

Πρόλογος της Ελληνικής Έκδοσης

Το βιβλίο αυτό έρχεται να καλύψει ένα σημαντικό κενό στην ελληνόγλωσση επιστημονική βιβλιογραφία των μαθημάτων που σχετίζονται με το Σχεδιασμό Ενσωματωμένων Συστημάτων στη τριτοβάθμια εκπαίδευση. Ο συγγραφέας Prof. Peter Marwedel, TUD, Germany, ένας από τους θεμελιωτές του κλάδου των ενσωματωμένων συστημάτων τόσο στο Ευρωπαϊκό όσο και στην διεθνή χώρα, μέσα σε 8 κεφάλαια μετουσιώνει την πολυετή εμπειρία του στη διδασκαλία και έρευνα της ανάλυσης και σχεδίασης των κυβερνοφυσικών συστημάτων. Με αυτόν τον τρόπο οι φοιτητές αποκτούν μια ολοκληρωμένη γνώση σε αυτό τον τομέα, που διαδραματίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο (αν και συνήθως όχι άμεσα κατανοητό για τους περισσότερους ανθρώπους) τις τελευταίες δεκαετίες και συνεχίζει να επενεργεί καταλυτικά σε κάθε τομέα δραστηριοτήτων.

Κατά διαστήματα δημιουργούνται και αποδίδονται νέοι όροι στα ενσωματωμένα συστήματα, όπως “διαδίκτυο των αντικειμένων (internet of things)”, εντούτοις η ουσία παραμένει αναλλοίωτη και όλοι αυτοί οι όροι αναφέρονται στα κυβερνοφυσικά συστήματα. Το βιβλίο του Prof. Peter Marwedel έχει δομηθεί με έναν ολοκληρωμένο τρόπο μετάδοσης της γνώσης, με αυτούσια κεφάλαια που καλύπτουν κάθε πτυχή αυτών των συστημάτων. Όπως περιγράφει στην εισαγωγή και ο ίδιος ο συγγραφέας, η δομή του βιβλίου είναι κατάλληλη τόσο για διδασκαλία σε κλάδους της Επιστήμης των Υπολογιστών, όσο και σε κλάδους Μηχανικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, τόσο σε προπτυχιακό ή/και σε μεταπτυχιακό επίπεδο, σε Πολυτεχνεία, Πανεπιστήμια και ΤΕΙ.

Όσον αφορά τη μετάφραση κάποιων δύσκολων αγγλικών όρων που δε μπορούν να αποδοθούν μονοσήμαντα στην Ελληνική γλώσσα ή που οι ίδιες αγγλικές λέξεις αν και έχουν διαφορετικές ερμηνείες μεταφράζονται με την ίδια ελληνική λέξη (όπως οι όροι “security” και “safety” που τους μεταφράσαμε, ως πληροφοριακή και φυσική ασφάλεια, όταν βρίσκονται στην ίδια πρόταση). Εμείς, επιλέξαμε τις πιο δόκιμες λέξεις ή φράσεις και συνθέσαμε ελληνικές λέξεις (όπως την αγγλική λέξη slice όταν αναφέρεται σε χρόνο, τη μεταφράσαμε χρονομερίδιο), σύμφωνα με τις επικρατέστερες μεταφράσεις βιβλίων της ίδιας επιστημονικής

περιοχής. Για να βοηθηθεί ο αναγνώστης να συνδέσει την ελληνική μετάφραση με την αγγλική, κάθε φορά στην πρώτη εμφάνιση ενός όρου δίνεται σε παρένθεση και ο αντίστοιχος αγγλικός όρος. Επιπλέον, περιλαμβάνεται ένα παράρτημα που συγκεντρώνει όλες τις μεταφράσεις των όρων στο τέλος του βιβλίου. Το αρχείο διορθώσεων του βιβλίου και υλικό που θα δημιουργηθεί για την καλύτερη υποστήριξη, θα βρίσκεται στη διεύθυνση:

<http://arch.ict.e.uowm.gr/mdasyg/book/cyberphysicalsystems>

Τέλος, αναφέρουμε ότι έγινε κάθε δυνατή προσπάθεια να αποφευχθούν παραλείψεις, αβλεψίες, ή και σφάλματα. Για το λόγο αυτό ζητούμε την κατανόηση των αναγνωστών μας, συναδέλφων καθηγητών, φοιτητών, σπουδαστών και επαγγελματιών που θα επιλέξουν το βιβλίο αυτό και να μας επισημαίνουν με μηνύματά τους τις προτάσεις τους για βελτίωση του κειμένου σε προσεχείς εκδόσεις του βιβλίου.

Καλή και εποικοδομητική ανάγνωση,

Μηνάς Δασυγένης

Λέκτορας

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Δημήτριος Σούντρης

Αναπλ. Καθηγητής

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περιεχόμενα

Πρόλογος της Ελληνικής Έκδοσης	v
Πρόλογος	xiii
Ευχαριστίες	xxv
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Περιοχές Εφαρμογών και Παραδείγματα	1
1.2 Κοινά χαρακτηριστικά	4
1.3 Προκλήσεις στο σχεδιασμό ενσωματωμένων συστημάτων	12
1.4 Σχεδιαστικές ροές	14
1.5 Δομή του βιβλίου	19
1.6 Εργασίες	21
2. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	23
2.1 Απαιτήσεις	23
2.2 Υπολογιστικά Μοντέλα	31
2.3 Πρώιμα στάδια σχεδίασης	39
2.3.1 Περιπτώσεις χρήσης	39
2.3.2 Ακολουθιακά Διαγράμματα (Μηνυμάτων)	41
2.4 Επικοινωνούντες Μηχανές Πεπερασμένων Καταστάσεων (CFSMs)	43
2.4.1 Χρονισμένα αυτόματα	45
2.4.2 Διαγράμματα Καταστάσεων: Επικοινωνία έμμεσης διαμοιρασμένης μνήμης	47
2.4.3 Σύγχρονες γλώσσες	59
2.4.4 SDL: Μια περίπτωση περάσματος μηνυμάτων	61
2.5 Ροές δεδομένων	69
2.5.1 Πεδίο Εφαρμογής	69
2.5.2 Δίκτυα διεργασιών Kahn	70
2.5.3 Σύγχρονη ροή δεδομένων	72
2.5.4 Simulink	75

