

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

Ασαφή Συστήματα

Εργασία #2 ~ FLC Car Control A

Δημήτρης Παππάς

AEM: 8391

e-mail: dspappas@ece.auth.gr



Περιεχόμενα

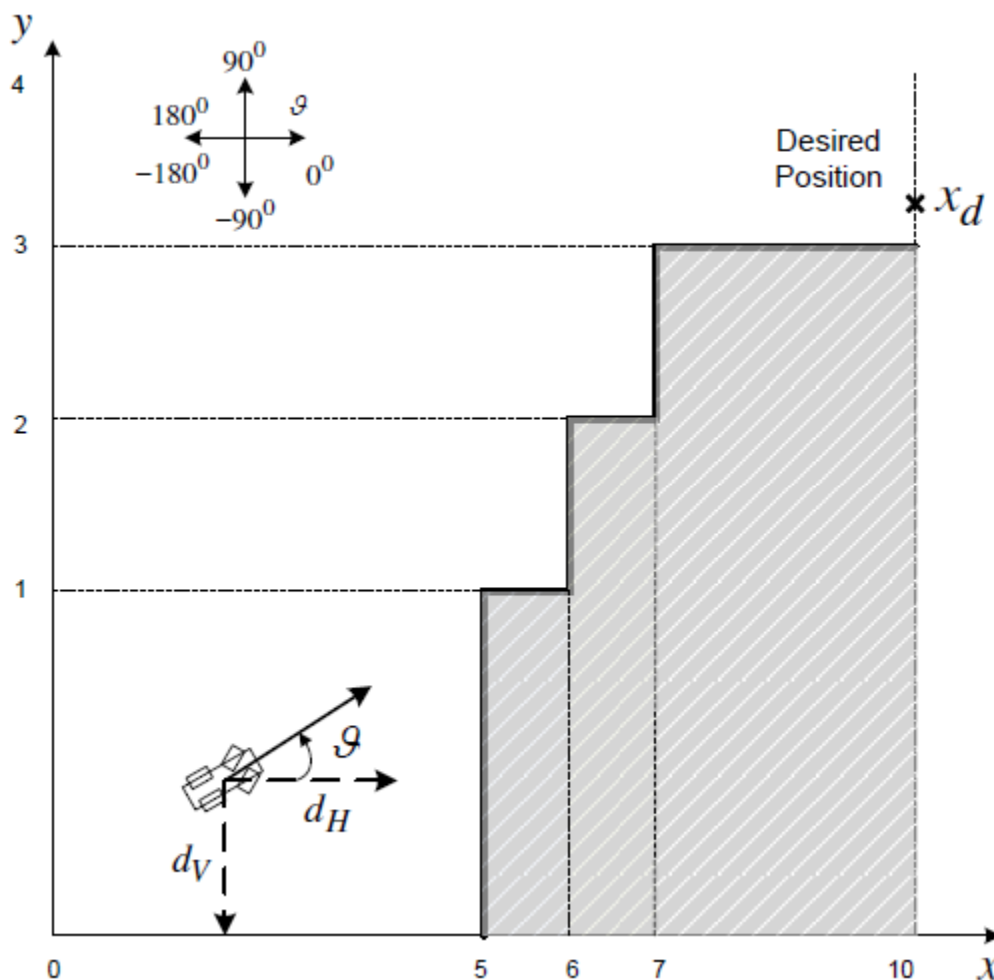
2. Εργασία #2: FLC Car Control A	3
2.1 Συναρτήσεις Συμμετοχής	3
2.2 Βάση Κανόνων	9
2.2.1 Αρχική Βάση Κανόνων	9
2.2.2 Τελική Βάση Κανόνων	15

2. Εργασία #2: FLC Car Control

A

2.1 Συναρτήσεις Συμμετοχής

Σκοπός του FLC ελεγκτή είναι να οδηγήσει το όχημα στην επιθυμητή θέση $(x_d, y_d) = (10, 3.2)$, χωρίς να πέσει πάνω στα εμπόδια. Η ταχύτητα του οχήματος έχει σταθερό μέτρο και είναι ίση με $v = 0.05$ m/sec.



Σχήμα 50: Εμπόδια και επιθυμητή θέση

Ο FLC δέχεται τρεις εισόδους, την κάθετη απόσταση από το εμπόδιο dV , της οριζόντια απόσταση από το εμπόδιο dH και την γωνία θ , δηλαδή την κατεύθυνση του οχήματος. Η έξοδος του ελεγκτή δίνει την μεταβολή $d\theta$ της γωνίας με την οποία θα πρέπει να στρήψει το όχημα. Τα μεγέθη dV και dH είναι κανονικοποιημένα στο διάστημα $[0,1]$, η γωνία θ στο διάστημα $[-180,180]$ και η μεταβολή της γωνίας στο διάστημα $[-130,130]$.

Οι είσοδοι dV , dH αποτελούνται από 3 λεκτικές τιμές $\{S,M,L\}=\{\text{Small,Medium,Large}\}$, ενώ οι τελευταία είσοδος θ και η έξοδος $d\theta$ αποτελούνται από 3 λεκτικές τιμές $\{N,Z,P\}=\{\text{Negative,Zero,Positive}\}$.

Ο ελεγκτής κατασκευάζεται στο script “CarControl.m”.

```
%% Membership Functions
% Για την είσοδο dV
car_control = addmf(car_control, 'input', 1, 'S', 'trimf', [0,0,0.5]);
car_control = addmf(car_control, 'input', 1, 'M', 'trimf', [0,0.5,1]);
car_control = addmf(car_control, 'input', 1, 'L', 'trimf', [0.5,1,1]);

% Για την είσοδο dH
car_control = addmf(car_control, 'input', 2, 'S', 'trimf', [0,0,0.5]);
car_control = addmf(car_control, 'input', 2, 'M', 'trimf', [0,0.5,1]);
car_control = addmf(car_control, 'input', 2, 'L', 'trimf', [0.5,1,1]);

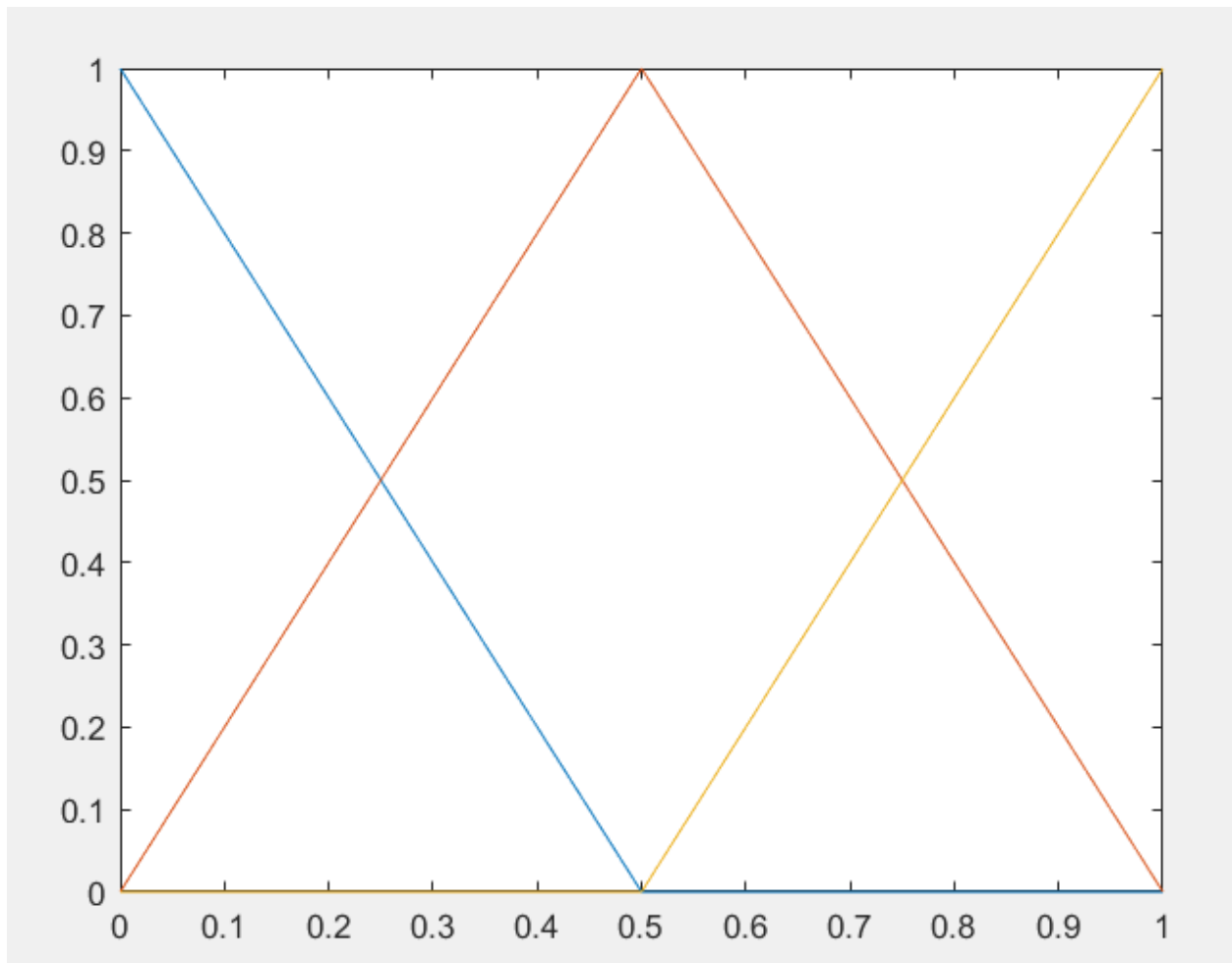
% Για την είσοδο theta
car_control = addmf(car_control, 'input', 3, 'N', 'trimf', [-180,-180,0]);
car_control = addmf(car_control, 'input', 3, 'Z', 'trimf', [-180,0,180]);
car_control = addmf(car_control, 'input', 3, 'P', 'trimf', [0,180,180]);

% Για την έξοδο dtheta - Αχρικές τιμές
car_control = addmf(car_control, 'output', 1, 'N', 'trimf', [-130,-130,0]);
car_control = addmf(car_control, 'output', 1, 'Z', 'trimf', [-130,0,130]);
car_control = addmf(car_control, 'output', 1, 'P', 'trimf', [0,130,130]);
```

