

CONTROLLO PREDITTIVO DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE ELETTROMECCANICO CON “BACKLASH”

Alberto Oliveri¹, Luca Cassottana¹, Andrea Formentini¹, Mario Marchesoni¹, Marco Storace¹

¹Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni (DITEN)
Università di Genova, Via Opera Pia 11a, 16015, Genova (GE), e-mail alberto.oliveri@unige.it

Parole chiave: Model Predictive Control, sistema di trasmissione, backlash

Abbiamo preso in esame un sistema meccanico composto da un motore in corrente alternata (con momento di inerzia J_m e coefficiente di attrito viscoso b_m) connesso ad un carico rotante (con momento di inerzia J_l e coefficiente di attrito viscoso b_l) mediante un albero di trasmissione elastico dotato di un ingranaggio (si veda Fig. 1 per una rappresentazione grafica). Il motore genera una coppia motrice T_m e l'albero (con costante elastica c e fattore di smorzamento b) può a sua volta generare una coppia T_s . Si considera inoltre una coppia di disturbo T_l agente sul carico.

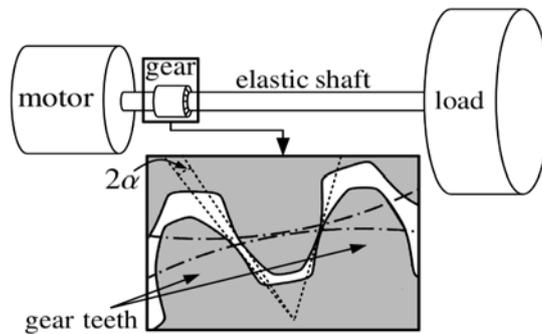


Fig. 1: Rappresentazione schematica del sistema di trasmissione considerato.

La presenza dell'ingranaggio introduce il fenomeno del *backlash* (“gioco”), che provoca un disaccoppiamento temporaneo del carico dal motore, quando quest'ultimo passa da accelerazione a frenata e viceversa. L'angolo di gap del backlash è indicato con 2α (Fig. 1).

Tale sistema presenta due diverse dinamiche lineari, una valida quando motore e carico sono accoppiati (*contact*) e l'altra quando risultano disaccoppiati (*backlash*). È possibile pertanto utilizzare un modello lineare a tratti:

$$\dot{x} = \begin{cases} A_{co}x + Bu + fw & (\text{contact}) \\ A_{bl}x + Bu + fw & (\text{backlash}) \end{cases}$$

con $x = [\omega_m \ \omega_l \ \theta_m \ \theta_l \ \theta_b]$, $u = T_m$, $w = T_l$, dove $\theta_m, \omega_m, \theta_l, \omega_l$ sono gli angoli (rispetto ad un riferimento comune) e le velocità angolari di motore e carico, rispettivamente, mentre θ_b è l'angolo di backlash. Tutti i dettagli relativi a questo modello sono illustrati in [1].

Abbiamo realizzato un controllore di tipo Model Predictive Control (MPC) esplicito [2] per la regolazione della velocità del carico (ω_l) a un riferimento desiderato (ω_{ref}) imponendo un'opportuna coppia motrice (T_m). Essendo il sistema lineare a tratti, abbiamo progettato un controllore di tipo *switched*, ossia differente in corrispondenza di ciascuna dinamica del sistema.

Quando il sistema si trova in modalità *contact*, si possono definire due diverse dinamiche: *contatto positivo* (PC), quando $\Delta\theta = \theta_m - \theta_l \geq \alpha$ e *contatto negativo* (NC), quando $\Delta\theta \leq -\alpha$. Abbiamo pertanto progettato due diverse funzioni di controllo $u_{PC}(x)$ e $u_{NC}(x)$ che risultano essere funzioni lineari a tratti dello stato, definite su una partizione politopica del dominio composta da 9 regioni.

