

# 1

## Εισαγωγή

*Δεν υπάρχει αστυνομία για τη ζωγραφική—απλώς διασκεδάστε.*

—Valerie Kent

### 1.1 Σύντομη ιστορία

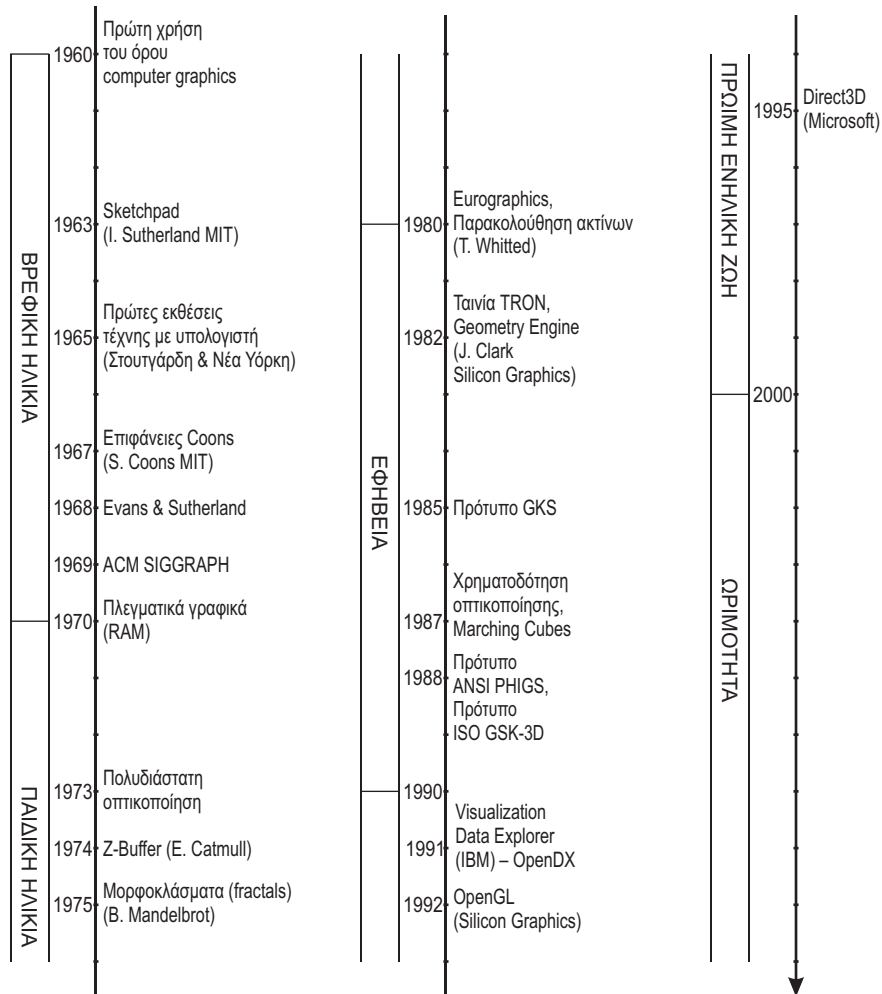
Από τις πέντε αισθήσεις μας, η όρασή μας είναι αυτή που προσπαθούμε να ικανοποιήσουμε τις περισσότερες φορές. Το σπίτι στο οποίο ζούμε, το αυτοκίνητο που οδηγούμε, ακόμη και τα ρούχα που φοράμε, επιλέγονται συχνά με βάση την οπτική τους ποιότητα. Αυτό δεν αποτελεί σύμπτωση, καθώς η όραση είναι η αίσθηση με τη μεγαλύτερη δυνατότητα μεταφοράς πληροφορίας και έτσι μας παρέχει γρηγορότερη προειδοποίηση για επικείμενους κινδύνους, ή για εκμεταλλεύσιμες ευκαιρίες, συγκριτικά με οποιαδήποτε άλλη αίσθηση.

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει μία επισκόπηση των ορόσημων στην ιστορία των γραφικών με υπολογιστή και της οπτικοποίησης, τα οποία αποτυπώνονται επίσης στο Σχήμα 1.1. Πολλές από τις έννοιες που εμφανίζονται για πρώτη φορά εδώ θα αναπτυχθούν σε επόμενες ενότητες αυτού του κεφαλαίου.

