

Αθανάσιος Δ. Στυλιάδης  
Diploma, M.Sc., Ph.D.  
Επισκέπτης Έρευνητής Πανεπιστημίου Μεμβούρνης



# ΓΡΑΦΙΚΑ

με ηλεκτρονικό  
υπολογιστή

(Computer Graphics)

Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα

**Αθανάσιος Δ. Στυλιάδης**

*Διπλ. Τοπογράφος Μηχανικός (ΑΠΘ, 1980)*

*M.Sc. Computer Science (Dundee, 1989)*

*Δρ. Μηχανικός CAD/GIS/Modeling (ΑΠΘ, 1997)*

Τηλ. 2310 456-610, 2310 276-717 (οικία)

Fax. 2310 456-610 (οικία)

Τηλ. 2310 791-297 (εργασία)

E-mail: styl@it.teithe.gr

Web: <http://www.it.teithe.gr/~styl>

ISBN 960-431-510-2

© Copyright: Αθανάσιος Δ. Στυλιάδης, Εκδόσεις Ζήτη, Μάρτιος 1999  
Ανατύπωση διορθωμένη: Σεπτέμβριος 2003, Θεσσαλονίκη

---

*Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.*

---



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

**Φωτοστοιχειοθεσία  
Εκτύπωση**

**Βιβλιοπωλείο**

**Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ**

18ο χλμ Θεσσαλονίκης-Περαίας  
Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19  
Τηλ.: 23920-72.222 (5 γραμ.) - Fax: 23920-72.229  
e-mail: [info@ziti.gr](mailto:info@ziti.gr)

**ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ**

Αρμενοπούλου 27 • 546 35 Θεσσαλονίκη  
Τηλ. 2310-203.720, Fax 2310-211.305  
e-mail: [sales@ziti.gr](mailto:sales@ziti.gr)

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

(Preface)

Παρόλη την ανάπτυξη της τεχνολογίας και επιστήμης των γραφικών με Η/Υ, καθώς και το μεγάλο εύρος των εφαρμογών που αυτά εμπλέκονται, είναι εμφανής η έλλειψη ενός ελληνικού συγγράμματος που θα καλύπτει, τόσο τη θεωρητική υποδομή, όσο και την αλγοριθμική υποστήριξη των εφαρμογών και επεκτάσεων της επιστήμης. Η υπάρχουσα ελληνική βιβλιογραφία, δυστυχώς, προσεγγίζει το θέμα περισσότερο με την οπτική της χρήσης των συστημάτων στα πλαίσια ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων και λιγότερο ως επιστήμη με κανόνες, περιορισμούς και προοπτικές. Το κενό αυτό φιλοδοξεί να καλύψει το τρέχον βιβλίο που παράλληλα αποτελεί και ένα εισαγωγικό τεύχος στα *διαδραστικά* τρισδιάστατα γραφικά συστήματα.

Ειδικότερα, η ύλη του βιβλίου καλύπτει τεχνικές και μεθόδους διαχείρισης δισδιάστατης και τρισδιάστατης γεωμετρίας και γραφικής πληροφορίας με τη βοήθεια Η/Υ και απευθύνεται σε φοιτητές και αποφοίτους τμημάτων πληροφορικής και επιστημών μελέτης του χώρου (computer science, information technology, GIS, geomatics) που επιθυμούν να γνωρίσουν την τεχνολογία των γραφικών, είτε για να ολοκληρώσουν τις γνώσεις τους, είτε για να κατανοήσουν την αλγοριθμική υποδομή εργαλείων και μεθόδων που χρησιμοποιούνται στη δουλειά τους.

Η προσέγγιση των θεμάτων ακολουθεί μία *hands-on* πρακτική και *learn-by-doing* λογική, που οδηγεί στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδιαστικού περιβάλλοντος ανάπτυξης γραφικής πληροφορίας στις δύο και τις τρεις διαστάσεις. Παράλληλα δίνονται κατευθύνσεις, τόσο για την ανάπτυξη επαγγελματικών εφαρμογών, όσο και για την κάλυψη επεκτάσεων του σχεδιαστικού περιβάλλοντος προς τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, τις ψηφιακές τεκμηριώσεις χώρου, το Internet/Web, κ.λπ.

Τα μεγάλα πλεονεκτήματα της *learn-by-doing* λογικής προσέγγισης των θεμάτων αφορούν, το αναγκαστικά υψηλό επίπεδο συμμετοχής του φοιτητή-αναγνώστη που παρακολουθεί ένα μάθημα που στηρίζεται στο βιβλίο, την αντίληψη των δυνατοτήτων και δομών του λογισμικού γραφικής και της λογικής λειτουργίας του και τέλος την αίσθηση της οικοδόμησης, δημιουργίας και επιτυχίας.

Η αλγοριθμική δομή του βιβλίου απαιτεί από τον αναγνώστη πολύ καλές γνώσεις δομημένου προγραμματισμού και δομών δεδομένων, ενώ η απαίτηση για ανάπτυξη ενός ανεξάρτητου περιβάλλοντος γραφικής προϋποθέτει αντίληψη του χώρου, ικανότητες χωρικής ανάλυσης και γνώσεις γεωμετρικής τοπολογίας.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε για μία ανεξάρτητη από περιβάλλον Η/Υ παρουσίαση εννοιών και αλγορίθμων, ενώ παράλληλα ακολουθήθηκαν πιστά οι οδηγίες των διεθνώς παραδεικτών προτύπων γραφικής (CORE, GKS, PHIGS, PHIGS+, OpenGL, OpenInventor) για αυστηρά ουδέτερες παραστάσεις της γεωμετρικής, γραφικής και ποιοτικής πληροφορίας.

Τέλος, όσο αφορά τον εξοπλισμό του αναγνώστη σε *λογισμικό και υλικό*, για την ανάπτυξη των αλγορίθμων και τη δημιουργία του ολοκληρωμένου γραφικού περιβάλλοντος, αρκεί ένας compiler της C ή της Pascal και ένα απλό γραφικό CRT σύστημα. Μία έγχρωμη οθόνη και μία κάρτα γραφικών υψηλής ανάλυσης είναι επιθυμητές αλλά όχι αναγκαίες.

