

# Δικτύωση Υπολογιστών

Προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω



7<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ

**James F. Kurose**

*Πανεπιστήμιο Massachusetts, Amherst, ΗΠΑ*

**Keith W. Ross**

*Πανεπιστήμιο Polytechnic, ΗΠΑ*

Απόδοση: **Γιάννης Β. Σαμαράς**

*Ηλεκτρολόγος Μηχανολόγος Ε.Μ.Π.*

*M.Sc. Computer Science*

 **Εκδόσεις: Μ. Γκιούρδας**

Ζωοδόχου Πηγής 70-74 - Τηλ.: 210 3630219

106 81 Αθήνα, 2018

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

**Τίτλος Πρωτοτύπου:**

Computer Networking

A Top-Down Approach - Seventh Edition

ISBN-13: 978-0-13-359414-0

ISBN-10: 0-13-359414-9

Copyright © 2017, 2013, 2010 by Pearson Education, Inc.  
One Lake Street, Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA

Αποκλειστικότητα για την Ελληνική Γλώσσα

Εκδόσεις: **Μόσχος Γκιούρδας**



Ζωοδόχου Πηγής 70-74 - Τηλ.: 210 3630219

106 81 Αθήνα, 2018

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

**ISBN: 978-960-512-702-2**

Desktop Publishing: Κ. Καλαϊτζής, τηλ.: 210 2811662

Εκτύπωση: Red Notos Print ΕΠΕ, τηλ.: 210 2850801

Βιβλιοδεσία: Ηλιόπουλος Θ. - Ροδόπουλος Π. Ο.Ε. τηλ. 210 3477108

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 της Επιστήμης των Υπολογιστών στο University of Massachusetts, Amherst. Αυτή την εποχή είναι σε άδεια από το University of Massachusetts, εργαζόμενος ως Βοηθός Διευθυντής στο National Science Foundation των Η.Π.Α., όπου διευθύνει το Directorate of Computer and Information Science and Engineering.

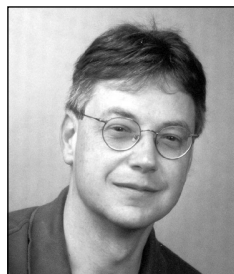
Έχει πάρει πολλές διακρίσεις για τις εκπαιδευτικές του δραστηριότητες, που περιλαμβάνουν το βραβείο Outstanding Teacher από το National Technological University (οκτώ φορές), απ' το University of Massachusetts και από το Northeast Association of Graduate Schools. Έχει πάρει το μετάλλιο IEEE Taylor Booth Education Medal και έχει αναγνωρισθεί για την συμμετοχή του στην πρωτοβουλία Massachusetts Commonwealth Information Technology Initiative. Του έχουν απονεμηθεί αρκετά βραβεία για την καλύτερη δημοσίευση σε αρκετά συνέδρια και έχει λάβει το *IEEE Infocom Achievement Award* και το *ACM Sigcomm Test of Time Award*.

Ο Dr. Kurose ήταν Editor-In-Chief στο *IEEE Transactions of Communications* και στο *IEEE/ACM Transactions on Networking*. Έχει υπηρετήσει ως Technical Program co-Chair για *IEEE Infocom*, *ACM SIGCOMM*, *ACM Internet Measurement Conference* και *ACM SIGMETRICS*. Είναι Fellow στο IEEE και στην ACM. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα περιλαμβάνουν πρωτόκολλα και αρχιτεκτονική δικτύων, μετρήσεις δικτύων, δίκτυα αισθητήρων, πολυμεσική επικοινωνία και μοντελοποίηση και αξιολόγηση απόδοσης. Έχει διδακτορικό στην Επιστήμη των Υπολογιστών από το Columbia University.



## Keith Ross

Ο Keith Ross είναι Dean of Engineering and Computer Science στο NTU της Σαγκάης και καθηγητής της έδρας Leonard J. Shustek και Διευθυντής του Τμήματος Επιστήμης των Υπολογιστών στο Polytechnic Institute του NYU. Προηγουμένως ήταν καθηγητής στο University of Pennsylvania (για 13 χρόνια), καθηγητής Eurocom Institute, στην Γαλλία (για 5 χρόνια) και καθηγητής στο Polytechnic University (10 χρόνια). Πήρε πτυχίο B.S.E.E. απ' το Tufts University, M.S.E.E. από το Columbia University και Ph.D. στην Επιστήμη των Υπολογιστών και στα Συστήματα Ελέγχου (Computer Science and Control Engineering) από το University of Michigan. Είναι επίσης συνιδρυτής και πρώτος CEO της εταιρείας Wimba, η οποία αναπτύσσει ηλεκτρονικές εφαρμογές πολυμέσων για ηλεκτρονική εκπαίδευση (e-learning) και η οποία εξαγοράστηκε από την Blackboard το 2010.



Τα ερευνητικά ενδιαφέροντα του Καθηγητή Ross περιλαμβάνουν την ασφάλεια και ιδιωτικότητα, τα κοινωνικά δίκτυα, την δικτύωση ομοτίμων (P2P), τις μετρήσεις Διαδικτύου, τα δίκτυα διανομής περιεχομένου (content distribution networks) και την στοχαστική μοντελοποίηση. Είναι fellow του IEEE, έχει πάρει το βραβείο Infocom 2009 Best Paper Award, καθώς και τα βραβεία 2011 και 2008 Best Paper Award, για Πολυμεσικές Επικοινωνίες, που απονέμονται από την IEEE Communication 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 των Η.Π.Α. σε θέματα κοινής χρήσης αρχείων P2P.

