

Θέτοντας τις βάσεις

1 Η μεγάλη εικόνα

Το επίπεδο πληροφοριών

- 2 Δυναδικές τιμές και αριθμητικά συστήματα
- 3 Αναπαράσταση δεδομένων

Το επίπεδο υλικού

- 4 Πύλες και κυκλώματα
- 5 Στοιχεία πληροφορικής

Το επίπεδο προγραμματισμού

- 6 Γλώσσες προγραμματισμού χαμηλού επιπέδου και ψευδοκώδικας
- 7 Επίλυση προβλημάτων και αλγόριθμοι
- 8 Αφηρημένοι τύποι δεδομένων και υποπρογράμματα
- 9 Αντικειμενοστρεφής σχεδιασμός και γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου

Το επίπεδο λειτουργικών συστημάτων

- 10 Λειτουργικά συστήματα
- 11 Συστήματα αρχείων και κατάλογοι

Το επίπεδο εφαρμογών

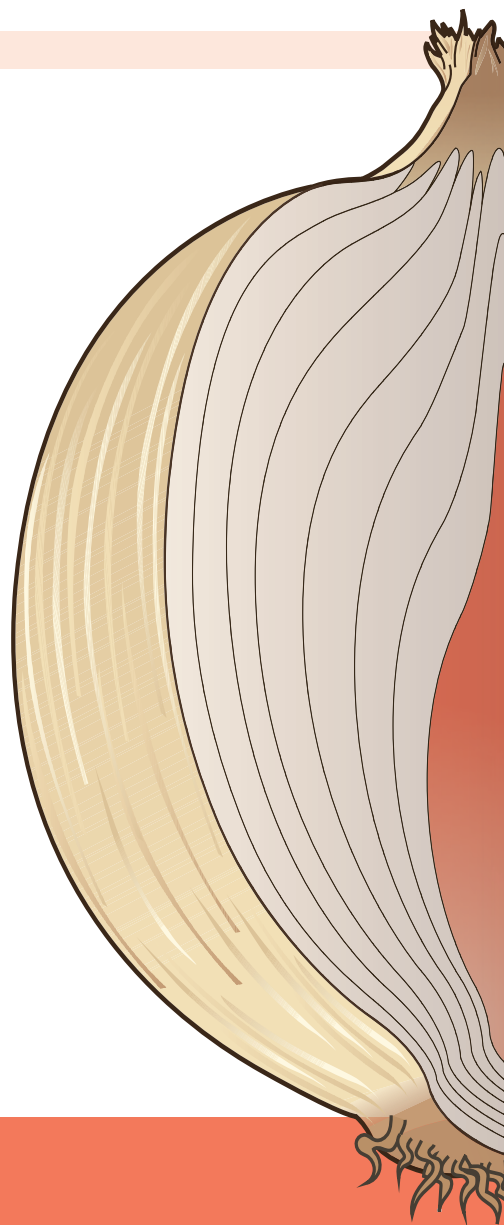
- 12 Συστήματα πληροφοριών
- 13 Τεχνητή νοημοσύνη
- 14 Προσομοίωση, γραφικά, παιχνίδια και άλλες εφαρμογές

Το επίπεδο επικοινωνιών

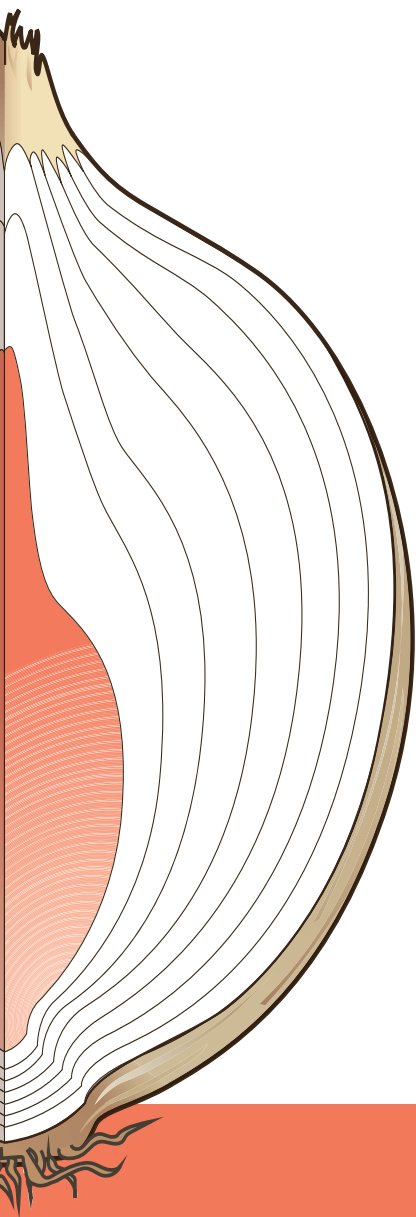
- 15 Δίκτυα
- 16 Ο Παγκόσμιος Ιστός
- 17 Ασφάλεια υπολογιστών

Συμπέρασμα

- 18 Περιορισμοί της πληροφορικής



ΘΕΤΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΒΑΣΕΙΣ



1 Η ΜΕΓΑΛΗ ΕΙΚΟΝΑ

Το βιβλίο αυτό είναι ο ξεναγός σας στον κόσμο της πληροφορικής. Εξερευνούμε πώς λειτουργούν οι υπολογιστές – τι κάνουν και πώς το κάνουν, από όλες τις απόψεις. Όπως μια ορχήστρα, ένα σύστημα υπολογιστή αποτελεί τη συλλογή πολλών διαφορετικών στοιχείων, τα οποία συνδυάζονται για να διαμορφώσουν ένα σύνολο πολύ μεγαλύτερο από το άθροισμα των μερών του. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε τη μεγάλη εικόνα, κάνοντας μια εισαγωγή στα στοιχεία που θα αναλύσουμε διεξοδικά στο βιβλίο και προσεγγίζοντάς τα μέσω μιας ιστορικής προοπτικής.

Υλικό, λογισμικό, προγραμματισμός, περιήγηση στον Ιστό και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο: όροι που μάλλον τους γνωρίζετε καλά. Ορισμένοι από εσάς μπορείτε να ορίσετε με ακρίβεια αυτούς και πολλούς ακόμα όρους που έχουν σχέση με τους υπολογιστές, ενώ άλλοι μπορεί να τους κατανοείτε με έναν αόριστο και διαισθητικό τρόπο. Με αυτό το κεφάλαιο, όλοι οι αναγνώστες θα φτάσουν στο ίδιο επίπεδο, μαθαίνοντας την κοινή ορολογία και δημιουργώντας την εξέδρα από την οποία θα βουτήξουμε για να εξερευνήσουμε τον ωκεανό της πληροφορικής.

ΣΤΟΧΟΙ

Αφού μελετήσετε αυτό το κεφάλαιο, θα είστε σε θέση:

- Να περιγράφετε τα επίπεδα ενός υπολογιστικού συστήματος.
- Να περιγράφετε την έννοια της αφαίρεσης και της σχέσης της με την πληροφορική.
- Να περιγράφετε την ιστορία του υλικού και του λογισμικού υπολογιστών.
- Να περιγράφετε τον μεταβαλλόμενο ρόλο του χρήστη υπολογιστών.
- Να διακρίνετε τους προγραμματιστές συστημάτων από τους προγραμματιστές εφαρμογών.
- Να διακρίνετε την πληροφορική ως εργαλείο από την πληροφορική ως επιστημονικό κλάδο.

