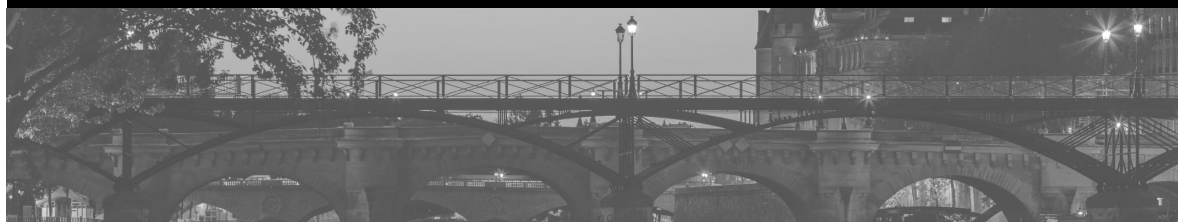


# Δικτύωση Υπολογιστών

Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω



8<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ

**James F. Kurose**

*Πανεπιστήμιο Massachusetts, Amherst, ΗΠΑ*

**Keith W. Ross**

*Πανεπιστήμιο NYU και NYU Shanghai*

Απόδοση: **Αριστόνους Μιχ. Τροχάνης**

Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

PhD Carnegie-Mellon U., Pgh, USA

 **Εκδόσεις: Μ. Γκιούρδας**

Ζωοδόχου Πηγής 70-74 - Τηλ.: 210 3630219

106 81 Αθήνα, 2021

[www.mgiurdas.gr](http://www.mgiurdas.gr)

**Τίτλος Πρωτοτύπου:**

Computer Networking

A Top-Down Approach - Eighth Edition

ISBN-13: 978-0-13-668155-7

ISBN-10: 0-13-668155-7

Copyright © 2021, 2017, 2013 by Pearson Education, Inc.  
221 River Street, Hoboken, NJ 07030 USA

Αποκλειστικότητα για την Ελληνική Γλώσσα

Εκδόσεις: **Μόσχος Γκιούρδας**



Ζωοδόχου Πηγής 70-74 - Τηλ.: 210 3630219

106 81 Αθήνα, 2021

[www.mgiurdas.gr](http://www.mgiurdas.gr)

**ISBN: 978-960-512-745-9**

Desktop Publishing: HAPPYAD - Γιώργος Σκούφος, τηλ.: 210 8052424

Εκτύπωση - Βιβλιοδεσία: Ves Company, τηλ. 210 5711700

Αναδημοσίευση του βιβλίου σε οποιαδήποτε μορφή, ολόκληρου ή μέρους, καθώς και των περιεχομένων προγραμμάτων, δεν επιτρέπεται χωρίς την έγγραφη εξουσιοδότηση του εκδότη.

# Σχετικά με τους Συγγραφείς

## Jim Kurose

Ο Jim Kurose είναι ένας Διακεκριμένος Καθηγητής Πανεπιστημίου στη Σχολή Πληροφορίας και Επιστήμης Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Amherst της Μασαχουσέτης, στο διδακτικό προσωπικό της οποίας ανήκει μετά την απόκτηση του τίτλου PhD στην πληροφορική από το Πανεπιστήμιο Columbia. Έχει λάβει πτυχίο στη φυσική από το Πανεπιστήμιο Wesleyan. Έχει απασχοληθεί σε αρκετές θέσεις επισκέπτη επιστήμονα στις Ηνωμένες Πολιτείες και στο εξωτερικό, όπως σε IBM Research, INRIA, και στο Πανεπιστήμιο της Σορβόνης στη Γαλλία. Πρόσφατα ολοκλήρωσε μία πενταετή θητεία ως Βοηθός Διευθυντής στο National Science Foundation των ΗΠΑ, διευθύνοντας το Directorate of Computer and Information Science and Engineering στην αποστολή του να διατηρήσει την εθνική ηγετική θέση στις επιστημονικές ανακαλύψεις και την καινοτομία στη μηχανική.

Ο Jim είναι υπερήφανος για την καθοδήγηση και διδασχιά ενός θαυμάσιου συνόλου φοιτητών και για την απόκτηση πολλών διακρίσεων για την έρευνα, τη διδασκαλία και τις υπηρεσίες του, περιλαμβανομένων των IEEE Infocom Award, ACM SIGCOMM Lifetime Achievement Award, ACM Sigcomm Test of Time Award, και IEEE Computer Society Taylor Booth Education Medal. Ο Dr. Kurose είναι πρώην αρχισυντάκτης των IEEE Transactions on Communications και IEEE/ACM Transactions on Networking. Έχει υπηρετήσει ως συμπρόεδρος Τεχνικού Προγράμματος σε IEEE Infocom, ACM SIGCOMM, ACM Internet Measurement Conference και ACM SIGMETRICS. Είναι Συνεργάτης (Fellow) των IEEE και ACM και μέλος (member) του National Academy of Engineering. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα περιλαμβάνουν πρωτόκολλα και αρχιτεκτονική δικτύων, μετρήσεις δικτύων, επικοινωνίες πολυμέσων και μοντελοποίηση και αξιολόγηση απόδοσης.



## Keith Ross

Ο Keith Ross είναι Κοσμήτορας του Engineering and Computer Science στο NYU Shanghai και Καθηγητής της Έδρας Leonard J. Shustek στο Τμήμα Πληροφορικής και Μηχανικής του NYU. Προηγουμένως ήταν καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Pennsylvania (13 έτη), στο Ινστιτούτο Eurecom (5 έτη) και στο Πολυτεχνείο του NYU (10 έτη). Πήρε πτυχίο B.S.E.E απ' το Πανεπιστήμιο Tufts, M.S.E.E. από το Πανεπιστήμιο Columbia και Ph.D. στη Μηχανική Υπολογιστών και Ελέγχου (Computer and Control Engineering) απ' το Πανεπιστήμιο του Michigan. Ο Keith Ross είναι επίσης συνιδρυτής και πρώτος CEO της εταιρείας Wimba, η οποία αναπτύσσει ηλεκτρονικές εφαρμογές πολυμέσων για ηλεκτρονική εκπαίδευση (e-learning) και η οποία εξαγοράστηκε απ' την Blackboard το 2010.

Τα ερευνητικά ενδιαφέροντα του Καθηγητή Ross περιλαμβάνουν τη μοντελοποίηση και τις μετρήσεις δικτύων υπολογιστών, τα συστήματα peer-to-peer (διομότητα), τα δίκτυα διανομής περιεχομένου, τα κοινωνικά δίκτυα και την ιδιωτικότητα. Αυτήν την περίοδο ασχολείται με την βαθιά ενισχυτική μάθηση.



Είναι Συνεργάτης (Fellow) των ACM και IEEE, και έχει λάβει το βραβείο Infocom 2009 Best Paper Award, και τα βραβεία Best Paper Awards το 2011 και το 2008 για Επικοινωνίες Πολυμέσων (απονέμονται από την IEEE Communications Society). Έχει εργασθεί σε επιτροπές πολυάριθμων περιοδικών και επιτροπών συνεδρίων, που περιλαμβάνουν τα IEEE/ACM Transactions on Networking, ACM SIGCOMM, ACM CoNext και ACM Internet Management Conference.

Έχει επίσης εργασθεί ως σύμβουλος στην Ομοσπονδιακή Επιτροπή Εμπορίου (Federal Trade Commission) των Η.Π.Α. σε θέματα ομότιμης ανταλλαγής αρχείων (P2P file sharing).

Στην Julie και στα τρία παιδιά μας  
– Chris, Charlie και Nina  
JFK

Ένα μεγάλο ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ στους καθηγητές,  
στους συναδέλφους και στους φοιτητές μου  
σε όλον τον κόσμο.  
KWR

# Πρόλογος

Σας καλωσορίζουμε στην όγδοη έκδοση του βιβλίου *Δικτύωση Υπολογιστών: Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω*. Μετά απ' την έκδοση της πρώτης έκδοσης πριν από 20 χρόνια, το βιβλίο μας χρησιμοποιήθηκε σε εκατοντάδες κολέγια και πανεπιστήμια, μεταφράστηκε σε 14 γλώσσες και χρησιμοποιήθηκε από εκατοντάδες χιλιάδες σπουδαστές και χρήστες σε όλο τον κόσμο. Ακούσαμε απόψεις από πολλούς απ' αυτούς τους αναγνώστες και εκπλαγήκαμε από την θετική τους ανταπόκριση.

## Τι Νέο Περιέχει η Όγδοη Έκδοση;

Θεωρούμε ότι ένας σημαντικός λόγος για την επιτυχία αυτού του βιβλίου είναι η ανανεωμένη και επίκαιρη προσέγγιση που προσφέρει στα μαθήματα δικτύωσης υπολογιστών. Έχουμε κάνει αλλαγές σε αυτήν την όγδοη έκδοση, αλλά έχουμε επίσης αφήσει αναλλοίωτα αυτά που εμείς πιστεύουμε (και έχουν επιβεβαιώσει οι καθηγητές και οι σπουδαστές που χρησιμοποίησαν το βιβλίο) ότι είναι τα σημαντικότερα θέματα σ' αυτό το βιβλίο: την προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω, την εστίαση στο Διαδίκτυο και μια μοντέρνα θεώρηση της δικτύωσης υπολογιστών και το φιλικό του στυλ και προσέγγιση για την εκμάθηση της δικτύωσης υπολογιστών. Παρά ταύτα έχουμε κάνει πολλές σημαντικές αλλαγές στην όγδοη έκδοση.

