

Network Traffic Engineering

I. DESCRITTORI / DESCRIPTORS

- I.1 SSD: ING-INF/03
- I.2 Credits (ECTS): 6
- I.3 Lecturer: Andrea Baiocchi
- I.4 Spring term (from end of February to end of May).

2. OBIETTIVI FORMATIVI / COURSE OBJECTIVES

ITA

Conoscenze e comprensione. Il corso punta a fornire strumenti ed esempi applicativi per la modellazione, la valutazione delle prestazioni e il dimensionamento di sistemi di servizio interconnessi in rete.

Applicare conoscenze e comprensione. Il corso punta a rendere lo studente capace di formulare e risolvere un problema di valutazione delle prestazioni, passando anche attraverso la realizzazione di simulazioni e l'analisi dei dati ottenuti.

Capacità critiche e di giudizio. Attraverso mini-progetti e laboratorio in aula si stimola lo studente ad affrontare a passare da una descrizione sistemistica ad un modello quantitativo calibrato per rispondere a domande sul funzionamento del sistema in esame. Particolare attenzione è rivolta all'analisi critica dei risultati numerici e alla verifica di validità delle ipotesi e approssimazioni introdotte nei modelli.

Risultati attesi dell'apprendimento. Capacità di identificare, risolvere e utilizzare modelli di sistemi di servizio e modelli di traffico, sia con approccio analitico, sia simulativo. Utilizzazione di questi strumenti per il progetto di sistemi di servizio interconnessi in rete.. Lo studente dovrà essere in grado di identificare un modello di un sistema di servizio, identificare i parametri del modello a partire da misure o dati di partenza, eseguire analisi e simulazioni per verificare le prestazioni del sistema.

ENG

Knowledge and understanding. The course aims at providing tools and application examples for modeling, performance evaluation and dimensioning of networked service systems.

Applying knowledge and understanding. The course aims at making the student able to state and solve a performance evaluation problem, including the realization of simulation experiments and the data analysis thereof.

Making judgements. Through mini-projects and class lab, students are encouraged to move from a system description to a mathematical model defined to answer to quantitative issues on the system working. Specific attention is paid to a critical review of numerical results and to validity checking of hypotheses and approximations introduced in the models.

Expected learning achievements. Capability of identifying, solving and using service system models and traffic models, either via analytical means, or simulations. Exploitation of these tools for networked service system design. Students are expected to be able to identify a model of a service system, fit data into model parameters, do analysis or run simulations to assess the system performance.

3. PREREQUISITI / PREREQUISITES

ITA

Conoscenze di base di probabilità e di reti di telecomunicazione. Capacità di programmazione.

ENG

Undergraduate level knowledge of probability and telecommunication networking. Basic computer programming skills.

4. PROGRAMMA / SYLLABUS

ITA

Ingegneria del traffico. (5 ore) Ruolo e approcci per la valutazione delle prestazioni e l'ingegneria del traffico nelle reti. Sistemi di servizio: definizioni e struttura. Arrivi tempi di servizio. Processo di traffico. Il processo di Poisson: definizioni, proprietà, test sperimentali. Metriche di prestazione. Equazione di Lindley. Legge di Little.

Scheduling e Load Balancing. (8 ore) Classificazione e legge di conservazione. Priorità: HOL, SJF. Scheduling: Processor sharing, Generalized Processor Sharing, Round Robin, Credit-based scheduling, LAS. Load Balancing: politiche push e pull, ritardo ottimale, JSQ, JBT.

Reti a pacchetto. (6 ore) Rete di code aperta di Jackson. Analisi del ritardo di attraversamento in equilibrio. Applicazione ad una rete IP. Ottimizzazione della capacità dei collegamenti con instradamento assegnato. Paradosso di Braess.

Reti cellulari. (6 ore) Modello di Erlang. Applicazione alle reti cellulari. Dimensionamento della copertura cellulare sotto vincoli di qualità di servizio. Confronto tra allocazione dei canali fissa e dinamica.

