

Soluzioni di Planning & Scheduling per Sistemi di Produzione Avanzati e Robotica Collaborativa

Alessandro Umbrico, Amedeo Cesta, Gabriella Cortellessa, Andrea Orlandini, Riccardo Rasconi

Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione

Consiglio Nazionale delle Ricerche

nome.cognome@istc.cnr.it

Abstract

Questo breve articolo descrive sinteticamente le attività di ricerca svolte nel laboratorio di Planning and Scheduling Technology (PST) dell'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del CNR (CNR-ISTC) nell'ambito di progetti di ricerca nell'area dei sistemi di produzione (flessibili e riconfigurabili) e della robotica collaborativa. In particolare modo, si presenta l'applicazione di tecniche di Pianificazione Automatica e Scheduling in diversi progetti di ricerca svolti, e ancora in corso, nell'ambito del contesto industriale.

1 Introduzione

Il gruppo di ricerca del laboratorio di Planning and Scheduling Technology (PST) dell'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del CNR è stato fondato nel 1997 come un gruppo di ricerca focalizzato su tecniche di Intelligenza Artificiale (IA) per la risoluzione di problemi di Planning and Scheduling (P&S). Il gruppo ha ottenuto importanti risultati nell'ambito del constraint reasoning, (meta) heuristics for scheduling, mixed-initiative problem solving, timeline-based planning. Negli ultimi dieci anni, il gruppo ha allargato i suoi interessi di ricerca verso nuove aree acquisendo importanti competenze in particolar modo nel contesto del manifatturiero lavorando in progetti nazionali e internazionali. Questo abstract descrive sinteticamente i risultati ottenuti nell'ambito dei sistemi di produzione avanzati (flessibili e riconfigurabili) e della robotica collaborativa. Il gruppo infatti lavora allo sviluppo di soluzioni innovative per il controllo di sistemi industriali (meccatronici e robotici).

2 Sistemi di Produzione Flessibili e Riconfigurabili

Il lavoro svolto ha riguardato la definizione, progettazione e sviluppo di tecnologie abilitanti per equipaggiare sistemi di produzione con la capacità di adattarsi e anticipare i cambiamenti e l'evoluzione dei requisiti di produzione, uno dei fattori cruciali per sistemi di produzione altamente automatizzati per competere negli ambienti di produzione contemporanei.

2.1 Soluzioni per Flexible Manufacturing Systems

Abbiamo sviluppato tecnologie innovative per sistemi di produzione flessibili (Flexible Manufacturing Systems - FMSs). Tali sistemi hanno la capacità di prevedere le evoluzioni della produzione e garantire soluzioni adatte a diverse tipologie di lavorazione. Quindi, tali sistemi sono progettati considerando un insieme di gradi di flessibilità sulla base di eventi predefiniti che possono essere rilevati ogni volta che occorre un cambiamento durante la produzione. Nell'ambito dell'Accordo Quadro stipulato tra Regione Lombardia e Consiglio Nazionale delle Ricerche, e del Progetto "Processi high tech e prodotti orientati al consumatore per la competitività del manifatturiero lombardo", il gruppo si è occupato di implementare un sistema di controllo intelligente per FMSs capace di operare a diversi livelli. Specificatamente, il lavoro ha proposto lo sviluppo di un sistema innovativo per il controllo sia del livello di production scheduling che di automation. Il principale vantaggio raggiunto è la capacità di tale sistema di generare dinamicamente piani di attività (schedule) poi eseguiti a livello di automazione, monitorati concorrentemente nel tempo, così che ogni anomalia di produzione o malfunzionamento del sistema possa essere dinamicamente interpretato e, come conseguenza, il piano di attività venga adattato on-line rigenerando un nuovo schedule. È stata così realizzata una *closed loop architecture* che integra sia la parte di controllo che di automazione [Carpanzano *et al.*, 2011] capace di gestire anche sorgenti di incertezza legate principalmente alla disponibilità di risorse o possibili fallimenti di macchine di lavorazione [Carpanzano *et al.*, 2012].

2.2 Controllo Riconfigurabile e Adattativo

Abbiamo lavorato anche su sistemi di produzione riconfigurabili (Reconfigurable Manufacturing Systems - RMSs) per realizzare un insieme di "abilitatori" che possono essere legati a singoli componenti del sistema o all'intero sistema di produzione. Il ruolo di ogni "abilitatore" è quello di implementare una riconfigurazione corretta ed efficace del sistema di controllo come risposta ad un cambiamento del sistema di produzione. Nell'ambito del progetto bandiera Fabbrica del futuro, e del sotto-progetto "Generic Evolutionary Control Knowledge-based mOdule" (GEC-KO), il cui scopo è proporre una infrastruttura di controllo adattiva in cui l'ambiente di produzione viene modellato come un gruppo di moduli autonomi che cooperano tra di

loro. Il gruppo ha lavorato su un part routing problem per un Reconfigurable Transportation System composto da un insieme di moduli trasporto riconfigurabili per il trasporto di pallet. Più specificatamente sono state sviluppate delle soluzioni innovative per la generazione dinamica di cammini per i pallet in modo tale che i workplan di lavorazione fossero completati correttamente [Carpanzano *et al.*, 2014; Carpanzano *et al.*, 2016]. L'integrazione originale di tecnologie semantiche e soluzioni di P&S ha permesso la definizione di servizi software che rendono capaci i singoli moduli di trasporto di "scoprire" le proprie capacità funzionali e collaborare con gli altri moduli presenti nell'ambiente di produzione implementando così un sistema collaborativo multi-agente. Il risultato chiave raggiunto nel progetto GECKO è stato la realizzazione di una infrastruttura di controllo decentralizzata e flessibile per RMS [Borgo *et al.*, 2016]. Il sistema realizzato è stato validato in un impianto pilota per il demanufacturing presente a Milano presso l'ITIA-CNR. Il risultato più originale del progetto è stata la definizione di un nuovo approccio al controllo capace di sfruttare soluzioni di Knowledge Representation and Reasoning e P&S [Borgo *et al.*, 2018].

