



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Καλοκαίρι 2023

Υπολογιστική Νοημοσύνη

Έλεγχος Κίνησης ενός Οχήματος για
αποφυγή εμποδίων με Ασαφή
Ελεγκτή



ΤΖΟΥΒΑΡΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

AEM: 9659

Email: tzouevan@ece.auth.gr

Περιεχόμενα

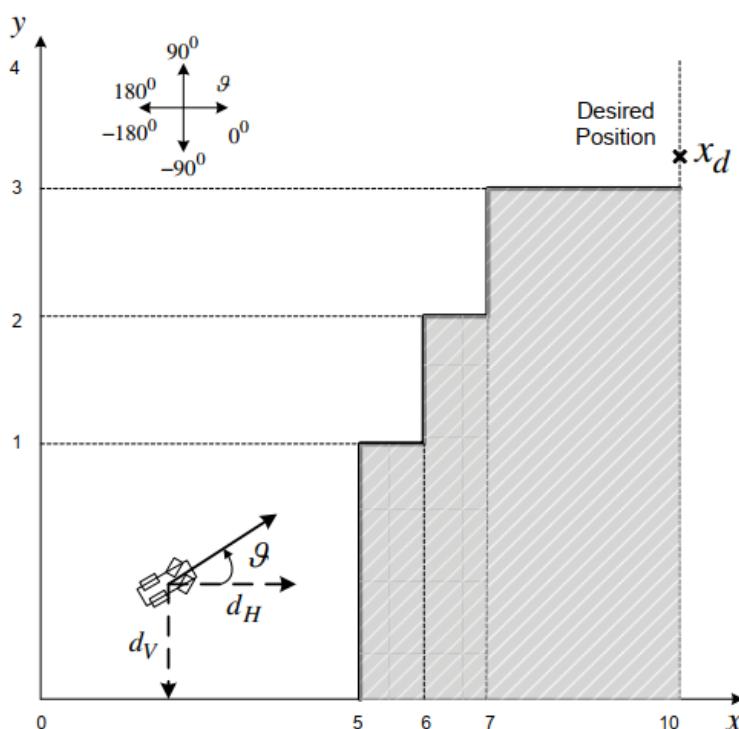
Εισαγωγή.....	2
Περιγραφή του προβλήματος	2
Ασαφής βάση κανόνων.....	4
Σχεδίαση του Ελεγκτή στο FIS Editor	5
Μοντέλο του συστήματος στο Simulink	6
Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	8
Tuning Λεκτικών Μεταβλητών	9
Βιβλιογραφία	11

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος “υπολογιστική νοημοσύνη” και αποτελεί το 2^ο μέρος του συνολικού project. Αφορά τον έλεγχο της γωνίας τιμονιού ενός αυτοκινήτου ώστε να φτάσει στην επιθυμητή θέση αποφεύγοντας σταθερά εμπόδια. Το αυτοκίνητο λαμβάνει μέσω αισθητήρων την απόσταση από τα εμπόδια και ο ασαφής ελεγκτής επιλέγει την επιθυμητή μεταβολή γωνίας $\Delta\theta$, ενώ κινείται με σταθερή ταχύτητα όλο το διάστημα.

Περιγραφή του προβλήματος

Το αυτοκίνητο αρχικά βρίσκεται στην θέση (3.8, 0.5) και ξεκινάει κάθε φορά με διαφορετικό προσανατολισμό (γωνία θ). Σκοπό έχει να φτάσει όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην τελική θέση $(x_d, y_d) = (10, 3.2)$ αποφεύγοντας όλα τα σταθερά εμπόδια που φαίνονται στην εικόνα 1.