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

JFK

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

KWR

# Πρόλογος

Καλώς ήλθατε στην έβδομη έκδοση του βιβλίου *Δικτύωση Υπολογιστών: Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω*. Μετά απ' την έκδοση της πρώτης έκδοσης πριν από 16 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 Έβδομη Έκδοση;

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

Οι παλιοί αναγνώστες του βιβλίου μας θα παρατηρήσουν ότι για πρώτη φορά από την αρχική έκδοση του βιβλίου, έχουμε αλλάξει την οργάνωση των κεφαλαίων. Το επίπεδο δικτύου, το οποίο προηγουμένως καλυπτόταν σ' ένα κεφάλαιο, τώρα καλύπτεται στο Κεφάλαιο 4 (που εστιάζεται στο επονομαζόμενο «επίπεδο δεδομένων» του επιπέδου δικτύου) και στο Κεφάλαιο 5 (το οποίο εστιάζεται στο «επίπεδο ελέγχου» του επιπέδου δικτύου). Αυτή η αναπτυγμένη κάλυψη του επιπέδου δικτύου αντανακλά την άνοδο της σημαντικότητας της οριζόμενης μέσω λογισμικού δικτύωσης (SDN), που είναι η σημαντικότερη και πλέον εντυπωσιακή εξέλιξη της δικτύωσης για δεκαετίες. Αν και πρόκειται για μια σχετικά πρόσφατη καινοτομία, η SDN έχει υιοθετηθεί ταχέως στην πράξη – τόσο πολύ ώστε να θεωρείται δύσκολο να φανταστούμε μια εισαγωγή στην σύγχρονη δικτύωση, που δεν καλύπτει την SDN. Το θέμα της διαχείρισης δικτύου, που προηγουμένως καλυπτόταν στο Κεφάλαιο 9, τώρα καλύπτεται στο νέο Κεφάλαιο 5. Όπως πάντα, έχουμε ενημερώσει επίσης πολλές άλλες ενότητες του βιβλίου, ώστε να περιλαμβάνουμε τις πρόσφατες αλλαγές στον δυναμικό τομέα της δικτύωσης, που εμφανίστηκαν μετά την έκτη έκδοση. Όπως πάντα, το υλικό που έχουμε αποσύρει απ' την έντυπη έκδοση μπορείτε να το βρείτε στον συνοδευτικό ιστότοπο του βιβλίου. Οι σημαντικότερες ενημερώσεις είναι οι εξής:

- Το Κεφάλαιο 1 έχει ενημερωθεί, ώστε να αντανακλά την ευρεία ακτίνα δράσης και την χρήση του Διαδικτύου.
- Το Κεφάλαιο 2, το οποίο καλύπτει το επίπεδο εφαρμογής, έχει ενημερωθεί σημαντικά. Έχουμε αφαιρέσει το υλικό για το πρωτόκολλο FTP και έχουμε καταναείμει τους πίνακες κατακερματισμού σε άλλα κεφάλαια, για να κάνουμε χώρο για μια νέα ενότητα για το βίντεο συνεχούς ροής επιπέδου εφαρμογής και για τα δίκτυα διανομής περιεχομένου,

μαζί με μελέτες περιπτώσεων για τα Netflix και YouTube. Οι ενότητες για τον προγραμματισμό sockets έχουν ενημερωθεί από την Python 2 στην Python 3.

- Το Κεφάλαιο 3, το οποίο καλύπτει το επίπεδο μεταφοράς, έχει ενημερωθεί μετρίως. Το υλικό για τα δίκτυα ασύγχρονου τρόπου μεταφοράς (ATM) έχει αντικατασταθεί από πιο σύγχρονο υλικό για την εμφανή ειδοποίηση συμφόρησης του Διαδικτύου (ECN), η οποία διδάσκει τις ίδιες αρχές.
- Το Κεφάλαιο 4 καλύπτει το συστατικό «επίπεδο δεδομένων» του επιπέδου δικτύου – την λειτουργία προώθησης ανά δρομολογητή, που καθορίζει πώς ένα πακέτο, που φθάνει στις ζεύξεις εισόδου ενός δρομολογητή προωθείται σε μια από τις ζεύξεις εξόδου του δρομολογητή. Ενημερώσαμε το υλικό που αφορά την παραδοσιακή προώθηση Διαδικτύου, που αναφέρεται σε όλες τις προηγούμενες εκδόσεις και προσθέσαμε υλικό για τον χρονοπρογραμματισμό πακέτων. Επίσης προσθέσαμε μια νέα ενότητα για την γενικευμένη προώθηση, όπως αυτή πραγματοποιείται απ’ την SDN. Το κεφάλαιο περιέχει επίσης πολλές ενημερώσεις. Το υλικό για την επικοινωνία πολυεκπομπής και εκπομπής έχει αφαιρεθεί, για να δημιουργήσει χώρο για νέο υλικό.
- Στο Κεφάλαιο 5, καλύπτουμε τις λειτουργίες του επιπέδου ελέγχου του επιπέδου δικτύου – την λογική για όλο το δίκτυο, που ελέγχει πώς δρομολογείται ένα δεδομένογραμμα επάνω στην διαδρομή δρομολογητών από-άκρο-σε-άκρο, από τον υπολογιστή προέλευσης προς τον υπολογιστή προορισμού. Όπως και στις προηγούμενες εκδόσεις, καλύπτουμε τους αλγορίθμους δρομολόγησης, καθώς και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης (με ενημερωμένη θεώρηση του BGP), που χρησιμοποιούνται στο σύγχρονο Διαδίκτυο. Έχουμε προσθέσει μια σημαντική νέα ενότητα για το SDN επίπεδο ελέγχου, όπου η δρομολόγηση και οι άλλες λειτουργίες υλοποιούνται μέσα στους επανομαζόμενους ελεγκτές SDN.
- Το Κεφάλαιο 6, το οποίο τώρα καλύπτει το επίπεδο ζεύξης, περιλαμβάνει μια ενημερωμένη μελέτη του Ethernet και της δικτύωσης κέντρων δεδομένων.
- Το Κεφάλαιο 7, το οποίο καλύπτει την ασύρματη και την κινητή δικτύωση, περιέχει ενημερωμένο υλικό για δίκτυα 802.11 (τα επανομαζόμενα «WiFi») και για κυψελωτά δίκτυα, περιλαμβανομένων των 4G και LTE.
- Το Κεφάλαιο 8, το οποίο καλύπτει την ασφάλεια δικτύων, έχει ενημερωθεί εκτεταμένα στην έκτη έκδοση και στην έβδομη έκδοση περιλαμβάνει μόνο λίγες ενημερώσεις.
- Το Κεφάλαιο 9, για την δικτύωση πολυμέσων, είναι τώρα λίγο «μικρότερο» απ’ την έκτη έκδοση, επειδή το υλικό για το βίντεο συνεχούς ροής και για τον χρονοπρογραμματισμό πακέτων έχει ενσωματωθεί στο Κεφάλαιο 4.
- Έχει προστεθεί σημαντικό υλικό στα προβλήματα, που βρίσκονται στο τέλος των κεφαλαίων. Όπως συνέβη σε όλες τις προηγούμενες εκδόσεις, τα προβλήματα για το σπίτι έχουν ενημερωθεί, έχουν προστεθεί νέα και ορισμένα έχουν αφαιρεθεί.