Δρ. Αθανάσιος Δ. Στυλιάδης  
Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 1999

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

(Contents)

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Περίληψη (Summary) ..... | .xiii |
| Frontispiece .....       | .xvi  |

### Μέρος Α

#### Συστήματα Γραφικών - Βασικές Έννοιες

(Introduction to Computer Graphics)

|   |     |
|---|-----|
| 1 Γενική Θεώρηση Γραφικών (A Survey of Computer Graphics)                       |     |
| 1.1 Ορισμοί - Κατηγοριοποιήσεις (Definitions - Classification of Fields) .....  | .3  |
| 1.2 Ιστορία Γραφικών (Computer Graphics History) .....                          | .9  |
| 1.3 Εφαρμογές Γραφικών (Computer Graphics Applications) .....                   | .11 |
| 2 Σύνθεση Γραφικών Συστημάτων (Overview of Graphics Systems, Configuration)     |     |
| 2.1 Μονάδες Εισόδου/Εξόδου - Περιφερειακά (I/O Devices - Peripherals) .....     | .19 |
| 2.2 Λογισμικό Γραφικών (Graphics Software) .....                                | .30 |
| Λογισμικό Περιβάλλοντος Ανάπτυξης Εφαρμογών .....                               | .30 |
| Λογισμικό Επικοινωνίας Περιβάλλοντος & Συστήματος .....                         | .31 |
| Λογισμικό Συστήματος - Προγραμματισμός Χαμηλού Επιπέδου .....                   | .33 |
| 2.3 Συμπίεση Γραφικής Πληροφορίας (Data Compression) .....                      | .36 |
| Run-Length Encoding Τεχνική .....   | .37 |
| Cell Encoding Τεχνική .....   | .39 |
| 2.4 Αποθήκευση Γραφικής Πληροφορίας (Frame Buffers, Meta-Files) .....           | .41 |
| 2.5 Διευθυνσιοποίηση Γραφικής Πληροφορίας (Frame Buffer Addressing) .....       | .42 |
| 3 Προγραμματισμός Περιβάλλοντος Γραφικής (Computer Graphics Programming)        |     |
| 3.1 Στατικά και Διαδραστικά Γραφικά / CAD (Static & Interactive Graphics) ..... | .49 |
| 3.2 Προγραμματισμός με τη Γλώσσα Pascal (Pascal Graphics Programming) .....     | .51 |
| 3.3 Προγραμματισμός με τη Γλώσσα C (C Graphics Programming) .....               | .53 |
| 3.4 Παραδείγματα (Application Examples) .....                                   | .59 |

## **Μέρος Β**

### **Γεωμετρία Γραφικής Πληροφορίας**

(Computer Graphics Geometry)

|   |     |
|---|-----|
| <b>4 Αυτοματοποιημένη Σχεδίαση - Γραφική / CAD (Graphics Primitives)</b>  |     |
| 4.1 Διανυσματικές / Ψηφιδωτές Απεικονίσεις - Διαχείριση Γεωμετρίας<br>(Vector/Raster) .....                                     | 67  |
| 4.2 Από τα Σημεία στις Ευθείες<br>(Scan-Conversion, V R) .....  | 70  |
| 4.3 Δεδομένα και Συστήματα Αναφοράς<br>(CAD Data & Coordinate Systems) .....  | 74  |
| 4.4 Φόρμες Γραφικής<br>(Graphics Formats) .....   | 75  |
| <b>5 Τεχνικές Δημιουργίας Γεωμετρίας (Computer Modeling Techniques)</b>   |     |
| 5.1 Αλγόριθμοι Αυτοματοποιημένης Σχεδίασης σε Μορφή Ψηφιδωτού<br>(Raster Scan-Converting Algorithms) .....                      | 79  |
| 5.2 Σχεδίαση Ευθύγραμμων Τμημάτων<br>(Scan-Converting Lines) .....  | 81  |
| 5.3 Σχεδίαση Κύκλων<br>(Scan-Converting Circle Generating) .....  | 98  |
| 5.4 Προωθημένες Τεχνικές<br>(Advanced Computer Modeling) .....  | 101 |
| Constructive Solid Modeling, Φωτογραμμετρία, Fractals, Splines  |     |
| <b>6 Τεχνικές Δημιουργίας &amp; Διαχείρισης Αλφαριθμητικής Πληροφορίας<br/>(Character Generation &amp; Display, Red-Lining)</b> |     |
| 6.1 Χαρακτήρες (Create Characters) .....  | 107 |
| Η μέθοδος της <i>Πεννιάς</i> (The Stroke Method) .....  | 108 |
| Η μέθοδος του <i>Πίνακα Κουκίδων</i> (The Dot-Matrix Method) .....  | 109 |
| 6.2 Αλφαριθμητικές Ακολουθίες (Displaying Text) .....   | 113 |
| 6.3 Προσθήκη Ποιότητας σε Γραμμές και Χαρακτήρες (Line & Text Styling) .....  | 115 |
| 6.4 Τεχνικές Διαχείρισης Κειμένου (Text Styling Primitives) .....   | 119 |

## **Μέρος Γ**

### **Μετασχηματισμοί Γραφικής Πληροφορίας**

(Computer Graphics Transformations)

|  |     |
|--|-----|
| <b>7 Γεωμετρικά Μοντέλα - Μετασχηματισμοί (Geometric &amp; Modeling Transformations)</b>                   |     |
| 7.1 Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί<br>(Geometric Transformations) .....                                       | 131 |
| 7.2 Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων στις Δύο Διαστάσεις<br>(2-D Geometric Transformations) ..... | 132 |

|   |     |
|---|-----|
| 7.3 Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων στις Τρεις Διαστάσεις<br>(3-D Geometric Transformations) .....        | 157 |
| 7.4 Μετασχηματισμοί Μοντέλου<br>(Modeling Transformations) .....  | 160 |
| 7.5 Μετασχηματισμοί Αποθήκευσης,<br>Διαχείριση και Εκτύπωση Γραφικής Πληροφορίας<br>(Screen Dumping/Printing) ..... | 164 |
| <b>8 Παραθυρικά Περιβάλλοντα - Αποκοπές</b><br>(Windowing - Viewporting - Clipping)                                 |     |
| 8.1 Αντικείμενο και Εικόνα<br>(Object-to-Picture Mapping) .....   | 172 |
| 8.2 Μετασχηματισμός Συστημάτων Διαχείρισης<br>(Window-to-Viewport Mapping, Viewing Transformation) .....            | 173 |
| 8.3 Αποκοπές Σημείων, Γραμμών & Πολυγώνων<br>(Point-Line-Polygon Clipping) .....                                    | 176 |
| <b>9 Οργάνωση Γραφικής Πληροφορίας</b> (Display File - Segment Table)   |     |
| 9.1 Λειτουργικότητα Γραφικής Πληροφορίας - Display File<br>(Display File Functionality) .....                       | 193 |
| 9.2 Ομαδοποίηση Γραφικών Εντολών - Segment Table<br>(Display File Segmentation) .....                               | 198 |
| 9.3 Δομή Γραφικής - Προγραμματισμός<br>(Programming Interface) .....  | 206 |

