

# Λειτουργικά Συστήματα

10<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ

Abraham Silberschatz  
Πανεπιστήμιο Yale

Peter Baer Galvin  
Cambridge Computer και  
Starfish Storage

Greg Gagne  
Κολέγιο Westminster

Απόδοση: **Γιάννης Β. Σαμαράς**  
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.  
M.Sc. Computer Science

Επιστημονική επιμέλεια:  
**Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης**  
Καθηγητής Τμήματος  
Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών  
Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

 Εκδόσεις: **Μ. Γκιούρδας**

Ζωοδόχου Πηγής 70-74 - Τηλ.: 210 3630219  
106 81 Αθήνα, 2021  
[www.mgiurdas.gr](http://www.mgiurdas.gr)

**Τίτλος Πρωτοτύπου:**

Operating System Concepts

ISBN: 978-1-119-32091-3

Copyright © 2018, 2013, 2012, 2008 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.  
111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA

Αποκλειστικότητα για την Ελληνική Γλώσσα  
Copyright © 2021 Εκδόσεις: **Μόσχος Γκιούρδας**



Ζωοδόχου Πηγής 70-74

106 81 Αθήνα

Τηλ.: 210 3630219

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

**ISBN: 978-960-512-747-3**

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.

*Στα παιδιά μου Lemor, Sivan και Aaron  
και στην Nicolette μου*

*Avi Silberschatz*

*Στη σύζυγό μου, Carla  
και στα παιδιά μου, Gwen, Owen και Maddie*

*Peter Baer Galvin*

*Στη σύζυγό μου, Pat  
και στους γιούς μου, Tom και Jay*

*Greg Gagne*

---

# Πρόλογος

Τα λειτουργικά συστήματα αποτελούν ένα βασικό κομμάτι οποιουδήποτε υπολογιστικού συστήματος. Παρόμοια, ένα μάθημα λειτουργικών συστημάτων αποτελεί βασικό τμήμα οποιασδήποτε εκπαίδευσης στην επιστήμη των υπολογιστών. Το πεδίο αυτό υφίσταται ραγδαίες αλλαγές, καθώς οι υπολογιστές είναι σήμερα διαδεδομένοι σε κάθε κομμάτι της καθημερινής μας ζωής – απ’ τις συσκευές που είναι ενσωματωμένες σε αυτοκίνητα, ως τα πιο εξεζητημένα εργαλεία σχεδιασμού για κρατικές και πολυεθνικές επιχειρήσεις. Παρόλα αυτά, οι θεμελιώδεις έννοιες παραμένουν αρκετά σαφείς, και πάνω σε αυτές στηρίζουμε αυτό το βιβλίο.

Γράψαμε αυτό το βιβλίο ως ένα κείμενο για ένα εισαγωγικό μάθημα στα λειτουργικά συστήματα, που απευθύνεται στο κατώτερο ή ανώτερο προπτυχιακό επίπεδο ή στο επίπεδο του πρώτου μεταπτυχιακού έτους. Ελπίζουμε ότι θα το βρουν χρήσιμο και οι επαγγελματίες. Παρέχει μία σαφή περιγραφή των εννοιών που αποτελούν τη βάση των λειτουργικών συστημάτων. Ως προαπαιτούμενα, υποθέτουμε ότι ο χρήστης είναι εξοικειωμένος σε βασικές δομές δεδομένων, με την οργάνωση του υπολογιστή και με μία γλώσσα υψηλού επιπέδου, όπως η C ή η Java. Τα θέματα υλικού που απαιτούνται για την κατανόηση των λειτουργικών συστημάτων συμπεριλαμβάνονται στο Κεφάλαιο 1. Στο ίδιο κεφάλαιο περιλαμβάνουμε επίσης μία επισκόπηση των θεμελιωδών δομών δεδομένων, που είναι διαδεδομένες στα περισσότερα λειτουργικά συστήματα. Για τα παραδείγματα κώδικα, χρησιμοποιούμε κατά κύριο λόγο C, με αρκετή Java, αλλά ο αναγνώστης μπορεί να καταλάβει τους αλγόριθμους και χωρίς διεξοδική γνώση των γλωσσών αυτών.

Οι έννοιες παρουσιάζονται με τη χρήση εύληπτων περιγραφών. Τα σημαντικά θεωρητικά αποτελέσματα καλύπτονται, αλλά οι τυπικές αποδείξεις παραλείπονται. Οι βιβλιογραφικές σημειώσεις στο τέλος κάθε κεφαλαίου, περιέχουν δείκτες προς τις ερευνητικές εργασίες, στις οποίες πρωτοεμφανίστηκαν και αποδείχθηκαν τα αποτελέσματα, καθώς επίσης και αναφορές σε υλικό για περαιτέρω μελέτη. Αντί των αποδείξεων, χρησιμοποιούνται εικόνες και παραδείγματα, τα οποία υποδεικνύουν γιατί θα πρέπει να αναμένουμε το εν λόγω αποτέλεσμα να είναι αληθές.

Οι θεμελιώδεις έννοιες και οι αλγόριθμοι που καλύπτονται στο βιβλίο, συχνά βασίζονται στις έννοιες και στους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται τόσο σε υπάρχοντα εμπορικά λειτουργικά συστήματα, όσο και σε λειτουργικά συστήματα ανοιχτού πηγαίου κώδικα. Ο στόχος μας είναι να παρουσιάσουμε αυτές τις έννοιες και τους αλγόριθμους σε ένα γενικό περιβάλλον το οποίο δεν συνδέεται με ένα συγκεκριμένο λειτουργικό σύστημα. Ωστόσο, παρουσιάζουμε μεγάλο αριθμό παραδειγμάτων που αναφέρονται στα πιο δημοφιλή και πιο καινοτόμα λειτουργικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των Linux, Microsoft Windows, Apple macOS (το αρχικό όνομα, OS X, άλλαξε το 2016, ώστε να ακολουθεί τη σύμβαση ονοματοδοσίας άλλων προϊόντων της Apple) και Solaris. Επίσης περιλαμβάνουμε παραδείγματα απ’ τα Android και iOS, που είναι σήμερα τα κυρίαρχα λειτουργικά συστήματα για κινητές συσκευές.

Η οργάνωση αυτού του βιβλίου αντανακλά την πολυετή πείρα μας στη διδασκαλία μαθημάτων λειτουργικών συστημάτων. Προσοχή δόθηκε επίσης στα σχόλια των κριτικών αυτού

του βιβλίου καθώς και στα σχόλια που υποβλήθηκαν από τους αναγνώστες των προηγούμενων εκδόσεων και απ' τους σημερινούς και τους παλιότερους φοιτητές μας. Αυτή η Δέκατη Έκδοση ακολουθεί επίσης τις περισσότερες από τις οδηγίες που έχουν εκδοθεί για τον τομέα των λειτουργικών συστημάτων στο *Computer Science Curricula 2013*, το οποίο περιλαμβάνει τις πλέον πρόσφατες οδηγίες για προπτυχιακά προγράμματα σπουδών στην επιστήμη των υπολογιστών, που έχουν εκδοθεί από τις IEEE Computing Society και Association for Computing Machinery (ACM).

## Υλικό του Βιβλίου

Το βιβλίο αποτελείται από 21 κεφάλαια και 4 παραρτήματα. Κάθε κεφάλαιο και κάθε παράρτημα περιέχει το κείμενο, καθώς και ένα σύνολο πρακτικών ασκήσεων.

Τα κεφάλαια περιλαμβάνονται στην έντυπη έκδοση του βιβλίου. Τα παραρτήματα (στην Αγγλική) μπορείτε να τα βρείτε στον διαδικτυακό τόπο του Εκδοτικού μας Οίκου ([www.mgiurdas.gr](http://www.mgiurdas.gr)).

