



**Università degli Studi di Pavia**  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica

# **MODELLING AND CONTROL OF COOPERATIVE ROBOT MANIPULATORS**

Autore: **Gian Paolo Incremona**  
Relatore: **Chia.ma Prof. Antonella Ferrara**  
Correlatore: **Chia.mo Prof. Ezio Bassi**

A.A. 2011-2012

Il presente lavoro si occupa di robotica cooperante e, in particolare, del controllo di manipolatori robotici cooperanti. A partire dal concetto di Sistema di Sistemi (SoS), in base al quale un sistema costituito da più agenti in grado di cooperare per il raggiungimento di un obiettivo comune garantisce prestazioni migliori e l'impiego di minori risorse rispetto a quelle fornite da un sistema compatto più complesso, è stato realizzato un schema di controllo per un sistema multi-robot.

La fase iniziale di questo progetto di tesi ha riguardato la caratterizzazione del modello cinematico e dinamico del sistema robotico considerato, costituito da due manipolatori robotici e un oggetto rigido da essi manipolato. Successivamente è stata definita un'architettura funzionale adatta allo scopo che questa tesi si propone. L'architettura scelta prevede più livelli gerarchici e in particolare una parte di supervisione e una parte di controllo distribuita sui manipolatori robotici. L'obiettivo è stato quindi quello di progettare un sistema di controllo basato su un semplice supervisore per generare le traiettorie desiderate di robot che lavorano in sincronia, a partire dalla traiettoria desiderata di un oggetto che deve essere manipolato. Il modello dinamico dell'intero sistema, che include anche l'oggetto, è formulato considerando gli aspetti cinematici e dinamici di ogni sistema-elemento del Sistema di Sistemi.

Uno schema di controllo ibrido posizione/forza è stato proposto per ogni agente. Questo include controllori di posizione e forza basati su un approccio di controllo di tipo Sliding Mode. I controllori di tipo Sliding Mode rappresentano una categoria di algoritmi avanzati in grado di assicurare ottime proprietà di robustezza del sistema controllato a fronte di disturbi esterni e in presenza di inevitabili incertezze di modello. Queste proprietà permettono di garantire benefici sia dal punto di vista dell'implementazione dell'algoritmo, sia in termini di inseguimento dei riferimenti considerati. L'utilizzo di controllori Sliding Mode nel campo della robotica risulta inoltre innovativo. I controllori utilizzati attualmente sono per lo più di tipo Proporzionale-Integrale-Derivativo, ma si tratta di algoritmi non in grado di garantire la robustezza del sistema controllato a fronte di una vasta categoria di disturbi. La possibilità di utilizzare algoritmi di tipo Sliding Mode, in grado di risolvere questi problemi, risulta interessante e competitiva non solo in robotica ma in generale per sistemi industriali elettromeccanici.

Lo schema realizzato e i controllori utilizzati sono stati simulati con il toolbox Simulink di MATLAB. Questa fase di simulazione assai rilevante è stata fondamentale per comprendere tutti gli aspetti legati alle proprietà di stabilità dello schema proposto e i possibili problemi legati all'interazione reciproca dei manipolatori e con l'ambiente circostante. A questa fase di validazione ne è seguita un'altra, durante la quale le prove simulate sono state riproposte su un sistema robotico reale del tipo COMAU SMART3-S2, con l'ottenimento di risultati soddisfacenti e coerenti con quelli ottenuti in simulazione.

Sulla base della letteratura, l'approccio proposto risulta originale, e il presente lavoro di tesi è stato anche oggetto di una pubblicazione dal titolo '*A Supervisory Sliding Mode Control Approach for Cooperative Robotic System of Systems*', sulla rivista IEEE SYSTEMS JOURNAL in occasione della Special Issue su 'System of Systems Engineering in cooperative and competitive distributed decision making for complex dynamic systems'.