UNIVERSITÀ DI PISA

ROBOTICA

ANTONIO BICCHI

Academic year	2022/23
Course	INGEGNERIA ROBOTICA E DELL'AUTOMAZIONE
Code	277II
Credits	12

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
CONTROLLO DEL ROBOT	ING-INF/04	LEZIONI	60	ANTONIO BICCHI GIORGIO GRIOLI
SISTEMI ROBOTICI DISTRIBUITI	ING-INF/04	LEZIONI	60	LUCIA PALLOTTINO

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

Il corso si propone di fornire agli allievi le nozioni fondamentali e gli strumenti necessari per l'analisi, la progettazione e la realizzazione di sistemi di controllo per sistemi robotici, intesi nella loro più ampia accezione: sistemi fisici controllati da un processore digitale, dotati di capacità sensoriali e di intervento sull'ambiente, con caratteristiche di elevata autonomia e di facile interazione con l'uomo. Al termine del corso, lo studente avrà:

- conoscenze avanzate inerenti alla modellistica ed al controllo di manipolatori robotici e di veicoli autonomi;
- conoscenze sulle tecniche e gli algoritmi di pianificazione del moto di sistemi robotici, anche inseriti in contesti di produzione integrata;
- conoscenze sulle metodologie di modellazione, analisi e progetto di sistemi di controllo per sistemi robotici distribuiti.

Modalità di verifica delle conoscenze

La verifica delle conoscenze avviene attraverso la applicazione delle stesse a casi di studio, i cui risultati sono presentati e discussi attraverso una relazione tecnica ed una presentazione con strumenti multimediali.

Capacità

Al termine dell'insegnamento lo studente saprà:

- Progettare sistemi di controllo per sistemi robotici in presenza di vincoli e di incertezze del modello
- Analizzare le caratteristiche e le proprietà strutturali della dinamica di sistemi robotici avanzati
- Utilizzare software di simulazione per sistemi robotici
- Utilizzare le tecniche di pianificazione del moto nello spazio delle configurazioni
- Utilizzare le metodologie attuali per l'analisi e la gestione di sistemi robotici distribuiti

Modalità di verifica delle capacità

Durante il corso le tecniche apprese di pianificazione e controllo verranno applicate su sistemi robotici simulati e/o fisici in attività di esercitazione e laboratoriale, sotto la supervisione dei docenti e dei collaboratori alla didattica

Comportamenti

Al termine del corso gli studenti avranno sviluppato l'attitudine a riconoscere nei problemi applicativi di diversa natura che possono essere loro proposti, le caratteristiche salienti dei sistemi robotici in una accezione ampia del termine, di riconoscere le tecniche più adeguate per la pianificazione del moto e per il controllo, e di applicare gli strumenti di progetto appresi.

Modalità di verifica dei comportamenti

Agli studenti verrà chiesto di svolgere un approfondimento dei temi presentati in aula. In questo modo, potranno dimostrare di saper estendere l'applicabilità dei metodi ad una classe più generale di problemi che potranno incontrare nella loro vita professionale.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

- Modellistica cinematica e dinamica di sistemi meccanici senza e con vincoli
- Teoria dei sistemi lineari;
- Tecniche di controllo dei sistemi lineari;
- Elementi di algebra lineare e teoria dei grafi
- Capacità di utilizzo di software di analisi e simulazione (e.g. Matlab, Simulink)

Indicazioni metodologiche

Le lezioni vengono svolte alla lavagna con l'eventuale uso di supporti multimediali per la visione di immagini e video.
Modalità di apprendimento:

- Partecipazione alle lezioni
- Partecipazione a seminari
- Partecipazione alle discussioni
- Studio individuale
- Lavoro di gruppo
- Lavoro di laboratorio

Metodologia di insegnamento:

- Lezioni
- Seminari
- Tutorato

Programma (contenuti dell'insegnamento)

1 Controllo Cinematico
1.1 Catene Cinematiche Seriali
1.2 Veicolo planare vincolato su binario rettilineo o circolare
1.3 Veicolo planare con vincolo di ruota singola (uniciclo)
1.3.1 Inseguimento di traccia con uniciclo
1.3.2 Inseguimento del moto di un punto con uniciclo
1.3.3 Controllo di postura (regolazione) di un veicolo uniciclo
1.4 Veicolo planare con vincolo di ruota doppia (biciclo)
2 Controllo Dinamico di Sistemi Meccanici Completamente Attuati
2.1 Controllori PD Indipendenti
2.2 Controllo a Coppia Calcolata
2.2.1 Robustezza del Controllo a Coppia Calcolata
2.2.2 Controllo Robusto o a Struttura Variabile
2.2.3 Controllo a Coppia Calcolata Adattivo
2.3 Controllo in Backstepping
2.3.1 Controllo in Backstepping di SIstemi Lagrangiani Completamente Attuati Senza Vincoli
2.3.2 Controllo in Backstepping di SIstemi Lagrangiani Completamente Attuati Con Vincoli
2.3.3 Controllo Adattativo in Backstepping
3 Sistemi Intrinsecamente Nonlineari
3.1 Proprietà strutturali e nonlinearità intrinseche.
3.2 Sistemi Nonlineari: Strumenti di Analisi
3.2.1 Descrizione dello Spazio di Stato, Varietà e Diffeomorfismi
3.2.2 Cambiamenti di Coordinate e Spazi Tangenti
3.2.3 Funzioni, vettori e covettori
3.2.4 Operazioni su Funzioni, vettori e covettori
3.2.5 Distribuzioni e Codistribuzioni
3.2.6 Integrabilità e Teorema di Frobenius
3.3 Raggiungibilità di sistemi nonlineari
3.4 Osservabilità di sistemi non lineare affini nel controllo
4 Controllo di Sistemi Nonlineari
4.1 Introduzione
4.2 Linearizzazione Ingresso-Stati SISO
4.3 Linearizzazione Ingresso-Uscita SISO
4.4 Linearizzazione in retroazione MIMO

