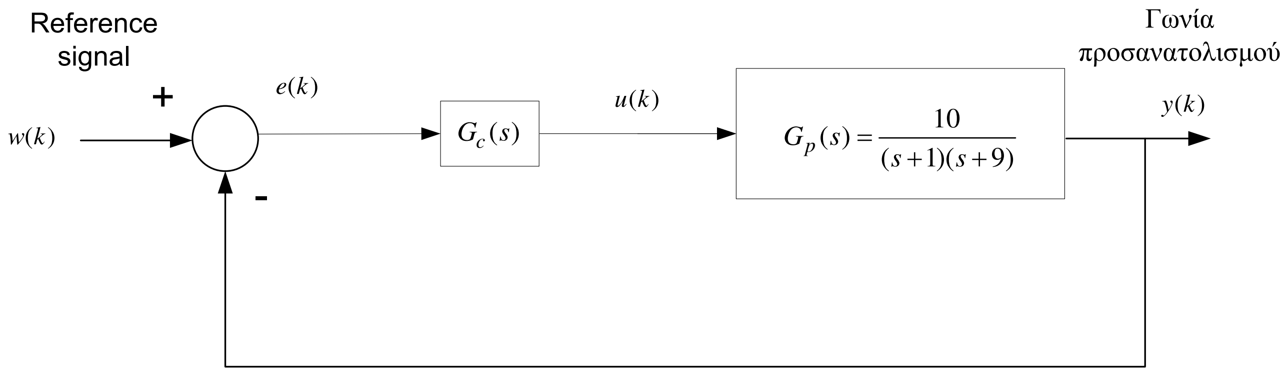
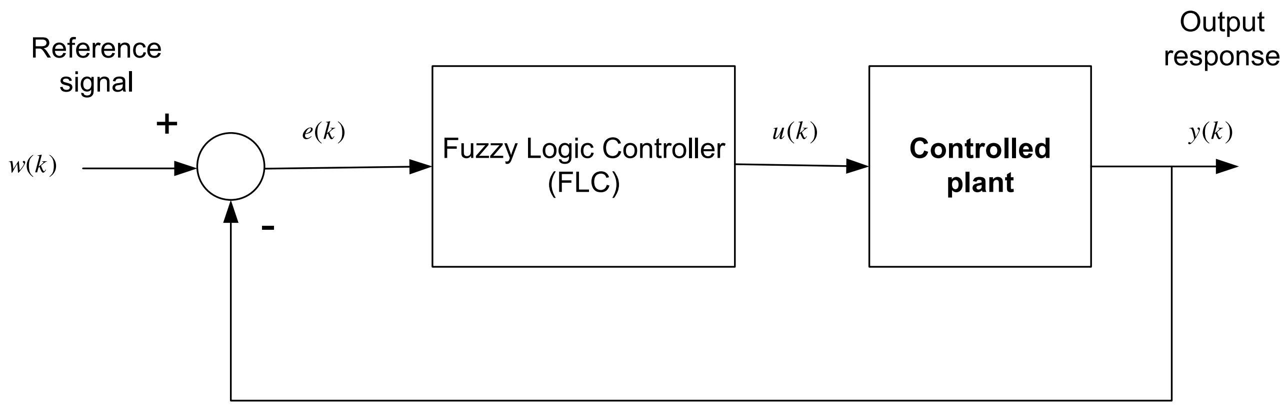
Εργασία στα Ασαφή Συστήματα
Έλεγχος γωνίας προσανατολισμού ενός δορυφόρου
με ασαφείς Ελεγκτές

Ελεγχόμενο σύστημα

Στο Σχ.1 φαίνεται ένα σύστημα ελέγχου της γωνίας προσανατολισμού ενός δορυφόρου. [1]. Για να έχουμε μηδενικό σφάλμα στην μόνιμη κατάσταση, επιλέγουμε ελεγκτές με αναλογική-ολοκληρωτική δράση. Το σύστημα ελέγχου με χρήση ασαφών ελεγκτών φαίνεται στο Σχ.2.



Σχ.1



Σχ.2

- $r(k)$ είναι το σήμα αναφοράς (Reference signal)
- $y(k)$ είναι η έξοδος του συστήματος
- $e(k)$ είναι το σφάλμα του σήματος αναφοράς σε σχέση με την έξοδο του συστήματος

- $e(k) = r(k) - y(k)$
- $u(k)$ είναι ο νόμος ελέγχου (έξοδος του ελεγκτή)
- Θεωρούμε ότι το σήμα αναφοράς της γωνίας προσανατολισμού κινείται στο διάστημα [0, 60^o].