2.6	Δίκτυα Petri	77
2.6.1	Εισαγωγή	77
2.6.2	Δίκτυα συνθηκών/γεγονότων (Condition/event nets)	79
2.6.3	Δίκτυα τοποθετήσεων/μεταβάσεων	81
2.6.4	Δίκτυα κατηγορημάτων/μεταβάσεων	87
2.6.5	Αξιολόγηση	89
2.7	Γλώσσες που βασίζονται σε διακριτά γεγονότα	90
2.7.1	VHDL	92
2.7.2	SystemC	111
2.7.3	Verilog και System Verilog	113
2.7.4	SpecC	114
2.8	Γλώσσες προγραμματισμού Von-Neumann	116
2.8.1	CSP	117
2.8.2	ADA	117
2.8.3	Java	120
2.8.4	Pearl and Chill	121
2.8.5	Βιβλιοθήκες επικοινωνίας	122
2.9	Τα επίπεδα της μοντελοποίησης του υλικού	122
2.10	Σύγκριση των μοντέλων υπολογισμού	125
2.10.1	Κριτήρια	125
2.10.2	UML	129
2.10.3	Ptolemy II	131
2.11	Εργασίες	132
3.	ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	135
3.1	Εισαγωγή	135
3.2	Είσοδος	136
3.2.1	Αισθητήρες	136
3.2.2	Διακριτοποίηση του χρόνου: Κυκλώματα δειγματοληψίας-και-συγκράτησης	140
3.2.3	Διακριτοποίηση των τιμών: μετατροπείς A/D	145
3.3	Μονάδες επεξεργασίας	150
3.3.1	Επισκόπηση	150
3.3.2	Ολοκληρωμένα Κυκλώματα Ειδικών Εφαρμογών	153
3.3.3	Επεξεργαστές	153
3.3.4	Επαναδιαμορφώσιμη λογική	172
3.4	Μνήμες	176
3.5	Επικοινωνία	179
3.5.1	Απαιτήσεις	180
3.5.2	Ηλεκτρική αξιοπιστία	181
3.5.3	Εγγυώντας τη συμπεριφορά πραγματικού χρόνου	183
3.5.4	Παραδείγματα	185
3.6	Έξοδος	187
3.6.1	Ψηφιακοί/Αναλογικοί Μετατροπείς	188
3.6.2	Θεώρημα Δειγματοληψίας	191

3.6.3	Ενεργοποιητές	196
3.7	Ασφαλές υλικό	197
3.8	Εργασίες	198
4.	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	201
4.1	Ενσωματωμένα λειτουργικά συστήματα	202
4.1.1	Γενικές απαιτήσεις	202
4.1.2	Λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου (RTOS)	206
4.1.3	Εικονικές μηχανές	211
4.1.4	Πρωτόκολλα πρόσβασης πόρων	212
4.2	ERICA	217
4.3	Αφαιρετικά επίπεδα υλικού	222
4.4	Ενδιάμεσο λογισμικό	222
4.4.1	OSEK/VDX COM	222
4.4.2	CORBA	223
4.4.3	MPI	224
4.4.4	Νήματα POSIX (Pthreads)	225
4.4.5	OpenMP	226
4.4.6	UPnP, DPWS και JXTA	226
4.5	Βάσεις δεδομένων πραγματικού χρόνου	227
4.6	Εργασίες	229
5.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΚΥΡΩΣΗ	231
5.1	Εισαγωγή	231
5.1.1	Πεδίο εφαρμογής	231
5.1.2	Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση	232
5.1.3	Σχετικοί αντικειμενικοί στόχοι	234
5.2	Αξιολόγηση των επιδόσεων	235
5.2.1	Πρώρες φάσεις	236
5.2.2	Εκτίμηση WCET	236
5.2.3	Λογισμός πραγματικού χρόνου	242
5.3	Μοντέλα ενέργειας και ισχύος	247
5.4	Θερμικά μοντέλα	248
5.5	Ανάλυση κινδύνου και αξιοπιστίας	249
5.6	Προσομοίωση	260
5.7	Ταχεία προτυποποίηση και εξομοίωση	261
5.8	Τυπική επαλήθευση	262
5.9	Εργασίες	265
6.	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	269
6.1	Ορισμός προβλήματος	269
6.2	Χρονοπρογραμματισμός σε συστήματα πραγματικού χρόνου	272
6.2.1	Ταξινόμηση αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού	273
6.2.2	Απεριοδικός χρονοπρογραμματισμός χωρίς περιορισμούς προτεραιότητας	277

6.2.3	Απεριοδικός χρονοπρογραμματισμός με περιορισμούς προτεραιότητας	284
6.2.4	Περιοδικός χρονοπρογραμματισμός χωρίς περιορισμούς προτεραιότητας	294
6.2.5	Περιοδικός χρονοπρογραμματισμός με περιορισμούς προτεραιότητας	301
6.2.6	Σποραδικά γεγονότα	301
6.3	Διαμερισματοποίηση υλικού/λογισμικού	302
6.3.1	Εισαγωγή	302
6.3.2	COOL	303
6.4	Απεικόνιση σε ετερογενείς πολυεπεξεργαστές	312
6.5	Εργασίες	317
7.	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	321
7.1	Διαχείριση ταυτοχρονισμού επιπέδου εργασιών	321
7.2	Βελτιστοποίηση Υψηλού Επιπέδου	326
7.2.1	Μετατροπή αριθμητικής υποδιαστολής μη σταθερού σημείου σε σταθερό σημείο	326
7.2.2	Απλοί Μετασχηματισμοί βρόχου	327
7.2.3	Πλακιδιοποίηση/Ομαδοποίηση-Block βρόχου (loop tiling/blocking)	330
7.2.4	Διάσπαση βρόχου (loop splitting)	332
7.2.5	Αναδίπλωση πίνακα (Array Folding)	335
7.3	Μεταγλωττιστές για Ενσωματωμένα Συστήματα	336
7.3.1	Εισαγωγή	336
7.3.2	Μεταγλώττιση με γνώση της ενέργειας	337
7.3.3	Μεταγλώττιση με γνώση της αρχιτεκτονικής μνήμης	339
7.3.4	Γεφύρωση των μεταγλωττιστών και της ανάλυσης χρονισμού	348
7.3.5	Μεταγλώττιση για ψηφιακούς επεξεργαστές σήματος	351
7.3.6	Μεταγλώττιση για επεξεργαστές πολυμέσων	354
7.3.7	Μεταγλώττιση για τους Επεξεργαστές VLIW	355
7.3.8	Μεταγλώττιση για επεξεργαστές δικτύου	356
7.3.9	Δημιουργία μεταγλωττιστών, επαναστοχευμένοι μεταγλωττιστές και εξερεύνηση του σχεδιαστικού χώρου	356
7.4	Διαχείρισης ενέργειας και θερμική διαχείριση	357
7.4.1	Δυναμική κλιμάκωση τάσης	357
7.4.2	Δυναμική διαχείριση ενέργειας (DPM)	361
7.5	Εργασίες	362
8.	ΔΟΚΙΜΗ	367
8.1	Πεδίο εφαρμογής	367
8.2	Διαδικασίες δοκιμών	368
8.2.1	Δημιουργία μοτίβων δοκιμών για μοντέλα στο επίπεδο πύλης	368

