

21739 - Percepció i Control per a Sistemes Encastats

Pràctica 2: Control de velocitat d'un cotxe

Xisco Bonnín

24 de març de 2022

—— Part 1 ——

1 Objectiu

Volem simular el comportament del controlador de velocitat d'un vehicle. Aquest controlador s'encarrega de fer que el cotxe assoleixi i mantingui la velocitat consignada, mitjançant el control de la inclinació del pedal accelerador.

2 La planta

L'expressió que ens descriu la dinàmica del cotxe, és a dir, la que ens relaciona la seva velocitat amb la inclinació del pedal accelerador, es pot obtenir seguint els passos següents:

- Apliquem les lleis de Newton per tal d'obtenir el model dinàmic en temps continu:

$$M\dot{v}(t) + bv(t) = u(t) = 40p(t) \quad (1)$$

on M és la massa del cotxe, b és el coeficient de fricció viscosa, $v(t)$ és la velocitat del vehicle a l'instant t i $p(t)$ és la inclinació del pedal accelerador (a l'instant t) expressat com un percentatge.

- Fent servir la transformada de Laplace obtenim:

$$MsV(s) - Mv(0) + bV(s) = 40P(s) \quad (2)$$

- Si assumim condicions inicials nul·les ($v(0) = 0$) llavors:

$$(Ms + b)V(s) = 40P(s) \quad (3)$$

- Finalment, la funció de transferència de la planta resulta:

$$\frac{V(s)}{P(s)} = \frac{40}{Ms + b} = \frac{40/M}{s + b/M} = G(s) \quad (4)$$

3 Incorporació del *zoh*

Per tal de poder controlar la planta amb un controlador en temps discret, hem d'incorporar un retenidor d'ordre zero o *zoh* ("zero-order hold").

- Partim de l'expressió corresponent a l'addició del *zoh*:

$$G'(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left(\frac{G(s)}{s} \right) \quad (5)$$

- Calculem $G(s)/s$

$$\frac{G(s)}{s} = \frac{\alpha}{s(s+\beta)} \quad (6)$$

on $\alpha = 40/M$ i $\beta = b/M$

- Sabent que $\alpha = \beta * 40/b$, podem reescriure l'equació anterior com:

$$\frac{G(s)}{s} = \frac{40}{b} \frac{\beta}{s(s+\beta)} \quad (7)$$

- Calculem la transformada z :

$$\mathcal{Z} \left(\frac{G(s)}{s} \right) = \frac{40}{b} \frac{z(1-e^{-\beta T})}{(z-1)(z-e^{-\beta T})} \quad (8)$$

- L'expressió final resulta:

$$G'(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left(\frac{G(s)}{s} \right) = \frac{40}{b} \frac{(1-e^{-\beta T})}{z-e^{-\beta T}} = \frac{40}{b} \frac{(1-e^{-(b/M)T})}{z-e^{-(b/M)T}} \quad (9)$$

4 El controlador

El controlador de velocitat implementat té la forma següent:

$$C(z) = K \frac{z-0.9}{z-1} \quad (10)$$

Aquest controlador es fa servir per tal d'aconseguir que el vehicle assoleixi i mantingui la velocitat consignada, fet que tenim garantit gràcies al pol en 1 (és un controlador tipus *PI*).

5 Tasques a realitzar

1. Obteniu l'expressió en z del sistema complet enllaç tancat. Aquesta és una tasca que heu de desenvolupar de manera manual. Els valors dels paràmetres M , b i K els trobareu a la taula que hi ha al final del document. El període de mostreig T és de 0.1s.
2. També de manera manual, obteniu les equacions en diferències corresponents al sistema mitjançant la forma directa 1 (*direct form I*).
3. De manera similar, obteniu les equacions en diferències corresponents al sistema mitjançant la forma directa 2 (*direct form II*).

4. Mirau-vos i intentau entendre el codi del node *step_sim_node* del paquet *tf_sim*. Aquest node simula un escaló (*step*) amb l'alçada indicada mitjançant el paràmetre *magnitude*. El farem servir per tal de simular l'entrada del sistema, és a dir, la consigna de velocitat.
5. Mirau-vos i intentau entendre el codi inacabat del node *system_sim_node* del paquet *tf_sim*. Aquest node es vol fer servir per simular el sistema complet, és a dir, sistema format pel controlador més la planta en llaç tancat. El node se subscriu a la consigna de velocitat publicada pel node *step_sim_node* mitjançant un *topic* del tipus *tf_sim::Float32Stamped*, i publica la velocitat del cotxe calculada mitjançant dos mètodes alternatius per dos *topics* del mateix tipus *tf_sim::Float32Stamped*.
6. Completau el codi del node *system_sim_node*. Concretament, heu de completar el contingut de les funcions *direct_form_I* i *direct_form_II* amb el codi resultant de les equacions en diferències que heu obtingut en els punts 2 i 3, respectivament.

Per tal d'executar els nodes podeu fer servir el *launchfile* anomenat *system_sim.launch* situat en el mateix paquet. Recordeu que podeu especificar el valor de la consigna de velocitat mitjançant el paràmetre *magnitude* del node *step_sim_node*.

Nota: Fixau-vos que els valors publicats pels dos *topics* del node *system_sim_node* han de coincidir. Per tal de visualitzar aquests valors es recomana fer servir l'eina *rqt_plot*.

