

## ΜΑΘΗΜΑ: Πιθανοτικά Μοντέλα με χρήση Δεδομένων στη Διαδικασία Λήψης Αποφάσεων

### ΜΕΡΟΣ Α: Βελτιστοποίηση επίδοσης στοχαστικών συστημάτων παροχής υπηρεσιών με χρήση δεδομένων

#### Σύντομη περιγραφή

Ο τομέας της παροχής υπηρεσιών είναι κεντρικός στη σύγχρονη ζωή των μεταβιομηχανικών κοινωνιών - πάνω από το 70% του ΑΕΠ στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες οφείλεται στον τομέα αυτό. Σημαντικά παραδείγματα εφαρμογών του εν λόγω τομέα περιλαμβάνουν τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης (νοσοκομεία), οι χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες (τράπεζες) και οι υπηρεσίες τηλεφωνίας (τηλεφωνικά κέντρα) και διαδικτύου. Εξαιτίας της σημαντικότητας των εν λόγω υπηρεσιών στη σύγχρονη κοινωνία, υπάρχει μια αυξανόμενη ζήτηση για διεπιστημονική έρευνα υψηλής ποιότητας στον τομέα των υπηρεσιών, και εκπαίδευσης ειδικών που είναι σε θέση να σχεδιάσουν συστήματα υπηρεσιών και να επιλύσουν πολύπλευρα προβλήματα που προκύπτουν κατά την εφαρμογή τους. Στόχος του μαθήματος είναι να παράσχει ένα πλήρες πλαίσιο στη μοντελοποίηση συστημάτων παροχής υπηρεσιών (μεγάλης κλίμακας), καθώς και ένα σύνολο τεχνικών που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό, την ανάλυση τους. Η διδακτική μας προσέγγιση είναι προσανατολισμένη στην κατασκευή στοχαστικών μοντέλων που περιγράφουν τα εν λόγω συστήματα παροχής υπηρεσιών χρησιμοποιώντας δεδομένα. Θα παρουσιαστούν παραδείγματα από διάφορους κλάδους υπηρεσιών με κεντρικό τομέα εφαρμογής τα τηλεφωνικά κέντρα και τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Το κύριο θεωρητικό πλαίσιο είναι η θεωρία ουρών. Ωστόσο, το θέμα είναι διεπιστημονικό και περιλαμβάνει εναλλακτικά πλαίσια, που προέρχονται από τη Στατιστική, την Ψυχολογία και το Μάρκετινγκ.