Σχεδίαση γραμμικού ελεγκτή

Για μηδενικό σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση του ελέγχου ταχύτητα επιλέγουμε ένα γραμμικό ελεγκτή PI της μορφής

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

Να προσδιορισθούν οι παράμετροι του γραμμικού ελεγκτή έτσι ώστε να πληρούνται οι παρακάτω προδιαγραφές.

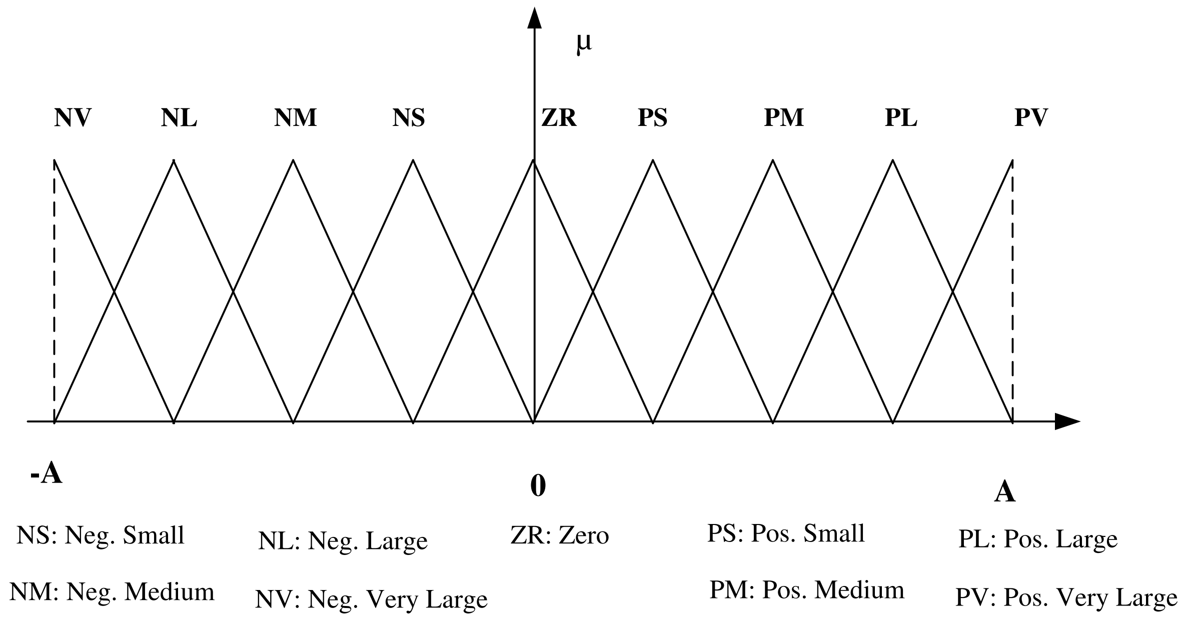
1. Υπερύψωση για βηματική είσοδο μικρότερη από 10%.
2. Χρόνος ανόδου μικρότερος από 1.2 δευτερόλεπτα.

Για την σχεδίαση του γραμμικού ελεγκτή, ακολουθούμε τις αρχές του κλασικού αυτομάτου ελέγχου, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα control toolbox του MATLAB.

- Τοποθετείστε το μηδενικό του ελεγκτή ανάμεσα στους πόλους -1 και -9 του ελεγχόμενου συστήματος, σε μια θέση κοντά στον κυρίαρχο πόλο, δηλαδή στο -1.
- Εισάγεται την συνάρτηση ανοιχτού βρόχου στο σύστημα, στη μορφή $\dfrac{K(s+c)}{(s+1)(s+9)}$
- Δημιουργείστε τον γεωμετρικό τόπο ριζών του συστήματος με το rlocus.
- Επιλέξτε από το διάγραμμα του γεωμετρικού τόπου ένα κέρδος K, που να αντιστοιχούν σε θέσεις πόλων κλειστού βρόχου και συντελεστή απόσβεσης κατάλληλα για τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί.
- Υπολογίστε την συνάρτηση κλειστού βρόχου (με μοναδιαία ανάδραση) του συστήματος, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα την εντολή feedback(sys-open-loop, 1, -1).
- Υπολογίστε την βηματική απόκριση του συστήματος κλειστού βρόχου, χρησιμοποιώντας τις εντολές step(sys-closed-loop), lsim, plot κλπ.
- Αν πληρούνται οι προδιαγραφές, η διαδικασία τερματίζεται. Σε αντίθετη περίπτωση, ακολουθείστε μια διαδικασία δοκιμής και λάθους, επιλέγοντας μια άλλη τιμή κέρδους.
- Για την βέλτιστη τιμή κέρδους K που επιλέχθηκε προηγούμενα, υπολογίστε τα κέρδη K_p και K_I του γραμμικού ελεγκτή.

Σχεδίαση ασαφούς ελεγκτή (FLC)

- Προκειμένου να έχουμε μηδενικό σφάλμα μόνιμης κατάστασης για την ταχύτητα, επιλέγουμε και πάλι ένα ασαφή ελεγκτή τύπου FZ-PI.
- Η υλοποίηση του συστήματος κλειστού βρόχου θα γίνει σε διακριτό χρόνο με διάστημα δειγματοληψίας $T = 0.01$ sec.
- Η λεκτικές μεταβλητές του σφάλματος E περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.2 (α).
- Η λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σφάλματος $\dot{E}$ περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.2(α) .
- Η λεκτικές μεταβλητές της μεταβολής του σήματος ελέγχου $\dot{U}$ περιγράφονται από εννιά λεκτικές τιμές όπως φαίνεται στο Σχ.2(α) .



Σχ.2 (α)

Χαρακτηριστικά του FLC

Τα χαρακτηριστικά του ασαφούς ελεγκτή είναι τα παρακάτω

- ✓ Ασαφοποιητής Singleton
- ✓ Το συνδετικό AND υλοποιείται με τον τελεστή min
- ✓ Η συνάρτηση συμπερασμού υλοποιείται με τον κανόνα Mamdani.
- ✓ Το συνδετικό ALSO υλοποιείται με τον τελεστή max.

- ✓ Ο από-ασαφοποιητής υλοποιείται με την τεχνική COA.

Ζητούμενα της εργασίας

- ➢ Αρχικά να γίνει κλιμακοποίηση του σφάλματος και της μεταβολής του σφάλματος, έτσι ώστε τα κανονικοποιημένα μεγέθη να μεταβάλλονται στο διάστημα $[-1,1]$.
- ➢ Να διαμορφωθεί η βάση κανόνων του ασαφούς ελεγκτή, με βάση τους μετα-κανόνες σωστής λειτουργίας του συστήματος κλειστού βρόχου.
- ➢ Να γραφεί ένα πρόγραμμα σε περιβάλλον matlab που να υλοποιεί το σύστημα κλειστού βρόχου ασαφής ελεγκτής – κινητήρας.
  - ✓ Για την δημιουργία του ελεγκτή να χρησιμοποιηθούν οι εντολές του Fuzzy toolbox, newfis, addmf, addvar, addrule, writefis, rule, readfis και evalfis.
  - ✓ Σαν εναλλακτική λύση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το περιβάλλον του Fuzzy editor. Το γραφικό αυτό περιβάλλον αυτό μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε και να αποθηκεύσουμε ένα ασαφές μοντέλο (name.fis object).

Σενάριο 1

α) Σχεδίαση του ελεγκτή και αποκρίσεις

- ✓ Να ρυθμίσετε τα κέρδη κλιμακοποίησης ώστε η απόκριση κλειστού βρόχου για την μέγιστη βηματική διέγερση να έχει καλύτερα χαρακτηριστικά από αυτή του γραμμικού ελεγκτή, δηλαδή, υπερύψωση μικρότερη από 7% και χρόνο ανόδου μικρότερο από 0.8 sec.
- ✓ Σαν αρχικές τιμές των κερδών να θεωρήσετε αυτές που καθορίσθηκαν για τον γραμμικό ελεγκτή στην προηγούμενη φάση της εργασίας.
- ✓ Να δείξετε ποια είναι η επίδραση στην έξοδο του συστήματος που προκύπτει από την ρύθμιση των κερδών του ελεγκτή FZ-PI (K_e, a και K_1).
- ✓ Να δειχθεί η απόκριση του συστήματος και η διέγερση του συστήματος, σε σχέση με τις αποκρίσεις του γραμμικού ελεγκτή.

β) Λειτουργία της βάσης του ελεγκτή και συμπεράσματα

- ✓ Από την βάση που έχει διαμορφωθεί, να θεωρήσετε μια διέγερση όπου $e \text{ is } PS$ και $\Delta e \text{ is } PS$.
- ✓ Να δείξετε γραφικά ποιοι κανόνες διεγείρονται και ποια επί μέρους συμπεράσματα προκύπτουν.

