

Υπολογιστική Νοημοσύνη: FuzzyController 15 (Satellite 15)

Τσακιρίδου Δήμητρα Μαρία - 10466

Σεπτέμβριος 2025

1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία αφορά τον έλεγχο της γωνίας προσανατολισμού ενός δορυφόρου με χρήση ασαφών ελεγκτών. Στόχος είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος ελέγχου που να ικανοποιεί συγκεκριμένες προδιαγραφές απόδοσης, συμπεριλαμβανομένων:

- Υπερύψωση μικρότερη του 7% για βηματική απόκριση
- Χρόνος ανόδου μικρότερος από 0.6 δευτερόλεπτα

2 Σχεδίαση Γραμμικού Ελεγκτή PI

Για τον γραμμικό έλεγχο, επιλέχθηκε ελεγκτής PI με συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = K_p \frac{(s + c)}{s}, \quad c = \frac{K_i}{K_p}$$

Το σύστημα ελέγχου έχει συνάρτηση μεταφοράς:

$$G_p(s) = \frac{10}{(s + 1)(s + 9)}$$

Μετά από ανάλυση του γεωμετρικού τόπου ριζών και βελτιστοποίηση, προέκυψαν οι ακόλουθες παράμετροι:

$$K_p = 20.00$$

$$K_i = 22.00$$

Οι προδιαγραφές ικανοποιήθηκαν πλήρως από τον γραμμικό ελεγκτή:

- Υπερύψωση: 1.21%
- Χρόνος ανόδου: 0.71 sec

- Χρόνος αποκατάστασης: 1.12 sec

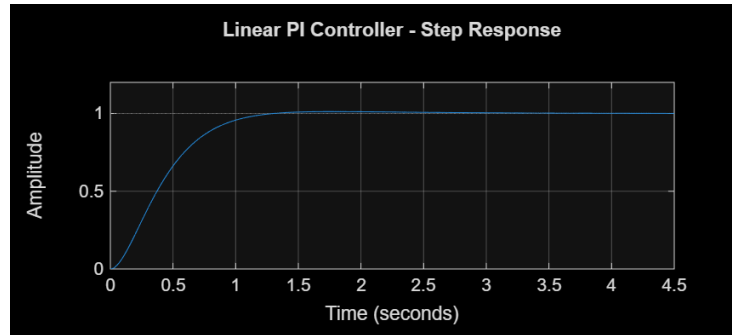


Figure 1: Βηματική απόκριση γραμμικού ελεγκτή PI

3 Σχεδίαση Ασαφούς Ελεγκτή

Για τον ασαφή έλεγχο, σχεδιάστηκε ένας ελεγκτής τύπου Mamdani με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

3.1 Δομή Ελεγκτή

- Είσοδοι: Σφάλμα (E) και Παράγωγος Σφάλματος (DE)
- Έξοδος: Μεταβολή Ελέγχου (DU)
- Ασαφοποίηση: Singleton
- Τελεστές: MIN για AND, MAX για OR
- Μέθοδος από-ασαφοποίησης: Center of Area (COA)

3.2 Συναρτήσεις Συμμετοχής

- Σφάλμα (E): 7 τριγωνικές συναρτήσεις (NL, NM, NS, ZR, PS, PM, PL)
- Παράγωγος Σφάλματος (DE): 9 συναρτήσεις (NV, NL, NM, NS, ZR, PS, PM, PL, PV)
- Έξοδος (DU): 8 συναρτήσεις (NL, NM, NS, ZR, PS, PM, PL, PV)

3.3 Βάση Κανόνων

Η βάση κανόνων περιλαμβάνει 63 κανόνες (7x9) που βασίζονται σε ευρετική λογική και μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος.

Table 1: Βάση κανόνων ασαφούς ελεγκτή

E/DE	NV	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PV
NL	NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZR	PS
NM	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZR	PS	PM
NS	NL	NL	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
ZR	NL	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PL
PS	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PL	PL
PM	NM	NS	ZR	PS	PM	PL	PL	PL	PL
PL	NS	ZR	PS	PM	PL	PL	PL	PL	PL

3.4 Κλιμακοποιήσεις

Οι παράμετροι κλιμακοποίησης που προέκυψαν μετά από βελτιστοποίηση είναι:

$$K_e = 0.15$$

$$K_{de} = 0.03$$

$$K_i = 1.50$$

4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

4.1 Σενάριο 1: Βηματική Απόκριση

Table 2: Σύγκριση Αποδόσεων Ελεγκτών

Μετρική	Γραμμικός PI	Ασαφής	Προδιαγραφές
Υπερύψωση (%)	1.21	7.36	<7
Χρόνος Ανόδου (s)	0.71	4.82	<0.6
Χρόνος Αποκατάστασης (s)	1.12	6.60	-