Protocolli di accesso multiplo casuale. (6 ore) Slotted ALOHA: protocollo, modello, analisi, stabilizzazione. Il CSMA/CA di Wi-Fi: modello del back-off, analisi della portata in saturazione. Anomalia prestazionale.

Controllo della congestione. (9 ore) Approssimazione fluida. Esempi. Richiami sul TCP. Applicazione all'analisi del controllo di congestione di una connessione TCP con singolo collo di bottiglia. DCTCP. Analisi fluida del DCTCP. Equità e Network Utility Maximization (NUM). Interpretazione del TCP come un controllore distribuito per la risoluzione del problema NUM.

Laboratorio di simulazione. (20 ore). Simulazione discreta di sistemi di servizio: approcci ad eventi e sincrono. Generazione di variabili aleatorie. Elementi di stimatori di punto e di intervallo. Realizzazione di modelli di simulazione stocastica su calcolatore, relativi agli argomenti trattati nelle lezioni.

ENG

Traffic engineering. (5 hours) Role of and approaches to performance evaluation and network traffic engineering. Service systems: definitions and structure. Arrival and service processes. Traffic process. Poisson process: definition, properties, experimental testing. Performance metrics. Lindley's recursion. Little's law.

Scheduling and Load Balancing. (8 hours) Classification and conservation law. Priority: HOL, SJF. Scheduling: Processor Sharing and Generalized Processor Sharing, Round Robin, Credit-based scheduling, LAS. Load Balancing: push and pull policies, delay optimality, JSQ, JBT.

Packet networks. (6 hours) Jackson open queueing networks. Analysis of transit time at equilibrium. Applications to an IP network. Optimization of link capacities for a given routing. Braess' paradox.

Cellular networks. (6 hours) Erlang's model. Applications to cellular networks. Dimensioning of the cellular coverage under quality of service constraints. Comparison of Fixed versus Dynamic Channel Allocation.

Random access protocols. (6 hours) Slotted ALOHA: protocol, model, analysis, stabilization. Wi-Fi CSMA/CA: back-off model, saturation throughput analysis. Performance anomaly..

Congestion control. (9 hours) Fluid approximation. Examples. TCP refresher. Fluid analysis of the congestion control of a long-lived Reno TCP connection with a single bottleneck. DCTCP. Fluid analysis of DCTCP. Fairness and Network Utility Maximization (NUM). Interpretation of TCP congestion control as an adaptive, distributed controller solving NUM.

Laboratory of simulation. (20 hours). Service systems discrete simulation: event-driven and synchronous approaches. Generation of random variables. Basics of point and interval statistics. Development of simple models of stochastic simulation.

5. MATERIALE DIDATTICO / LEARNING MATERIAL

- MATERIALE DISPONIBILE SUL SITO WEB DEL CORSO (LUCIDI, SCRIPT DI SIMULAZIONE, MISURE DI TRAFFICO).
- MATERIAL AVAILABLE FROM THE COURSE WEB SITE (SLIDES, SIMULATION SCRIPTS, MEASURED TRAFFIC DATA).

6. BIBLIOGRAFIA / BIBLIOGRAPHY

- MAIN REFERENCE:

- A. BAIOCCHI, NETWORK TRAFFIC ENGINEERING – STOCHASTIC MODELS AND APPLICATIONS, WILEY, 2020

- FURTHER REFERENCES:

- F. KELLY AND E. YUDOVINA, STOCHASTIC NETWORKS, CAMBRIDGE UNIV. PRESS, 2014.
- N. GAUTAM, ANALYSIS OF QUEUES - METHODS AND APPLICATIONS, CRC PRESS, 2012.
- R. SRIKANT, THE MATHEMATICS OF INTERNET CONGESTION CONTROL, BIRKHAUSER, DECEMBER 2003.

7. SITO WEB DI RIFERIMENTO / REFERENCE WEB SITE

<https://web.uniroma1.it/netlab/network-traffic-engineering>