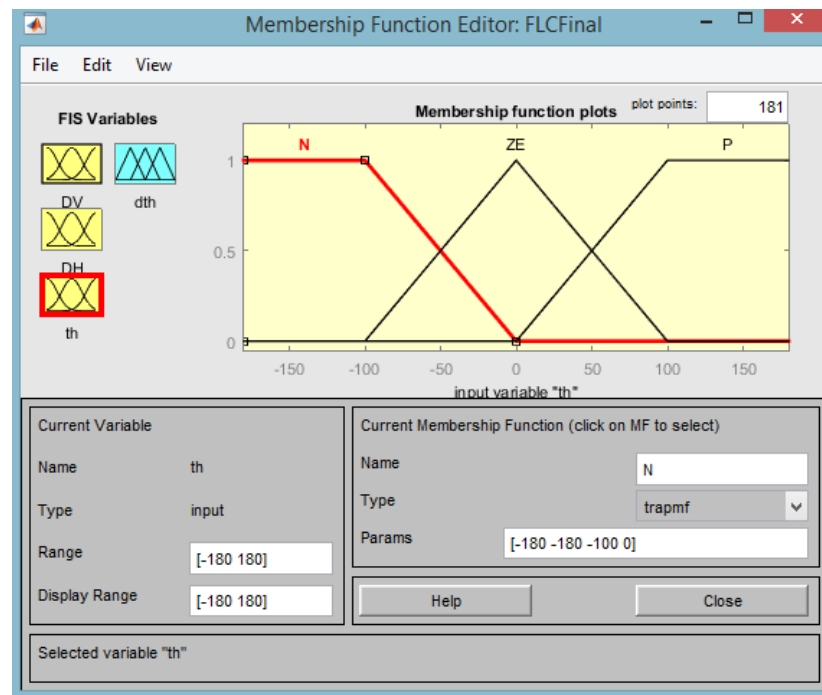


Και το αποτέλεσμα της κίνησης του οχήματος είναι

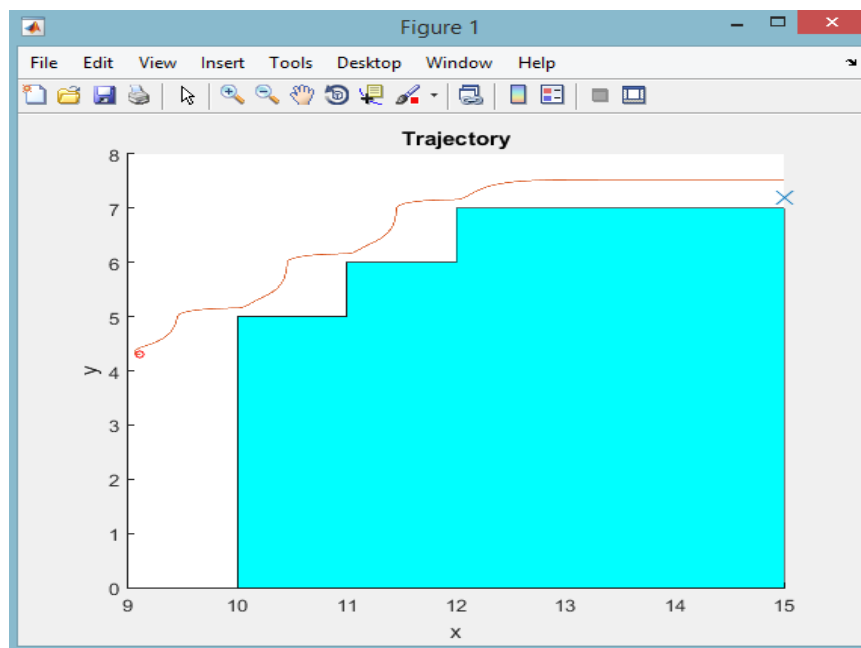


Φαίνεται από το σχήμα ότι το όχημα πλέον στρίβει πιο γρήγορα και καταλήγει πιο κοντά στον στόχο. Επιπλέον βλέπουμε ότι το όχημα στρίβει πολύ φτάνοντας και κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση και απομακρύνεται ακόμα από την πορεία του προς τον στόχο, άρα θα πρέπει να