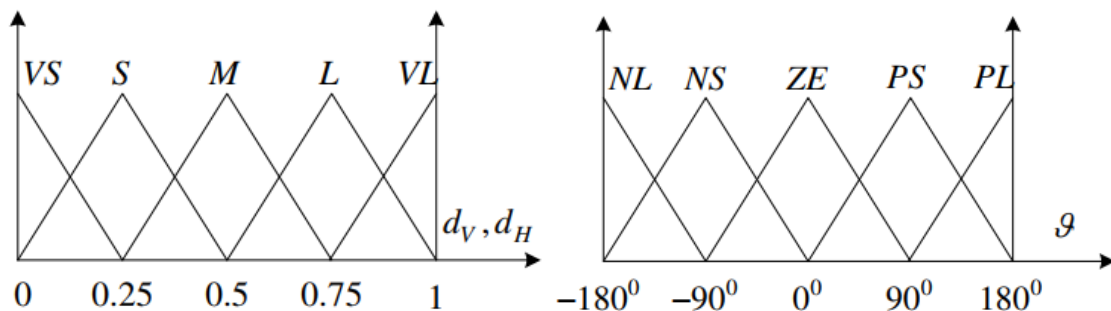


Εικόνα 1: Περιβάλλον κίνησης αυτοκινήτου

Το όχημα διαθέτει αισθητήρες για μέτρηση των αποστάσεων d_v (vertical) και d_H (horizontal) από τα εμπόδια, αλλά και αισθητήρα μέτρησης της γωνίας του σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα (θ). Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στον ασαφή ελεγκτή,

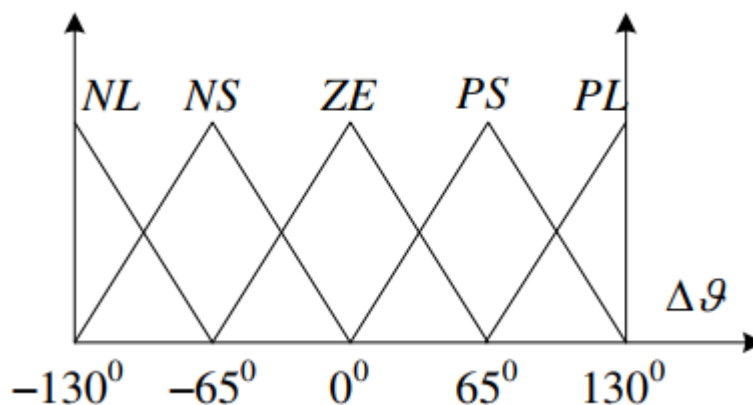
περνούν από τον fuzzifier για να μετατραπούν σε λεκτικές μεταβλητές και ο ελεγκτής αποφασίζει για την μεταβολή της γωνίας $\Delta\theta$, με την βοήθεια της ασαφούς βάσης κανόνων, που δημιουργείται παρακάτω.

Ο χώρος των μεταβλητών εισόδου των αποστάσεων περιλαμβάνει πέντε ασαφή σύνολα (VS: Very Small, S: Small, M: medium, L: Large, VL: Very Large) ενώ η μεταβλητή της γωνίας περιέχει τα εξής πέντε ασαφή σύνολα: NL: Negative Large, NS: Negative Small, Z: Zero, PS: Positive Small, PL: Positive Large (Τα σύνολα αυτά δύναται να αλλάξουν στην συνέχεια).



Εικόνα 2: Ασαφή σύνολα μεταβλητών εισόδου

Ο χώρος της μεταβλητής εξόδου (μεταβολή γωνίας $\Delta\theta$) περιέχει και αυτός τα ίδια ασαφή σύνολα με την γωνία του αυτοκινήτου με την διαφορά ότι η μεταβλητή κινείται στο διάστημα $[-130^\circ 130^\circ]$. Οπότε τα όρια κάθε συνόλου διαφοροποιούνται.



Εικόνα 3: Ασαφή σύνολα μεταβλητής εξόδου ($\Delta\theta$)

Ασαφής βάση κανόνων

Η λογική του ελεγκτή που ακολουθήθηκε είναι να οδηγεί το αυτοκίνητο προς την μεριά του εμποδίου και όταν πλησιάζει κοντά να αλλάζει την διεύθυνση του αυτοκινήτου ώστε να υπερπηδά κάθε επιμέρους τοίχο. Έτσι η ασαφής βάση κανόνων χρησιμοποιεί κυρίως την οριζόντια απόσταση από το εμπόδιο (d_H).

