

Interazione Uomo-Robot per l'Esecuzione Collaborativa di Compiti Strutturati

Alberto Finzi, Riccardo Caccavale, Vincenzo Lippiello, Luigi Villani, Bruno Siciliano

PRISMA Lab, DIETI, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

{alberto.finzi,riccardo.caccavale, vincenzo.lippiello,lvillani,siciliano}@unina.it

Abstract

I robot collaborativi lavorano a stretto contatto con gli operatori umani e devono garantire una interazione sicura, naturale ed efficace. In questo scenario, l'esecuzione collaborativa di compiti strutturati richiede il continuo monitoraggio delle attività dell'operatore umano e il contemporaneo adattamento delle operazioni del sistema robotico mantenendo la coerenza dell'esecuzione. Abbiamo affrontato queste tematiche considerando problematiche di supervisione ed orchestrazione di task collaborativi, interazione multimodale, interazione fisica e apprendimento per dimostrazione.

1 Introduzione

I robot collaborativi (*Cobots*) sono sistemi robotici progettati per interagire in ambiente industriale a stretto contatto con gli operatori umani in spazi di lavoro condivisi. L'effettivo dispiegamento di queste tecnologie richiede sistemi che consentano una interazione sicura, naturale ed efficace tra uomo e robot durante l'esecuzione di attività industriali (assemblaggio, kitting, trasporto, etc.). In questo contesto siamo particolarmente interessati a metodi per la generazione ed esecuzione di compiti collaborativi strutturati che consentano una interazione flessibile, naturale e sicura tra operatori e sistemi robotici. In ambito industriale, un sistema robotico è infatti spesso dotato di compiti strutturati da svolgere, in contesto collaborativo questa esecuzione deve essere continuamente adattata alle attività e agli interventi degli operatori umani. Questo scenario operativo richiede la continua interpretazione delle attività e delle intenzioni dell'operatore e la contemporanea orchestrazione delle operazioni del sistema robotico mantenendo una coerente ed efficiente esecuzione dei compiti condivisi. Di seguito illustriamo le principali tematiche affrontate, gli approcci proposti ed i progetti in cui sono stati implementati i metodi descritti.

2 Supervisione ed orchestrazione

L'interazione tra operatori ed robot collaborativi può essere molto complessa (multimodale, verbale e non verbale, esplicita o implicita, ecc.) e deve essere supportata da diversi meccanismi di supervisione (riconoscimento dello sta-

to/attività/intenzione dell'operatore, monitoraggio dell'attenzione e del carico cognitivo, coordinamento delle azioni, gestione del dialogo, etc.). Tali meccanismi devono essere integrati nel ciclo di controllo del sistema robotico per consentire una orchestrazione sicura, flessibile e naturale delle attività collaborative uomo-robot. Diversi approcci sono stati proposti in letteratura per affrontare questa problematica, quello dominante si basa sul paradigma della continua ripianificazione dei compiti per adattare il comportamento dei robot a quello degli agenti umani coinvolti nell'interazione. Questo paradigma permette un certo grado di integrazione e coordinazione, tuttavia il processo continuo di pianificazione/ripianificazione può alterare la naturalezza, la prevedibilità e l'efficacia dell'interazione. Per consentire una collaborazione uomo-robot più naturale abbiamo sviluppato un sistema di supervisione ed orchestrazione dei piani collaborativi basato sul paradigma del *controllo cognitivo*, concetto introdotto dalla psicologia cognitiva per descrivere i meccanismi esecutivi che permettono risposte adattive in comportamenti finalizzati. In particolare, facendo riferimento al modello del *Supervisory Attentional System* [Norman and Shallice 1986], abbiamo sviluppato un sistema di supervisione basato su meccanismi attenzionali. Il sistema esecutivo proposto coordina e monitora l'esecuzione di piani cooperativi gerarchicamente organizzati e combina regolazioni attenzionali top-down e bottom-up per facilitare l'esecuzione dei processi desiderati, inibendo al contempo quelli inappropriati [Caccavale e Finzi, 2017; Caccavale *et al.*, 2016]. Questo paradigma non solo permette l'esecuzione flessibile e adattiva di piani collaborativi gerarchicamente organizzati, ma integra anche meccanismi (monitoraggio e manipolazione dell'attenzione, attenzione congiunta, facilitazione dell'azione, abitudine, etc.) considerati come cruciali per l'interazione e la comunicazione uomo-robot.

3 Interazione fisica e co-manipolazione

Durante l'esecuzione collaborativa di compiti di manipolazione l'uomo ed il robot lavorano in stretta coordinazione e a contatto fisico. In questo scenario occorre monitorare ed interpretare l'interazione fisica tra uomo e robot per adattare l'esecuzione delle operazioni collaborative. Abbiamo affrontato queste problematiche considerando il caso di un operatore che interagisce fisicamente con un robot collaborativo per svolgere compiti complessi di co-manipolazione (ve-

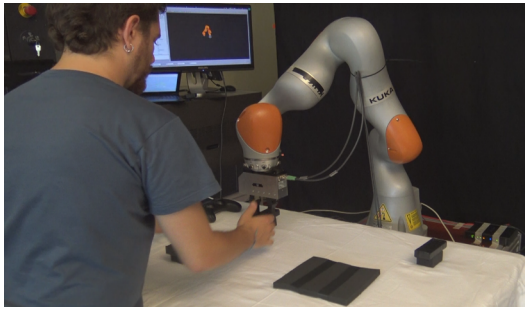


Figura 1: Interazione fisica con robot collaborativo.