δώσουμε πιο ξεκάθαρα όρια για τις γωνία προσανατολισμού, έτσι προσαρμόζουμε την συναρτήσεις συμμετοχής της γωνίας ως εξής



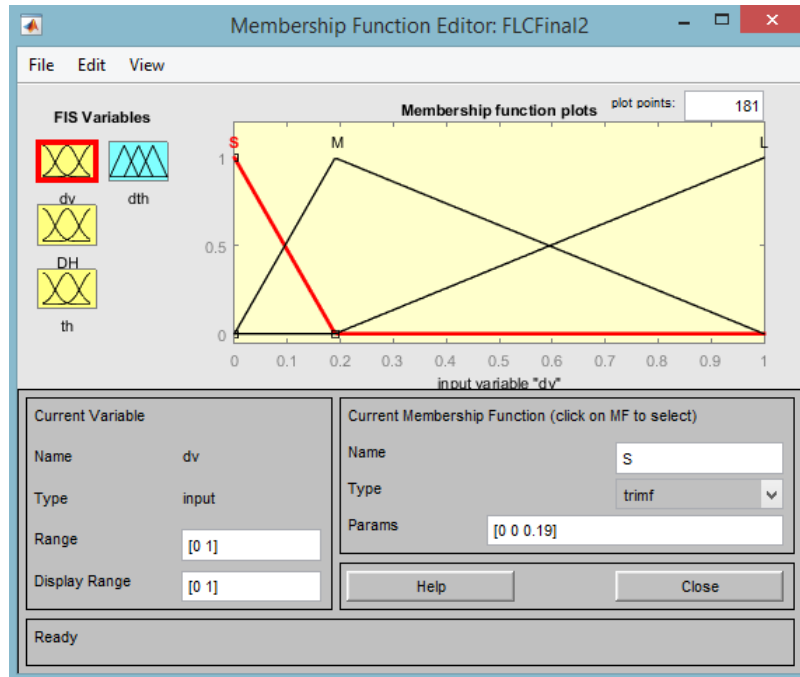
Άρα θεωρούμε απόλυτα θετική μια γωνία για $\theta > 100$ και απόλυτα αρνητική για $\theta < -100$. Η συνάρτηση συμμετοχής ZE έχει προσαρμοστεί έτσι ώστε συνολικά να έχουμε άθροισμα ίσο με ένα. Το αποτέλεσμα είναι



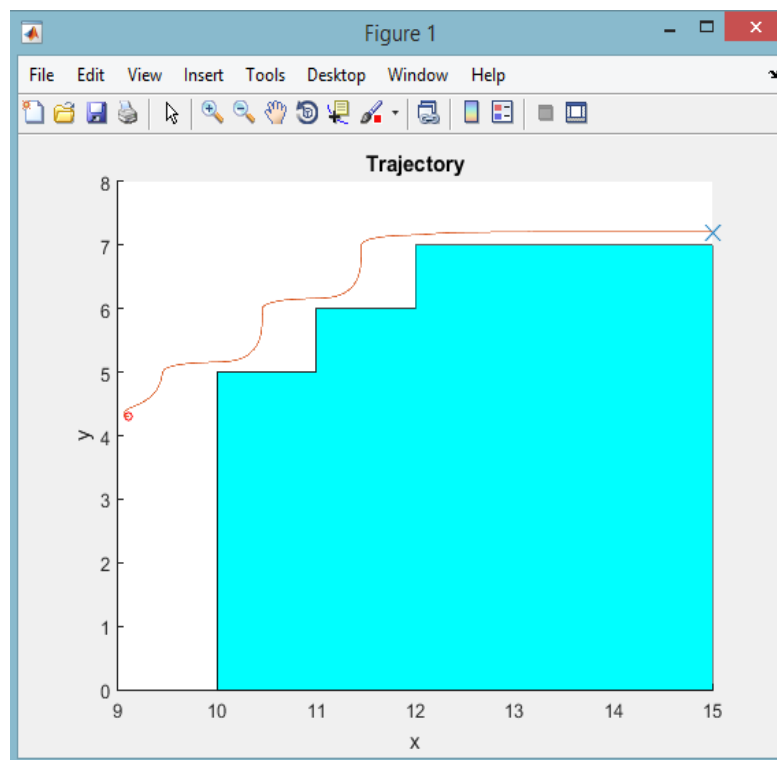
Final position : $(x, y) = (15.000, 7.527)$

Το όχημα κινείται πιο ευθύγραμμα χωρίς μεγάλες στροφές και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να το φέρει πιο κοντά στον στόχο όπως φαίνεται.