#### 1.1.1 Νηπιακή ηλικία

Η οπτική παρουσίαση χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες για την παροχή πληροφορίας, καθώς οι εικόνες είναι κατανοητές πολύ εύκολα από τους ανθρώπους — μία εικόνα αξίζει χίλιες λέξεις, όπως πολλοί λένε. Η ιστορία μας ξεκινά όταν ο ψηφιακός υπολογιστής πρωτοχρησιμοποιήθηκε για την παροχή οπτικής πληροφορίας. Ο όρος *γραφικά υπολογιστή (computer graphics)* γεννήθηκε γύρω στο 1960 για να περιγράψει την εργασία των ερευνητών που προσπαθούσαν να δημιουργήσουν διανυσματικές εικόνες χρησιμοποιώντας έναν ψηφιακό υπολογιστή. Η πρωτοποριακή εργασία του Ivan Sutherland, το σύστημα Sketchpad [Suth63] που δημιουργήθηκε στο MIT το 1963, αποτελούσε μία προσπάθεια για τη δημιουργία μίας αποτελεσματικής αμφίδρομης διαπαφής μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή. Έθεσε τη βάση για έναν αριθμό σημαντικών εννοιών που όρισαν το πεδίο αυτό, όπως:

- οι ιεραρχικές λίστες απεικόνισης,
- η διάκριση μεταξύ του χώρου των αντικειμένων και του χώρου της εικόνας,
- τα διαδραστικά γραφικά χρησιμοποιώντας φωτεινή γραφίδα (light pen).



Σχήμα 1.1: Ορόσημα στην ιστορία των γραφικών και της οπτικοποίησης.

Εκείνη την εποχή χρησιμοποιούνταν *διανυσματικές οθόνες*, οι οποίες απεικόνιζαν τυχόντα διανύσματα από μία *λίστα απεικόνισης* (*display list*), μία ακολουθία στοιχειωδών εντολών σχεδίασης. Το μήκος της λίστας απεικόνισης περιοριζόταν από τις απαιτήσεις ρυθμού ανανέωσης της τεχνολογίας απεικόνισης (βλ. Ενότητα 1.6.1).

Καθώς αυξανόταν το ενδιαφέρον για συνθετικές εικόνες, οι δύο πρώτες εκθέσεις τέχνης με υπολογιστή πραγματοποιήθηκαν το 1965 στη Στουτγάρδη και στη Νέα Υόρκη.

Το 1967 γεννήθηκε μία σημαντική έννοια μοντελοποίησης, η οποία θα έφερνε επανάσταση στη γεωμετρική σχεδίαση με υπολογιστή (*computer-aided geometric design – CAGD*). Οι *επιφάνειες Coons* [Coon67], οι οποίες αναπτύχθηκαν από τον Steven Coons του MIT, επέτρεπαν την κατασκευή σύνθετων επιφανειών από στοιχειώδη τμή-

ματα που μπορούσαν να συνδεθούν μεταξύ τους, παρέχοντας περιορισμούς συνέχειας στα σύνορά τους. Οι επιφάνειες Coons ήταν ο πρόδρομος των επιφανειών Bézier και B-spline που χρησιμοποιούνται σήμερα ευρέως στη γεωμετρική σχεδίαση με υπολογιστή.

Περίπου εκείνη την εποχή σχηματίστηκαν και οι πρώτες εταιρείες με αντικείμενο σχετικό με τα γραφικά με υπολογιστή. Σημειώνουμε ιδιαίτερα την Evans & Sutherland, η οποία ιδρύθηκε το 1968 και από τότε έχει επιτελέσει πολλές πρωτοποριακές συνεισφορές στα γραφικά και στην οπτικοποίηση.

Καθώς το ενδιαφέρον για το νέο πεδίο αυξανόταν στην ερευνητική κοινότητα, ιδρύεται το 1969 το σημαντικό συνέδριο ACM SIGGRAPH.

### 1.1.2 Παιδική ηλικία

Η εισαγωγή της — βασισμένης σε ημιαγωγούς — μνήμης τυχαίας προσπέλασης (RAM) γύρω στο 1970 επέτρεψε την κατασκευή των πρώτων *καταχωρητών πλαισίου εικόνας* (βλ. Ενότητα 1.5.2). Γεννήθηκαν έτσι οι *πλεγματικές οθόνες* και στη συνέχεια, τα *πλεγματικά γραφικά*. Ο καταχωρητής πλαισίου διαχώρισε τη δημιουργία μίας εικόνας από την ανανέωση της συσκευής απεικόνισης και επέτρεψε έτσι την παραγωγή πολύπλοκων συνθετικών εικόνων, όπως και επιφανειών γεμισμένων με χρώμα, η οποία δεν ήταν προηγουμένως εφικτή σε διανυσματικές οθόνες. Αυτή η εξέλιξη πυροδότησε το ενδιαφέρον για *φωτορεαλιστικούς αλγορίθμους*, οι οποίοι μπορούσαν να προσομοιώσουν την πραγματική εμφάνιση αντικειμένων, μία ερευνητική περιοχή η οποία παραμένει ενεργή από τότε.