—— Part 2 ——

6 El controlador PID

Volem substituir el controlador anterior per un **controlador PID** genèric de la forma:

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de}{dt} + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (11)$$

on apareix un terme proporcional que depèn de l'error a l'instant t , $e(t)$, un terme derivatiu que depèn de la derivada de l'error respecte del temps, de/dt , i un terme integratiu que depèn de l'error acumulat $\int_0^t e(\tau) d\tau$. K_p , K_d i K_i són les tres constants que ens permeten configurar l'aportació de cada un d'aquests termes al senyal de control final.

7 Tasques a realitzar

7. Mirau-vos i intentau entendre el codi del node *plant_sim_node* del paquet *tf_sim*. Aquest node simula la planta (juntament amb l'actuador/pedal accelerador i el sensor de velocitat), rebent com a entrada la consigna del controlador i publicant la velocitat actual del vehicle.
8. Mirau-vos i intentau entendre el codi inacabat del node *pid_node* del paquet *control*. Aquest node ha d'implementar el controlador PID, rebent com entrades la consigna de velocitat publicada pel node *step_sim_node* i la velocitat actual del vehicle publicada pel node *plant_sim_node*. El resultat del controlador (és a dir, la consigna de control) es publica en el tòpic */pid/output*. Tots els tòpics esmentats són del tipus *tf_sim::Float32Stamped*.

9. Completa el codi del node *pid_node*. Concretament, heu de completar el contingut de la funció *exec_pid* amb el codi necessari per implementar l'equació 11. Aquesta funció rep com a paràmetre l'error actual. Per a la implementació teniu en compte els punts següents:
- Per al càlcul de la derivada de l'error cal que guardeu el valor de l'error a l'instant anterior.
 - Per al càlcul de la integral de l'error cal que guardeu el valor acumulat fins al moment. Per tal de limitar l'efecte del terme integral, el valor acumulat de l'error no ha de superar mai els límits $\pm \text{max_integ_error}$, i cal que feu el codi necessari per saturar-lo si es dona el cas. Fixau-vos que aquest límit es pot configurar mitjançant el paràmetre *max_integ_term*, que permet especificar el valor màxim de tot el terme integral, és a dir, considerant la constant K_i .
 - Considerant que en el nostre problema en particular la consigna de control és un percentatge (inclinació del pedal accelerador), cal que el resultat final estigui entre 0 i 100, i que es faci la saturació pertinent si el valor es troba fora d'aquest interval.
10. Simuleu el sistema amb el controlador implementat. Feu servir el *launchfile* anomenat *control_sim.launch* situat en el paquet *control* per llançar tots els nodes i simuleu el sistema amb una consigna de 30 m/s, una freqüència de mostreig de 10 Hz i els paràmetres de la planta indicats al final del document. Concretament, proveu les configuracions del controlador indicades a la taula següent i obteniu els valors de sobreoscil·lació (en anglès “overshoot”, M_p), el temps de pic (t_p), el temps d'establiment (t_s) al 2% i l'error a l'estacionari ($e_{ss} = V_d - V_{ss}$, on V_d és la velocitat desitjada i V_{ss} és la velocitat a l'estacionari). Podeu obtenir aquests valors del gràfic generat per l'eina *rgt_plot* que s'inicia amb l'esmentat *launchfile*.
- | | K_p | K_d | K_i | <i>max_integ_term</i> |
|----------------|-------|-------|-------|-------------------------|
| Configuració 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Configuració 2 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| Configuració 3 | 50 | 0 | 10 | 10 |
| Configuració 4 | 50 | 0 | 10 | 80 |
| Configuració 5 | 50 | 10 | 10 | 80 |
11. Compareu els resultats obtinguts amb les diferents configuracions i raoneu com afecta l'ajust de cada un dels paràmetres de control (K_p , K_d , K_i i *max_integ_term*) a la consigna de control generada pel PID i a la velocitat del vehicle.

8 Lliurament de la pràctica

El lliurament ha d'incloure els elements següents:

- La derivació manual de l'expressió del sistema enllaç tancat corresponent a la tasca 1.
- La derivació manual de les equacions en diferències en forma directa I corresponent a la tasca 2.
- La derivació manual de les equacions en diferències en forma directa II corresponent a la tasca 3.

- El codi complet i funcional del node *system_sym_node*, amb els comentaris adients (codi resultant de la tasca 6).
- El codi complet i funcional del node *pid_node*, amb els comentaris adients (codi resultant de la tasca 9).
- Una taula amb els paràmetres de rendiment resultants de les simulacions per a les diferents configuracions de paràmetres (tasca 10).
- Un anàlisi comparatiu on es raoni l'efecte dels diferents paràmetres en la consigna de control generada pel PID i en la velocitat del vehicle. Incloeu captures de pantalla de les gràfiques proporcionades per l'eina *rqt_plot* (tasca 11).

La data límit per al lliurament és el **dimecres 6 d'abril a les 23:55**. El lliurament es farà mitjançant *Aula Digital*.

Taula de paràmetres

	M	b	K
Grup 1	1000	80	20
Grup 2	1000	80	30
Grup 3	1200	80	20
Grup 4	1200	90	30

Trobareu el vostre nombre de grup a *Aula Digital*.