Οι αναγνώστες προηγούμενων εκδόσεων του βιβλίου μας μπορεί να θυμούνται ότι κατά τη μετάβαση από την έκτη στην έβδομη έκδοση εμβαθύνσαμε την κάλυψη μας όσον αφορά στο επίπεδο δικτύου, αναπτύσσοντας υλικό, το οποίο προηγουμένως καλυπτόταν σε ένα μόνο κεφάλαιο, σε ένα νέο κεφάλαιο με εστίαση στο επονομαζόμενο συστατικό «επιπέδου δεδομένων» του επιπέδου δικτύου (Κεφάλαιο 4) και ένα νέο κεφάλαιο με εστίαση στο «επίπεδο ελέγχου» του επιπέδου δικτύου (Κεφάλαιο 5). Η αλλαγή εκείνη αποδείχτηκε διορατική, καθώς η οριζόμενη μέσω λογισμικού δικτύωση (SDN), αναμφίβολα η πιο σημαντική και ενδιαφέρουσα εξέλιξη της δικτύωσης εδώ και δεκαετίες, υιοθετήθηκε ταχέως στην πράξη — τόσο πολύ, ώστε να θεωρείται δύσκολο να φανταστούμε μια εισαγωγή στην σύγχρονη δικτύωση, που να μην καλύπτει την SDN. Η SDN επιπλέον επέτρεψε νέες προόδους στην πρακτική της διαχείρισης δικτύων, την οποία επίσης καλύπτουμε με σύγχρονο τρόπο και λεπτομερέστερα στην παρούσα έκδοση. Και όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 7 αυτής της όγδοης έκδοσης, ο διαχωρισμός των επιπέδων δεδομένων και ελέγχου είναι πλέον επίσης βαθιά ενσωματωμένος στις αρχιτεκτονικές των 4G/5G κυψελοειδών δικτύων κινητών επικοινωνιών, όπως είναι μία “all-IP” (βασισμένη πλήρως στο IP) προσπέλαση στα κεντρικά δίκτυά τους. Η ταχεία καθιέρωση των δικτύων 4G/5G και των φορητών εφαρμογών που αυτά επιτρέπουν είναι αναμφίβολα οι σημαντικότερες αλλαγές που έχουμε δει στη δικτύωση μετά την κυκλοφορία της έβδομης έκδοσής μας. Για τον λόγο αυτόν επικαιροποιήσαμε και εμπλουτίσαμε την κάλυψή μας γι' αυτόν τον συναρπαστικό τομέα. Πράγματι, η εξελισσόμενη επανάσταση των ασύρματων δικτύων είναι τόσο σημαντική, ώστε θεωρούμε ότι αποτελεί κρίσιμο μέρος ενός εισαγωγικού μαθήματος δικτύωσης.

Επιπλέον των ανωτέρω αλλαγών, έχουμε επίσης αναθεωρήσει πολλές ενότητες του βιβλίου και έχουμε προσθέσει νέο υλικό, το οποίο αποτυπώνει τις αλλαγές στο εύρος της δικτύωσης. Σε κάποιες περιπτώσεις αποσύραμε υλικό της προηγούμενης έκδοσης.

Όπως πάντα, ό,τι υλικό έχει αποσυρθεί από την τυπωμένη έκδοση μπορείτε να το βρείτε στον συνοδευτικό ιστότοπο του βιβλίου μας. Οι σημαντικότερες αλλαγές σ' αυτήν την όγδοη έκδοση είναι οι ακόλουθες:

- Το **Κεφάλαιο 1** έχει ενημερωθεί, ώστε να αντανakλά τη συνεχώς αυξανόμενη απήχηση και χρήση του Διαδικτύου και των δικτύων 4G/5G.
- Το **Κεφάλαιο 2**, το οποίο καλύπτει το επίπεδο εφαρμογής, έχει ενημερωθεί σημαντικά, συμπεριλαμβάνοντας υλικό για τα νέα πρωτόκολλα HTTP/2 και HPRT/3 του Διαδικτύου.
- Το **Κεφάλαιο 3** έχει ενημερωθεί έτσι, ώστε να αποτυπώνει την πρόοδο και την εξέλιξη της χρήσης των πρωτοκόλλων ελέγχου συμφόρησης και ελέγχου ασφαμάτων του επιπέδου μεταφοράς κατά τα τελευταία πέντε χρόνια. Αν και το υλικό αυτό έχει παραμείνει σχετικά αμετάβλητο για αρκετό διάστημα, έχει υπάρξει ένας αριθμός σημαντικών εξελίξεων μετά την έβδομη έκδοση. Έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί αρκετοί νέοι αλγόριθμοι ελέγχου συμφόρησης πέραν των «κλασικών» αλγορίθμων TCP. Παρέχουμε λεπτομερέστερη κάλυψη του TCP CUBIC, του προεπιλεγμένου σε πολλά χρησιμοποιούμενα συστήματα πρωτοκόλλου TCP, και εξετάζουμε βασισμένες στην καθυστέρηση πακέτων προσεγγίσεις για τον έλεγχο συμφόρησης, συμπεριλαμβανομένου του νέου πρωτοκόλλου BBR, το οποίο χρησιμοποιείται στο δίκτυο κορμού της Google. Εξετάζουμε επίσης το πρωτόκολλο QUIC, το οποίο είναι ενσωματωμένο στο πρότυπο HTTP/3. Παρόλο που τεχνικά το QUIC δεν είναι ένα πρωτόκολλο επιπέδου μεταφοράς — παρέχει αξιοπιστία του επιπέδου εφαρμογών, έλεγχο συμφόρησης και υπηρεσίες πολυπλεξίας σύνδεσης στο επίπεδο εφαρμογών — χρησιμοποιεί πολλές απ' τις αρχές ελέγχου ασφαμάτων και συμφόρησης που αναπτύσσουμε στις αρχικές ενότητες του Κεφαλαίου 3.
- Το **Κεφάλαιο 4**, το οποίο καλύπτει το συστατικό «επίπεδο δεδομένων» του επιπέδου δικτύου, έχει αναθεωρηθεί γενικά σε πολλά σημεία. Προσθέσαμε μία νέα ενότητα για τα αποκαλούμενα ενδιάμεσα κουτιά (middleboxes), τα οποία επιτελούν λειτουργίες του επιπέδου δικτύου διαφορετικές απ' αυτές της δρομολόγησης (routing) και της προώθησης (forwarding), όπως έλεγχο προσπέλασης πακέτων (firewalling) και εξισορρόπηση φόρτου (load balancing). Τα ενδιάμεσα κουτιά βασίζονται φυσικά στη γενικευμένη λειτουργία προώθησης «*ταίριασμα και ενέργεια*» των συσκευών επιπέδου δικτύου που καλύπτουμε νωρίτερα στο Κεφάλαιο 4. Προσθέσαμε επίσης επίκαιρο νέο υλικό πάνω σε θέματα όπως αυτά της ποσότητας προσωρινής αποθήκευσης (buffering) που είναι «*ακριβώς ό,τι πρέπει*» για δρομολογητές δικτύου, της δικτυακής ουδετερότητας (net neutrality), και των αρχών αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου.
- Το **Κεφάλαιο 5**, το οποίο καλύπτει το συστατικό «επίπεδο ελέγχου» του επιπέδου δικτύου, περιέχει επικαιροποιημένο υλικό για την SDN, και μία σε μεγάλο βαθμό καινούρια διαπραγμάτευση της διαχείρισης δικτύων. Η χρήση της SDN έχει εξελιχθεί πέραν της διαχείρισης πινάκων προώθησης πακέτων ώστε να περιλαμβάνει επιπλέον τη διαχείριση της διαμόρφωσης των συσκευών του δικτύου. Παρουσιάζουμε δύο νέα πρωτόκολλα, τα NETCONF και YANG, η υιοθέτηση και χρήση των οποίων έχει προωθήσει αυτήν την καινούρια προσέγγιση όσον αφορά στη διαχείριση δικτύων.
- Το **Κεφάλαιο 6**, το οποίο καλύπτει το επίπεδο ζεύξης, έχει ενημερωθεί ούτως ώστε να αποτυπώνει την συνεχιζόμενη εξέλιξη των τεχνολογιών επιπέδου ζεύξης, όπως το Ethernet. Επιπλέον, έχουμε ενημερώσει και εμπλουτίσει τη διαπραγμάτευσή μας όσον αφορά τα δίκτυα κέντρων δεδομένων, τα οποία βρίσκονται στην καρδιά της τεχνολογίας που κατευθύνει μεγάλο μέρος του σύγχρονου εμπορίου μέσω του Διαδικτύου.
- Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το **Κεφάλαιο 7** έχει ενημερωθεί και αναθεωρηθεί σε σημαντικό βαθμό, με σκοπό να αποτυπώσει τις πολλές αλλαγές στην ασύρματη δικτύωση μετά την κυκλοφορία της έβδομης έκδοσης, από τα μικρής εμβέλειας Bluetooth piconets (μικροσκοπικά δίκτυα) έως τα μέσης εμβέλειας ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής 802.11 (WLAN) και τα ευρείας περιοχής 4G/5G ασύρματα κυψελοειδή δίκτυα. Αποσύραμε την

κάλυψη των παλαιότερων δικτύων 2G και 3G χάριν μίας ευρύτερης και λεπτομερέστερης παρουσίασης των σημερινών δικτύων 4G LTE και των αυριανών δικτύων 5G. Επικαιροποιήσαμε την κάλυψή μας όσον αφορά θέματα κινητικότητας, από το τοπικό ζήτημα της μεταπομπής φορητών συσκευών μεταξύ σταθμών βάσης έως το καθολικό ζήτημα της διαχείρισης ταυτότητας και της περιαγωγής φορητών συσκευών μεταξύ διαφορετικών καθολικών κυψελοειδών δικτύων.

- Το **Κεφάλαιο 8**, το οποίο καλύπτει την ασφάλεια δικτύων, έχει ενημερωθεί έτσι ώστε να αντικατοπτρίζει ιδίως τις αλλαγές στην ασφάλεια ασύρματων δικτύων, με καινούριο υλικό για την ασφάλεια WPA3 σε δίκτυα WLAN, και για την αμοιβαία αυθεντικοποίηση και εμπιστευτικότητα συσκευής/δικτύου σε δίκτυα 4G/5G.

Από την παρούσα έκδοση έχουμε αφαιρέσει το Κεφάλαιο 9 για την πολυμεσική δικτύωση. Με την πάροδο του χρόνου, καθώς οι εφαρμογές πολυμέσων διαδίδονταν όλο και περισσότερο, είχαμε ήδη μεταφέρει σε προηγούμενα κεφάλαια υλικό του Κεφαλαίου 9 σχετικό με θέματα συνεχούς ροής βίντεο, χρονοπρογραμματισμού πακέτων και δικτύων διανομής υλικού. Όπως σημειώθηκε νωρίτερα, όλο το αποσυρμένο υλικό απ' αυτήν και απ' τις παλαιότερες εκδόσεις μπορεί να βρεθεί στον συνοδευτικό ιστότοπο του βιβλίου μας.