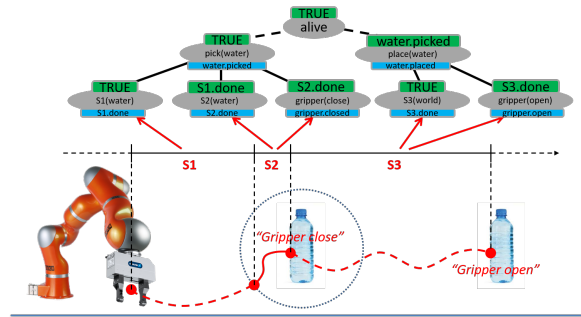


Figura 2: Apprendimento di un task strutturato da dimostrazione.

di Fig. 1). Assumendo il sistema di supervisione dotato di piani gerarchicamente rappresentati, gli interventi dell'utente durante le operazioni di co-manipolazione possono essere confrontati con le attività pianificate per stimare le intenzioni dell'operatore e adattare l'esecuzione. L'adattamento può avvenire a diversi livelli di astrazione: dall'aggiustamento della traiettoria al cambio del target dell'operazione fino al cambio dell'attività o dell'intero piano di azione. In questo scenario, la guida fornita dal piano collaborativo e la guida fisica fornita dall'operatore sono in continuo dialogo e la cedevolezza del robot durante l'interazione può essere opportunamente regolata. Questa modalità di interazione è stata provata in compiti di assemblaggio cooperativo [Cacace *et al.*, 2018].

4 Apprendimento per dimostrazione

I sistemi robotici collaborativi devono potersi adattare continuamente a nuove operazioni e modalità di interazione. In questo ambito abbiamo investigato e sviluppato metodi per consentire ad un robot collaborativo di imparare ad eseguire compiti strutturati a partire dalle dimostrazioni di un operatore. In questo caso l'interazione fisica uomo-robot consente dimostrazioni cinestetiche di compiti strutturati: l'apprendimento cinestetico permette all'operatore di guidare fisicamente il robot per dimostrare l'esecuzione di un compito. Nel sistema proposto, la dimostrazione del compito viene monitorata dal sistema di supervisione e automaticamente segmentata in movimenti di primitivi, che vengono contemporaneamente incapsulati in un compito gerarchicamente organizzato (vedi Fig. 2). D'altra parte, il sistema di supervisione consente anche l'esecuzione flessibile delle attività collaborative apprese (vedi Sezione 2), in questo modo i processi di insegnamen-

to/apprendimento ed esecuzione possono essere strettamente integrati [Caccavale *et al.*, 2018].

5 Progetti

Di seguito si elencano i progetti in corso e passati in cui le tematiche descritte sono state affrontate.

ICOSAF. Il progetto (PON R&I 2014-2020) ha come finalità lo sviluppo e l'integrazione di tecnologie e soluzioni per una fabbrica cooperativa con una stretta integrazione dell'operatore con i sistemi di automazione collaborativa. In questo ambito le problematiche di supervisione, orchestrazione ed interazione fisica sono applicate a scenari di manifattura flessibile.

REFILLS. Il progetto (H2020-ICT-731590) ha come finalità il miglioramento della logistica per i supermarket attraverso l'impiego di piattaforme robotiche; in particolare il progetto è focalizzato sulla gestione degli articoli sugli scaffali (smart shelf refilling). In questo contesto le tematiche di supervisione, orchestrazione ed interazione sono state applicate a scenari di logistica e processi di depallettizzazione.

RoMoLo. Il progetto RoMoLo (Robot Modulari per la Logistica Ospedaliera) supportato dal MISE (EU-funded Actions for R&D, Horizon 2020) propone robot per la logistica ospedaliera. In questo contesto sistemi di supervisione ed esecuzione dei compiti strutturati sono applicati a robot mobili in scenari di pick-and-delivery.

SAPHARI. Il progetto (FP7-ICT IP 287513) aveva come obiettivo lo sviluppo di tecnologie e metodi per la robotica collaborativa considerando autonomia, sicurezza, robustezza, efficienza e facilità d'uso. In questo contesto sono stati affrontate tematiche di generazione e orchestrazione di task complessi, interazione uomo-robot e apprendimento.

DEXMART. Il progetto (FP7-ICT IP 216239) era focalizzato sul tema della bi-manipolazione robotica. In questo contesto sono state investigate tecniche per il monitoraggio dell'interazione uomo-robot durante l'esecuzione di attività collaborative.

Riferimenti bibliografici

- [Cacace *et al.*, 2018] Jonathan Cacace, Riccardo Caccavale, Alberto Finzi, e Vincenzo Lippiello. Interactive plan execution during human-robot cooperative manipulation. *IFAC-PapersOnLine*, 51:500–505, 2018.
- [Caccavale *et al.*, 2016] Riccardo Caccavale, Jonathan Cacace, Michelangelo Fiore, Rachid Alami, e Alberto Finzi. Attentional supervision of human-robot collaborative plans. In *RO-MAN 2016*, pages 867–873, 2016.
- [Caccavale *et al.*, 2018] Riccardo Caccavale, Matteo Savariano, Alberto Finzi, e Dongheui Lee. Kinesthetic teaching and attentional supervision of structured tasks in human-robot interaction. *Autonomous Robots*, 2018.
- [Caccavale e Finzi, 2017] Riccardo Caccavale e Alberto Finzi. Flexible task execution and attentional regulations in human-robot interaction. *IEEE Trans. on Cog. and Devel. Systems*, 9(1):68–79, 2017.