Μία ακόμα αιτία είναι η μορφή της συνάρτησης συμμετοχής small αφού εμποδίζει το όχημα να πλησιάσει πιο κοντά στο εμπόδιο. Για αυτό το λόγο αναπροσαρμόζουμε την συνάρτηση συμμετοχής small για την κάθετη απόσταση DV ώστε να μπορεί το όχημα να πλησιάσει περισσότερο στο εμπόδιο.



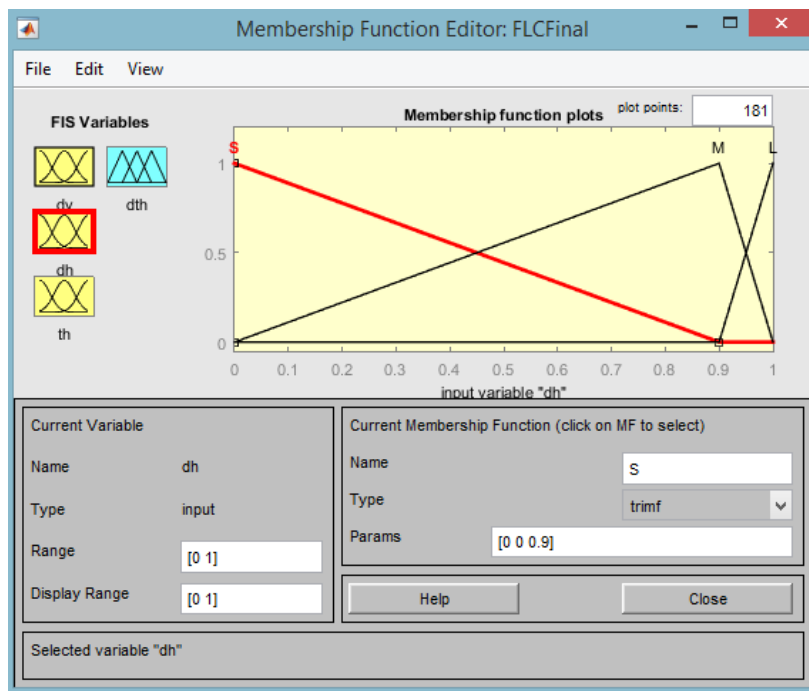
Αποτέλεσμα κίνησης του οχήματος



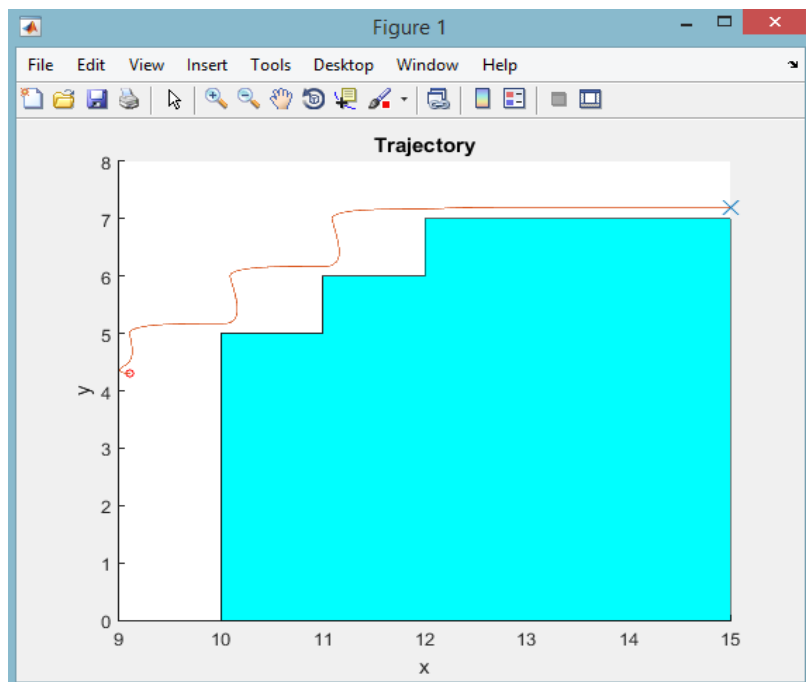
Final position : (x, y) = (15.000, 7.209)

Το όχημα τελικά έχει φτάσει στο στόχο του με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια με διαφορά 0.009 m.