Σχήμα 51: Κώδικας Συνάρτησης Συμμετοχής εισόδων dV , dH , θ και εξόδου $d\theta$

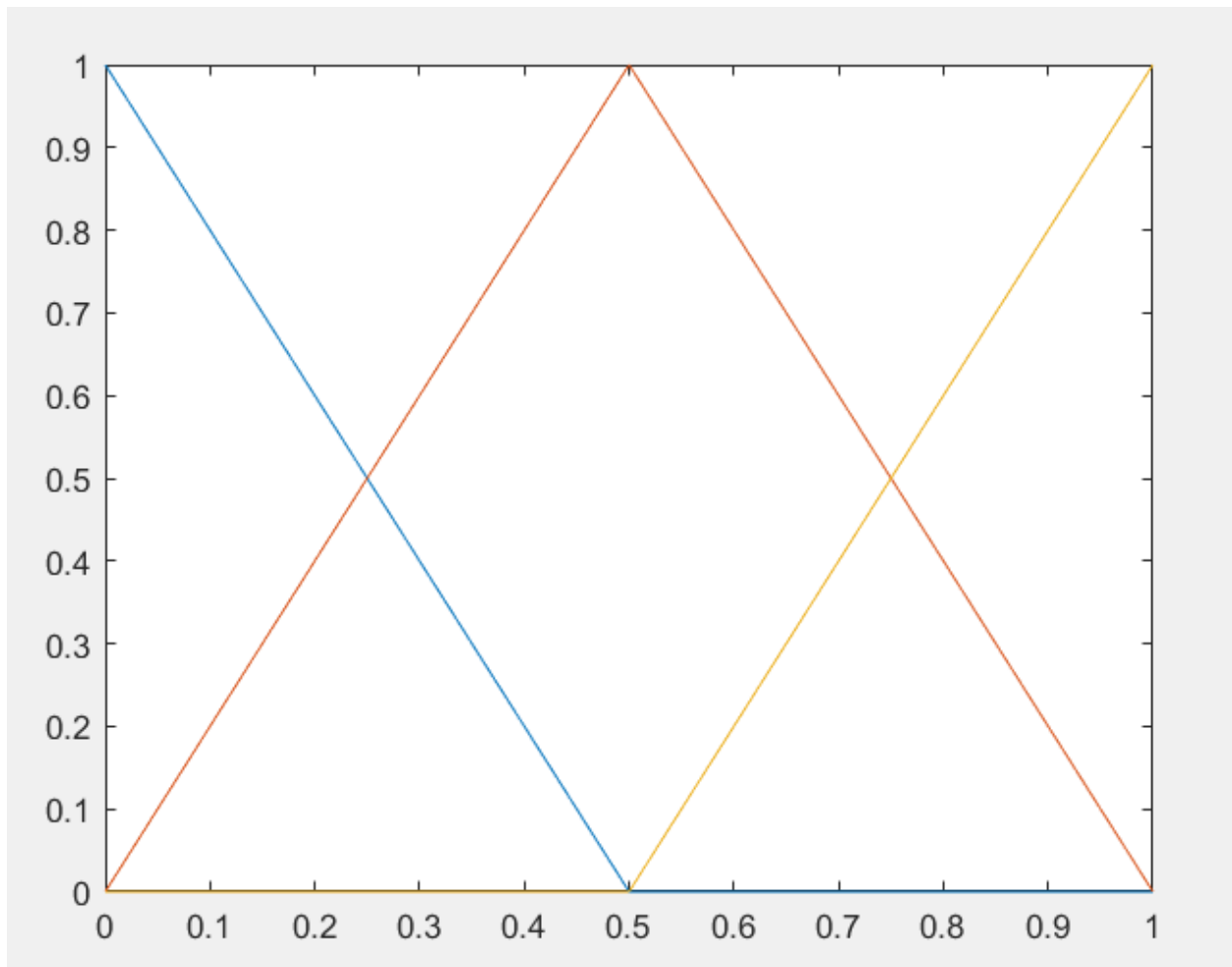
Οι λεκτικές τιμές των εισόδων και της εξόδου φαίνονται στα Σχήματα 52,53,54,55.