## Αναγνωστικό Κοινό

Αυτό το βιβλίο προορίζεται για ένα εισαγωγικό μάθημα στην δικτύωση υπολογιστών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε τμήματα πληροφορικής όσο και ηλεκτρολόγων μηχανικών. Σε ό,τι αφορά στις γλώσσες προγραμματισμού, το βιβλίο υποθέτει ότι ο φοιτητής έχει γνώσεις C, C++, Java ή Python (και μόνο για ορισμένα σημεία). Αν και αυτό το βιβλίο είναι ακριβέστερο και αναλυτικότερο από πολλά άλλα εισαγωγικά βιβλία για δικτύωση υπολογιστών, σπάνια χρησιμοποιεί μαθηματικές αρχές, που δεν έχουν διδαχθεί στο λύκειο. Έχουμε κάνει ηθελημένη προσπάθεια να αποφύγουμε τη χρήση προχωρημένων μαθηματικών, θεωρίας πιθανοτήτων ή αρχών στοχαστικής διαδικασίας (αν και έχουμε συμπεριλάβει κάποια προβλήματα για το σπίτι για φοιτητές με τέτοιο προχωρημένο υπόβαθρο). Το βιβλίο είναι επομένως κατάλληλο για προπτυχιακά μαθήματα και για το πρώτο έτος μεταπτυχιακών σπουδών. Πρέπει επίσης να είναι χρήσιμο σε επαγγελματίες στην βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών.

## Τι το Μοναδικό Προσφέρει Αυτό το Βιβλίο;

Το αντικείμενο της δικτύωσης υπολογιστών είναι τρομακτικά περίπλοκο, περιλαμβάνοντας πολλές αρχές, πρωτόκολλα και τεχνολογίες που πλέκονται μεταξύ τους με έναν περίπλοκο τρόπο. Για να αντιμετωπίσουν επιτυχώς αυτήν την έκταση και πολυπλοκότητα, πολλά βιβλία για δικτύωση υπολογιστών οργανώνονται συνήθως γύρω απ' τα «επίπεδα» της αρχιτεκτονικής δικτύων. Με μία οργάνωση σε επίπεδα, οι φοιτητές μπορούν να καταλάβουν πλήρως την πολυπλοκότητα της δικτύωσης υπολογιστών – μαθαίνουν τις ξεχωριστές αρχές και πρωτόκολλα στο ένα τμήμα της αρχιτεκτονικής, ενώ ταυτόχρονα βλέπουν τη μεγάλη εικόνα τού πώς συνεργάζονται όλα τα κομμάτια μεταξύ τους. Από παιδαγωγική σκοπιά, η προσωπική μας εμπειρία είναι ότι μια τέτοια προσέγγιση σε επίπεδα όντως λειτουργεί καλά. Παρά ταύτα, έχουμε δει ότι η παραδοσιακή προσέγγιση διδασκαλίας – από κάτω προς τα επάνω· δηλαδή, από το φυσικό επίπεδο προς το επίπεδο εφαρμογής – δεν είναι η καλύτερη προσέγγιση για ένα μοντέρνο μάθημα στην δικτύωση υπολογιστών.

## Μια Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω

Το βιβλίο μας άνοιξε ένα νέο δρόμο πριν από 20 χρόνια αντιμετωπίζοντας τη δικτύωση με μια οργάνωση από πάνω προς τα κάτω – δηλαδή, αρχίζοντας από το επίπεδο εφαρμογής και προχωρώντας κάτω, προς το φυσικό επίπεδο. Οι γνώμες που λάβαμε από καθηγητές και φοιτητές έχουν επιβεβαιώσει ότι αυτή η προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω έχει πολλά πλεονεκτήματα και λειτουργεί πράγματι καλά από παιδαγωγικής πλευράς. Πρώτον, δίνει έμφαση στο επίπεδο εφαρμογής (έναν «χώρο με μεγάλη ανάπτυξη» στην δικτύωση υπολογιστών). Πράγματι, πολλές από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στην δικτύωση υπολογιστών – περιλαμβανομένου του Διαδικτύου και της ροής πολυμέσων – έχουν λάβει χώρα στο επίπεδο εφαρμογής. Μία πρώιμη έμφαση στα θέματα του επιπέδου εφαρμογής διαφέρει απ’ τις προσεγγίσεις που ακολουθούνται στα περισσότερα άλλα βιβλία, τα οποία αφιερώνουν μία μικρή ύλη σε δικτυακές εφαρμογές, απαιτήσεις τους, στα παραδείγματα επιπέδου εφαρμογής (π.χ. πελάτη-εξυπηρετή και ομοτίμων-P2P) και στις διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών. Δεύτερον, η εμπειρία μας ως εκπαιδευτές (και εκείνης πολλών εκπαιδευτών που έχουν χρησιμοποιήσει το βιβλίο μας) είναι ότι η διδασκαλία εφαρμογών δικτύωσης στα αρχικά μαθήματα είναι ένα ισχυρό κίνητρο. Οι φοιτητές συγκινούνται ιδιαίτερα όταν μαθαίνουν πώς λειτουργούν οι δικτυακές εφαρμογές – εφαρμογές όπως το e-mail, η συνεχής ροή βίντεο και το Διαδίκτυο, τις οποίες οι περισσότεροι χρησιμοποιούν σε καθημερινή βάση. Όταν ένας φοιτητής κατανοήσει τις εφαρμογές, μπορεί να κατανοήσει τις δικτυακές υπηρεσίες που χρειάζονται για υποστήριξη αυτών των εφαρμογών. Ο φοιτητής μπορεί κατόπιν, με την σειρά του, να εξετάσει τους διάφορους τρόπους με τους οποίους τέτοιες υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται και να υλοποιούνται στα χαμηλότερα επίπεδα. Έτσι η κάλυψη των εφαρμογών σε αρχικά στάδια παρέχει κίνητρο για το υπόλοιπο βιβλίο.

Τρίτον, η προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω επιτρέπει στους εκπαιδευτές να εισάγουν την ανάπτυξη δικτυακών εφαρμογών σε μια αρχική φάση. Οι φοιτητές όχι μόνον βλέπουν πώς λειτουργούν δημοφιλείς εφαρμογές και πρωτόκολλα, αλλά επίσης μαθαίνουν πόσο εύκολο είναι να δημιουργήσουν τις δικές τους δικτυακές εφαρμογές και πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής. Με την προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω, οι φοιτητές καταλαβαίνουν απ’ την αρχή τις έννοιες του *προγραμματισμού υποδοχών* (socket programming), των μοντέλων υπηρεσιών και των πρωτοκόλλων – σημαντικές αρχές, οι οποίες επανεμφανίζονται σε όλα τα επόμενα επίπεδα. Παρέχοντας παραδείγματα προγραμματισμού υποδοχών σε Python, τονίζουμε τις κεντρικές ιδέες χωρίς να μπερδεύουμε τους φοιτητές με περίπλοκο κώδικα. Οι προπτυχιακοί φοιτητές στα τμήματα ηλεκτρολόγων μηχανικών και πληροφορικής δεν πρέπει να έχουν δυσκολία να παρακολουθήσουν τον κώδικα σε Python.

## Εστίαση στο Διαδίκτυο

Αν και δεν αναφέρουμε πλέον στον τίτλο τη φράση «*Παρουσίαση του Διαδικτύου*» απ’ την τέταρτη έκδοση του βιβλίου, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν εστιάζουμε πλέον στο Διαδίκτυο! Φυσικά και όχι! Επειδή το Διαδίκτυο έχει γίνει τόσο κυρίαρχο, πιστέψαμε ότι κάθε βιβλίο που αναφέρεται στην δικτύωση πρέπει να εστιάζεται ιδιαίτερα στο Διαδίκτυο και επομένως ότι αυτή η φράση είναι κάπως περιττή. Συνεχίζουμε να χρησιμοποιούμε την αρχιτεκτονική και τα πρωτόκολλα του Διαδικτύου ως πρωταρχικά οχήματα για την μελέτη των θεμελιωδών αρχών της δικτύωσης υπολογιστών. Φυσικά περιλαμβάνουμε επίσης αρχές και πρωτόκολλα από άλλες δικτυακές αρχιτεκτονικές. Αλλά όμως η έμφαση δίδεται σαφώς στο Διαδίκτυο, ένα γεγονός που αντικατοπτρίζεται με σαφήνεια στην οργάνωση του βιβλίου, στο οποίο κάνουμε χρήση της αρχιτεκτονικής πέντε επιπέδων του Διαδικτύου: τα επίπεδα εφαρμογής, μεταφοράς, δικτύου, ζεύξης και το φυσικό επίπεδο.

Ένα άλλο πλεονέκτημα τού να θέσουμε το Διαδίκτυο στο επίκεντρο είναι ότι οι περισσότεροι φοιτητές των τμημάτων πληροφορικής και ηλεκτρολόγων μηχανικών έχουν ζήλο να μάθουν για το Διαδίκτυο και τα πρωτόκολλά του. Γνωρίζουν ότι το Διαδίκτυο είναι μια επαναστατική και ανατρεπτική τεχνολογία και μπορούν να δουν ότι αλλάζει τον κόσμο εκ βάθρων. Δεδομένης της τεράστιας εφαρμογής του Διαδικτύου, οι φοιτητές είναι περιέργοι για το τι βρίσκεται στο παρασκήνιο. Έτσι, είναι εύκολο για έναν εκπαιδευτή να τους συναρπάσει ώστε να μάθουν τις βασικές αρχές, όταν χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο ως βασικό οδηγό.