Αν η απόσταση είναι πολύ μεγάλη, ή μεγάλη ή μεσαία (Very Large, Large και Medium με βάση τις λεκτικές μεταβλητές, σκοπός του ελεγκτή είναι να επιβάλλει την κατάλληλη μετατόπιση ώστε η τελική γωνία του οχήματος να είναι κοντά στις 0 μοίρες. Όταν η απόσταση είναι μικρή (Small), επιβάλλει μία θετική μικρή αλλαγή στην γωνία (Positive Small), ώστε το αυτοκίνητο να ετοιμάζεται να περάσει το εμπόδιο. Στην περίπτωση της πολύ μικρής απόστασης επιβάλλεται μεγάλη αλλαγή στην γωνία. Όταν το αυτοκίνητο περάσει το επιμέρους σκαλοπάτι, η οριζόντια απόσταση γίνεται πολύ μεγάλη και ο ελεγκτής τείνει να το επαναφέρει στον προσανατολισμό των 0 μοιρών.

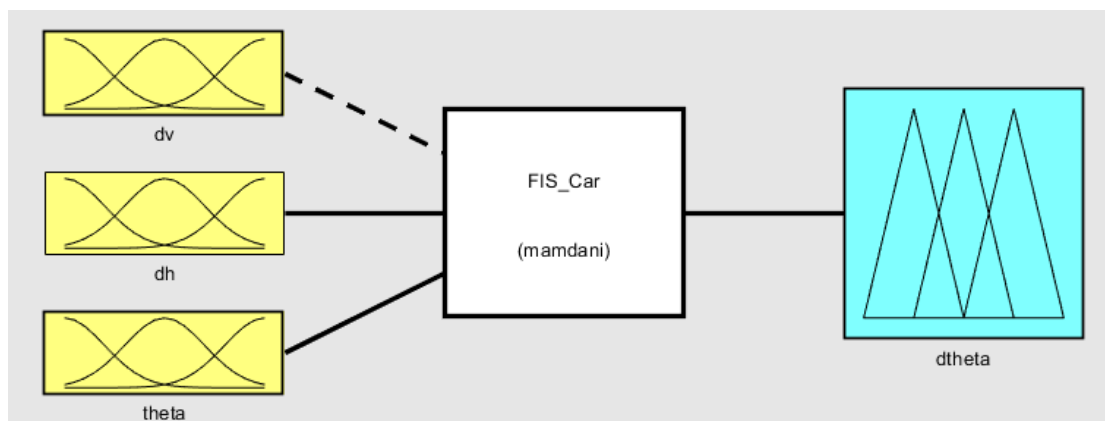
Με την χρήση μόνο της οριζόντιας απόστασης, το αυτοκίνητο μετά το κάθε σκαλοπάτι θα είναι αρκετά κοντά στον παράλληλο τοίχο, ενώ η τελική επιθυμητή θέση έχει μία απόσταση από αυτό. Γι αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται ανεξάρτητα και το δεδομένο του αισθητήρα κάθετης απόστασης. Όταν το αυτοκίνητο είναι πολύ κοντά σε κάποιο παράλληλο τοίχο, ο ελεγκτής το απομακρύνει σε μία μικρή απόσταση (Small), ώστε εν τέλει να φτάσει στην επιθυμητή θέση. Με βάση την παραπάνω ανάλυση προέκυψε η εξής βάση κανόνων.

1. *If (d_H is VL) and (θ is ZE) then ($d\theta$ is ZE)*
2. *If (d_H is L) and (θ is ZE) then ($d\theta$ is ZE)*
3. *If (d_H is M) and (θ is ZE) then ($d\theta$ is ZE)*
4. *If (d_H is S) and (θ is ZE) then ($d\theta$ is PS)*
5. *If (d_H is VS) and (θ is ZE) then ($d\theta$ is PL)*
6. *If (d_H is VL) and (θ is PS) then ($d\theta$ is NS)*
7. *If (d_H is L) and (θ is PS) then ($d\theta$ is NS)*
8. *If (d_H is M) and (θ is PS) then ($d\theta$ is NS)*
9. *If (d_H is S) and (θ is PS) then ($d\theta$ is ZE)*
10. *If (d_H is VS) and (θ is PS) then ($d\theta$ is PS)*
11. *If (d_H is VL) and (θ is PL) then ($d\theta$ is NL)*
12. *If (d_H is L) and (θ is PL) then ($d\theta$ is NL)*
13. *If (d_H is M) and (θ is PL) then ($d\theta$ is NL)*
14. *If (d_H is S) and (θ is PL) then ($d\theta$ is NS)*
15. *If (d_H is VS) and (θ is PL) then ($d\theta$ is ZE)*
16. *If (d_H is VL) and (θ is NS) then ($d\theta$ is PS)*
17. *If (d_H is L) and (θ is NS) then ($d\theta$ is PS)*