1.1 Υπολογιστικά συστήματα

Υπολογιστικό σύστημα

Υλικό, λογισμικό και δεδομένα υπολογιστή που αλληλεπιδρούν για να δίνονται λύσεις σε προβλήματα

Υλικό υπολογιστή

Τα φυσικά στοιχεία ενός υπολογιστικού συστήματος

Λογισμικό υπολογιστή

Τα προγράμματα τα οποία παρέχουν τις εντολές που εκτελεί ένας υπολογιστής

Σε αυτό το βιβλίο εξερευνούμε διάφορες πτυχές των υπολογιστικών συστημάτων. Σημειώστε ότι χρησιμοποιούμε τον όρο *υπολογιστικό σύστημα* αντί του απλούστερου όρου *υπολογιστής*. Ο υπολογιστής είναι μια συσκευή. Αντίθετα, **υπολογιστικό σύστημα** είναι μια δυναμική οντότητα που χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων και αλληλεπιδρά με το περιβάλλον της. Ένα υπολογιστικό σύστημα αποτελείται από υλικό, λογισμικό και τα δεδομένα που διαχειρίζονται. Το **υλικό υπολογιστή** είναι η συλλογή των φυσικών στοιχείων που αποτελούν τη μηχανή και τα σχετικά με αυτή μέρη: κουτιά, μητρικές κάρτες, τσιπ, καλώδια, μονάδες δίσκων, πληκτρολόγια,

οθόνες, εκτυπωτές κ.ά. Το **λογισμικό υπολογιστή** είναι η συλλογή προγραμμάτων τα οποία παρέχουν τις οδηγίες που εκτελεί ένας υπολογιστής. Στην καρδιά ενός υπολογιστικού συστήματος βρίσκονται οι πληροφορίες που διαχειρίζεται το σύστημα. Χωρίς δεδομένα, το υλικό και το λογισμικό είναι ουσιαστικά άχρηστα.

Οι γενικοί στόχοι αυτού του βιβλίου είναι τρεις:

- Να σας παρέχει μια στέρεη, ευρεία κατανόηση της λειτουργίας ενός υπολογιστικού συστήματος.
- Να σας βοηθήσει να εκτιμήσετε και να κατανοήσετε την εξέλιξη των σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων.
- Να σας παρέχει αρκετές πληροφορίες για την πληροφορική, ώστε να μπορείτε να αποφασίσετε αν επιθυμείτε να προχωρήσετε σε αυτόν τον κλάδο.

Η υπόλοιπη ενότητα εξηγεί πώς μπορούμε να χωρίσουμε τα υπολογιστικά συστήματα σε αφηρημένα επίπεδα και πώς κάθε επίπεδο διαδραματίζει έναν ρόλο. Η επόμενη ενότητα θέτει την ανάπτυξη του λογισμικού και του υλικού των υπολογιστικών συστημάτων σε ένα ιστορικό πλαίσιο. Αυτό το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια συζήτηση για την πληροφορική, τόσο ως εργαλείο όσο και ως επιστημονικό πεδίο.

Επίπεδα ενός υπολογιστικού συστήματος

Ένα υπολογιστικό σύστημα είναι σαν ένα κρεμμύδι, καθώς αποτελείται από πολλά επίπεδα. Κάθε επίπεδο διαδραματίζει έναν συγκεκριμένο ρόλο στον συνολικό σχεδιασμό του συστήματος. Αυτά τα επίπεδα απεικονίζονται στο **ΣΧΗΜΑ 1.1** και διαμορφώνουν τη γενική οργάνωση του βιβλίου. Αυτή είναι η «μεγάλη εικόνα» στην οποία θα ανατρέχουμε σταθερά καθώς εξερευνούμε διαφορετικές πτυχές υπολογιστικών συστημάτων.

Σπάνια –ή ποτέ– θα δαγκώνετε ένα κρεμμύδι όπως θα δαγκώνετε ένα μήλο. Αντίθετα, ανοίγετε το κρεμμύδι αφαιρώντας τα στρώματά του που σχηματίζουν ομόκεντρους κύκλους. Ομοίως, σε αυτό το βιβλίο εξερευνούμε τις πτυχές της πληροφορικής κατά ένα

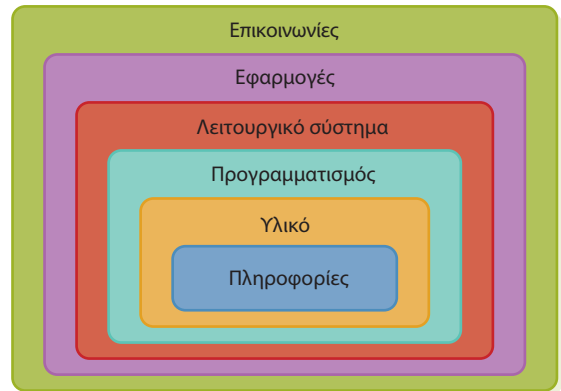
στρώμα, ή επίπεδο εν προκειμένω, κάθε φορά. Ξεφλουδίζουμε κάθε επίπεδο ξεχωριστά και το μελετάμε ανεξάρτητα. Κάθε επίπεδο, όταν υποβληθεί σε ανεξάρτητη μελέτη, δεν είναι ιδιαίτερα περίπλοκο. Ο υπολογιστής μάλιστα εκτελεί μόνο πολύ απλές εργασίες – απλώς το κάνει τόσο εξαιρετικά γρήγορα, που δίνεται η δυνατότητα να συνδυαστούν πολλές απλές εργασίες, ώστε να ολοκληρωθούν μεγαλύτερες και πιο περίπλοκες εργασίες. Όταν συγκεντρώνονται τα διαφορετικά επίπεδα του υπολογιστή και συνδυάζονται, με το καθένα να διαδραματίζει τον δικό του ρόλο, τα αποτελέσματα είναι εκπληκτικά.

Θα περιγράψουμε εν συντομία αυτά τα επίπεδα και θα υποδείξουμε σε ποιο σημείο του βιβλίου τα διερευνούμε πιο αναλυτικά. Ουσιαστικά θα ακολουθήσουμε μια πορεία από μέσα προς τα έξω, εφαρμόζοντας μια προσέγγιση που αναφέρεται ενίοτε ως *προσέγγιση από κάτω προς τα πάνω*.

Το πιο εσωτερικό επίπεδο, το επίπεδο της πληροφορίας, αντανακλά τον τρόπο με τον οποίο αναπαριστούμε τις πληροφορίες σε έναν υπολογιστή. Από πολλές πλευρές, αυτό το επίπεδο είναι αμιγώς θεωρητικό. Η διαχείριση των πληροφοριών σε έναν υπολογιστή γίνεται χρησιμοποιώντας δυαδικά ψηφία, 1 και 0. Επομένως, για να γίνει κατανοητή η επεξεργασία που εκτελούν οι υπολογιστές, πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητό το δυαδικό αριθμητικό σύστημα και η σχέση του με άλλα αριθμητικά συστήματα (όπως το δεκαδικό σύστημα, δηλαδή αυτό που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας). Στη συνέχεια, θα στρέψουμε την προσοχή μας στον τρόπο με τον οποίο μετατρέπουμε τους αμέτρητους τύπους πληροφοριών που διαχειριζόμαστε – αριθμούς, κείμενο, εικόνες, ήχο και βίντεο – σε δυαδική μορφή. Τα Κεφάλαια 2 και 3 πραγματεύονται αυτά τα ζητήματα.