**Προαπαιτούμενα:** Ένα μάθημα Στοχαστικής μοντελοποίησης/Στοχαστικών διαδικασιών.

| Πρόγραμμα διαλέξεων |  |   |
|---------------------|--|---|
| Εβδομάδα            | Αντικείμενο διάλεξης   | Λεπτομέρειες  |
| 1                   | Εισαγωγή στα συστήματα παροχής υπηρεσιών, Βασικά στοιχεία εισροής-εκροής: Χωρητικότητα, βαθμός χρησιμοποίησης εξυπηρετητών, προσφερόμενο φορτίο, πόροι, και Νόμος του Little | Μελέτη τηλεφωνικού κέντρου και τμήματος έκτακτης ανάγκης, μελέτη συστημάτων παροχής υπηρεσιών βασισμένοι σε δεδομένα, εφαρμογές, σενάρια πεπερασμένου ορίζοντα, περιοδική μελέτη, σε στατιστική ισορροπία. Εμπειρική ανάλυση με χρήση διαγραμμάτων.   |
| 2                   | Μετρήσεις δεδομένων  | Η σημασία των μετρήσεων: Ανάλυση και έλεγχος, σύνδεση με το στόχο της επιχείρησης. Μέθοδοι απόκτησης δεδομένων: Αυτοματοποιημένα συστήματα πρόσωπο με πρόσωπο (τηλεφωνικά κέντρα). Μετρήσεις βασισμένες στις συναλλαγές: Bank Tellers, Telephone, Internet, Transportation, Administrative. Συνοπτικά στατιστικά στοιχεία και εργαλεία: μεταβολές με την πάροδο του χρόνου, διαγράμματα Pareto, ιστογράμματα, διαγράμματα Fishbone, Scatterplots. |
| 3                   | Βασικά Μοντέλα. Δίκτυα έργων (επεξεργασία). Εμπειρικά μοντέλα (βάσει δεδομένων), Δυναμικά-Στοχαστικά δίκτυα PERT / CPM   | DS PERT / CPM, δίκτυα BPR, Δομικά στοιχεία: πελάτες (θέσεις εργασίας), δραστηριότητες, πόροι, διαδικασίες (διαδρομές). Περιγραφικές εννοιολογικές ενότητες: Διάγραμμα δραστηριότητας, Διάγραμμα πόρων, Συνδυασμένο Διάγραμμα (Δραστηριότητα + Πόροι), Διαχείριση Έργου: Δυναμικό-στοχαστικό πλαίσιο. Χρήση ουρών αναμονής μέσω DS PERT / CPM, Καθορισμός Χωρητικότητας σταθμού εξυπηρέτησης.  |
| 4                   | Μελέτη σταθμών εξυπηρέτησης με μοντέλα ρευστών (Fluid model)   | Μοντέλα ροής των δικτύων εξυπηρέτησης. Ένα προσδιοριστικό μοντέλο ενός σταθμού εξυπηρέτησης. Εφαρμογές στην στελέχωση του συστήματος (staffing)   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| 5 | Βασικές μέθοδοι μοντελοποίησης των διαδικασιών αφίξεων, εξυπηρετήσεων και ανυπομονησίας   | Διαδικασία Poisson, κλιμάκωση και κεντράρισμα δεδομένων, δυναμική τυχαία κίνηση, χρονικά εξαρτημένη διαδικασία Poisson για την κίνηση δεδομένων στο Internet, υπολογισμός του προσφερόμενου φορτίου, κατανομές τύπου φάσης. Πρόβλεψη.                               |
| 6 | Μαρκοβιανές ουρές αναμονής  | Μελέτη των βασικών συστημάτων και δικτύων   |
| 7 | Το σύστημα Palm/Erlang-A, Τα συστήματα G/G/m με/χωρίς αναχωρήσεις πελατών   | Εφαρμογές στην μελέτη τηλεφωνικών κέντρων, Το σύστημα M/M/n+G Queue, Σχεδιάζοντας τηλεφωνικά κέντρα με ανυπόμονους πελάτες  |
| 8 | Τα μοντέλα Erlang B/C. Μοντέλα υπηρεσιών ED, QD, QED και εφαρμογές στη στελέχωση. Συστήματα αναμονής με χρονικά εξαρτημένες παραμέτρους | Erlang-B / C: ανάλυση και ασυμπτωτική συμπεριφορά, χρονομεταβλητά φορτία εισόδου, διαχείριση εργατικού δυναμικού, Erlang B / C / A στο καθεστώς QED, Χρονικά εξαρτημένη ανάλυση συστημάτων αναμονής.  |
| 9 | Δρομολόγηση βασισμένη στις δεξιότητες και λειτουργικές πολυπλοκότητες. Σχεδιασμός, Προσωπικό, Έλεγχος. Λειτουργικές πολυπλοκότητες.     | Χρονικά μεταβαλλόμενες ουρές και δρομολόγηση βασισμένες στις δεξιότητες (SBR). Προγραμματισμός εξυπηρετητή, δρομολόγηση πελατών και στελέχωση προσωπικού. E-Driven SBR: στρατηγικές δεικτών. QED SBR: Ειδικές περιπτώσεις. Διαστασιολόγηση ενός τηλεφωνικού κέντρου |

### Αξιολόγηση:

1. Εργασίες (30%): Οι εργασίες θα είναι προσανατολισμένες σε θεωρητικό, εμπειρικό και πρακτικό επίπεδο. Η εμπειρική ανάλυση θα περιλαμβάνει πραγματικά δεδομένα από ένα τηλεφωνικό κέντρο εξυπηρέτησης μιας τράπεζας (<http://ie.technion.ac.il/serveng2013S/callcenterdata/index.html>). Η πρακτική ανάλυση θα βασιστεί σε δύο εργαλεία: το SEEStat και το 4CallCenters. Το πρώτο εργαλείο, που αναπτύχθηκε στο SEECenter, παρέχει ένα διαδικτυακό γραφικό περιβάλλον με δεδομένα συναλλαγών (τηλεφωνικά κέντρα, νοσοκομεία). Το δεύτερο εργαλείο υποστηρίζει τη διαχείριση του εργατικού δυναμικού (στελέχωση).
2. Παρουσίαση και ανάπτυξη θεμάτων από την διεθνή βιβλιογραφία/αρθρογραφία (20%).
3. Γραπτή εξέταση (50%).