## Περιεχόμενο Αυτού του Βιβλίου

Το βιβλίο είναι οργανωμένο σε δέκα κύρια μέρη:

- **Επισκόπηση.** Τα Κεφάλαια 1 και 2 εξηγούν τι είναι τα λειτουργικά συστήματα, τι κάνουν και πώς σχεδιάζονται και κατασκευάζονται. Περιγράφουν ποια είναι τα συνηθισμένα χαρακτηριστικά ενός λειτουργικού συστήματος και τι κάνει ένα λειτουργικό σύστημα για τον χρήστη. Καλύπτουμε τα παραδοσιακά λειτουργικά συστήματα για προσωπικούς υπολογιστές και εξυπηρετητές, καθώς και λειτουργικά συστήματα για κινητές συσκευές. Η φύση της παρουσίας είναι παρακινητική και επεξηγηματική. Στα κεφάλαια αυτά έχουμε αποφύγει την περιγραφή του πώς λειτουργούν τα πράγματα εσωτερικά. Συνεπώς, είναι κατάλληλα για μεμονωμένους αναγνώστες ή για σπουδαστές τάξεων χαμηλότερου επιπέδου, οι οποίοι επιθυμούν να μάθουν τι είναι το λειτουργικό σύστημα χωρίς να εμπλακούν στις λεπτομέρειες των εσωτερικών αλγορίθμων.
- **Διαχείριση διεργασιών.** Τα Κεφάλαια 3 έως 5 περιγράφουν την έννοια της διεργασίας και την συνδρομική εκτέλεση (concurrency) ως την καρδιά των σύγχρονων λειτουργικών συστημάτων. Μία **διεργασία** είναι η μονάδα εργασίας σε ένα σύστημα. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από μία συλλογή **συνδρομικά** εκτελούμενων διεργασιών, μερικές από τις οποίες εκτελούν κώδικα του λειτουργικού συστήματος και άλλες που εκτελούν κώδικα χρήστη. Τα κεφάλαια αυτά καλύπτουν μεθόδους για το χρονοπρογραμματισμό των διεργασιών και για τη διαδιεργασιακή επικοινωνία. Επίσης, σ' αυτήν την συζήτηση συμπεριλαμβάνεται μία λεπτομερής περιγραφή για τα νήματα, καθώς και μια εξέταση των θεμάτων που σχετίζονται με τα πολυπύρηνα συστήματα και τον παράλληλο προγραμματισμό.
- **Συγχρονισμός διεργασιών.** Τα Κεφάλαια 6 έως 8 καλύπτουν μεθόδους για συγχρονισμό διεργασιών και για χειρισμό αδιεξόδων. Επειδή έχουμε αυξήσει την κάλυψη του συγχρονισμού διεργασιών, έχουμε διαιρέσει το πρώην Κεφάλαιο 5 (Συγχρονισμός Διεργασιών) σε δύο ξεχωριστά κεφάλαια: Κεφάλαιο 6, Εργαλεία Συγχρονισμού και Κεφάλαιο 7, Παραδείγματα Συγχρονισμού.
- **Διαχείριση μνήμης.** Τα Κεφάλαια 9 και 10 ασχολούνται με τη διαχείριση της κύριας μνήμης κατά την εκτέλεση μίας διεργασίας. Για να βελτιωθεί τόσο η χρήση της ΚΜΕ όσο και η ταχύτητα απόκρισής του προς τους χρήστες του, ο υπολογιστής πρέπει να κρατά αρκετές διεργασίες στη μνήμη. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά σχήματα διαχείρισης μνήμης, που αντικατοπτρίζουν διάφορες προσεγγίσεις στη διαχείριση της μνήμης και η αποτελεσματικότητα ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου εξαρτάται απ' την εκάστοτε περίπτωση.

- **Διαχείριση χώρου αποθήκευσης.** Τα Κεφάλαια 11 και 12 περιγράφουν το πώς γίνεται ο χειρισμός του μαζικού χώρου αποθήκευσης και των λειτουργιών E/E σε ένα σύγχρονο λειτουργικό σύστημα. Οι συσκευές E/E που συνδέονται σε έναν υπολογιστή ποικίλουν ευρέως και το λειτουργικό σύστημα χρειάζεται να παρέχει ένα ευρύ φάσμα λειτουργικότητας στις εφαρμογές, για να τους επιτρέψει να ελέγχουν όλες τις πλευρές των συσκευών. Περιγράφουμε την E/E του συστήματος σε βάθος, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού του συστήματος E/E, των διεπαφών και των εσωτερικών δομών και λειτουργιών του συστήματος. Από πολλές απόψεις, οι συσκευές E/E είναι, επίσης, τα πιο αργά κύρια συστατικά μέρη του υπολογιστή. Επειδή αποτελούν σημείο συμφόρησης για την απόδοση, εξετάζονται επίσης θέματα απόδοσης, που σχετίζονται με συσκευές E/E.
- **Συστήματα αρχείων.** Τα Κεφάλαια 13 έως 15 συζητούν πώς γίνεται ο χειρισμός των αρχείων συστήματος σ' ένα σύγχρονο υπολογιστικό σύστημα. Τα συστήματα αρχείων παρέχουν το μηχανισμό για την αποθήκευση και την προσπέλαση δεδομένων και προγραμμάτων που βρίσκονται στους δίσκους. Περιγράφουμε τους κλασικούς εσωτερικούς αλγορίθμους και τις δομές διαχείρισης του χώρου αποθήκευσης και παρέχουμε μία σταθερή πρακτική κατανόησης των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται τις ιδιότητες, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα.
- **Ασφάλεια και προστασία.** Τα Κεφάλαια 16 και 17 συζητούν τους μηχανισμούς, που είναι απαραίτητοι για την προστασία και την ασφάλεια των υπολογιστικών συστημάτων. Οι διεργασίες μέσα σε ένα λειτουργικό σύστημα πρέπει να προστατεύονται η μία από τις ενέργειες της άλλης. Για να παρέχουμε μια τέτοια προστασία, πρέπει να διασφαλίσουμε ότι μόνο διεργασίες που έχουν αποκτήσει κατάλληλη εξουσιοδότηση απ' το λειτουργικό σύστημα μπορούν να εκτελέσουν λειτουργίες πάνω στα αρχεία, στη μνήμη, στην ΚΜΕ και σε άλλους πόρους του συστήματος. Η προστασία είναι ένας μηχανισμός για τον έλεγχο της πρόσβασης των προγραμμάτων, των διεργασιών ή των χρηστών στους πόρους που ορίζονται από ένα υπολογιστικό σύστημα. Αυτός ο μηχανισμός πρέπει να παρέχει ένα μέσο για τον προσδιορισμό των ελέγχων που πρόκειται να επιβληθούν, καθώς επίσης και ένα μέσο για την επιβολή τους. Η ασφάλεια προστατεύει την ακεραιότητα της πληροφορίας που είναι αποθηκευμένη στο σύστημα (κώδικα και δεδομένα), καθώς επίσης και τους φυσικούς πόρους του υπολογιστικού συστήματος, από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, κακόβουλη καταστροφή ή μεταβολή και ακούσια εισαγωγή ασυνέπειας.
- **Προχωρημένα θέματα.** Τα Κεφάλαια 18 και 19 συζητούν τις εικονικές μηχανές και τα δίκτυα και τα κατανεμημένα συστήματα. Το Κεφάλαιο 18 παρέχει μια επισκόπηση των εικονικών μηχανών και των σχέσεών τους με τα μοντέρνα λειτουργικά συστήματα. Περιλαμβάνεται μια επισκόπηση των τεχνικών υλικού και λογισμικού, που κάνουν δυνατή την «εικονικοποίηση». Το Κεφάλαιο 19 παρέχει μία επισκόπηση των δικτύων υπολογιστών και των κατανεμημένων συστημάτων, εστιάζοντας στο Διαδίκτυο και στο TCP/IP.
- **Μελέτες περιπτώσεων.** Τα Κεφάλαια 20 και 21 του βιβλίου παρουσιάζουν λεπτομερώς δύο πραγματικά λειτουργικά συστήματα –Linux και Windows 10.
- **Παραρτήματα.** (Στον διαδικτυακό τόπο του Εκδοτικού μας Οίκου, στην αγγλική γλώσσα) Το Παράρτημα Α συζητά αρκετά παλιά σημαντικά λειτουργικά συστήματα, τα οποία δεν χρησιμοποιούνται πλέον. Τα Παραρτήματα Β έως D καλύπτουν με πολλές λεπτομέρειες τρία παλιότερα λειτουργικά συστήματα – Windows 7, BSD και Mach.

## Προγραμματιστικά Περιβάλλοντα

Το βιβλίο παρέχει διάφορα προγραμματιστικά παραδείγματα γραμμένα σε C και Java. Τα προγράμματα αυτά προορίζονται για εκτέλεση στα ακόλουθα προγραμματιστικά περιβάλλοντα:

- **POSIX.** Το POSIX (το οποίο αντιστοιχεί στα αρχικά των λέξεων *Portable Operating System Interface*) αντιπροσωπεύει ένα σύνολο προτύπων, υλοποιημένων κυρίως για λειτουργικά συστήματα που βασίζονται στο UNIX. Παρόλο που τα συστήματα Windows μπορούν επίσης να εκτελούν συγκεκριμένα προγράμματα POSIX, η κάλυψη που παρέχουμε για το POSIX εστιάζει κυρίως στα συστήματα UNIX και Linux. Τα συμβατά με το POSIX συστήματα πρέπει να υλοποιούν το πρότυπο του πυρήνα του POSIX (POSIX.1). Το Linux και το macOS αποτελούν παραδείγματα συστημάτων που είναι συμβατά με το POSIX. Το POSIX ορίζει επίσης αρκετές επεκτάσεις στα πρότυπα, που συμπεριλαμβάνουν επεκτάσεις πραγματικού χρόνου (POSIX.1b) και μία επέκταση για μία βιβλιοθήκη νημάτων (POSIX1.c, ευρύτερα γνωστό ως Pthreads). Παρέχουμε αρκετά προγραμματιστικά παραδείγματα γραμμένα σε C, που επιδεικνύουν το API του POSIX, καθώς επίσης και το Pthreads και τις επεκτάσεις για προγραμματισμό πραγματικού χρόνου. Αυτά τα προγράμματα των παραδειγμάτων δοκιμάστηκαν σε συστήματα Linux 4.4 και macOS 10.11 χρησιμοποιώντας το μεταγλωττιστή gcc.
- **Java.** Η Java είναι μία ευρέως χρησιμοποιούμενη γλώσσα προγραμματισμού, με ένα πλούσιο API και ενσωματωμένη υποστήριξη γλώσσας για συνδρομικό και παράλληλο προγραμματισμό. Τα προγράμματα Java εκτελούνται σε οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα που υποστηρίζει μία εικονική μηχανή Java (Java Virtual Machine ή JVM). Παρουσιάζουμε διάφορες έννοιες λειτουργικών συστημάτων και δικτύων με αρκετά προγράμματα Java, δοκιμασμένα με χρήση της έκδοσης Java 1.8 του Java Development Kit (JDK).
- **Συστήματα Windows.** Το βασικό προγραμματιστικό περιβάλλον για τα συστήματα Windows είναι το API (διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών – application programming interface) των Windows, το οποίο παρέχει ένα εκτεταμένο σύνολο συναρτήσεων για διαχείριση διεργασιών, νημάτων, μνήμης και περιφερειακών συσκευών. Παρέχουμε αρκετά προγράμματα σε C, που επιδεικνύουν τη χρήση αυτού του API. Τα προγράμματα των παραδειγμάτων δοκιμάστηκαν σ' ένα σύστημα με Windows 10.

Έχουμε επιλέξει αυτά τα τρία προγραμματιστικά περιβάλλοντα επειδή η άποψή μας είναι ότι αντιπροσωπεύουν με τον καλύτερο τρόπο τα δύο δημοφιλέστερα μοντέλα λειτουργικών συστημάτων: τα Windows και το UNIX/Linux, μαζί με το ευρέως χρησιμοποιούμενο περιβάλλον της Java. Τα περισσότερα προγραμματιστικά παραδείγματα είναι γραμμένα σε C, και αναμένουμε οι αναγνώστες να έχουν άνεση μ' αυτήν τη γλώσσα. Οι αναγνώστες που είναι εξοικειωμένοι τόσο με την γλώσσα C όσο και με την Java λογικά θα καταλάβουν εύκολα την πλειονότητα των προγραμμάτων που παρέχονται σε αυτό το βιβλίο.

Σε ορισμένες περιπτώσεις –όπως στη δημιουργία νημάτων– παρουσιάζουμε μία συγκεκριμένη έννοια χρησιμοποιώντας και τα τρία προγραμματιστικά περιβάλλοντα, επιτρέποντας στον αναγνώστη να εξετάσει σε αντιδιαστολή τις τρεις διαφορετικές βιβλιοθήκες ως προς τον τρόπο που αντιμετωπίζουν το ίδιο έργο. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιούμε μόνο ένα απ' τα APIs για να παρουσιάσουμε μία έννοια. Για παράδειγμα, παρουσιάζουμε την διαμοιραζόμενη μνήμη χρησιμοποιώντας μόνο το POSIX API. Ο προγραμματισμός των υποδοχών στο TCP/IP παρουσιάζεται με τη χρήση του API της Java.

## Η Εικονική Μηχανή του Linux

Για να βοηθήσουμε τους φοιτητές να κατανοήσουν καλύτερα το σύστημα Linux, παρέχουμε μαζί με το βιβλίο, μια εικονική μηχανή του Linux, που εκτελεί τη διανομή Ubuntu. Η εικονική μηχανή, που διατίθεται για κατέβασμα απ' τον διαδικτυακό τόπο αυτού του βιβλίου (<http://www.os-book.com>) περιλαμβάνει επίσης περιβάλλοντα ανάπτυξης, τα οποία περιλαμβάνουν τους μεταγλωττιστές gcc και Java. Οι περισσότερες από τις ασκήσεις προγραμματισμού αυτού του βιβλίου μπορούν να ολοκληρωθούν σε αυτήν την εικονική μηχανή, με την εξαίρεση των ασκήσεων που απαιτούν το Windows API. Η εικονική μηχανή μπορεί να εγκατασταθεί και να εκτελεστεί σε οποιοδήποτε λειτουργικό σύστημα σταθμού, το οποίο μπορεί να εκτελέσει το λογισμικό εικονικοποίησης VirtualBox, που μέχρι σήμερα περιλαμβάνει το Windows 10, το Linux και το macOS.

## Η Δέκατη Έκδοση

Κατά τη συγγραφή αυτής της δέκατης έκδοσης του βιβλίου *Λειτουργικά Συστήματα*, καθοδηγήθηκα από την πρόσφατη ανάπτυξη τεσσάρων θεμελιωδών πεδίων, που επηρεάζουν τα λειτουργικά συστήματα:

1. Λειτουργικά συστήματα για κινητές συσκευές
2. Πολυπύρνα συστήματα
3. Εικονικοποίηση
4. Μόνιμο δευτερεύοντα αποθηκευτικό χώρο

Για να δώσουμε έμφαση σε αυτά τα θέματα, έχουν ενσωματώσει σχετική κάλυψή τους σε όλη αυτή την νέα έκδοση του βιβλίου. Για παράδειγμα, έχουμε αυξήσει σημαντικά την κάλυψη των λειτουργικών συστημάτων Android και iOS για κινητές συσκευές, καθώς και την κάλυψη της αρχιτεκτονικής ARMv8, που είναι κυρίαρχη σε κινητές συσκευές. Έχουμε επίσης αυξήσει την κάλυψη των πολυπύρνων συστημάτων, περιλαμβάνοντας αυξημένη κάλυψη των API, που παρέχουν υποστήριξη για συνδρομικότητα και παραλληλισμό. Οι μόνιμες συσκευές αποθήκευσης, όπως οι SSD θεωρούνται ισοδύναμες των μονάδων σκληρών δίσκων, στα κεφάλαια που συζητούν την E/E, τον χώρο μαζικής αποθήκευσης και τα συστήματα αρχείων.

Αρκετοί αναγνώστες μας έχουν υποστηρίξει ότι απαιτείται αύξηση της κάλυψης της Java και για αυτόν το λόγο παρέχουμε πρόσθετα παραδείγματα Java, σε όλη αυτήν την έκδοση.

Επιπρόσθετα, έχουμε ξαναγράψει υλικό σε σχεδόν κάθε κεφάλαιο, ενημερώνοντας παλιό υλικό και εξαλείφοντας υλικό που δεν έχει πλέον ενδιαφέρον ή είναι πεπαλαιωμένο. Έχουμε αναδιοργανώσει πολλά κεφάλαια και, σε ορισμένες περιπτώσεις, έχουμε μεταφέρει ενότητες από ένα κεφάλαιο σ' ένα άλλο. Έχουμε επίσης αναθεωρήσει σημαντικά τα σχήματα, δημιουργώντας αρκετές νέες εικόνες και τροποποιώντας πολλές υπάρχουσες εικόνες.

## Κύριες Αλλαγές

Οι ενημερώσεις της Δέκατης Έκδοσης περιλαμβάνουν πολύ περισσότερο υλικό απ' τις προηγούμενες ενημερώσεις, σε ό,τι αφορά στο περιεχόμενο και νέο υποστηρικτικό υλικό. Παρακάτω, παρέχουμε μία σύντομη αναφορά των κυριότερων αλλαγών σε κάθε κεφάλαιο:

- Το **Κεφάλαιο 1, Εισαγωγή**, περιλαμβάνει ενημερωμένη κάλυψη των πολυπύρνων συστημάτων, καθώς και μια νέα κάλυψη των συστημάτων NUMA και των συστάδων Hadoop. Παλιό υλικό έχει ενημερωθεί και έχουν προστεθεί νέα κίνητρα για τη μελέτη λειτουργικών συστημάτων.



- Το **Κεφάλαιο 2, Δομές Λειτουργικών Συστημάτων**, παρέχει μια σημαντικά αναθεωρημένη συζήτηση για τη σχεδίαση και την υλοποίηση λειτουργικών συστημάτων. Έχουμε ενημερώσει την μελέτη του Android και του iOS και έχουμε αναθεωρήσει την κάλυψη της διεργασίας εκκίνησης συστήματος εστιάζοντας σε συστήματα GRUB και Linux. Περιλαμβάνεται επίσης νέα κάλυψη του υποσυστήματος Windows για Linux. Έχουμε προσθέσει νέες ενότητες για συνδέτες και φορτωτές και συζητούμε γιατί οι εφαρμογές συνήθως αφορούν σε συγκεκριμένα λειτουργικά συστήματα. Τέλος, έχουμε προσθέσει μια συζήτηση για την εργαλειοθήκη εκσφαλμάτωσης BCC.
- Το **Κεφάλαιο 3, Διεργασίες**, απλοποιεί τη συζήτηση για το χρονοπρογραμματισμό, έτσι ώστε τώρα να περιλαμβάνει μόνο θέματα χρονοπρογραμματισμού της ΚΜΕ. Νέα κάλυψη περιγράφει τη διάταξη μνήμης ενός προγράμματος C, την ιεραρχία διεργασιών Android, το πέρασμα μηνυμάτων Mach και τις Android RPC. Έχουμε επίσης αντικαταστήσει την κάλυψη της παραδοσιακής διεργασίας `init` του UNIX/Linux με κάλυψη της `systemd`.
- Το **Κεφάλαιο 4, Νήματα και Συνδρομική Επεξεργασία**, (που προηγουμένως ονομαζόταν Νήματα) αυξάνει την κάλυψη της υποστήριξης για συνδρομικό και παράλληλο προγραμματισμό σε επίπεδο API και βιβλιοθήκης. Έχουμε αναθεωρήσει την ενότητα που αναφέρεται σε νήματα Java, έτσι ώστε τώρα να περιλαμβάνει τα Futures και έχουμε ενημερώσει την κάλυψη του Grand Central Dispatch της Apple, έτσι ώστε τώρα να περιλαμβάνει το Swift. Νέες ενότητες συζητούν τον παραλληλισμό διακλάδωσης και συνένωσης, χρησιμοποιώντας το πλαίσιο εργασίας διακλάδωσης και συνένωσης της Java, καθώς και τα δομικά στοιχεία νημάτων (Thread Building Blocks) της Intel.
- Το **Κεφάλαιο 5, Χρονοπρογραμματισμός ΚΜΕ** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 6), αναθεωρεί την κάλυψη του χρονοπρογραμματισμού με πολυεπίπεδες ουρές και του χρονοπρογραμματισμού πολυπύρηνης επεξεργασίας. Έχουμε ενσωματώσει θέματα χρονοπρογραμματισμού με γνώση NUMA, περιλαμβάνοντας και το πώς αυτός ο χρονοπρογραμματισμός επηρεάζει την εξισορρόπηση φορτίου. Επίσης συζητούμε σχετικές τροποποιήσεις στον χρονοπρογραμματιστή Linux CFS. Η νέα κάλυψη συνδυάζει συζητήσεις χρονοπρογραμματισμού εκ περιτροπής και χρονοπρογραμματισμού με βάση την προτεραιότητα, ετερογενή πολυεπεξεργασία και χρονοπρογραμματισμό των Windows 10.
- Το **Κεφάλαιο 6, Εργαλεία Συγχρονισμού** (που προηγουμένως ήταν τμήμα του Κεφαλαίου 5, Συγχρονισμός Διεργασιών), εστιάζει σε διάφορα εργαλεία για συγχρονισμό διεργασιών. Υπάρχει νέα κάλυψη, που συζητά θέματα αρχιτεκτονικής, όπως αναδιάταξη εντολών και καθυστερημένες εγγραφές σε χώρους προσωρινής αποθήκευσης. Αυτό το κεφάλαιο εισάγει επίσης αλγόριθμους χωρίς κλειδώματα, χρησιμοποιώντας εντολές `compare-and-swap` (CAS). Δεν παρουσιάζονται συγκεκριμένες API. Αντ' αυτού το κεφάλαιο παρέχει μια εισαγωγή στις καταστάσεις συναγωνισμού και γενικά εργαλεία, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποτροπή των συναγωνισμών δεδομένων. Λεπτομέρειες περιλαμβάνουν νέα κάλυψη των μοντέλων μνήμης, των φραγμάτων μνήμης και θέματα ζωτικότητας.
- Το **Κεφάλαιο 7, Παραδείγματα Συγχρονισμού** (που προηγουμένως ήταν τμήμα του Κεφαλαίου 5, Συγχρονισμός Διεργασιών), εισάγει κλασικά προβλήματα συγχρονισμού και συζητά την υποστήριξη συγκεκριμένων API για σχεδίαση λύσεων, που επιλύουν αυτά τα προβλήματα. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει νέα κάλυψη για επώνυμους και ανώνυμους σηματοφόρους, καθώς και για μεταβλητές συνθήκης. Περιλαμβάνεται επίσης μία νέα ενότητα για το συγχρονισμό Java.
- Το **Κεφάλαιο 8, Αδιέξοδα** (που προηγουμένως ήταν τα Κεφάλαιο 7), περιέχει λίγες ενημερώσεις, που περιλαμβάνουν μια νέα ενότητα για το αδιέξοδο ζωντάνιας και μια συζήτηση των αδιεξόδων, ως ένα παράδειγμα κινδύνου ζωντάνιας. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει

νει νέα κάλυψη των εργαλείων Linux `lockdep` και BCC `deadlock_detector`, καθώς και κάλυψη της ανίχνευσης αδιεξόδων της Java, χρησιμοποιώντας εγγραφή αντιγράφων νημάτων στον δίσκο (`thread dumps`).

- Το **Κεφάλαιο 9, Κύρια Μνήμη** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 8), περιλαμβάνει αρκετές αναθεωρήσεις, που ενημερώνουν το κεφάλαιο για θέματα διαχείρισης μνήμης σε σύγχρονα υπολογιστικά συστήματα. Έχουμε προσθέσει νέα κάλυψη της αρχιτεκτονικής ARMv8 64-bit, έχουμε ενημερώσει την κάλυψη των βιβλιοθηκών δυναμικών συνδέσεων και έχουμε αλλάξει την κάλυψη της εναλλαγής, έτσι ώστε τώρα να εστιάζεται στην εναλλαγή σελίδων, αντί της εναλλαγής διεργασιών. Επίσης έχουμε αφαιρέσει την κάλυψη της κατάτμησης.
- Το **Κεφάλαιο 10, Εικονική Μνήμη** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 9), περιέχει αρκετές αναθεωρήσεις, που περιλαμβάνουν ενημερωμένη κάλυψη της ανάθεσης μνήμης σε συστήματα NUMA και καθολική ανάθεση, χρησιμοποιώντας μια λίστα ελεύθερων πλαισίων. Νέα κάλυψη περιλαμβάνει την συμπιεσμένη μνήμη, σοβαρά ή αμελητέα σφάλματα σελίδων και διαχείριση μνήμης στο Linux και στα Windows 10.
- Το **Κεφάλαιο 11, Δομή Μαζικού Χώρου Αποθήκευσης** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 10), προσθέτει κάλυψη για μόνιμες συσκευές μνήμης, όπως οι δίσκοι flash και οι δίσκοι σταθερής κατάστασης. Ο χρονοπρογραμματισμός σκληρών δίσκων απλοποιείται, για να δείξει μόνο αλγόριθμους, που χρησιμοποιούνται σήμερα. Επίσης περιλαμβάνεται μια νέα ενότητα για αποθήκευση νέφους, ενημερωμένη κάλυψη για RAID και μια νέα συζήτηση για αποθήκευση αντικειμένων.
- Το **Κεφάλαιο 12, Συστήματα E/E** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 13), ενημερώνει την κάλυψη για τις τεχνολογίες και τα στοιχεία απόδοσης, επεκτείνει την κάλυψη για την σύγχρονη/ασύγχρονη E/E και την E/E με αναμονή/χωρίς αναμονή και προσθέτει μια ενότητα για την διανυσματική E/E. Επίσης επεκτείνει την κάλυψη της διαχείρισης ισχύος για λειτουργικά συστήματα για κινητές συσκευές.
- Το **Κεφάλαιο 13, Διεπαφή Συστήματος Αρχείων** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 11), έχει ενημερωθεί με πληροφορίες για τις σύγχρονες τεχνολογίες. Συγκεκριμένα, έχει βελτιωθεί η κάλυψη για τις δομές καταλόγων και έχει ενημερωθεί η κάλυψη για την προστασία. Η ενότητα για χαρτογράφηση αρχείων στη μνήμη έχει επεκταθεί και έχει προστεθεί ένα παράδειγμα Windows API στην συζήτηση για διαμοιραζόμενη μνήμη. Τα θέματα του κεφαλαίου έχουν αναδιαταχθεί στα Κεφάλαια 13 και 14.
- Το **Κεφάλαιο 14, Υλοποίηση Συστήματος Αρχείων** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 12), έχει ενημερωθεί με κάλυψη για τις σύγχρονες τεχνολογίες. Το κεφάλαιο αυτό περιέχει τώρα συζητήσεις για το TRIM και το Apple File System. Επιπρόσθετα, η συζήτηση για την απόδοση έχει ενημερωθεί και η κάλυψη για τα συστήματα αρχείων ημερολογίου έχει επεκταθεί.
- Το **Κεφάλαιο 15, Εσωτερικά Θέματα Συστήματος Αρχείων**, είναι νέο και περιέχει ενημερωμένες πληροφορίες απ' τα Κεφάλαια 11 και 12 της προηγούμενης έκδοσης.
- Το **Κεφάλαιο 16, Ασφάλεια** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 15), προηγείται τώρα του κεφαλαίου περί προστασίας. Περιλαμβάνει αναθεωρημένους και ενημερωμένους όρους για τους σύγχρονους κινδύνους στην ασφάλεια και τις λύσεις, που περιλαμβάνουν το λυτρισμικό και τα εργαλεία απομακρυσμένης πρόσβασης. Δίνεται έμφαση στην αρχή των ελάχιστων προνομίων. Έχει αναθεωρηθεί η κάλυψη των αδυναμιών έγχυσης κώδικα και των επιθέσεων και τώρα περιλαμβάνει δείγματα κώδικα. Έχει ενημερωθεί η συζήτηση για τις τεχνολογίες κρυπτογράφησης, ώστε να εστιάζεται στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα. Έχει ενημερωθεί η κάλυψη της αυθεντικοποίησης (με