Το επόμενο επίπεδο, το επίπεδο υλικού, αποτελείται από τα φυσικά εξαρτήματα ενός υπολογιστικού συστήματος. Το υλικό υπολογιστή περιλαμβάνει συσκευές, όπως πύλες και κυκλώματα, οι οποίες ελέγχουν θεμελιωδώς τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό το βασικό ηλεκτρονικό κύκλωμα επιτρέπει τη χρήση εξειδικευμένων εξαρτημάτων υλικού, όπως την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (ΚΜΕ – CPU) και τη μνήμη του υπολογιστή. Στα Κεφάλαια 4 και 5 του βιβλίου εξετάζονται αναλυτικά αυτά τα θέματα.

Το επίπεδο προγραμματισμού ασχολείται με το λογισμικό, δηλαδή τις εντολές που χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση υπολογισμών και τη διαχείριση δεδομένων. Τα προγράμματα λαμβάνουν πολλές μορφές, μπορούν να εκτελεστούν σε πολλά επίπεδα και υλοποιούνται σε πολλές γλώσσες. Παρά όμως την τεράστια ποικιλία θεμάτων και ζητημάτων που καλείται να αντιμετωπίσει ο προγραμματισμός, ο στόχος παραμένει ο ίδιος: η επίλυση προβλημάτων. Τα Κεφάλαια 6 έως 9 εξερευνούν πολλά ζητήματα που έχουν σχέση με τον προγραμματισμό και τη διαχείριση δεδομένων.



ΣΧΗΜΑ 1.1 Τα επίπεδα ενός υπολογιστικού συστήματος

Κάθε υπολογιστής διαθέτει λειτουργικό σύστημα (OS, operating system), που συμβάλλει στη διαχείριση των πόρων του υπολογιστή. Τα λειτουργικά συστήματα, όπως είναι τα Windows, Mac OS ή Linux, μας βοηθούν να αλληλεπιδρούμε με το υπολογιστικό σύστημα και να διαχειριζόμαστε τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν συσκευές υλικού, προγράμματα και δεδομένα. Για να κατανοήσει κανείς γενικά τον υπολογιστή, είναι εξαιρετικά σημαντικό να γνωρίζει τι κάνει ένα λειτουργικό σύστημα. Αυτά τα θέματα περιγράφονται στα Κεφάλαια 10 και 11.

Τα προηγούμενα (εσωτερικά) επίπεδα επικεντρώνονται στο πώς θα κάνουν το υπολογιστικό σύστημα να λειτουργεί. Αντίθετα, το επίπεδο εφαρμογών εστιάζει στη χρήση του υπολογιστή για την επίλυση συγκεκριμένων υπαρκτών προβλημάτων. Εκτελούμε προγράμματα εφαρμογών για να αξιοποιήσουμε τις ικανότητες του υπολογιστή σε άλλους τομείς, όπως στον σχεδιασμό ενός κτιρίου ή στην αναπαραγωγή βίντεο. Το φάσμα των εργαλείων του ειδικού λογισμικού υπολογιστή είναι ευρύ και περιλαμβάνει συγκεκριμένες πτυχές της πληροφορικής, όπως συστήματα πληροφοριών, τεχνητή νοημοσύνη και προσομοίωση. Τα συστήματα εφαρμογών περιγράφονται στα Κεφάλαια 12, 13 και 14.

Οι υπολογιστές βέβαια δεν υφίστανται σε κενό, στο γραφείο κάποιου. Χρησιμοποιούμε την τεχνολογία των υπολογιστών για να επικοινωνούμε και αυτή η επικοινωνία είναι ένα θεμελιώδες επίπεδο στο οποίο λειτουργούν τα υπολογιστικά συστήματα. Οι υπολογιστές συνδέονται και σχηματίζουν δίκτυα έτσι ώστε να μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες και πόρους. Το Internet (το διαδίκτυο) εξελίχθηκε σε ένα παγκόσμιο δίκτυο και δεν υπάρχει πλέον σχεδόν κανένα σημείο στη Γη στο οποίο να μην μπορείτε να φτάσετε με την τεχνολογία της πληροφορικής. Ο Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web) διευκολύνει αυτή την επικοινωνία, καθώς έχει αλλάξει ριζικά τη χρήση των υπολογιστών και εξαπλώνεται στο ευρύ κοινό. Η υπολογιστική νέφος (cloud) είναι η θεωρία που υποστηρίζει ότι οι ανάγκες μας για πληροφορική μπορούν να τύχουν διαχείρισης από πόρους που βρίσκονται σε διάφορα μέρη στο Internet (στο cloud) και όχι σε τοπικούς υπολογιστές. Στα Κεφάλαια 15 και 16 αναλύονται αυτά τα σημαντικά ζητήματα της επικοινωνίας των υπολογιστών.

Η χρήση της τεχνολογίας της πληροφορικής μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα αυξημένους κινδύνους ασφάλειας. Κάποια ζητήματα ασφάλειας αντιμετωπίζονται σε χαμηλά επίπεδα μέσω ενός υπολογιστικού συστήματος. Πολλά όμως από αυτά αναδεικνύουν την ανάγκη που υπάρχει να διατηρούμε ασφαλή τα προσωπικά μας δεδομένα. Στο Κεφάλαιο 17 διερευνώνται αρκετά από αυτά τα ζητήματα.

Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του βιβλίου εστιάζει σε όσα μπορεί να κάνει ένας υπολογιστής και στο πώς τα κάνει. Ολοκληρώνουμε το βιβλίο με μια συζήτηση για όσα ένας υπολογιστής *δεν μπορεί* να κάνει ή, τουλάχιστον, δεν μπορεί να κάνει καλά. Οι υπολογιστές έχουν κάποιους εγγενείς περιορισμούς ως προς την ικανότητά τους να αναπαριστούν πληροφορίες και οι ικανότητές τους είναι ανάλογες της ποιότητας του προγραμματισμού τους. Επιπλέον, αποδεικνύεται ότι ορισμένα προβλήματα δεν επιδέχονται λύση. Στο Κεφάλαιο 18 εξετάζονται αυτοί οι περιορισμοί των υπολογιστών.

Μερικές φορές είναι εύκολο να εστιάσουμε τόσο στις λεπτομέρειες, ώστε χάνουμε

τη μεγάλη εικόνα. Μην το ξεχνάτε αυτό όσο προχωράτε στο βιβλίο. Η πρώτη σελίδα κάθε κεφαλαίου σας θυμίζει σε ποιο σημείο βρισκόμαστε στα διάφορα επίπεδα ενός υπολογιστικού συστήματος. Όλες οι επιμέρους λεπτομέρειες προσθέτουν ένα κομμάτι στο παζλ. Ακολουθήστε κάθε βήμα με τη σειρά και θα εκπλαγείτε όταν θα ανακαλύψετε πόσο καλά ταιριάζουν όλα.

Αφαίρεση

Τα επίπεδα ενός υπολογιστικού συστήματος που αναφέραμε παραπάνω αποτελούν παραδείγματα αφαίρεσης. Η **αφαίρεση** είναι ένα νοητό μοντέλο, ένας τρόπος θεωρητικής προσέγγισης μιας οντότητας με τον οποίο αφαιρούνται ή αποκρύπτονται οι περίπλοκες λεπτομέρειες. Η αφαίρεση περιλαμβάνει τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την επίτευξη του στόχου και αποκλείει τις πληροφορίες που θα περιέπλεκαν τα πράγματα χωρίς να χρειάζεται. Όταν ασχολούμαστε με έναν υπολογιστή σε ένα επίπεδο, δεν χρειάζεται να μας απασχολούν οι λεπτομέρειες των υπόλοιπων επιπέδων. Για παράδειγμα, όταν γράφουμε ένα πρόγραμμα, δεν πρέπει να μας ενδιαφέρει με ποιον τρόπο θα εκτελέσει τις εντολές το υλικό. Ομοίως, όταν εκτελούμε ένα πρόγραμμα εφαρμογής, δεν χρειάζεται να μας απασχολεί ο τρόπος με τον οποίο γράφτηκε το πρόγραμμα.

