



---

INSEGNAMENTO: CONTROLLI AUTOMATICI

---

DOCENTE: Francesco Pierri, Fabrizio Caccavale

---

e-mail: francesco.pierri@unibas.it, fabrizio.caccavale@unibas.it

---

Lingua di insegnamento	Italiano
------------------------	----------

---

n. CFU: 12	A.A.: 2013-2014	sede: Potenza	Semestre: annuale
------------	-----------------	---------------	-------------------

---

#### CONTENUTI

##### *Modulo didattico 1: Progettazione dei Sistemi di Controllo (6 CFU)*

Richiami di analisi dei sistemi. Generalità sul problema del controllo. Caratterizzazione dei sistemi di controllo in retroazione. Precisione a regime nei sistemi di controllo in retroazione. La stabilità dei sistemi in retroazione. Metodi di passaggio ciclo aperto-ciclo chiuso. Specifiche di progetto e linee guida per la sintesi del compensatore. Reti correttive e loro uso nella sintesi del compensatore. Controllo in cascata. Regolatori standard. Controllo digitale.

##### *Modulo didattico 2: Robotica (6 CFU)*

Introduzione alla robotica. Cinematica dei manipolatori a catena aperta. Cinematica differenziale e statica dei manipolatori a catena aperta. Dinamica dei manipolatori a catena aperta. Pianificazione di traiettorie. Controllo dei manipolatori. Sistema sensoriale e unità di governo.

---

#### METODI DIDATTICI

Lezioni frontali ed esercitazioni.

---

#### TESTI DI RIFERIMENTO

- S. Chiaverini, F. Caccavale, L. Villani, L. Sciavicco, Fondamenti di Sistemi Dinamici, McGraw-Hill Libri Italia.
  - Paolo Bolzern, Riccardo Scattolini, Nicola Schiavoni, Fondamenti di controlli automatici (2/ed), McGraw-Hill
  - B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. *Robotica: Modellistica, Pianificazione e Controllo*. McGraw-Hill, Italia, 2008.
  - Dispense fornite dal docente
- 

#### OBIETTIVI FORMATIVI

Gli scopi del corso sono:

- fornire i concetti essenziali e le metodologie di base per l'analisi e la sintesi, sia nel dominio temporale che nel dominio della frequenza, di sistemi di controllo in retroazione per sistemi dinamici lineari e stazionari;
  - fornire gli elementi essenziali per la modellazione e l'analisi di manipolatori robotici, con particolare riferimento alla cinematica, alla pianificazione del moto e alla valutazione delle prestazioni dei manipolatori a catena cinematica aperta.
- 

#### PREREQUISITI

Conoscenza delle metodologie e delle tecniche apprese nei corsi di matematica e fisica di base, di elettrotecnica, segnali e sistemi, elettronica. Si consiglia di aver sostenuto l'esame del corso di Fondamenti Sistemi Dinamici o di Segnali e Sistemi.

---

#### MODALITA' DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

L'esame si articola nella discussione di un elaborato progettuale e in una prova orale per ciascuno dei due moduli.

---

#### PROGRAMMA ESTESO

##### *Modulo didattico 1: Progettazione dei Sistemi di Controllo (6 CFU)*

**Richiami di analisi dei sistemi:** la funzione di risposta armonica; i diagrammi di Bode; tracciamento asintotico dei diagrammi di Bode.

**Generalità sul problema del controllo:** controllo a ciclo aperto e a ciclo chiuso; classificazione tra

---



---

sistemi di regolazione e asservimento; esempi di applicazione del controllo automatico.

**Caratterizzazione dei sistemi di controllo in retroazione:** sensibilità alle variazioni parametriche; sensibilità agli ingressi non manipolabili; effetti della retroazione sulla banda passante.

**Precisione a regime nei sistemi di controllo in retroazione:** errore a regime in presenza di ingressi di riferimento canonici; errori a regime dovuti ad ingressi non manipolabili; azione di compensazione in avanti.

**La stabilità dei sistemi in retroazione:** Il criterio di Nyquist; casi singolari di applicazione del criterio di Nyquist; i margini di stabilità.

**Metodi di passaggio ciclo aperto-ciclo chiuso:** carte di Nichols, luogo delle radici.

**Specifiche di progetto e linee guida per la sintesi del compensatore:** stabilità e robustezza della stabilità; prestazioni a regime; prestazioni in transitorio; limitazione dell'azione di controllo.

**Reti correttive e loro uso nella sintesi del compensatore:** rete anticipatrice; rete ritardatrice; rete a sella; dimensionamento reti correttive.

**Controllo in cascata:** generalità; controllo con retroazione tachimetrica.

**Regolatori standard:** struttura dei regolatori standard; dimensionamento; procedure di predisposizione.

**Controllo digitale:** generalità; conversione A/D e D/A; metodologie di analisi e sintesi.

*Modulo didattico 2: Robotica (6 CFU)*

**Introduzione alla robotica:** elementi caratterizzanti di un robot industriale; strutture di manipolazione; tipologie fondamentali di manipolatori.

**Cinematica dei manipolatori a catena aperta:** matrici di rotazione e rappresentazioni minime dell'orientamento; trasformazioni omogenee; cinematica diretta: convenzione di Denavit-Hartenberg, calcolo della cinematica diretta di strutture di manipolazione; spazio dei giunti e spazio operativo; caratterizzazione di strutture di manipolazione: spazio di lavoro, ridondanza cinematica, ripetibilità ed accuratezza; cenni alle tecniche di calibrazione cinematica; cenni alla risoluzione in forma chiusa della cinematica inversa.