8.2.2	Προγράμματα αυτο-δοκιμής	370
8.3	Αξιολόγηση των μοτίβων δοκιμής και ανθεκτικότητα του συστήματος	371
8.3.1	Κάλυψη σφαλμάτων	371
8.3.2	Προσομοίωση σφαλμάτων	372
8.3.3	Έκχυση σφάλματος	372
8.4	Σχεδιασμός για δοκιμαστικότητα	373
8.4.1	Κίνητρο	373
8.4.2	Σχεδίαση σάρωσης	374
8.4.3	Ανάλυση υπογραφής	375
8.4.4	Ψευδό-τυχαία γεννήτρια μοτίβων δοκιμών	377
8.4.5	Ο εσωτερικός λογικός παρατηρητής μπλοκ	378
8.5	Εργασίες	380
	Παράρτημα A: Ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός	381
	Παράρτημα B: Οι νόμοι του Kirchhoff και οι τελεστικοί ενισχυτές	385
	Παράρτημα C: Μεταφράσεις Αγγλικών Όρων	391
	Αναφορές	395
	Σχετικά με το συγγραφέα	421
	Κατάλογος Σχημάτων	431
	Ευρετήριο	431

Πρόλογος

Ορισμοί και πεδίο εφαρμογής

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, η επεξεργασία των πληροφοριών σχετιζόταν με τα μεγάλα συστήματα υπολογιστών (mainframe) και τεράστιους οδηγούς μαγνητοταινιών (tape drivers). Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, αυτή μετατοπίστηκε στην επεξεργασία των πληροφοριών, η οποία εκτελείται από τους προσωπικούς υπολογιστές (personal computers), γνωστά και ως PCs. Η τάση για την ελαχιστοποίηση των διαστάσεων συνεχίζεται και η πλειοψηφία των συσκευών επεξεργασίας πληροφοριών θα είναι μικροί φορητοί υπολογιστές, πολλοί από τους οποίους θα είναι ενσωματωμένοι σε μεγάλα προϊόντα. Η παρουσία τους σε αυτά τα μεγαλύτερα προϊόντα, όπως σε τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό, θα είναι λιγότερο εμφανής από ότι στους προσωπικούς υπολογιστές. Συνήθως, τα προϊόντα τεχνολογίας πρέπει να είναι τεχνολογικά προηγμένα για να προσελκύσουν το ενδιαφέρον των πελατών. Αυτοκίνητα, φωτογραφικές μηχανές, τηλεοράσεις, κινητά τηλέφωνα, κλπ. δύσκολα θα μπορούσαν να πωλούνται πια στις περισσότερες τεχνολογικά προηγμένες χώρες, εκτός εάν συνοδεύονται με ενσωματωμένους υπολογιστές. Ως εκ τούτου, και σύμφωνα με αρκετές προβλέψεις (δείτε, για παράδειγμα, [1]), το μέλλον της τεχνολογίας της πληροφορίας και της επικοινωνίας (ΤΠΕ) χαρακτηρίζεται από όρους όπως:

- 1 η πανταχού παρουσία του υπολογιστή (ubiquitous computing) [2],
- 2 η διάχυτη υπολογιστική (pervasive computing) [3], [4],
- 3 η περιβάλλουσα νοημοσύνη (ambient intelligence) [5], [6],
- 4 η εξαφάνιση του υπολογιστή (the disappearing computer) [2],
- 5 και η μετά-PC εποχή.

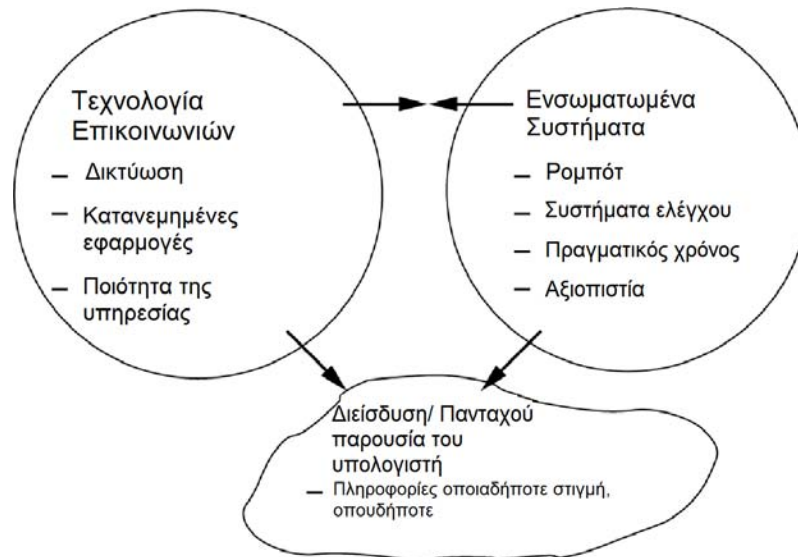
Ο πρώτος όρος αντανακλά το γεγονός ότι η πληροφορική (και η επικοινωνία) θα είναι παντού. Η προσδοκία είναι ότι η *πληροφορία* θα είναι διαθέσιμη *οποιαδήποτε*