Πολλά πειράματα έχουν δείξει ότι ένας άνθρωπος μπορεί να διαχειριστεί ενεργά περίπου επτά (συν πλην δύο, ανάλογα με το άτομο) πληροφορίες στη βραχυπρόθεσμη μνήμη κάθε φορά. Αυτό ορίζεται από τον νόμο του Miller, από τον ψυχολόγο που ασχολήθηκε αρχικά με το συγκεκριμένο ζήτημα.¹ Άλλες πληροφορίες είναι διαθέσιμες για εμάς όταν τις χρειαζόμαστε, αλλά, όταν εστιάζουμε σε μια νέα πληροφορία, κάτι άλλο υποβαθμίζεται σε δευτερεύουσα κατάσταση.

Αυτή η έννοια είναι παρόμοια με τον αριθμό από τις μπάλες τις οποίες μπορεί να διατηρήσει στον αέρα ένας ζογκλέρ. Οι άνθρωποι μπορούν να χειριστούν νοητά περίπου επτά μπάλες ταυτόχρονα και, όταν πιάνουμε μία καινούργια, πρέπει να αφήσουμε να πέσει μία από τις παλιές. Το επτά μπορεί να φαίνεται μικρός αριθμός, αλλά κάθε μπάλα μπορεί να αναπαραστήσει μία αφαίρεση, δηλαδή μία πληροφορία. Με άλλα λόγια, κάθε μπάλα που χειριζόμαστε συμβολίζει ένα σύνθετο ζήτημα, με την προϋπόθεση ότι μπορούμε να το σκεφτούμε ως μία ιδέα.

Βασίζομαστε στις αφαιρέσεις κάθε ημέρα της ζωής μας. Για παράδειγμα, δεν χρειάζεται να γνωρίζουμε πώς λειτουργεί ένα αυτοκίνητο για να πάμε με αυτό για ψώνια. Για την ακρίβεια, δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις λεπτομέρειες της λειτουργίας του κινητήρα. Αρκεί να γνωρίζουμε

Αφαίρεση

Ένα νοητό μοντέλο που αφαιρεί περίπλοκες λεπτομέρειες



Ανατυπώνεται με άδεια του Dan Piraro. Επισκεφτείτε το <https://bizarro.com/>



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 Ο κινητήρας ενός αυτοκινήτου και η αφαίρεση που μας επιτρέπει να τον χρησιμοποιούμε

© aospan/Shutterstock; © Syda Productions/Shutterstock

κάποια βασικά για το πώς αλληλεπιδρούμε με το αυτοκίνητο: τι κάνουν τα πετάλια, τα διάφορα κουμπιά και το τιμόνι. Ταυτόχρονα, δεν χρειάζεται καν να σκεφτόμαστε όλα αυτά τα πράγματα. Βλ. **ΕΙΚΟΝΑ 1.1**.

Ακόμα όμως κι αν γνωρίζουμε πώς λειτουργεί ένας κινητήρας, δεν χρειάζεται να το σκεφτόμαστε αυτό ενώ οδηγούμε. Φανταστείτε να έπρεπε να σκεφτόμαστε διαρκώς, ενώ οδηγούμε, πώς το μπουζί προκαλεί τον σπινθήρα που απαιτείται για την καύση του μείγματος αέρα-καυσίμου με την οποία ξεκινά η λειτουργία των πιστονιών που κινούν τον στροφαλοφόρο άξονα. Δεν θα ξεκινούσαμε καν! Ένα αυτοκίνητο είναι εξαιρετικά περίπλοκο για να σκεφτούμε κάθε επιμέρους σύστημά του ταυτόχρονα. Όλες οι τεχνικές λεπτομέρειες θα δημιουργούσαν ένα βουνό από μπάλες τις οποίες δεν θα μπορούσαμε να χειριστούμε μαζί. Αφού όμως αφαιρέσουμε διάφορα στοιχεία για να καταλήξουμε στον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούμε με αυτό, μπορούμε να το χειριστούμε ως ενιαία οντότητα. Οι άσχετες λεπτομέρειες παραλείπονται, τουλάχιστον προς στιγμήν.

Απόκρυψη πληροφοριών

Τεχνική για την απομόνωση τμημάτων ενός προγράμματος, απαλείφοντας την ικανότητα ενός τμήματος να προσπελάσει πληροφορίες που βρίσκονται σε άλλο τμήμα

Η **απόκρυψη πληροφοριών** είναι μια έννοια που σχετίζεται με την αφαίρεση. Ένας προγραμματιστής υπολογιστών προσπαθεί συχνά να απαλείψει την ανάγκη ή την ικανότητα ενός τμήματος ενός προγράμματος να προσπελάσει πληροφορίες που βρίσκονται σε άλλο τμήμα. Αυτή η τεχνική διατηρεί τα τμήματα του προγράμματος απομονωμένα μεταξύ τους, μειώνοντας έτσι τα σφάλματα και συμβάλλοντας στην κατανόηση κάθε επιμέρους τμήματος. Η αφαίρεση εστιάζει στην εξωτερική εικόνα – στον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται ένα στοιχείο και στον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούμε με αυτό. Η απόκρυψη πληροφοριών είναι ένα χαρακτηριστικό του σχεδιασμού που παρέχει τη δυνατότητα να έχουμε αφαιρέσεις που διευκολύνουν την εργασία με κάποιο στοιχείο. Η απόκρυψη πληροφοριών και η αφαίρεση είναι δύο πλευρές του ίδιου νομίσματος.

Η αφηρημένη τέχνη είναι ακόμα ένα παράδειγμα αφαίρεσης. Ένας πίνακας αφηρημένης τέχνης αναπαριστά κάτι χωρίς να πνίγεται στις λεπτομέρειες της πραγματι-

Η αφηρημένη τέχνη είναι ακόμα ένα παράδειγμα αφαίρεσης. Ένας πίνακας αφηρημένης τέχνης αναπαριστά κάτι χωρίς να πνίγεται στις λεπτομέρειες της πραγματι-

κότητας. Μελετήστε τον πίνακα της **ΕΙΚΟΝΑΣ 1.2**, με τίτλο *Γυμνό που κατεβαίνει τη σκάλα*. Μπορείτε να δείτε μόνο το ίχνος της γυναίκας και της σκάλας, επειδή ο καλλιτέχνης δεν ενδιαφέρεται για τις λεπτομέρειες της εικόνας της γυναίκας ή της σκάλας. Αυτές οι λεπτομέρειες είναι άσχετες με το αποτέλεσμα που προσπαθεί να δημιουργήσει ο καλλιτέχνης. Οι ρεαλιστικές λεπτομέρειες μάλιστα θα εμπόδιζαν την προβολή των σημείων που ο καλλιτέχνης θεωρεί ότι είναι σημαντικά.