Για ακόμα καλύτερα αναπροσαρμόζουμε και τις συναρτήσεις συμμετοχής της οριζόντιας απόστασης DH ώστε το όχημα να μένει πιο μακριά από το εμπόδιο στην οριζόντια κατεύθυνση και να προλαβαίνει να στρίβει, έτσι



Τελικά έχουμε



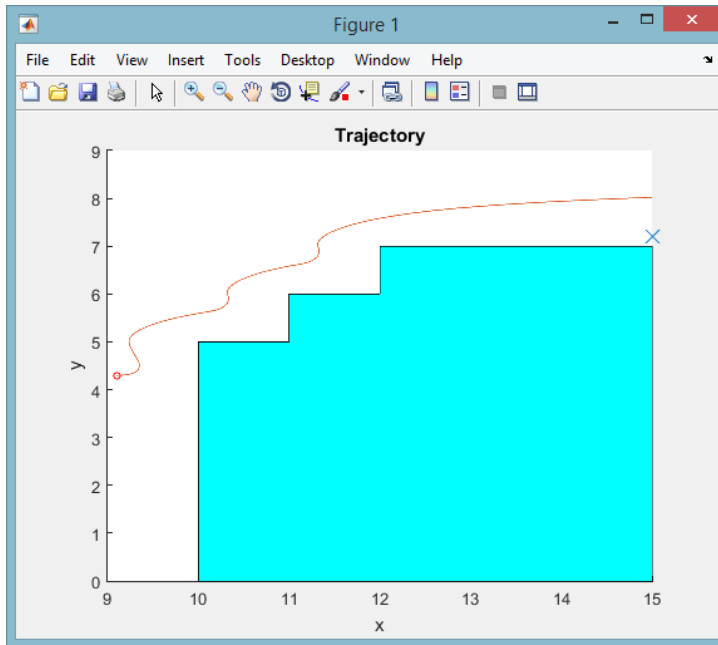
Final position : (x, y) = (15.000, 7.202)

Το όχημα φτάνει στο στόχε απόκλιση 0.002 m ή 2 χιλιοστών. Είναι απόλυτα ικανοποιητική ακρίβεια.

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα τις κίνησης για τις ζητούμενες αρχικές γωνίες της εκφώνησης .

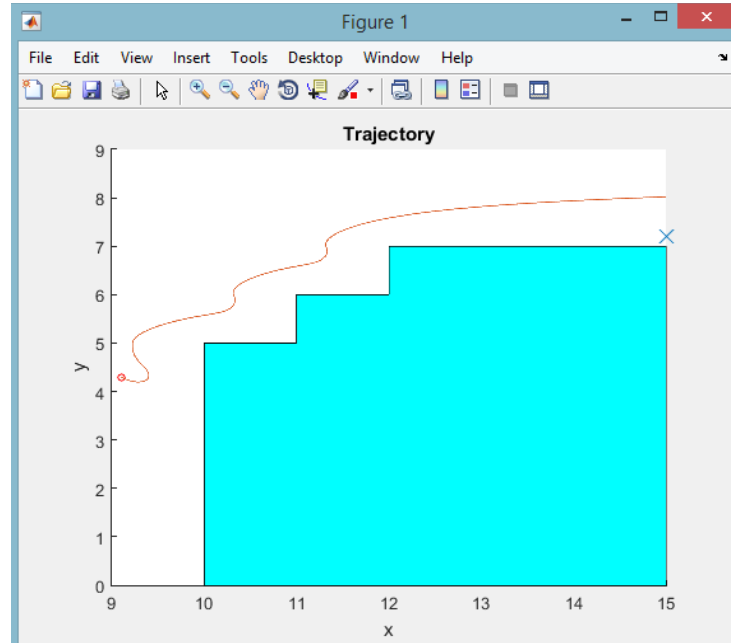
Με βάση την **αρχική μορφή** των συναρτήσεων συμμετοχής.

