

Μιχαήλ Δ. Λογοθέτης

**ΘΕΩΡΙΑ  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ  
ΚΙΝΗΣΕΩΣ  
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

3η έκδοση





## ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Πρόλογοι</b> .....	17
<b>Κεφάλαιο 0:</b> <i>Προ-εισαγωγή: Αντικείμενο της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως</i> .....	25
<b>Κεφάλαιο 1:</b> <i>Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση – Εισαγωγή</i> .....	31
<b>Κεφάλαιο 2:</b> <i>Ανάλυση Μαρκοβιανών Συστημάτων Απωλειών</i> .....	57
<b>Κεφάλαιο 3:</b> <i>Ανάλυση Μαρκοβιανών Συστημάτων Αναμονής</i> .....	81
<b>Κεφάλαιο 4:</b> <i>Δίκτυα Αναμονής και Λειτουργικοί Νόμοι</i> .....	107
<b>Κεφάλαιο 5:</b> <i>Ανάλυση Μέσης Τιμής σε Δίκτυα Αναμονής</i> .....	139
<b>Κεφάλαιο 6:</b> <i>Πολυδιάστατη Κίνηση</i> .....	165
<b>Κεφάλαιο 7:</b> <i>Δίκτυα Απωλειών Μορφής Γινομένου</i> .....	199
<b>Κεφάλαιο 8:</b> <i>Ανάλυση Συστημάτων Εναλλακτικής Δρομολόγησης</i> .....	219
<b>Κεφάλαιο 9:</b> <i>Μη Μαρκοβιανά Μοντέλα Κίνησης</i> .....	247
<b>Κεφάλαιο 10:</b> <i>Προσομοίωση της Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως</i> .....	271
<b>Κεφάλαιο 11:</b> <i>Εφαρμογές σε Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα: Διαστασιολόγηση Τερματικών Ζεύξεων και Δυναμική Δρομολόγηση</i> .....	299
 <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</b>	
<b>I. Πρόγραμμα ERLANG – ENGSET</b> .....	337
<b>II. Πίνακες ERLANG – ENGSET</b> .....	351
<b>III. Προγράμματα Ανάλυσης Μέσης Τιμής</b> .....	373
<b>IV. Ο Αλγόριθμος Primal Cutting-Plane</b> .....	381
<b>V. Απαντήσεις Ασκήσεων</b> .....	385
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	419
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ</b> .....	427



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογοι .....	17
<b>Κεφάλαιο 0:</b> <b>Προ-εισαγωγή: Αντικείμενο της θεωρίας</b> <b>τηλεπικοινωνιακής κινήσεως .....</b>	<b>25</b>
1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	26
2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ.....	26
3. ΑΥΤΟΤΕΛΕΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΝ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΑΥΤΟΤΕΛΕΣ ΜΑΘΗΜΑ .....	26
4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ .....	27
4.1 Βέλτιστος υπολογισμός των διαστάσεων μιας ζεύξης.....	27
4.2 Αξιοποίηση υποσυστημάτων συστήματος χρονομερισμού .....	28
4.3 Βέλτιστος σχεδιασμός εναλλακτικής δρομολόγησης .....	28
4.4 Αξιολόγηση «καλής» λειτουργίας .....	29
4.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης της κίνησης στον Η/Υ .....	30
4.6 Βελτίωση της συνολικής απόδοσης των ζεύξεων του δικτύου.....	30
<b>Κεφάλαιο 1:</b> <b>Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση – Εισαγωγή .....</b>	<b>31</b>
1. Η ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ .....	32
1.1 Συμφόρηση της τηλεπικοινωνιακής κινήσεως.....	35
1.2 Βαθμός εξυπηρέτησης .....	35
1.3 Το βασικό πρόβλημα των τηλεπικοινωνιών .....	36
2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ.....	37
2.1 Φορτίο κίνησης.....	37

2.1.1	Ορισμός.....	37
2.1.2	Ιδιότητες τηλεπικοινωνιακής κινήσεως.....	39
2.1.3	Μετρήσεις της τηλεπικοινωνιακής κινήσεως.....	39
2.2	Μοντέλο άφιξης και εξυπηρέτησης κλήσεων.....	42
2.2.1	Διαδικασία γεννήσεως κλήσεων.....	42
2.2.2	Κατανομή του χρόνου εξυπηρέτησης των κλήσεων.....	46
2.3	Ταξινόμηση των μοντέλων κίνησης.....	48
3.	ΘΕΜΕΛΕΙΩΔΕΙΣ ΣΧΕΣΕΙΣ.....	50
3.1	Η Μαρκοβιανή Ιδιότητα.....	50
3.2	Η Ιδιότητα PASTA.....	51
3.3	Ο Νόμος του Little.....	52
3.4	Επέκταση του νόμου του Little.....	53
4.	ΑΣΚΗΣΕΙΣ.....	55

## Κεφάλαιο 2:

### Ανάλυση Μαρκοβιανών Συστημάτων Απωλειών..... 57

1.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ - $M/M/s(0)$ .....	58
2.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ.....	60
3.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ $M(N)/M/s(0)$ .....	61
4.	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΦΙΞΗ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ.....	64
5.	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΚΛΗΣΕΩΣ.....	65
6.	ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ.....	76
7.	ΑΣΚΗΣΕΙΣ.....	78

## Κεφάλαιο 3:

### Ανάλυση Μαρκοβιανών Συστημάτων Αναμονής..... 81

1.	ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ.....	82
1.1	$M/M/s$ queue.....	82
1.2	Μέσος χρόνος αναμονής.....	84
1.3	Κατανομή του χρόνου αναμονής.....	87
2.	ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	94
2.1	Διαδικασίες «γέννησης – θανάτου».....	94
2.2	$M/M/s/m$ .....	95
2.3	$M(n)/M/s$ queue.....	100
3.	ΑΣΚΗΣΕΙΣ.....	104

