



VAB - Veicolo auto bilanciato

Relazione di progetto

Laboratorio di Sistemi Meccatronici II
Università degli Studi di Bergamo

Kilometro rosso

A.A. 2019/2020

CALEGARI ANDREA - 1041183
PIFFARI MICHELE - 1040658

May 7, 2020

Contents

1	Introduzione	1
I	Dinamica	3
2	Scomposizione del VAB	5
2.1	Considerazioni iniziali	5
2.2	Grandezze di supporto	5
2.3	Calcolo componenti dinamiche e potenziali per ogni corpo rigido del sistema	6
2.3.1	Asta	7
2.3.2	Chassis	7
2.3.3	Utente	7
2.3.4	Ruota	7
II	Controllo	9
3	OPC - UA	11

List of Figures

2.1	Baricentri dei singoli corpi rigidi	6
2.2	Lunghezze di supporto	6

1

Introduzione

L'approccio seguito per la stesura del modello dinamico del veicolo autobilanciato ha da subito preso una via meno *tradizionale* rispetto al classico metodo risolutivo: abbiamo infatti preferito, data il nostro *background* informatico, approcciare il problema direttamente in ambiente Matlab, sfruttando sin da subito le potenzialità di calcolo offerte dal software di *Mathworks*.

Nello specifico, per la parte di stesura e definizione della dinamica, abbiamo inizialmente seguito una via risolutiva duale, portando avanti sia un'analisi letterale, sfruttando le potenzialità del **calcolo simbolico** messe a disposizione delle funzionalità di **live scripting**, sia uno studio numerico (considerando quindi le varie grandezze fisiche con i valori definiti delle specifiche di progetto).

In linea di massima lo sviluppo del progetto ha seguito un andamento a step gradualmente, cadenzati da incontri settimanali in cui poter confrontare e consolidare lo *stato di avanzamento dei lavori*: nello specifico, il lavoro ha seguito uno sviluppo in questa direzione, step by step, rappresentabile in linea di massima da queste *pietre miliari*:

- **Dinamica di ogni singolo corpo rigido**: abbiamo impostato il problema della dinamica andando a considerare il veicolo auto bilanciato come un insieme di corpi rigidi di cui poterne studiare la dinamica in maniera separata;
- **Dinamica completa del VAB**: siamo andati poi a considerare il sistema nella sua completezza, andando ad unire i contributi dei corpi rigidi considerati in prima battuta singolarmente;
- **Linearizzazione**: TODO
- **Definizione del controllo**: prima lineare poi non lineare TODO
- **Discretizzazione**: TOOD
- TODO altri step

TODO: note varie

Part I

Dinamica

2

Scomposizione del VAB

2.1 Considerazioni iniziali

Per il calcolo delle equazioni dinamiche del sistema siamo andati a considerare ogni singolo corpo rigido componente il sistema, calcolandone le grandezze fisiche di posizione e velocità, seguendo un approccio cartesiano. Nello specifico abbiamo considerato il sistema composto da:

- Asta
- Utente a bordo dello chassis
- Chassis (nel corso della trattazione sarà chiamata talvolta anche base)
- Ruota (che poi sarà considerata con un contributo, essendo il VAB composto da due ruote)

Ognuno di questi corpi rigidi separati è individuato da un punto, che ne rappresenta il centro di massa (o baricentro del corpo stesso): avremo quindi questo insieme di punti caratterizzanti il sistema (figura 2.1)

- P_a
- P_b
- P_c
- P_r

2.2 Grandezze di supporto

Prima di andare a definire le componenti di energia potenziale e cinetica di ogni singolo corpo, siamo andati ad introdurre alcune grandezze geometriche di supporto che definiremo qui di seguito.

Nello specifico abbiamo introdotto i seguenti parametri, specificati anche in figura 2.2:

- l_a : rappresenta la congiungente tra il centro del sistema di riferimento e il centro dell'asta, utilizzata appunto come manubrio, che abbiamo individuato come

$$\sqrt{\left(\frac{h_a}{2} + \frac{h_b}{2}\right)^2 + \left(\frac{w_b}{2}\right)^2}$$

- l_c : (TODO: check) questa grandezza invece rappresenta per noi l'altezza del baricentro del corpo dell'utente, la quale ovviamente andrà a dipendere dal valore di inclinazione del corpo stesso. Considerando il corpo inizialmente in posizione verticale, avremo che questa grandezza corrisponde alla congiungente dal centro del sistema di riferimento al punto P_c , che equivale a dire che