## **Μέρος Δ**

### **Τεχνικές Χωρικής Διασύνδεσης Γραφικής Πληροφορίας**

(Computer Modeling - Spatial Integration)

|   |     |
|---|-----|
| <b>10 Χωρική Διασύνδεση Μοντέλων με Μη Διανυσματική Πληροφορία</b><br>(Modeling/Data Spatial Integration) |     |
| 10.1 Εισαγωγή Περιγραφικής Πληροφορίας (Modeling/Database Connection) ...                                 | 211 |
| 10.2 Ενσωμάτωση Πολυμέσων (Modeling/Multimedia Data Integration) .....                                    | 213 |
| 10.3 Εισαγωγή Ποιοτικής Πληροφορίας (Modeling/Qualitative Data Integration) ..                            | 218 |
| <b>11 Χωρική Διασύνδεση Μοντέλων με τον Κυβερνοχώρο</b><br>(Modeling/Web Spatial Integration)             |     |
| 11.1 Δημιουργία Γραφικής Πληροφορίας στον Κυβερνοχώρο<br>(Web-based Geometry) .....                       | 223 |
| 11.2 Διαχείριση Γραφικής Πληροφορίας στον Κυβερνοχώρο<br>(Web-based Mapping & Modeling) .....             | 225 |
| 11.3 Δημοσίευση Γραφικής Πληροφορίας στον Κυβερνοχώρο<br>(Modeling Web Publication) .....                 | 225 |

## **Μέρος Ε**

### **Τεχνικές Σύνθετης Οπτικοποίησης Γραφικής Πληροφορίας**

(Computer Modeling - Rendering & Visualization)

|   |     |
|---|-----|
| <b>12 Φωτορρεαλιστική Απόδοση Γραφικής Πληροφορίας</b><br>(Lighting & Illumination Models, Surface-Rendering Methods)         |     |
| 12.1 Διαχείριση Κρυφών Γραμμών<br>(Hidden-Lines Manipulation/Illumination) .....  | 233 |
| 12.2 Φωτορρεαλισμός με Τεχνικές Χρωμοσκίασης και Φωτοσκίασης<br>(Rendering: Constant, Smooth & Phong Shading /Lighting) ..... | 237 |
| 12.3 Φωτορρεαλισμός με Προσθήκη Υφής Υλικού<br>(Rendering: Material Editing, Texture Mapping) .....                           | 240 |
| 12.4 Φωτορρεαλισμός με Διαχείριση Φωτός<br>(Rendering: Ray-Tracing, Radiosity) .....  | 244 |
| <b>13 Στερεά Προσομοίωση (CAD/CAM - Solid Modeling)</b>   |     |
| 13.1 Στερεά Προσομοίωση - Εργαλεία (Solid Modeling Tools) .....   | 253 |
| 13.2 Βιομηχανικός Σχεδιασμός (Industrial Design) .....  | 256 |
| 13.3 Ταχεία Πρωτοτυποποίηση (Rapid Prototyping, CAM) .....  | 258 |
| <b>14 Σύνθετη Οπτικοποίηση Γραφικής Πληροφορίας - Εικονική Πραγματικότητα</b><br>(Visualization - Virtual Reality)            |     |
| 14.1 Ελεύθερα Οριζόμενη Απεικόνιση - Εικονική Κάμερα<br>(Free-Defined Projection - Virtual Camera) .....                      | 261 |
| 14.2 Σκηνοθετημένη Περιήγηση και Ελεύθερη Κίνηση στο Χώρο<br>(Animation / Video - Visualization) .....                        | 262 |
| 14.3 Σύνθετη Οπτικοποίηση Γραφικής Πληροφορίας σε Πραγματικό Χρόνο<br>(Real-Time Visualization) .....                         | 268 |
| 14.4 Εικονική Πραγματικότητα - Τεχνικές<br>(Virtual Reality: Reverse Engineering, As-built Modeling) .....                    | 270 |

## **Μέρος ΣΤ**

### **Ολοκληρωμένα Περιβάλλοντα Εφαρμογών Γραφικής**

(Integrated Computer Modeling)

|   |     |
|---|-----|
| <b>15 Διοδιάστατα Περιβάλλοντα Ανάπτυξης Γραφικής</b><br>(2-D Graphics Development Tool-kits)                                       |     |
| 15.1 Μέρος Α - Σχεδίαση Ευθειών - Μετασχηματισμοί<br>(Line-Drawing, Geometric & Modeling Transformations) .....                     | 280 |
| 15.2 Μέρος Β - Παραθυρικά Περιβάλλοντα - Αποκοπές Γραμμών<br>(Viewing Transformation: Windowing, Viewporting - Line Clipping) ..... | 284 |