### Βιβλιογραφία

1. J. Fitzsimmons, M. Fitzsimmons, Service Management: Operations, Strategy, Information Technology, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill, 2004.
2. R. W. Hall, Queueing Methods: For Services and Manufacturing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
3. Gans N., Koole G., and Mandelbaum A. Telephone Call Centers: Tutorial, Review and Research Prospects. Manufacturing and Service Operations Management (M&SOM), 5 (2), 79-141, 2003.
4. Brown, L., Gans, N., Mandelbaum, A., Sakov, A., Zeltyn, S., Zhao, L. and Haipeng, S. Statistical Analysis of a Telephone Call Center: A Queueing-Science Perspective. JASA, 2005.
5. G. F. Newell, Applications of Queueing Theory, 2<sup>nd</sup> edition, Chapman and Hall, 1982.
6. W. Whitt. Stochastic-Process Limits. Springer, New York, 2002.
7. W. Whitt, Time-varying queues. Queueing Models and Service Management, forthcoming, 2017.
8. W. Whitt, X. Zhang, A data-driven model of an emergency department, Operations Research for Health Care 12, 1–15, 2017

## PART A: Service Engineering

### Brief description

Service sector is central in the life of post-industrial societies - more than 70% of the Gross National Product in most developed countries is due to this sector. Important examples are healthcare systems (hospitals), financial services (banks) and telephone and internet services. In concert with this state of affairs, there exists

a growing demand for high-quality multi-disciplinary research in the field of services, as well as for a significant number of *Service Engineers*, namely scientifically-educated specialists that are capable of designing service systems, as well as solving multi-faceted problems that arise in their practice. The course will provide a framework for modeling service systems and techniques that are used to design, analyze, and operate service systems. Our teaching approach is data oriented: examples from various service sectors are presented at lectures and homework assignments, with the call center industry being the central application area. In this course, a service system is viewed as a stochastic network. Thus, the main theoretical framework is queueing theory, which primarily involves a large class of stochastic models. However, the subject matter is highly multi-disciplinary; hence alternative frameworks are useful as well, including ones from Statistics, Psychology, and Marketing.

**Prerequisite:** A course on stochastic modeling/processes.

| <b>Course Schedule</b> |   |  |
|------------------------|---|--|
| <b>Week</b>            | <b>Lecture Subject</b>  | <b>Details</b>   |
| <b>1</b>               | Introduction to Service Engineering, Flow Basics and Little's Law   | Service Engineering of a Call Center, Service Engineering of an Emergency Department, Data-Based Service Engineering (Science, Management) in Call Centers, Hospitals.... Inflow, Outflow (rates), Capacity, Utilization (Occupancy), Offered Load, Resources: Servers, Highway, Examples and Applications The customer/server/manager paradigm, Scenarios: finite horizon, periodic, steady state, Queueing/Inventory buildup diagrams  |
| <b>2</b>               | Measurements - The First Prerequisite   | The importance of measurements: Analysis and control, connection to firm's goal. Methods of obtaining data: Face-to-face, automated systems (call centers). Transaction-based (Event-based) measurement: Bank Tellers, Telephone, Internet, Transportation, Administrative. Summary statistics and simple tools: changes over time, resolution, Pareto charts, Histograms, Fishbone diagrams, Scatterplots, . . .<br>Some subtleties in Measurements: Patience; What is Service-Time (Duration)? Queues in Hospitals: Empirical Study, Call Center Measurements, Data Models and Data Analysis |
| <b>3</b>               | Models-The Second Prerequisite; Project (Processing) Networks; Empirical (data-based) models, Dynamic-Stochastic PERT/CPM | Processing Networks and DS PERT/CPM, The Processing Network Paradigm (BPR), Building Blocks: customers (jobs), activities, resources, processes (routes); Conceptual Descriptions: Activity Diagram, Resource Diagram, Combined (Activity +Resource) Diagram, Project Management: dynamic stochastic (process) view. Why (operational) queues? A systematic answer via Dynamic Stochastic PERT/CPM, Defining Capacity of a service station.  |
| <b>4</b>               | Fluid model of a service station  | The Fluid View, Flow Models of Service Networks, A Deterministic Model of a Service Station  |
| <b>5</b>               | Scaling and Dynamic Randomness; Poisson Processes, Service times, modelling (im)patience                                  | Empirical Introduction, The Poisson Process: Definitions, Properties, PASTA = Poisson Arrivals See Time Averages, Biased Sampling, Intuitive construction: from Bernoulli to Poisson, or The Law of Rare Events, Non-homogeneous Poisson process, Testing: Poisson or not Poisson, Beyond Poisson: Internet applications. Forecasting of the arrival rate Calculating the Offered Load, Phase Type Distributions, abandonments.  |
| <b>6</b>               | Markovian queues  | Markov Jump Processes, Markovian networks  |