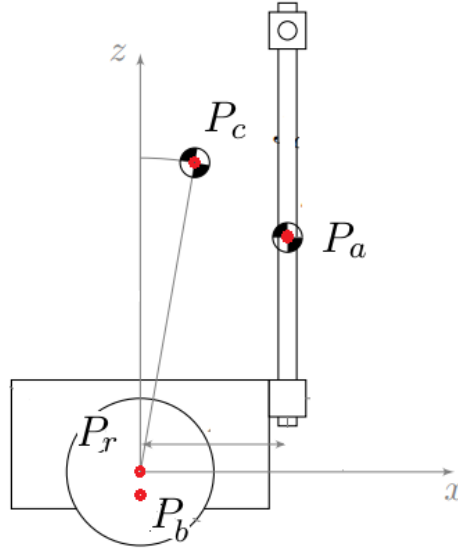


Figure 2.1: Baricentri dei singoli corpi rigidi

$$l_c = 0.55 \bullet h_c + \frac{h_b}{2}$$

- l_b : spostamento verso il basso, lungo l'asse z , del baricentro dello chassis. Da specifiche del progetto sappiamo che questa grandezza ha valore (con segno negativo) di:

$$l_b = 0.1m$$

- β : angolo formato con la verticale dalla congiungente tra il centro del sistema di riferimento e il punto P_a . Si ricava, con un semplice approccio trigonometrico, che l'angolo in questione ha questa forma

$$\arctan\left(\frac{\frac{w_b}{2}}{\frac{h_a}{2} + \frac{h_b}{2}}\right)$$

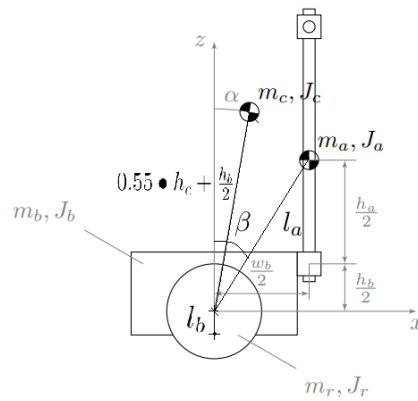


Figure 2.2: Lunghezze di supporto

2.3 Calcolo componenti dinamiche e potenziali per ogni corpo rigido del sistema

Per ognuno dei corpi rigidi definiti in precedenza siamo andati appunto a calcolare:

- **Coordinate spaziali \mathbf{P}** espresse nel sistema di riferimento XZ. A queste due coordinate cartesiane ne va aggiunta una terza, relativa alle coordinate angolari (per poter tener così conto dei contributi inerziali);
- **Vettore delle velocità \mathbf{V}** \rightarrow vettore 3×1
- **Matrice delle masse \mathbf{M}** \rightarrow matrice 3×3
- **Energia cinetica \mathbf{T}** $\rightarrow \frac{1}{2} \bullet \mathbf{V}^T \bullet \mathbf{M} \bullet \mathbf{V}$
- **Energia potenziale \mathbf{U}**
- **Lagrangiana *parziale* \mathbf{L}**

2.3.1 Asta

- $$\mathbf{P}_a = \begin{pmatrix} r \phi(t) + l_a \sin(\beta + \theta(t)) \\ l_a \cos(\beta + \theta(t)) \\ \theta(t) \end{pmatrix}$$
- $$\mathbf{V}_a = \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{P}_a(t) = \begin{pmatrix} r \dot{\phi} + l_a \cos(\beta + \theta(t)) \dot{\theta} \\ -l_a \sin(\beta + \theta(t)) \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix}$$
- $$\mathbf{M}_a = \begin{pmatrix} m_a & 0 & 0 \\ 0 & m_a & 0 \\ 0 & 0 & m_a l_a^2 + J_a \end{pmatrix}$$
- $$T_a = m_a l_a^2 \left(\frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2 + \frac{m_a r^2 \left(\frac{\partial}{\partial t} \phi(t) \right)^2}{2} + \frac{J_a \left(\frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \right)^2}{2} + m_a \cos(\beta + \theta(t)) l_a r \frac{\partial}{\partial t} \theta(t) \frac{\partial}{\partial t} \phi(t)$$

2.3.2 Chassis

2.3.3 Utente

2.3.4 Ruota

Part II

Controllo

3

OPC - UA

Bibliography

[1] *bla bla bla* blablabla