Hybrid Systems - Esercitazione finale

Ing. Gianmaria De Tommasi

European Master on Critical and Networked Systems

Giugno 2007

Sommario

1. Cambio automatico

Potenza e coppia di un motore

In un modello semplificato del motore di un automobile si può assumere la seguente dipendenza tra la potenza del motore P e la velocità di rotazione dell'asse ω:

$$P \leq \frac{1}{1250}\left(-\omega^3 + 700\omega^2 + 127500\omega\right).$$

Tenendo conto che la coppia fornita all'asse è $T = P/\omega$ si ha:

$$T \leq \frac{1}{1250}\left(-\omega^2 + 700\omega + 127500\right).$$

Cambio

La scatola del cambio *trasforma* la coppia disponibile e la velocità secondo le seguenti relazioni

$$T_d = pT \quad e \quad \omega_d = \frac{1}{p}\omega\,.$$

Dove p è una quantià che dipende dalla posizione del cambio:

$$p = \left\{p_1, p_2, p_3, p_4\right\},$$

con $p_1 > p_2 > p_3 > p_4$.

Forze

Se r è il raggio della ruota, allora la forza F che accellera l'auto e la sua velocità v sono date da:

$$F = \frac{T_d}{r} \quad e \quad v = r\omega_d \,.$$

La legge di Newton scritta per l'auto è:

$$M\dot{v} = F - F_l \,,$$

dove M è la massa dell'auto e F_l è la forza *resistente*, che può essere approssimata come:

$$F_l = kv^2 \mathrm{sign} v + Mg \sin\alpha \,.$$

Modello i-s-u a ciclo aperto

Sommario

Cambio automatico

Combinando le relazioni precedenti si ottiene:

$$\dot{v} = \frac{p_r}{M} T_d - \frac{k}{m} v^2 \mathrm{sign}\, v - g \sin \alpha \tag{1a}$$

$$\omega = p_r v \tag{1b}$$

dove $p_r = p/r$ e $p_r = \{p_{r_1}, p_{r_2}, p_{r_3}, p_{r_4}\}$

Il cambio automatico

Sommario

Cambio automatico

Il cambio automatico è progettato in maniera tale che la velocità di rotazione del motore sia compresa nell'intervallo $[\omega_l, \omega_h]$.
È possibile definire i valori di velocità ai quali effettuare il cambio di marcia come segue.

In salita

$$S_{i,i+1} = \left\{ v \in \mathbb{R} \mid v = \frac{1}{p_{r_i}} \omega_h \right\},$$

con $i = 1, 2, 3$.

In discesa

$$S_{i+1,i} = \left\{ v \in \mathbb{R} \mid v = \frac{1}{p_{r_i}} \omega_l \right\},$$

con $i = 1, 2, 3$.

Controllo di velocità

Se è presente anche un sistema di controllo della velocità, il modello del sistema controllato cambia.
Il sistema di controllo della velocità è un PI con compensazione in avanti della non linearità presente in (1).

$$T_{contr} = K_r \left(v_{ref} - v\right) + \frac{K_r}{T_r} \int \left(v_{ref} - v\right) dt + \frac{k}{p_r} v^2 \operatorname{sign} v \,.$$

Per assicurare buone prestazioni e stabilità ai vari regimi di funzionamento, K_r deve assumere valori diversi per diversi valori di p_r.

Modello i-s-u a ciclo chiuso

Sommario

Cambio automatico

Combinando il modello (1) con il controllore di velocità, e ponendo $x = \begin{bmatrix} v & \frac{K_{r_i}}{T_r} \int \left(v_{ref} - v \right) dt \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ e $u = \begin{bmatrix} v_{ref} & \sin\alpha \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$,si ottiene:

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} -\frac{p_{r_i} K_{r_i}}{M} & \frac{p_{r_i}}{M} \\ -\frac{K_{r_i}}{T_r} & 0 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} \frac{p_{r_i} K_{r_i}}{M} & -g \\ \frac{K_{r_i}}{T_r} & 0 \end{pmatrix} u \tag{2a}$$

$$\omega = \begin{pmatrix} p_{r_i} & 0 \end{pmatrix} x \tag{2b}$$

Bumpless

Per garantire una transizione *senza salti* in velocità durante i cambi di marcia è necessario effettuare il reset dell'azione integrale in accordo con le seguenti relazioni.

In salita

$$x_2(t^+) = \frac{p_{r_i}}{p_{r_{i+1}}} x_2(t^-),$$

con $i = 1, 2, 3$.

In discesa

$$x_2(t^+) = \frac{p_{r_{i+1}}}{p_{r_i}} x_2(t^-),$$

con $i = 1, 2, 3$.

Parametri del modello

Sommario

Cambio automatico

- $M = 1500\ Kg$
- $g = 9.8\ m/s^2$
- $p_{r_1} = 50,\ p_{r_2} = 32,\ p_{r_3} = 20,\ p_{r_4} = 14$
- $\omega_l = 230\ rad/s,\ \omega_h = 500\ rad/s$
- $T_r = 40$
- $K_{r_1} = 3.75,\ K_{r_2} = 5.86,\ K_{r_3} = 9.37,\ K_{r_4} = 13.39$