στιγμή, οπουδήποτε. Η προβλεπόμενη διείσδυση των υπολογιστικών συσκευών στην καθημερινή μας ζωή οδήγησε στον όρο “διάχυτη υπολογιστική” (“pervasive computing”). Για την περιβάλλουσα νοημοσύνη, υπάρχει κάποια έμφαση στην τεχνολογία της επικοινωνίας στα σπίτια του μέλλοντος και στα έξυπνα κτίρια. Αυτοί οι τρεις όροι εστιάζουν μόνο σε ελαφρώς διαφορετικές πτυχές της μελλοντικής τεχνολογίας της πληροφορίας. Η πανταχού παρουσία του υπολογιστή εστιάζει περισσότερο στο μακροπρόθεσμο στόχο για την παροχή πληροφοριών οποιαδήποτε στιγμή, οπουδήποτε, ενώ η διάχυτη υπολογιστική επικεντρώνεται περισσότερο σε πρακτικά ζητήματα και στην αξιοποίηση της ήδη διαθέσιμης τεχνολογίας. Ο τέταρτος όρος αναφέρεται στην προσδοκία ότι οι επεξεργαστές και τα λογισμικά θα χρησιμοποιηθούν σε πολύ μικρότερα συστήματα και σε πολλές περιπτώσεις θα είναι ακόμη και αόρατα. Ο όρος **μετα-PC** εποχή υποδηλώνει το γεγονός ότι στο μέλλον, οι τυπικοί υπολογιστές θα είναι λιγότερο κυρίαρχοι στις πλατφόρμες υλικού.

Είναι απαραίτητες δύο βασικές τεχνολογίες για τα συστήματα της επόμενης γενιάς των ΤΠΕ (τεχνολογίας της πληροφορίας και της επικοινωνίας):

- **ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems),**
- **και τεχνολογίες της επικοινωνίας (communication technologies).**

Η Εικόνα 0.1 δείχνει μια γραφική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο η πανταχού παρουσία του υπολογιστή επηρεάζεται από τα ενσωματωμένα συστήματα και τις τεχνολογίες της επικοινωνίας.



Σχήμα 0.1. Ο επηρεασμός των ενσωματωμένων συστημάτων στην πανταχού παρούσα υπολογιστική (©Ευρωπαϊκή Επιτροπή)

Για παράδειγμα, η πανταχού παρουσία των συσκευών υπολογιστών - όπως τα ενσωματωμένα συστήματα - πρέπει να ανταποκρίνονται σε πραγματικό χρόνο και σε απαιτήσεις αξιοπιστίας των ενσωματωμένων συστημάτων, ενώ χρησιμοποιούν θεμελιώδεις τεχνικές της τεχνολογίας της επικοινωνίας, όπως η δικτύωση.

Για μια ολοκληρωμένη κάλυψη των τεχνολογιών της επικοινωνίας θα απαιτούνταν ένα ξεχωριστό βιβλίο. Ως εκ τούτου, αυτό το βιβλίο δεν καλύπτει τις τεχνολογίες της επικοινωνίας, εκτός από κάποιες παραγράφους σε κάποιες υποενότητες. Τι είναι λοιπόν τα “ενσωματωμένα συστήματα”; Μπορούν να οριστούν ως εξής [7]:

Ορισμός: Τα ενσωματωμένα συστήματα είναι συστήματα επεξεργασίας πληροφοριών ενσωματωμένα σε “εσωκλειόντα” προϊόντα.

Ως παραδείγματα, τα ενσωματωμένα συστήματα βρίσκονται σε αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα και σε εξοπλισμό τηλεπικοινωνιών ή κατασκευών. Τέτοια συστήματα έχουν σε μεγάλο πλήθος κοινά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων των περιορισμών πραγματικού χρόνου και αξιοπιστίας, καθώς και απαιτήσεις αποδοτικότητας. Για αυτά τα συστήματα, η σύνδεση με τη φυσική και τα φυσικά συστήματα είναι αρκετά σημαντική. Αυτή η σύνδεση τονίζεται στην ακόλουθη παραπομπή [8]:

“Το ενσωματωμένο λογισμικό είναι λογισμικό ολοκληρωμένο με φυσικές διεργασίες. Το τεχνικό πρόβλημα είναι η διαχείριση του χρόνου και ο ταυτοχρονισμός σε υπολογιστικά συστήματα”.

Η αναφορά αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ορισμός του όρου “ενσωματωμένο λογισμικό” και θα μπορούσε να επεκταθεί στον όρο “ενσωματωμένα συστήματα” με την απλή αντικατάσταση της λέξης “λογισμικό” με τη λέξη “σύστημα”. Ωστόσο, ο ισχυρός δεσμός με τη φυσική έχει πρόσφατα τονιστεί ακόμη περισσότερο με την εισαγωγή του όρου “κυβερνοφυσικά” συστήματα (cyber-physical systems, CPS- ή συστήματα “cy-phy” για συντομία). Τα κυβερνοφυσικά συστήματα μπορούν να οριστούν ως ακολούθως:

Ορισμός: Τα “Κυβερνοφυσικά” συστήματα (CPS) είναι ενοποιήσεις (ενσωματώσεις) υπολογισμού και φυσικών διαδικασιών [9].

Ο νέος όρος τονίζει τη σύνδεση με φυσικές ποσότητες, όπως ο χρόνος, η ενέργεια και ο χώρος. Η έμφαση που δίνεται σε αυτή τη σύνδεση είναι σημαντική γιατί αυτή αγνοείται συχνά στον κόσμο των εφαρμογών που εκτελούνται στους προσωπικούς υπολογιστές. Για τα “κυβερνοφυσικά” συστήματα (Cy-phy systems), θα αναμέναμε να χρησιμοποιούμε επίσης μοντέλα που συμπεριλαμβάνουν μοντέλα του φυσικού περιβάλλοντος. **Υπό αυτή την έννοια, αντιλαμβανόμαστε ότι τα κυβερνοφυσικά συστήματα περιλαμβάνουν ενσωματωμένα συστήματα (το τμήμα επεξεργασίας των πληροφοριών) και το φυσικό περιβάλλον.** Θα αναφερόμαστε στο νέο όρο όποτε θέλουμε να τονίσουμε τη σύνδεση με τη φυσική και το περιβάλλον. Στο μέλλον, είναι πιθανόν να υπάρχουν εξίσου σημαντικές συνδέσεις με τη χημεία και τη βιολογία.

Αυτό το βιβλίο παρέχει μια επισκόπηση των βασικών εννοιών για τα ενσωματωμένα συστήματα, καθώς αυτά απαιτούνται για τα “κυβερνοφυσικά” συστήματα. Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει τεχνικές προδιαγραφών, εξαρτήματα υλικού, λογισμικό συστήματος, χαρτογράφηση εφαρμογών, αξιολόγηση και επικύρωση, καθώς και επίσης υποδειγματικές βελτιστοποιήσεις και μεθόδους δοκιμής.