-
18. *If (dh is M) and (theta is NS) then (dtheta is PS)*
 19. *If (dh is S) and (theta is NS) then (dtheta is PL)*
 20. *If (dh is VS) and (theta is NS) then (dtheta is PL)*
 21. *If (dh is VL) and (theta is NL) then (dtheta is PL)*
 22. *If (dh is L) and (theta is NL) then (dtheta is PL)*
 23. *If (dh is M) and (theta is NL) then (dtheta is PL)*
 24. *If (dh is S) and (theta is NL) then (dtheta is PL)*
 25. *If (dh is VS) and (theta is NL) then (dtheta is PL)*
 26. *If (dv is VS) and (theta is NL) then (dtheta is PL)*
 27. *If (dv is VS) and (theta is NS) then (dtheta is PL)*
 28. *If (dv is VS) and (theta is ZE) then (dtheta is PS)*
 29. *If (dv is VS) and (theta is PS) then (dtheta is PS)*
 30. *If (dv is VS) and (theta is PL) then (dtheta is ZE)*
-

Σχεδίαση του Ελεγκτή στο FIS Editor

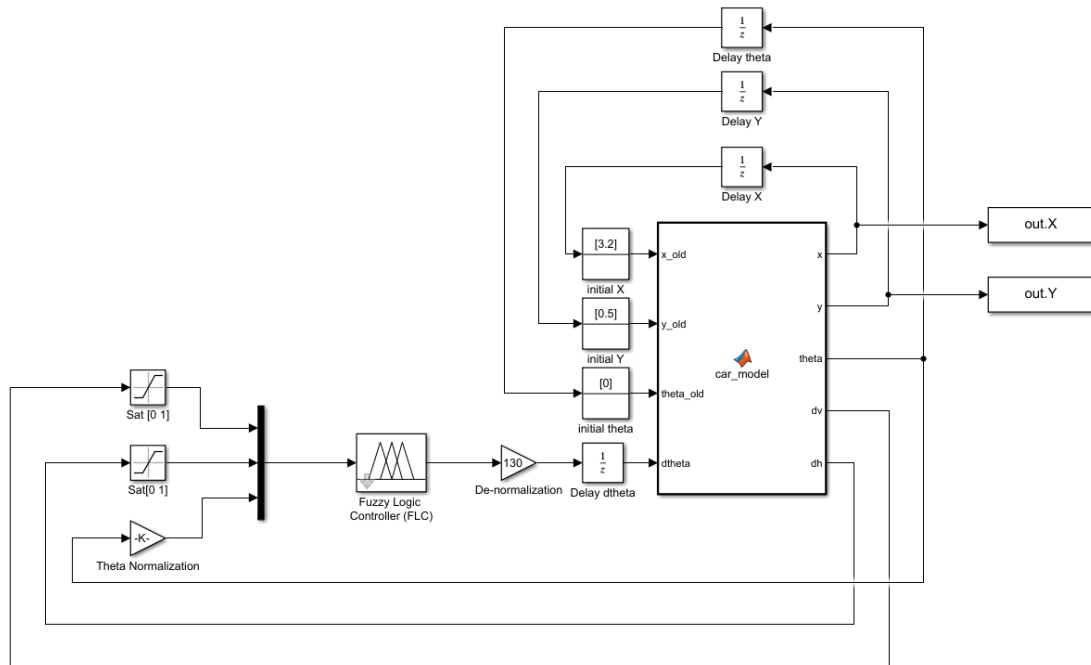
Οι λεκτικές μεταβλητές της εισόδου και της εξόδου αλλά και η ασαφής βάση των κανόνων που περιγράφηκαν παραπάνω, εισήχθησαν στο fis editor, ώστε να προκύψει το .fis αρχείο που περιγράφει τον ελεγκτή. Το αρχείο αυτό έπειτα χρησιμοποιήθηκε στο block διάγραμμα του ελεγκτή στο Simulink.



Εικόνα 4: Ασαφής ελεγκτής στο FIS Editor

Μοντέλο του συστήματος στο Simulink

Το μοντέλο στο Simulink για το συνολικό σύστημα περιλαμβάνει το μοντέλο του αυτοκινήτου, και το κομμάτι του ελεγκτή σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου.



Εικόνα 5: Συνολικό μοντέλο στο Simulink.

Η συνάρτηση `car_model` λαμβάνει για εισόδους τις προηγούμενες τιμές των συντεταγμένων και της γωνίας του αυτοκινήτου και την τιμή εξόδου του ελεγκτή. Σαν έξοδο παράγει τις νέες συντεταγμένες, την νέα γωνία αλλά και την οριζόντια και κάθετη απόσταση από τα εμπόδια. Με βάση την εκφώνηση, το εμπόδιο θεωρείται γνωστό και με βάση τις συντεταγμένες υπολογίζονται οι αποστάσεις (έτσι προσομοιώνονται οι αισθητήρες του αυτοκινήτου).

```
function [x, y, theta, dv, dh] = car_model(x_old, y_old, theta_old,
dtheta)
    % Local variables
    if(x_old >= 10)
        u = 0;
    else
        u = 0.05;          % Constant car velocity
    end

    t = 0.1;              % Delay between each calculation

    % Calculate the new angle of the car:
    theta = theta_old + dtheta;
```

```

% Saturation for the new theta inside the [-180 180]
if(theta > 180)
    theta = 180;
elseif(theta < -180)
    theta = -180;
end

% Calculation of the new position
x = x_old + u*cos(theta/360*2*pi)*t;
y = y_old + u*sin(theta/360*2*pi)*t;

% Calculation of the horizontal distance from obstacle
if (y <= 1)
    dh = 5 - x;
elseif (y > 1 && y <= 2)
    dh = 6 - x;
elseif (y > 2 && y <= 3)
    dh = 7 - x;
else
    dh = 20 - x;
end

% Calculation of the vertical distance from obstacle
if (x <= 5)
    dv = y;
elseif (x > 5 && x <= 6)
    dv = y - 1;
elseif (x > 6 && x <= 7)
    dv = y - 2;
else
    dv = y - 3;
end
end
end

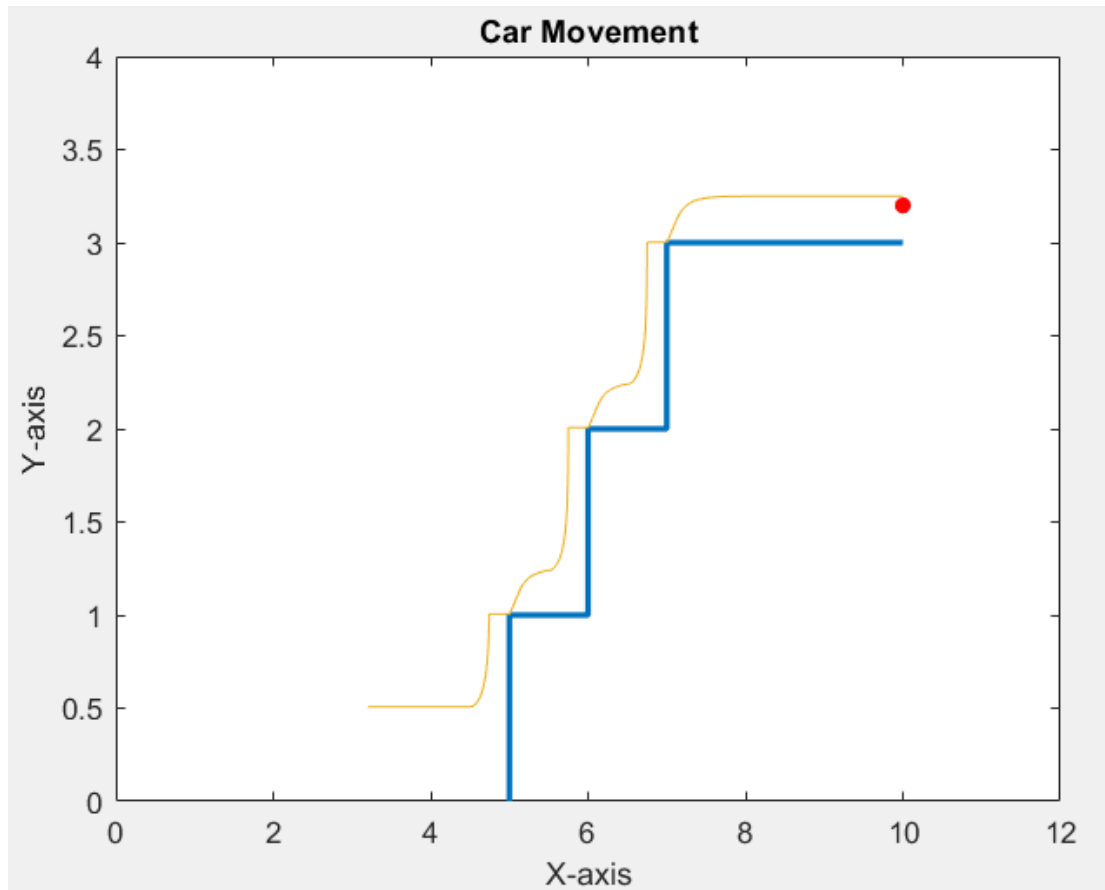
```

Πριν την είσοδο του ελεγκτή κανονικοποιείται η γωνία στο διάστημα $[-1 \ 1]$, ενώ γίνεται saturation των τιμών του αισθητήρα στο διάστημα $[0 \ 1]$. Η έξοδος του ελεγκτή είναι η μεταβολή της γωνίας σε διάστημα $[-1 \ 1]$ και κανονικοποιείται στις φυσικές τιμές μεταβολής της γωνίας $[-130 \ 130]$.

Το διάστημα ολοκλήρωσης της απόστασης είναι 0.1sec, άρα και οι καθυστερήσεις που εισάγονται στο μοντέλο είναι στα 0.1sec. Τα δεδομένα της νέας συντεταγμένης του οχήματος μεταφέρονται στο workspace του matlab ώστε να γίνει η προβολή τους σε σχέση με το σταθερό εμπόδιο.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης

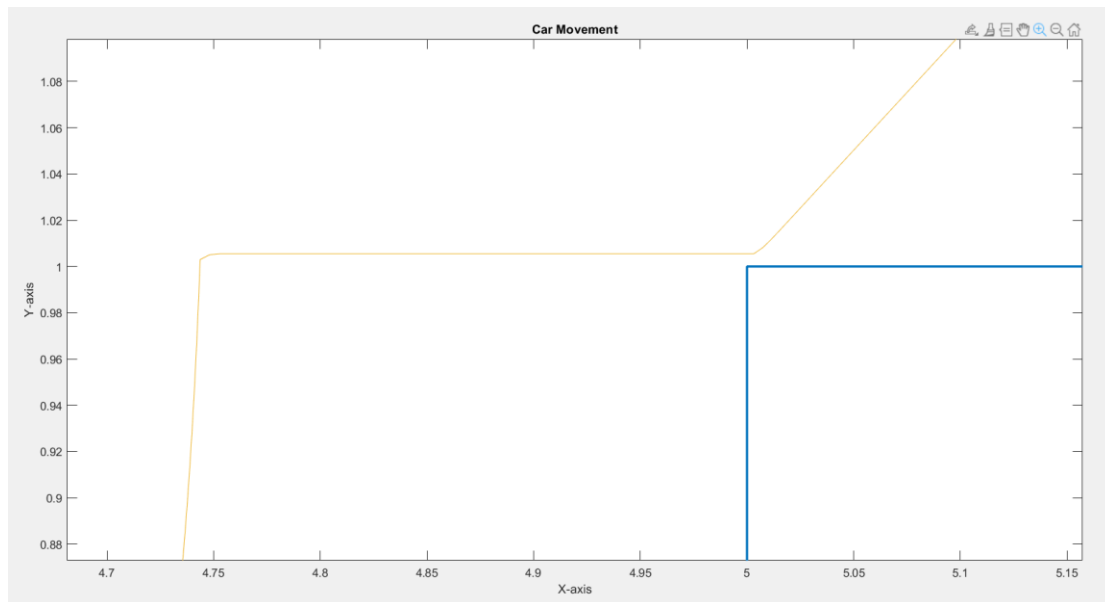
Το Car_Plot.m αρχείο χρησιμοποιείται για την παράλληλη προβολή των σταθερών εμποδίων και της κίνησης του αυτοκινήτου. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στην εικόνα παρακάτω.