Όπως πάντα, ο σκοπός μας σε αυτή την νέα έκδοση του βιβλίου είναι να συνεχίσουμε να παρέχουμε μια εστιασμένη και σύγχρονη θεώρηση της δικτύωσης υπολογιστών, με έμφαση στις αρχές και στην πράξη.

## Αναγνωστικό Κοινό

Αυτό το βιβλίο προορίζεται για ένα εισαγωγικό μάθημα στην δικτύωση υπολογιστών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τμήματα πληροφορικής 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 ηθελήμενη προσπάθεια να αποφύγουμε την χρήση προχωρημένων μαθηματικών, θεωρίας πιθανοτήτων ή αρχών στοχαστικής ανάλυσης (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 από 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 την μεγάλη εικόνα του πώς συνεργάζονται όλα τα κομμάτια μεταξύ τους. Από παιδαγωγική σκοπιά, η προσωπική μας εμπειρία είναι ότι μια τέτοια προσέγγιση σε επίπεδα λειτουργεί πραγματικά 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 Επάνω προς τα Κάτω

Το βιβλίο μας άνοιξε ένα νέο δρόμο πριν από 12 χρόνια, χρησιμοποιώντας μια οργάνωση από επάνω 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 επάνω προς τα κάτω έχει πολλά πλεονεκτήματα και πράγματι λειτουργεί καλά από παιδαγωγικής πλευράς. Πρώτον, δίνει έμφαση στο επίπεδο εφαρμογής (ένας χώρος μεγάλης ανάπτυξης στην δικτύωση υπολογιστών). Πράγματι, πολλές από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στην δικτύωση υπολογιστών – περιλαμβανομένου του Web, διανομής αρχείων P2P, πολυμεσικού περιεχομένου συνεχούς ροής– 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 φοι-



τητές συγκινούνται ιδιαίτερα όταν μαθαίνουν πώς λειτουργούν οι δικτυακές εφαρμογές – εφαρμογές όπως το e-mail και το Web, τις οποίες 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 επάνω 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 επάνω προς τα κάτω, οι φοιτητές καταλαβαίνουν από την αρχή τις έννοιες του προγραμματισμού με υποδοχές (socket programming), μοντέλων υπηρεσιών και πρωτοκόλλων – σημαντικές αρχές, οι οποίες επανεμφανίζονται σε όλα τα επόμενα επίπεδα. Παρέχοντας παραδείγματα προγραμματισμού με υποδοχές 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 την φράση «με έμφαση στο Διαδίκτυο» απ' την τέταρτη έκδοση, 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 του 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 τεχνολογία και μπορούν να δουν ότι αλλάζει τον κόσμο εκ βάθρων. Δεδομένης της τεράστιας εφαρμογής του Διαδικτύου, οι φοιτητές είναι περίεργοι για το τι βρίσκεται στο παρασκήνιο. Έτσι, είναι εύκολο για έναν εκπαιδευτή να τους συναρπάσει για 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 επάνω προς τα κάτω και η εστίαση στο Διαδίκτυο – εμφανίζονται στον υπότιτλο του βιβλίου. Θα μπορούσαμε να εισάγουμε μια *τρίτη* φράση στον υπότιτλο, η οποία θα περιείχε την λέξη *αρχές*.

Το πεδίο της δικτύωσης είναι τώρα αρκετά ώριμο; ώστε να μπορούμε να προσδιορίσουμε αρκετές θεμελιωδώς σημαντικές αρχές. Για παράδειγμα, στο επίπεδο μεταφοράς, τα θεμελιώδη ζητήματα περιλαμβάνουν αξιόπιστη επικοινωνία επάνω από ένα αναξιόπιστο επίπεδο 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 καθορίζει βασικά ζητήματα δικτύωσης και μελετά προσεγγίσεις προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης αυτών των ζητημάτων. Ο φοιτητής που μαθαίνει αυτές τις αρχές θα αποκτήσει γνώσεις με μεγάλη διάρκεια ζωής – πολύ μετά αφού τα σημερινά πρότυπα και πρωτόκολλα θα έχουν καταστεί απαρχαιωμένα, οι αρχές που εμπεριέχουν θα παραμείνουν σημαντικές. Πιστεύουμε ότι ο συνδυασμός της χρήσης του Διαδικτύου για να εισάγουμε τους φοιτητές στο θέμα και να τονίσουμε κατόπιν τα θεμελιώδη ζητήματα τις προσεγγίσεις για την επίλυσή τους θα επιτρέψει στους φοιτητές να κατανοήσουν γρήγορα όλα όσα χρειάζονται για σχεδόν οποιαδήποτε τεχνολογία δικτύωσης.

