

# Testo del progetto

Luigi Palopoli e Giuseppe Lipari

2 maggio 2005

## 1 Introduzione

Scopo del presente documento é di presentare il progetto da eseguire nell'ambito del corso di Sistemi in Tempo reale (a.a. 2004/2005).

Il progetto consiste nel disegnare il controllo di trazione per un veicolo. Per semplicità verrà considerato solo la dinamica longitudinale e si approssimerà il veicolo con un unicycle.

Ai gruppi di studenti che realizzeranno il progetto richiesto il seguente lavoro:

- sintesi del controllo per diversi rapporti di trasmissione assumendo che il cambio possa essere manuale (per quanto attuato elettricamente) o automatico;
- progetto di un'interfaccia grafica che possa fungere da interfaccia uomo/macchina, comprensiva di:
  1. Strumentazione in lettura
    - contagiri
    - contachilometri
    - display della marcia correntemente innestata
    - indicatore della pressione dell'acceleratore
  2. acceleratore (associato ai tasti U/J per accelerazione/decelerazione)
  3. cambio sequenziale (associato ai tasti +/-); il tasto **A** permette di commutare il cambio tra le funzionalità manuale/automatico
- progetto di un'architettura software che preveda anche attività di diagnostica e di registrazione dati ("scatola nera").

## 2 Modello matematico

In tale contesto adotteremo una modellazione semplificata del veicolo trascurando le dinamiche laterali (il veicolo si muove in linea retta), e la resistenza aerodinamica. Inoltre, per semplicità, il veicolo stesso verrà approssimato con un unicycle. Ingressi del modello sono:

- coppia applicata  $\mathcal{T}_e$  applicata sull'albero motore,

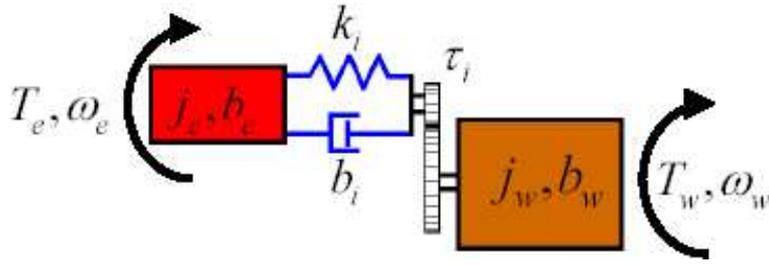


Figura 1: Schema di principio della trasmissione

- coefficiente di attrito volvente  $\mu$  della coppia strada/pneumatico.

Notare come l'unico ingresso a disposizione del progettista sia la coppia  $\mathcal{T}_e$ , i rimanenti due essendo disturbi esterni.

Uscite del modello (entrambe misurate):

- velocità di rotazione dell'albero motore  $\omega_e$
- velocità di rotazione della ruota  $\omega_w$

**Spostamento lineare del veicolo** Detta  $\mathcal{T}_w$  la coppia scambiata tra strada e ruota,  $r_w$  il raggio della ruota e  $M_v$  la massa del veicolo e è possibile scrivere:  $\dot{v}_v = \frac{\mathcal{T}_w}{M_v r_w}$

**Trasmissione** Il gruppo trasmissivo è modellizzata tenendo conto dei seguenti parametri (vedi figura 1):

- inerzia albero motore  $j_e$
- viscosità albero motore  $b_e$
- elasticità torsionale  $k_i$  dell'accoppiamento albero motore/cambio per il rapporto  $i - mo$
- viscosità torsionale  $b_i$  dell'accoppiamento albero motore/cambio per il rapporto  $i - mo$
- rapporto trasmissivo  $\tau_i$  per il rapporto  $i - mo$
- inerzia  $j_w$  e viscosità  $b_w$  dell'assale