## Διδασκαλία των Αρχών της Δικτύωσης

Δύο από τα μοναδικά χαρακτηριστικά του βιβλίου –η προσέγγισή του από πάνω προς τα κάτω και η εστίαση στο Διαδίκτυο– έχουν εμφανισθεί στους υπότιτλους του βιβλίου. Αν μπορούσαμε να στριμώξουμε μια τρίτη φράση στον υπότιτλο, αυτή θα περιείχε την λέξη αρχές. Ο τομέας της δικτύωσης είναι τώρα αρκετά ώριμος, ώστε να μπορούμε να προσδιορίσουμε αρκετές θεμελιωδώς σημαντικές αρχές. Για παράδειγμα, στο επίπεδο μεταφοράς, τα θεμελιώδη ζητήματα περιλαμβάνουν αξιόπιστη επικοινωνία διαμέσου ενός αναξιόπιστου επιπέδου δικτύου, εγκαθίδρυση/τερματισμό σύνδεσης και χειραψία, συμφόρηση και έλεγχο ροής, καθώς και πολύπλεξη. Στο επίπεδο δικτύου, τρεις ιδιαίτερα σημαντικές αρχές είναι η εύρεση «καλών» διαδρομών ανάμεσα σε δύο δρομολογητές, η διασύνδεση ενός μεγάλου αριθμού ετερογενών δικτύων και η διαχείριση της πολυπλοκότητας ενός μοντέρνου δικτύου. Στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων, ένα θεμελιώδες πρόβλημα είναι η κοινή χρήση ενός καναλιού πολλαπλής πρόσβασης. Στην ασφάλεια δικτύων, οι τεχνικές για παροχή εμπιστευτικότητας, αυθεντικοποίησης και ακεραιότητας μηνυμάτων βασίζονται όλες σε θεμελιώδεις αρχές κρυπτογραφίας. Το βιβλίο αυτό αναγνωρίζει βασικά ζητήματα δικτύωσης και μελετά προσεγγίσεις στην κατεύθυνση της αντιμετώπισης αυτών των ζητημάτων. Ο φοιτητής που μαθαίνει αυτές τις αρχές θα αποκτήσει γνώσεις με μεγάλη «διάρκεια ζωής» – πολύ καιρό μετά απ’ τη στιγμή που πολλά απ’ τα σημερινά πρότυπα και πρωτόκολλα θα έχουν καταστεί απαρχαιωμένα, οι αρχές που εμπεριέχουν θα παραμείνουν σημαντικές. Πιστεύουμε ότι ο συνδυασμός της χρήσης του Διαδικτύου ώστε να εισάγουμε τους φοιτητές στο θέμα και της εστίασης κατόπιν στα θεμελιώδη ζητήματα και τις προσεγγίσεις επίλυσής τους θα επιτρέπει στους φοιτητές να κατανοήσουν γρήγορα όλα όσα χρειάζονται για σχεδόν οποιαδήποτε τεχνολογία δικτύωσης.

## Πόροι για Φοιτητές

Πόροι για φοιτητές είναι διαθέσιμοι στον συνοδευτικό ιστότοπο (Companion Website [CW]) στη διεύθυνση [pearson.com/cs-resources](http://pearson.com/cs-resources). Στους πόρους συμπεριλαμβάνονται:

- **Υλικό διαδραστικής εκπαίδευσης:** Ο ιστότοπος του βιβλίου περιέχει VideoNotes – παρουσιάσεις βίντεο των σημαντικών θεμάτων του βιβλίου από τους συγγραφείς, καθώς και περιήγηση σε λύσεις προβλημάτων, παρόμοιων μ’ αυτά που παρατίθενται στο τέλος κάθε κεφαλαίου. Έχουμε επίσης προσθέσει στον ιστότοπο VideoNotes και ηλεκτρονικά προβλήματα για τα Κεφάλαια 1 ως 5. Όπως σε προηγούμενες εκδόσεις, ο ιστότοπος περιέχει τα διαδραστικά «ζωντανά» γραφικά που παρουσιάζουν πολλές απ’ τις βασικές αρχές της δικτύωσης. Οι καθηγητές μπορούν να ενσωματώσουν αυτά τα διαδραστικά χαρακτηριστικά στις διαλέξεις τους ή να τα χρησιμοποιήσουν ως ασκήσεις εργαστηρίου.

- *Πρόσθετο τεχνικό υλικό.* Επειδή σε κάθε νέα έκδοση του βιβλίου προσθέταμε νέο υλικό, έπρεπε να αφαιρούμε μερικά από τα υπάρχοντα θέματα, για να κρατήσουμε το βιβλίο σε λογικό όγκο. Το υλικό που υπήρχε σε παλαιότερες εκδόσεις του βιβλίου συνεχίζει να παρουσιάζει ενδιαφέρον και μπορείτε να το βρείτε στον ιστότοπο του βιβλίου.
- *Προγραμματιστικές ασκήσεις.* Ο ιστότοπος περιέχει επίσης πολλές προγραμματιστικές ασκήσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την δημιουργία ενός πολυνηματικού εξυπηρετή Web (multithreaded Web server), την δημιουργία ενός προγράμματος πελάτη e-mail με διεπαφή GUI, τον προγραμματισμό των πλευρών αποστολής και λήψης ενός αξιόπιστου πρωτοκόλλου μεταφοράς δεδομένων, τον προγραμματισμό ενός κατανεμημένου αλγορίθμου δρομολόγησης και πολλά περισσότερα.
- *Εργαστήρια Wireshark.* Η κατανόηση των πρωτοκόλλων δικτύων μπορεί να γίνει πληρέστερη, εάν τα δείτε σε λειτουργία. Ο ιστότοπος περιέχει πολυάριθμες ασκήσεις σε Wireshark που επιτρέπουν στους φοιτητές να παρατηρούν την αλληλουχία των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται ανάμεσα στις δύο οντότητες ενός πρωτοκόλλου. Ο ιστότοπος περιλαμβάνει ξεχωριστές εργαστηριακές ασκήσεις σε Wireshark για τα πρωτόκολλα HTTP, DNS, TCP, UDP, IP, ICMP, Ethernet, ARP, WiFi, SSL και στην ανίχνευση όλων των πρωτοκόλλων που σχετίζονται με την ικανοποίηση ενός αιτήματος για μεταφορά μίας ιστοσελίδας. Θα συνεχίσουμε να προσθέτουμε νέες εργαστηριακές ασκήσεις με την πάροδο του χρόνου.

*Ιστότοπος συγγραφέων.* Πέρα απ' τον συνοδευτικό ιστότοπο, οι συγγραφείς διατηρούν ένα δημόσιο ιστότοπο, [http://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross](http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross), ο οποίος περιέχει πρόσθετο διαδραστικό υλικό για φοιτητές και αντίγραφα δημοσιώς διαθέσιμου υλικού από τον Ιστότοπο, όπως διαφάνειες PowerPoint και υλικό εργαστηριακών ασκήσεων σε Wireshark. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο ιστότοπος [http://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/interactive](http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive), που περιέχει διαδραστικές ασκήσεις, οι οποίες δημιουργούν (και παρουσιάζουν λύσεις για) προβλήματα παρόμοια με επιλεγμένα προβλήματα του τέλους των κεφαλαίων. Καθώς οι φοιτητές μπορούν να παραγάγουν (και να προβάλουν τις λύσεις για) έναν απεριόριστο αριθμό παρόμοιων προβλημάτων, μπορούν να συνεχίσουν να εργάζονται μέχρι να κατανοήσουν πλήρως το υλικό του βιβλίου.

## Παιδαγωγικά Χαρακτηριστικά

Ο καθένας μας διδάσκει δικτύωση υπολογιστών για περισσότερα από 30 χρόνια. Μεταφέρουμε μέσα σε αυτό το βιβλίο μία συνδυασμένη εμπειρία εκπαίδευσης 60 χρόνων σε πολλές χιλιάδες φοιτητών. Είμαστε επίσης ενεργοί ερευνητές σε θέματα δικτύωσης υπολογιστών όλο αυτό το διάστημα. (Στην πραγματικότητα, ο Jim και ο Keith συναντήθηκαν για πρώτη φορά σαν μεταπτυχιακοί φοιτητές σε ένα μάθημα δικτύωσης υπολογιστών που διδασκόταν από τον Mischa Schwartz το 1979 στο Columbia University). Θεωρούμε ότι όλα αυτά μας δίνουν μια σωστή αίσθηση του πού βρισκόταν η δικτύωση και του πού θα κατευθυνθεί πιθανώς στο μέλλον. Παρά ταύτα, έχουμε αντισταθεί στον πειρασμό να βασίσουμε το υλικό του βιβλίου στα ερευνητικά μας ενδιαφέροντα. Πιστεύουμε ότι μπορείτε να επισκεφθείτε τους προσωπικούς μας ιστότοπους εάν ενδιαφέρεστε για την έρευνά μας. Έτσι, αυτό το βιβλίο αναφέρεται στην μοντέρνα δικτύωση υπολογιστών – αναφέρεται σε σύγχρονα πρωτόκολλα και τις τεχνολογίες, όπως και στις υποκείμενες αρχές πίσω απ' αυτά τα πρωτόκολλα και τεχνολογίες. Επίσης πιστεύουμε ότι η εκμάθηση (και η διδασκαλία!) της δικτύωσης μπορεί να είναι διασκεδαστική. Μια αίσθηση χιούμορ, χρήση παρομοιώσεων και παραδείγματα από τον πραγματικό κόσμο σε αυτό το βιβλίο ελπίζουμε ότι θα κάνουν αυτό το υλικό περισσότερο διασκεδαστικό.

## Συμπληρώματα για Εκπαιδευτές

Προσφέρουμε ένα πλήρες συμπληρωματικό πακέτο για να βοηθήσουμε τους εκπαιδευτές να διδάξουν αυτό το μάθημα. Το υλικό αυτό μπορείτε να προσπελάσετε στο Pearson's Instructor Resource Center (<http://www.pearsonhighered.com/irc>). Επισκεφθείτε το κέντρο πόρων εκπαιδευτών προκειμένου να πάρετε πληροφορίες σχετικά με την προσπέλαση συμπληρωμάτων για εκπαιδευτές.