|   |  |  |
|---|--|--|
| 7 | The Palm/Erlang-A Queue, Non-parametric queues G/G/m with/without abandonments   | The Palm/Erlang-A Queue, with Applications to Call Centers, The M/M/n+G Queue: Summary of Performance Measures, Designing a Call Center with Impatient Customers, Non-Parametric Models of a Service System; GI/GI/1, GI/GI/n. |
| 8 | Operational Regimes and Staffing, Quality and Efficiency Driven (QED) Queues; application to staffing, Time varying – Erlang-R   | Erlang-B/C: Some Proofs, Facts and Analysis, Markovian Many-Server Queues: Excursions, Asymptotics, Time-Varying Loads, Workforce Management, Erlang B/C/A in the QED Regime, Time-Varying Queues.                             |
| 9 | Skills-Based Routing and its Operational Complexities. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Design, Staffing, Control;</li> <li>• A Multidisciplinary Challenge;</li> <li>• Operational Complexities.</li> </ul> | Time-Varying Queues and Skills-Based Routing (SBR). Agent Scheduling, Customer Routing and Workforce Staffing. E-Driven SBR: Index strategies. QED SBR: Special Cases. Dimensioning a call center                              |

### Evaluation:

1. Homeworks (30%): Home assignments will be theoretical, empirical and practical. Empirical analysis will involve real data from a call center that serves one of the Israeli banks (<http://ie.technion.ac.il/serveng2013S/callcenterdata/index.html>). Further data resources are from the Technion SEE Center (SEE = Service Enterprise Engineering). Practical analysis will be based on two tools: SEESat and 4CallCenters. The first tool, developed at the SEECenter, provides an online graphic-based interface with transactional data (call centers, hospitals); the second tool supports workforce management (staffing).
2. Research paper presentations (20%)
3. Final examination test (50%)

### Textbooks-related material:

1. J. Fitzsimmons, M. Fitzsimmons, Service Management: Operations, Strategy, Information Technology, 4<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill, 2004.
2. R. W. Hall, Queueing Methods: For Services and Manufacturing, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
3. Gans N., Koole G., and Mandelbaum A. Telephone Call Centers: Tutorial, Review and Research Prospects. Manufacturing and Service Operations Management (M&SOM), 5 (2), 79-141, 2003.
4. Brown, L., Gans, N., Mandelbaum, A., Sakov, A., Zeltyn, S., Zhao, L. and Haipeng, S. Statistical Analysis of a Telephone Call Center: A Queueing-Science Perspective. JASA, 2005.
5. G. F. Newell, Applications of Queueing Theory, 2<sup>nd</sup> edition, Chapman and Hall, 1982.
6. W. Whitt. Stochastic-Process Limits. Springer, New York, 2002.
7. W. Whitt, Time-varying queues. Queueing Models and Service Management, forthcoming, 2017.
8. W. Whitt, X. Zhang, A data-driven model of an emergency department, Operations Research for Health Care 12, 1–15, 2017