

SYLLABUS DEL CORSO

Modelli Probabilistici per le Decisioni

2627-1-F1802Q106

Obiettivi

Il corso fornirà i principali concetti e strumenti operativi, basati su metodi probabilistici e computazionali, per rappresentare l'incertezza, aggiornare credenze a partire da dati incompleti o rumorosi, modellare l'evoluzione di sistemi dinamici e supportare decisioni razionali in condizioni di incertezza. Gli studenti acquisiranno abilità nell'utilizzare i concetti e i metodi appresi per risolvere problemi di inferenza, previsione e decisione. In particolare, gli studenti acquisiranno competenze nella costruzione e valutazione di modelli probabilistici, nell'uso di tecniche di simulazione e campionamento, nell'analisi di processi markoviani e modelli temporali, e nella formulazione di problemi decisionali sequenziali.

****Conoscenza e capacità di comprensione ****(DdD 1)

Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:

- Conoscere e comprendere i principali concetti, teorie e metodi relativi al ragionamento probabilistico in condizioni di incertezza.
- Conoscere modelli probabilistici temporali, catene di Markov, Hidden Markov Models, filtri bayesiani e modelli decisionali sequenziali.
- Comprendere il ruolo di inferenza, previsione, simulazione e decisione nei sistemi intelligenti e nelle applicazioni informatiche.
- Riconoscere le connessioni tra probabilità, intelligenza artificiale, machine learning, analisi di sequenze e reinforcement learning.

Conoscenza e capacità di comprensione applicate (DdD 2)

Lo studente sarà in grado di:

- Applicare le conoscenze teoriche acquisite per risolvere problemi specifici o casi di studio relativi a modelli probabilistici e decisionali.
- Utilizzare strumenti e tecniche di analisi per progettare soluzioni concrete in presenza di incertezza.
- Condurre esperimenti, attività pratiche o simulazioni.
- Implementare semplici procedure di inferenza, campionamento, filtraggio e decisione sequenziale.

Autonomia di giudizio (DdD 3)

Attraverso attività di laboratorio, esercitazioni e discussioni guidate, lo studente svilupperà:

- Capacità critica nell'interpretazione dei dati, delle evidenze e delle informazioni raccolte.
- Abilità di valutare diverse strategie modellistiche e decisionali, ponderando vantaggi, limiti e assunzioni.
- Capacità di formulare giudizi motivati e argomentati in modo autonomo rispetto alla scelta e all'uso di modelli probabilistici.

Abilità comunicative (DdD 4)

Durante il corso, lo studente sarà stimolato a:

- Comunicare efficacemente i risultati delle proprie analisi sia in forma scritta, attraverso assignments ed esercitazioni, sia in forma orale, attraverso discussioni e presentazioni.
- Utilizzare un linguaggio tecnico adeguato e chiaro.
- Argomentare le scelte modellistiche e interpretare criticamente i risultati ottenuti.

Capacità di apprendere (DdD 5)

Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:

- Organizzare e pianificare in modo autonomo il proprio percorso di approfondimento e aggiornamento professionale.
- Utilizzare risorse bibliografiche, digitali e strumenti di autoapprendimento per continuare lo studio in modo efficace.
- Sviluppare un approccio critico e riflessivo verso nuove conoscenze e tecnologie relative a modelli probabilistici, sistemi decisionali e intelligenza artificiale.

Contenuti sintetici

Rappresentazione dell'incertezza nei problemi di decisione.

Inferenza probabilistica e regola di Bayes.

Simulazione probabilistica, numeri pseudo-casuali e metodi Monte Carlo.

Catene di Markov e processi stocastici a tempo discreto.

Ragionamento probabilistico nel tempo e Hidden Markov Models.

Filtraggio bayesiano, filtri di Kalman e particle filtering.

Decisioni sotto incertezza, utilità attesa e valore dell'informazione.

Decisioni sequenziali, Markov Decision Processes, Bellman equation e collegamenti con il reinforcement learning.

Programma esteso

1. Rappresentazione dell'incertezza nei problemi decisionali.

Azione in condizioni di incertezza. Nozioni di base di probabilità. Distribuzioni congiunte e condizionate. Inferenza tramite distribuzione congiunta completa. Indipendenza e indipendenza condizionale. Regola di Bayes e applicazioni.

Riferimento: Russell & Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th ed., Chapter 12, Sections 12.1–12.5 (3^a ed. it.: Capitolo 13, sezioni 13.1–13.5).

2. Simulazione probabilistica e generazione di variabili casuali.

Numeri casuali e pseudo-casuali. Numeri pseudo-casuali, seed, periodo, riproducibilità e proprietà statistiche delle sequenze generate. Generazione da distribuzione uniforme, trasformazione inversa, generazione da distribuzioni discrete e metodo acceptance-rejection. Introduzione alla simulazione Monte Carlo per la stima di probabilità e valori attesi.