|   |     |
|---|-----|
| 15.3 Μέρος Γ - Οργάνωση Γραφικής Πληροφορίας<br>(Display File - Display File Segmentation - Segment Table) .....                              | 288 |
| <b>16 Τρισδιάστατα Περιβάλλοντα Ανάπτυξης Γραφικής</b><br>(3-D Graphics Development Tool-kits)  |     |
| 16.1 Μέρος Α - Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί στις Τρεις Διαστάσεις<br>(3-D Geometric Transformations) .....                                     | 293 |
| 16.2 Μέρος Β - Παραθυρικά Περιβάλλοντα - 3-D Αποκοπές Γραμμών<br>(3-D Viewing Transformation & Line Clipping) .....                           | 297 |
| 16.3 Μέρος Γ - Διαχείριση Κρυφών Επιφανειών<br>(Hidden-Surfaces Manipulation/Illumination) .....  | 299 |
| <b>17 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών - Γραφικό Υπόβαθρο</b><br>(GIS, SIS, LIS, AM/FM - Graphics Component)                                 |     |
| 17.1 Προβληματική του Χώρου και Συστήματα Πληροφοριών<br>(Spatial Concepts & Systems) .....   | 302 |
| 17.2 Γραφική, Γεωγραφική και Χωρική Πληροφορία<br>(Graphics, Geographical & Spatial Information) .....  | 311 |
| 17.3 Ολοκλήρωση Γραφικής, Γεωγραφικής και Χωρικής Πληροφορίας<br>(CAD/GIS/SIS Integration) .....  | 313 |
| 17.4 Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Γραφικής Πληροφορίας,<br>Χωρικά Συστήματα Στήριξης Αποφάσεων<br>(Spatial Analysis & Decision Making) ..... | 317 |
| <b>18 Ψηφιακές Τεκμηριώσεις Χώρου - Γραφικό Υπόβαθρο</b><br>(Spatial Digital Documentation Systems - Graphics Component)                      |     |
| 18.1 Ορισμοί<br>(Definitions) .....   | 331 |
| 18.2 Ψηφιακή Τρισδιάστατη Γεωμετρία - Χωρική Προσέγγιση Δημιουργίας<br>(3-D Modeling - A Spatial Approach) .....                              | 333 |
| 18.3 Ψηφιακή Τεκμηρίωση με Τρισδιάστατα Μοντέλα Χώρου<br>(3-D based Digital Documentation) .....  | 338 |
| 18.4 Εργαλεία Ψηφιακής Τεκμηρίωσης<br>(Digital Documentation Tools) .....   | 339 |

## **Παραρτήματα**

(Appendices)

### **Παράρτημα Α - Computer Graphics Tutorial: Principles & Practice**

|   |     |
|---|-----|
| A-1. Computer Graphics History .....      | 351 |
| A-2. Raster Graphics Hardware .....       | 352 |
| A-3. Computer Graphics Applications ..... | 353 |

|  |     |
|--|-----|
| A-4. Computer Graphics Fields .....  | 354 |
| A-5. GUIs and 2-D Raster Graphics .....  | 354 |
| A-6. Computer Modeling .....   | 355 |
| A-7. Animation and Simulation .....  | 357 |
| A-8. Color .....   | 357 |
| A-9. Coordinate Systems, Perspective Projection and Clipping .....   | 358 |
| A-10. Scan-Conversion and Anti-Aliasing .....  | 360 |
| A-11. Hidden-Surface Removal .....   | 360 |
| A-12. Lighting and Shading .....   | 361 |
| A-13. Texture Mapping and other Fragment Operations .....  | 362 |
| A-14. Ray-Tracing .....  | 363 |
| A-15. Radiosity .....  | 364 |
| A-16. Software Packages .....  | 364 |
| A-17. Scientific Visualization .....   | 365 |
| <br>   |     |
| <b>Παράρτημα Β - Πρότυπα και Φόρμες Γραφικής</b><br>(Graphics Standards & Formats)   |     |
| B-1. Πρότυπα Ανάπτυξης Γραφικής<br>(Graphics Standards)<br>CORE, GKS, X11, VDI, PHIGS, IGES, OpenGL, PEX, OpenInventor ... | 367 |
| B-2. Πρότυπα Ανταλλαγής Γραφικής Πληροφορίας και Δεδομένων<br>(Interchange Graphics Formats)<br>DXF, CGM, Active CGM ..... | 368 |
| B-3. Φόρμες Γραφικής (Graphics Raster & Vector Formats)<br>Raster: BMP, PCX, TGA, TIFF, geoTIFF, GIF, JPEG, DWF, WRF ..... | 368 |
| Vector: DGN, DWG, IGES, VRML .....   | 369 |
| <br>   |     |
| <b>Παράρτημα Γ - Αριθμητική Διανυσμάτων και Πινάκων</b><br>(Vector & Matrix-Arithmetic)                                    |     |
| Γ-1. Αριθμητική Διανυσμάτων (Vector-Arithmetic) .....  | 371 |
| Γ-2. Αριθμητική Πινάκων (Matrix-Arithmetic) .....  | 372 |
| <b>Βιβλιογραφία</b> (Bibliography) .....   | 375 |
| <b>Συντομογραφίες</b> (Abbreviations) .....  | 385 |
| <b>Γλωσσάριο Όρων</b> (Glossary) .....   | 388 |
| <b>Ορολογία</b> (Terminology) .....  | 391 |
| <b>Περίληψη στα Αγγλικά</b> (Abstract) .....   | 394 |
| <b>Πρόγραμμα Ανάπτυξης Μαθήματος</b> .....   | 397 |
| <b>Θέματα Εξετάσεων</b> (Exams Papers) .....   | 398 |
| <b>Ευρετήριο Όρων</b> (Index) .....  | 399 |
| <b>Παραδείγματα Γραφικών</b> .....   | 403 |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

(Summary)

Η τεχνολογία και επιστήμη των γραφικών με Η/Υ, γνωστή και ως *γραφική* (computer graphics) αποτελεί αναμφίβολα ένα από τους δυναμικότερους και ταχύτατα αναπτυσσόμενους κλάδους της πληροφορικής. Σύμφωνα μάλιστα με πρόσφατες ανακοινώσεις, στις ΗΠΑ η σχετική τεχνολογία μαζί με τις επιστήμες-επεκτάσεις της, π.χ. GIS, AM/FM, ψηφιακές τεκμηριώσεις χώρου, κ.λπ., απορροφά το 37.8% του σχετικού προϋπολογισμού εφαρμογών και έρευνας πληροφορικής [IJGIS, Vol. XI, No. 2].

Στην Ελλάδα, τα τελευταία δέκα χρόνια τα γραφικά με Η/Υ καταξιώθηκαν ως μάθημα και διδάσκονται πλέον σε όλα τα τμήματα πληροφορικής, γραφιστικής και ηλεκτρονικής σχεδίασης σε προπτυχιακό επίπεδο. Επίσης, στα πλαίσια αρκετών ελληνικών μεταπτυχιακών τμημάτων, η επιστήμη των γραφικών διδάσκεται, είτε αυτόνομα, είτε στα πλαίσια γενικότερων ενοτήτων που στηρίζονται στη γραφική (π.χ. GIS). Έτσι, η διδασκαλία των γραφικών με Η/Υ συμπεριλαμβάνεται στα προγράμματα μεταπτυχιακών σπουδών επιστήμης υπολογιστών (Πανεπιστήμιο Κρήτης), στα προγράμματα μεταπτυχιακών σπουδών γεωπληροφορικής (ΑΠΘ/ΤΑΤΜ), στα προπτυχιακά και μεταπτυχιακά μαθήματα GIS πολλών Πανεπιστημίων (ΕΜΠ, Αθήνας, Αιγαίου, Θεσσαλίας, Θεσσαλονίκης, Μακεδονίας, Θράκης, Πάτρας), κ.λπ.

Παράλληλα με την εκπαίδευση, τα γραφικά κυριαρχούν και στην ελληνική αγορά της πληροφορικής. Έτσι, εμπορικά συστήματα στήριξης αποφάσεων, marketing, διαχείρισης και προβολής, χρησιμοποιούν ευρύτατα περιβάλλοντα γραφικής (προγράμματα CAD, GIS, AM/FM, γραφιστικής, επεξεργασίας εικόνας, authoring, κ.λπ.).

Παρόλη όμως την ανάπτυξη της τεχνολογίας και το μεγάλο εύρος των εφαρμογών της γραφικής είναι εμφανής η έλλειψη σοβαρών ελληνικών συγγραμμάτων. Το κενό αυτό φιλοδοξεί να καλύψει το τρέχον βιβλίο, το οποίο εκτός των άλλων έχει ως βασικό στόχο τη γνωριμία μέσω της δημιουργίας.

Έτσι, παράλληλα με τη γνωριμία των βασικών αλγορίθμων, τεχνικών και μεθόδων της επιστήμης των γραφικών, ο αναγνώστης καθοδηγείται βήμα-βήμα στην ανάπτυξη ενός ανεξάρτητου δισδιάστατου περιβάλλοντος ανάπτυξης γεωμετρίας και υποστήριξης μετασχηματισμών. Στα πλαίσια αυτού του περιβάλλοντος η διαχείριση της γραφικής πληροφορίας γίνεται με βάση τα διεθνώς αποδεκτά ISO και

ANSI πρότυπα γραφικών: CORE graphics system, Graphical Kernel System (GKS) και Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standards (PHIGS, PHIGS+), καθώς και τις τρισδιάστατες βιβλιοθήκες γραφικών-πρότυπα της Silicon Graphics (OpenGL, OpenInventor).

Το βιβλίο χωρίζεται σε έξι βασικά μέρη με δεκαοκτώ κεφάλαια, τρία παραρτήματα και ένα πρόσθετο τμήμα βιβλιογραφίας, εννοιολογικής προσέγγισης, ορολογίας και υποστήριξης μαθήματος.

Ειδικότερα:

Το πρώτο μέρος, με τίτλο **Συστήματα Γραφικών - Βασικές Έννοιες**, αποτελείται από τα πρώτα τρία κεφάλαια και στοχεύει στην γνωριμία και εννοιολογική προσέγγιση του αναγνώστη με την επιστήμη (ορισμοί, ιστορία, εφαρμογές, βασικά υποσυστήματα και προγραμματισμός γραφικού περιβάλλοντος).

Το δεύτερο μέρος, με τίτλο **Γεωμετρία Γραφικής Πληροφορίας**, αποτελείται από τρία κεφάλαια που στοχεύουν στη γνωριμία με βασικές τεχνικές δημιουργίας γεωμετρίας και διαχείρισης γραφικής πληροφορίας ψηφιδωτής και διανυσματικής μορφής (τεχνικές και μέθοδοι αυτοματοποιημένης σχεδίασης, διαχείριση αλφαριθμητικής πληροφορίας).

Το τρίτο μέρος, με τίτλο **Μετασχηματισμοί Γραφικής Πληροφορίας**, αποτελείται από τρία κεφάλαια και διαπραγματεύεται μετασχηματισμούς, παραθυρικά περιβάλλοντα, αποκοπές και οργάνωση γραφικής πληροφορίας.

Το τέταρτο μέρος, με τίτλο **Τεχνικές Χωρικής Διασύνδεσης Γραφικής Πληροφορίας**, αποτελείται από δύο κεφάλαια και διαπραγματεύεται τη χωρική διασύνδεση της γεωμετρίας με μη διανυσματική πληροφορία, καθώς και τη χωρική διασύνδεση των μοντέλων με τον κυβερνοχώρο.

Το πέμπτο μέρος, με τίτλο **Τεχνικές Σύνθετης Οπτικοποίησης Γραφικής Πληροφορίας**, αποτελείται από τρία κεφάλαια και στοχεύει στην ενίσχυση της γεωμετρίας με ποιοτικά, μη μετρητά, δεδομένα (φωτορρεαλιστική απόδοση, στερεά προσομοίωση, σύνθετη οπτικοποίηση της γραφικής πληροφορίας και εικονική πραγματικότητα).

Το έκτο μέρος, με τίτλο **Ολοκληρωμένα Περιβάλλοντα Εφαρμογών Γραφικής**, αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Τα πρώτα δύο από αυτά, με τη βοήθεια σχετικού κώδικα, ασχολούνται με περιβάλλοντα ανάπτυξης γραφικών στις δύο και τις τρεις διαστάσεις. Τα επόμενα δύο κεφάλαια διαπραγματεύονται τη γραφική ως το γραφικό υπόβαθρο ολοκληρωμένων συστημάτων χώρου (περιβαλλόντων ανάπτυξης εφαρμογών) όπως είναι τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και οι ψηφιακές τεκμηριώσεις χώρου.