Το 1973 έγινε μία πρώτη προσπάθεια για την οπτικοποίηση πολυδιάστατων συνόλων δεδομένων, τα οποία είναι δύσκολο να αντιληφθούμε, καθώς ο εγκέφαλός μας δεν είναι συνηθισμένος να αντιμετωπίζει περισσότερες από τρεις διαστάσεις. Ο Chernoff [Cher73] αντιστοίχισε διαστάσεις των δεδομένων σε χαρακτηριστικά του ανθρώπινου προσώπου, όπως το μήκος της μύτης ή η καμπυλότητα του στόματος, βασιζόμενος στην έμφυτη ικανότητα των ανθρώπων να «διαβάζουν» αποτελεσματικά ανθρώπινα πρόσωπα.

Ο Edward Catmull εισήγαγε τον *καταχωρητή βάθους (Z-buffer)* (βλ. Ενότητα 1.5.3) το 1974, ο οποίος θα έφερνε επανάσταση στην απομάκρυνση κρυμμένων επιφανειών κατά την κατασκευή συνθετικών εικόνων και θα γινόταν καθιερωμένο τμήμα των επιταχυντών γραφικών που χρησιμοποιούνται σήμερα πρακτικά σε όλους τους προσωπικούς υπολογιστές.

Το 1975, ο Benoit Mandelbrot [Mand75] εισήγαγε τα *μορφοκλάσματα (fractals)*, τα οποία είναι αντικείμενα μη ακέραιας διάστασης που διαθέτουν αυτο-ομοιότητα σε διάφορες κλίμακες. Τα μορφοκλάσματα χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για τη μοντελοποίηση φυσικών αντικειμένων και μοτίβων όπως δένδρα, φύλλα, ακτογραμμές και πολύ συχνά σε επιδείξεις οπτικοποιήσεων.

### 1.1.3 Εφηβεία

Στην Ευρώπη, το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα γραφικά με υπολογιστή οδήγησε στην ίδρυση της επιστημονικής εταιρείας Eurographics το 1980. Την ίδια χρονιά η πρωτότυπη εργασία [Whit80] του Turner Whitted έθεσε τη βάση για την παρακολούθηση ακτίνων. Η παρακολούθηση ακτίνων είναι μία κομψή τεχνική σύνθεσης εικόνας που ολοκληρώνει, στον ίδιο αλγόριθμο, την οπτικοποίηση επιφανειών ταξινομημένων σωστά ως προς το βάθος με περίπλοκα φαινόμενα φωτισμού όπως ανακλάσεις, διαθλάσεις και σκιές (βλ. Κεφάλαιο 15).

Το 1982 κυκλοφόρησε το *TRON*, η πρώτη ταινία που περιλάμβανε εκτεταμένη χρήση συνθετικών εικόνων. Την ίδια χρονιά, ο James Clark εισήγαγε την Geometry Engine [Clar82], μία ακολουθία μονάδων υλικού που αναλάμβανε τα γεωμετρικά στάδια της σωλήνωσης γραφικών (βλ. Ενότητα 1.4), επιταχύνοντας έτσι την εκτέλεσή τους και απελευθερώνοντας τον κεντρικό επεξεργαστή από το αντίστοιχο φορτίο. Αυτό οδήγησε στην ίδρυση μίας καινοτόμου εταιρείας, της Silicon Graphics (SGI), η οποία έγινε γνωστή για το επαναστατικό υλικό σύνθεσης εικόνων που κατασκεύασε καθώς και για τη βιβλιοθήκη IrisGL, πρόδρομο του προτύπου προγραμματισμού γραφικών OpenGL. Ανάλογες μονάδες υλικού χρησιμοποιούνται πλέον σε όλους τους επιταχυντές γραφικών.

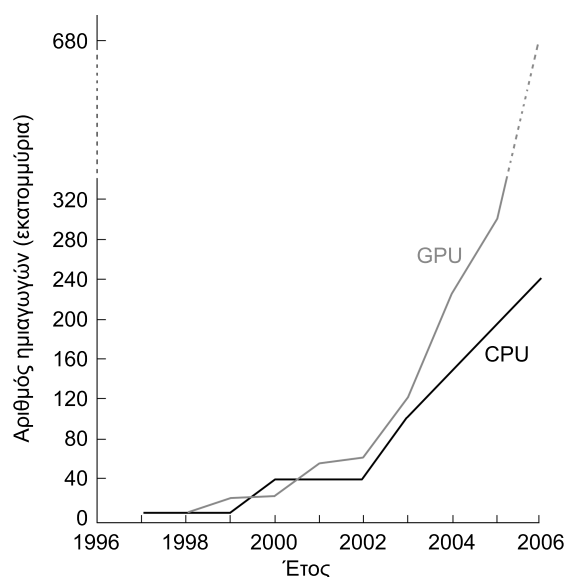
Η εξάπλωση της χρήσης της τεχνολογίας των γραφικών απαιτούσε την καθιέρωση προτύπων. Το πρώτο αξιοσημείωτο τέτοιο πρότυπο, το GKS (Graphical Kernel System), εμφανίστηκε το 1975. Επρόκειτο για ένα διδιάστατο πρότυπο που όπως ήταν αναμενόμενο, ακολουθήθηκε από τα τριδιάστατα πρότυπα ANSI PHIGS και ISO GKS-3D· και τα δύο το 1988.

