

FACOLTÀ	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO	2013/2014
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE	Ingegneria dell'Automazione
INSEGNAMENTO	Controllo robusto e sistemi robotici mobili e cooperanti
TIPO DI ATTIVITÀ	Caratterizzante
AMBITO DISCIPLINARE	Automatica
CODICE INSEGNAMENTO	Da definire
ARTICOLAZIONE IN MODULI	SI
NUMERO MODULI	2
SETTORI SCIENTIFICO DISCIPLINARI	ING-INF/04
DOCENTE RESPONSABILE	Francesco Alonge P.O. Università di Palermo
DOCENTE COINVOLTO	Adriano Fagiolini R.U. Università di Palermo
CFU	12
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	180
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITÀ DIDATTICHE ASSISTITE	120
PROPEDEUTICITÀ	
ANNO DI CORSO	II
SEDE DI SVOLGIMENTO DELLE LEZIONI	Consultare il sito www.ingegneria.unipa.it
ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Lezioni frontali, Esercitazioni in aula
MODALITÀ DI FREQUENZA	Facoltativa
METODI DI VALUTAZIONE	Prova Scritta e Prova Orale
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
PERIODO DELLE LEZIONI	Consultare il sito www.ingegneria.unipa.it
CALENDARIO DELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE	Consultare il sito www.ingegneria.unipa.it
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	Tre ore/settimana

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione (*knowledge and understanding*):

- Il corso di Controllo robusto e sistemi robotici mobili e cooperanti è rivolto principalmente ad allievi del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Automazione. Lo studente al termine del Modulo 1 avrà acquisito nuove metodologie di progetto, basate sulla conoscenza di un modello matematico lineare o non lineare del sistema reale da controllare, che permettono di tenere in conto le incertezze, di tipo parametrico e strutturale, con cui è noto il modello matematico stesso. Al termine del Modulo 2, lo studente avrà acquisito metodologie di progetto per il controllo di sistemi dinamici intrinsecamente non lineari. Lo studente avrà inoltre acquisito la capacità di progettare sistemi di controllo distribuiti, in grado di coordinare squadre di robot mobili che cooperano per il raggiungimento di obiettivi comuni.

Conoscenza e capacità di comprensione applicate (*applying knowledge and understanding*):

- Lo studente sarà in grado di utilizzare le metodologie acquisite durante il corso, per il progetto di controllori robusti per sistemi SISO (a un solo ingresso e una sola uscita) e per sistemi MIMO (più ingressi e più uscite), lineari e non lineari. Tali controllori saranno in grado di mantenere le proprietà di stabilità e di comportamento anche in presenza di incertezze nel modello matematico del sistema. Inoltre sarà in grado di sviluppare algoritmi distribuiti per il controllo di sistemi composti da robot mobili cooperanti. Attraverso tali algoritmi sarà possibile ottenere un coordinamento tra robot che evita collisioni tra di essi, oppure la copertura e il pattugliamento in formazione di un ambiente.

Autonomia di giudizio (*making judgements*)

- Lo studente sarà capace di individuare autonomamente le proprietà di un sistema dinamico descritto mediante un modello matematico, di individuare autonomamente le proprietà di un sistema dinamico distribuito, e di valutare le azioni da intraprendere per conseguire gli obiettivi finali del suo studio.

Abilità comunicative (*communication skills*)

- Lo studente sarà anche in grado di collaborare con altri colleghi progettisti di altri corsi di laurea e di comprendere e soddisfare le esigenze degli utilizzatori.

Capacità di apprendere (*learning skills*)

- Il corso si pone anche l'obiettivo di stimolare l'interesse dello studente per l'approccio di tipo sistematico utilizzato nella trattazione dei vari argomenti oggetto del corso stesso. Lo studente che acquisirà tale metodologia di studio sarà sicuramente in grado di affrontare e risolvere problemi mai trattati nei corsi frequentati.

OBIETTIVI FORMATIVI

Gli obiettivi formativi del Modulo 1 sono quelli dello studio dei sistemi reali basato su una descrizione matematica del sistema mediante una classe di modelli, definita dal modello matematico nominale e dalla descrizione matematica dei limiti di incertezza con cui tale modello è in grado di descrivere il sistema reale stesso. Tenendo in conto esplicitamente tali incertezze vengono forniti metodi di studio che permettono di garantire che la stabilità e il comportamento dinamico e a regime del modello, acquisite per il modello nominale, siano mantenute per tutta la classe dei modelli. Il Modulo 2 è organizzato in tre parti. Nella prima parte si forniscono allo studente gli strumenti e le nozioni fondamentali necessarie per l'analisi delle proprietà di un sistema dinamico non lineare. Si forniscono inoltre gli strumenti e si descrivono le metodologie per la progettazione di algoritmi per il controllo di sistemi robotici complessi. Nella seconda parte si forniscono gli strumenti per la modellistica e il controllo di robot mobili autonomi. Infine nella terza parte si forniscono gli strumenti e le metodologie necessarie per la modellistica di sistemi robotici cooperanti e per la progettazione di schemi di controllo distribuito.