## Ο Ιστότοπος

Αυτό το βιβλίο διαθέτει έναν εκτεταμένο συνοδευτικό ιστότοπο για όλους τους αναγνώστες, στην διεύθυνση <http://www.pearsonhighered.com/cs-resources/>, ο οποίος περιλαμβάνει:

- *Υλικό διαδραστικής εκπαίδευσης:* Ο συνοδευτικός ιστότοπος του βιβλίου περιέχει VideoNotes – παρουσιάσεις βίντεο των σημαντικών θεμάτων του βιβλίου από τους συγγραφείς, καθώς και περιήγηση σε λύσεις προβλημάτων, παρόμοιων με αυτά που παρατίθενται στο τέλος κάθε κεφαλαίου. Έχουμε επίσης προσθέσει VideoNotes και ηλεκτρονικά προβλήματα στον ιστότοπο για τα Κεφάλαια 1 ως 5 και θα συνεχίσουμε να προσθέτουμε και να ενημερώνουμε το υλικό από καιρού εις καιρόν. Όπως σε προηγούμενες εκδόσεις, ο ιστότοπος περιέχει επίσης διαδραστικές μικροεφαρμογές Java (applets), που «ζωντανεύουν» πολλές βασικές αρχές δικτύωσης. Ο ιστότοπος επίσης διαθέτει διαδραστικές ερωτήσεις εξέτασης, που επιτρέπουν στους φοιτητές να ελέγξουν αν έχουν κατανοήσει τα διάφορα θέματα. Οι καθηγητές μπορούν να ενσωματώσουν αυτά τα διαδραστικά χαρακτηριστικά στις διαλέξεις τους ή να τα χρησιμοποιήσουν ως ασκήσεις εργαστηρίου.
- *Πρόσθετο τεχνικό υλικό.* Επειδή προσθέτουμε νέο υλικό σε κάθε νέα έκδοση του βιβλίου, έπρεπε να αφαιρούμε μερικά από τα υπάρχοντα θέματα, για να κρατήσουμε το βιβλίο σε λογικό όγκο. Για παράδειγμα, για να δημιουργήσουμε χώρο για νέο υλικό σ' αυτήν την έκδοση, έχουμε αφαιρέσει υλικό για το FTP, για τους καταμεμημένους πίνακες κατακερματισμού και για την πολυεκομπή. Το υλικό που υπήρχε σε παλαιότερες εκδόσεις του βιβλίου και συνεχίζει να παρουσιάζει ενδιαφέρον 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 διε-

παφή 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, αν 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 νέα εργαστήρια στην διάρκεια του χρόνου.

Πέρα από τον συνοδευτικό ιστότοπο, οι συγγραφείς διατηρούν ένα δημόσιο ιστότοπο, [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. Εφόσον οι φοιτητές μπορούν να παράγουν (και να προβάλουν λύσεις για) ένα απεριόριστο αριθμό παρόμοιων προβλημάτων, μπορούν να συνεχίσουν να εργάζονται μέχρι να μάθουν πραγματικά το υλικό του βιβλίου.

## Παιδαγωγικά Χαρακτηριστικά

Διδάσκουμε ο καθένας μας 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 μέχρι σήμερα. (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 πιθανόν 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 τεχνολογίες, όπως και στις υποκείμενες αρχές πίσω από 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. Αυτό το υλικό μπορείτε να προσπελάσετε στο Pearson's Instructor Resource Center (<http://www.pearsonhighered.com/irc>). Επισκεφθείτε το κέντρο πόρων εκπαιδευτών για να πάρετε πληροφορίες σχετικά με την προσπέλαση συμπληρωμάτων για εκπαιδευτές.

- *Διαφάνειες PowerPoint®*. Παρέχουμε διαφάνειες PowerPoint και για τα εννέα κεφάλαια. Οι διαφάνειες έχουν ενημερωθεί πλήρως με την έβδομη έκδοση. Οι διαφάνειες 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*. Ο ιστότοπος παρέχει ένα εγχειρίδιο λύσεων αυτού του βιβλίου για τα προβλήματα για το σπίτι, προγραμματιστικές ασκήσεις και εργαστήρια σε Wireshark. Όπως προαναφέρθηκε, έχουμε εισαγάγει πολλά νέα προβλήματα για το σπίτι στα πρώτα έξι κεφάλαια του βιβλίου.

## 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 την σκηνή για το υπόλοιπο βιβλίο. Όλα τα υπόλοιπα κεφάλαια εξαρτώνται απευθείας από αυτό το πρώτο κεφάλαιο. Μετά την ολοκλήρωση του Κεφαλαίου 1, συνιστούμε στους εκπαιδευτές να καλύψουν τα Κεφάλαια 2 έως 6 με την σειρά, ακολουθώντας την από επάνω προς τα κάτω φιλοσοφία μας. Κάθε ένα από αυτά τα πέντε κεφάλαια χρησιμοποιεί υλικό από τα προηγούμενα κεφάλαια. Αφού ολοκληρώσει τα πρώτα έξι κεφάλαια, ο εκπαιδευτής έχει μεγάλη ευελιξία. Δεν υπάρχουν αλληλοεξαρτήσεις ανάμεσα στα τρία τελευταία κεφάλαια, οπότε μπορεί να τα διδάξει με οποιαδήποτε σειρά. Εν τούτοις, κάθε ένα από αυτά τα τρία τελευταία κεφάλαια εξαρτάται από το υλικό των έξι πρώτων κεφαλαίων. Πολλοί εκπαιδευτές διδάσκουν τα έξι πρώτα κεφάλαια και μετά διδάσκουν ένα από τα τελευταία τρία κεφάλαια για «επιδόρπιο».

## Μια Τελευταία Σημείωση: Θα Θέλαμε να Ακούσουμε από Εσάς

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 πέντε 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 προβλήματα για το σπίτι. Θα τα δημοσιεύσουμε και αυτά στο τμήμα που προορίζεται μόνον για εκπαιδευτές του ιστοτόπου. Επίσης ενθαρρύνουμε τους εκπαιδευτές και τους φοιτητές να δημιουργήσουν μικροεφαρμογές Java, που επεξηγούν τις αρχές και τα πρωτόκολλα του βιβλίου. Αν έχετε μια μικροεφαρμογή που θεωρείτε ότι είναι κατάλληλη για αυτό το βιβλίο, παρακαλούμε να την στείλετε σε εμάς. Αν η μικροεφαρμογή (περιλαμβανομένων του συμβολισμού και της ορολογίας) είναι κατάλληλη, με χαρά μας θα την συμπεριλάβουμε στον ιστότοπο του βιβλίου, με μια αναφορά στους συγγραφείς της μικροεφαρμογής.