κωδικούς πρόσβασης κι άλλες μεθόδους) και έχει επεκταθεί με επιβλητικές υποδείξεις. Προσθήκες περιλαμβάνουν μια συζήτηση για την τυχαίοποίηση της διάταξης του χώρου διευθύνσεων και μια νέα περιληψη των αμυνών ασφάλειας. Το παράδειγμα για την ασφάλεια στα Windows 7 έχει ενημερωθεί στα Windows 10.

- Το **Κεφάλαιο 17, Προστασία** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 14), περιέχει σοβαρές αλλαγές. Η συζήτηση για τους δακτυλίους και τα επίπεδα προστασίας έχει ενημερωθεί και τώρα αναφέρεται στο μοντέλο Bell-LaPadula και εξερευνά το μοντέλο έμπιστων ζωνών (TrustZones) ARM και την Secure Monitor Calls. Η κάλυψη της αρχής της γνώσης μόνο των απαραίτητων έχει επεκταθεί, όπως επίσης έχει επεκταθεί η κάλυψη του υποχρεωτικού ελέγχου πρόσβασης. Έχουν προστεθεί υποενότητες για τις δυνατότητες του Linux, τα δικαιώματα Darwin, την προστασία ακεραιότητας ασφάλειας, το φιλτράρισμα κλήσεων συστήματος, το sandboxing και την υπογραφή κώδικα. Έχει επίσης προστεθεί κάλυψη της βασιζόμενης σε χρόνο εκτέλεσης επιβολής της Java, η οποία περιλαμβάνει την τεχνική επιθεώρησης στοίβας.
- Το **Κεφάλαιο 18, Εικονικές Μηχανές** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 16), περιλαμβάνει πρόσθετες λεπτομέρειες για τεχνολογίες που βοηθούνται από το υλικό. Επίσης επεκτείνεται το θέμα του περιορισμού εφαρμογής, που τώρα περιλαμβάνει υποδοχείς, ζώνες, docker και Kubernetes. Μία νέα ενότητα συζητά την εξελισσόμενη έρευνα για την εικονικοποίηση, που περιλαμβάνει unikernels, λειτουργικά συστήματα βιβλιοθήκης, hypervisors διαμέρισης και hypervisors διαχωρισμού.
- Το **Κεφάλαιο 19, Δίκτυα και Κατανεμημένα Συστήματα** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 17), έχει ενημερωθεί σημαντικά και τώρα συνδυάζει την κάλυψη των δικτύων υπολογιστών και των κατανεμημένων συστημάτων. Το υλικό έχει αναθεωρηθεί ούτως ώστε να ενημερωθεί για τα σύγχρονα δίκτυα υπολογιστών και τα σύγχρονα κατανεμημένα συστήματα. Δίνεται πρόσθετη έμφαση στο μοντέλο TCP/IP και έχει προστεθεί συζήτηση για τον χώρο αποθήκευσης νέφους. Η ενότητα για τοπολογίες δικτύου έχει αφαιρεθεί. Έχει επεκταθεί η κάλυψη του θέματος επίλυσης ονομάτων και έχει προστεθεί ένα παράδειγμα σε Java. Το κεφάλαιο περιλαμβάνει επίσης νέα κάλυψη για κατανεμημένα συστήματα αρχείων, που περιλαμβάνουν το MapReduce επί του συστήματος αρχείων Google, του Hadoop, του GPFS και του Lustre.
- Το **Κεφάλαιο 20, Το Σύστημα Linux** (που προηγουμένως ήταν το Κεφάλαιο 18), έχει ενημερωθεί για να καλύπτει τον πυρήνα του Linux 4.i.
- Το **Κεφάλαιο 21, Το Σύστημα Windows 10**, είναι ένα νέο κεφάλαιο, που καλύπτει τα εσώτερα των Windows 10.
- Το **Παράρτημα A, Influential Operating Systems**, έχει ενημερωθεί, ώστε να περιλαμβάνει υλικό από κεφάλαια, τα οποία δεν καλύπτονται πλέον μέσα στο βιβλίο.

## Διαδικτυακός Τόπος του Βιβλίου

Όταν επισκεφθείτε τον διαδικτυακό τόπο του βιβλίου, στην <http://www.os-book.com>, μπορείτε να κατεβάσετε τους παρακάτω πόρους:

- Την εικονική μηχανή του Linux
- Πηγαίο κώδικα C και Java
- Το πλήρες σύνολο των σχημάτων και των εικόνων.

- Μελέτες περιπτώσεων FreeBSD, Mach και Windows 7.
- Παροράματα
- Βιβλιογραφία

## Σημειώσεις για τους Καθηγητές

Στον διαδικτυακό τόπο του βιβλίου, παρέχουμε αρκετά δείγματα διδακτέας ύλης, που προτείνουν διάφορες προσεγγίσεις για τη χρήση του βιβλίου σε εισαγωγικά και σε προχωρημένα τμήματα σπουδών. Γενικά, ενθαρρύνουμε τους καθηγητές να προχωρούν σειριακά μέσα στα κεφάλαια, επειδή αυτή η στρατηγική προσφέρει την πληρέστερη μελέτη των λειτουργικών συστημάτων. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας τα δείγματα διδακτέας ύλης, ένας καθηγητής μπορεί να επιλέξει μία διαφορετική σειρά διδασκαλίας των κεφαλαίων (ή των ενοτήτων των κεφαλαίων).

Σε αυτήν την έκδοση έχουμε προσθέσει πολλές νέες ασκήσεις και πολλά νέα προβλήματα και έργα προγραμματισμού. Οι περισσότερες απ' τις νέες ασκήσεις προγραμματισμού περιλαμβάνουν διεργασίες, νήματα, χρονοπρογραμματισμό διεργασιών, συγχρονισμό διεργασιών και διαχείριση μνήμης. Ορισμένες περιλαμβάνουν την προσθήκη αρθρωμάτων πυρήνα στο σύστημα Linux, γεγονός που απαιτεί τη χρήση είτε της εικονικής μηχανής του Linux, που συνοδεύει αυτό το βιβλίο, είτε μιας άλλης κατάλληλης διανομής του Linux.

Λύσεις στις ασκήσεις και στις προβλήματα προγραμματισμού διατίθενται για τους καθηγητές, που έχουν εισάγει αυτό το βιβλίο στα μαθήματά τους περί λειτουργικών συστημάτων.

## Σημειώσεις για τους Φοιτητές

Σας ενθαρρύνουμε να εκμεταλλευθείτε τις πρακτικές ασκήσεις που βρίσκονται στο τέλος κάθε κεφαλαίου. Σας ενθαρρύνουμε επίσης να διαβάσετε τον οδηγό μελέτης, ο οποίος προετοιμάστηκε από έναν φοιτητή μας. Τέλος, για φοιτητές που δεν είναι εξοικειωμένοι με τα συστήματα UNIX και Linux, τους συνιστούμε να κατεβάσουν και να εγκαταστήσουν την εικονική μηχανή του Linux, που παρέχουμε στον διαδικτυακό τόπο του βιβλίου. Αυτό θα σας δώσει μια νέα εμπειρία εργασίας, αλλά επίσης η φύση ανοικτού κώδικα του Linux θα σας επιτρέψει να εξετάσετε εύκολα τις εσωτερικές λεπτομέρειες αυτού του δημοφιλούς λειτουργικού συστήματος. Σας ευχόμαστε καλή τύχη στην μελέτη των λειτουργικών συστημάτων.

## Πώς να Επικοινωνήσετε Με Μας

Έχουμε προσπαθήσει να εξαλείψουμε τα τυπογραφικά λάθη, τα σφάλματα και παρόμοια προβλήματα από το βιβλίο. Αλλά όμως, όπως συμβαίνει και με νέες εκδόσεις λογισμικού, σίγουρα θα υπάρχουν σφάλματα. Μπορείτε να βρείτε μία ενημερωμένη λίστα παροραμάτων στον διαδικτυακό τόπο του βιβλίου. Θα σας είμαστε υποχρεωμένοι αν μας ενημερώσετε για τυχόν λάθη ή παραλείψεις του βιβλίου, που δεν βρίσκονται στην τρέχουσα λίστα παροραμάτων.