**Cinematica differenziale e statica dei manipolatori a catena aperta:** Jacobiano geometrico e Jacobiano analitico; analisi della ridondanza cinematica; singolarità cinematiche; soluzioni algoritmiche della cinematica inversa; statica dei manipolatori; misure di manipolabilità.

**Dinamica dei manipolatori a catena aperta:** formulazione di Lagrange; proprietà notevoli del modello dinamico; cenni alla identificazione dei parametri dinamici; dinamica diretta ed inversa.

**Pianificazione di traiettorie:** tecniche di pianificazione delle traiettorie nello spazio dei giunti; tecniche di pianificazione delle traiettorie nello spazio operativo.

**Controllo:** tipologie e schemi di principio di controllo del moto: controllo nello spazio dei giunti e nello spazio operativo; cenni al controllo dell'interazione.

**Sistema sensoriale e unità di governo:** sensori e attuatori, architettura funzionale di una unità di governo per robot industriali; cenni alle architetture hardware; ambienti di programmazione.

---



---

---

COURSE: AUTOMATIC CONTROL

TEACHER: Francesco Pierri, Fabrizio Caccavale

e-mail: francesco.pierri@unibas.it, fabrizio.caccavale@unibas.it

LANGUAGE Italian

---

---

ECTS: 12	ACADEMIC YEAR: 2013-2014	Campus: Potenza	Semester: annual
----------	--------------------------	-----------------	------------------

---

---

#### TOPICS

##### *Module 1: Control Systems Design (6 ECTS)*

Basic concepts of system analysis. The problem of automatic control. Properties of feedback control systems. Steady state errors for feedback systems. Stability of closed loop systems. Relationship between open loop and closed loop poles. Specifications and guidelines for controller design. Controller design via frequency response. Cascade control. PID controllers. Digital control.

##### *Module 2: Robotics (6 ECTS)*

Introduction to robotics. Kinematics of open-chain robotic manipulators. Differential kinematics and statics of open-chain robotic manipulators. Dynamics of open-chain robotic manipulators. Trajectory planning. Control of robotic manipulators. Sensory systems and control unit of robotic manipulators.

---

---

#### TEACHING METHODS

Lectures and development of numerical case studies.

---

---

#### TEXTBOOKS

- S. Chiaverini, F. Caccavale, L. Villani, L. Sciavicco, *Fondamenti di Sistemi Dinamici*, McGraw-Hill Libri Italia.
- Paolo Bolzern, Riccardo Scattolini, Nicola Schiavoni, *Fondamenti di controlli automatici (2/ed)*, McGraw-Hill.
- B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. *Robotics: Modelling, Planning and Control*. Springer, UK, 2009.
- Lectures notes provided by the teacher

---

---

#### LEARNING OUTCOMES

The goals of the course are:

- provide the basic tools for the analysis and design of time invariant linear feedback control systems, both in frequency and time domain.
- provide the basic skills for modelling and analyzing robotic manipulators, with special emphasis on kinematics, motion planning and performance evaluation of open-chain robotic manipulators.

---

---

#### REQUIREMENTS

Knowledge of the methodologies and skills learned in the mathematics, physics, circuits, signals and systems, and electronics courses.

---

---

#### EVALUATION METHODS

Oral examination, with a discussion of a project work developed during the course for both the modules.

---

---

#### DETAILED CONTENT

##### *Module 1: Control Systems Design (6 ECTS)*

**Basic concepts of system analysis:** system's frequency response; Bode plots; asymptotic approximations of Bode plots.

**The problem of automatic control:** open loop and closed loop control; control system classification; examples of automatic control systems.

---



---

**Properties of feedback control systems:** parameter sensitivity; disturb sensitivity; effects on bandwidth due to feedback.

**Steady-state errors for feedback systems:** steady-state error for test input signals; steady-state error for disturbances; feedforward compensation.

**Stability of closed loop systems:** Nyquist criterion; singular cases of the Nyquist criterion; stability margins.

**Relationship between open loop and closed loop poles:** Nichols charts; locus roots.

**Specifications and guidelines for controller design:** stability and stability robustness; steady-state performance; transient-state performance; control effort.

**Controller design via frequency response:** lag compensation; lead compensation; lag-lead compensation; numerical examples.

**Cascade control:** introduction; tachometer feedback control.

**PID controllers:** proportional, integral and derivative terms; PID controller design; PID controller tuning.

**Digital control:** introduction; A/D and D/A conversion; analysis and design of digital controllers.

*Module 2: Robotics (6 ECTS)*

**Introduction to robotics:** characteristic elements of a robotic manipulator; manipulation structures; taxonomy of robotic manipulators.

**Kinematics of open-chain robotic manipulators:** rotation matrices and Euler angles; homogeneous transformations; direct kinematics; joint-space and operational space; workspace of a robotic manipulator, kinematic redundancy, accuracy and repeatability; kinematic calibration; closed-form solutions to inverse kinematics.

**Differential kinematics and statics of open-chain robotic manipulators:** geometric and analytic Jacobian; kinematic redundancy analysis; kinematic singularities; algorithmic solutions to inverse kinematics; statics; manipulability measures.

**Dynamics of open-chain manipulators:** Lagrange formulation; properties of the dynamic model; elements identification of dynamic parameters; computation of direct and inverse dynamics.

**Trajectory planning:** joint-space trajectory planning; operational-space trajectory planning.

**Control:** general schemes for motion control of robotic manipulators in the joint space and in the operational space; elements of interaction control.

**Sensory systems and control unit of robotic manipulators:** sensors and actuators, functional architecture of a control unit for robotic manipulators; hardware architecture; programming environments.

---

FURTHER INFORMATION

---