Εικόνα 6: Κίνηση του αυτοκινήτου

Ο τελικός σκοπός του αυτοκινήτου επιτυγχάνεται ικανοποιητικά με την προσπάθεια του ελεγκτή για την διατήρηση μιας μικρής απόστασης από κάθε παράλληλο τοίχο. Το σφάλμα είναι μόλις 5cm από τον στόχο, ή 1.5%.

Σε κάθε σκαλοπάτι που είναι να προσπεράσει το όχημα πλησιάζει πολύ κοντά στο εμπόδιο, γιατί σε εκείνο το σημείο ο ελεγκτής βλέπει μεγάλες αποστάσεις (Very Large), σε κάθε διεύθυνση. Αυτή η συμπεριφορά δεν μπορεί να αποφευχθεί γιατί το σύστημα δεν δέχεται άλλες εισόδους (π.χ. διαγώνια απόσταση από τα εμπόδια). Με το που ανιχνεύσει το σύστημα ότι η απόσταση του από τον παράλληλο τοίχο είναι Very Small, ξεκινά να αποκλίνει από αυτό.

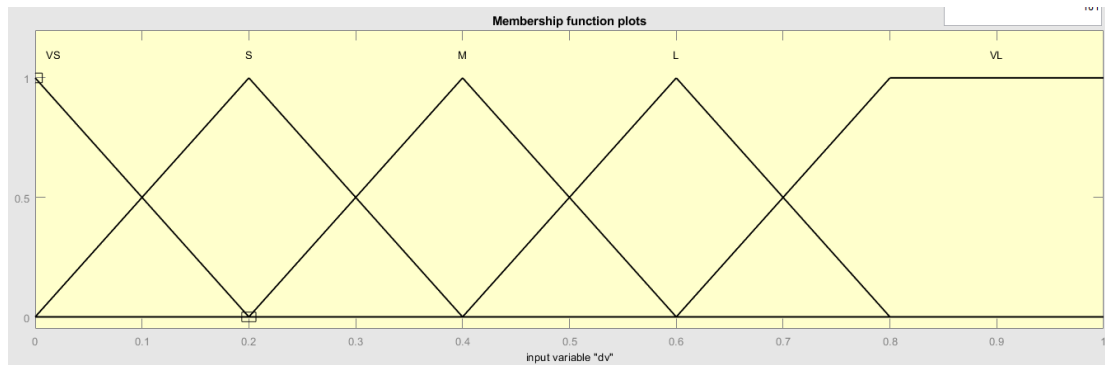


Εικόνα 7: Κίνηση του οχήματος στις αιχμές του εμποδίου.