Σημασία των ενσωματωμένων συστημάτων και των κυβερνοφυσικών συστημάτων

Μετά την επιτυχία των ΤΠΕ για τις εφαρμογές γραφείου και εργασιών ροής, τα ενσωματωμένα και τα κυβερνοφυσικά συστήματα θεωρούνται ότι είναι ο **πιο** σημαντικός τομέας εφαρμογών στις ΤΠΕ για τα προσεχή έτη. Ο αριθμός των επεξεργαστών σε ενσωματωμένα συστήματα ήδη υπερβαίνει τον αριθμό των επεξεργαστών στους προσωπικούς υπολογιστές (PCs) και η τάση αυτή αναμένεται να συνεχιστεί. Σύμφωνα με τις προβλέψεις, το μέγεθος του ενσωματωμένου λογισμικού θα αυξηθεί επίσης με μεγάλο ποσοστό. Μια άλλη έκφραση του νόμου του Moore είχε προβλέψει:

Για πολλά προϊόντα στον τομέα της ευρείας κατανάλωσης ηλεκτρονικών ειδών, το ποσό του κώδικα διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια [10]. Η αυξανόμενη σημασία των ενσωματωμένων συστημάτων αντικατοπτρίζεται επίσης στην έκθεση του Εθνικού Συμβουλίου Ερευνών των ΗΠΑ [1]. Σύμφωνα με την εισαγωγή αυτής της έκθεσης, 'Η τεχνολογία των πληροφοριών είναι στα πρόθυρα μιας άλλης επανάστασης. ...δικτυωμένα συστήματα ενσωματωμένων υπολογιστών ...έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν ριζικά τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους συνδέοντας μεταξύ τους μια σειρά από συσκευές και αισθητήρες, που θα επιτρέψουν να συλλέγονται πληροφορίες, να μοιράζονται και να υποβάλλονται σε επεξεργασία με πρωτοφανείς τρόπους. ...Η χρήση ...σε ολόκληρη την κοινωνία θα μπορούσε κάλλιστα να επισκιάσει προηγούμενα ορόσημα της επανάστασης της πληροφορίας'.

Στατιστικά στοιχεία σχετικά με το μέγεθος της αγοράς των ενσωματωμένων συστημάτων μπορούν να βρεθούν σε σχετικές ιστοσελίδες. Ιστοσελίδες, όπως "Τα γεγονότα της τεχνολογίας των πληροφοριών (Information technology, IT)" [11] επιδεικνύουν τη σημασία της αγοράς των ενσωματωμένων συστημάτων. Το μέγεθος της αγοράς των ενσωματωμένων συστημάτων μπορεί να αναλυθεί από μια ποικιλία προοπτικών. Πολλοί από τους ενσωματωμένους επεξεργαστές είναι 8-bit επεξεργαστές, αλλά παρόλα αυτά, ακόμη και η πλειοψηφία του συνόλου των επεξεργαστών των 32-bit περιλαμβάνονται σε ενσωματωμένα συστήματα [12]. Ήδη από το 1996, υπολογίστηκε ότι ο μέσος Αμερικανός έρχονταν σε επαφή με 60 μικροεπεξεργαστές ανά ημέρα [13]. Ορισμένα αυτοκίνητα πολυτελείας περιέχουν περισσότερους από 100 επεξεργαστές¹. Αυτοί οι αριθμοί είναι πολύ μεγαλύτεροι από ότι είναι τυπικά αναμενόμενο, δεδομένου ότι οι περισσότεροι άνθρωποι δεν συνειδητοποιούν ότι χρησιμοποιούν επεξεργαστές. Η σημασία των ενσωματωμένων συστημάτων αναφέρθηκε επίσης και από τη δημοσιογράφο Margaret Ryan [14]:

"...τα ενσωματωμένα τσιπς αποτελούν τη ραχοκοκαλιά του κόσμου που χρησιμοποιεί ηλεκτρονικά και στον οποίο ζούμε. ...είναι μέρος σχεδόν όλων των προϊόντων που λειτουργούν με ηλεκτρισμό".

¹ Σύμφωνα με προσωπική επικοινωνία.

Σύμφωνα με ένα μεγάλο αριθμό προβλέψεων, η αγορά των ενσωματωμένων συστημάτων θα είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι η αγορά για τα συστήματα προσωπικών υπολογιστών.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (National Science Foundation) υποστηρίζει την έρευνα σχετικά τα κυβερνοφυσικά συστήματα [1]. Στην Ευρώπη, το Έκτο και το Έβδομο Πρόγραμμα Πλαίσιο [15] υποστηρίζουν την έρευνα και την ανάπτυξη των ενσωματωμένων συστημάτων. Επίσης, η κοινοπραξία ARTEMIS [16] δημιουργήθηκε ως συνεργασία δημόσιου/ιδιωτικού τομέα μεταξύ των κυβερνητικών οργανισμών και των επιχειρήσεων, προκειμένου να προωθήσει την έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα των ενσωματωμένων υπολογιστών. Αυτή η πρωτοβουλία καταδεικνύει το τεράστιο ενδιαφέρον του Ευρωπαϊκού εμπορικού τομέα για αυτή την τεχνολογία. Παρόμοιες πρωτοβουλίες υπάρχουν επίσης και σε άλλες ηπείρους.

Αυτή η σημασία των ενσωματωμένων/κυβερνοφυσικών συστημάτων δεν αντικατοπτρίζεται μέχρι στιγμής σε πολλά από τα τρέχοντα προγράμματα σπουδών. Αυτό το βιβλίο προορίζεται ως βοήθημα για την αλλαγή αυτής της κατάστασης. Παρέχει το υλικό για μια πρώτη επαφή σε αυτά τα συστήματα. Ως εκ τούτου, έχει σχεδιαστεί ως εγχειρίδιο διδασκαλίας. Ωστόσο, παρέχει περισσότερες αναφορές από τα τυπικά βιβλία και επίσης συμβάλλει στη μορφοποίηση της συγκεκριμένης περιοχής. Ως εκ τούτου, το βιβλίο αυτό θα είναι επίσης πολύ χρήσιμο για τους καθηγητές και τους μηχανικούς. Για τους φοιτητές, η παράθεση μιας πλούσιας βιβλιογραφίας διευκολύνει την πρόσβαση σε σχετικές πηγές πληροφόρησης.