Modulo 1: Controllo Robusto

ORE FRONTALI	LEZIONI FRONTALI
2	Modelli SISO lineari e tempo-invarianti (LTI). Modelli nominali, descrizione dell'incertezza di modello, tipi di ingresso, specifiche di progetto.
2	Funzioni di sensibilità e di sensibilità complementare, problemi H ₂ -ottimo e H _∞ -ottimo, stabilità e comportamento robusti.
3	Struttura di controllo IMC. Progetto di un controllore robusto per modelli stabili: soluzione del problema H ₂ -ottimo, filtro IMC, sintesi del filtro IMC

	che soddisfa condizioni di stabilità e di comportamento robusti.
3	Progetto di un controllore robusto per sistemi instabili: parametrizzazione del controllore, soluzione del problema H ₂ - ottimo, filtro IMC, sintesi del filtro IMC che soddisfa condizioni di stabilità e di comportamento robusti.
2	Modelli approssimati di processi industriali. Controllori PID robusti
4	Modelli LTI MIMO. Risposta in frequenza, decomposizione ai valori singolari per l'analisi della risposta in frequenza.
2	Modellistica di tipo deterministico dell'incertezza dei sistemi MIMO
2	Stabilità robusta in presenza di incertezze non strutturate
2	Robustezza nel comportamento
2	Descrizione dell'incertezza mediante trasformazioni lineari frazionarie (LFT)
2	Valore singolare strutturato (μ)
3	Tecniche di μ -analisi e μ -sintesi
10	Controllo "sliding mode" per modelli lineari e non lineari
	ESERCITAZIONI
4	Progetto di un controllore robusto per sistemi stabili, con ritardi eventuali, a fase minima e/o non minima
4	Progetto di controllori robusti per sistemi instabili.
2	Progetto di controllori PID robusti
6	Progetto di controllori robusti mediante tecniche basate sulla μ -sintesi
5	Sintesi di controllori sliding-mode
TESTI CONSIGLIATI	<ul style="list-style-type: none"> • Dispense del corso • Morari, M. e Zafiriou, T.; Robust Process Control, Ed. Prentice Hall, 1989 • D. Alazard, C. Cumer, P. Apkarian, M. Gauvrit, G. Ferreres, <i>Robustness et Commande Optimale</i>, Cepadues_Editions, Toulouse, France • O.H. Bosgra, H. Kwakernaak, G. Meinsma, <i>Design Methods for Control Systems</i>, disponibile gratuitamente al link http://wwwhome.math.utwente.nl/~meinsmag/dmcs/ • Slotine, J.J.E., and Li, W., <i>Applied Nonlinear Control</i>, Prentice-Hall, 1991

Modulo2: Sistemi robotici mobili e cooperanti

ORE FRONTALI	LEZIONI FRONTALI
1	Sistemi dinamici non lineari: Introduzione, Non linearità intrinseche di un sistema, Proprietà strutturali dei sistemi non lineari (stabilità, controllabilità, osservabilità, stabilizzabilità).
2	Strumenti matematici per l'analisi dei sistemi non lineari: Campi vettoriali e co-vettoriali, Definizione e proprietà del Prodotto di Lie (Lie bracket), Distribuzioni e codistribuzioni.
3	Raggiungibilità dei sistemi non lineari (Teorema di Chow).
2	Osservabilità dei sistemi non lineari
7	Controllo dei sistemi dinamici non lineari: Linearizzazione ingresso-stato per sistemi SISO, Linearizzazione ingresso-uscita, Linearizzazione in retroazione per sistemi MIMO, Inseguimento di traiettorie.
6	Robot e piattaforme mobili: Introduzione e derivazione del modello,

	Cinematica vincolata, Esempi di modello di alcuni sistemi vincolati.
4	Derivazione del modello di alcuni robot mobili di interesse industriale e commerciale: Uniciclo, biciclo (car-like) e unicicli cooperanti.
3	Controllo cinematico dei veicoli: Inseguimento di percorsi e di traiettorie, Movimenti punto-punto (Teorema di Brockett), Tecnica di back-stepping.
2	Controllo dinamico dei veicoli: Dinamica dei sistemi vincolati, Controllo mediante linearizzazione in retroazione.
1	Sistemi multi-robot cooperanti: Introduzione, Modelli di interazione e di comportamento
2	Richiami sulla teoria dei grafi: Grafi connessi, sotto-grafi, grafi pesati, grafi orientati, Analisi spettrale del Laplaciano di grafi non orientati.
6	Reti sincrone e algoritmi distribuiti: Algoritmo di Leader Election, Il problema del consenso, Consenso su reti statiche non orientate, Problema del rendez-vous, Consenso su reti dinamiche, Reti connesse e costanti a tratti.
5	Coordinamento distribuito: Formazioni di squadre di unicicli, Configurazioni bilanciate e sincronizzate, Legge di controllo distribuita, Controllo non lineare per il mantenimento della connessione del grafo.
3	Il problema della copertura (coverage): i grafi di Gabriel e le partizioni di Voronoi.
	ESERCITAZIONI
4	Progetto e realizzazione (in ambiente Matlab/Simulink) di controllori non lineari mediante le tecniche di linearizzazione ingresso-stato e ingresso-uscita.
2	Progetto e realizzazione di controllori non lineari mediante le tecniche di linearizzazione in retroazione.
3	Progetto e realizzazione di controllori basati sul modello cinematico di alcuni robot mobili che consentono la stabilizzazione su percorsi e l'inseguimento di traiettorie dei robot stessi.
4	Progetto e realizzazione di controllori distribuiti per sistemi multi-agente che consentono di risolvere problemi del consenso e di rendez-vous.
TESTI CONSIGLIATI	<ul style="list-style-type: none"> • Dispense del corso • E. Sontag, J.E. Jager, "Mathematical Control Theory", Springer-Verlag New York Inc., 1998. • R. E. Murray, Z. Li, and S.S. Sastry: "A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation", CRC Press, 1994. • M. Mesbahi, M. Egerstedt, "Graph Theoretic Methods in Multiagent Networks", Princeton University Press, 2010. • S. LaValle, "Planning Algorithms", Cambridge University Press, 2006.