- *Διαφάνειες PowerPoint®*. Παρέχουμε διαφάνειες PowerPoint και για τα οκτώ κεφάλαια. Οι διαφάνειες έχουν ενημερωθεί πλήρως στην παρούσα όγδοη έκδοση και καλύπτουν κάθε κεφάλαιο λεπτομερώς. Χρησιμοποιούν γραφικά και κίνηση (αντί να βασίζονται σε μονότονο κείμενο με κουκκίδες) για να κάνουν τις διαφάνειες ενδιαφέρουσες και οπτικά ελκυστικές. Προσφέρουμε τις πρωτότυπες διαφάνειες PowerPoint, για να μπορείτε να τις προσαρμόσετε, ώστε να ικανοποιούν τις δικές ανάγκες εκπαίδευσης. Μερικές από αυτές τις διαφάνειες αποτελούν συνεισφορά από άλλους εκπαιδευτές, που έχουν διδάξει από το βιβλίο μας.
- *Λύσεις Προβλημάτων για το Σπίτι*. Παρέχουμε ένα εγχειρίδιο λύσεων αυτού του βιβλίου για τα προβλήματα για το σπίτι, τις προγραμματιστικές ασκήσεις και τα εργαστήρια σε Wireshark. Όπως προαναφέρθηκε, έχουμε εισαγάγει πολλά νέα προβλήματα για το σπίτι στο τέλος κάθε κεφαλαίου. Για περισσότερα διαδραστικά προβλήματα και λύσεις, οι καθηγητές (και οι φοιτητές) μπορούν να συμβουλευθούν τον συνοδευτικό ιστότοπο του βιβλίου στην Pearson ή τον ιστότοπο διαδραστικών προβλημάτων των συγγραφέων στη διεύθυνση [http://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/interactive](http://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/interactive).

## Εξαρτήσεις των Κεφαλαίων

Το πρώτο κεφάλαιο αυτού του βιβλίου παρουσιάζει μια αυτόνομη επισκόπηση της δικτύωσης υπολογιστών. Εισάγοντας πολλές βασικές αρχές και ορολογία, αυτό το κεφάλαιο θέτει τις βάσεις για το υπόλοιπο βιβλίο. Όλα τα υπόλοιπα κεφάλαια εξαρτώνται απευθείας απ' αυτό το πρώτο κεφάλαιο. Μετά την ολοκλήρωση του Κεφαλαίου 1, συνιστούμε στους εκπαιδευτές να καλύψουν τα Κεφάλαια 2 έως 6 με τη σειρά, ακολουθώντας την από πάνω προς τα κάτω φιλοσοφία μας. Κάθε ένα απ' αυτά τα πέντε κεφάλαια χρησιμοποιεί υλικό από τα προηγούμενα κεφάλαια. Αφού ολοκληρώσει τα πρώτα έξι κεφάλαια, ο εκπαιδευτής έχει μεγάλη ευελιξία. Δεν υπάρχουν αλληλεξαρτήσεις ανάμεσα στα δύο τελευταία κεφάλαια, οπότε μπορεί να τα διδάξει με οποιαδήποτε σειρά. Εν τούτοις, τα δύο αυτά κεφάλαια βασίζονται στο υλικό των έξι πρώτων κεφαλαίων. Πολλοί εκπαιδευτές διδάσκουν τα έξι πρώτα κεφάλαια και μετά διδάσκουν ένα απ' τα τελευταία δύο κεφάλαια για «επιδόρπιο».

## Μία Τελευταία Σημείωση: Θα Θέλαμε να σας Ακούσουμε

Ενθαρρύνουμε φοιτητές και εκπαιδευτές να μας στείλουν e-mail με σχόλια που ίσως έχουν για το βιβλίο μας. Ήταν σπουδαίο για μας που λάβαμε τόσα πολλά σχόλια από τόσους πολλούς εκπαιδευτές και φοιτητές από όλον τον κόσμο για τις πρώτες επτά εκδόσεις μας. Έχουμε συμπεριλάβει πολλές από αυτές τις προτάσεις σε επόμενες εκδόσεις του βιβλίου. Επίσης ενθαρρύνουμε τους εκπαιδευτές να μας στείλουν νέα προβλήματα για το σπίτι (και

τις λύσεις τους), τα οποία θα μπορούσαν να συμπληρώσουν τα υπάρχοντα. Θα τα δημοσιεύσουμε και αυτά στο τμήμα του ιστοτόπου που προορίζεται μόνον για εκπαιδευτές. Επιπλέον, ενθαρρύνουμε τους εκπαιδευτές και τους φοιτητές να δημιουργήσουν νέα διδραστικά κινούμενα γραφικά τα οποία να επεξηγούν τις αρχές και τα πρωτόκολλα του βιβλίου. Αν έχετε ένα κινούμενο γραφικό που θεωρείτε ότι είναι κατάλληλο γι' αυτό το κείμενο, παρακαλούμε να μας το στείλετε. Αν το κινούμενο γραφικό (περιλαμβανομένων του συμβολισμού και της ορολογίας) είναι κατάλληλο, θα είναι χαρά μας να το συμπεριλάβουμε στον ιστοτόπο του βιβλίου, με τη δέουσα αναφορά στους δημιουργούς του.

Επομένως, όπως λέει και μία γνωστή ρήση: *«συνεχίστε να στέλνετε κάρτες και γράμματα!»*. Πραγματικά, παρακαλούμε να συνεχίσετε να μας στέλνετε ενδιαφέροντα URL, να μας υποδεικνύετε τυπογραφικά λάθη, να διαφωνείτε με ισχυρισμούς μας και να μας λέτε τι λειτουργεί και τι όχι. Πείτε μας τι πιστεύετε ότι πρέπει να περιληφθεί ή να μην περιληφθεί στην επόμενη έκδοση. Στείλτε μας e-mail στις διευθύνσεις [kurose@cs.umass.edu](mailto:kurose@cs.umass.edu) και [keithross@nyu.edu](mailto:keithross@nyu.edu).

## Ευχαριστίες

Από τότε που αρχίσαμε να γράφουμε αυτό το βιβλίο, το 1996, πολλοί άνθρωποι μας παρείχαν ανεκτίμητη βοήθεια και μας επηρέασαν στο πώς να διαμορφώσουμε τις σκέψεις μας για το πώς να οργανώσουμε και να διδάξουμε καλύτερα ένα μάθημα περί δικτύωσης. Θέλουμε να πούμε ένα ΜΕΓΑΛΟ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ σε όλους όσους μας βοήθησαν απ' τα πρώτα κείμενα αυτού του βιβλίου έως και την παρούσα όγδοη έκδοση. Επίσης είμαστε *πραγματικά* ευγνώμονες στις πολλές εκατοντάδες αναγνώστες από όλον τον κόσμο – φοιτητές, καθηγητές, επαγγελματίες – που μας έχουν στείλει σκέψεις και σχόλια για προηγούμενες εκδόσεις του βιβλίου και υποδείξεις για μελλοντικές εκδόσεις. Ειδικές ευχαριστίες οφείλονται στους:

Al Aho (Columbia University)  
Hisham Al-Mubaid (University of Houston-Clear Lake)  
Pratima Akkunoor (Arizona State University)  
Paul Amer (University of Delaware)  
Shamiul Azom (Arizona State University)  
Lichun Bao (University of California at Irvine)  
Paul Barford (University of Wisconsin)  
Bobby Bhattacharjee (University of Maryland)  
Steven Bellovin (Columbia University)  
Pravin Bhagwat (Wibhu)  
Supratik Bhattacharyya (Amazon)  
Ernst Biersack (Eurécom Institute)  
Shahid Bokhari (University of Engineering & Technology, Lahore)  
Jean Bolot (Technicolor Research)  
Daniel Brushteyn (πρώην φοιτητή του University of Pennsylvania)  
Ken Calvert (University of Kentucky)  
Evandro Cantu (Federal University of Santa Catarina)  
Jeff Case (SNMP Research International)  
Jeff Chaltas (Sprint)  
Vinton Cerf (Google)

Byung Kyu Choi (Michigan Technological University)  
Bram Cohen (BitTorrent, Inc.)  
Constantine Coutras (Pace University)  
John Daigle (University of Mississippi)  
Edmundo A. de Souza e Silva (Federal University of Rio de Janeiro)  
Philippe Decuetos (πρώην φοιτητή του Eurecom Institute)  
Christophe Diot (Google)  
Prithula Dhunghel (Akamai)  
Deborah Estrin (Cornell University)  
Michalis Faloutsos (University of California at Riverside)  
Wu-chi Feng (Oregon Graduate Institute)  
Sally Floyd (ICIR, University of California at Berkeley)  
Paul Francis (Max Planck Institute)  
David Fullager (Netflix)  
Lixin Gao (University of Massachusetts)  
JJ Garcia-Luna-Aceves (University of California at Santa Cruz)  
Mario Gerla (University of California at Los Angeles)  
David Goodman (NYU-Poly)  
Yang Guo (Alcatel/Lucent Bell Labs)  
Tim Griffin (Cambridge University)  
Max Hailperin (Gustavus Adolphus College)  
Bruce Harvey (Florida A&M University, Florida State University)  
Carl Hauser (Washington State University)  
Rachelle Heller (George Washington University)  
Phillipp Hoschka (INRIA/W3C)  
Wen Hsin (Park University)  
Albert Huang (πρώην φοιτητή του University of Pennsylvania)  
Cheng Huang (Microsoft Research)  
Esther A. Hughes (Virginia Commonwealth University)  
Van Jacobson (Google)  
Pinak Jain (πρώην φοιτητή του NYU-Poly)  
Jobin James (University of California at Riverside)  
Sugih Jamin (University of Michigan)  
Shivkumar Kalyanaraman (IBM Research, India)  
Jussi Kangasharju (University of Helsinki)  
Sneha Kasera (University of Utah)  
Parviz Kermani (U. Massachusetts)  
Hyojin Kim (πρώην φοιτητή του University of Pennsylvania)  
Leonard Kleinrock (University of California at Los Angeles)  
David Kotz (Dartmouth College)  
Beshan Kulapala (Arizona State University)  
Rakesh Kumar (Bloomberg)  
Miguel A. Labrador (University of South Florida)  
Simon Lam (University of Texas)