Ακροατήριο για αυτό το βιβλίο

Αυτό το βιβλίο προορίζεται για το ακόλουθο κοινό:

- Φοιτητές στην επιστήμη των υπολογιστών (computer science, CS), των μηχανικών ηλεκτρονικών υπολογιστών (computer engineer, CE) και των ηλεκτρολόγων μηχανικών (electrical engineer, E.E.), καθώς και φοιτητές σε άλλους τομείς που σχετίζονται με τις ΤΠΕ (ICT), οι οποίοι θα ήθελαν να ειδικευτούν στα ενσωματωμένα/κυβερνοφυσικά συστήματα. Το βιβλίο είναι κατάλληλο για τους φοιτητές του τρίτου έτους που ήδη έχουν μια βασική γνώση του υλικού - εξοπλισμού (hardware) και του λογισμικού (software) των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτό σημαίνει ότι το βιβλίο απευθύνεται κυρίως σε τελειόφοιτους φοιτητές. Ωστόσο, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε μεταπτυχιακό επίπεδο, εάν ο σχεδιασμός ενσωματωμένων συστημάτων δεν αποτελεί μέρος του προπτυχιακού προγράμματος. Το βιβλίο αυτό έχει ως στόχο να προετοιμάσει το έδαφος για πιο προχωρημένα θέματα που θα πρέπει να καλύπτονται από μεταγενέστερα μαθήματα. Το βιβλίο προϋποθέτει μια βασική γνώση της επιστήμης των υπολογιστών. Οι φοιτητές των ηλεκτρολόγων μηχανικών (E.E.) θα πρέ-

πει να διαβάσουν πρόσθετο υλικό, προκειμένου να κατανοήσουν πλήρως τα θέματα αυτού του βιβλίου. Αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι κάποιο υλικό που καλύπτεται σε αυτό το βιβλίο μπορεί να είναι ήδη γνωστό στους φοιτητές των ηλεκτρολόγων μηχανικών (Ε.Ε.).

- Μηχανικοί οι οποίοι έχουν ήδη εργαστεί σε συστήματα υλικού και οι οποίοι θέλουν να μετακινηθούν προς την κατεύθυνση του λογισμικού των ενσωματωμένων συστημάτων. Αυτό το βιβλίο παρέχει αρκετό υπόβαθρο για να κατανοήσουν τις σχετικές τεχνικές δημοσιεύσεις.
- Υποψήφιοι διδάκτορες που θα ήθελαν να λάβουν μια γρήγορη, ευρεία επισκόπηση των βασικών εννοιών στην τεχνολογία των ενσωματωμένων συστημάτων πριν από την εστίαση τους σε ένα συγκεκριμένο τομέα έρευνας.
- Καθηγητές που σχεδιάζουν ένα νέο πρόγραμμα σπουδών για τα ενσωματωμένα συστήματα.

Ένταξη των ενσωματωμένων συστημάτων στο πρόγραμμα σπουδών

Δυστυχώς, τα ενσωματωμένα συστήματα καλύπτονται επιφανειακά στην τελευταία έκδοση του Προγράμματος Σπουδών Πληροφορικής, όπως δημοσιεύεται από την ACM και την IEEE Computer Society [17]. Ωστόσο, ο αυξανόμενος αριθμός των αιτημάτων οδηγεί στην ανάγκη περισσότερης εκπαίδευσης σε αυτόν τον τομέα. Αυτή η εκπαίδευση θα πρέπει να βοηθήσει να ξεπεραστούν οι περιορισμοί των διαθέσιμων τεχνολογιών σχεδιασμού που υπάρχουν αυτή τη στιγμή για τα ενσωματωμένα συστήματα. Για παράδειγμα, υπάρχει ακόμη η ανάγκη για καλύτερες γλώσσες περιγραφής, μοντέλα, εργαλεία δημιουργίας υλοποιήσεων από τις προδιαγραφές, τους επικυρωτές χρονισμού, το λογισμικό του συστήματος, τα λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου, τις τεχνικές σχεδιασμού χαμηλής ισχύος και τεχνικές σχεδιασμού για αξιόπιστα συστήματα. Αυτό το βιβλίο θα βοηθήσει στη διδασκαλία θεμελιωδών ζητημάτων και θα είναι ένα γερό θεμέλιο για την έναρξη μεγαλύτερης έρευνας στο πεδίο.

Περιοχές που καλύπτονται σε αυτό το βιβλίο

Το βιβλίο αυτό καλύπτει το υλικό, καθώς και τις πτυχές του λογισμικού των ενσωματωμένων συστημάτων. Είναι σύμφωνο με τις κατευθυντήριες γραμμές του ARTIST για τα προγράμματα σπουδών: *Η ανάπτυξη των ενσωματωμένων συστημάτων δεν μπορεί να αγνοήσει τα βασικά χαρακτηριστικά του υποκείμενου υλικού.* Ο

χρονισμός, η χρήση μνήμης, η κατανάλωση ενέργειας και οι φυσικές αστοχίες είναι σημαντικές' [18].

Το βιβλίο εστιάζει στις θεμελιώδεις βάσεις του λογισμικού και του υλικού. Τα συγκεκριμένα προϊόντα και εργαλεία αναφέρονται μόνο εάν έχουν εξαιρετικά χαρακτηριστικά. Επίσης, αυτό συμβαδίζει με τις κατευθυντήριες γραμμές του ARTIST: *'Φαίνεται ότι οι θεμελιώδεις βάσεις είναι πραγματικά δύσκολες να αποκτηθούν κατά τη διάρκεια της συνεχούς κατάρτισης, εάν δεν έχουν κατακτηθεί αρχικά και πρέπει να επικεντρωθούμε σε αυτές.'* [18]. Κατά συνέπεια, το βιβλίο αυτό πηγαίνει πέρα από τη διδασκαλία του ενσωματωμένου σχεδιασμού του συστήματος μέσω του προγραμματισμού των μικρο-ελεγκτών. Με την προσέγγιση αυτή, θα θέλαμε να βεβαιωθούμε ότι η διδασκόμενη ύλη δεν θα είναι πάρα πολύ σύντομα ξεπερασμένη. Οι έννοιες που καλύπτονται σε αυτό το βιβλίο θα πρέπει να είναι σχετικές για τα επόμενα χρόνια.