~ plot(xOut_dV,yOut_dV)



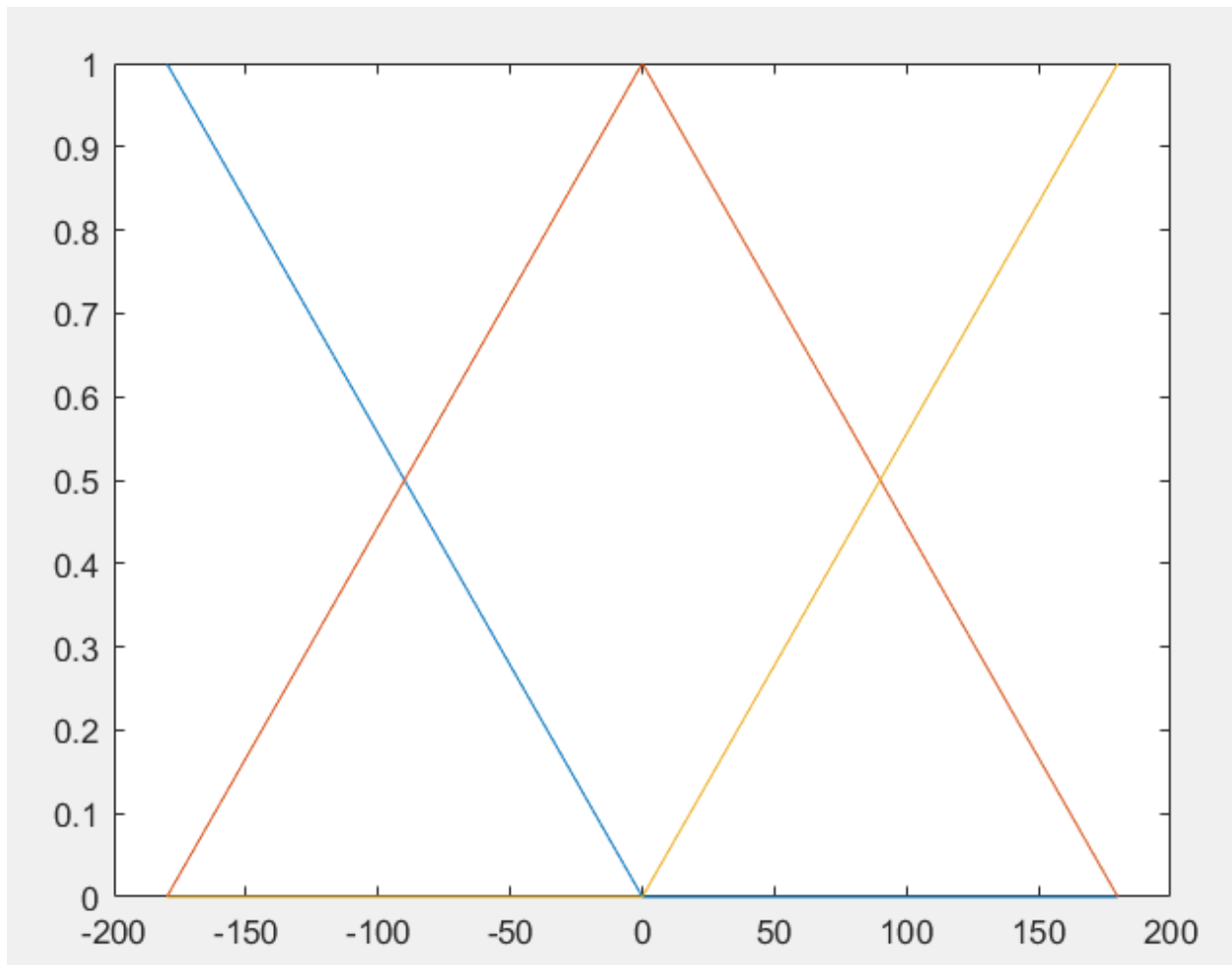
Σχήμα 52: Λεκτικές τιμές Συνάρτησης Συμμετοχής dV

~plot(xOut_dH,yOut_dH)



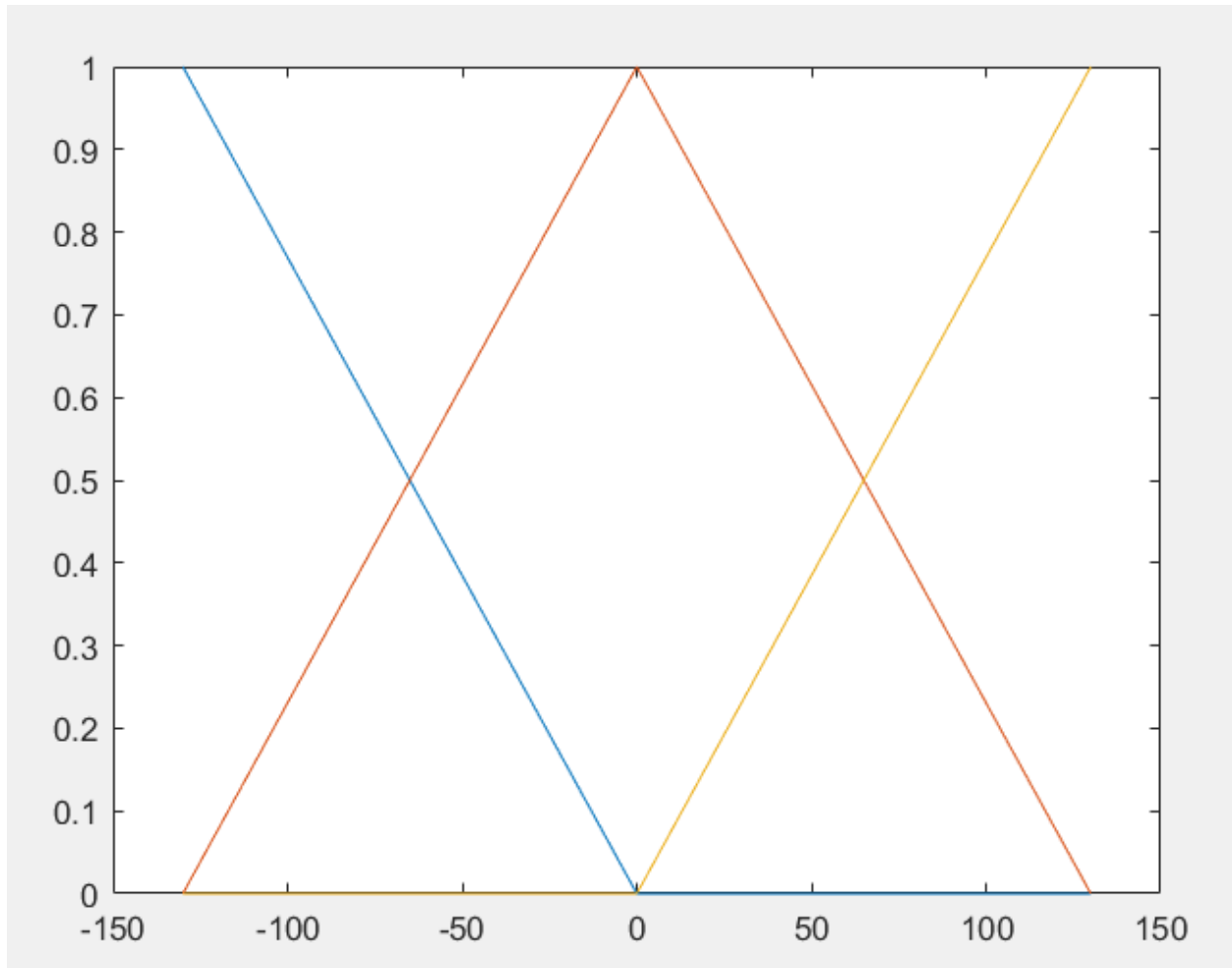
Σχήμα 53: Λεκτικές τιμές Συνάρτησης Συμμετοχής dH

~ plot(xOut_theta,yOut_theta)



Σχήμα 54: Λεκτικές τιμές Συνάρτησης Συμμετοχής θ

~plot(xOut_dtheta,yOut_dtheta)



Σχήμα 55: Λεκτικές τιμές Συνάρτησης Συμμετοχής $d\theta$

2.2 Βάση Κανόνων

2.2.1 Αρχική Βάση Κανόνων

Θα κατασκευάσουμε μία αρχική βάση κανόνων, με τη λογική ότι το όχημα θα ανεβαίνει πάνω \uparrow , δηλαδή θέλω $\theta_{new} \approx 90^\circ$, όταν πλησιάζει το κάθετο εμπόδιο και θα στρήβει δεξιά \rightarrow , δηλαδή θέλω $\theta_{new} \approx 0^\circ$, όταν πλησιάζει οριζόντιο εμπόδιο.

Δίνουμε προτεραιότητα στην κίνηση προς τα πάνω \uparrow , έναντι της δεξιάς στροφής \rightarrow .

