

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA



Finito di scrivere il giorno 30 settembre 2010 utilizzando LyX

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

—
DIPARTIMENTO DI INNOVAZIONE MECCANICA E GESTIONALE

—
TESI DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA
DELL'AUTOMAZIONE

SISTEMA ROBOTIZZATO DI
ASSEMBLAGGIO PER
SCAMBIATORI

RELATORE: CH.MO PROF. ALDO ROSSI

LAUREANDO: DANIELE CATTAI

ANNO ACCADEMICO 2009-2010

Alla mia famiglia,

a Elena ...

frase celebre

autore

Indice

Sommario	XI
Introduzione	XIII
1 Il progetto della cella	1
1.1 Lo scambiatore di calore	1
1.2 L'attuale linea di produzione	6
1.3 La cella in progettazione: linee guida	9
1.3.1 Tipologie di scambiatori e limiti progettuali	10
1.3.2 Fasi e componenti della cella robotizzata	12
1.3.3 Specifiche e requisiti di progetto	16
1.4 Obiettivi del progetto	19
2 Il software di gestione della cella	21
2.1 Interfaccia Principale	21
2.2 DataBase	23
2.3 Lavorazione	28
2.4 Applicazione	29
2.5 Il percorso minimo	29
2.5.1 Il problema del commesso viaggiatore	29
2.5.2 minPath.m	30
3 Avvio e comunicazione nella cella	33
3.1 Comunicazione e programmazione del robot	33
3.2 Avvio cella, inizializzazione e idle	39
3.3 Calibrazione e MCP	46
3.3.1 Calibrazione telecamera e pinze	47
3.3.2 Interfaccia calibrazione e movimentazione robot	51
3.3.3 MCP Manual Control Pendant	54
3.4 I/O e schemi elettrici	58
3.4.1 Sensori	62

4	La cella in azione	65
4.1	Prototipo della cella	65
4.2	Architettura e ciclo principale	67
4.3	Routine nel controllore	70
4.4	Le emergenze	74
4.5	Ciclo Adept	75
4.6	Primi test di assemblaggio	81
	Conclusioni	83
	Ringraziamenti	87

Sommario

Questa tesi si inserisce all'interno di un progetto finalizzato alla realizzazione di una cella robotizzata per l'assemblaggio di scambiatori di calore a pacco alettato in sviluppo presso il DIMEG (*Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale*) dell'Università di Padova.

Il progetto prevede lo studio di fattibilità e la prototipazione della cella automatizzata, con particolare riferimento al montaggio delle curve di chiusura del circuito idraulico sulla sommità dei tubi del pacco alettato seguendo percorsi ottimali che minimizzino il tempo di esecuzione del ciclo complessivo. La cella comprende un sistema di visione artificiale per l'individuazione dei centri-tubo e la rilevazione di eventuali difetti di mandrinatura, un robot SCARA preposto all'assemblaggio del pezzo e un software di gestione della cella.

L'attività di studio svolta si sofferma sugli aspetti riguardanti la progettazione e l'implementazione del software di gestione della cella industriale, il quale si interfaccia con il sistema di visione, il controllore di un manipolatore industriale e il gestionale dell'azienda.

Introduzione

L'automazione, fin dalla sua introduzione nell'ambito industriale, si pone come obiettivo quello di ridurre al minimo l'intervento dell'uomo all'interno dei processi produttivi. I vantaggi legati alla sostituzione dell'operatore umano con un sistema di lavoro automatizzato si esprimono in termini di maggior velocità di lavorazione, maggior affidabilità e ripetibilità nei compiti assegnati. Tutto ciò si traduce in minori costi per l'impresa nel corso dell'esercizio produttivo ed un elevato e costante standard qualitativo dei prodotti finiti. Il ricorso all'automazione consente inoltre di portare a termine compiti altrimenti impossibili per gli esseri umani, come la gestione di carichi pesanti, l'interazione con sostanze pericolose o lavorazioni per le quali è richiesta un'elevata precisione.

Con l'avanzare dello sviluppo tecnologico, si allarga di conseguenza anche il campo dei processi industriali candidati alla conversione in senso automatizzato: avviene così che lavorazioni ritenute finora esclusivamente manuali divengano oggetto di studio, aprendo così nuove opportunità di ottimizzazione per le relative catene produttive. L'utilizzo dei sistemi di visione artificiale e di altri sistemi di percezione uniti a manipolatori industriali consentono di aumentare la versatilità e la sfera di applicazione dei sistemi automatizzati, permettendo a queste macchine di interagire con l'ambiente che le circonda in modo "intelligente" oltre che preciso.

Un processo produttivo di tale genere, non ancora completamente automatizzato nel settore industriale del condizionamento dell'aria, è quello relativo all'assemblaggio di scambiatori di calore a pacco alettato. Per scambiatore di calore intendiamo una batteria di circuiti tubolari che, inserita in un pacco di alette sovrapposte, consente di realizzare lo scambio termico tra un fluido gassoso esterno ed un fluido primario interno. Tale prodotto trova naturale appli-

cazione in campo civile e industriale all'interno di molti sistemi di raffreddamento o riscaldamento (condizionatori, chiller, ventilconvettori).