Θα χαρούμε να δεχθούμε προτάσεις για βελτιώσεις στο βιβλίο. Επίσης καλωσορίζουμε συνηγορίες στον διαδικτυακό τόπο του βιβλίου, οι οποίες θα μπορούσαν να φανούν χρήσιμες σε άλλους αναγνώστες, όπως ασκήσεις προγραμματισμού, προτάσεις για έργα, εργαστήρια και μαθήματα και υποδείξεις διδασκαλίας. Μπορείτε να στείλετε e-mail στην [os-book-authors@cs.yale.edu](mailto:os-book-authors@cs.yale.edu).

## Ευχαριστίες

Πολλοί άνθρωποι μας έχουν βοηθήσει στην προετοιμασία αυτής της Δέκατης Έκδοσης, καθώς και στην προετοιμασία των προηγούμενων εννέα εκδόσεων, από τις οποίες προέρχεται αυτή η νέα έκδοση.

### Δέκατη Έκδοση

- Ο Rick Farrow μας παρείχε ειδικές συμβουλές, ως τεχνικός επιμελητής.
- Ο Jonathan Levin μας βοήθησε με την κάλυψη των κινητών συστημάτων, της προστασίας και της ασφάλειας.
- Ο Alex Ionescu ενημέρωσε το προηγούμενο κεφάλαιο για τα Windows 7, για να συγγραφεί το Κεφάλαιο 21: Windows 10.
- Η Sarah Diesburg αναθεώρησε το Κεφάλαιο 19: Δίκτυα και Κατανεμημένα Συστήματα.
- Ο Brendan Gregg παρείχε οδηγίες για την εργαλειοθήκη BCC.
- Ο Richard Stallman (RMS) μας παρείχε σχόλια για την περιγραφή του δωρεάν λογισμικού και του ανοικτού λογισμικού.
- Ο Robert Love μας παρείχε ενημερώσεις για το Κεφάλαιο 20: Το Σύστημα Linux.
- Ο Michael Shapiro μας βοήθησε με τις λεπτομέρειες των τεχνολογιών αποθήκευσης και E/E.
- Ο Richard West παρείχε γνώσεις για τομείς περί της έρευνας της εικονικοποίησης.
- Ο Clay Breshears βοήθησε στην κάλυψη των δομικών στοιχείων νημάτων της Intel.
- Ο Gerry Howser έκανε σχόλια για την παρακίνηση της μελέτης λειτουργικών συστημάτων και επίσης δοκίμασε νέα υλικό στην τάξη του.
- Η Judi Paige βοήθησε στην παραγωγή των εικόνων και διαφανειών.
- Ο Jay Gagne και η Audra Rissmeyer προετοίμασαν νέες εικόνες γι' αυτήν την έκδοση.
- Ο Owen Galvin έκανε τεχνική επιμέλεια για τα Κεφάλαια 11 και 12.
- Ο Mark Wogahn σιγούρευε ότι το λογισμικό για την παραγωγή αυτού του βιβλίου (LATEX και γραμματοσειρές) εργάζεται σωστά.
- Ο Ranjan Kumar Meher έγραψε από την αρχή μέρος του λογισμικού LATEX, που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή αυτού του νέου βιβλίου.

### Προηγούμενες Εκδόσεις

- **Πρώτες τρεις εκδόσεις.** Το βιβλίο αυτό προέρχεται από τις προηγούμενες εκδόσεις, στις τρεις πρώτες εκ των οποίων ένας εκ των συγγραφέων ήταν επίσης ο James Peterson.
- **Γενικές συνεισφορές.** Άλλοι που μας βοήθησαν με προηγούμενες εκδόσεις περιλαμβάνουν τους Hamid Arabnia, Rida Bazzi, Randy Bentson, David Black, Joseph Boykin, Jeff Brumfield, Gael Buckley, Roy Campbell, P. C. Capon, John Carpenter, Gil Carrick, Thomas Casavant, Bart Childs, Ajoy Kumar Datta, Joe Deck, Sudarshan K. Dhall, Thomas Doepfner, Caleb Drake, M. Rasit Eskicioğlu, Hans Flack, Robert Fowler, G. Scott Graham, Richard Guy, Max Hailperin, Rebecca Hartman, Wayne Hathaway, Christopher Haynes, Don Heller, Bruce Hillyer, Mark Holliday, Dean Hougen, Michael Huang, Ahmed Kamel, Morty Kewstel, Richard Kiebertz, Carol Kroll, Morty Kwestel, Thomas LeBlanc, John Leggett, Jerrold Leichter, Ted Leung, Gary Lippman, Carolyn Miller, Michael Molloy, Euripides

Montagne, Yoichi Muraoka, Jim M. Ng, Banu Ö zden, Ed Posnak, Boris Putanec, Charles Qualline, John Quarterman, Mike Reiter, Gustavo Rodriguez-Rivera, Carolyn J. C. Schauble, Thomas P. Skinner, Yannis Smaragdakis, Jesse St. Laurent, John Stankovic, Adam Stauffer, Steven Stepanek, John Sterling, Hal Stern, Louis Stevens, Pete Thomas, David Umbaugh, Steve Vinoski, Tommy Wagner, Larry L. Wear, John Werth, James M. Westall, J. S. Weston και Yang Xiang

## Ειδικές Συνεισφορές

- Ο Robert Love ενημέρωσε το Κεφάλαιο 20 και την κάλυψη του Linux σε όλο το βιβλίο, και απάντησε σε πολλές από τις ερωτήσεις μας που σχετίζονται με το Android.
- Το Παράρτημα Β γράφτηκε από τον Dave Probert και προήλθε από το Κεφάλαιο 22 της όγδοης έκδοσης του ξενόγλωσσου βιβλίου.
- Ο Jonathan Katz συνεισέφερε στο Κεφάλαιο 16. Ο Richard West παρείχε στοιχεία για το Κεφάλαιο 18. Ο Salahuddin Khan ενημέρωσε την Ενότητα 16.7, για να καλυφθεί το θέμα της ασφάλειας των Windows 7.
- Μέρη του Κεφαλαίου 19 αντλήθηκαν από μία δημοσίευση των Levy και Silberschatz [1990].
- Το Κεφάλαιο 20 προέρχεται από ένα αδημοσίευτο χειρόγραφο του Stephen Tweedie.
- Ο Cliff Martin μας βοήθησε να ενημερώσουμε το παράρτημα για το UNIX, ώστε να καλύπτει το FreeBSD.
- Μερικές απ' τις ασκήσεις και τις λύσεις τους παρασχέθηκαν από τον Arvind Krishnamurthy.
- Ο Andrew DeNicola προετοίμασε ένα οδηγό μελέτης για φοιτητές, ο οποίος διατίθεται στον διαδικτυακό μας τόπο. Μερικές από τις διαφάνειες προετοιμάστηκαν απ' την Marilyn Turnamian.
- Οι Mike Shapiro, Bryan Cantrill και Jim Mauro απάντησαν αρκετά ερωτήματα σχετικά με το Solaris και ο Bryan Cantrill της Sun Microsystems μας βοήθησε με την κάλυψη του ZFS. Οι Josh Dees και Rob Reynolds συνεισέφεραν στην κάλυψη του .NET της Microsoft.
- Ο Owen Galvin μας βοήθησε στην συγγραφή του Κεφαλαίου 18.

## Παραγωγή του Βιβλίου

Ο εκτελεστικός επιμελητής ήταν ο Don Fowley. Ο ανώτερος επιμελητής παραγωγής ήταν ο Ken Santor. Ο επιμελητής παραγωγής ήταν ο Chris Nelson. Ο βοηθός επιμελητής παραγωγής ήταν ο Ryann Dannelly. Η εικονογράφηση του εξωφύλλου έγινε από τον Tom Nery. Η επιμελήτρια συγγραφής ήταν η Katrina Avery. Η σύνταξη του ευρετηρίου έγινε από την WordCo, Inc. Η ομάδα Aptara LaTeX αποτελείται απ' τους Neeraj Saxena και Lav kush.

## Προσωπικές Σημειώσεις

Ο Ανί θέλει να ευχαριστήσει την Valerie για την αγάπη, την υπομονή και την υποστήριξή της, κατά την διάρκεια της ανασθέωσης αυτού του βιβλίου.

Ο Peter θέλει να ευχαριστήσει την γυναίκα του Carla και τα παιδιά του, Gwen, Owen και Maddie.

Ο Greg θέλει να ευχαριστήσει την οικογένειά του, για την συνεχή της υποστήριξη: την γυναίκα του Pat και τους γιούς του Thomas και Jay.

Abraham Silberschatz, New Haven, CT  
 Peter Baer Galvin, Boston, MA  
 Greg Gagne, Salt Lake City, UT

---

# Περιεχόμενα

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ ■ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

### Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1	Τι Κάνουν τα Λειτουργικά Συστήματα.....	4
1.2	Οργάνωση Υπολογιστικού Συστήματος .....	7
1.3	Αρχιτεκτονική Υπολογιστικού Συστήματος .....	15
1.4	Λειτουργίες Λειτουργικών Συστημάτων .....	21
1.5	Διαχείριση Πόρων.....	27
1.6	Ασφάλεια και Προστασία.....	33
1.7	Εικονικοποίηση .....	34
1.8	Κατανεμημένα Συστήματα.....	35
1.9	Δομές Δεδομένων Πυρήνα .....	36
1.10	Υπολογιστικά Περιβάλλοντα .....	40
1.11	Λειτουργικά Συστήματα Ελεύθερου και Ανοικτού Κώδικα .....	46
1.12	Περίληψη .....	51
	Πρακτική Εξάσκηση.....	53
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	54

### Κεφάλαιο 2 Δομές Λειτουργικών Συστημάτων

2.1	Υπηρεσίες Λειτουργικού Συστήματος.....	55
2.2	Διεπαφή Χρήστη και Λειτουργικού Συστήματος.....	58
2.3	Κλήσεις Συστήματος.....	62
2.4	Υπηρεσίες Συστήματος .....	74
2.5	Συνδέτες και Φορτωτές .....	75
2.6	Γιατί οι Εφαρμογές είναι για Συγκεκριμένα Λειτουργικά Συστήματα .....	77
2.7	Σχεδιασμός και Υλοποίηση Λειτουργικών Συστημάτων .....	79
2.8	Δομή Λειτουργικού Συστήματος.....	81
2.9	Δημιουργία και Εκκίνηση Λειτουργικού Συστήματος.....	92
2.10	Εκσφαλμάτωση Λειτουργικού Συστήματος.....	95
2.11	Περίληψη .....	100
	Πρακτική Εξάσκηση.....	101
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	101

**ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ ■ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ****Κεφάλαιο 3 Διεργασίες**

3.1	Η Έννοια της Διεργασίας .....	106
3.2	Χρονοπρογραμματισμός Διεργασιών .....	110
3.3	Λειτουργίες Διεργασιών .....	116
3.4	Διαδιεργασιακή Επικοινωνία .....	123
3.5	IPC σε Συστήματα Κοινής Μνήμης .....	125
3.6	IPC σε Συστήματα με Πέρασμα Μηνυμάτων .....	127
3.7	Παραδείγματα Συστημάτων IPC .....	132
3.8	Επικοινωνία σε Συστήματα Πελάτη – Εξυπηρετητή .....	145
3.9	Περίληψη .....	153
	Πρακτική Εξάσκηση .....	154
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	156

**Κεφάλαιο 4 Νήματα και Συνδρομική Εκτέλεση**

4.1	Εισαγωγή .....	160
4.2	Πολυπύρηνος Προγραμματισμός .....	162
4.3	Μοντέλα Πολυνημάτωσης .....	166
4.4	Βιβλιοθήκες Νημάτων .....	168
4.5	Αυτόματη Νημάτωση .....	176
4.6	Θέματα Νημάτων .....	188
4.7	Παραδείγματα Λειτουργικών Συστημάτων .....	194
4.8	Περίληψη .....	196
	Πρακτική Εξάσκηση .....	197
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	198

**Κεφάλαιο 5 Χρονοπρογραμματισμός ΚΜΕ**

5.1	Βασικές Έννοιες .....	200
5.2	Κριτήρια Χρονοπρογραμματισμού .....	204
5.3	Αλγόριθμοι Χρονοπρογραμματισμού .....	205
5.4	Χρονοπρογραμματισμός Νημάτων .....	217
5.5	Χρονοπρογραμματισμός Πολλαπλών Επεξεργαστών .....	220
5.6	Χρονοπρογραμματισμός ΚΜΕ Πραγματικού Χρόνου .....	227
5.7	Παραδείγματα Λειτουργικών Συστημάτων .....	234
5.8	Αξιολόγηση Αλγορίθμων .....	244
5.9	Περίληψη .....	250
	Πρακτική Εξάσκηση .....	251
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	254

**ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ ■ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ****Κεφάλαιο 6 Εργαλεία Συγχρονισμού**

6.1	Υπόβαθρο .....	257
6.2	Το Πρόβλημα της Κρίσιμης Περιοχής .....	260



6.3	Η Λύση του Peterson .....	262
6.4	Υποστήριξη Υλικού για Συγχρονισμό.....	265
6.5	Κλειδώματα Mutex.....	270
6.6	Σημαφόροι .....	272
6.7	Ελεγκτές/Παρακολουθητές (Monitors) .....	276
6.8	Ζωτικότητα.....	283
6.9	Αξιολόγηση.....	284
6.10	Περίληψη .....	286
	Πρακτική Εξάσκηση.....	287
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	288

## **Κεφάλαιο 7    Παραδείγματα Συγχρονισμού**

7.1	Κλασικά Προβλήματα Συγχρονισμού.....	289
7.2	Συγχρονισμός μέσα στον Πυρήνα.....	295
7.3	Συγχρονισμός POSIX.....	299
7.4	Συγχρονισμός στη Java .....	303
7.5	Εναλλακτικές Προσεγγίσεις .....	311
7.6	Περίληψη .....	314
	Πρακτική Εξάσκηση.....	315
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	315

## **Κεφάλαιο 8    Αδιέξοδα**

8.1	Μοντέλο Συστήματος.....	318
8.2	Αδιέξοδο σε Πολυνηματικές Εφαρμογές .....	319
8.3	Χαρακτηρισμοί Αδιεξόδου .....	321
8.4	Μέθοδοι για τον Χειρισμό Αδιεξόδων .....	326
8.5	Αποτροπή Αδιεξόδων.....	327
8.6	Αποφυγή Αδιεξόδων.....	330
8.7	Ανίχνευση Αδιεξόδων.....	337
8.8	Ανάκαμψη Από Αδιέξοδο .....	341
8.9	Περίληψη .....	343
	Πρακτική Εξάσκηση.....	344
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	346

## **ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ ■ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΝΗΜΗΣ**

### **Κεφάλαιο 9    Κύρια Μνήμη**

9.1	Υπόβαθρο .....	349
9.2	Εκχώρηση Συνεχόμενης Μνήμης.....	356
9.3	Σελιδοποίηση.....	360
9.4	Δομή του Πίνακα Σελίδων .....	371
9.5	Εναλλαγή .....	376
9.6	Παράδειγμα: Αρχιτεκτονικές Intel 32 και 64 Bit.....	379
9.7	Παράδειγμα: Αρχιτεκτονική ARMv8.....	383
9.8	Περίληψη .....	384

Πρακτική Εξάσκηση.....	385
Βιβλιογραφικές σημειώσεις .....	387

## Κεφάλαιο 10 Εικονική Μνήμη

10.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	389
10.2 Σελιδοποίηση κατ' Απαιτήση.....	392
10.3 Αντιγραφή Κατά την Εγγραφή.....	399
10.4 Αντικατάσταση Σελίδας .....	401
10.5 Εκχώρηση Πλαισίων .....	413
10.6 Λυγισμός .....	419
10.7 Συμπύεση Μνήμης.....	425
10.8 Εκχώρηση Μνήμης Πυρήνα.....	426
10.9 Άλλα Θέματα .....	430
10.10 Παραδείγματα Λειτουργικών Συστημάτων .....	436
10.11 Περίληψη .....	440
Πρακτική Εξάσκηση.....	441
Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	444

## ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ ■ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΩΡΟΥ ΜΟΝΙΜΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

### Κεφάλαιο 11 Δομή Χώρου Μαζικής Αποθήκευσης

11.1 Γενική Περιγραφή της Δομής του Χώρου Μαζικής Αποθήκευσης .....	449
11.2 Χρονοπρογραμματισμός Δίσκου .....	457
11.3 Χρονοπρογραμματισμός NVM .....	461
11.4 Ανίχνευση και Διόρθωση Σφαλμάτων.....	462
11.5 Διαχείριση Συσκευής Αποθήκευσης.....	463
11.6 Διαχείριση Χώρου Εναλλαγής.....	467
11.7 Προσάρτηση Χώρου Αποθήκευσης.....	469
11.8 Δομή RAID.....	473
11.9 Περίληψη .....	485
Πρακτική Εξάσκηση.....	486
Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	487

### Κεφάλαιο 12 Συστήματα Ε/Ε

12.1 Επισκόπηση.....	489
12.2 Υλικό Ε/Ε .....	490
12.3 Διεπαφή Ε/Ε Εφαρμογής.....	500
12.4 Υποσύστημα Ε/Ε Πυρήνα.....	508
12.5 Μετατροπή των Αιτημάτων Ε/Ε σε Λειτουργίες Υλικού .....	516
12.6 STREAMS .....	519
12.7 Απόδοση .....	521
12.8 Περίληψη .....	524
Πρακτική Εξάσκηση.....	525
Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	526

**ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ ■ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΧΕΙΩΝ****Κεφάλαιο 13 Διεπαφή Συστήματος Αρχείων**

13.1	Η Έννοια του Αρχείου .....	529
13.2	Μέθοδοι Προσπέλασης .....	539
13.3	Δομή Καταλόγου.....	541
13.4	Προστασία.....	550
13.5	Χαρτογράφηση Αρχείων στη Μνήμη.....	555
13.6	Περίληψη .....	560
	Πρακτική Εξάσκηση.....	561
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	561

**Κεφάλαιο 14 Υλοποίηση Συστήματος Αρχείων**

14.1	Δομή Συστήματος Αρχείων .....	564
14.2	Λειτουργίες Συστήματος Αρχείων.....	566
14.3	Υλοποίηση Καταλόγου.....	568
14.4	Μέθοδοι Εκχώρησης.....	570
14.5	Διαχείριση Ελεύθερου Χώρου .....	578
14.6	Αποτελεσματικότητα και Απόδοση .....	582
14.7	Ανάκαμψη .....	586
14.8	Παράδειγμα: Το Σύστημα Αρχείων WAFL.....	589
14.9	Περίληψη .....	593
	Πρακτική Εξάσκηση.....	594
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	595

**Κεφάλαιο 15 Εσωτερικά Θέματα Συστήματος Αρχείων**

15.1	Συστήματα Αρχείων .....	597
15.2	Προσάρτηση Συστήματος Αρχείων .....	598
15.3	Διαμερίσεις και Προσάρτηση .....	601
15.4	Διαμοιρασμός Αρχείων .....	602
15.5	Εικονικά Συστήματα Αρχείων.....	603
15.6	Απομακρυσμένα Συστήματα Αρχείων .....	605
15.7	Σημασιολογία Συνέπειας.....	608
15.8	NFS.....	610
15.9	Περίληψη .....	616
	Πρακτική Εξάσκηση.....	617
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	617

**ΜΕΡΟΣ ΕΒΔΟΜΟ ■ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ****Κεφάλαιο 16 Ασφάλεια**

16.1	Το Πρόβλημα της Ασφάλειας.....	621
16.2	Προγραμματιστικές Απειλές .....	625
16.3	Απειλές Συστήματος και Δικτύου .....	634
16.4	Η Κρυπτογραφία ως Εργαλείο Ασφάλειας .....	637

16.5	Πιστοποίηση Χρήστη.....	648
16.6	Υλοποίηση Αμυνών Ασφάλειας .....	653
16.7	Ένα Παράδειγμα: Windows 10.....	662
16.8	Περίληψη .....	665
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	665

## Κεφάλαιο 17 Προστασία

17.1	Στόχοι της Προστασίας.....	667
17.2	Αρχές της Προστασίας.....	668
17.3	Δακτύλιοι Προστασίας.....	669
17.4	Πεδίο Προστασίας.....	671
17.5	Πίνακας Πρόσβασης.....	675
17.6	Υλοποίηση του Πίνακα Πρόσβασης.....	679
17.7	Ανάκληση Δικαιωμάτων Πρόσβασης.....	682
17.8	Έλεγχος Πρόσβασης Βάσει Ρόλων.....	683
17.9	Υποχρεωτικός Έλεγχος Πρόσβασης.....	684
17.10	Συστήματα Βασιζόμενα σε Δυνατότητες.....	685
17.11	Άλλες Μέθοδοι Βελτίωσης της Προστασίας.....	687
17.12	Προστασία βάσει Γλώσσας.....	690
17.13	Περίληψη .....	695
	Πρακτική Εξάσκηση.....	696
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	698

## ΜΕΡΟΣ ΟΓΔΟΟ ■ ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΑ ΘΕΜΑΤΑ

### Κεφάλαιο 18 Εικονικές Μηχανές

18.1	Εισαγωγή .....	701
18.2	Ιστορία.....	703
18.3	Οφέλη και Χαρακτηριστικά.....	704
18.4	Δομικά Στοιχεία.....	707
18.5	Τύποι Εικονικών Μηχανών και οι Υλοποιήσεις τους.....	713
18.6	Εικονικοποίηση και Συστατικά Λειτουργικού Συστήματος.....	719
18.7	Παραδείγματα .....	726
18.8	Έρευνα για την Εικονικοποίηση .....	728
18.9	Περίληψη .....	729
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	730

### Κεφάλαιο 19 Δίκτυα και Καταναμημένα Συστήματα

19.1	Πλεονεκτήματα των Καταναμημένων Συστημάτων.....	733
19.2	Δομή Δικτύου.....	735
19.3	Δομή Επικοινωνίας .....	738
19.4	Λειτουργικά Συστήματα Δικτύων και Καταναμημένα Λειτουργικά Συστήματα.....	749
19.5	Θέματα Σχεδίασης σε Καταναμημένα Συστήματα.....	753
19.6	Καταναμημένα Συστήματα Αρχείων .....	757
19.7	Ονοματοδοσία και Διαφάνεια.....	761
19.8	Απομακρυσμένη Πρόσβαση Αρχείων.....	764

19.9	Τελικές Σκέψεις για τα Κατανομημένα Συστήματα Αρχείων.....	768
19.10	Περίληψη .....	769
	Πρακτική Εξάσκηση.....	770
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	771

## ΜΕΡΟΣ ΕΝΑΤΟ ■ ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ

### Κεφάλαιο 20 Το Σύστημα Linux

20.1	Ιστορία του Linux.....	775
20.2	Αρχές Σχεδίασης.....	780
20.3	Αρθρώματα Πυρήνα.....	783
20.4	Διαχείριση Διεργασιών .....	786
20.5	Χρονοπρογραμματισμός.....	790
20.6	Διαχείριση Μνήμης .....	795
20.7	Συστήματα Αρχείων .....	803
20.8	Είσοδος και Έξοδος.....	810
20.9	Διαδιεργασιακή Επικοινωνία .....	812
20.10	Δομή Δικτύου.....	813
20.11	Ασφάλεια .....	816
20.12	Περίληψη .....	818
	Πρακτική Εξάσκηση.....	819
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	819

### Κεφάλαιο 21 Windows 10

21.1	Ιστορία.....	821
21.2	Αρχές Σχεδίασης.....	826
21.3	Συστατικά Συστήματος.....	838
21.4	Υπηρεσίες Τερματικού και Ταχεία Εναλλαγή Χρήστη .....	874
21.5	Σύστημα Αρχείων .....	875
21.6	Δικτύωση .....	880
21.7	Διεπαφή Προγραμματιστή.....	884
21.8	Περίληψη .....	895
	Πρακτική Εξάσκηση.....	896
	Βιβλιογραφικές Σημειώσεις .....	897
	Ευρετήριο .....	901

Παραρτήματα στον διαδικτυακό τόπο του Εκδοτικού μας Οίκου ([www.mgiurdas.gr](http://www.mgiurdas.gr))

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΚΑΤΟ ■ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### Appendix A Influential Operating Systems

A.1	Feature Migration .....	1
A.2	Early Systems.....	2
A.3	Atlas.....	9
A.4	XDS-940 .....	10
A.5	THE.....	11

A.6	RC 4000.....	11
A.7	CTSS .....	12
A.8	MULTICS .....	13
A.9	IBM OS/360.....	13
A.10	TOPS-20 .....	15
A.11	CP/M and MS/DOS.....	15
A.12	Macintosh Operating System and Windows .....	16
A.13	Mach .....	16
A.14	Capability-based Systems – Hydra and CAP.....	18
A.15	Other Systems .....	20
	Further Reading .....	21

## **Appendix B Windows 7**

B.1	History .....	1
B.2	Design Principles .....	3
B.3	System Components.....	10
B.4	Terminal Services and Fast User Switching.....	34
B.5	File System .....	35
B.6	Networking.....	41
B.7	Programmer Interface.....	46
B.8	Summary .....	55
	Exercises .....	55
	Further Reading .....	56

## **Appendix C BSD UNIX**

C.1	UNIX History .....	1
C.2	Design Principles .....	6
C.3	Programmer Interface .....	8
C.4	User Interface .....	15
C.5	Process Management.....	18
C.6	Memory Management .....	22
C.7	File System .....	25
C.8	I/O System.....	33
C.9	Interprocess Communication.....	36
C.10	Summary .....	41
	Further Reading .....	42

## **Appendix D TheMach System**

D.1	History of the Mach System.....	1
D.2	Design Principles .....	3
D.3	System Components.....	4
D.4	Process Management.....	7
D.5	Interprocess Communication.....	13
D.6	Memory Management .....	18
D.7	Programmer Interface.....	23
D.8	Summary .....	24
	Further Reading .....	25