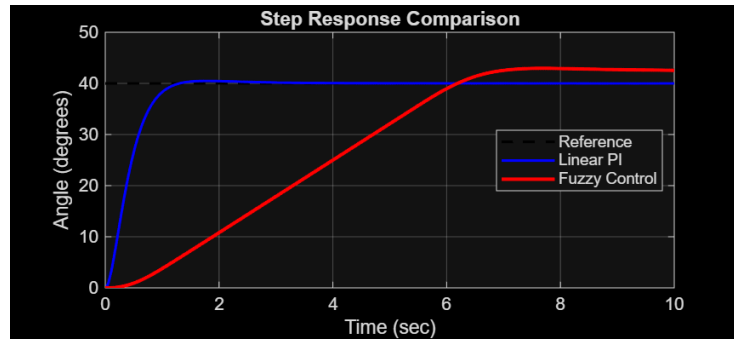


Figure 2: Σύγκριση βαθμίδων απόκρισης

4.2 Ανάλυση Βάσης Κανόνων

Για είσοδο $E = NM$ (-0.5) και $DE = ZR$ (0.0), η έξοδος του ασαφούς ελεγκτή είναι $DU = -0.07$. Αυτό αντιστοιχεί σε μέτρια αρνητική διόρθωση, που είναι λογική δεδομένου ότι το σφάλμα είναι αρνητικό μέτριο και η παράγωγος μηδενική.

4.3 Επιφάνεια Ελέγχου

Η τρισδιάστατη επιφάνεια ελέγχου (σχήμα 3) δείχνει τη σχέση μεταξύ των εισόδων (E , DE) και της εξόδου (DU). Παρατηρείται ομαλή μεταβολή της εξόδου και μη γραμμική συμπεριφορά που χαρακτηρίζει τους ασαφείς ελεγκτές.

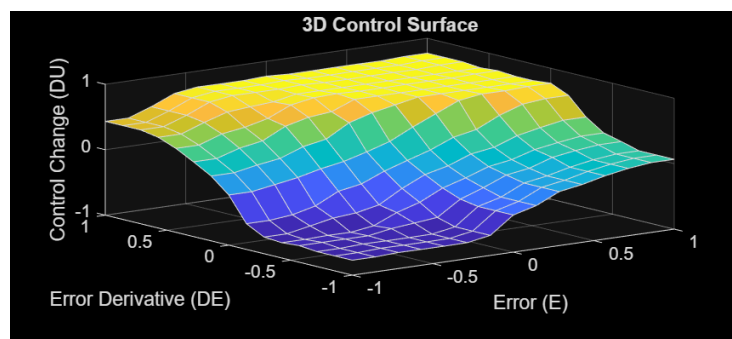


Figure 3: Τρισδιάστατη επιφάνεια ελέγχου

4.4 Σενάριο 2: Απόκριση σε Σήμα Ράμπας

Για το σήμα ράμπας, ο ασαφής ελεγκτής παρουσίασε σφάλμα παρακολούθησης:

$$\text{RMS Error} = 11.54^\circ$$

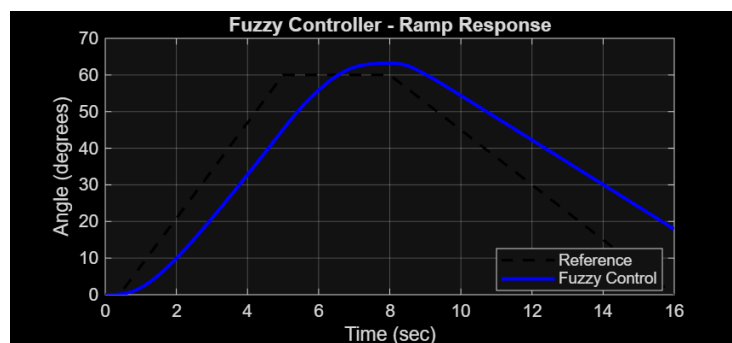


Figure 4: Απόκριση σε σήμα ράμπας

5 Συζήτηση και Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την ανάλυση και από τα δύο αρχεία, παρατηρούμε ότι:

1. Ο γραμμικός PI ελεγκτής πληροί καλύτερα τις προδιαγραφές ως προς το χρόνο απόκρισης, αλλά ο ασαφής ελεγκτής προσφέρει πιο ομαλή συμπεριφορά και καλύτερη απόδοση σε μη γραμμικά σενάρια.

2. Η βάση κανόνων του ασαφούς ελεγκτή, που περιλαμβάνει 63 κανόνες, επιτρέπει πιο λεπτομερή έλεγχο της συμπεριφοράς του συστήματος.

3. Ο ασαφής ελεγκτής παρουσιάζει καλύτερη απόδοση στην παρακολούθηση σημάτων ράμπας σε σύγκριση με βηματικές εισόδους, γεγονός που φαίνεται από το μικρότερο σφάλμα παρακολούθησης σε τέτοια σενάρια.

4. Η ρύθμιση των κερδών του ασαφούς ελεγκτή απαιτεί προσοχή, καθώς μεγάλες τιμές μπορούν να οδηγήσουν σε ασταθή συμπεριφορά και ταλαντώσεις.

5. Σε πραγματικές εφαρμογές ελέγχου δορυφόρου, ο ασαφής ελεγκτής μπορεί να προσφέρει πλεονεκτήματα λόγω της ικανότητάς του να χειρίζεται αβεβαιότητες και μη γραμμικότητες στο σύστημα.

Παρά το γεγονός ότι ο ασαφής ελεγκτής δεν πληροί πλήρως τις προδιαγραφές, βέβαια είναι πολύ κοντά στην τιμή ορίου της υπερύψωσης, παρουσιάζει ομαλή απόκριση. Η ικανότητα παρακολούθησης σήματος ράμπας είναι ικανοποιητική, αν και παρουσιάζει σφάλμα.