Tuning Λεκτικών Μεταβλητών

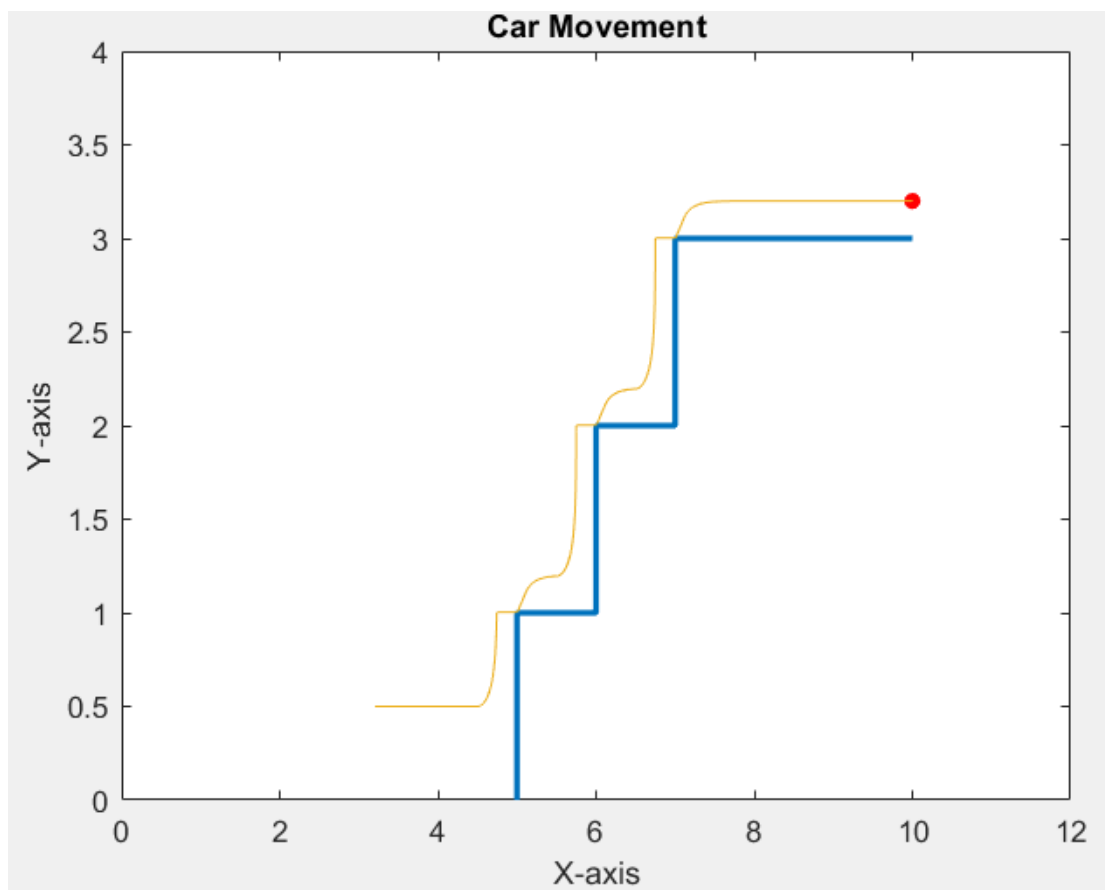
Με την μεταβολή των διαστημάτων των λεκτικών μεταβλητών μπορεί να μηδενιστεί το σφάλμα ώστε το όχημα να φτάσει ακριβώς στην τελική θέση. Ο έλεγχος παραπάνω βασίστηκε στο ότι ο ελεγκτής θέλει να κρατά μία μικρή απόσταση (Small), από τα παράλληλα εμπόδια. Οπότε όταν φτάνει 0.25m μακριά από το εμπόδιο σταματά να του αλλάζει την οριζόντια διεύθυνση. Για να φτάσει στην τελική θέση με ακρίβεια θα πρέπει ο ελεγκτής να διατηρεί σταθερή απόσταση 0.2m από το οριζόντιο εμπόδιο. Άρα η απόσταση θα πρέπει να είναι κατά 100% Small για 0.2m και όχι για 0.25m που ήταν αρχικά.

Εφ' όσον από την Medium απόσταση και μετά ο ελεγκτής επιδρά με την ίδια συμπεριφορά (προσπαθεί να επαναφέρει το όχημα σε οριζόντια πορεία), τα διαστήματα κάθε λεκτικής μεταβλητής της κατακόρυφης απόστασης μειώθηκαν σε εύρος στα 0.4m και το τελικό διάστημα (Very Large), μετατράπηκε σε τραπέζιο για να καλύψει την απόσταση μέχρι το 1m. Αυτή η αλλαγή δεν επηρεάζει την επίδραση του ελεγκτή για την αποφυγή των εμποδίων, αλλά μόνο για την τελική θέση του οχήματος. Ο νέος χώρος ορισμού της μεταβλητής εισόδου d_v απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 8: Νέος χώρος ορισμού της μεταβλητής dv

Με βάση αυτή την αλλαγή, η νέα πορεία που ακολουθεί το αυτοκίνητο με βάση την προσομοίωση είναι η ακόλουθη.



Εικόνα 9: Νέα πορεία του οχήματος μετά το *tuning*

Εν τέλει το αυτοκίνητο έχει την επιθυμητή πορεία που περιγράφηκε θεωρητικά παραπάνω, και το τελικό σφάλμα του ελεγκτή είναι μηδέν.

Βιβλιογραφία

- Υπολογιστική Νοημοσύνη, eLearning AUTH,
<https://elearning.auth.gr/course/view.php?id=12762>
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Τόμος Α, Πετρίδης Βασίλειος
- Σύγχρονα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, 13η Έκδοση, Dorf Richard C., Bishop Robert H.
- Fuzzy Logic Toolbox documentation , MATLAB,
<https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>
- Fuzzy Logic, MATLAB Tech Talks, Brian Douglas,
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLn8PRpmsu08pSpYcLLkfXcYlcs5judkOd>