Μπορείτε να μας στείλετε ενδιαφέροντα URL, να μας υποδείξετε τυπογραφικά μας λάθη, να διαφωνήσετε με τους ισχυρισμούς μας και να μας πείτε 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 από τα πρώτα κείμενα αυτού του βιβλίου έως και αυτήν την έβδομη 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 του βιβλίου. 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 (previously at Sprint)  
Ernst Biersack (Euricom Institute)  
Shahid Bokhari (University of Engineering & Technology, Lahore)  
Jean Bolot (Technicolor Research)  
Daniel Brushteyn (former University of Pennsylvania student)  
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 (Euricom Institute)  
Christophe Diot (Technicolor Research)  
Prithula Dhunghel (Akamai)

---

Deborah Estrin (University of California, Los Angeles)  
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 (former University of Pennsylvania student)  
Cheng Huang (Microsoft Research)  
Esther A. Hughes (Virginia Commonwealth University)  
Van Jacobson (Xerox PARC)  
Pinak Jain (former NYU-Poly student)  
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 (formerly of IBM Research)  
Hyojin Kim (former University of Pennsylvania student)  
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 (former NYU-Poly student)

Yong Liu (NYU-Poly)  
William Liang (former University of Pennsylvania student)  
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)  
Sue Moon (KAIST)  
Jenni Moyer (Comcast)  
Erich Nahum (IBM Research)  
Christos Papadopoulos (Colorado State University)  
Craig Partridge (BBN Technologies)  
Radia Perlman (Intel)  
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 Rodrigéz (Telefonica)  
Sumit Roy (University of Washington)  
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 (former NYU-Poly student)  
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 (University of Illinois)  
Michele Weigle (Clemson University)  
David Wetherall (University of Washington)  
Ira Winston (University of Pennsylvania)  
Di Wu (Sun Yat-sen University)  
Shirley Wynn (NYU-Poly)  
Raj Yavatkar (Intel)  
Yechiam Yemini (Columbia University)  
Dian Yu (NYU Shanghai)  
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 (former NYU-Poly student)  
Shuchun Zhang (former University of Pennsylvania student)  
Xiaodong Zhang (Ohio State University)  
ZhiLi Zhang (University of Minnesota)  
Phil Zimmermann (independent consultant)  
Mike Zink (University of Massachusetts)  
Cliff C. Zou (University of Central Florida)

Θέλουμε επίσης να ευχαριστήσουμε όλη την ομάδα του οίκου Pearson – ειδικά τους Matt Goldstein και Joanne Manning – που έκαναν σπουδαία δουλειά για αυτή την έβδομη έκδοση (και ανέχθηκαν 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 με τα εξαιρετα σχεδιαγράμματα στο βιβλίο αυτό και την Katie Ostler και την ομάδα της στο Cenveo, για την θαυμάσια εργασία παραγωγής αυτής της έκδοσης. Τέλος, ευχαριστούμε ιδιαίτερα τους δύο εκδότες μας στον οίκο Addison-Wesley – Michael Hirsch και Susan Hartman. Το βιβλίο αυτό δεν θα ήταν αυτό που είναι (και ίσως να μην είχε εκδοθεί καθόλου), χωρίς την διαχείριση, την συνεχή τους ενθάρρυνση, σχεδόν άπειρη υπομονή και εμμονή.





# Πίνακας Περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1</b>	<b>Δίκτυα Υπολογιστών και το Διαδίκτυο</b>	<b>1</b>
1.1	Τι Είναι το Διαδίκτυο;	2
1.1.1	Βασική Περιγραφή	2
1.1.2	Περιγραφή με Βάση Παρεχόμενες Υπηρεσίες	5
1.1.3	Τι Είναι ένα Πρωτόκολλο;	7
1.2	Τα Άκρα των Δικτύων	9
1.2.1	Δίκτυα Προσπέλασης	12
1.2.2	Φυσικά Μέσα	18
1.3	Ο Πυρήνας του Δικτύου	21
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 Πακέτου	35
1.4.1	Επισκόπηση της Καθυστέρησης σε Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτου	35
1.4.2	Καθυστέρηση Ουράς και Απώλεια Πακέτου	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 με Διαδοχικά Επίπεδα	47
1.5.2	Ενθυλάκωση	53
1.6	Δίκτυα υπό Επίθεση	55
1.7	Ιστορία Δικτύων Υπολογιστών και το Διαδίκτυο	59
1.7.1	Η Ανάπτυξη της Μεταγωγής Πακέτου: 1961-1972	59
1.7.2	Ιδιοταγή (Proprietary) Δίκτυα και Διαδικτύωση: 1972-1980	60
1.7.3	Εξάπλωση των Δικτύων: 1980-1990	62
1.7.4	Η Έκρηξη του Διαδικτύου: Η Δεκαετία του 1990	63
1.7.5	Η Νέα Χιλιετία	64
1.8	Περίληψη	65
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	67
	Εργαστήριο Wireshark	77
	Συνέντευξη: Leonard Kleinrock	79
<b>Κεφάλαιο 2</b>	<b>Επίπεδο Εφαρμογής</b>	<b>83</b>
2.1	Αρχές Δικτυακών Εφαρμογών	84
2.1.1	Αρχιτεκτονικές Δικτυακών Εφαρμογών	86
2.1.2	Επικοινωνία Διεργασιών	88
2.1.3	Υπηρεσίες Μεταφοράς Διαθέσιμες σε Εφαρμογές	90