Steve Lai (Ohio State University)  
 Tom LaPorta (Penn State University)  
 Tim-Berners Lee (World Wide Web Consortium)  
 Arnaud Legout (INRIA)  
 Lee Leitner (Drexel University)  
 Brian Levine (University of Massachusetts)  
 Chunchun Li (πρώην φοιτητή του NYU-Poly)  
 Yong Liu (NYU-Poly)  
 William Liang (πρώην φοιτητή του University of Pennsylvania)  
 Willis Marti (Texas A&M University)  
 Nick McKeown (Stanford University)  
 Josh McKinzie (Park University)  
 Deep Medhi (University of Missouri, Kansas City)  
 Bob Metcalfe (International Data Group)  
 Vishal Misra (Columbia University)  
 Sue Moon (KAIST)  
 Jenni Moyer (Comcast)  
 Erich Nahum (IBM Research)  
 Christos Papadopoulos (Colorado State University)  
 Guru Parulkar (Open Networking Foundation)  
 Craig Partridge (Colorado State University)  
 Radia Perlman (Dell EMC)  
 Jitendra Padhye (Microsoft Research)  
 Vern Paxson (University of California at Berkeley)  
 Kevin Phillips (Sprint)  
 George Polyzos (Athens University of Economics and Business)  
 Sriram Rajagopalan (Arizona State University)  
 Ramachandran Ramjee (Microsoft Research)  
 Ken Reek (Rochester Institute of Technology)  
 Martin Reisslein (Arizona State University)  
 Jennifer Rexford (Princeton University)  
 Leon Reznik (Rochester Institute of Technology)  
 Pablo Rodriguez (Telefonica)  
 Sumit Roy (University of Washington)  
 Catherine Rosenberg (University of Waterloo)  
 Dan Rubenstein (Columbia University)  
 Avi Rubin (Johns Hopkins University)  
 Douglas Salane (John Jay College)  
 Despina Saporilla (Cisco Systems)  
 John Schanz (Comcast)  
 Henning Schulzrinne (Columbia University)  
 Mischa Schwartz (Columbia University)  
 Ardash Sethi (University of Delaware)  
 Harish Sethu (Drexel University)

K. Sam Shanmugan (University of Kansas)  
 Prashant Shenoy (University of Massachusetts)  
 Clay Shields (Georgetown University)  
 Subin Shrestha (University of Pennsylvania)  
 Bojie Shu (πρώην φοιτητή του NYU-Poly)  
 Mihail L. Sichitiu (NC State University)  
 Peter Steenkiste (Carnegie Mellon University)  
 Tatsuya Suda (University of California at Irvine)  
 Kin Sun Tam (State University of New York at Albany)  
 Don Towsley (University of Massachusetts)  
 David Turner (California State University, San Bernardino)  
 Nitin Vaidya (Georgetown University)  
 Michele Weigle (Clemson University)  
 David Wetherall (Google)  
 Ira Winston (University of Pennsylvania)  
 Di Wu (Sun Yat-sen University)  
 Shirley Wynn (πρώην φοιτητή του NYU-Poly)  
 Raj Yavatkar (Google)  
 Yechiam Yemini (Columbia University)  
 Dian Yu (former NYU-Shanghai student)  
 Ming Yu (State University of New York at Binghamton)  
 Ellen Zegura (Georgia Institute of Technology)  
 Honggang Zhang (Suffolk University)  
 Hui Zhang (Carnegie Mellon University)  
 Lixia Zhang (University of California at Los Angeles)  
 Meng Zhang (πρώην φοιτητή του NYU-Poly)  
 Shuchun Zhang (πρώην φοιτητή του University of Pennsylvania)  
 Xiaodong Zhang (Ohio State University)  
 ZhiLi Zhang (University of Minnesota)  
 Phil Zimmermann (ανεξάρτητο σύμβουλο)  
 Mike Zink (University of Massachusetts)  
 Cliff C. Zou (University of Central Florida)

Θέλουμε επίσης να ευχαριστήσουμε όλη την ομάδα του οίκου Pearson — ειδικά τις Carole Snyder και Tracy Johnson — που έκανε σπουδαία δουλειά γι' αυτήν την όγδοη έκδοση και ανέχθηκε δύο λεπτολόγους συγγραφείς, που φαίνονται εκ γενετής ανίκανοι να ανταποκριθούν σε προθεσμίες!). Ευχαριστούμε επίσης τις γραφίστριες Janet Theurer και Patrice Rossi Calkin, για την δουλειά τους στα εξαιρετικά σχήματα παλαιότερων εκδόσεων του βιβλίου μας, και τον Manas Roy και την ομάδα του στην SPI Global για τη θαυμάσια εργασία παραγωγής σ' αυτήν την έκδοση. Τέλος, ευχαριστούμε ιδιαίτερα τους προηγούμενους εκδότες μας στις Addison-Wesley και Pearson — Matt Goldstein, Michael Hirsch, και Susan Hartman. Το βιβλίο αυτό δεν θα ήταν αυτό που είναι (και ίσως να μην είχε εκδοθεί καθόλου), χωρίς την ευγενική τους διαχείριση, τη συνεχή τους ενθάρρυνση, την καλή διάθεση και την επιμονή τους.

# Συνοπτικά Περιεχόμενα

|            |                                                  |     |
|------------|--------------------------------------------------|-----|
| Κεφάλαιο 1 | Δίκτυα Υπολογιστών και το Διαδίκτυο              | 1   |
| Κεφάλαιο 2 | Επίπεδο Εφαρμογής                                | 81  |
| Κεφάλαιο 3 | Επίπεδο Μεταφοράς                                | 181 |
| Κεφάλαιο 4 | Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Δεδομένων               | 303 |
| Κεφάλαιο 5 | Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Ελέγχου                 | 377 |
| Κεφάλαιο 6 | Επίπεδο Ζεύξης και Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (LAN) | 449 |
| Κεφάλαιο 7 | Δίκτυα Ασύρματων και Κινητών Επικοινωνιών        | 531 |
| Κεφάλαιο 8 | Ασφάλεια σε Δίκτυα Υπολογιστών                   | 607 |
|            | Βιβλιογραφία                                     | 691 |
|            | Ευρετήριο                                        | 731 |

# Πίνακας Περιεχομένων

|                                                                                   |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Κεφάλαιο 1 Δίκτυα Υπολογιστών και το Διαδίκτυο</b>                             | <b>1</b> |
| 1.1 Τι Είναι το Διαδίκτυο;                                                        | 2        |
| 1.1.1 Πρακτική Περιγραφή                                                          | 2        |
| 1.1.2 Περιγραφή με Βάση Παρεχόμενες Υπηρεσίες                                     | 5        |
| 1.1.3 Τι Είναι ένα Πρωτόκολλο;                                                    | 7        |
| 1.2 Η Περιφέρεια του Δικτύου                                                      | 9        |
| 1.2.1 Δίκτυα Προσπέλασης                                                          | 12       |
| 1.2.2 Φυσικά Μέσα                                                                 | 18       |
| 1.3 Ο Πυρήνας του Δικτύου                                                         | 22       |
| 1.3.1 Μεταγωγή Πακέτου                                                            | 23       |
| 1.3.2 Μεταγωγή Κυκλώματος                                                         | 27       |
| 1.3.3 Ένα Δίκτυο Δικτύων                                                          | 31       |
| 1.4 Καθυστέρηση, Απώλεια και Διεκπεραιωτική Ικανότητα σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων | 35       |
| 1.4.1 Επισκόπηση της Καθυστέρησης σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτων                     | 35       |
| 1.4.2 Καθυστέρηση Ουράς και Απώλεια Πακέτων                                       | 39       |
| 1.4.3 Καθυστέρηση από-Άκρο-σε-Άκρο                                                | 41       |
| 1.4.4 Διεκπεραιωτική Ικανότητα σε Δίκτυα Υπολογιστών                              | 43       |
| 1.5 Επίπεδα Πρωτοκόλλων και τα Μοντέλα Υπηρεσιών τους                             | 47       |
| 1.5.1 Αρχιτεκτονική Διαδοχικών Επιπέδων                                           | 47       |
| 1.5.2 Ενθυλάκωση                                                                  | 52       |
| 1.6 Δίκτυα Υπό Επίθεση                                                            | 54       |
| 1.7 Ιστορία της Δικτύωσης Υπολογιστών και του Διαδικτύου                          | 58       |
| 1.7.1 Η Ανάπτυξη της Μεταγωγής Πακέτου: 1961–1972                                 | 58       |
| 1.7.2 Ιδιοταγή Δίκτυα και Διαδικτύωση 1972–1980                                   | 59       |
| 1.7.3 Εξάπλωση των Δικτύων: 1980–1990                                             | 61       |
| 1.7.4 Η Έκρηξη του Διαδικτύου: Δεκαετία του 1990                                  | 62       |
| 1.7.5 Η Νέα Χιλιετία                                                              | 63       |
| 1.8 Περίληψη                                                                      | 64       |
| Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι                                             | 66       |
| Εργαστήριο Wireshark                                                              | 76       |
| Συνέντευξη: Leonard Kleinrock                                                     | 78       |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Κεφάλαιο 2 Επίπεδο Εφαρμογής</b>                          | <b>81</b> |
| 2.1 Αρχές Δικτυακών Εφαρμογών                                | 82        |
| 2.1.1 Αρχιτεκτονικές Δικτυακών Εφαρμογών                     | 84        |
| 2.1.2 Επικοινωνία Διεργασιών                                 | 85        |
| 2.1.3 Υπηρεσίες Μεταφοράς Διαθέσιμες σε Εφαρμογές            | 88        |
| 2.1.4 Υπηρεσίες Μεταφοράς που Παρέχονται απ' το Διαδίκτυο    | 90        |
| 2.1.5 Πρωτόκολλα Επιπέδου Εφαρμογής                          | 94        |
| 2.1.6 Δικτυακές Εφαρμογές που Καλύπτονται σε Αυτό το Βιβλίο  | 95        |
| 2.2 Το Web και το HTTP                                       | 95        |
| 2.2.1 Επισκόπηση του HTTP                                    | 96        |
| 2.2.2 Μη Παραμένουσες και Παραμένουσες Συνδέσεις             | 98        |
| 2.2.3 Μορφοποίηση Μηνύματος HTTP                             | 101       |
| 2.2.4 Αλληλεπίδραση Χρήστη-Εξυπηρέτη: Cookies                | 105       |
| 2.2.5 Προσωρινή Αποθήκευση Ιστού (Web Caching)               | 108       |
| 2.2.6 HTTP/2                                                 | 113       |
| 2.3 Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο στο Διαδίκτυο                    | 116       |
| 2.3.1 SMTP                                                   | 118       |
| 2.3.2 Μορφές Μηνυμάτων Ταχυδρομείου                          | 121       |
| 2.3.3 Πρωτόκολλα Προσπέλασης Ταχυδρομείου                    | 121       |
| 2.4 DNS—Η Υπηρεσία Καταλόγου Διαδικτύου                      | 122       |
| 2.4.1 Υπηρεσίες που Παρέχονται από το DNS                    | 123       |
| 2.4.2 Επισκόπηση του Τρόπου Λειτουργίας του DNS              | 125       |
| 2.4.3 Εγγραφές και Μηνύματα του DNS                          | 131       |
| 2.5 Διανομή Αρχείων Μεταξύ Ομοτίμων                          | 136       |
| 2.6 Βίντεο Συνεχούς Ροής και Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου    | 143       |
| 2.6.1 Βίντεο Διαδικτύου                                      | 143       |
| 2.6.2 Ροή μέσω HTTP και DASH                                 | 144       |
| 2.6.3 Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου                           | 145       |
| 2.6.4 Μελέτες Περιπτώσεων: Netflix και YouTube               | 149       |
| 2.7 Προγραμματισμός Υποδοχών: Δημιουργία Δικτυακών Εφαρμογών | 152       |
| 2.7.1 Προγραμματισμός Υποδοχών με UDP                        | 154       |
| 2.7.2 Προγραμματισμός Υποδοχών με TCP                        | 159       |
| 2.8 Περίληψη                                                 | 165       |
| Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι                        | 166       |
| Ασκήσεις Προγραμματισμού Υποδοχών                            | 175       |
| Εργαστήρια Wireshark: HTTP, DNS                              | 177       |
| Συνέντευξη: Tim Berners-Lee                                  | 178       |