- Όταν η κάθετη απόσταση είναι μικρή $dV=S$ και η οριζόντια απόσταση είναι μικρή ή μεσαία $dH=\{S,M\}$, θέλω το όχημα να κατευθυνθεί προς τα πάνω \uparrow , ενώ όταν είναι μεγάλη $dH=L$ προς τα δεξιά \rightarrow .
- Όταν η κάθετη απόσταση είναι μεσαία $dV=M$ και η οριζόντια απόσταση είναι μικρή ή μεσαία $dH=\{S,M\}$, θέλω το όχημα να κατευθυνθεί προς τα πάνω \uparrow , ενώ όταν είναι μεγάλη προς τα δεξιά \rightarrow .
- Όταν η κάθετη απόσταση είναι μεγάλη $dV=L$ και η οριζόντια απόσταση είναι μικρή ή μεσαία $dH=\{S,M\}$, θέλω το όχημα να κατευθυνθεί προς τα πάνω \uparrow , ενώ όταν είναι μεγάλη προς τα δεξιά \rightarrow .

Η γωνία προσαρμόζεται με βάση το που θέλω να κατευθυνθεί το όχημα.

❖ $\theta_{new} = \theta + d\theta$

π.χ. αν θέλω $\theta_{new}=P$ και έχω $\theta=N$, θα πρέπει ο FLC να δώσει έξοδο $d\theta=P$

Με βάση τους παραπάνω κανόνες η βάση είναι η εξής:

Για $dV=S$

$dH \backslash \theta$	N	Z	P
S	P	P	Z
M	P	P	Z
L	P	Z	N

Για $dV=M$

$dH \backslash \theta$	N	Z	P
S	P	P	Z
M	P	P	Z
L	P	Z	N

Για $dV=L$

$dH \backslash \theta$	N	Z	P
S	P	P	Z
M	P	P	Z
L	P	Z	N

Και οι κανόνες που προκύπτουν είναι οι 27 παρακάτω:

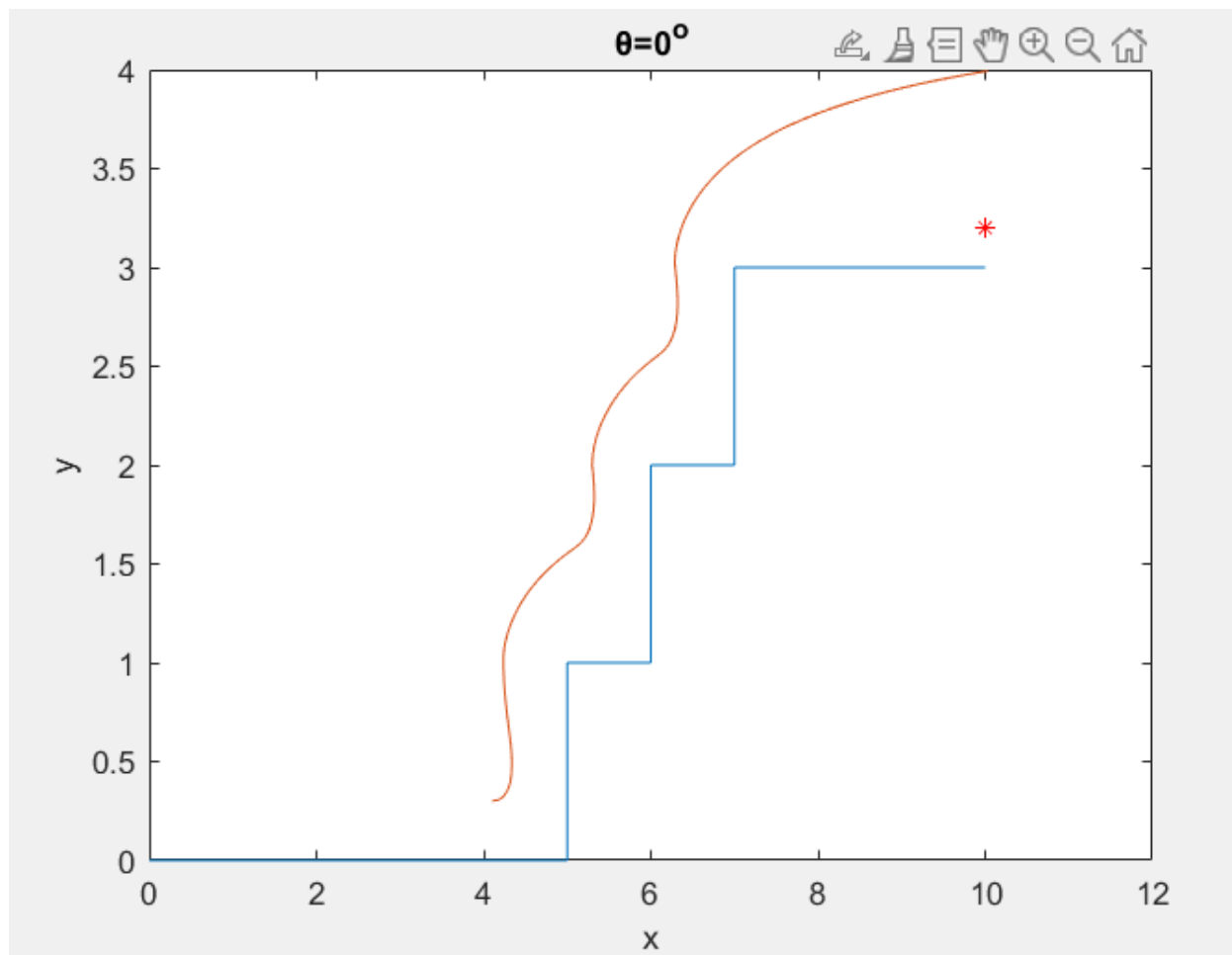
- '1. If (dV is S) and (dH is S) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '2. If (dV is S) and (dH is S) and (theta is Z) then (dtheta is P) (1) '
- '3. If (dV is S) and (dH is S) and (theta is P) then (dtheta is Z) (1) '
- '4. If (dV is S) and (dH is M) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '5. If (dV is S) and (dH is M) and (theta is Z) then (dtheta is P) (1) '
- '6. If (dV is S) and (dH is M) and (theta is P) then (dtheta is Z) (1) '
- '7. If (dV is S) and (dH is L) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '8. If (dV is S) and (dH is L) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1) '
- '9. If (dV is S) and (dH is L) and (theta is P) then (dtheta is N) (1) '
- '10. If (dV is M) and (dH is S) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '11. If (dV is M) and (dH is S) and (theta is Z) then (dtheta is P) (1) '
- '12. If (dV is M) and (dH is S) and (theta is P) then (dtheta is Z) (1) '
- '13. If (dV is M) and (dH is M) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '14. If (dV is M) and (dH is M) and (theta is Z) then (dtheta is P) (1) '
- '15. If (dV is M) and (dH is M) and (theta is P) then (dtheta is Z) (1) '
- '16. If (dV is M) and (dH is L) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '17. If (dV is M) and (dH is L) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1) '
- '18. If (dV is M) and (dH is L) and (theta is P) then (dtheta is N) (1) '
- '19. If (dV is L) and (dH is S) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '20. If (dV is L) and (dH is S) and (theta is Z) then (dtheta is P) (1) '
- '21. If (dV is L) and (dH is S) and (theta is P) then (dtheta is Z) (1) '

- '22. If (dV is L) and (dH is M) and (theta is N) then (dtheta is P) (1)'
- '23. If (dV is L) and (dH is M) and (theta is Z) then (dtheta is P) (1)'
- '24. If (dV is L) and (dH is M) and (theta is P) then (dtheta is Z) (1)'
- '25. If (dV is L) and (dH is L) and (theta is N) then (dtheta is P) (1)'
- '26. If (dV is L) and (dH is L) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1)'
- '27. If (dV is L) and (dH is L) and (theta is P) then (dtheta is N) (1)'