5 Introduzione ai sistemi multi robot
5.1 Caratteristiche e problematiche
5.2 Astrazione e modellistica

6 Introduzione alla teoria dei grafi
6.1 Definizioni, caratteristiche e proprietà dei grafi
6.2 Matrici associate ai grafi e analisi spettrale

6.3 Introduzione all'ottimizzazione discreta
6.4 Introduzione alla programmazione dinamica

7 Algoritmi di pianificazione del moto
7.1 Introduzione al problema della pianificazione del moto
7.2 Modelli geometrici e spazio delle configurazioni
7.3 Algoritmi di pianificazione combinatorici.
7.4 Algoritmi di pianificazione del moto basati su campionamento.
7.5 Algoritmi di pianificazione basati sui potenziali o su comportamenti

8 Algoritmi distribuiti su reti sincrone
8.1 Introduzione agli algoritmi distribuiti su reti sincrone
8.2 Il Protocollo del Consenso a tempo continuo e discreto
9 Controllo di formazione
9.1 Introduzione al controllo in formazione
9.2 Formalizzazione e modellistica delle formazioni
9.3 Controllo di formazioni con dinamica lineare
9.4 Controllo di formazioni di unicicli
9.5 Problema del Coverage
10 Strumenti di simulazione robotica
10.1 Uso del Matlab per la simulazione di sistemi robotici distribuiti
10.2 Introduzione al Robotics Operative System (ROS)

Bibliografia e materiale didattico

- *Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo "Robotics, modelling, planning and control", Springer.*
- *R. E. Murray, Z. Li, and S.S. Sastry: ``A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation", CRC Press, 1994.*
- *M.W. Spong, M. Vidyasagar: ``Robot Dynamics and Control", J. Wiley, 1989.*
- *Stephen M. LaValle, "Motion Planning Algorithms", Cambridge University Press, 2006.*
- *Mehran Mesbahi & Magnus Egerstedt, "Graph Theoretic Methods in Multiagent Networks", Princeton University Press, Princeton, NJ, Sept. 2010.*
- *Nancy Lynch, "Distributed Algorithms" Elsevier, Morgan Kaufmann, 1996.*

Indicazioni per non frequentanti

Nessuna variazione.

Modalità d'esame

Nel corso dell'esame il candidato deve dimostrare conoscenza e capacità operative in tutte le parti in cui si articola il programma. Deve inoltre dimostrare di sapere implementare le tecniche studiate nel corso in contesti applicativi, realizzando dimostratori software e/o hardware di sistemi o sottosistemi robotici.
L'esame si svolge in tre fasi:
1) Svolgimento di un approfondimento applicativo (progetto) **su temi concordati** con i docenti del corso ed i collaboratori al corso, presentazione dei risultati attraverso dimostrazione pratica e/o presentazione pubblica, discussione;
2) Verifica delle conoscenze teoriche del programma relative al Controllo dei Robot (se non già esplicitate nella discussione dell'approfondimento applicativo);
3) Verifica delle conoscenze teoriche del programma relative ai Sistemi Robotici Distribuiti (se non già esplicitate nella discussione dell'approfondimento applicativo).
Il voto del corso è unico, e comunicato dai docenti solo al termine dell'ultima fase dell'esame.
La prima fase deve precedere le altre due, che possono essere svolte in ordine qualsiasi.
Le tre parti della verifica sono relative a impegni paragonabili tra di loro, e hanno uguale peso.
L'approfondimento applicativo consiste nell'implementazione di una soluzione ad un problema di Robotica avanzata, in cui viene formulato un problema di rilevanza applicativa e/o teorica, che viene risolto con gli strumenti disponibili allo stato dell'arte, approfondendo eventuali metodi o tecnologie necessarie. L'elaborato finale deve avere la forma di un **rapporto di progetto**, mettendo in luce il problema affrontato, i metodi considerati, i riferimenti nella letteratura scientifica e tecnica, e i contenuti originali che hanno portato alla soluzione. Ad esempio, applicando i risultati di una pubblicazione trovata in letteratura implementandone i metodi in un prototipo o in un pacchetto software. Per realizzare attività

sperimentali connesse al progetto il candidato potrà frequentare i laboratori sperimentali.

Ultimo aggiornamento 03/08/2022 11:56