|                                                                                                                         |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Κεφάλαιο 3 Επίπεδο Μεταφοράς</b>                                                                                     | <b>181</b> |
| 3.1 Εισαγωγή και Υπηρεσίες Επιπέδου Μεταφοράς                                                                           | 182        |
| 3.1.1 Σχέση Ανάμεσα στα Επίπεδα Μεταφοράς και Δικτύου                                                                   | 182        |
| 3.1.2 Επισκόπηση του Επιπέδου Μεταφοράς στο Διαδίκτυο                                                                   | 185        |
| 3.2 Πολύπλεξη και Αποπολύπλεξη                                                                                          | 187        |
| 3.3 Ασυνδεσμική Μεταφορά: UDP                                                                                           | 194        |
| 3.3.1 Δομή Τμήματος UDP                                                                                                 | 198        |
| 3.3.2 Άθροισμα Ελέγχου UDP                                                                                              | 198        |
| 3.4 Αρχές Αξιόπιστης Μεταφοράς Δεδομένων                                                                                | 200        |
| 3.4.1 Δημιουργία ενός Πρωτοκόλλου Αξιόπιστης Μεταφοράς Δεδομένων                                                        | 202        |
| 3.4.2 Πρωτόκολλα Αξιόπιστης Μεταφοράς Δεδομένων με Διοχέτευση                                                           | 211        |
| 3.4.3 Οπισθοχώρηση κατά N (GBN)                                                                                         | 215        |
| 3.4.4 Επιλεκτική Επανάληψη (SR)                                                                                         | 220        |
| 3.5 Συνδεσμική Μεταφορά: TCP                                                                                            | 227        |
| 3.5.1 Η Σύνδεση TCP                                                                                                     | 227        |
| 3.5.2 Δομή Τμήματος TCP                                                                                                 | 230        |
| 3.5.3 Εκτίμηση Χρόνου Διαδρομής Μετ' Επιστροφής και Λήξη Χρόνου                                                         | 235        |
| 3.5.4 Αξιόπιστη Μεταφορά Δεδομένων                                                                                      | 238        |
| 3.5.5 Έλεγχος Ροής                                                                                                      | 246        |
| 3.5.6 Διαχείριση Σύνδεσης TCP                                                                                           | 249        |
| 3.6 Αρχές Ελέγχου Συμφόρησης                                                                                            | 255        |
| 3.6.1 Τα Αίτια και το Κόστος της Συμφόρησης                                                                             | 255        |
| 3.6.2 Προσεγγίσεις για τον Έλεγχο Συμφόρησης                                                                            | 262        |
| 3.7 Έλεγχος Συμφόρησης TCP                                                                                              | 263        |
| 3.7.1 Έλεγχος Συμφόρησης Κλασικού TCP                                                                                   | 263        |
| 3.7.2 Ρητή Ειδοποίηση Συμφόρησης Υποβοηθούμενη απ' το Δίκτυο και Έλεγχος Συμφόρησης Βασισμένος στην Καθυστέρηση Πακέτων | 274        |
| 3.7.3 Δικαιοσύνη                                                                                                        | 276        |
| 3.8 Εξέλιξη της Λειτουργικότητας του Επιπέδου Μεταφοράς                                                                 | 279        |
| 3.9 Περίληψη                                                                                                            | 282        |
| Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι                                                                                   | 284        |
| Ασκήσεις Προγραμματισμού                                                                                                | 300        |
| Εργαστήρια Wireshark: Εξερεύνηση TCP και UDP                                                                            | 300        |
| Συνέντευξη: Van Jacobson                                                                                                | 301        |
| <b>Κεφάλαιο 4 Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Δεδομένων</b>                                                                    | <b>303</b> |
| 4.1 Επισκόπηση του Επιπέδου Δικτύου                                                                                     | 304        |
| 4.1.1 Προώθηση και Δρομολόγηση: Τα Επίπεδα Δεδομένων και Ελέγχου                                                        | 304        |
| 4.1.2 Μοντέλο Υπηρεσίας Δικτύου                                                                                         | 309        |
| 4.2 Τι Βρίσκεται Μέσα σε έναν Δρομολογητή;                                                                              | 311        |
| 4.2.1 Επεξεργασία Θύρας Εισόδου και Βασιζόμενη στον Προορισμό Προώθηση                                                  | 314        |
| 4.2.2 Μεταγωγή                                                                                                          | 317        |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.3 Επεξεργασία Θύρας Εξόδου                                           | 319 |
| 4.2.4 Πού Δημιουργούνται Ουρές Αναμονής;                                 | 319 |
| 4.2.5 Χρονοπρογραμματισμός Πακέτων                                       | 325 |
| 4.3 Το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP): IPv4, Διευθυνσιοδότηση, IPv6 και Άλλα | 330 |
| 4.3.1 Μορφή Δεδομενογράμματος IPv4                                       | 331 |
| 4.3.2 Διευθυνσιοδότηση IPv4                                              | 333 |
| 4.3.3 Μετάφραση Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)                                | 344 |
| 4.3.4 IPv6                                                               | 347 |
| 4.4 Γενικευμένη Προώθηση και SDN                                         | 353 |
| 4.4.1 Ταίριασμα                                                          | 355 |
| 4.4.2 Ενέργεια                                                           | 356 |
| 4.4.3 Παραδείγματα Ταίριασματος και Ενέργειας του OpenFlow σε Δράση      | 357 |
| 4.5 Ενδιάμεσα Κουτιά                                                     | 360 |
| 4.6 Περίληψη                                                             | 364 |
| Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι                                    | 364 |
| Εργαστήριο Wireshark: IP                                                 | 374 |
| Συνέντευξη: Vinton G. Cerf                                               | 375 |

## **Κεφάλαιο 5 Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Ελέγχου** **377**

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1 Εισαγωγή                                                                            | 378 |
| 5.2 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης                                                             | 380 |
| 5.2.1 Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Κατάστασης Ζεύξης (LS)                                  | 383 |
| 5.2.2 Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Διανύσματος Απόστασης (DV)                              | 388 |
| 5.3 Εσωτερική Δρομολόγηση Αυτόνομου Συστήματος στο Διαδίκτυο: OSPF                      | 395 |
| 5.4 Δρομολόγηση Μεταξύ των ISP: BGP                                                     | 399 |
| 5.4.1 Ο Ρόλος του BGP                                                                   | 399 |
| 5.4.2 Δημοσιοποίηση Πληροφοριών Διαδρομής BGP                                           | 400 |
| 5.4.3 Καθορισμός των Βέλτιστων Διαδρομών                                                | 402 |
| 5.4.4 IP-Anycast                                                                        | 406 |
| 5.4.5 Πολιτική Δρομολόγησης                                                             | 407 |
| 5.4.6 Συνένωση των Κομματιών: Απόκτηση Παρουσίας στο Διαδίκτυο                          | 410 |
| 5.5 Το Επίπεδο Ελέγχου SDN                                                              | 411 |
| 5.5.1 Το Επίπεδο Ελέγχου SDN: Ελεγκτής SDN και Εφαρμογές SDN Ελέγχου Δικτύου            | 414 |
| 5.5.2 Πρωτόκολλο OpenFlow                                                               | 416 |
| 5.5.3 Αλληλεπίδραση Επιπέδων Δεδομένων και Ελέγχου: Ένα Παράδειγμα                      | 418 |
| 5.5.4 SDN: Παρελθόν και Μέλλον                                                          | 419 |
| 5.6 ICMP: Πρωτόκολλο Μηνυμάτων Ελέγχου Διαδικτύου                                       | 423 |
| 5.7 Διαχείριση Δικτύου και SNMP, NETCONF/YANG                                           | 425 |
| 5.7.1 Πλαίσιο Διαχείρισης Δικτύου                                                       | 426 |
| 5.7.2 Απλό Πρωτόκολλο Διαχείρισης Δικτύου (SNMP) και Βάση Πληροφοριών Διαχείρισης (MIB) | 428 |
| 5.7.3 Πρωτόκολλο Διάρθρωσης Δικτύου (NETCONF) και YANG                                  | 432 |
| 5.8 Περίληψη                                                                            | 436 |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι        | 437 |
| Άσκηση Προγραμματισμού Υποδοχών 5: ICMP Ping | 443 |
| Άσκηση Προγραμματισμού: Δρομολόγηση          | 444 |
| Εργαστήριο Wireshark: ICMP                   | 445 |
| Συνέντευξη: Jennifer Rexford                 | 446 |