Η αφαίρεση είναι το κλειδί για την πληροφορική. Τα επίπεδα ενός υπολογιστικού συστήματος ενσωματώνουν την έννοια της αφαίρεσης. Και οι αφαιρέσεις εξακολουθούν να εμφανίζονται μέσα στα επιμέρους επίπεδα με διάφορους τρόπους. Μπορείτε να διακρίνετε μάλιστα την αφαίρεση σε ολόκληρη την εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων, όπως θα δούμε στην επόμενη ενότητα.



ΕΙΚΟΝΑ 1.2 Ο Marcel Duchamp συζητά για το έργο του αφηρημένης τέχνης *Γυμνό που κατεβαίνει τη σκάλα*
© CBS/Landov

1.2 Η ιστορία της πληροφορικής

Τα ιστορικά θεμέλια της πληροφορικής εξηγούν σε μεγάλο βαθμό γιατί τα υπολογιστικά συστήματα του σήμερα έχουν σχεδιαστεί με τον συγκεκριμένο τρόπο. Η παρούσα ενότητα είναι μια ιστορία της οποίας οι χαρακτήρες και τα γεγονότα οδήγησαν στο πού βρισκόμαστε σήμερα και διαμόρφωσαν τη βάση για το συναρπαστικό μέλλον που έρχεται. Εξετάζουμε την ιστορία του υλικού και του λογισμικού ξεχωριστά, επειδή καθένα έχει ξεχωριστό αντίκτυπο στο πώς εξελίχθηκαν τα υπολογιστικά συστήματα στο διαστρωματωμένο μοντέλο που χρησιμοποιούμε ως σκελετό του βιβλίου.

Αυτή η ιστορία έχει γραφτεί με τη μορφή αφήγησης, χωρίς καμία πρόθεση να καθορίσει επίσημα τις έννοιες που περιγράφονται. Σε επόμενα κεφάλαια θα ανατρέξουμε σε αυτές τις έννοιες ώστε να τις διερευνήσουμε λεπτομερώς.

Μια σύντομη ιστορία του υλικού υπολογιστών

Οι συσκευές που βοηθούν τους ανθρώπους σε διάφορες μορφές υπολογισμών έχουν τις ρίζες τους στην αρχαιότητα και συνεχίζουν να εξελίσσονται μέχρι σήμερα. Θα παρακολουθήσουμε μια σύντομη ξενάγηση στην ιστορία του υλικού υπολογιστών.

Πέρα από όλα τα όνειρα

«Ποιος μπορεί να παραβλέψει τις συνέπειες μιας τέτοιας εφεύρεσης; Η αναλυτική μηχανή υφαίνει αλγεβρικά μοτίβα ακριβώς όπως ο αργαλειός του Jacquard υφαίνει λουλούδια και φύλλα. Η μηχανή μπορούσε να συνθέσει περίπλοκα και επιστημονικά κομμάτια μουσικής οποιουδήποτε βαθμού πολυπλοκότητας ή έκτασης».

—Ada, Κόμησσα
του Lovelace, 1843²

Πρώιμη ιστορία

Πολλοί άνθρωποι πιστεύουν ότι το Στόουνχεντζ, η διάσημη συγκέντρωση μονόλιθων στη Μεγάλη Βρετανία, είναι μια πρώιμη μορφή ημερολογίου ή αστρολογικού υπολογιστή. Ο *άβακας*, ο οποίος εμφανίστηκε τον 16ο αιώνα π.Χ., δημιουργήθηκε ως ένα όργανο που καταγράφει αριθμητικές τιμές και με το οποίο οι άνθρωποι μπορούν να κάνουν βασικές αριθμητικές πράξεις.

Στα μέσα του 17ου αιώνα, ο γάλλος μαθηματικός Blaise Pascal κατασκεύαζε και πωλούσε μηχανικές συσκευές οι οποίες λειτουργούσαν με γρανάζια και εκτελούσαν πρόσθεση και αφαίρεση ολόκληρων αριθμών. Αργότερα τον ίδιο αιώνα, ο γερμανός μαθηματικός Got-

tfried Wilhelm von Leibniz κατασκεύασε την πρώτη μηχανική συσκευή που σχεδιάστηκε ώστε να εκτελεί και τις τέσσερις πράξεις με ολόκληρους αριθμούς: πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό και διαίρεση. Δυστυχώς, η κατάσταση των μηχανικών γραναζιών και μοχλών εκείνη την εποχή ήταν τέτοια, που δεν επέτρεπε στη μηχανή του Leibniz να έχει μεγάλη αξιοπιστία.

Στα τέλη του 18ου αιώνα, ο Joseph Jacquard δημιούργησε μια μηχανή που ονομά-

Το Στόουνχεντζ εξακολουθεί να είναι ένας μυστικιστικός τόπος

Το Στόουνχεντζ, μια νεολιθική λίθινη κατασκευή που αναδύεται με μεγαλοπρέπεια στο οροπέδιο Salisbury Plain στην Αγγλία, συναρπάζει τους ανθρώπους εδώ και αιώνες. Θεωρείται ότι η κατασκευή του διήρκεσε πολλούς αιώνες, ξεκινώντας περίπου το 2180 π.Χ. Ο σκοπός του εξακολουθεί να αποτελεί μυστήριο, παρά τις πολλές θεωρίες που έχουν διατυπωθεί. Στο θερινό ηλιοστάσιο, ο ήλιος που ανατέλλει εμφανίζεται πίσω από έναν από τους κύριους λίθους, δίνοντας την εντύπωση ότι ισορροπεί στον λίθο. Αυτό το γεγονός οδήγησε στην πρώιμη θεωρία ότι το Στόουνχεντζ ήταν ναός. Μια άλλη θεωρία, η οποία εμφανίστηκε αρχικά στα μέσα του 20ού αιώνα, είναι ότι το Στόουνχεντζ ενδεχομένως χρησιμοποιούνταν ως αστρονομικό ημερολόγιο, υποδεικνύοντας τις ευθυγραμμίσεις Σελήνης και Ήλιου. Υπάρχει επίσης μια τρίτη θεωρία που υποστηρίζει ότι το



vencacolrab/iStock/Thinkstock

Στόουνχεντζ χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των εκλείψεων. Μεταγενέστερη έρευνα έδειξε ότι το Στόουνχεντζ χρησιμοποιήθηκε επίσης ως κοιμητήριο.³ Έχουν βρεθεί ανθρώπινα λείψανα περίπου από το 3000 π.Χ. έως το 2500 π.Χ., όταν αναστηλώθηκαν οι πρώτοι μεγάλοι λίθοι. Ανεξάρτητα από τον λόγο κατασκευής του, ο τόπος χαρακτηρίζεται από ένα ανεξήγητο μυστικιστικό στοιχείο.

στηκε *αργαλειός του Jacquard* και χρησιμοποιούνταν για ύφανση. Ο αργαλειός χρησιμοποιούσε μια σειρά καρτών με ανοιγμένες οπές που καθόριζαν τη χρήση συγκεκριμένων χρωματιστών νημάτων και, ως εκ τούτου, υπαγόρευαν το σχέδιο που θα υφαινόταν το ύφασμα. Παρόλο που δεν ήταν υπολογιστική μηχανή, ο αργαλειός του Jacquard ήταν η πρώτη μηχανή που χρησιμοποιούσε αυτό που αποτέλεσε μετέπειτα μια σημαντική μορφή εισόδου: τη διάτρητη κάρτα.