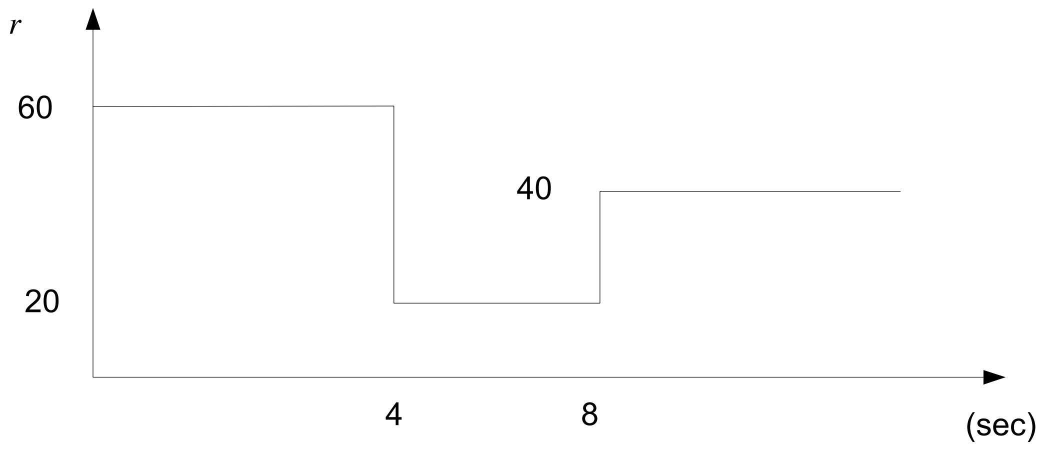
- ✓ Ποιο είναι τελικά το συνολικό συμπέρασμα που προκύπτει με βάση την μέθοδο από-ασαφοποίησης που σας αντιστοιχεί.
- ✓ Να σχολιάσετε την απόκριση του ελεγκτή για την περίπτωση αυτή.

γ) Ερμηνεία του νόμου ελέγχου του FLC

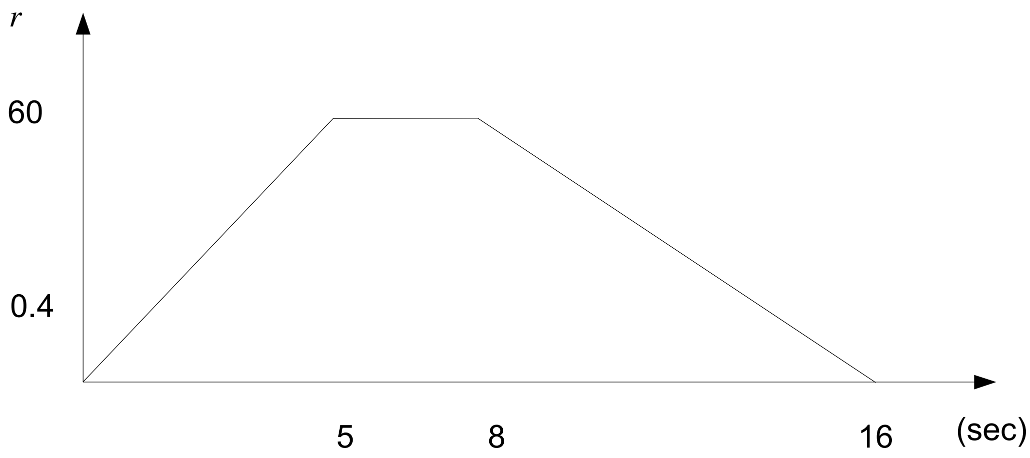
- ✓ Να δημιουργήσετε την τρισδιάστατη επιφάνεια της εξόδου του ασαφούς ελεγκτή $\Delta u(k)$ σε σχέση με τις εισόδους του $e(k)$ και $\Delta e(k)$ (χρησιμοποιήστε την εντολή gensurf του matlab ή δημιουργείστε την απεικόνιση με δικό σας πρόγραμμα).
- ➢ Να ερμηνεύσετε το σχήμα αυτό με βάση την μορφή των κανόνων του ελεγκτή.

Σενάριο 2

- ➢ Στην συνέχεια, εξετάζονται δύο διαφορετικά προφίλ του σήματος αναφοράς, όπως φαίνονται στα Σχ.3 κα Σχ.4.
- ➢ Για τις παραμέτρους του ασαφούς ελεγκτή πού έχουν επιλεγεί, να γίνει γραφική παράσταση της απόκρισης των στροφών του συστήματος κλειστού βρόχου για τα δύο διαφορετικά σενάρια του σήματος αναφοράς.
- ➢ Με βάση τις αποκρίσεις, να σχολιάσετε την ικανότητα του FLC να παρακολουθεί εισόδους ράμπας



Σχ.3



Σχ.4

Αναφορές

[1] R. C. Dorf, R. H. Bishop, «Σύγχρονα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2003.