## **Κεφάλαιο 6 Επίπεδο Ζεύξης και Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (LAN) 449**

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1 Εισαγωγή το Επίπεδο Ζεύξης                                                      | 450 |
| 6.1.1 Οι Υπηρεσίες που Παρέχονται απ' το Επίπεδο Ζεύξης                             | 452 |
| 6.1.2 Πού Υλοποιείται το Επίπεδο Ζεύξης;                                            | 453 |
| 6.2 Τεχνικές Ανίχνευσης και Διόρθωσης Σφαλμάτων                                     | 454 |
| 6.2.1 Έλεγχος Ισοτιμίας                                                             | 456 |
| 6.2.2 Μέθοδοι Αθροίσματος Ελέγχου                                                   | 458 |
| 6.2.3 Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού (CRC)                                             | 459 |
| 6.3 Πρωτόκολλα και Ζεύξεις Πολλαπλής Προσπέλασης                                    | 461 |
| 6.3.1 Πρωτόκολλα Διαμέρισης Καναλιού                                                | 463 |
| 6.3.2 Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπέλασης                                                | 465 |
| 6.3.3 Πρωτόκολλα Λειτουργίας εκ Περιτροπής                                          | 474 |
| 6.3.4 DOCSIS: Το Πρωτόκολλο Επιπέδου Ζεύξης για Καλωδιακή Προσπέλαση του Διαδικτύου | 475 |
| 6.4 Δίκτυα Τοπικής Περιοχής Μεταγωγής                                               | 477 |
| 6.4.1 Διευθυνσιοδότηση Επιπέδου Ζεύξης και ARP                                      | 478 |
| 6.4.2 Ethernet                                                                      | 484 |
| 6.4.3 Μεταγωγείς Επιπέδου Ζεύξης                                                    | 491 |
| 6.4.4 Εικονικά Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (VLAN)                                       | 497 |
| 6.5 Εικονικοποίηση Ζεύξεων: Ένα Δίκτυο ως Επίπεδο Ζεύξης                            | 501 |
| 6.5.1 Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων (MPLS)                                | 502 |
| 6.6 Δικτύωση Κέντρων Δεδομένων                                                      | 505 |
| 6.6.1 Αρχιτεκτονικές Κέντρων Δεδομένων                                              | 505 |
| 6.6.2 Τάσεις στη Δικτύωση Κέντρων Δεδομένων                                         | 509 |
| 6.7 Αναδρομή: Μία Μέρα στη Ζωή μίας Αίτησης Ιστοσελίδας                             | 512 |
| 6.7.1 Έναρξη: DHCP, UDP, IP, and Ethernet                                           | 512 |
| 6.7.2 Συνέχεια Έναρξης: DNS και ARP                                                 | 514 |
| 6.7.3 Συνέχεια Έναρξης: Ενδοτομεακή Δρομολόγηση προς τον Εξυπηρέτη DNS              | 515 |
| 6.7.4 Αλληλεπίδραση Πελάτη-Εξυπηρέτη Ιστού: TCP και HTTP                            | 516 |
| 6.8 Περίληψη                                                                        | 518 |
| Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι                                               | 519 |
| Εργαστήρια Wireshark: 802.11 Ethernet                                               | 527 |
| Συνέντευξη: Albert Greenberg                                                        | 528 |

## **Κεφάλαιο 7 Δίκτυα Ασύρματων και Κινητών Επικοινωνιών 531**

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| 7.1 Εισαγωγή                                     | 532 |
| 7.2 Ασύρματες Ζεύξεις και Χαρακτηριστικά Δικτύων | 536 |
| 7.2.1 CDMA                                       | 539 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.3 WiFi: Ασύρματα LAN 802.11                                                         | 542 |
| 7.3.1 Η Αρχιτεκτονική Ασύρματου LAN 802.11                                            | 544 |
| 7.3.2 Το Πρωτόκολλο MAC του 802.11                                                    | 548 |
| 7.3.3 Το Πλαίσιο του IEEE 802.11                                                      | 553 |
| 7.3.4 Κινητικότητα Μέσα στο Ίδιο Υποδίκτυο IP                                         | 556 |
| 7.3.5 Προηγμένα Χαρακτηριστικά του 802.11                                             | 559 |
| 7.3.6 Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής: Bluetooth                                           | 560 |
| 7.4 Κυβελωτά Δίκτυα: 4G και 5G                                                        | 563 |
| 7.4.1 Κυβελωτά Δίκτυα 4G LTE: Αρχιτεκτονική και Στοιχεία                              | 564 |
| 7.4.2 Στοιβες Πρωτοκόλλων LTE                                                         | 570 |
| 7.4.3 Δίκτυο Ραδιοπροσπέλασης LTE                                                     | 571 |
| 7.4.4 Πρόσθετες Λειτουργίες LTE: Σύνδεση στο Δίκτυο και Διαχείριση Ισχύος             | 572 |
| 7.4.5 Το Καθολικό Κυβελωτό Δίκτυο: Ένα Δίκτυο Δικτύων                                 | 574 |
| 7.4.6 Κυβελωτά Δίκτυα 5G                                                              | 575 |
| 7.5 Διαχείριση Κινητικότητας: Αρχές                                                   | 578 |
| 7.5.1 Κινητικότητα Συσκευών: Οπτική Επιπέδου Δικτύου                                  | 578 |
| 7.5.2 Οικεία Δίκτυα και Περιοχή σε Επισκεπτόμενα δίκτυα                               | 579 |
| 7.5.3 Άμεση και Έμμεση Δρομολόγηση προς/από μία Κινητή Συσκευή                        | 580 |
| 7.6 Διαχείριση Κινητικότητας στην Πράξη                                               | 587 |
| 7.6.1 Διαχείριση Κινητικότητας σε Δίκτυα 4G/5G                                        | 587 |
| 7.6.2 Mobile IP                                                                       | 592 |
| 7.7 Ασύρματες Επικοινωνίες και Κινητικότητα: Επίπτωση σε Πρωτόκολλα Ανώτερων Επιπέδων | 594 |
| 7.8 Περίληψη                                                                          | 596 |
| Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι                                                 | 597 |
| Εργαστήριο Wireshark: WiFi                                                            | 602 |
| Συνέντευξη: Deborah Estrin                                                            | 603 |

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| <b>Κεφάλαιο 8 Ασφάλεια σε Δίκτυα Υπολογιστών</b> | <b>607</b> |
| 8.1 Τι Σημαίνει Ασφάλεια Δικτύων;                | 608        |
| 8.2 Αρχές της Κρυπτογραφίας                      | 610        |
| 8.2.1 Κρυπτογράφηση Συμμετρικού Κλειδιού         | 612        |
| 8.2.2 Κρυπτογράφηση Δημόσιου Κλειδιού            | 618        |
| 8.3 Ακεραιότητα Μηνύματος και Ψηφιακές Υπογραφές | 624        |
| 8.3.1 Κρυπτογραφικές Συναρτήσεις Κατακερματισμού | 625        |
| 8.3.2 Κώδικας Αυθεντικοποίησης Μηνύματος         | 626        |
| 8.3.3 Ψηφιακές Υπογραφές                         | 628        |
| 8.4 Αυθεντικοποίηση Τερματικού Σημείου           | 634        |
| 8.5 Ασφάλιση E-Mail                              | 639        |
| 8.5.1 Ασφαλές E-Mail                             | 640        |
| 8.5.2 PGP                                        | 643        |

|                                                                              |                |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 8.6 Ασφάλιση Συνδέσεων TCP: TLS                                              | 644            |
| 8.6.1 Η Μεγάλη Εικόνα                                                        | 646            |
| 8.6.2 Μία Πληρέστερη Εικόνα                                                  | 649            |
| 8.7 Ασφάλεια Επιπέδου Δικτύου: IPsec και Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα            | 651            |
| 8.7.1 IPsec και Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα (VPN)                               | 651            |
| 8.7.2 Τα Πρωτόκολλα AH και ESP                                               | 653            |
| 8.7.3 Συσχετίσεις Ασφάλειας                                                  | 653            |
| 8.7.4 Το Δεδομένογράμμα IPsec                                                | 655            |
| 8.7.5 IKE: Διαχείριση Κλειδιών στο IPsec                                     | 658            |
| 8.8 Ασφάλιση Ασύρματων LAN και Κυψελωτών Δικτύων 4G/5G                       | 659            |
| 8.8.1 Αυθεντικοποίηση και Συμφωνία Κλειδιών σε 802.11 Ασύρματα LAN           | 659            |
| 8.8.2 Αυθεντικοποίηση και Συμφωνία Κλειδιών σε Κυψελωτά Δίκτυα 4G/5G         | 664            |
| 8.9 Λειτουργική Ασφάλεια: Τείχη Προστασίας και Συστήματα Ανίχνευσης Εισβολών | 667            |
| 8.9.1 Τείχη Προστασίας (Firewalls)                                           | 667            |
| 8.9.2 Συστήματα Ανίχνευσης Εισβολών                                          | 675            |
| 8.10 Περίληψη                                                                | 679            |
| Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι                                        | 680            |
| Εργαστήριο Wireshark: SSL                                                    | 688            |
| Εργαστήριο IPsec                                                             | 688            |
| Συνέντευξη: Steven M. Bellovin                                               | 689            |
| <br><b>Βιβλιογραφία</b>                                                      | <br><b>691</b> |
| <b>Ευρετήριο</b>                                                             | <b>723</b>     |