Η προτεινόμενη τοποθέτηση του τρέχοντος βιβλίου στα προγράμματα σπουδών της επιστήμης των υπολογιστών και της μηχανικής υπολογιστών εξηγείται σε μία δημοσίευση [19]. Ένας βασικός στόχος αυτού του βιβλίου είναι να παρέχει μια γενική εικόνα του σχεδιασμού των ενσωματωμένων συστημάτων και να συσχετίσει τα πιο σημαντικά θέματα στο σχεδιασμό των ενσωματωμένων συστημάτων μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο, αποφεύγεται ένα πρόβλημα που αναφέρεται στις κατευθυντήριες γραμμές του ARTIST: *'Η έλλειψη ωριμότητας του πεδίου οδηγεί σε μια μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών πρακτικών, συχνά λόγω των πολιτιστικών συνθηκών. ...τα προγράμματα σπουδών ...επικεντρώνονται σε μια τεχνική και δεν παρουσιάζουν επαρκώς μια ευρεία προοπτική. ...Ως αποτέλεσμα, η βιομηχανία δυσκολεύεται να βρει κατάλληλα εκπαιδευμένους μηχανικούς, που έχουν πλήρη γνώση των επιλογών σχεδιασμού'* [18].

Το βιβλίο αναμένεται επίσης να συμβάλει στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ των πρακτικών εμπειριών του προγραμματισμού μικρο-ελεγκτών (micro-controllers) και των πιο θεωρητικών θεμάτων. Επιπλέον, θα πρέπει να παρακινήσει τους φοιτητές και τους εκπαιδευτικούς να δουν περισσότερες λεπτομέρειες. Ενώ, το βιβλίο καλύπτει μια σειρά θεμάτων λεπτομερώς, άλλα καλύπτονται μόνο εν συντομία. Αυτές οι σύντομες ενότητες έχουν συμπεριληφθεί προκειμένου να φέρουν στο προσκήνιο μια σειρά από σχετικά θέματα. Ακόμη, η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στους καθηγητές να έχουν τις κατάλληλες συνδέσεις ιστού στο βιβλίο για την προσθήκη συμπληρωματικού υλικού της επιλογής τους. Το βιβλίο περιλαμβάνει περισσότερες αναφορές από ότι συνήθως υπάρχουν στα βιβλία διδασκαλίας. Έτσι, το βιβλίο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα εκμάθησης, παρέχοντας δείκτες για πρόσθετη ανάγνωση. Τέτοιες αναφορές του βιβλίου μπορούν επίσης να ωφελήσουν κατά τη διάρκεια των εργαστηρίων, των εργασιών και των ανεξάρτητων μελετών, καθώς και αποτελέσουν ένα σημείο εκκίνησης για έρευνα.

Πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με το βιβλίο μπορεί να ληφθούν από την ακόλουθη ιστοσελίδα:

<http://ls12-www.cs.tu-dortmund.de/~marwedel/es-book>.

Αυτή η σελίδα περιλαμβάνει συνδέσεις με τις διαφάνειες, τα εργαλεία προσομοίωσης, τις διορθώσεις σφαλμάτων και άλλο σχετικό υλικό. Οι αναγνώστες που ανακαλύπτουν λάθη ή όποιος θα ήθελε να κάνει παρατηρήσεις σχετικά με το πώς να βελτιωθεί το βιβλίο² θα πρέπει να στείλει ένα e-mail στη διεύθυνση:

peter.marwedel at tu-dortmund.de

Οι εργασίες θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιήσουν τις πληροφορίες συμπληρωματικών βιβλίων (π.χ. [20], [21] και [22]).

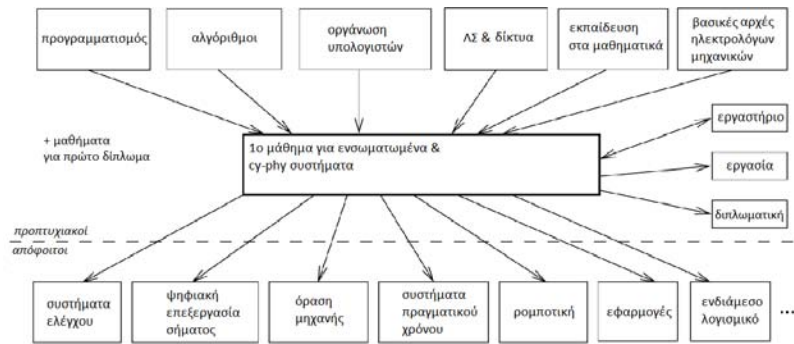
Προαπαιτούμενα

Το βιβλίο προϋποθέτει μια βασική κατανόηση σε διάφορους τομείς:

- ηλεκτρικά δίκτυα σε επίπεδο λυκείου (π.χ. νόμοι του Kirchhoff),
- τελεστικοί ενισχυτές (προαιρετικό),
- οργάνωση υπολογιστή, για παράδειγμα στο επίπεδο του εισαγωγικού βιβλίου από τους J.L. Hennessy και D.A. Patterson [23],
- θεμελιώδη ψηφιακά κυκλώματα, όπως πύλες και καταχωρητές,
- προγραμματισμός ηλεκτρονικών υπολογιστών (συμπεριλαμβανομένων των θεμελιωδών γνώσεων της μηχανικής λογισμικού),
- βασικές αρχές της λειτουργίας των συστημάτων,
- μηχανές πεπερασμένων κατασκευών,
- μια κάποια πρώτη εμπειρία με τον προγραμματισμό των μικρο-ελεγκτών (micro-controllers),
- θεμελιώδεις μαθηματικές έννοιες (όπως πλειάδες, ολοκληρώματα και γραμμικές εξισώσεις) και είναι επιθυμητή η γνώση στατιστικής και σειρών Fourier,
- αλγόριθμοι (διαγράμματα αλγορίθμων και αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, όπως διακλάδωση και όρια),
- η έννοια της NP-πληρότητας.

Οι προϋποθέσεις αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μαθήματα, όπως φαίνεται στην πρώτη γραμμή της εικόνας 0.2.

² Σμ.Μ. Ο συγγραφέας αναφέρεται στο αγγλικό βιβλίο



Σχήμα 0.2. Η τοποθέτηση των θεμάτων αυτού του βιβλίου

Πρόσθετη συνιστώμενη διδασκαλία

Για να χρησιμοποιηθεί αυτό το βιβλίο σε ένα μάθημα, θα πρέπει να συμπληρωθεί από ένα ενδιαφέρον εργαστήριο, χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, μικρά ρομπότ, όπως τα Lego MindstormsTM ή παρόμοια ρομπότ. Μια άλλη επιλογή είναι να αφήσουμε τους φοιτητές να αποκτήσουν κάποια πρακτική εμπειρία με εργαλεία μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων.