Το 1987 ήταν ένα έτος ορόσημο για την οπτικοποίηση. Μια αναφορά από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών των Η.Π.Α. έθεσε τη βάση για την αναγνώριση και τη χρηματοδότηση του πεδίου. Την ίδια χρονιά εμφανίστηκε ένας κλασικός αλγόριθμος οπτικοποίησης, ο *marching cubes* [Lore87], ο οποίος έλυσε το πρόβλημα της οπτικοποίησης ανεπεξέργαστων τριδιάστατων δεδομένων μετατρέποντάς τα σε μοντέλα επιφανειών. Το 1987 ήταν επίσης σημαντικό για τη βιομηχανία των γραφικών, καθώς καθιερωμένες εταιρείες κατέρρευσαν και νέες εμφανίστηκαν.

Αυτή την περίοδο έγιναν ευρέως διαθέσιμοι διδιάστατοι επιταχυντές γραφικών (βλ. Ενότητα 1.6.1).

### 1.1.4 Πρώιμη ενήλικη ζωή

Κατά τη δεκαετία του 1990 εμφανίστηκαν προϊόντα που θα ενίσχυαν σημαντικά την εφαρμογή των γραφικών και της οπτικοποίησης. Η IBM εισήγαγε τον Visualization Data Explorer το 1991, ο οποίος ήταν παρόμοιος σε σύλληψη με το Application Visualization System (AVS) [Urso89] που είχε αναπτυχθεί από μία ομάδα εταιρειών κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1980. Ο Visualization Data Explorer μετεξελίχθηκε σε ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο ανοικτό σύστημα οπτικοποίησης με την ονομασία OpenDX [Open07a]. Τα συστήματα OpenDX και AVS επέτρεπαν σε μη προγραμματιστές να συνθέσουν προκαθορισμένες μονάδες λογισμικού για την εισαγωγή, μετατρο-



**Σχήμα 1.2:** Η άνοδος των επιταχυντών γραφικών: η μαύρη γραμμή δείχνει τον αριθμό ημιαγωγών που περιέχονται σε κεντρικούς επεξεργαστές (CPU) ενώ η γκριζα γραμμή δείχνει τον αριθμό ημιαγωγών σε επιταχυντές γραφικών (GPU).

πή και απεικόνιση — στατική ή κινούμενη — δεδομένων σε ένα επαναχρησιμοποιούμενο δίκτυο ροής δεδομένων, ενώ προγραμματιστές μπορούσαν να γράψουν τις δικές τους επαναχρησιμοποιήσιμες μονάδες.

Επίσης εμφανίστηκαν de facto πρότυπα γραφικών με τη μορφή διεπαφών προγραμματισμού (Application programming interfaces – APIs). Η SGI εισήγαγε την OpenGL [Open07b] το 1992 και η Microsoft ανέπτυξε το DirectX το 1995. Και τα δύο πρότυπα έγιναν πολύ δημοφιλή για τον προγραμματισμό γραφικών.

Κατά τα μέσα της δεκαετίας του 1990 εισήχθησαν μαζικά στην αγορά οι τριδιάστατοι επιταχυντές γραφικών.

### 1.1.5 Ωριμότητα

Στη νέα χιλιετία, ο ρυθμός ανάπτυξης των επιταχυντών γραφικών ξεπέρασε κατά πολύ αυτόν των κεντρικών επεξεργαστών (βλ. Σχήμα 1.2). Ωθούμενοι από τις αυξανόμενες ανάγκες της αγοράς παιχνιδιών στον υπολογιστή, οι επιταχυντές γραφικών συνεχώς προοικίζονταν με νέες δυνατότητες και γίνονταν πιο προσιτοί.

Αυτή την περίοδο, οι επιταχυντές τριδιάστατων γραφικών καθιερώνονται ως ένα αναπόσπαστο τμήμα κάθε προσωπικού υπολογιστή. Πολλές δημοφιλείς εφαρμογές λογισμικού τους απαιτούν. Οι ικανότητες των επιταχυντών γραφικών ενισχύθηκαν ενώ έφθινε η έννοια του εξειδικευμένου σταθμού εργασίας για γραφικά. Η δυνατότητα παραγωγής υψηλού επιπέδου συνθετικής εικόνας για τα γραφικά και την οπτικοποίηση είναι πλέον διαθέσιμη σε όλους.