Για αρχική γωνία $\theta = 0^\circ$



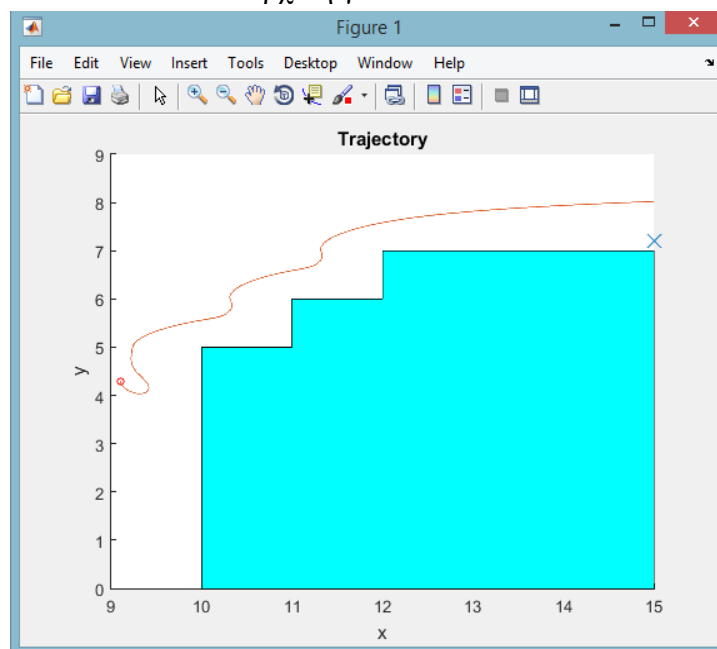
Final position : (x, y) = (15.000, 78.021)

Για αρχική γωνία $\theta = 45^\circ$



Final position : (x, y) = (15.000, 8.021)

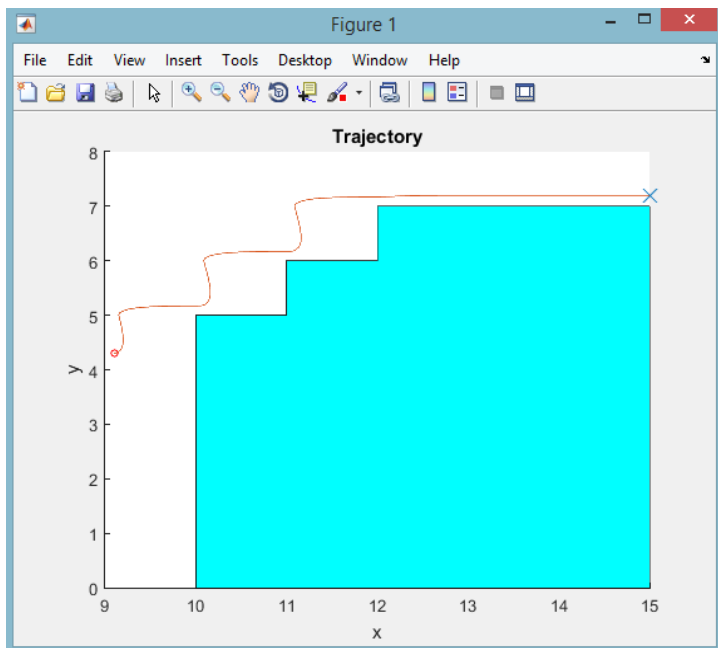
Για αρχική γωνία $\theta = 90^\circ$



Final position : (x, y) = (15.000, 8.021)

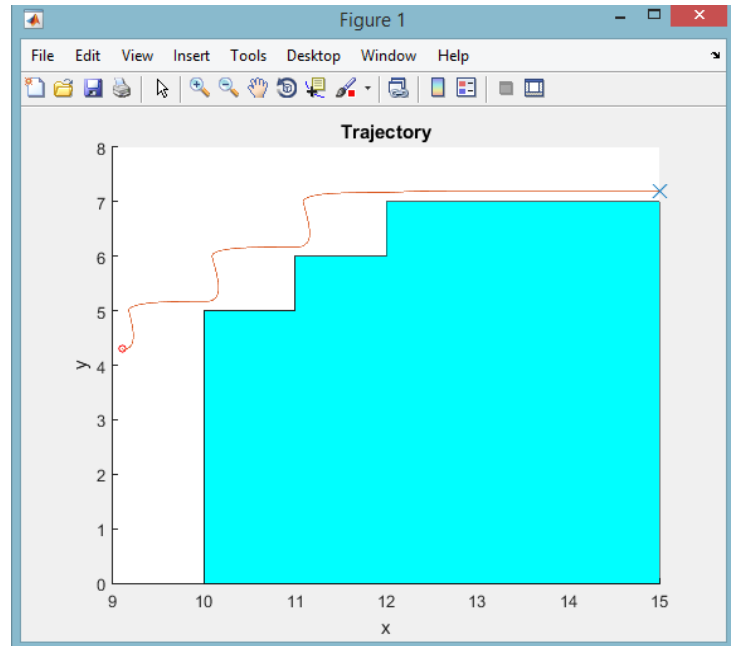
Με βάση την **τελική μορφή** των συναρτήσεων συμμετοχής.