Variabili di stato sono: la velocità angolare dell'albero motore  $\omega_e$ , la velocità angolare della ruota  $\omega_w$  l'angolo di torsione  $\alpha$ . Le equazioni di stato sono le seguenti:

$$\dot{\alpha} = \omega_e - \frac{1}{\tau_i} \omega_w \quad (1)$$

$$\mathcal{T}_e = j_e \dot{\omega}_e + b_e \omega_e + k_i \alpha + b_i \left( \omega_e - \frac{1}{\tau_i} \omega_w \right) \quad (2)$$

$$\frac{1}{\tau_i} \left[ k_i \alpha + b_i \left( \omega_e - \frac{1}{\tau_i} \omega_w \right) \right] = j_w \dot{\omega}_w + b_w \omega_w + \mathcal{T}_w \quad (3)$$

I parametri fisici di questo modello sono nel file “Parametri.m”. Per quanto riguarda il cambio di marcia, si suppone che esso sia associato ad un ritardo di  $100ms$  durante i quali i due elementi disaccoppiati (assale e albero motore) evolvono in maniera indipendente con le equazioni:

$$\mathcal{T}_e = j_e \dot{\omega}_e + b_e \omega_e \mathbf{1} \quad (4)$$

$$0 = j_w \dot{\omega}_w + b_w \omega_w + \mathcal{T}_w \quad (5)$$

$$(6)$$

**Scorrimento** Per quello che riguarda lo studio dell’attrito volvente, esiste una vasta letteratura basata sia su modellazioni fisiche che su tecniche empiriche. In questo contesto utilizzeremo una modellazione empirica nota come “Magic Formula”, piuttosto popolare nella letteratura tecnica. Introduciamo lo scorrimento longitudinale, definito come,  $\lambda = \frac{\omega_w r_w - v}{v}$ . Tale quantità esprime la differenza normalizzata tra la velocità di un punto della ruota e quella effettivamente “trasmessa” a terra. La forza di attrito  $F_w$  che opera sul pneumatico é data da:

$$F_w = D \sin(C \arctan(B\lambda - E(B\lambda - \arctan(B\lambda)))).$$

I vari parametri hanno il seguente significato:

- D attrito di picco
- C fattore collegato alla forma del pneumatico
- B fattore collegato alla rigidità del pneumatico
- E fattore legato alla curvatura del pneumatico

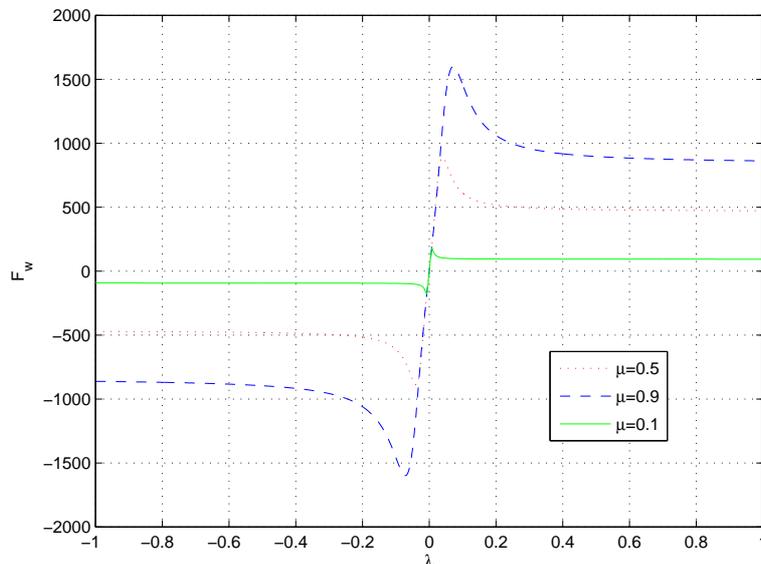
Tali fattori vengono stimati sperimentalmente per i vari veicoli/pneumatici. La cosa che per noi ha più interesse é il termine  $D = \mu F_z$ , essendo  $F_z$  la forza peso del veicolo (che grava sulla ruota).