Τη βασική ύλη του βιβλίου συμπληρώνουν τρία παραρτήματα. Το πρώτο παράρτημα είναι γραμμένο στην αγγλική γλώσσα και φιλοδοξεί να αποτελέσει έναν οδηγό αυτό-διδασκαλίας με ορολογία και πρακτική στην αγγλική γλώσσα (self-study tutorial) για τον ειδικευμένο και φιλόδοξο αναγνώστη. Το δεύτερο παράρτημα πα-

ρουσιάζει τα πρότυπα και τις φόρμες που χρησιμοποιούνται στη γραφική. Το τρίτο παράρτημα παραθέτει συνοπτικά την αριθμητική των διανυσμάτων και των πινάκων.

Τέλος, το τελευταίο τμήμα του βιβλίου συμπληρώνει τις αναφορές των κεφαλαίων με επιλεγμένη και γενική βιβλιογραφία, ηλεκτρονικές διευθύνσεις αναφοράς, εννοιολογική υποστήριξη (συντομογραφίες, γλωσσάριο όρων και ορολογία), περίληψη στα αγγλικά, πρόγραμμα ανάπτυξης μαθήματος, θέματα εξετάσεων και ευρετήριο όρων (index). Έγχρωμα παραδείγματα γραφικών, που αναφέρονται σε εντυπωσιακές τρισδιάστατες ψηφιακές αναπαραστάσεις αντικειμένων, χώρων και ιστορικού ενδιαφέροντος συνόλων, παρουσιάζονται στις τελευταίες σελίδες του βιβλίου.

Σεμινάρια εξειδίκευσης μπορούν να στηριχτούν στο βιβλίο και να διαπραγματευτούν θέματα γραφικών με Η/Υ, τόσο στις δύο (διάρκεια: 10 εβδομάδες), όσο και στις τρεις διαστάσεις (διάρκεια: 20 εβδομάδες).

Για την υποστήριξη προπτυχιακών μαθημάτων στην επιστήμη των γραφικών, διάρκειας ενός ή δύο εξαμήνων, κρίνονται κατάλληλα τα τρία πρώτα Μέρη (1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup>, 3<sup>ο</sup>, 4<sup>ο</sup>, 5<sup>ο</sup>, 6<sup>ο</sup>, 7<sup>ο</sup>, 8<sup>ο</sup> και 9<sup>ο</sup> Κεφάλαιο) του βιβλίου σε συνδυασμό με το 15<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.

Για μεταπτυχιακούς κύκλους σπουδών σε θέματα εικονικής πραγματικότητας, σύνθετης διαχείρισης της γραφικής πληροφορίας, συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών και ψηφιακών τεκμηριώσεων χώρου, όπου προαπαιτούνται γνώσεις γραφικής, προβολικής γεωμετρίας και χωρικής τοπολογίας, κρίνονται κατάλληλα το τέταρτο (10<sup>ο</sup> και 11<sup>ο</sup> Κεφάλαιο), το πέμπτο (12<sup>ο</sup>, 13<sup>ο</sup> και 14<sup>ο</sup> Κεφάλαιο) και το έκτο Μέρος (15<sup>ο</sup>, 16<sup>ο</sup>, 17<sup>ο</sup> και 18<sup>ο</sup> Κεφάλαιο) του βιβλίου.

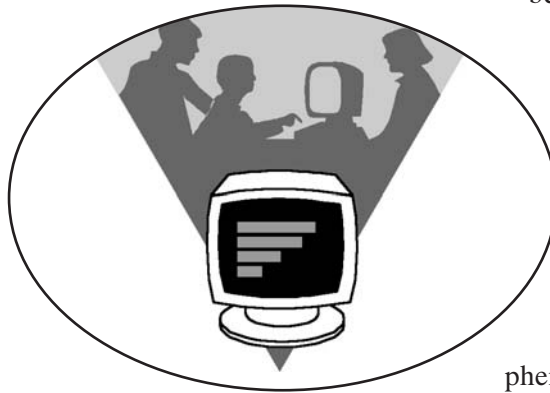
## Frontispiece

«I once attended a dinner party given in my honour by a lady of taste and fashion. Over the avocado salad I chanced to mention that I had, that afternoon, recorded a television interview with a grinning member of Australia's omniscient Discjockocracy, and that our trivial exchange were being transmitted at that very moment.

In a trice my hostess and her friends evacuated the dining room to watch this grey, mind-numbing colloquy on the servants' T.V. set, and I spent the next thirty minutes alone toying with the debris of my meal, and pondering upon the alchemical properties of the Media.

Could it be true that people and things and ideas and emotions were all somehow more exciting and glamorous, and at once less inimical, after they had

been '*processed*' by an electrical machine, isolated on a glass screen, and punctuated by advertisements for soap, cars and tobacco?...



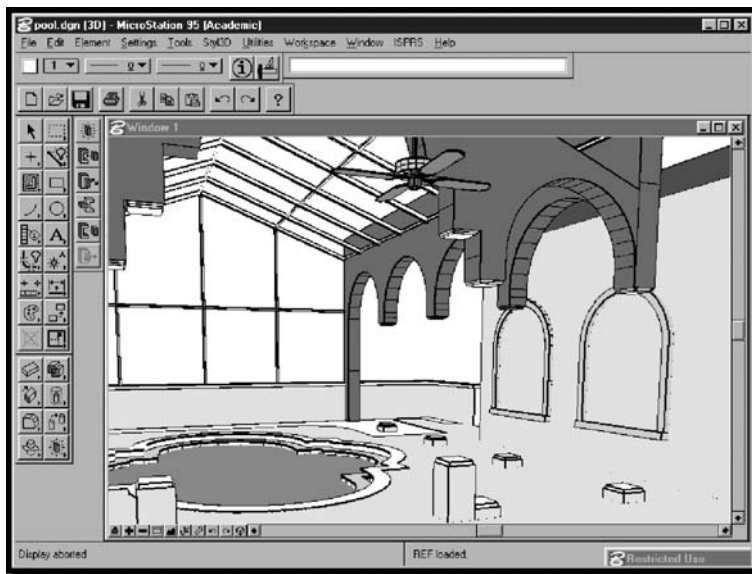
Michael Leunig has illustrated this phenomenon. A similar family are watching a sunrise on **telly**, while behind them, out of the window, the **real thing** gloriously happens. Do not suppose that I would have you compare my presence at a dinner party with dawn in the Blue Mountains, but Leunig's family of rapturous apes have much in common with my dutiful hostess and her friends.

*The ultimate compliment we can pay reality  
is to view its simulacrummy...»*

Barry Humphries  
Melbourne - Australia, 1974

# Α μέρος

## Συστήματα Γραφικών - Βασικές Έννοιες (Introduction to Computer Graphics)



# 1. ΓΕΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΓΡΑΦΙΚΩΝ

## (A Survey of Computer Graphics)

*«We live on an island of knowledge  
surrounded by a sea of ignorance.  
As our island grows,  
so does the shore of ignorance.»*

(John Wheeler, 1903)

Η επιστήμη των γραφικών έχει αλλάξει δραματικά την τελευταία δεκαετία. Έτσι, τα πρώτα συστήματα υποστήριξης απλών δισδιάστατων σχεδιάσεων (2-D line drawings), διαδέχτηκαν ολοκληρωμένα περιβάλλοντα γραφικής με δυνατότητες ει-κονικής περιήγησης, σε *‘πραγματικό’* χρόνο, σε τρισδιάστατα φωτορρεαλιστικά μοντέλα (3-D walk-throughs, radiosity). Επιπλέον, οι σύγχρονες εξελίξεις στον τομέα των γραφικών οδηγούν σε περιβάλλοντα παράλληλης και κατανεμημένης δια-χείρισης της γραφικής πληροφορίας σε επίπεδο κυβερνοχώρου, αλλά και σύνθετης οπτικής διαχείρισης χωρικών δεδομένων με γραφικό υπόβαθρο σε συνδυασμό με άλλα περιβάλλοντα που υποστηρίζουν χωρική ανάλυση.

Το τρέχον κεφάλαιο έχει στόχο την παρουσίαση **βασικών εννοιών**, τη γνωριμία με την **ιστορία των γραφικών**, καθώς και την παράθεση πλήθους **εφαρμογών** που εξυ-πηρετούν τον άνθρωπο - χρήστη των γραφικών με Η/Υ.

### 1.1 Ορισμοί - Κατηγοριοποιήσεις

(Definitions - Classification of Fields)

#### Γραφικά με Η/Υ

(Computer Graphics)

Δίνοντας έναν απλό ορισμό, τα *Γραφικά με Η/Υ (computer graphics)* αναφέρο-νται στη μεταφορά σε ψηφιακό επίπεδο αντικειμένων, φαινομένων, διαδικασιών και σχέσεων που υφίστανται ή εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο.

Η μεταφορά αυτή επιτυγχάνεται με τη *δημιουργία (modeling)*, την *παρουσίαση (rendering)* και την *απόδοση (visualization)* σχετικών πληροφοριών σε επίπεδο ψηφιακής αναπαράστασης (pictorial information). Ειδικότερα, η *δημιουργία* έχει στόχο τη δισδιάστατη ή τρισδιάστατη γεωμετρία, η *παρουσίαση* τη φωτορρεαλιστι-κή αναπαράσταση, και η *απόδοση* τη σύνθετη οπτικοποίηση της γραφικής πληρο-φορίας.

Τα γραφικά, ανάλογα με το αντικείμενο διαπραγμάτευσής τους, διακρίνονται σε δισδιάστατα και τρισδιάστατα. Τα γραφικά δύο διαστάσεων έχουν ως αντικείμενο το *σχέδιο* [Παρασχάκης κ. ά., 1990], ενώ τα γραφικά τριών διαστάσεων έχουν ως αντικείμενο το *μοντέλο* [Στυλιάδης, 1997].



## Δισδιάστατα Σχέδια - Αυτοματοποιημένη Σχεδίαση

### (2-D Design)

Σε πολλούς τομείς της παραγωγής το δισδιάστατο **σχέδιο** αποτελεί βασικό αντικείμενο ενασχόλησης αλλά και πηγή άντλησης πληροφοριών. Το ψηφιακό δισδιάστατο σχέδιο αποτελεί προϊόν της σχεδίασης με Η/Υ (*αυτοματοποιημένη σχεδίαση* / Computer-Aided Design, CAD) με βασικές ιδιότητες την απλότητα, αντικειμενικότητα, αμεσότητα, ταχύτητα, και αποθηκευτική ικανότητα. Επιπλέον, το ψηφιακό σχέδιο υποστηρίζει άμεσες και ακριβείς επεμβάσεις στα δεδομένα του με ελάχιστο κόστος και μάλιστα σε ελεγχόμενο περιβάλλον, ενώ παράλληλα επιτρέπει την εναλλακτικότητα και πολλαπλότητα στις τελικές επιλογές απόδοσης, ένα χαρακτηριστικό ιδιαίτερα σημαντικό στις σύγχρονες εφαρμογές διοίκησης και παραγωγής σε ανταγωνιστικό περιβάλλον.

Οι σύγχρονες επιστημονικές τάσεις, στον τομέα της αυτοματοποιημένης σχεδίασης, συγκεντρώνουν τις προσπάθειές τους στην παραγωγή σχεδίων συμβατών με ολοκληρωμένα περιβάλλοντα διαχείρισης χωρικής πληροφορίας (*συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών* / Geographical Information Systems, GIS), για τη δημιουργία σύνθετων και δυναμικών *μοντέλων* οπτικής, γεωγραφικής, χωρικής και χρονικής διαχείρισης του γεωγραφικού χώρου. Τα *μοντέλα* αυτά είναι συνήθως δισδιάστατα και ανάλογα με τους στόχους τους υπακούουν σε συγκεκριμένους περιορισμούς ακρίβειας και ποιότητας του τελικού προϊόντος. Είναι φανερό ότι η τελική ποιότητα της διαχείρισης είναι απόλυτα εξαρτημένη από την ακρίβεια των δεδομένων υποστηρίξης, δηλαδή των ψηφιακών δισδιάστατων σχεδίων ή τρισδιάστατων μοντέλων.