Quando il sistema si trova in modalità *backlash*, motore e carico risultano disaccoppiati; non è pertanto possibile controllare la velocità del carico agendo sulla coppia motrice. L'obiettivo del controllo, in questo caso, è connettere il carico al motore nel più breve tempo possibile. Ciò significa in pratica portare $\Delta\theta$ ad α (*backlash positivo*, PB) oppure a $-\alpha$ (*backlash negativo*, NB) in dipendenza dal segno di $e_l = \omega_l - \omega_{ref}$. Abbiamo dunque progettato due diverse funzioni di controllo $u_{PB}(x)$ e $u_{NB}(x)$ che risultano essere funzioni lineari a tratti dello stato, definite su una partizione composta da 15 regioni.

In conclusione abbiamo progettato 4 diversi controllori MPC, e la scelta tra un controllore e l'altro viene effettuata in base a $\Delta\theta$ e e_l , come mostrato in Fig. 2.

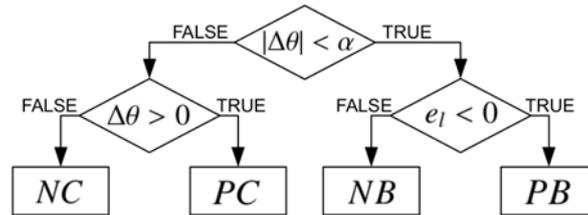


Fig. 2: Diagramma che mostra le condizioni di switching tra i quattro controllori MPC

La Fig. 3 mostra l'andamento di ω_l , $\Delta\theta$ e T_m simulando il sistema controllato mediante il controllore MPC (linee tratteggiate) e mediante un semplice controllore *proportional-integral* (linee continue).

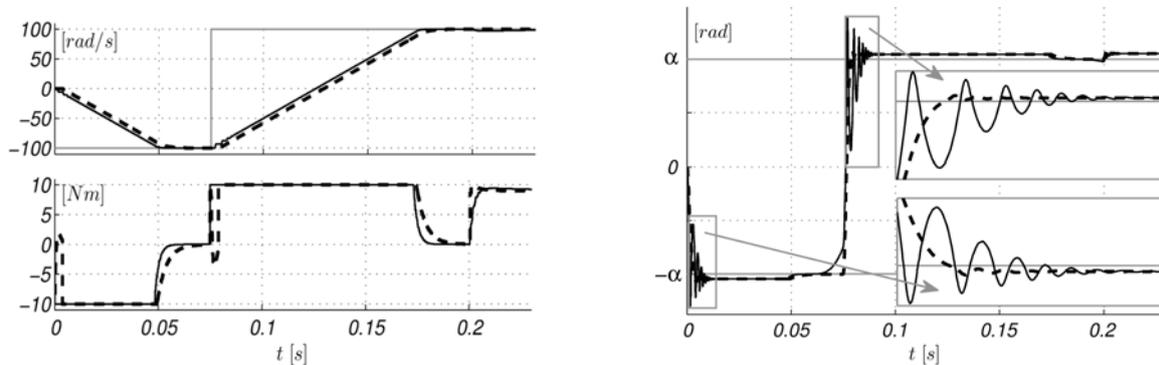


Fig. 3: Evoluzione temporale di ω_l (in alto a sinistra), $\Delta\theta$ (in basso a sinistra) e T_m (a destra)

Si può osservare che entrambi i controllori (MPC e PI) permettono una corretta regolazione di ω_l . Il controllore MPC, tuttavia, consente di rimuovere completamente i rimbalzi sui denti dell'ingranaggio (come evidenziato nei riquadri ingranditi del pannello di destra).

Risultati più dettagliati sul lavoro svolto possono essere reperiti in [3].

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Rostalski, T. Besselmann, M. Baric, F. Van Belzen, and M. Morari. A hybrid approach to modelling, control and state estimation of mechanical systems with backlash. *Int. J. of Control*, 80(11):1729–1740, 2007.
- [2] A. Bemporad, M. Morari, V. Dua, and E. N. Pistikopoulos. The explicit linear quadratic regulator for constrained systems. *Automatica*, 38(1):3–20, 2002.
- [3] A. Oliveri, L. Cassottana, A. Formentini, M. Marchesoni, and M. Storage. Model Predictive Control of a powertrain system with backlash. Sottoposto per pubblicazione all'International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2014), Lucerna (CH), 14-18 Settembre 2014.