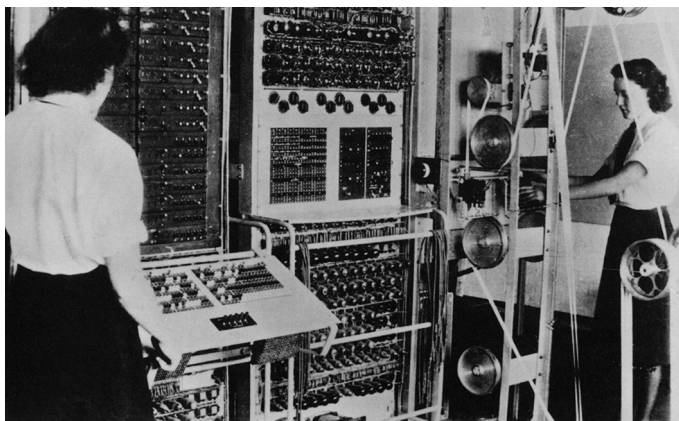
Το επόμενο μεγάλο βήμα στην πληροφορική καθυστέρησε και σημειώθηκε τον 19ο αιώνα, αυτή τη φορά από έναν βρετανό μαθηματικό. Ο Charles Babbage σχεδίασε τη λεγόμενη *αναλυτική μηχανή*. Το σχέδιο ήταν τόσο σύνθετο, που δεν μπορούσε να το υλοποιήσει με την τεχνολογία εκείνης της εποχής, με αποτέλεσμα να παραμείνει στα χαρτιά. Το όραμά του όμως περιλάμβανε πολλά από τα σημαντικά στοιχεία των σύγχρονων υπολογιστών. Το σχέδιο του Babbage ήταν το πρώτο που περιλάμβανε μνήμη, ώστε να μην είναι απαραίτητη η εκ νέου εισαγωγή ενδιάμεσων τιμών. Το σχέδιό του περιλάμβανε επίσης την είσοδο αριθμών και μηχανικών βημάτων, αξιοποιώντας διάτρητες κάρτες παρόμοιες με του αργαλειού του Jacquard.

Η Ada Augusta, Κόμηση του Lovelace, ήταν μια ρομαντική φιγούρα στην ιστορία της πληροφορικής. Η Ada, κόρη του άγγλου ποιητή Λόρδου Βύρωνα, ειδικευόταν στα μαθηματικά. Έδειξε ενδιαφέρον για το έργο του Babbage στην αναλυτική μηχανή και διέυρνε τις ιδέες του (διορθώνοντας παράλληλα κάποια λάθη του). Η Ada θεωρείται ο πρώτος προγραμματιστής. Η ιδέα του βρόχου – μια σειρά εντολών που επαναλαμβάνονται – αποδίδεται σε εκείνη. Η γλώσσα προγραμματισμού *Ada*, η οποία χρησιμοποιείται εκτεταμένα από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ, πήρε την ονομασία της από το όνομα της Ada.

Κατά το μεγαλύτερο μέρος του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ού, οι εξελίξεις στην πληροφορική είναι ραγδαίες. Ο William Burroughs παρήγαγε και πωλούσε μια μηχανική μηχανή πρόσθεσης. Ο Δρ. Herman Hollerith κατασκεύασε τον πρώτο ηλεκτρομηχανικό πινακοποιητή, μια διάταξη διαχωρισμού καρτελών που διάβαζε πληροφορίες από μια διάτρητη κάρτα. Η συσκευή του άλλαξε ριζικά τον τρόπο με τον οποίο γινόταν η απογραφή στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής κάθε δέκα έτη. Αργότερα ίδρυσε μια εταιρεία η οποία σήμερα είναι γνωστή ως IBM.

Το 1936, σημειώθηκε μια θεωρητική εξέλιξη που δεν είχε καμία σχέση με το υλικό αυτό καθαυτό, αλλά επηρέασε βαθιά τον κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών. Ο Alan M. Turing, ένας ακόμα βρετανός μαθηματικός, εφηύρε ένα αφαιρετικό μαθηματικό μοντέλο, τη *μηχανή Turing*, θέτοντας τις βάσεις για ένα μεγάλο πεδίο υπολογιστικής θεωρίας. Το βραβείο με το μεγαλύτερο κύρος που απονέμεται στον χώρο της πληροφορικής (αντίστοιχο του Μεταλλίου Fields στα μαθηματικά ή του Βραβείου Nobel σε άλλες επιστήμες) είναι το Βραβείο Turing. Η ταινία του 2014 *Το παιχνίδι της μίμησης* βασίζεται στη ζωή του Turing. Η ανάλυση των δυνατοτήτων των μηχανών Turing αποτελεί μέρος των θεωρητικών σπουδών όλων των φοιτητών της επιστήμης υπολογιστών.

Από τα μέσα έως τα τέλη της δεκαετίας του 1930 συνεχίζονται οι προσπάθειες για την κατασκευή μιας υπολογιστικής μηχανής σε όλο τον πλανήτη. Το 1937, ο George

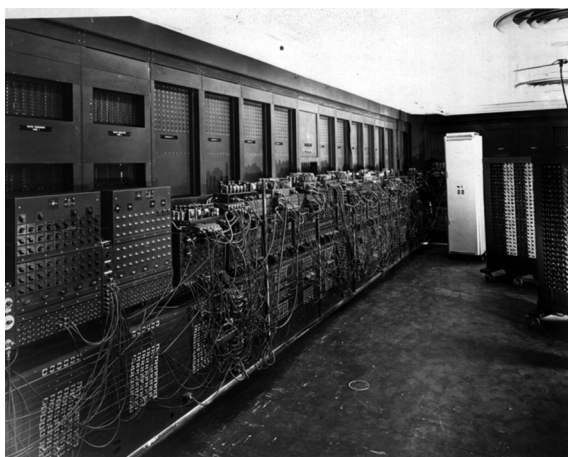


ΕΙΚΟΝΑ 1.3 Ο Κολοσσός, ο πρώτος πλήρως προγραμματίσιμος ψηφιακός υπολογιστής

© Pictorial Press Ltd/Alamy Stock Photo Images.

Μπορείτε να διαβάσετε τη βιογραφία του Konrad Zuse στο Κεφάλαιο 6.

Έως την έναρξη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, πολλοί υπολογιστές γενικής χρήσης βρίσκονταν στο στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής. Στο Λονδίνο το 1943, ο Thomas Flowers κατασκεύασε τον Κολοσσό (Colossus), τον οποίο μπορείτε να δείτε στην **ΕΙΚΟΝΑ 1.3**, και θεωρείται από πολλούς ο πρώτος πλήρως προγραμματίσιμος ηλεκτρονικός ψηφιακός υπολογιστής. Το 1944, ο IBM Automatic Sequence Controlled Calculator παραδόθηκε στο Harvard και έγινε αργότερα γνωστός ως *Harvard Mark I*. Ο ENIAC, ο οποίος απεικονίζεται στην **ΕΙΚΟΝΑ 1.4**, αποκαλύφθηκε το 1946. Ο John von Neumann, ο οποίος είχε εργαστεί ως σύμβουλος στο έργο ENIAC, ξεκίνησε την ανάπτυξη μιας άλλης μηχανικής, του *EDVAC*, που ολοκληρώθηκε το 1950. Το 1951, ο πρώτος εμπορικός υπολογιστής, UNIVAC I, παραδόθηκε στην Υπηρεσία Απογραφής των ΗΠΑ. Ο UNIVAC I ήταν ο πρώτος υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη του αποτελέσματος προεδρικών εκλογών στις Ηνωμένες Πολιτείες.⁴



ΕΙΚΟΝΑ 1.4 Ο ENIAC, ένας υπολογιστής της εποχής του Β' Παγκοσμίου Πολέμου

Ευγενική παραχώρηση του Αμερικανικού Στρατού.