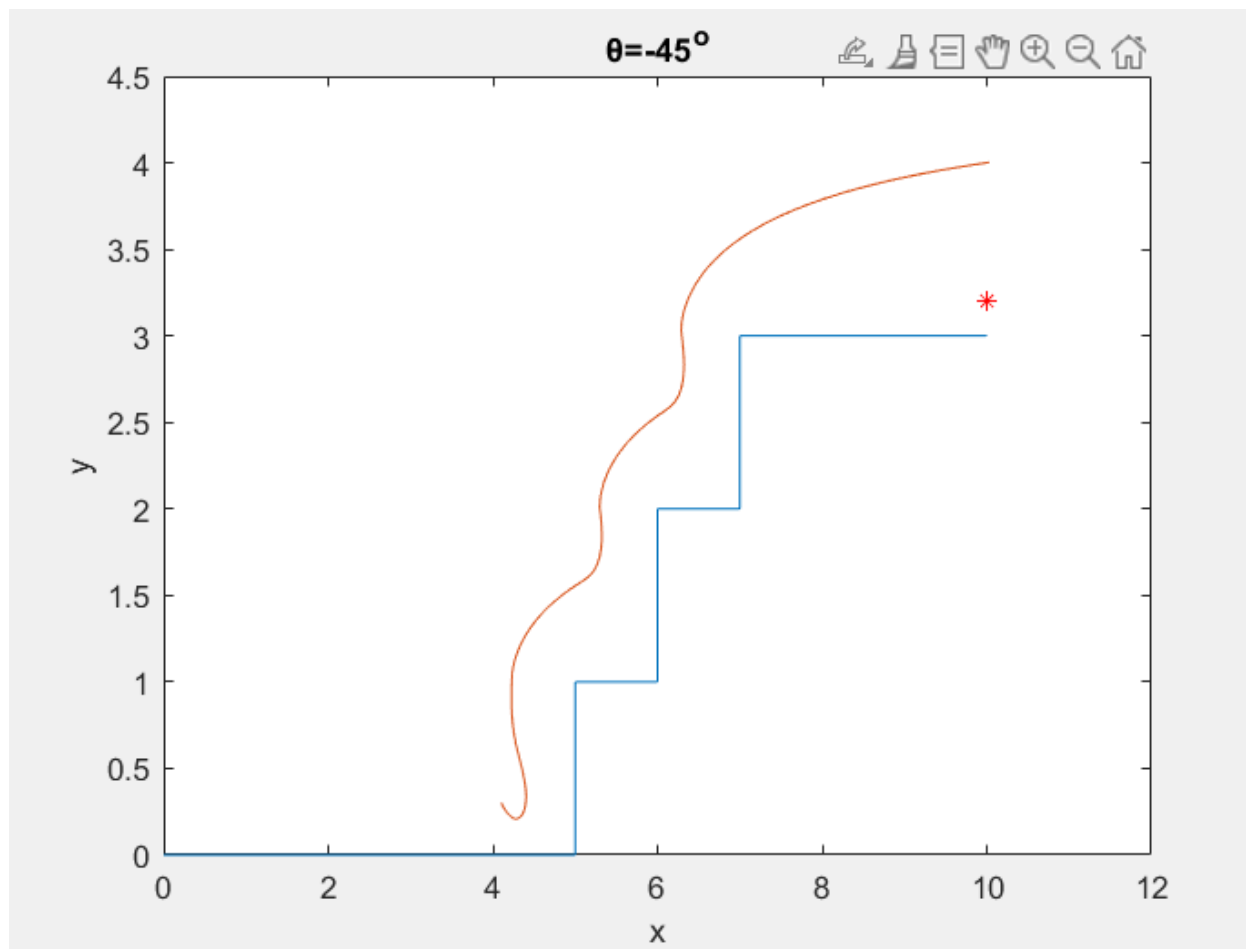
Στη συνέχεια βλέπουμε την τροχιά του οχήματος, η οποία υπολογίζεται με τη συνάρτηση "car_trajectory.m".

Τροφοδοτούμε το σύστημα με τις αρχικές τιμές:

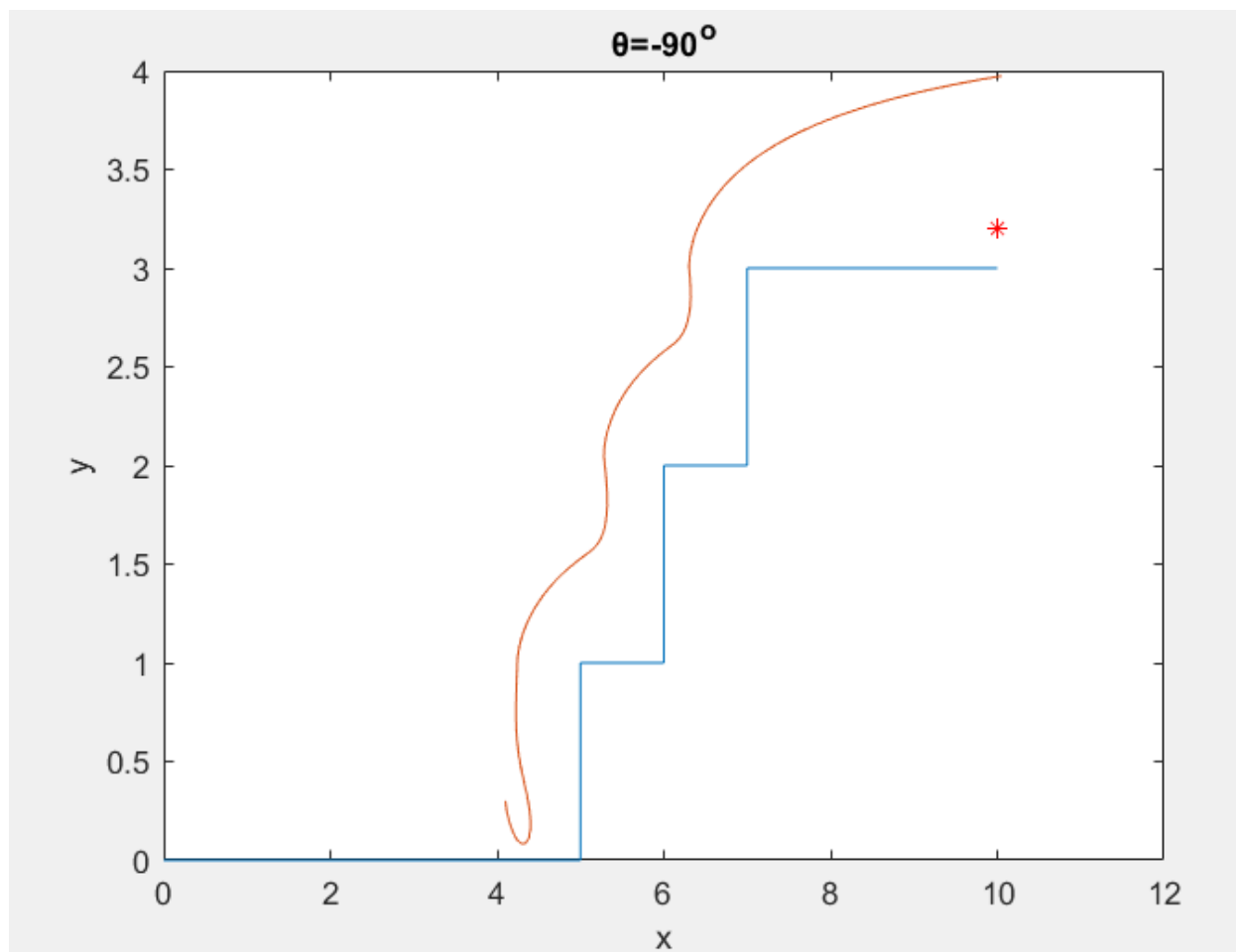
- ❖ Αρχική θέση: $(x_init, y_init) = (4.1, 0.3)$
- ❖ Αρχικές γωνίες: $\theta_{init} = \{0^\circ, -45^\circ, -90^\circ\}$



Σχήμα 56: Τροχιά οχήματος $\theta_{init}=0^\circ$ - Αρχική Βάση Κανόνων



Σχήμα 57: Τροχιά οχήματος $\theta_{init} = -45^\circ$ - Αρχική Βάση Κανόνων



Σχήμα 58: Τροχιά οχήματος $\theta_{init} = -90^\circ$ - Αρχική Βάση Κανόνων

Παρατηρούμε ότι το όχημα ακολουθεί σωστά την πορεία και αποφεύγει τα εμπόδια και στον οριζόντιο και στον κατακόρυφο άξονα, όμως η ακρίβεια και η απόκριση του δεν είναι ικανοποιητική.