<b>Κεφάλαιο 4:</b>	
<b>Δίκτυα Αναμονής και Λειτουργικοί Νόμοι .....</b>	<b>107</b>
1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΝΑΜΟΝΗΣ .....	108
1.1 Ανοικτά και κλειστά δίκτυα αναμονής .....	110
1.2 Μοντέλα δικτύων αναμονής μορφής γινομένου .....	111
2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΓΙΑ Η/Υ .....	120
3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ .....	122
3.1 Ο νόμος της αξιοποίησης.....	123
3.2 Ο νόμος της εξαναγκασμένης ροής .....	124
3.3 Ο νόμος του Little.....	129
3.4 Ο γενικός νόμος του χρόνου απόκρισης.....	130
3.5 Ο νόμος της διαλογικής απόκρισης .....	131
3.6 Ανάλυση κυκλοφοριακής συμφοράσης.....	132
4. ΑΣΚΗΣΕΙΣ .....	136
<b>Κεφάλαιο 5:</b>	
<b>Ανάλυση Μέσης Τιμής σε Δίκτυα Αναμονής .....</b>	<b>139</b>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	140
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ .....	146
2.1 Αλγόριθμος ανάλυσης μέσης τιμής (MVA) .....	148
2.2 Προσεγγιστική ανάλυση μέσης τιμής.....	151
2.2.1 Αλγόριθμος MVA βάσει της προσέγγισης Schweitzer .....	152
3. ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΚΛΗΣΕΩΝ.....	155
3.1 Αλγόριθμος εύρεσης των εξισορροπημένων ορίων.....	160
4. ΑΣΚΗΣΕΙΣ .....	163
<b>Κεφάλαιο 6:</b>	
<b>Πολυδιάστατη Κίνηση .....</b>	<b>165</b>
1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΛΥΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .....	166
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙ-ΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .....	166
3. ΓΕΝΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΟΛΥΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .....	170
3.1 Τρόποι διάθεσης των πόρων του συστήματος.....	171
3.2 Ανάλυση συστήματος πολυδιάστατης κίνησης .....	177
3.3 Αναδρομικός τύπος υπολογισμού της πιθανότητας απωλείας κλήσεως .....	182

4. ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ.....	188
4.1 Προσεγγιστικός υπολογισμός πιθανοτήτων απωλείας κλήσεως για σύστημα δέσμευσης εύρους ζώνης .....	189
5. ΑΣΚΗΣΕΙΣ .....	196

### **Κεφάλαιο 7:**

#### **Δίκτυα Απωλειών Μορφής Γινομένου ..... 199**

1. ΔΙΚΤΥΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΟΡΦΗΣ ΓΙΝΟΜΕΝΟΥ .....	200
2. ΤΟ «ΟΡΙΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟΥ» ΓΙΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ .....	205
3. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΜΕΙΩΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ .....	206
4. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΜΕΙΩΜΕΝΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ .....	210
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ EMLM ΣΕ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ .....	211
6. ΑΣΚΗΣΕΙΣ .....	217

### **Κεφάλαιο 8:**

#### **Ανάλυση Συστημάτων Εναλλακτικής Δρομολόγησης ..... 219**

1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΡΟΗΣ.....	220
1.1 Μοντέλο κίνησης υπερροής .....	220
1.2 Μέση τιμή και διασπορά των κλήσεων υπερροής .....	222
2. Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΤΥΧΑΙΑΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ.....	223
3. ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	228
3.1 Κλασσική μέθοδος .....	228
3.2 Βέλτιστος σχεδιασμός βάσει της θεωρίας της ισοδύναμης τυχαίας κινήσεως .....	230
3.3 Μέθοδος βάσει του συστήματος δέσμευσης γραμμών .....	233
4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ .....	235
4.1 Ακριβής υπολογισμός της πιθανότητας απωλείας κλήσεως .....	238
5. ΑΣΚΗΣΕΙΣ .....	242



<b>Κεφάλαιο 9:</b>	
<b>Μη Μαρκοβιανά Μοντέλα Κίνησης .....</b>	<b>247</b>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	248
2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΗΣ .....	248
2.1 Κατανομή του υπολειπόμενου χρόνου .....	248
2.2 Μέσος υπολειπόμενος χρόνος .....	250
2.3 Νόμος της διατήρησης του ρυθμού .....	252
3. ΜΟΝΤΕΛΑ POISSON – ΓΕΝΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ .....	253
3.1 Σύστημα αναμονής M/G/1 .....	253
3.1.1 Ενσωματωμένη Μαρκοβιανή αλυσίδα .....	254
3.1.2 Πιθανότητα κατάστασης κατά την αναχώρηση των κλήσεων .....	255
3.1.3 Κατανομή του χρόνου αναμονής .....	258
3.2 Σύστημα αναμονής M/G/1(m) .....	260
4. ΜΟΝΤΕΛΟ POISSON – ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ: M/D/s .....	262
4.1 Γεννήτρια συνάρτηση της πιθανότητας κατάστασης .....	263
4.2 Μέσος χρόνος αναμονής .....	264
4.3 Κατανομή του χρόνου αναμονής .....	266
5. ΑΣΚΗΣΕΙΣ .....	268
<b>Κεφάλαιο 10:</b>	
<b>Προσομοίωση της Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως .....</b>	<b>271</b>
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	272
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ .....	274
2.1 Σύλληψη του προβλήματος και μοντελοποίηση .....	274
2.2 Γλώσσες προγραμματισμού για προσομοίωση .....	275
2.2.1 Η Γλώσσα προσομοίωσης GPSS .....	276
2.3 Γλώσσες προγραμματισμού γενικού σκοπού .....	277
2.3.1 Η Μέθοδος της Μαρκοβιανής Αλυσίδας .....	277
2.3.2 Η Μέθοδος του Χρονικού Εντοπισμού .....	280
3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΥΧΑΙΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ .....	281
3.1 Μέθοδοι δημιουργίας τυχαίων αριθμών .....	281

3.2	Ομοιόμορφοι τυχαίοι αριθμοί .....	281
3.2.1	Μέθοδος Μέσου Τετραγώνου.....	281
3.2.2	Πολλαπλασιαστική μέθοδος υπολοίπου .....	282
3.2.3	Μεικτή μέθοδος υπολοίπου .....	282
3.2.4	Μέθοδος της ακολουθίας $M$ .....	282
3.3	Τυχαίοι αριθμοί αυθαίρετης κατανομής.....	283
3.3.1	Μέθοδος αντίστροφου μετασχηματισμού.....	283
3.3.2	Μέθοδος της απόρριψης .....	286
3.3.3	Μέθοδος της σύνθεσης .....	287
4.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ....	288
4.1	Διάστημα εμπιστοσύνης.....	288
4.2	Η μέθοδος των επαναλήψεων .....	288
4.3	Η μέθοδος της μέσης τιμής υποσυνόλων .....	291
4.4	Η Αναγεννητική Μέθοδος.....	293
5.	ΣΥΝΗΘΗ ΛΑΘΗ ΣΤΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ .....	293
6.	ΑΣΚΗΣΕΙΣ .....	296

## **Κεφάλαιο 11:**

### **Εφαρμογές σε Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα: Διαστασιολόγηση Τερματικών Ζεύξεων και Δυναμική Δρομολόγηση ..... 299**

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	300
2.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΛΗΣΕΩΝ.....	300
2.1	Έλεγχος αποδοχής κλήσης (Call Admission Control –CAC).....	301
2.2	Έλεγχος συμφόρησης (Congestion Control).....	302
2.3	Έλεγχος δέσμευσης εύρους ζώνης (Bandwidth Reservation).....	302
2.4	Δυναμική δρομολόγηση (Dynamic Routing).....	302
2.5	Έλεγχος εύρους ζώνης τερματικών ζευξεων (Path Bandwidth Control) .....	302
3.	ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ .....	303
3.1	Αρχιτεκτονική δικτύου και το πρόβλημα βελτιστοποίησης.....	303
3.2	Αξιοπιστία δικτύου .....	305
3.3	Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης.....	306
3.4	Επίλυση.....	308
4.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	317
4.1	Το Αμερικανικό σύστημα DNHR – TSMR (Dynamic Non-Hierarchical Routing – Trunk Status Map Routing).....	319
4.2	Το Καναδικό σύστημα DCR (Dynamically Controlled Routing) ...	321
4.3	Το Αγγλικό σύστημα DAR (Dynamic Alternative Routing) .....	327

---

4.4 Το Ιαπωνικό σύστημα STR (State and Time-dependent Routing) ...	328
4.5 Απόδοση των συστημάτων δυναμικής δρομολόγησης.....	329
5. ΑΣΚΗΣΕΙΣ .....	330
<b>Παράρτημα I: Πρόγραμμα ERLANG – ENGSET .....</b>	<b>337</b>
<b>Παράρτημα II: Πίνακες ERLANG – ENGSET .....</b>	<b>351</b>
<b>Παράρτημα III: Προγράμματα Ανάλυσης Μέσης Τιμής.....</b>	<b>373</b>
<b>Παράρτημα IV: Ο Αλγόριθμος Primal Cutting-Plane .....</b>	<b>381</b>
<b>Παράρτημα V: Απαντήσεις Ασκήσεων.....</b>	<b>385</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>419</b>
<b>Ευρετήριο .....</b>	<b>427</b>



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ 1ης ΕΚΔΟΣΗΣ

Η Θεωρία Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως είναι ένας κλάδος των εφαρμοσμένων μαθηματικών και ειδικότερα της εφαρμοσμένης πιθανοθεωρίας. Στην βιβλιογραφία απαντάται με διάφορα ονόματα, όπως θεωρία συμφόρησης (congestion theory), θεωρία των στοχαστικών συστημάτων εξυπηρέτησης (theory of stochastic service systems), θεωρία ουρών (queuing theory) και θεωρία της μαζικής εξυπηρέτησης (theory of mass service). Επίσης αντικείμενα της Θεωρίας Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως εξετάζονται και από την επιστήμη της Επιχειρησιακής Ερεύνης (Operation Research). Ο όρος Θεωρία Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως (Teletraffic Theory) χρησιμοποιείται για θεωρίες ανάλυσης της κίνησης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, αρχίζοντας από τα τηλεφωνικά συστήματα.

Το παρόν σύγγραμμα, Θεωρία Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως και Εφαρμογές, καλύπτει τις πανεπιστημιακές παραδόσεις του μαθήματος «Θεωρία Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως», το οποίο διδάσκεται στο Β' εξάμηνο του τετάρτου έτους (8ο εξάμηνο), στο τμήμα «Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών» του Πανεπιστημίου Πατρών, ως μάθημα του τομέα «Τηλεπικοινωνίες & Τεχνολογία της Πληροφορίας». Πραγματεύεται ένα από τα βασικότερα προβλήματα των τηλεπικοινωνιών, το πρόβλημα του υπολογισμού των διαστάσεων και της αξιολόγησης της λειτουργίας τηλεπικοινωνιακών (κυρίως) και υπολογιστικών συστημάτων.

Το βιβλίο απευθύνεται κατ' αρχήν σε τηλεπικοινωνιακούς μηχανικούς και μηχανικούς Η/Υ. Δεδομένης όμως της διεισδυτικότητας της Θεωρίας Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως στον γενικότερο επιστημονικό τομέα των μηχανικών, συνιστάται η γνώση του αντικειμένου του βιβλίου αυτού σ' όλους τους Ηλεκτρολόγους/Ηλεκτρονικούς Μηχανικούς και ιδιαίτερος σε όσους εξειδικεύονται στον τομέα των τηλεπικοινωνιακών δικτύων ή δικτύων υπολογιστών ως διαχειριστές, αναλυτές ή σχεδιαστές. Ιδιαίτερος συνιστάται, ως βασικό μαθηματικό υπόβαθρο, στους φοιτητές που ενδιαφέρονται να ακο-

λουθήσουν μεταπτυχιακές σπουδές στους προαναφερθέντες τομείς. Ας σημειωθεί δε, ότι η γνώση του αντικειμένου της Θεωρίας Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως μεταξύ άλλων υποβοηθεί στην πολύ καλύτερη κατανόηση των μαθημάτων «Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα Ευρείας Ζώνης», «Διαχείριση Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων» και άλλων «δικτυακών μαθημάτων» που διδάσκονται είτε από τον συγγραφέα είτε από συναδέλφους στο Ε΄ έτος σπουδών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών, καθώς και μαθημάτων του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών.

Για την κατανόηση της Θεωρίας Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως απαιτείται μόνον η γνώση πιθανοθεωρίας, αν και όλες οι απαραίτητες έννοιες επεξηγούνται είτε στο βιβλίο (συνοπτικά) είτε κατά την διδασκαλία του μαθήματος.

Το βιβλίο απαρτίζεται από ένα προ-εισαγωγικό κεφάλαιο, δέκα κεφάλαια, τρία παραρτήματα, βιβλιογραφία και ευρετήριο βασικών όρων οι οποίοι συνοδεύονται με την αντίστοιχη αγγλική ορολογία. Αξίζει να τονισθεί ότι κάθε κεφάλαιο περιέχει πολλά λυμένα παραδείγματα και άλυτες ασκήσεις. Με τα παραδείγματα και τις ασκήσεις αποδεικνύεται εν κατακλείδι ότι το μάθημα της Θεωρίας Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως δεν είναι μόνον ένα θεωρητικό μάθημα αλλά συγχρόνως άκρως εφαρμοσμένο.

Το προ-εισαγωγικό κεφάλαιο (0) επεξηγεί το αντικείμενο της Θεωρίας Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως μέσω παραδειγμάτων και την ανάγκη ύπαρξης αυτοτελούς μαθήματος.

Το πρώτο κεφάλαιο (1) είναι εισαγωγικό και περιλαμβάνει τους βασικούς ορισμούς και τις θεμελιώδεις σχέσεις που απαιτούνται για την μοντελοποίηση και την θεωρητική ανάλυση των διαφόρων συστημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο (2) αναλύονται τα Μαρκοβιανά συστήματα απωλειών για διάφορα συστήματα εξυπηρέτησης.

Στο τρίτο κεφάλαιο (3) αναλύονται βασικά Μαρκοβιανά συστήματα αναμονής και καθίσταται σαφές ότι τα περισσότερα Μαρκοβιανά Μοντέλα ευρείας εφαρμογής είναι διαδικασίες Γέννησης-Θανάτου (Birth-Death processes).

Στο τέταρτο κεφάλαιο (4) παρουσιάζονται όχι μεμονωμένα συστήματα εξυπηρέτησης με ουρές αναμονής αλλά δίκτυα αναμονής τα οποία αναλύονται βάσει απλών σχέσεων που λέγονται λειτουργικοί νόμοι.

Στο πέμπτο κεφάλαιο (5) επεκτείνονται τα αποτελέσματα του τετάρτου κεφαλαίου στην ανάλυση της λειτουργίας των δικτύων αναμονής. Παρουσιάζεται μια πολύ δημοφιλής τεχνική ανάλυσης για τον προσδιορισμό των μέσων τιμών απόδοσης ενός συστήματος, η οποία καλείται ανάλυση μέσης τιμής.

Το έκτο κεφάλαιο (6) πραγματεύεται τα πολυδιάστατα μοντέλα τηλεπικοινωνιακής κινήσεως και έχει ιδιαίτερη σπουδαιότητα, καθόσον τα μο-

ντέλα αυτά εμφανίζονται στα μοντέρνα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα πολλαπλών υπηρεσιών (και στα δίκτυα του ΟΤΕ, τύπου Narrowband και Broadband ISDN).

Στο έβδομο κεφάλαιο (7) εξετάζονται οι απώλειες της τηλεπικοινωνιακής κινήσεως όχι σε μια μεμονωμένη ζεύξη ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου αλλά σε μια διαδρομή (route) που απαρτίζεται από τουλάχιστον δύο ζεύξεις.

Στο όγδοο κεφάλαιο (8) εξετάζονται τα συστήματα εναλλακτικής δρομολόγησης. Παρουσιάζονται μέθοδοι (όπως η περίφημη θεωρία της ισοδύναμης τυχαίας κίνησης) που στόχον έχουν να υπολογίσουν τις απώλειες της κίνησης και τις χωρητικότητες των ζεύξεων σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα που περιλαμβάνουν σύστημα εναλλακτικής δρομολόγησης της κίνησης.

Στο ένατο κεφάλαιο (9) εξετάζονται μη Μαρκοβιανά μοντέλα κίνησης, δηλαδή συστήματα εξυπηρέτησης όπου ο χρόνος εξυπηρέτησης ακολουθεί γενική στατιστική κατανομή ή είναι σταθερός. Τα συμπεράσματα του κεφαλαίου αυτού είναι ιδιαίτερος χρήσιμα καθόσον μπορούμε να αξιολογήσουμε π.χ. συγκριτικά δύο συστήματα ματάδοσης.

Στο δέκατο κεφάλαιο (10) παρουσιάζονται διάφορα θέματα προσομοίωσης της τηλεπικοινωνιακής κινήσεως στον υπολογιστή ενώ δίδεται έμφαση στην ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

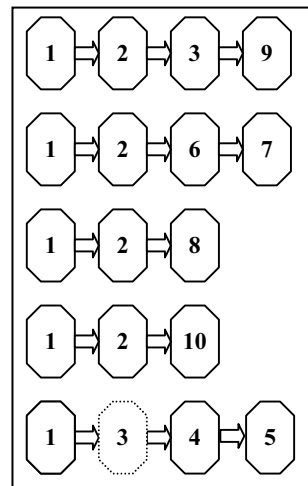
Το πρώτο παράρτημα (I) περιλαμβάνει προγράμματα σε γλώσσα Fortran, για τον υπολογισμό στον H/Y βασικών μοντέλων απωλειών (Erlang – Engset).

Το δεύτερο παράρτημα (II) περιλαμβάνει δείγματα των πινάκων Erlang.

Το τρίτο παράρτημα (III) περιλαμβάνει τις απαντήσεις των ασκήσεων κάθε κεφαλαίου. Οι πλήρεις λύσεις των ασκήσεων θα είναι στην διάθεση των καθηγητών που θα υιοθετήσουν το βιβλίο αυτό ως εγχειρίδιο διδασκαλίας σχετικού μαθήματος (απευθύνετε σχετική αίτηση στην διεύθυνση: mlogo@upatras.gr).

Ακολουθεί η βιβλιογραφία, και το σύγγραμμα τελειώνει με το ευρετήριο.

Η σειρά διαβάσματος των κεφαλαίων μπορεί να τροποποιηθεί κατά το παραπλεύρως διάγραμμα.



*Ευχαριστίες:*

*Πολλές ευχαριστίες οφείλονται στον διευθυντή του Εργαστηρίου Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας (Πανεπιστήμιο Πατρών), καθηγητή κ. Γ. Κοκκινάκη για την βιβλιογραφία που μου παρέσχε.*

*Ιδιαίτερος ευχαριστώ τον κ. Ι. Μοσχολιό, μεταπτυχιακό φοιτητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών, για την βοήθεια που μου προσέφερε στην υλοποίηση των διαφόρων υπολογιστικών εκφράσεων στον Η/Υ, για την συμβολή του στην παρουσίαση των θεμάτων του τετάρτου, πέμπτου και εβδόμου κεφαλαίου, στην λύση των ασκήσεων και στην όλη προετοιμασία αυτού του εγχειριδίου.*

*Ωσαύτως ευχαριστώ τον καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Η/Υ κ. Γ. Παπαδόπουλο για την πρωτοβουλία του επί του προγράμματος ΕΠΕΑΕΚ, από την δράση του οποίου "Συγγράμματα" χρηματοδοτήθηκε εν μέρει το παρόν πόνημα.*

*Πάτρα, Απρίλιος 2001*

*Μιχαήλ Δ. Λογοθέτης  
Επίκουρος Καθηγητής  
Πανεπιστήμιο Πατρών*

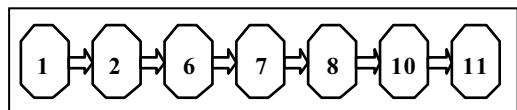


## ΠΡΟΛΟΓΟΣ 2ης ΕΚΔΟΣΗΣ

Η 2η έκδοση του βιβλίου αυτού, Θεωρία Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως και Εφαρμογές, αποτελεί βελτιωμένη και επαυξημένη έκδοση του βιβλίου που εκδόθηκε το 2001 από τις εκδόσεις Παπασωτηρίου, και εξαντλήθηκε.

Το παρόν σύγγραμμα αγαπήθηκε από προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές, τόσο του Πανεπιστημίου Πατρών όσον και άλλων ελληνικών πανεπιστημίων. Ιδιαίτέρως έγινε κτήμα και εφόδιο των μεταπτυχιακών φοιτητών μου, οι οποίοι με υπόβαθρο την Θεωρία Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως εκπόνησαν πλούσιο επιστημονικό έργο που έτυχε διεθνούς αναγνωρίσεως. Από την αγάπη αυτή των φοιτητών μου ορμώμενος, προχώρησα στη 2η έκδοση για να δείξω νέες εφαρμογές της Θεωρίας Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως, που αφορούν σε ολόκληρο το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και όχι μόνο σε μεμονωμένες ζεύξεις του δικτύου, και, επί τη ευκαιρία, να διορθώσω λάθη που ο «δαίμων του τυπογραφείου» είχε προξενήσει. Απώτερος στόχος της 2ης έκδοσης είναι, μέσω σημαντικών πρακτικών εφαρμογών που προτείνω, να αναδειχθεί η σημασία της Θεωρίας Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως στους μηχανικούς των τηλεπικοινωνιών στον ελληνικό χώρο. Δεδομένου μάλιστα ότι οι εφαρμογές αυτές έτυχαν μεγάλης αναγνωρίσεως από οργανισμούς ή εταιρείες του εξωτερικού, όπως NTT, Hitachi (Ιαπωνία), IBM, Lucent (ΗΠΑ)<sup>[56]</sup><sup>[59]</sup>, αλλά και πανεπιστημιακής διδασκαλίας, όπως στο SUNY (Buffalo, NY, ΗΠΑ)<sup>[55]</sup>.

Προστέθηκε το κεφάλαιο 11, το μεγαλύτερο του βιβλίου, συν το Παράρτημα «Ο Αλγόριθμος *Primal Cutting-Plane*» (επέκταση της Simplex) που σχετίζεται με το Κεφ. 11, όπου παρουσιάζονται εφαρμογές οι οποίες τυγχάνουν ευρείας χρήσεως στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Αφού δίδεται μια συνολική θεώρηση του ελέγχου της κίνησης σε δίκτυα, ακολούθως μελετώνται ο έλεγχος εύρους ζώνης των τερματικών ζεύξεων του δικτύου και η δυναμική δρομολόγησης της κίνησης.



Και οι δύο αυτοί έλεγχοι επηρεάζονται δραστικά από τις χωρητικότητες εύρους ζώνης των γραμμών μετάδοσης του δικτύου. Η εμπέδωσή τους γίνεται μέσω αριθμητικών παραδειγμάτων και ασκήσεων. Όσον αφορά στην υπόλοιπη ύλη της 2ης έκδοσης του βιβλίου, έμφαση δίδεται στην γεωμετρική κατανομή λόγω της μεγάλης σημασίας της στις τηλεπικοινωνίες. Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η προτεινομένη διαδοχή των κεφαλαίων, για την επιτυχή διδασκαλία του κεφαλαίου 11.

*Ευχαριστίες για την 2η έκδοση:*

*Πολλές και ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Ιωάννη Δ. Μοσχολιό, νυν Λέκτορα στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου (Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών) για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθειά του. Πέραν της επιστημονικής του γνώμης την οποία για λόγους δεοντολογίας δεν δίσταζε να μου εκθέτει, η βοήθειά του έφθασε στην λέξη προς λέξη ανάγνωση και σχολιασμό του κειμένου.*

*Επίσης, ευχαριστώ και συγχαίρω τους Μεταπτυχιακούς φοιτητές μου, κ. Βασίλη Βασιλάκη (νυν Διδάκτορα) και κ. Ιωάννη Βαρδάκα (νυν Υποψήφιο Διδάκτορα) για τις επιστημονικές τους εργασίες και την πρόοδο σε θέματα Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως που κατόρθωσαν.*