Attualmente il gruppo Mechatronics, del Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale (DIMEG) di Padova, sta finalizzando questo progetto di cella robotizzata che si inserirà in una particolare fase del processo di costruzione di scambiatori di calore a pacco alettato: l'inserimento delle curve di collegamento tra i tubi nella parte superiore dello scambiatore. L'interesse verso questo processo deriva dal fatto che attualmente, presso l'azienda committente così come in altre realtà aziendali, tale operazione viene ancora svolta manualmente da un operatore umano. Lo scopo è pertanto quello di predisporre un sistema robotizzato che una volta identificato correttamente la posizione dello scambiatore, provveda all'inserimento delle curve secondo uno schema prestabilito.

Questa tesi di laurea specialistica in Ingegneria dell'Automazione, presenta e discute la parte del progetto riguardante la progettazione del sistema di gestione della cella automatizzata. Esso considera lo sviluppo del software in ambiente Matlab per l'interazione tra il sistema di visione artificiale deputato al riconoscimento e all'analisi dei singoli scambiatori posti sul piano di lavoro della cella, il codice relativo alla movimentazione del robot e l'intero corredo sensoristico ed elettrico di una tipica automazione.

Il **primo capitolo** è introduttivo al lavoro svolto e presenta le specifiche del progetto nella sua globalità. In particolare vengono analizzate le caratteristiche tipiche degli scambiatori di calore prodotti dall'azienda committente e descritte l'attuale linea di produzione. Viene poi presentato il progetto della cella per l'inserimento automatizzato delle curve, indicandone i requisiti e le specifiche di progetto che ne hanno determinato in linea di massima la struttura generale della cella.

Con il **secondo capitolo** si propone di descrivere il software di gestione nel suo insieme, dall'interfaccia grafica al database di importazione dei disegni CAD, dai codici atti alla pianificazione del percorso ottimo per l'inserimento delle curvette alla gestione degli ordini.

Il **terzo capitolo** espone i fondamenti della programmazione del robot SCARA della Adept, per poi proseguire con la descrizione dell'architettura di comunicazione tra il controllore del robot e il software installato in un pc esterno.

Il **quarto capitolo** infine descrive in modo dettagliato il principio dell'intero ciclo di produzione, dall'avvio dell'automazione fino all'arresto dell'impianto, passando attraverso la lettura dei dati proveniente dal sistema di visione, la movimentazione del robot e la sequenza degli innesti, la sostituzione degli end-effector in funzione dello schema e la gestione degli eventi, allarmi ed emergenze. Questo capitolo descrive inoltre le procedure di calibrazione delle varie componenti della cella ed implementate all'interno di un'interfaccia utente di calibrazione.

Ed ora, buona lettura!

Conclusioni

Questo lavoro ha permesso di toccare con mano praticamente tutte le fasi della progettazione di un sistema automatizzato, dalla formulazione delle specifiche, al raggiungimento della soluzione finale. Rimane di fondamentale importanza per acquisire una metodologia con cui affrontare le diverse tipologie di problemi incontrati e per apprendere le dinamiche interne allo sviluppo di un progetto dove ogni sua parte deve essere portata avanti in armonia con le altre al fine di garantire il migliore funzionamento possibile.

Considerando che attualmente l'assemblaggio delle batterie alettate è svolto da due operatori, che inserendo manualmente le curvette, impiegano due minuti per ogni scambiatore del tipo su cui è basato il progetto della cella. Tenendo presente che dai test attualmente effettuati, la cella robotizzata, che necessita di un solo operatore a bordo, assembla una batteria alettata al minuto. Possiamo affermare che la cella è competitiva in termini di tempi e costi di produzione, permettendo di avere un recupero dell'investimento in un anno. La cella robotizzata progettata permette di avere una produzione flessibile, una certificazione della qualità delle batterie alettate assemblate.

Bibliografia

- [3] P.Pasquato *Progettazione di cella robotizzata per l'assemblaggio automatizzato di scambiatori di calore* Tesi di laurea, Padova, 2008
- [4] A.Carli. *Progetto di cella robotizzata per l'assemblaggio di batterie alettate*, Tesi di laurea, Padova, 2009
- [5] I. Tessarolo, *Sistema di visione per cella robotizzata*, Tesi di laurea, Padova 2009
- [6] *V+ Language Quick Reference*, Manuale di utilizzo Adept
- [7] *V+ Language User's Guide*, Manuale di utilizzo Adept
- [8] D.Vanti *Cella di lavoro per assemblaggio batterie alettate*, Tesi di laurea, Padova 2010
- [9] *Adept SmartController User's Guide*, Manuale di utilizzo Adept
- [13] J.Vincenzi. *Automazione di sistema di assemblaggio tramite sistema di visione*, Tesi di laurea, Padova, 2008
- [14] G.Boothroyd. *Assembly Automation and Product Design, Second Edition*, Boca Raton (etc.) : Taylor & Francis, 2005
- [15] J.Craig. *Introduction to Robotics, Mechanics and Control, Third Edition*, Upper Saddle River, NJ : Pearson Education, 2005
- [16] A. Rossi, *Dispensa delle lezioni di Meccanica dei Robot*, Padova, 2005
- [17] D.Rapisarda, *Dispense controllo dei processi*, Arezzo, 2004