2.1.4	Υπηρεσίες Μεταφοράς που Παρέχονται από το Διαδίκτυο	93
2.1.5	Πρωτόκολλα Επιπέδου Εφαρμογής	96
2.1.6	Δικτυακές Εφαρμογές που Καλύπτονται σε Αυτό το Βιβλίο	97
2.2	Το Web και το HTTP	98
2.2.1	Επισκόπηση του HTTP	98
2.2.2	Μη Παραμένουσες και Παραμένουσες Συνδέσεις	100
2.2.3	Μορφοποίηση Μηνύματος HTTP	103
2.2.4	Αλληλεπίδραση Χρήστη-Εξυπηρετή: Cookies	108
2.2.5	Web Caching	110
2.3	Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο στο Διαδίκτυο	116
2.3.1	SMTP	118
2.3.2	Σύγκριση με το HTTP	121
2.3.3	Μορφές Μηνυμάτων Ταχυδρομείου	121
2.3.4	Πρωτόκολλα Προσπέλασης Ταχυδρομείου	122
2.4	DNS – Η Υπηρεσία Καταλόγου Διαδικτύου	126
2.4.1	Υπηρεσίες που Παρέχονται από το DNS	127
2.4.2	Επισκόπηση του Τρόπου Λειτουργίας του DNS	129
2.4.3	Εγγραφές και Μηνύματα του DNS	135
2.5	Διανομή Αρχείων Μεταξύ Ομοτίμων	140
2.6	Βίντεο Συνεχούς Ροής και Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου	147
2.6.1	Βίντεο Διαδικτύου	147
2.6.2	HTTP Συνεχούς Ροής και DASH	148
2.6.3	Δίκτυα Διανομής Περιεχομένου	149
2.6.4	Μελέτες Περιπτώσεων: Netflix, YouTube και Kankan	153
2.7	Προγραμματισμός Socket: Δημιουργώντας Δικτυακές Εφαρμογές	157
2.7.1	Προγραμματισμός Socket με UDP	159
2.7.2	Προγραμματισμός Socket με TCP	164
2.8	Περήληψη	170
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	171
	Ασκήσεις Προγραμματισμού Socket	180
	Εργαστήρια Wireshark: HTTP, DNS	182
	Συνέντευξη: Mark Andreessen	184

<b>Κεφάλαιο 3</b>	<b>Επίπεδο Μεταφοράς</b>	<b>187</b>
3.1	Εισαγωγή και Υπηρεσίες Επιπέδου Μεταφοράς	188
3.1.1	Σχέση Ανάμεσα στα Επίπεδα Μεταφοράς και Δικτύου	188
3.1.2	Επισκόπηση του Επιπέδου Μεταφοράς στο Διαδίκτυο	191
3.2	Πολύπλεξη και Αποπολύπλεξη	193
3.3	Ασυνδεσμική Μεταφορά: UDP	200
3.3.1	Δομή Τμήματος UDP	204
3.3.2	Άθροισμα Ελέγχου UDP	204
3.4	Αρχές Αξιόπιστης Μεταφοράς Δεδομένων	206
3.4.1	Δημιουργία ενός Πρωτοκόλλου Αξιόπιστης Μεταφοράς Δεδομένων	208

3.4.2	Πρωτόκολλα για Αξιόπιστη Μεταφορά Δεδομένων με Διοχέτευση	217
3.4.3	Go-Back-N (GBN)	221
3.4.4	Επιλεκτική Επανάληψη (SR)	226
3.5	Συνδεδεσμένη Μεταφορά: TCP	233
3.5.1	Η Σύνδεση TCP	233
3.5.2	Δομή Τμήματος TCP	236
3.5.3	Εκτίμηση και Λήξη Χρόνου Διαδρομής Μετ' Επιστροφής	241
3.5.4	Αξιόπιστη Μεταφορά Δεδομένων	244
3.5.5	Έλεγχος Ροής	252
3.5.6	Διαχείριση Σύνδεσης TCP	255
3.6	Αρχές Ελέγχου Συμφόρησης	261
3.6.1	Οι Αιτίες και το Κόστος της Συμφόρησης	261
3.6.2	Προσεγγίσεις στον Έλεγχο Συμφόρησης	268
3.7	Έλεγχος Συμφόρησης TCP	269
3.7.1	Δικαιοσύνη	279
3.7.2	Εμφανής Ειδοποίηση Συμφόρησης (ECN): Έλεγχος Συμφόρησης Υποβοηθούμενος από το Δίκτυο	282
3.8	Ανασκόπηση	284
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	286
	Ασκήσεις Προγραμματισμού	301
	Εργαστήριο Wireshark: Εξερευνώντας το TCP και το UDP	302
	Συνέντευξη: Van Jacobson	303

<b>Κεφάλαιο 4</b>	<b>Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Δεδομένων</b>	<b>305</b>
4.1	Επισκόπηση του Επιπέδου Δικτύου	306
4.1.1	Προώθηση και Δρομολόγηση: Τα Επίπεδα Δεδομένων και Ελέγχου	306
4.1.2	Μοντέλο Υπηρεσίας Δικτύου	311
4.2	Τι βρίσκεται Μέσα σε έναν Δρομολογητή;	313
4.2.1	Επεξεργασία Θύρας Εισόδου και Βασιζόμενη στον Προορισμό Προώθηση	316
4.2.2	Μεταγωγή	319
4.2.3	Επεξεργασία Θύρας Εξόδου	321
4.2.4	Πού Δημιουργείται Ουρά Αναμονής;	321
4.2.5	Χρονοπρογραμματισμός Πακέτου	325
4.3	Το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP): IPv4, Διευθυνσιοδότηση, IPv6 και Πολλά Άλλα	329
4.3.1	Μορφή Δεδομενογράμματος IPv4	330
4.3.2	Κατάτμηση Δεδομενογράμματος IPv4	332
4.3.3	Διευθυνσιοδότηση IPv4	334
4.3.4	Μεταφραστές Διευθύνσεων Δικτύου (NAT)	345
4.3.5	IPv6	348
4.4	Γενικευμένη Προώθηση και SDN	354
4.4.1	Ταίριασμα	356
4.4.2	Ενέργεια	358