Stibitz κατασκεύασε έναν δυαδικό αθροιστή με 1 bit, μια συσκευή που προσθέτει δυαδικά ψηφία χρησιμοποιώντας ηλεκτρονόμους (βλ. Κεφάλαιο 4). Αργότερα το ίδιο έτος, ο Claude E. Shannon δημοσίευσε μια εργασία για την υλοποίηση συμβολικής λογικής χρησιμοποιώντας ηλεκτρονόμους. Το 1938, ο Konrad Zuse κατασκεύασε τον πρώτο μηχανικό δυαδικό προγραμματίσιμο υπολογιστή.

Η ιστορία που ξεκίνησε με τον άβακα ολοκληρώθηκε με την παράδοση του UNIVAC I. Με την κατασκευή αυτής της μηχανής, πραγματοποιήθηκε το όνειρο της δημιουργίας μιας συσκευής που μπορούσε να χειριστεί αριθμούς πολύ γρήγορα. Κάποιοι ειδικοί προέβλεψαν τότε ότι ένας μικρός αριθμός υπολογιστών θα μπορούσε να αντιμετωπίσει τις υπολογιστικές ανάγκες του ανθρώπι-

Η μέτρηση προηγείται της γραφής

Προτού αρχίσουν οι άνθρωποι να χρησιμοποιούν τη γραφή για να μετρούν αντικείμενα, χρησιμοποιούσαν τριδιάστατα αντικείμενα διαφόρων ειδών. Για παράδειγμα, περίπου το 7500 π.Χ., οι αγρότες δημιούργησαν πήλινους μετρητές σε 12 σχήματα για να καταγράφουν καλύτερα τις ποσότητες των αγαθών τους. Ένας κώνος αντιπροσώπευε μια μικρή ποσότητα σιτηρών, μια σφαίρα μια μεγάλη ποσότητα σιτηρών και ένας κύλινδρος ένα ζώο. Τέσσερα μικρά μερίδια σιτηρών αντιστοιχούσαν σε τέσσερις κώνους. Περίπου 8.000 τέτοιες μεζούρες έχουν βρεθεί στην Παλαιστίνη, στη Μικρά Ασία, στη Συρία, στη Μεσοποταμία και στην Περσία.

Περίπου το 3500 π.Χ., μετά την επικράτηση των πόλεων-κρατών, οι διαχειριστές άρχισαν να χρησιμοποιούν πήλινες σφαίρες ως φακέλους για να τοποθετούν τις μεζούρες. Κάποιοι από αυτούς τους φακέλους φέρουν χαραξίες από τις μεζούρες που περιείχαν. Το επόμενο βήμα σημειώθηκε μεταξύ του 3300 και του 3200 π.Χ., όταν οι υπεύθυνοι για την τήρηση των αρχείων ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν μόνο το σύμβολο της μεζούρας που αναγραφόταν στις πήλινες σφαίρες, αφήνοντας στην άκρη τις ίδιες τις μεζούρες. Χρειάστηκε επομένως να περάσουν περίπου 4000

χρόνια για να γίνει η μετάβαση από τριδιάστατα αντικείμενα μέτρησης σε γραπτά σύμβολα.

Περίπου το 3100 π.Χ., καταγράφεται η χρήση γραφίδων για τη σχεδίαση των μεζουρών αντί της χάραξης των μεζουρών στους πίνακες. Αυτή η αλλαγή προκάλεσε την κατάργηση της αντιστοιχίας ένα προς ένα μεταξύ συμβόλου και αντικειμένου. Δέκα αμφορείς λαδιού συμβολίζονταν με έναν αμφορέα λαδιού και ένα σύμβολο του δέκα. Δεν δημιουργήθηκαν νέα σύμβολα για τους αφηρημένους αριθμούς, αλλά παλαιά σημάδια απέκτησαν νέο νόημα. Για παράδειγμα, το σύμβολο του κώνου, το οποίο παλαιότερα αναπαριστούσε μια μικρή ποσότητα σιτηρών, έγινε το σύμβολο για το «1» και η σφαίρα (μια μεγάλη ποσότητα σιτηρών) έφτασε να σημαίνει «10». Τώρα, 33 αμφορείς λαδιού μπορούσαν να αναπαρασταθούν ως $10 + 10 + 10 + 1 + 1 + 1$ και το σύμβολο για το «λάδι».

Αφού δημιουργήθηκαν αφηρημένα αριθμητικά σύμβολα, τα σύμβολα για τα αγαθά και τα σύμβολα για τους αριθμούς μπορούσαν να εξελιχθούν με διάφορους τρόπους. Για αυτό λέμε ότι η γραφή προέρχεται από τη μέτρηση.⁵

νου είδους. Αυτό που δεν είχαν συνειδητοποιήσει ήταν το γεγονός ότι η δυνατότητα εκτέλεσης γρήγορων υπολογισμών σε μεγάλες ποσότητες δεδομένων θα άλλαζε ριζικά την ίδια τη φύση των επιστημονικών πεδίων, όπως τα μαθηματικά, η φυσική, η μηχανική και η οικονομία. Με άλλα λόγια, οι υπολογιστές κατέστησαν τις εκτιμήσεις αυτών των ειδικών σχετικά με όσα χρήζουν υπολογισμών εντελώς άκυρες.⁶

Μετά το 1951, η ιστορία εξελίσσεται σε μια αενάως επεκτεινόμενη χρήση των υπολογιστών για την επίλυση προβλημάτων σε όλους τους τομείς. Από εκείνο το σημείο, η αναζήτηση δεν επικεντρώνεται μόνο στην κατασκευή ταχύτερων και μεγαλύτερων συσκευών, αλλά και στην ανάπτυξη εργαλείων που μας επιτρέπουν να χρησιμοποιούμε αυτές τις συσκευές πιο παραγωγικά. Η ιστορία του υλικού των υπολογιστών από



EΙΚΟΝΑ 1.5 Μια
λυχνία κενού
© SPbPhoto/Shutterstock

εκείνο το σημείο ταξινομείται σε πολλές «γενιές» ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται.

Πρώτη γενιά (1951-1959)

Οι εμπορικοί υπολογιστές της πρώτης γενιάς (περίπου από το 1951 έως το 1959) κατασκευάστηκαν με *λυχνίες κενού* για την αποθήκευση πληροφοριών. Οι λυχνίες κενού ή ηλεκτρονικές λυχνίες (μπορείτε να δείτε μία στην **EΙΚΟΝΑ 1.5**) παρήγαγαν υψηλή θερμότητα και δεν ήταν ιδιαίτερα αξιόπιστες. Οι μηχανές που τις χρησιμοποιούσαν απαιτούσαν συστήματα κλιματισμού υψηλής αντοχής και συχνή συντήρηση. Απαιτούσαν επίσης μεγάλα και ειδικά κατασκευασμένα δωμάτια.

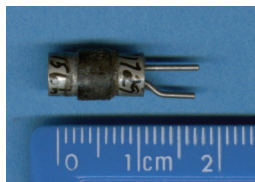
Η κύρια διάταξη μνήμης αυτής της πρώτης γενιάς υπολογιστών ήταν ένα *μαγνητικό τύμπανο* που περιστρεφόταν κάτω από μια κεφαλή ανάγνωσης/εγγραφής. Κατά την προσπέλαση ενός στοιχείου μνήμης, αυτό περιστρεφόταν κάτω από την κεφαλή ανάγνωσης/εγγραφής και τα δεδομένα εγγράφονταν σε αυτό το σημείο ή διαβάζονταν από αυτό το σημείο.