*Πάτρα, Νοέμβριος 2011*

*Μιχαήλ Δ. Λογοθέτης  
Καθηγητής  
Πανεπιστήμιο Πατρών*

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ 3ης ΕΚΔΟΣΗΣ

Ωσαύτως, η 3η έκδοση του βιβλίου αυτού αποτελεί βελτιωμένη και επαυξημένη έκδοση, κατά 50 σελίδες, της 2ης έκδοσης. Επαυξήθηκε ο αριθμός των παραδειγμάτων στα κεφάλαια 4, 5, 6, 7, 8 και 10. Ιδιαίτερη μνεία αξίζει το εκτενές και επεξηγηματικό Παράδειγμα 6.9, του πολύ σημαντικού κεφαλαίου 6 («Πολυδιάστατη Κίνηση», δηλ. κίνηση από πολλές υπηρεσίες), καθώς και οι ασκήσεις προσομοίωσης που προστέθηκαν στο κεφάλαιο 10 («Προσομοίωση της Τηλεπικοινωνιακής Κινήσεως»), διότι μπορούν να λυθούν χωρίς την βοήθεια λογισμικού, βάσει των μεθόδων δημιουργίας ψευδοτυχαίων αριθμών που περιγράφονται στο κεφάλαιο αυτό, και με την βοήθεια EXCEL spreadsheets (Microsoft Office Suite). Οι λύσεις των ασκήσεων αυτών συμπεριελήφθησαν στο Παράρτημα V (πρώην Παράρτημα IV «Απαντήσεις Ασκήσεων») με λεπτομερή σχολιασμό. Στο Παράρτημα II που περιείχε μόνο πίνακες Erlang με βάση την B-Formula, προστέθηκαν και πίνακες Erlang με βάση την C-Formula, καθώς και πίνακες Engset οι οποίοι (διαπιστώθηκε ότι) είναι δυσεύρετοι π.χ. μέσω Διαδικτύου. Δημιουργήθηκε νέο Παράρτημα (Παράρτημα III) με προγράμματα Fortran για την Ανάλυση της Μέσης Τιμής (Κεφάλαιο 5).

Συνοπτικά, η 3η έκδοση του βιβλίου αυτού περιλαμβάνει:

- 113 σχήματα
- 64 παραδείγματα
- 66 ασκήσεις με απαντήσεις
- περιγραφή (κώδικας) λογισμικού
- αγγλική ορολογία
- επιπρόσθετο υλικό: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE772/>

*Ευχαριστίες για την 3η έκδοση:*

*Για μία ακόμη φορά, πολλές και ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Ιωάννη Δ. Μοσχολιό, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου (Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών) για την κριτική ανάγνωση της έκδοσης.*

*Επίσης, στην κ. Ράνια Ντουφεξή (Γραμματεία Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών) για την επιλογή του εξωφύλλου.*

*Πάτρα, Ιούλιος 2018*

*Μιχαήλ Δ. Λογοθέτης  
Καθηγητής  
Πανεπιστήμιο Πατρών*

**ΠΡΟ-ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

*Αντικείμενο της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως*

**Περίληψη:** Στο προεισαγωγικό αυτό κεφάλαιο περιγράφεται το αντικείμενο της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως. Εξηγείται ο σκοπός της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως υπό την διαπίστωση ότι τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα εξελίσσονται από δίκτυα μιας υπηρεσίας (τηλεφωνική υπηρεσία) σε πολλαπλών δίκτυα υπηρεσιών. Το βασικότερο πρόβλημα των τηλεπικοινωνιών, μετά από την επίτευξη της επικοινωνίας, είναι η εξέταση της ποιότητας της επικοινωνίας, πράγμα που αποτελεί αυτοτελές αντικείμενο μελέτης (της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως) και επομένως χρήζει αυτοτελούς μαθήματος. Προς κατανόηση του αντικειμένου της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως παρατίθενται έξι παραδείγματα.

*Περιεχόμενα Κεφαλαίου*

<b>1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....</b>	<b>26</b>
<b>2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ.....</b>	<b>26</b>
<b>3. ΑΥΤΟΤΕΛΕΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΝ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΑΥΤΟΤΕΛΕΣ ΜΑΘΗΜΑ .....</b>	<b>26</b>
<b>4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΤΗΛ/ΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ.....</b>	<b>27</b>
4.1 Βέλτιστος υπολογισμός των διαστάσεων μιας ζεύξης.....	27
4.2 Αξιοποίηση υποσυστημάτων συστήματος χρονομερισμού .....	28
4.3 Βέλτιστος σχεδιασμός εναλλακτικής δρομολόγησης .....	28
4.4 Αξιολόγηση «καλής» λειτουργίας .....	29
4.5 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης της κίνησης στον Η/Υ .....	30
4.6 Βελτίωση της συνολικής απόδοσης των ζεύξεων του δικτύου.....	30

## 1. ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα έχουν εξελιχθεί από τα πατροπαράδοτα τηλεφωνικά δίκτυα σε ψηφιακά δίκτυα πολλαπλών υπηρεσιών, τα οποία διεκπεραιώνουν την μεταγωγή και την μετάδοση φωνής, δεδομένων και εικόνων. Εξ άλλου, η εξ ολοκλήρου οπτική μεταγωγής (optical switching) που επινοήθηκε τα τελευταία χρόνια, και η γενικότερη πρόοδος στις τηλεπικοινωνίες, υπόσχονται στο άμεσο μέλλον, δίκτυα ευρείας ζώνης (ταχύτητες  $\gg 2$  Mbps) με βασική υπηρεσία το *video* υψηλής ταχύτητας και ευκρίνειας (HD video – 1920×1080 pixels).

## 2. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ

Το πρόβλημα του υπολογισμού των διαστάσεων και της καλής λειτουργίας των τηλεπικοινωνιακών δικτύων πολλαπλών υπηρεσιών αντιλαμβάνεται ο καθένας μας πόσο σύνθετον είναι. Η θεωρία τηλεπικοινωνιακής κινήσεως είναι η μαθηματική βάση, αφ' ενός μεν για τον βέλτιστο –οικονομικότερο– σχεδιασμό των τηλεπικοινωνιακών δικτύων ώστε να ικανοποιούνται οι προδιαγραφές ποιότητας εξυπηρέτησης (Quality of Service –QoS) των συνδρομητών του δικτύου, αφ' ετέρου δε για την αξιολόγηση της λειτουργίας του δικτύου. Κατωτέρω αναφέρονται σχετικά παραδείγματα.