2.2.2 Τελική Βάση Κανόνων

Προκειμένου να πετύχουμε καλύτερη προσέγγιση στην επιθυμητή θέση θα κάνουμε δύο σημαντικές αλλαγές στο FLC σύστημα.

1. Νέα Βάση Κανόνων με προτεραιότητα στην κίνηση προς τα δεξιά→, έναντι της κίνησης προς τα πάνω↑.
2. Προσαρμογές στις τιμές της Συνάρτησης Συμμετοχής της εξόδου dθ.

Δίνουμε προτεραιότητα στη δεξιά στροφή→, έναντι της κίνησης προς τα πάνω↑.

Η νέα βάση κανόνων είναι η παρακάτω και σημειώνουμε με **κόκκινο χρώμα** τις αλλαγές σε σχέση με την αρχική βάση.

Με την παρακάτω βάση, οδηγούμε το όχημα πιο κοντά στα κάθετα εμπόδια και έχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

- Όταν η κάθετη απόσταση είναι μικρή $dV=S$ και η οριζόντια απόσταση είναι μεσαία $dH=M$, θέλω η τροχιά του οχήματος να είναι προς τα δεξιά →.
- Όταν η κάθετη απόσταση είναι μεσαία $dV=M$ και η οριζόντια απόσταση είναι μεσαία $dH=M$, θέλω η τροχιά του οχήματος να είναι προς τα δεξιά →.
- Όταν η κάθετη απόσταση είναι μεγάλη $dV=L$, θέλω η τροχιά του οχήματος να είναι προς τα δεξιά →, ανεξάρτητα από την τιμή της οριζόντιας απόστασης.

Για $dV=S$

$dH \setminus \theta$	N	Z	P
S	P	P	Z
M	P	Z	N
L	P	Z	N

Για $dV=M$

$dH \setminus \theta$	N	Z	P
S	P	P	Z
M	P	Z	N
L	P	Z	N

Για $dV=L$

$dH \setminus \theta$	N	Z	P
S	P	Z	N
M	P	Z	N
L	P	Z	N

Οι τελικοί κανόνες που προκύπτου είναι οι 27 παρακάτω:

- '1. If (dV is S) and (dH is S) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '2. If (dV is S) and (dH is S) and (theta is Z) then (dtheta is P) (1) '
- '3. If (dV is S) and (dH is S) and (theta is P) then (dtheta is Z) (1) '
- '4. If (dV is S) and (dH is M) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '5. If (dV is S) and (dH is M) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1) '
- '6. If (dV is S) and (dH is M) and (theta is P) then (dtheta is N) (1) '
- '7. If (dV is S) and (dH is L) and (theta is N) then (dtheta is P) (1) '
- '8. If (dV is S) and (dH is L) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1) '
- '9. If (dV is S) and (dH is L) and (theta is P) then (dtheta is N) (1) '
- '10. If (dV is M) and (dH is S) and (theta is N) then (dtheta is P) (1)'
- '11. If (dV is M) and (dH is S) and (theta is Z) then (dtheta is P) (1)'
- '12. If (dV is M) and (dH is S) and (theta is P) then (dtheta is Z) (1)'
- '13. If (dV is M) and (dH is M) and (theta is N) then (dtheta is P) (1)'
- '14. If (dV is M) and (dH is M) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1)'
- '15. If (dV is M) and (dH is M) and (theta is P) then (dtheta is N) (1)'
- '16. If (dV is M) and (dH is L) and (theta is N) then (dtheta is P) (1)'
- '17. If (dV is M) and (dH is L) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1)'
- '18. If (dV is M) and (dH is L) and (theta is P) then (dtheta is N) (1)'
- '19. If (dV is L) and (dH is S) and (theta is N) then (dtheta is P) (1)'
- '20. If (dV is L) and (dH is S) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1)'
- '21. If (dV is L) and (dH is S) and (theta is P) then (dtheta is N) (1)'
- '22. If (dV is L) and (dH is M) and (theta is N) then (dtheta is P) (1)'
- '23. If (dV is L) and (dH is M) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1)'
- '24. If (dV is L) and (dH is M) and (theta is P) then (dtheta is N) (1)'
- '25. If (dV is L) and (dH is L) and (theta is N) then (dtheta is P) (1)'
- '26. If (dV is L) and (dH is L) and (theta is Z) then (dtheta is Z) (1)'

'27. If (dV is L) and (dH is L) and (theta is P) then (dtheta is N) (1)'

Αφού βελτιώσαμε την Βάση Κανόνων, στην συνέχεια θα κάνουμε αλλαγές στην Συνάρτηση Συμμετοχής της εξόδου dθ.

- ❖ Για τις ακραίες τιμές 'N' και 'P' χρησιμοποιώ τραπεζοειδή Συνάρτηση Συμμετοχής
- ❖ Για την μεσαία τιμή 'Z' μικραίνουμε το πεδίο ορισμού στο [-90,90], ώστε να πετυχαίνουμε μεγαλύτερη ακρίβεια κάθε φορά που μεταβάλλουμε τη γωνία.