3 Collaborazione Uomo-Robot Sicura

Più recentemente, il gruppo ha sviluppato delle soluzioni innovative di P&S per controllare robot industriali nel contesto della Safe Human-Robot Collaboration (HRC). I molti passi avanti effettuati nello sviluppo di tecnologie per la sicurezza hanno favorito l'implementazione di celle robotiche in cui potessero lavorare anche operatori umani in scenari industriali reali. D'altro canto, la presenza limitata di soluzioni efficaci per il motion planning e lo scheduling in HRC è un fattore che ne sta limitando la diffusione. I metodi standard infatti non sono in grado di gestire la alta variabilità dei tempi di esecuzione del robot causata dalla necessità di modificare continuamente la movimentazione del robot per garantire la sicurezza dell'operatore umano. Nell'ambito di due progetti H2020 finanziati dalla CE (FourByThree - www.fourbythree.eu e ShareWork - www.sharework-project.eu) è stata sviluppata una soluzione di controllo collaborativo basato su tecniche di P&S che oltre a coordinare le attività tra operatore e robot, garantisce la gestione online delle latenze temporali dei movimenti del robot introdotte dalla presenza dell'operatore. Abbiamo proposto l'integrazione di tecniche di P&S e di motion planning per implementare traiettorie alternative per ogni task, considerando l'incertezza temporale legata alla loro esecuzione e minimizzando il "cycle time" attraverso la selezione dinamica di traiettorie, sequenza di task e allocazione tra robot e umano [Pellegrinelli *et al.*, 2017; Umbrico *et al.*, 2017].

4 Prospettive Future

Tra i temi inclusi nella cosiddetta Industria 4.0, sarà cruciale lo studio e lo sviluppo di modelli, tecnologie e applicazioni che favoriscano maggiore produttività, flessibilità, qualità della precisione con una adeguata attenzione agli aspetti legati alla sicurezza. L'utilizzo di tecniche di P&S integrate a tecnologie semantiche e di apprendimento automatico costituisce

un elemento fondamentale per continuare il processo di sviluppo dei sistemi di produzione avanzati del futuro. Il gruppo sta investigando l'integrazione di tecnologie per la rappresentazione della conoscenza e il ragionamento automatico con l'obiettivo di realizzare sistemi che sappiano adattare dinamicamente i propri comportamenti in base al contesto di produzione (es. diversi prodotti) o alle condizioni di collaborazione con operatori (es. più o meno esperti).

Riferimenti bibliografici

- [Borgo *et al.*, 2016] Stefano Borgo, Amedeo Cesta, Andrea Orlandini, e Alessandro Umbrico. A planning-based architecture for a reconfigurable manufacturing system. In *Proceedings of the Twenty-Sixth International Conference on Automated Planning and Scheduling, ICAPS 2016, London, UK, June 12-17, 2016.*, pages 358–366, 2016.
- [Borgo *et al.*, 2018] S. Borgo, A. Cesta, A. Orlandini, e A. Umbrico. Knowledge-based adaptive agents for manufacturing domains. *Engineering with Computers*, 2018.
- [Carpanzano *et al.*, 2011] E. Carpanzano, A. Cesta, A. Orlandini, R. Rasconi, e A. Valente. Closed-loop production and automation scheduling in rmss. In *ETFA. International Conference on Emergent Technologies and Factory Automation*, 2011.
- [Carpanzano *et al.*, 2012] E. Carpanzano, M. Mazzolini, A. Orlandini, A. Valente, A. Cesta, F. Marino, e R. Rasconi. Closed-loop production and automation schedule execution in rmss under uncertain environmental conditions. 2012.
- [Carpanzano *et al.*, 2014] E. Carpanzano, A. Cesta, A. Orlandini, R. Rasconi, e A. Valente. Intelligent dynamic part routing policies in plug&produce reconfigurable transportation systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 63(1):425 – 428, 2014.
- [Carpanzano *et al.*, 2016] Emanuele Carpanzano, Amedeo Cesta, Andrea Orlandini, Riccardo Rasconi, Marco Suriano, Alessandro Umbrico, e Anna Valente. Design and implementation of a distributed part-routing algorithm for reconfigurable transportation systems. *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 29(12):1317–1334, 2016.
- [Pellegrinelli *et al.*, 2017] S. Pellegrinelli, A. Orlandini, N. Pedrocchi, A. Umbrico, e T. Tolio. Motion planning and scheduling for human and industrial-robot collaboration. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(1):1–4, 2017.
- [Umbrico *et al.*, 2017] A. Umbrico, A. Cesta, M. Cialdea Mayer, e A. Orlandini. Platinum: A new framework for planning and acting. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10640 LNAI:498–512, 2017.