Riferimento: materiale fornito dal docente; Rubinstein & Kroese, Simulation and the Monte Carlo Method, 3rd ed., Chapter 2, Sections 2.2–2.4; Chapter 4, Sections 4.2–4.3.

3. Catene di Markov.

Processi stocastici a tempo discreto. Proprietà markoviana. Spazio degli stati, distribuzione iniziale e matrice di transizione. Probabilità a più passi ed evoluzione della distribuzione di stato. Classificazione degli stati, stati assorbenti, ricorrenza e transienza. Distribuzioni stazionarie e comportamento asintotico. Random walk e applicazioni.

Riferimento: materiale fornito dal docente; Norris, Markov Chains, Chapter 1.

4. Hidden Markov Models e inferenza sequenziale.

Estensione delle catene di Markov al caso di stati non direttamente osservabili. Stati nascosti e osservazioni rumorose. Definizione di Hidden Markov Model tramite distribuzione iniziale, modello di transizione e modello di emissione. Ipotesi di Markov, ipotesi di osservazione locale e fattorizzazione della distribuzione congiunta lungo la sequenza. Filtering, prediction, smoothing e likelihood di una sequenza di osservazioni. Algoritmo forward, algoritmo forward-backward e algoritmo di Viterbi. Cenni all'apprendimento dei parametri tramite Baum-Welch/EM. Riferimento: Russell & Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th ed., Chapter 14, Sections 14.1–14.3 (3^a ed. it.: Capitolo 15, sezioni 15.1–15.3); Rabiner, "A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition", limitatamente alla definizione degli HMM, ai tre problemi fondamentali, agli algoritmi forward, forward-backward, Viterbi e Baum-Welch. Per i cenni all'apprendimento dei parametri: Russell & Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th Global ed., Chapter 21, Section 21.3 (3^a ed. it.: Capitolo 20, sezione 20.3).

5. Filtraggio bayesiano continuo.

Filtro di Bayes come schema generale di aggiornamento della belief. Stati continui e osservazioni rumorose. Modelli lineari gaussiani e filtro di Kalman. Predizione, aggiornamento, media, covarianza, innovazione e Kalman gain. Cenni a Extended Kalman Filter e Particle Filter per modelli non lineari, non gaussiani o multimodali.

Riferimento: Russell & Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th ed., Chapter 14, Sections 14.1–14.2 and 14.4 (3^a ed. it.: Capitolo 15, sezioni 15.1–15.2 e 15.4); materiale fornito dal docente; Thrun, Burgard, Fox, Probabilistic Robotics.

6. Decisioni sequenziali e Markov Decision Processes.

Problemi decisionali sequenziali. Stati, azioni, transizioni probabilistiche, ricompense e politiche. Markov Decision Processes. Funzioni di valore. Bellman equation e principio di ottimalità. Value iteration e policy iteration. Cenni a Partially Observable Markov Decision Processes e collegamenti con il reinforcement learning.

Riferimento: Russell & Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 4th Global ed., Chapter 16, Sections 16.1–16.2 and 16.4 (3^a ed. it.: Capitolo 17, sezioni 17.1–17.4). Per eventuali cenni agli algoritmi per POMDP: Russell & Norvig, Chapter 16, Section 16.5 (3^a ed. it.: Capitolo 17, sezione 17.4). Per il collegamento con il reinforcement learning: Sutton & Barto, Reinforcement Learning: An Introduction, 2nd ed., Chapter 3 and Chapter 4, Sections 4.1–4.4.

Prerequisiti

Nozioni di base di probabilità, statistica e algebra lineare. È utile una conoscenza di base della programmazione e degli algoritmi.

Modalità didattica

Lezioni, esercizi e laboratorio.

Il corso è erogato in lingua italiana.

Il corso prevede 54 ore complessive, articolate in lezioni teoriche, esercitazioni e attività di laboratorio in presenza, con eventuali attività interattive secondo le modalità previste dal calendario didattico.

Materiale didattico

S. Russell, P. Norvig, "Intelligenza Artificiale: Un Approccio Moderno", Prentice Hall, III Edizione.
Materiale fornito dal docente: slides, esercizi, notebook e papers selezionati.

Riferimenti integrativi:

- J. R. Norris, Markov Chains.
- L. R. Rabiner, A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition.
- S. Thrun, W. Burgard, D. Fox, Probabilistic Robotics.
- R. S. Sutton, A. G. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction.
- K. P. Murphy, Machine Learning: A Probabilistic Perspective oppure Probabilistic Machine Learning: An Introduction.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo Semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Esame Scritto + orale facoltativo

Orario di ricevimento

Su appuntamento

Sustainable Development Goals

IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE
