UNIVERSITÀ DI PAVIA

Anno Accademico 2018/2019

IDENTIFICAZIONE DEI MODELLI E ANALISI DEI DATI

Anno immatricolazione	2018/2019
Anno offerta	2018/2019
Normativa	DM270
Dipartimento	DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
Corso di studio	INDUSTRIAL AUTOMATION ENGINEERING - INGEGNERIA DELL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE
Curriculum	PERCORSO COMUNE
Anno di corso	1°
Periodo didattico	Annualità Singola (01/10/2018 - 14/06/2019)
Crediti	12
Lingua insegnamento	Italian
Prerequisiti	Basic notions of set theory, logic, calculus, function maximization.
Obiettivi formativi	Knowledge of basic notions of: estimation theory (maximum likelihood estimation, a-posteriori estimation); neural-based model identification; stochastic processes (mean, autocovariance, spectral density, optimal prediction); identification of ARMAX models. Ability to solve identification and prediction problems ranging from model formulation to the use of computer tools (Matlab) for parameter estimation and model simulation.
Programma e contenuti	System Identification deals with methodologies that enable the construction of mathematical models of systems and signals based on experimental data. In presence of complex systems whose behavior can be hardly reduced to known "laws of nature", the use of identification techniques is often the only way to obtain models to be used in the context of forecasting, simulation, and control. The methods presented in the course are widely used in heterogeneous fields such as automation, biomedical engineering, econometry, hydrology, geophysics and telecommunications. Some basic notions of probability, estimation theory and stochastic processes are recalled. The main properties (stability, input-output description in the time and frequenct domains) of linear discrete-time systems are introduced. In the context

of parametric estimation, the issues of model validation and model complexity are extensively discussed. Neural based identification is also illustrated and discussed, pointing out pros and cons with respect to standard approaches. The study of dynamic systems addresses three main topics: the optimal prediction of stationary stochastic processes (Wiener filtering), the identification of linear discrete-time systems, and spectral estimation (both nonparametric and maximum-entropy).

Probability: basic notions

probability notion;
independence, conditional probability, total probability and Bayes theorems;
Bernoulli trials, Poisson events;
the notion of random variable (R.V.), cumulative distribution function, probability density function, functions on one R.V.;
mode, median, moments of a R.V.;
joint random variables: distribution, density, moments, independence, incorrelation, functions of random variables;
Law of Lrge Numbers, Gaussian R.V., Central Limit Theorem.

Statistics: basic notions

notion of estimator; properties of estimators;
sample moments and their main properties;
confidence interval for the sample mean, Student's t.

Identification of linear-in-parameter models:

the least squares method, normal equations, identifiability;
Best Linear Unbiased Estimator: estimator, variance of parameters;
validation and choice of complexity: chi-square test, F-test, FPE, AIC, and MDL criteria.

Estimation theory:

maximum likelihood estimation: properties and examples;
a-posteriori estimation, Bayes estimator;
cross-validation, model complexity and the bias-variance dilemma;
identification of nonlinear-in-parameter models.

Neural identification:

Radial basis function neural networks;
Multi-layer perceptron networks;
generalization, overfitting, selection of network size.

Stochastic processes and optimal prediction:

mean, autocorrelation, autocovariance, independence, incorrelation;
white noise, random walk, MA, AR, and ARMA processes, Yule-Walker equations;
stationarity, power spectral density, nonparametric spectral estimatiom;

	spectral factorization, optimal prediction. Identification of dynamic systems: classes of dynamic models: output error, ARX, ARMAX; prediction-error methods for system identification; least-squares identification of ARX models: probabilistic analysis and persistent excitation.
Metodi didattici	Lectures, Practical class
Testi di riferimento	Lecture notes (http://sisdin.unipv.it/labsisdin/teaching/teaching.php). M. Bramanti. Calcolo delle probabilità e statistica. Esculapio. A. Papoulis. Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. McGraw-Hill. L. Ljung. System Identification: Theory for the User. Prentice-Hall.
Modalità verifica apprendimento	Written examination: Written examination: four theory-based questions and four practical ones.
Altre informazioni	Written examination: Written examination: four theory-based questions and four practical ones.

L'insegnamento è suddiviso

502522 - **IDENTIFICAZIONE DEI MODELLI E ANALISI DEI DATI A**

502594 - **IDENTIFICAZIONE DEI MODELLI E ANALISI DEI DATI B**

UNIVERSITÀ DI PAVIA

Anno Accademico 2018/2019

IDENTIFICAZIONE DEI MODELLI E ANALISI DEI DATI A

Anno immatricolazione	2018/2019
Anno offerta	2018/2019
Normativa	DM270
SSD	ING-INF/04 (AUTOMATICA)
Dipartimento	DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
Corso di studio	INDUSTRIAL AUTOMATION ENGINEERING - INGEGNERIA DELL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE
Curriculum	PERCORSO COMUNE
Anno di corso	1°
Periodo didattico	Primo Semestre (01/10/2018 - 18/01/2019)
Crediti	6
Ore	47 ore di attività frontale
Lingua insegnamento	
Tipo esame	SCRITTO E ORALE CONGIUNTI
Docente	DE NICOLAO GIUSEPPE (titolare) - 6 CFU
Prerequisiti	Nozioni base di teoria degli insiemi, logica, nozione di limite, derivata e integrale, massimizzazione di funzioni di una o più variabili.
Obiettivi formativi	Conoscenza delle nozioni di base di probabilità e statistica. Capacità di risolvere problemi di analisi dati e stima a partire dalla formalizzazione del problema di identificazione fino all'uso di strumenti informatici per stimare i parametri ed effettuare simulazioni.
Programma e contenuti	La teoria dell'identificazione raggruppa un insieme di metodologie che consentono di costruire modelli matematici di sistemi e segnali a partire dalla rilevazione di dati sperimentali. In presenza di sistemi complessi il cui comportamento è difficilmente riconducibile a leggi note, il ricorso a tecniche di identificazione è spesso l'unico modo per ottenere modelli matematici da usare per la previsione, la simulazione e il controllo. I

metodi presentati nel corso sono largamente applicati in settori eterogenei quali i controlli automatici, l'econometria, l'idrologia, la bioingegneria, la geofisica e le telecomunicazioni. Vengono richiamate alcune nozioni fondamentali di probabilità, teoria della stima e processi casuali. Vengono anche presentate le principali proprietà (stabilità e relazioni ingresso-uscita nel dominio del tempo e delle frequenze) dei sistemi lineari a tempo discreto. Nell'ambito dell'identificazione parametrica, ampio spazio è dedicato alla validazione dei modelli e alla scelta della loro complessità. Vengono anche illustrati e discussi alcuni metodi di identificazione basati sull'uso di reti neurali, analizzando vantaggi e svantaggi rispetto alle tecniche di identificazione tradizionali. Lo studio dei modelli dinamici affronta tre argomenti principali: la predizione ottima di processi casuali stazionari (filtraggio alla Wiener), l'identificazione di sistemi dinamici a tempo discreto e la stima spettrale (sia non parametrica che a massima entropia).

Fondamenti di calcolo delle probabilità:

nozione di probabilità;
indipendenza statistica, probabilità condizionata, teorema della probabilità totale e di Bayes;
prove di Bernoulli, eventi di Poisson;
nozione di variabile casuale (V.C.), funzione di distribuzione e densità di probabilità, funzioni di V.C.;
moda, mediana e momenti di una V.C.,
V.C. congiunte: distribuzione, densità, momenti, indipendenza, incorrelazione, funzioni di V.C. congiunte;
legge dei grandi numeri, V.C. gaussiane, teorema fondamentale della convergenza stocastica.

Fondamenti di statistica:

Nozione di stimatore, proprietà degli stimatori;
momenti campionari e loro proprietà principali
intervalli di confidenza per la media campionaria, la V.C. "t di Student"

Identificazione di modelli lineari nei parametri

Il metodo dei minimi quadrati, equazioni normali, identificabilità;
Best Linear Unbiased Estimator: stimatore, varianza dei parametri;
Validazione e scelta della complessità: test chi quadrato, test F, criteri FPE, AIC, MDL.

Metodi didattici

Lezioni frontali, esercitazioni

Testi di riferimento

Appunti delle lezioni (http://sisdin.unipv.it/labsisdin/teaching/teaching.php).

M. Bramanti. Calcolo delle probabilità e statistica. Esculapio.

A. Papoulis. Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. McGraw-Hill.

	L. Ljung. System Identification: Theory for the User. Prentice-Hall.
Modalità verifica apprendimento	Esame scritto: due domande di natura teorica e due di natura pratica.
Altre informazioni	Esame scritto: due domande di natura teorica e due di natura pratica.
Obiettivi Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile	$lbl_legenda_sviluppo_sostenibile

UNIVERSITÀ DI PAVIA

Anno Accademico 2018/2019

IDENTIFICAZIONE DEI MODELLI E ANALISI DEI DATI B

Anno immatricolazione	2018/2019
Anno offerta	2018/2019
Normativa	DM270
SSD	ING-INF/04 (AUTOMATICA)
Dipartimento	DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE
Corso di studio	INDUSTRIAL AUTOMATION ENGINEERING - INGEGNERIA DELL'AUTOMAZIONE INDUSTRIALE
Curriculum	PERCORSO COMUNE
Anno di corso	1°
Periodo didattico	Secondo Semestre (06/03/2019 - 14/06/2019)
Crediti	6
Ore	52 ore di attività frontale
Lingua insegnamento	
Tipo esame	SCRITTO E ORALE CONGIUNTI
Docente	DE NICOLAO GIUSEPPE (titolare) - 6 CFU
Prerequisiti	Nozioni base di teoria degli insiemi, logica, nozione di limite, derivata e integrale, massimizzazione di funzioni di una o più variabili.
Obiettivi formativi	Conoscenza delle nozioni di base di: teoria della stima (stima a massima verosimiglianza, stima a posteriori); identificazione di modelli mediante reti neurali; processi casuali (media, autocovarianza, densità spettrale di potenza, predizione ottima); identificazione di modelli ARMAX. Capacità di risolvere problemi di identificazione e predizione a partire dalla formalizzazione del problema di identificazione fino all'uso di strumenti informatici per stimare i parametri ed effettuare simulazioni.
Programma e contenuti	La teoria dell'identificazione raggruppa un insieme di metodologie che consentono di costruire modelli matematici di sistemi e segnali a partire dalla rilevazione di dati sperimentali. In presenza di sistemi complessi il

cui comportamento è difficilmente riconducibile a leggi note, il ricorso a tecniche di identificazione è spesso l'unico modo per ottenere modelli matematici da usare per la previsione, la simulazione e il controllo. I metodi presentati nel corso sono largamente applicati in settori eterogenei quali i controlli automatici, l'econometria, l'idrologia, la bioingegneria, la geofisica e le telecomunicazioni. Vengono presentate le principali proprietà (stabilità e relazioni ingresso-uscita nel dominio del tempo e delle frequenze) dei sistemi lineari a tempo discreto. Nell'ambito dell'identificazione parametrica, ampio spazio è dedicato alla validazione dei modelli e alla scelta della loro complessità. Vengono anche illustrati e discussi alcuni metodi di identificazione basati sull'uso di reti neurali, analizzando vantaggi e svantaggi rispetto alle tecniche di identificazione tradizionali. Lo studio dei modelli dinamici affronta tre argomenti principali: la predizione ottima di processi casuali stazionari (filtraggio alla Wiener), l'identificazione di sistemi dinamici a tempo discreto e la stima spettrale (sia non parametrica che a massima entropia).

Teoria della stima:

il criterio della massima verosimiglianza: proprietà ed esempi;
stima "a posteriori": stimatore di Bayes;
crossvalidazione, effetti della complessità dei modelli su polarizzazione e varianza;
identificazione di modelli non lineari nei parametri.

Identificazione mediante reti neurali:

reti neurali a base radiale;
reti di percettroni;
generalizzazione, overfitting, dimensionamento delle reti.

Processi casuali e predizione ottima:

media, autocorrelazione, autocovarianza, indipendenza, incorrelazione; rumore bianco, passeggiata casuale, processi MA, AR, ARMA, equazioni di Yule-Walker;
stazionarietà, densità spettrale di potenza, stima spettrale non parametrica;
teorema della fattorizzazione spettrale, predittore ottimo.

Identificazione di modelli dinamici:

modelli a errore di uscita, ARX, ARMAX;
l'approccio predittivo all'identificazione;
stima ai minimi quadrati di modelli ARX: analisi probabilistica, persistente eccitazione.

Metodi didattici	Lezioni frontali, esercitazioni, laboratorio
Testi di riferimento	Appunti delle lezioni (http://sisdin.unipv.it/labsisdin/teaching/teaching.php).

	A. Papoulis. Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. McGraw-Hill. L. Ljung. System Identification: Theory for the User. Prentice-Hall.
Modalità verifica apprendimento	Esame scritto: due domande di natura teorica e due di natura pratica.
Altre informazioni	Esame scritto: due domande di natura teorica e due di natura pratica.
Obiettivi Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile	$lbl_legenda_sviluppo_sostenibile