4.4.3	Παραδείγματα του Ταιριάσματος και Ενέργειας του OpenFlow σε Δράση	358
4.5	Ανασκόπηση	361
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	361
	Εργαστήριο Wireshark	370
	Συνέντευξη: Vinton G. Cerf	371
<b>Κεφάλαιο 5</b>	<b>Επίπεδο Δικτύου: Επίπεδο Ελέγχου</b>	<b>373</b>
5.1	Εισαγωγή	374
5.2	Αλγόριθμοι Δρομολόγησης	376
5.2.1	Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Κατάστασης Ζεύξης	379
5.2.2	Ο Αλγόριθμος Δρομολόγησης Διανύσματος Απόστασης (DV)	384
5.3	Δρομολόγηση Ενδο-αυτόνομου Συστήματος στο Διαδίκτυο: OSFP	391
5.4	Δρομολόγηση Ανάμεσα σε ISP: BGP	395
5.4.1	Ο Ρόλος του BGP	395
5.4.2	Δημοσιοποίηση Πληροφοριών Διαδρομής BGP	396
5.4.3	Καθορισμός των Βέλτιστων Διαδρομών	398
5.4.4	IP Anycast	402
5.4.5	Πολιτική Δρομολόγησης	403
5.4.6	Βάλτε τα Όλα Μαζί: Επίτευξη Παρουσίας στο Διαδίκτυο	406
5.5	Το SDN Επίπεδο Ελέγχου	407
5.5.1	Το SDN Επίπεδο Ελέγχου: Ελεγκτής SDN και Εφαρμογές SDN Ελέγχου Δικτύου	410
5.5.2	Πρωτόκολλο OpenFlow	412
5.5.3	Αλληλεπίδραση Επιπέδων Δεδομένων και Ελέγχου: Ένα Παράδειγμα	414
5.5.4	SDN: Το Παρελθόν και το Μέλλον	415
5.6	ICMP: Το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μηνυμάτων Διαδικτύου	419
5.7	Διαχείριση Δικτύου και SNMP	421
5.7.1	Το Πλαίσιο Εργασία Διαχείρισης Δικτύου	422
5.7.2	Το Απλό Πρωτόκολλο Διαχείρισης Δικτύου (SNMP)	424
5.8	Ανασκόπηση	426
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	427
	Άσκηση Προγραμματισμού Socket	433
	Άσκηση Προγραμματισμού	434
	Εργαστήριο Wireshark	435
	Συνέντευξη: Jennifer Rexford	436
<b>Κεφάλαιο 6</b>	<b>Το Επίπεδο Ζεύξης και Δίκτυα Τοπικής Περιοχής</b>	<b>439</b>
6.1	Εισαγωγή στο Επίπεδο Ζεύξης	440
6.1.1	Οι Υπηρεσίες που Παρέχονται από το Επίπεδο Ζεύξης	442
6.1.2	Πού Υλοποιείται το Επίπεδο Ζεύξης;	443

6.2	Τεχνικές Ανίχνευσης και Διόρθωσης Σφαλμάτων	444
6.2.1	Έλεγχοι Ισοτιμίας	446
6.2.2	Μέθοδοι Αθροίσματος Ελέγχου	448
6.2.3	Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού (CRC)8	449
6.3	Πρωτόκολλα και Ζεύξεις Πολλαπλής Προσπέλασης	451
6.3.1	Πρωτόκολλα Διαμέρισης Καναλιού	453
6.3.2	Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπέλασης	455
6.3.3	Πρωτόκολλα Λειτουργίας Εκ Περιτροπής	464
6.3.4	DOCSIS: Το Πρωτόκολλο Επιπέδου Ζεύξης για Καλωδιακή Προσπέλαση του Διαδικτύου	465
6.4	Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (LAN) Μεταγωγής	467
6.4.1	Διευθυνσιοδότηση Επιπέδου Ζεύξης και ARP	468
6.4.2	Ethernet	474
6.4.3.	Μεταγωγείς Επιπέδου Ζεύξης	481
6.4.4	Εικονικά Δίκτυα Τοπικής Περιοχής (VLAN)	487
6.5	Εικονικές Ζεύξεις: Ένα Δίκτυο ως Επίπεδο Ζεύξης	491
6.5.1	Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων (MPLS)	492
6.6	Δικτύωση Κέντρων Δεδομένων	495
6.7	Ανασκόπηση: Μία Ημέρα στην Ζωή μίας Αίτησης για Ιστοσελίδα	500
6.7.1	Έναρξη: DHCP, UDP, IP και Ethernet	500
6.7.2	Συνεχίζοντας την Έναρξη: DNS και ARP	502
6.7.3	Ακόμη στην Έναρξη: Ενδο-τομεακή Δρομολόγηση προς τον Εξυπηρετή DNS	503
6.7.4	Αλληλεπίδραση Πελάτη-Εξυπηρετή Web: TCP και HTTP	504
6.8	Ανασκόπηση	506
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	507
	Εργαστήριο Wireshark	515
	Συνέντευξη: Simon S. Lam	516

**Κεφάλαιο 7    Ασύρματα Δίκτυα και Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών    519**

7.1	Εισαγωγή	520
7.2	Ασύρματες Ζεύξεις και Χαρακτηριστικά Δικτύου	525
7.2.1	CDMA	528
7.3	WiFi: Ασύρματα Δίκτυα Τοπικής Περιοχής 802.11	532
7.3.1	Η Αρχιτεκτονική 802.11	533
7.3.2	Το Πρωτόκολλο MAC 802.11	537
7.3.3	Το Πλαίσιο IEEE 802.11	542
7.3.4	Κινητικότητα μέσα στο Ίδιο Υποδίκτυο IP	546
7.3.5	Προχωρημένα Χαρακτηριστικά του 802.11	547
7.3.6	Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής: Bluetooth και Zigbee	548
7.4	Προσπέλαση στο Διαδίκτυο μέσω Κυψελωτών Δικτύων	551
7.4.1	Μία Επισκόπηση της Αρχιτεκτονικής Κυψελωτών Δικτύων	551
7.4.2	Κυψελωτά Δίκτυα Δεδομένων 3G: Επέκταση του Διαδικτύου σε Κινητούς Συνδρομητές	554
7.4.3	Προχωρώντας στο 4G: LTE	557