Η συσκευή εισόδου που χρησιμοποιούσαν αυτοί οι υπολογιστές ήταν μια συσκευή ανάγνωσης καρτών που διάβαζε τις οπές που είχαν ανοιχτεί σε μια κάρτα IBM (απόγονος της κάρτας του Hollerith). Η συσκευή εξόδου ήταν μια διάτρητη κάρτα ή ένας εκτυπωτής γραμμών. Έως το τέλος αυτής της γενιάς, είχαν αναπτυχθεί *μονάδες μαγνητικής ταινίας* που ήταν πολύ πιο γρήγορες από τους αναγνώστες καρτών. Οι μαγνητικές ταινίες είναι διατάξεις σειριακής αποθήκευσης, που σημαίνει ότι η προσπέλαση των δεδομένων της ταινίας πρέπει να γίνεται με γραμμικό τρόπο, το ένα μετά το άλλο.

Οι συσκευές αποθήκευσης που βρίσκονται εξωτερικά της μνήμης του υπολογιστή ονομάζονται *βοηθητικές διατάξεις αποθήκευσης*. Η μαγνητική ταινία ήταν η πρώτη τέτοια συσκευή. Συνολικά, οι διατάξεις εισόδου, εξόδου και βοηθητικής αποθήκευσης έγιναν γνωστές ως *περιφερειακές συσκευές*.

Δεύτερη γενιά (1959-1965)

Η έλευση του *τρανζίστορ* (για το οποίο οι John Bardeen, Walter H. Brattain και William B. Shockley κέρδισαν Βραβείο Nobel) έφερε τη δεύτερη γενιά εμπορικών υπολογιστών. Το τρανζίστορ αντικατέστησε τη λυχνία κενού ως κύριο εξάρτημα του υλικού. Το



EΙΚΟΝΑ 1.6 Ένα τρανζίστορ, το οποίο αντικατέστησε τη λυχνία κενού
Ευγενική παραχώρηση του Δρ. Andrew Wylie.

τρανζίστορ, το οποίο απεικονίζεται στην **EΙΚΟΝΑ 1.6**, ήταν μικρότερο, ταχύτερο, ανθεκτικότερο και οικονομικότερο.

Κατά τη διάρκεια της δεύτερης γενιάς εμφανίστηκε επίσης η μνήμη ενδιάμεσης πρόσβασης. Όταν προσπέλαζε πληροφορίες από ένα τύμπανο, η ΚΜΕ έπρεπε να περιμένει το κατάλληλο σημείο να περιστραφεί και να βρεθεί κάτω από την κεφαλή ανάγνωσης/εγγραφής. Η δεύτερη γενιά χρησιμοποιούσε μνήμη από *μαγνητικούς πυρήνες*, οι οποίοι ήταν πολύ μικρές συσκευές σε σχήμα ντόνατ και μπορούσαν να αποθηκεύσουν ένα bit πληροφοριών. Αυτοί οι πυρήνες δένονταν μεταξύ τους με καλώδια για

να σχηματίσουν στοιχεία τα οποία συνδυάζονταν σε μια μονάδα μνήμης. Επειδή η συσκευή δεν ήταν φορητή και η πρόσβαση σε αυτή γινόταν ηλεκτρονικά, οι πληροφορίες ήταν άμεσα διαθέσιμες.

Επίσης, κατά τη διάρκεια της δεύτερης γενιάς υλικού υπολογιστή αναπτύχθηκε ο *μαγνητικός δίσκος*, μια νέα βοηθητική συσκευή αποθήκευσης. Ο μαγνητικός δίσκος είναι ταχύτερος από τη μαγνητική ταινία επειδή κάθε στοιχείο δεδομένων μπορεί να προσπελαστεί απευθείας μέσω αναφοράς της θέσης του στον δίσκο. Αντίθετα από τις ταινίες οι οποίες δεν μπορούν να προσπελάσουν ένα στοιχείο δεδομένων χωρίς να προσπελάσουν όλα τα περιεχόμενα της ταινίας που προηγούνται αυτού, οι δίσκοι οργανώνονται έτσι ώστε κάθε δεδομένο να έχει το δικό του αναγνωριστικό θέσης, τη *διεύθυνση*. Οι κεφαλές ανάγνωσης/εγγραφής ενός μαγνητικού δίσκου μπορούν να μεταφερθούν απευθείας στη συγκεκριμένη θέση στον δίσκο στην οποία αποθηκεύεται η επιθυμητή πληροφορία.

Τρίτη γενιά (1965-1971)

Στη δεύτερη γενιά, τα τρανζίστορ και άλλα εξαρτήματα των υπολογιστών συναρμολογούνταν με το χέρι σε *πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος*. Η τρίτη γενιά χαρακτηριζόταν από τα *ολοκληρωμένα κυκλώματα* (integrated circuit, IC), συμπαγή κομμάτια πυριτίου που περιείχαν τα τρανζίστορ, άλλα εξαρτήματα και τις συνδέσεις τους. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα ήταν πολύ πιο μικρά, φθηνότερα, ταχύτερα και πιο αξιόπιστα από τις πλακέτες τυπωμένου κυκλώματος. Ο Gordon Moore, ένας από τους συνιδρυτές της Intel, σημείωσε ότι από την εποχή της εφεύρεσης του IC ο αριθμός των κυκλωμάτων που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα διπλασιαζόταν κάθε χρόνο. Αυτή η παρατήρηση έγινε γνωστή ως *νόμος του Moore*.⁷

Τα τρανζίστορ χρησιμοποιούνταν επίσης για την κατασκευή μνήμης, με κάθε τρανζίστορ να αναπαριστά ένα bit πληροφοριών. Η τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων επέτρεψε την κατασκευή καρτών μνήμης με τρανζίστορ. Οι βοηθητικές συσκευές αποθήκευσης εξακολουθούσαν να είναι αναγκαίες, επειδή η μνήμη των τρανζίστορ ήταν *πτητική*, που σημαίνει ότι οι πληροφορίες δεν διατηρούνταν όταν γινόταν απενεργοποίηση του υπολογιστή.

Το *τερματικό*, μια συσκευή εισόδου/εξόδου με πληκτρολόγιο και οθόνη, παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια αυτής της γενιάς. Το πληκτρολόγιο έδωσε στον χρήστη άμεση πρόσβαση στον υπολογιστή και η οθόνη παρείχε άμεση απόκριση.

Τέταρτη γενιά (1971-;)

Η τέταρτη γενιά χαρακτηρίζεται από την *ολοκλήρωση μεγάλης κλίμακας*. Από τις αρκετές χιλιάδες τρανζίστορ σε ένα τσιπ πυριτίου στις αρχές της δεκαετίας του 1970, μεταβήκαμε σε έναν ολόκληρο μικροϋπολογιστή σε ένα μικροκύκλωμα (τσιπ) έως τα μέσα αυτής της δεκαετίας. Οι συσκευές κύριας μνήμης εξακολουθούν να κατασκευάζονται σχεδόν αποκλειστικά βάσει της τεχνολογίας των τσιπ. Τα προηγούμενα 40 χρόνια, κάθε γενιά υλικού υπολογιστή αποκτούσε μεγαλύτερη ισχύ σε μικρότερο μέγεθος και με