## 3. ΑΥΤΟΤΕΛΕΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΝ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΑΥΤΟΤΕΛΕΣ ΜΑΘΗΜΑ

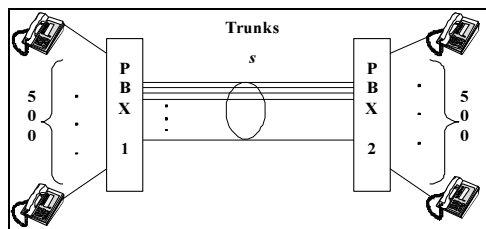
Η εξέλιξη των δικτύων έχει γιγαντώσει την κλασική θεωρία τηλεπικοινωνιακής κινήσεως. Ένα μάθημα θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως την δεκαετία του 1980, θα μπορούσε να περιορισθεί στην μελέτη των χαρακτηριστικών μίας μόνον υπηρεσίας (της τηλεφωνίας). Ένα σύγχρονο όμως μάθημα, είναι αδιανόητο να μη θεωρεί ως πραγματικότητα το περιβάλλον των πολλαπλών υπηρεσιών. Από την άλλη πλευρά, είναι αδύνατον μέσα σε ένα μάθημα ενός εξαμήνου, να καλυφθεί εξ ολοκλήρου το αντικείμενο της επιστήμης αυτής (αλλά ούτε ασφαλώς και σκοπός της πανεπιστημιακής μορφώσεως είναι). Με βάση λοιπόν αυτά, στα πλαίσια ενός αυτοτελούς μαθήματος θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως, πρέπει να καλύπτονται διεξοδικά όλα τα χαρακτηριστικά της μιας υπηρεσίας και μάλιστα από πολλές πλευρές (όλες οι μέθοδοι επιλύσεως ενός προβλήματος). Αντί δηλαδή το μέρος του μαθήματος που περιλαμβάνει την «κλασική θεωρία» να περιορίζεται στα βασικά συμπεράσματα όπως συνήθως συμβαίνει με άλλες επιστήμες, όσον α-

φορά στην θεωρία τηλεπικοινωνιακής κινήσεως, επεκτείνεται. Μόνο με την διεξοδική μελέτη του περιβάλλοντος των δικτύων μιας υπηρεσίας, είναι δυνατόν να αναλύσουμε τα ίδια προβλήματα και να κατανοήσουμε νέα προβλήματα στο σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Η ανάγκη αυτοτελούς μαθήματος δεν πηγάζει μόνο από τους σκοπούς και την έκταση του αντικειμένου, αλλά και από την δυσκολία μελέτης, διότι απαιτεί ισχυρό μαθηματικό υπόβαθρο (θεωρία πιθανοτήτων και στοχαστικών διαδικασιών). Επίσης, η σύγχρονη θεωρία τηλεπικοινωνιακής κινήσεως συμπεριλαμβάνει και επιτεύξεις της επιχειρησιακής έρευνας (Operation Research), της στατιστικής και της θεωρίας ουρών (Queueing Theory).

## 4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΤΗΛ/ΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ

### 4.1 Βέλτιστος υπολογισμός των διαστάσεων μιας ζεύξης

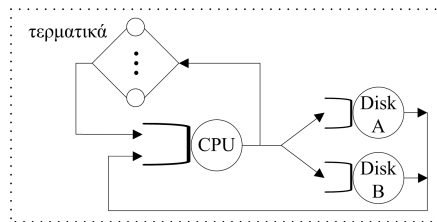
Ζητείται να υπολογίσουμε τον αριθμό  $s$  των κυκλωμάτων δικτύου (γραμμών) μεταξύ δύο ιδιωτικών συνδρομητικών κέντρων (PBX –Private Branch Exchange), κάθε ένα από τα οποία έχει 500 συνδρομητές (σχήμα 0.1). Προφανώς, αν θέλαμε να εξασφαλίσουμε τις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις στην χειρότερη περίπτωση όπου όλοι οι συνδρομητές του ενός κέντρου ομιλούν με τους αντίστοιχους συνδρομητές του άλλου κέντρου (ταυτόχρονα), χρειαζόμαστε  $s = 500$  κυκλώματα (γραμμές). Στην πράξη όμως αυτό είναι σπατάλη, γιατί κάτι τέτοιο έχει μηδενική σχεδόν πιθανότητα να συμβεί. Επίσης, αν θέταμε  $s = 2$  ή  $s = 5$ , θα ήταν ανεπαρκής λύση. Η απάντηση της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως είναι  $s = 21$  (**κεφάλαιο 2**). Με  $s = 21$  συνολικώς διαθέσιμα κυκλώματα μεταξύ των συνδρομητικών κέντρων, η θεωρία εγγυάται κατά 99% την δυνατότητα συνδιαλέξεων, αν κάθε τηλεφωνική συσκευή χρησιμοποιείτο «τυχαία» μία φορά την ώρα, και η συνδιάλεξη διαρκούσε 3 min κατά μέσον όρο. Για πολλές κατηγορίες κίνησης (πολυδιάστατη κίνηση), το πρόβλημα μελετάται στο **κεφάλαιο 6**.



Σχήμα 0.1. Παράδειγμα υπολογισμού της χωρητικότητας μιας ζεύξης.

## 4.2 Αξιοποίηση υποσυστημάτων συστήματος χρονομερισμού

Σε ένα σύστημα χρονομερισμού (timesharing) με μία CPU, 17 τερματικά και δύο δίσκους (A, B), η CPU σχεδιάζει τις επισκέψεις που θα κάνουν οι κλήσεις στους δύο δίσκους. Οι κλήσεις μετά από την εξυπηρέτησή τους σε έναν από τους δύο δίσκους επιστρέφουν στην CPU, η οποία καθορίζει την επομένη επίσκεψη. Οι κλήσεις αναχωρούν από την CPU όταν καθοριστεί η νέα επίσκεψη ή όταν έχουν πλήρως εξυπηρετηθεί. Κάθε πρόγραμμα απαιτεί χρόνο 5 sec από την CPU, κάνει 80 αιτήσεις I/O στον δίσκο A και 100 στον δίσκο B. Αν γνωρίζουμε ότι οι δίσκοι A, B για κάθε I/O χρειάζονται 30 msec και 50 msec αντιστοίχως, ποια είναι η αξιοποίησή τους; Ο δίσκος A εμετρήθη ότι διεκπεραιώνει 15.7 αιτήσεις I/O ανά sec. Βάσει του μοντέλου του σχήματος 0.2 και με απλούς λειτουργικούς νόμους (**κεφάλαιο 4**) μπορούμε να υπολογίσουμε ότι η αξιοποίηση των δίσκων είναι 78.4% και 58.8%, αντιστοίχως, για τον A και B.