7.5	Διαχείριση Κινητικότητας: Αρχές	560
7.5.1	Διευθυνσιοδότηση	562
7.5.2	Δρομολόγηση προς έναν Κινητό Κόμβο	564
7.6	Mobile IP	570
7.7	Διαχείριση Κινητικότητας σε Κυψελωτά Δίκτυα	574
7.7.1	Δρομολόγηση Κλήσεων προς έναν Κινητό Χρήστη	576
7.7.2	Μεταπομπές στο GSM	577
7.8	Ασύρματες Επικοινωνίες και Κινητικότητα: Επίπτωση σε Πρωτόκολλα Υψηλότερων Επιπέδων	580
7.9	Ανασκόπηση	582
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	583
	Εργαστήρια Wireshark	588
	Συνέντευξη: Deborah Estrin	589

<b>Κεφάλαιο 8</b>	<b>Ασφάλεια σε Δίκτυα Υπολογιστών</b>	<b>593</b>
8.1	Τι Σημαίνει Ασφάλεια Δικτύων;	594
8.2	Αρχές Κρυπτογραφίας	596
8.2.1	Κρυπτογραφία Συμμετρικού Κλειδιού	598
8.2.2	Κρυπτογράφηση Δημόσιου Κλειδιού	604
8.3	Ακεραιότητα Μηνύματος και Ψηφιακές Υπογραφές	610
8.3.1	Κρυπτογραφικές Συναρτήσεις Κατακερματισμού	611
8.3.2	Κώδικας Αυθεντικοποίησης Μηνύματος	613
8.3.3	Ψηφιακές Υπογραφές	614
8.4	Αυθεντικοποίηση Τερματικού Σημείου	621
8.4.1	Πρωτόκολλο Αυθεντικοποίησης <i>ap1.0</i>	622
8.4.2	Πρωτόκολλο Αυθεντικοποίησης <i>ap2.0</i>	622
8.4.3	Πρωτόκολλο Αυθεντικοποίησης <i>ap3.0</i>	623
8.4.4	Πρωτόκολλο Αυθεντικοποίησης <i>ap3.1</i>	623
8.4.5	Πρωτόκολλο Αυθεντικοποίησης <i>ap4.0</i>	624
8.5	Ασφαλίζοντας το E-Mail	626
8.5.1	Ασφαλές E-mail	627
8.5.2	PGP	630
8.6	Διασφάλιση Συνδέσεων TCP: SSL	631
8.6.1	Η Μεγάλη Εικόνα	632
8.6.2	Μία Πληρέστερη Εικόνα	635
8.7	Ασφάλεια Επιπέδου Δικτύου: IPsec και Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα	637
8.7.1	IPsec και Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα	638
8.7.2	Τα Πρωτόκολλα AH και ESP	640
8.7.3	Συσχετίσεις Ασφάλειας	640
8.7.4	Το Δεδομένογράμμα IPsec	641
8.7.5	IKE: Διαχείριση Κλειδιών στο IPsec	645
8.8	Διασφάλιση Ασύρματων LAN	646
8.8.1	Wired Equivalent Privacy (WEP)	646
8.8.2	IEEE 802.11i	648

8.9	Λειτουργική Ασφάλεια: Firewalls και Συστήματα Ανίχνευσης Παρέισφρησης	651
8.9.1	Firewalls	651
8.9.2	Συστήματα Ανίχνευσης Παρέισφρησης	659
8.10	Ανασκόπηση	662
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	664
	Εργαστήριο Wireshark	672
	Εργαστήριο Ipsec	672
	Συνέντευξη: Steven M. Bellovin	673

<b>Κεφάλαιο 9</b>	<b>Δικτύωση Πολυμέσων</b>	<b>675</b>
9.1	Δικτυακές Εφαρμογές Πολυμέσων	676
9.1.1	Ιδιότητες του Βίντεο	676
9.1.2	Ιδιότητες του Ήχου	677
9.1.3	Τύποι Πολυμεσικών Δικτυακών Εφαρμογών	679
9.2	Αποθηκευμένο Βίντεο Συνεχούς Ροής	681
9.2.1	UDP Συνεχούς Ροής	683
9.2.2	HTTP Συνεχούς Ροής	684
9.3	Φωνή-επάνω-από-IP	688
9.3.1	Περιορισμοί της Υπηρεσίας Βέλτιστης Προσπάθειας IP	688
9.3.2	Εξάλειψη της Διακύμανσης Καθυστερήσης στον Παραλήπτη για Ήχο	691
9.3.3	Ανάκαμψη από την Απώλεια Πακέτων	694
9.3.4	Μελέτη Περίπτωσης: VoIP με Skype	697
9.4	Πρωτόκολλα για Εφαρμογές Συνομιλίας σε Πραγματικό Χρόνο	700
9.4.1	RTP	700
9.4.2	SIP	703
9.5	Υποστήριξη Δικτύου για Πολυμέσα	709
9.5.1	Διαστασιολόγηση Δικτύων Βέλτιστης Προσπάθειας	711
9.5.2	Παροχή Πολλαπλών Κλάσεων Υπηρεσίας	712
9.5.3	Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (Diffserv)	719
9.5.4	Παροχή Εγγυήσεων Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) ανά Σύνδεση: Δέσμευση Πόρων και Αποδοχή Κλήσης	723
9.6	Ανασκόπηση	726
	Προβλήματα και Ερωτήσεις για το Σπίτι	727
	Άσκηση Προγραμματισμού	735
	Συνέντευξη: Henning Schulzrinne	736
	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>741</b>
	<b>Ευρετήριο</b>	<b>783</b>