Για αρχική γωνία $\theta = 0^\circ$



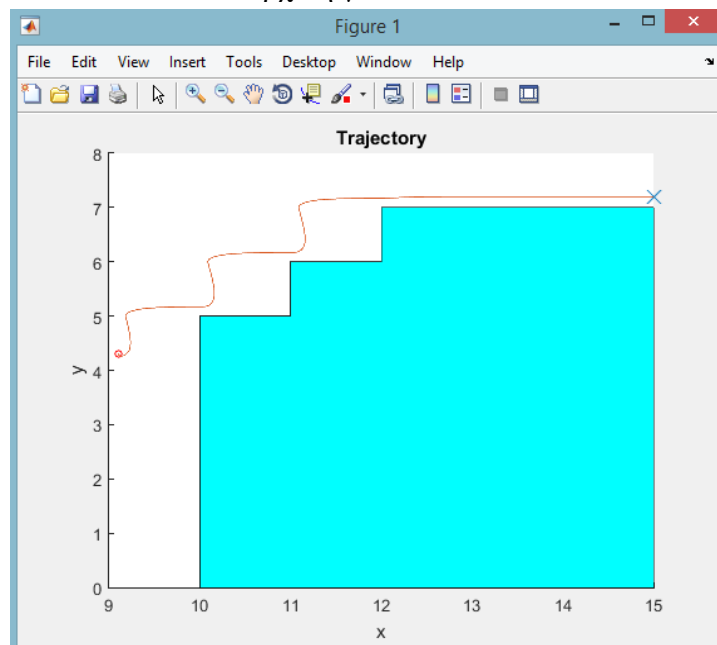
Final position : $(x, y) = (15.000, 7.202)$

Για αρχική γωνία $\theta = 45^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 7.202)$

Για αρχική γωνία $\theta = 90^\circ$



Final position : $(x, y) = (15.000, 7.202)$

Οι παραπάνω γραφικές μπορεί να φαίνονται ίδιες αλλά έχουν προκύψει για διαφορετικές αρχικές γωνίες όπως υποδεικνύεται παραπάνω, το όχημα στρίβει πολύ γρήγορα και έτσι δεν είναι εύκολο να φανεί η διαφορά στα παραπάνω διαγράμματα. Τελικά όπως προκύπτει ο τελικός FLC με τις αλλαγμένες συναρτήσεις συμμετοχής των εισόδων και εξόδους του δίνει εκπληκτικά αποτελέσματα και οδηγεί το όχημα ακριβώς στον στόχο του.

Περιγραφή αρχείων εργασίας

- **car_navigation_model.slx:** Περιέχει το μοντέλο του συστήματος σχεδιασμένο στο simulink.
- **plotTrajectory.m:** Καλεί το μοντέλο να εκτελεστεί και σχεδιάζει την γραφική παράσταση με την πορεία του οχήματος.
- **FLCXXX.fis** XXX αντιστοιχεί σε ένα από τα ονόματα First, Second, Third, Fourth και final: Τα αρχεία αυτά περιλαμβάνουν τις συναρτήσεις συμμετοχής και την βάση κανόνων του FLC με την σειρά που σχεδιάστηκαν και παρουσιάστηκε προηγουμένως. Το αρχείο FLCFourth.fis περιέχει την τελική βάση κανόνων με τις μη τροποποιημένες συναρτήσεις συμμετοχής, ενώ το FLCFinal.fis περιέχει τον τελικό ελεγκτή με τις τροποποιημένες συναρτήσεις συμμετοχής.