



UNIVERSITÀ DI PISA

ROBOTICA

LUCIA PALLOTTINO

Anno accademico

2023/24

CdS

INGEGNERIA ROBOTICA E
DELL'AUTOMAZIONE

Codice

277II

CFU

12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
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 illustrare le conoscenze acquisite con il corso mediante lo svolgimento di una esercitazione estesa, consistente nell'applicazione dei temi presentati in aula ad uno o più sistemi robotici o macchine intelligenti come si possono incontrare nella pratica. 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.



UNIVERSITÀ DI PISA

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 nonlineari 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



UNIVERSITÀ DI PISA

- 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

Prima dell'esame gli studenti devono iscriversi sul sito: <http://servizi.ing.unipi.it> e compilare i questionari proposti.

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, di cui una opzionale:

- 1) Verifica delle conoscenze teoriche del programma relative al Controllo dei Robot, anche mediante elaborazione di esempi applicativi. Vedi sotto per una descrizione più dettagliata di questa parte.
- 2) Verifica delle conoscenze teoriche del programma relative ai Sistemi Robotici Distribuiti, anche mediante elaborazione di esempi applicativi.
- 3) (Opzionale) Svolgimento di un approfondimento applicativo **su temi concordati** con i docenti del corso ed i collaboratori al corso. La presentazione dei risultati avviene attraverso dimostrazione pratica e/o una presentazione pubblica con successiva discussione.

Il voto del corso è unico, e comunicato dai docenti solo al termine dell'ultima fase dell'esame.

Le prime due parti della verifica sono relative a impegni paragonabili tra di loro, e hanno uguale peso.

Le tre fasi possono essere svolte in ordine qualsiasi.

L'approfondimento applicativo consiste nell'implementazione operativa 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 mettere in luce il problema affrontato, i metodi considerati, i riferimenti nella



UNIVERSITÀ DI PISA

letteratura scientifica e tecnica, e i contenuti originali che hanno portato alla soluzione realizzata.

Ad esempio, l'approfondimento può consistere nella realizzazione di esperimenti per verificare metodi innovativi di pianificazione e/o controllo di robot. Per realizzare le attività connesse il candidato potrà implementare i metodi in un pacchetto software o in un prototipo fisico. Nel secondo caso il candidato potrà frequentare i laboratori sperimentali a disposizione dei docenti (nei limiti della disponibilità di questi).

L'illustrazione dei risultati sarà affidata ad una presentazione da proiettare in pubblico. La presentazione deve avere la durata complessiva di dieci minuti. La data dell'esame viene concordata direttamente coi docenti e pubblicata sui calendari didattici degli stessi, per consentire agli interessati di assistere.

Il materiale preparato (compresa la presentazione ed eventualmente i sorgenti del codice usato) deve essere messo a disposizione dei docenti almeno una settimana prima della data dell'appello orale, inviando una email contenente il link ad un repository su cui visualizzare e/o scaricare il materiale (ad esempio, Dropbox, Microsoft 365 o Google Drive)

Scelta di argomenti dell'approfondimento opzionale

I temi dell'approfondimento applicativo sono tipicamente proposti dallo studente stesso. E' possibile ad esempio proporre l'implementazione in un codice SW di metodi proposti in letteratura, dimostrandone l'applicazione e confrontando i risultati di metodi diversi.

Solo nel caso in cui il tema richieda una presenza in laboratorio, i candidati dovranno coordinarsi con i collaboratori del corso, da cui potranno ricevere suggerimenti sui temi da svolgere. Per facilitare la discussione dei temi opzionali siete pregati di compilare questo [questionario](#) e prendere contatto con uno dei collaboratori al corso.

Alcuni progetti sono disponibili sulla [Directory DRIVE](#) assieme al tutore di riferimento cui chiedere maggiori informazioni

Ultimo aggiornamento 04/03/2024 11:38