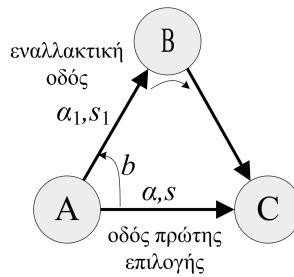


Σχήμα 0.2. Μοντέλο συστήματος χρονομερισμού.

## 4.3 Βέλτιστος σχεδιασμός εναλλακτικής δρομολόγησης

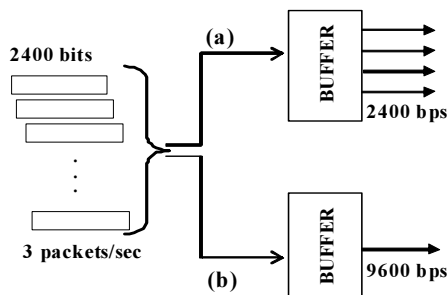
Όταν σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο παρουσιάζεται συμφόρηση κίνησης σε μια ζεύξη (AC) τότε η κίνηση μπορεί να ακολουθήσει μια εναλλακτική οδό (την ABC) για να φθάσει στον προορισμό της (σχήμα 0.3). Αν γνωρίζουμε το ποσόν της κίνησης σε κάθε ζεύξη του δικτύου και το σχέδιο εναλλακτικής δρομολόγησης που μπορούμε να εφαρμόσουμε, καθώς και το κόστος διεκπεραίωσης της κίνησης από την οδό πρώτης επιλογής ή την εναλλακτική διαδρομή, ζητείται να υπολογίσουμε τη χωρητικότητα των ζεύξεων του δικτύου κατά τον οικονομικότερο τρόπο, προδιαγράφοντας επίσης τις απώλειες κίνησης στην τελική εναλλακτική οδό. Η απάντηση στο θέμα αυτό δίδεται στο **κεφάλαιο 8**.





Σχήμα 0.3. Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο με σύστημα εναλλακτικής δρομολόγησης.

#### 4.4 Αξιολόγηση «καλής» λειτουργίας



Σχήμα 0.4. Παράδειγμα αξιολόγησης της απόδοσης ενός συστήματος.

Ας θεωρήσουμε ένα σύστημα μετάδοσης δεδομένων όπως φαίνεται στο σχήμα 0.4, όπου καθορισμένου μήκους πακέτα των 2400 bits φθάνουν στον προσωρινό καταχωρητή (buffer) «τυχαία», με ρυθμό 3 πακέτα ανά δευτερόλεπτο. Ζητείται: Τι είναι καλύτερο; Να έχουμε 4 γραμμές μετάδοσης με ταχύτητα 2400 bps σε κάθε μία, ή, να έχουμε 1 μόνο γραμμή μετάδοσης με ταχύτητα 9600 bps; Η απάντηση της θεωρίας τηλεπικοινωνιακής κινήσεως στο πρόβλημα αυτό είναι η (b), αλλά θα ήθελε και άλλες πληροφορίες για ασφαλέστερη αξιολόγηση των δύο αυτών συστημάτων (**κεφάλαιο 9**).

Η αξιολόγηση επιδέχεται διάφορες θεωρήσεις. Έστω ότι η διεκπεραιωτική ικανότητα δύο συστημάτων για δύο διαφορετικά φορτία κίνησης είναι ως εξής:

Σύστημα	Φορτίο 1	Φορτίο 2	Μέση Τιμή
A	100%	50%	75%
B	50%	100%	75%

(συνεχίζεται)

# ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

3η έκδοση

Το βιβλίο *Θεωρία τηλεπικοινωνιακής κινήσεως και εφαρμογές* απευθύνεται κατ' αρχήν σε τηλεπικοινωνιακούς μηχανικούς και μηχανικούς Η/Υ, ιδιαιτέρως σε όσους ειδικεύονται στον τομέα των δικτύων ως σχεδιαστές, αναλυτές ή διαχειριστές.

Πρόθεση του συγγραφέα είναι το βιβλίο να αποτελέσει κύριο εγχειρίδιο μελέτης για τους προπτυχιακούς φοιτητές, ενώ συνιστάται ως βασικό υπόβαθρο στους φοιτητές που ενδιαφέρονται να ακολουθήσουν μεταπτυχιακές σπουδές στους προαναφερθέντες τομείς.

Το βιβλίο περιλαμβάνει:

- 113 σχήματα
- 64 λυμένα παραδείγματα
- 66 ασκήσεις με απαντήσεις
- περιγραφή λογισμικού σε κώδικα
- αγγλική ορολογία

---

## Ο συγγραφέας

Ο **Μιχαήλ Δ. Λογοθέτης** είναι Καθηγητής του Πανεπιστημίου Πατρών. Διετέλεσε ερευνητής στον τηλεπικοινωνιακό οργανισμό NTT στο Τόκιο της Ιαπωνίας, σε θέματα μελέτης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης. Από το ακαδημαϊκό έτος 1993–94, όταν και το εισήγαγε ως αυτοτελές μάθημα, διδάσκει Θεωρία Τηλεπικοινωνιακής Κίνησης στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών. Διδάσκει επίσης επί πολλά έτη Δίκτυα Υπολογιστών και Συστήματα Επικοινωνιών. Είναι πολυγραφότατος και μέλος των επιστημονικών οργανισμών IEEE (Senior), IEICE (Senior), IARIA (Fellow), FITCE και TEE.



ΕΚΔΟΣΕΙΣ  
ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

Δομοκού 4, Σταθμός Λαρίσης, 10440 ΑΘΗΝΑ, Τηλ. 210-5237635  
[info@klidarithmos.gr](mailto:info@klidarithmos.gr) [www.klidarithmos.gr](http://www.klidarithmos.gr)  
[www.facebook.com/klidarithmos.gr](https://www.facebook.com/klidarithmos.gr)