Το βιβλίο θα πρέπει να συμπληρωθεί με την παρακολούθηση μεταγενέστερων μαθημάτων παρέχοντας μια πιο εξειδικευμένη γνώση σε ορισμένες από τις ακόλουθες περιοχές (βλ. την υποσημείωση της εικόνας 0.2)³.

- συστήματα ελέγχου,
- ψηφιακή επεξεργασία σήματος,
- μηχανική όραση,
- συστήματα πραγματικού χρόνου, λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου και προγραμματισμό,
- ενδιάμεσα επίπεδα λογισμικού (middleware)
- τομείς εφαρμογής όπως οι τηλεπικοινωνίες, η αυτοκινητοβιομηχανία, ο ιατρικός εξοπλισμός και τα έξυπνα σπίτια,
- ρομποτική,
- αισθητήρες και ενεργοποιητές,
- γλώσσες προδιαγραφών για τα ενσωματωμένα συστήματα,

³ Ο διαχωρισμός ανάμεσα σε προπτυχιακές και μεταπτυχιακές σπουδές μπορεί να διαφοροποιείται ανάμεσα στα Πανεπιστήμια

- βοηθητικά εργαλεία σχεδιασμού με υπολογιστή για την εφαρμογή σε συγκεκριμένο υλικό-εξοπλισμό (hardware),
- τυπική επαλήθευση των συστημάτων υλικού,
- δοκιμή των συστημάτων υλικού και λογισμικού,
- αξιολόγηση της επίδοσης των συστημάτων υπολογιστών,
- τεχνικές σχεδιασμού χαμηλής ισχύος,
- την ασφάλεια και την αξιοπιστία των συστημάτων πληροφορικής,
- η πανταχού παρουσία του υπολογιστή,
- αντίκτυπος των ενσωματωμένων συστημάτων.

Ιστορία του βιβλίου

Η πρώτη έκδοση αυτού του βιβλίου δημοσιεύθηκε το 2003. Ο τομέας των ενσωματωμένων συστημάτων κινείται γρήγορα και έκτοτε έχουν καταστεί διαθέσιμα πολλά νέα αποτελέσματα. Επίσης, υπάρχουν περιοχές για τις οποίες έχει μετατοπιστεί η έμφαση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, έγινε επιθυμητή μια πιο λεπτομερής επεξεργασία του θέματος. Νέες εξελίξεις έχουν λάβει χώρα από τότε που η πρώτη γερμανική έκδοση του βιβλίου εκδόθηκε το 2007. Ως εκ τούτου, κατέστη αναγκαίο να δημοσιευθεί μια σημαντική νέα Αγγλική έκδοση, η τρέχουσα δεύτερη έκδοση.

Τα ονόματα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το βιβλίο, χωρίς καμία αναφορά σε πνευματικά δικαιώματα ή εμπορικά σήματα μπορούν να συνεχίζουν να προστατεύονται νομικά.

Παρακαλώ απολαύστε την ανάγνωση του βιβλίου!

Dortmund (Γερμανία), Αύγουστος 2010

Peter Marwedel

Αυτό το βιβλίο είναι αφιερωμένο
στα μέλη της οικογένειάς μου
Veronika, Malte,
Gesine, και Ronja

Ευχαριστίες

Στους διδακτορικούς φοιτητές μου, ιδίως τον Lars Wehmeyer, που έκανε εξαιρετική δουλειά στη διόρθωση μιας προκαταρκτικής έκδοσης αυτού του βιβλίου. Επίσης, οι φοιτητές που παρακολουθούν τα μαθήματά μου, μου παρείχαν πολύτιμη βοήθεια. Οι διορθώσεις προερχόταν από τους David Hec, Thomas Wiederkehr, Thorsten Wilmer και Henning Garus. Επιπλέον, οι ακόλουθοι συνάδελφοι και οι φοιτητές έδωσαν σχόλια ή υποδείξεις που ενσωματώθηκαν σε αυτό το βιβλίο: R. Domer, N. Dutt (UC Irvine), A. B. Kahng (UC San Diego), W. Kluge, R. von Hanxleden (U. Kiel), P. Buchholz, M. Engel, H. Krumm, O. Spinczyk (TU Dortmund), W. Muller, F. Rammig (U. Paderborn), W. Rosenstiel (U. Tubingen), L. Thiele (ETH Ζυρίχης), και R. Wilhelm (Πανεπιστήμιο του Saarland). Υλικό από τα ακόλουθα πρόσωπα χρησιμοποιήθηκε για να προετοιμάσει αυτό βιβλίο: G.C. Buttazzo, D. Gajski, R. Gupta, J. P. Hayes, H. Kopetz, R. Leupers, R. Niemann, W. Rosenstiel, H. Takada, L. Thiele, και R. Wilhelm. Οι διδακτορικοί φοιτητές της ομάδας μου συνέβαλαν στις εργασίες που περιλαμβάνονται σε αυτό το βιβλίο. Φυσικά, ο συγγραφέας έχει την ευθύνη για όλα τα λάθη και τις παραλήψεις.

Αναγνωρίζω την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής μέσω των έργων MORE, Artist2, ArtistDesign, HiPEAC (2), PREDATOR, MNEMEE και MADNESS, τα οποία παρείχαν ένα άριστο πλαίσιο για τη σύνταξη της δεύτερης έκδοσης αυτού του βιβλίου.

Το βιβλίο έχει παραχθεί με τη χρήση του συστήματος ρύθμισης LATEXtype από το πρόγραμμα TeXnicCenter. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συγγραφείς αυτού του λογισμικού για τη συμβολή τους στο έργο αυτό.

Ευχαριστίες απευθύνονται επίσης σε όλους εκείνους που έχουν υπομονετικά αποδεχθεί τον πρόσθετο φόρτο εργασίας του συγγραφέα κατά τη διάρκεια συγγραφής αυτού του βιβλίου και τους συνεργάτες που συνέδραμαν τόσο επαγγελματικά όσο και προσωπικά στην υλοποίησή του.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εταιρεία Springer υποστήριξε την έκδοση του βιβλίου. Η υποστήριξή τους ήταν αμέριστη κατά τη διάρκεια της συγγραφής αυτού του βιβλίου.