In figura 2 riportiamo un grafico che esprime la forza di attrito per vari valori dell’attrito.

### Limitazioni Fisiche

- Velocità di rotazione dell’albero motore  $250Rpm \geq \omega_e \geq 6000Rpm$
- Massima coppia erogata  $\mathcal{T}_e \leq 176Nm$
- Minima coppia erogata  $\mathcal{T}_e \geq -20Nm$
- Limitazioni sul rate di variazione  $\dot{\mathcal{T}}_e \leq 2000Nm/s$

**Possibili estensioni** Lo studente può opzionalmente considerare un ritardo  $\tau_f$  (ad esempio dell’ordine di  $0.1s$ ) tra la richiesta della produzione di coppia motore e l’istante in cui essa viene effettivamente prodotta:  $\mathcal{T}_e = \mathcal{T}_e^{richiesta}(t - \tau_f)$ . Tale ritardo é dovuto alla differenza di tempi tra l’iniezione di carburante e la produzione della scintilla che genera la coppia.



### 3 Controllo

**Obbiettivi** Gli obbiettivi del controllo di trazione sono i seguenti:

- In caso di marcia regolare (cioè con pedale parzialmente premuto e con attrito costante), l'unico obbiettivo del controllo di evitare o almeno limitare oscillazioni della velocità angolare della ruota  $\omega_w$  che vengono percepite come fastidiose dall'utente; tali oscillazioni sono dovute ai poli complessi coniugati presenti nel sistema sopra descritto
- In caso di improvvisa pressione a fondo del pedale, l'utente comunica la sua volontà di scaricare la massima coppia sulla strada. Considerando la Magic Formula (vedi Fig. 2) questo corrisponde ad una ben precisa regolazione (per attrito fissato) in cui il controllore dovrà portare lo scorrimento, come per il punto precedente attenuando o eliminando le oscillazioni
- in caso di perdita di aderenza (dovuta ad un cambiamento dell'attrito) che porti lo scorrimento oltre il punto di massimo, il controllore dovrà esibire lo stesso comportamento di cui al punto precedente.

**Stima dell'attrito e della velocità** I parametri di attrito  $\mu$  e di velocità  $v_v$  non sono direttamente misurabili. Tuttavia si assume l'esistenza di una componente software *legacy* (per i nostri scopi una funzione C) che implementa uno stimatore e che restituisce istantaneamente  $\mu$  e  $v_v$

**Cambio automatico** Quando viene attivata la funzionalità cambio automatico, occorre che entri in funzione un blocco controllore che decide (insieme alla coppia motore) anche la marcia da applicare. Tale scelta frutto di considerazioni basate su consumi, emissioni e performance. La scelta tipicamente effettuata basata su delle mappe definite nel piano  $\omega_e, \mathcal{T}_e$ . Ad esempio aumentando oltre certi limiti la coppia i consumi diventano molto alti. Lo studente può scegliere una partizione di tale piano selezionata euristicamente.

## 4 Simulazione su Shark

Viene fornito un software funzionante sul sistema Shark che consiste di una task real-time che simula il sistema uniciclo. Scopo degli studenti e' di scrivere un software composto da un insieme di task real-time che

- realizzano il controllo;
- implementano l'interfaccia utente (input da tastiera e grafica);
- fanno il log degli ultimi 10 secondi di simulazione in memoria.

DA COMPLETARE

### 4.1 Gruppi di lavoro e modalità di presentazione

Il progetto può essere svolto in gruppi di lavoro di non più di 3 persone.

Non meno di 3 giorni prima dell'esame, gli studenti dovranno consegnare:

- Una relazione sulla realizzazione del software, con descrizione delle tecniche di controllo utilizzate e descrizione dell'architettura software
- Il software realizzato.

Il progetto può essere consegnato anche via e-mail, mandando la relazione e il software agli indirizzi:lipari@sssup.it e palopoli@sssup.it.