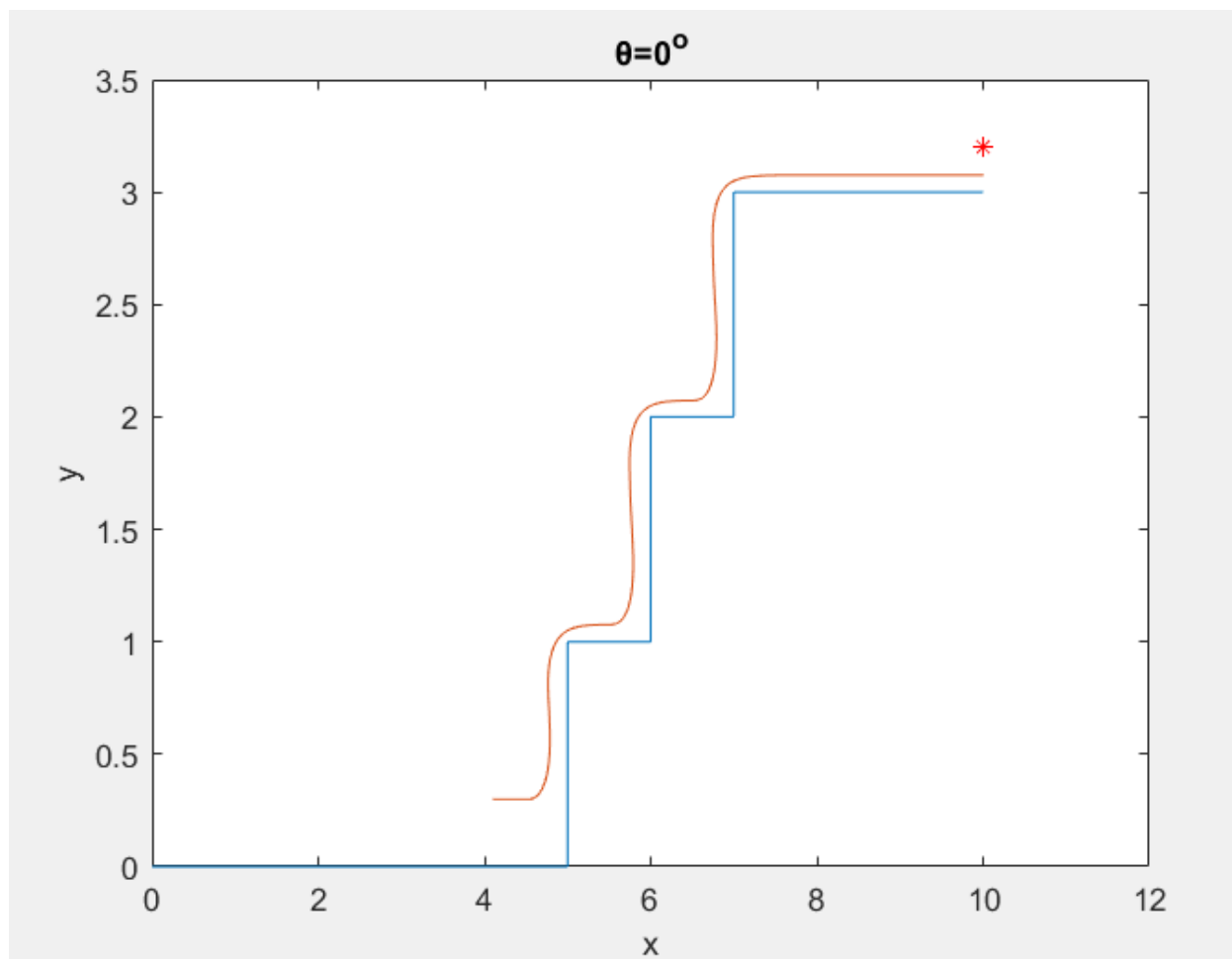
```
% Για την έξοδο dtheta - Τελικές τιμές  
car_control = addmf(car_control, 'output', 1, 'N', 'trapmf', [-130,-130,-100,0]);  
car_control = addmf(car_control, 'output', 1, 'Z', 'trimf', [-90,0,90]);  
car_control = addmf(car_control, 'output', 1, 'P', 'trapmf', [0,100,130,130]);
```

Σχήμα 59: Κώδικας Τελικής Συνάρτησης Συμμετοχής εξόδου dθ

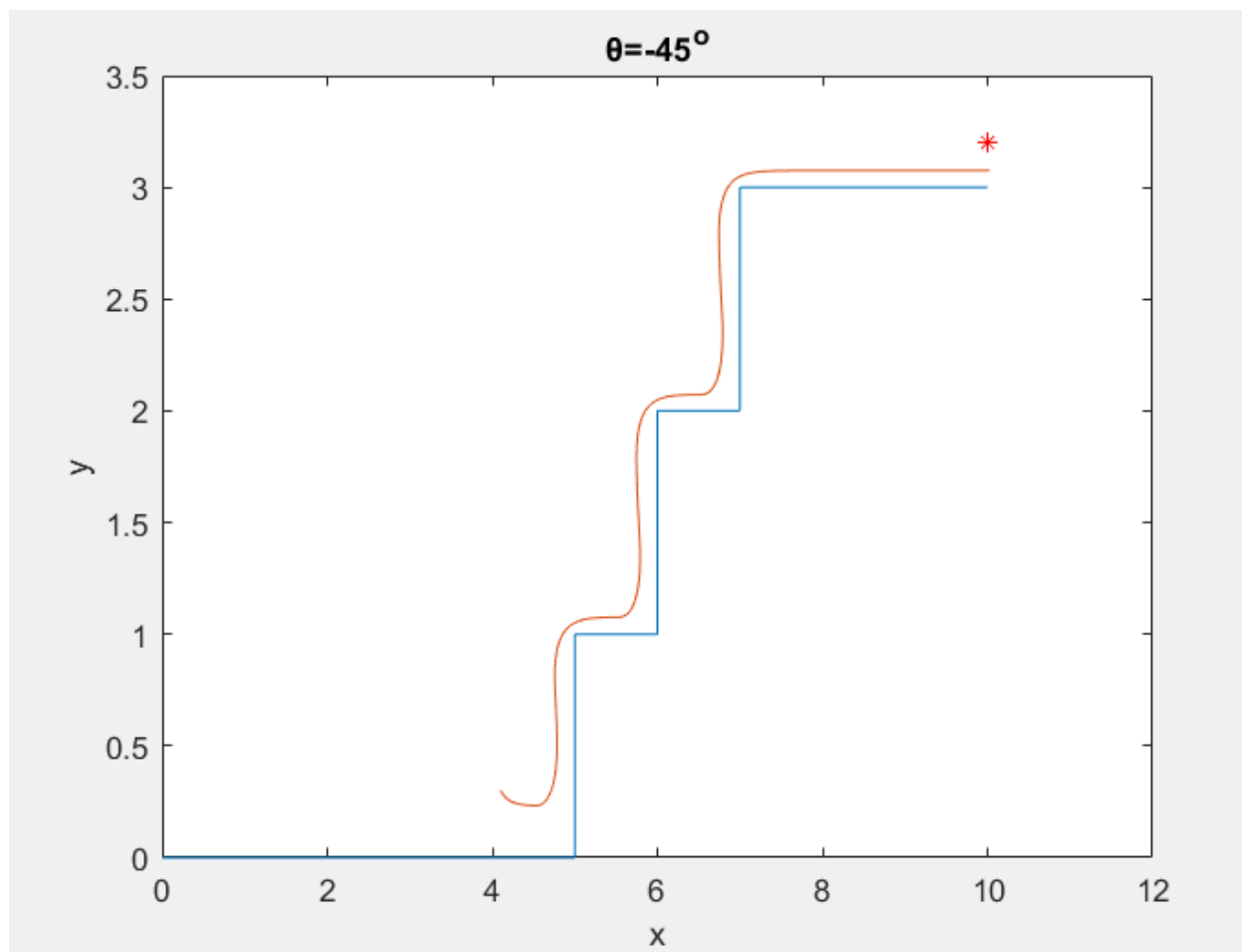
Μετά τις αλλαγές θα δοκιμάσουμε να ελέγξουμε την τροχιά του οχήματος και να συγκρίνουμε την καμπύλη με τις αρχικές.

Τροφοδοτούμε το σύστημα με τις ίδιες αρχικές τιμές:

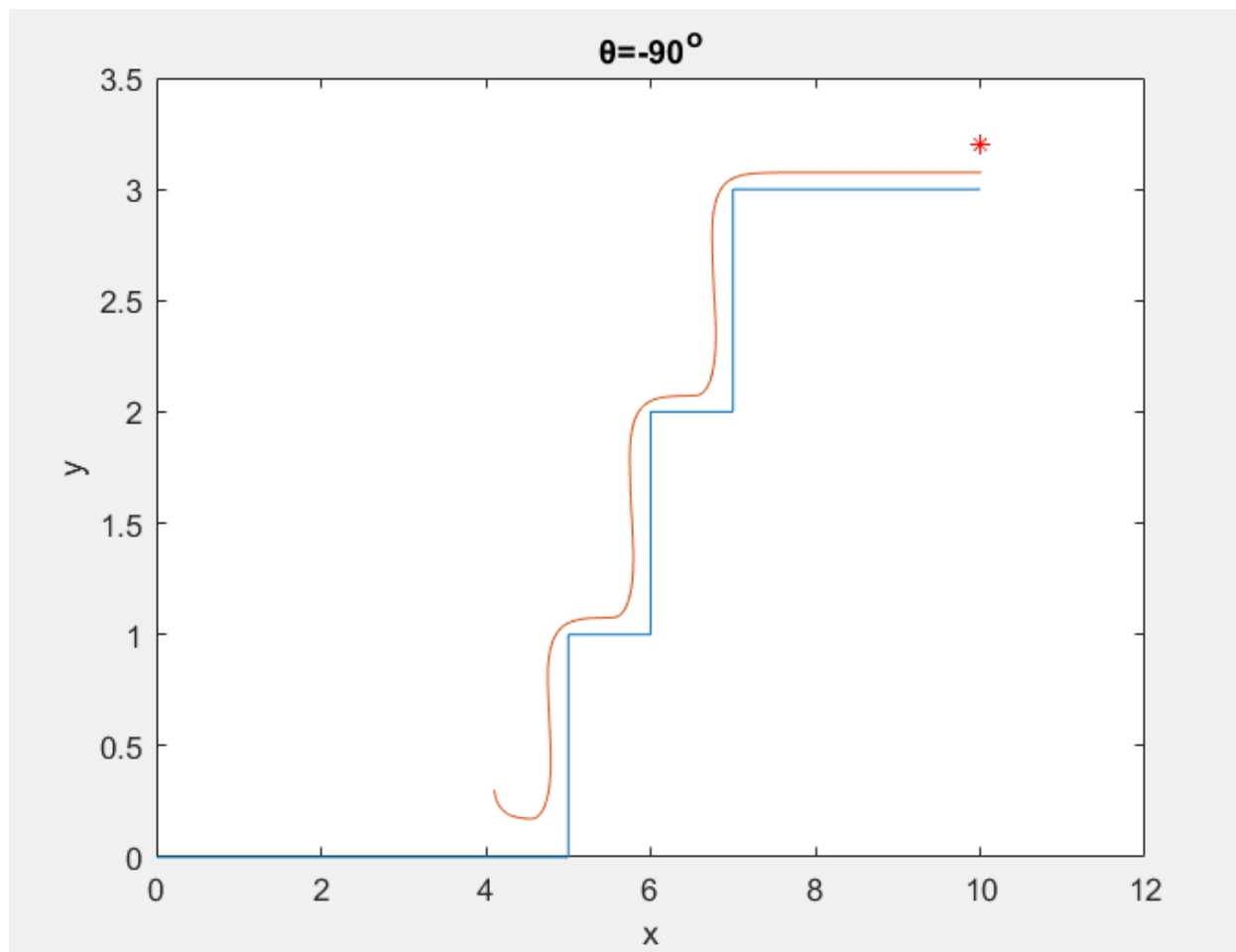
- ❖ Αρχική θέση: (x_init,y_init)=(4.1,0.3)
- ❖ Αρχικές γωνίες: θinit={0°, -45°, -90°}



Σχήμα 60: Τροχιά οχήματος $\theta_{init}=0^\circ$ - Τελική Βάση Κανόνων

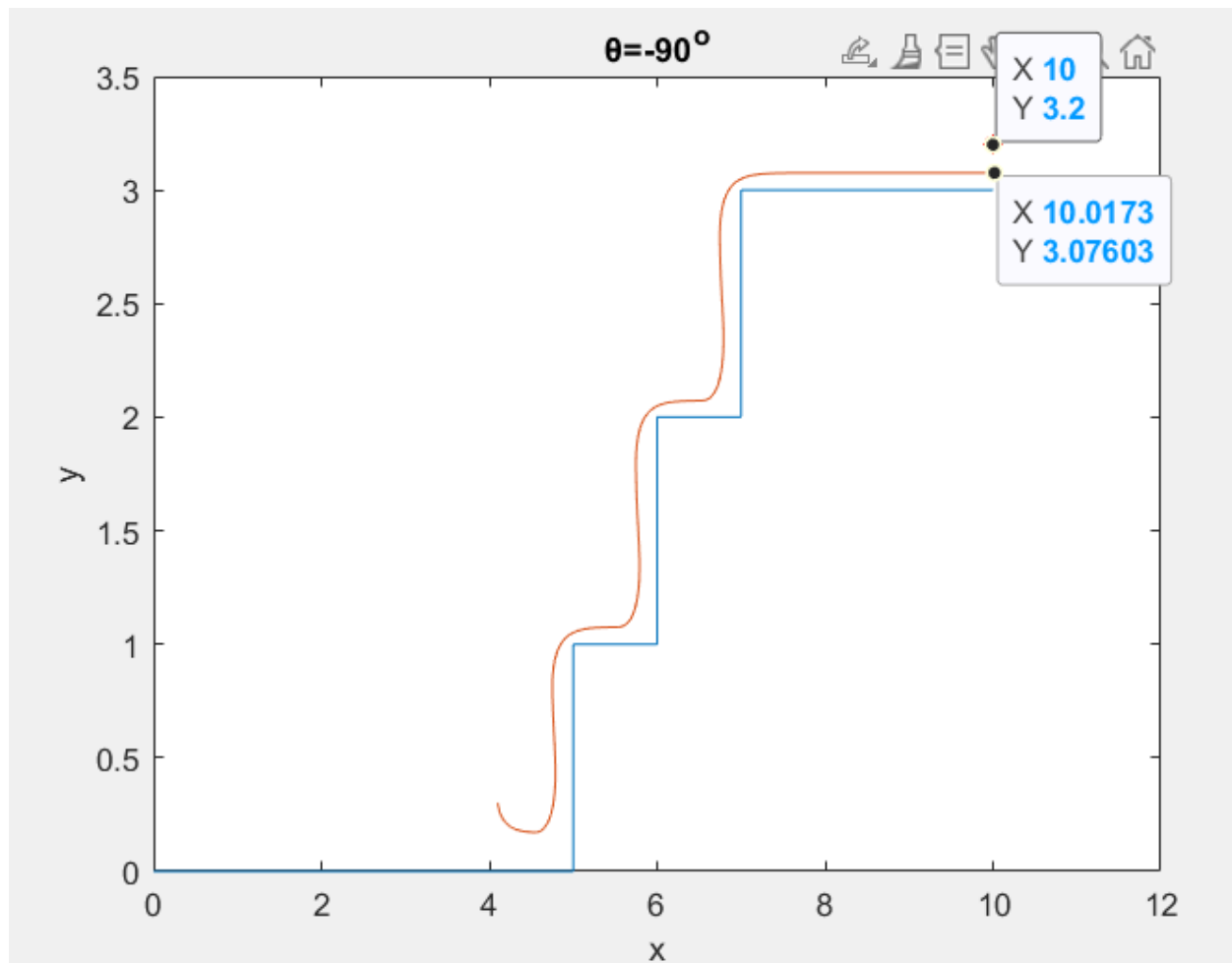


Σχήμα 61: Τροχιά οχήματος $\theta_{init}=-45^\circ$ - Τελική Βάση Κανόνων



Σχήμα 62: Τροχιά οχήματος $\theta_{init}=-90^\circ$ - Τελική Βάση Κανόνων

Παρατηρούμε ότι η τροχιά είναι αρκετά πιο ακριβής. Ακολουθεί πιστά τα εμπόδια, χωρίς να έρχεται σε επαφή μαζί τους. Ακόμη και στις -90° το όχημα προσαρμόζεται γρήγορα στην επιθυμητή τροχιά. Το όχημα φτάνει στην θέση (10.017,3.076), δηλαδή πολύ κοντά στην επιθυμητή θέση (10,3.2). Πετυχαίνει ακριβώς την τετμημένη $x=10$, το οποίο είναι και το ζητούμενο της εργασίας και πλησιάζει αρκετά την τεταγμένη $y=3.2$, για το οποίο θέλουμε απλά να είμαστε κοντά.



Σχήμα 63: Τελική θέση vs Επιθυμητή θέση

Το FLC πετυχαίνει ικανοποιητική τροχιά και τελική θέση.