## Τρισδιάστατα Μοντέλα - Η Προβληματική του Χώρου

### (3-D Modeling)

Ως **χώρος** θεωρείται μία φυσική ή νοητή έκταση, με κάποιες διαστάσεις, στην οποία περιλαμβάνονται υποκείμενα και αντικείμενα και μέσα στον οποίον ο άνθρωπος έχει μία συνειδητή αίσθηση μεγεθών, της θέσης του, της θέσης άλλων υποκειμένων και αντικειμένων, καθώς και εννοιών που περιέχονται σε αυτόν. Ο κενός χώρος, χωρίς υποκείμενα, αντικείμενα και έννοιες, είναι μία αφηρητή ορισμού και αποκτά συγκεκριμένη θεματική ανάλογα με το θέμα το οποίο τον παραμετροποιεί. Έτσι, ο χώρος εάν παραμετροποιείται με τη *γεωμετρία* είναι ένας *γεωμετρικός χώρος*, με την *ιστορία* είναι ένας *ιστορικός χώρος*, κ.λπ. [Λιβιεράτος κ. ά., 1995]

Με βάση τα προηγούμενα είναι εμφανής, πλέον, η ανάγκη εφαρμογής νέων τεχνικών τεκμηρίωσης της χωρικής πληροφορίας. Η τεκμηρίωση αυτή, για να είναι δυναμική, αποτελεσματική και διαχρονική, δεν μπορεί παρά να είναι ψηφιακή και να στηρίζεται στο τρισδιάστατο **μοντέλο** του αντικειμένου πάνω στο οποίο αναφέρονται όλες οι άλλες πληροφορίες (γραφικές σε μορφή διανύσματος ή ψηφιδωτού, αλφαριθμητικές, ποιοτικές, κ.λπ.) [Παρασχάκης κ. ά., 1992]. Γενικά, τα ψηφιακά

τρισδιάστατα μοντέλα είναι προϊόντα μίας διαδικασίας μοντελοποίησης της πραγματικότητας (modeling) με τη βοήθεια του υπολογιστή (computer modeling).

**Modeling** γενικά, είναι η δημιουργία μίας ιδεατής ‘*διαδικασίας προσομοίωσης*’ που προσπαθεί να προσομοιώσει μία άλλη, συνήθως πιο πολύπλοκη, *διαδικασία* [Hazelton, 1992]. Οι ιδεατές αυτές ‘*διαδικασίες προσομοίωσης*’ ονομάζονται **μοντέλα** (models). Τα μοντέλα έχουν γενικά πολλούς περιορισμούς σε σχέση με τη *διαδικασία* που προσπαθούν να προσομοιώσουν. Οι κυριότεροι από αυτούς τους περιορισμούς είναι: Τα μοντέλα πρέπει να είναι λειτουργικότερα, απλούστερα και γρηγορότερα από τη *διαδικασία* που προσομοιώνουν. Τα μοντέλα πρέπει να επιτρέπουν διαδικασίες διαμόρφωσης και εμπλουτισμού τους χωρίς να μεταβάλλεται η *διαδικασία* που προσομοιώνουν. Τα μοντέλα πρέπει να επιτρέπουν διαδικασίες ενσωμάτωσης τους σε σύγχρονα περιβάλλοντα διοίκησης και λήψης αποφάσεων, καθώς και σε διαδραστικά εκθέματα πολυμέσων. Τα μοντέλα πρέπει να είναι σε θέση να δημιουργούνται και να λειτουργούν σε περιβάλλον δικτύωσης ακόμη και σε επίπεδο κυβερνοχώρου. Τέλος, τα μοντέλα πρέπει να είναι διαχρονικά, άρα να αποτελούν ένα συνεπαγόμενο τμήμα ενός συστήματος ψηφιακής τεκμηρίωσης της *διαδικασίας* που προσομοιώνουν. Δηλαδή ενός συστήματος που θα στηρίζεται σε πρωτογενή μετα-δεδομένα [Styliadis, 1997].

Τα μαθηματικά π.χ., είναι μία ‘*διαδικασία προσομοίωσης*’ της πραγματικότητας. Έτσι για παράδειγμα το μαθηματικό μοντέλο της πρόσθεσης “ $1 + 1 = 2$ ” είναι μία ‘*διαδικασία προσομοίωσης*’ και περιγραφής της ανθρώπινης λειτουργίας άθροισης ποσοτήτων δύο αντικειμένων. Μάλιστα σύμφωνα με τον μαθηματικό Hamming, η προσομοίωση αυτή είναι αξιοθαύμαστα πετυχημένη [Hamming, 1980].

**Computer Modeling** είναι ένα είδος modeling που προσομοιώνει ‘επί της οθόνης’ αντικείμενα (*διαδικασίες*) του πραγματικού κόσμου (π.χ. δρόμους, κτίρια, εκκλησίες, αρχαίους βωμούς, περιβαλλοντική μόλυνση, παραγωγικότητα εδαφών, δείκτες ανεργίας, κ.λπ.). Η ιδεατή ‘*διαδικασία προσομοίωσης*’ στην περίπτωση αυτή ονομάζεται ψηφιακό μοντέλο αναπαράστασης ή μοντέλο προσομοίωσης ή απλά μοντέλο. Το μοντέλο αυτό είναι εξ ορισμού τρισδιάστατο, διότι τρισδιάστατος είναι και ο κόσμος, δηλαδή το πεδίο των εφαρμογών. Ειδικευμένες εφαρμογές που εξαρτώνται από το χρόνο, χαρακτηρίζονται ως temporal applications και απαιτούν μοντέλα προσομοίωσης με τέσσερις διαστάσεις (ως τέταρτη διάσταση θεωρείται ο χρόνος).

### **Τρισδιάστατα Μοντέλα - Η Αναγκαιότητά τους στην Αναπαράσταση του Χώρου**

Σύμφωνα με τις προαναφερθείσες απαιτήσεις (περιορισμούς) της διαδικασίας μοντελοποίησης, τα ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα για να είναι λειτουργικά και αποδοτικά πρέπει:

- Να είναι λειτουργικότερα, αποδοτικότερα, απλούστερα και γρηγορότερα στην κατασκευή και διαχείριση από το πραγματικό αντικείμενο που προσομοιώνουν,

όσο πολύπλοκο και εάν είναι αυτό, όπως π.χ. μία βυζαντινή εκκλησία (engineering).

- Να επιδέχονται διαδικασίες διαμόρφωσης με δυνατότητες προσθήκης και διαγραφής διακριτών τμημάτων τους και εμπλουτισμού τους με δεδομένα πολυμέσων, χωρίς να επηρεάζεται το πραγματικό αντικείμενο (reverse & multimedia engineering).
- Να επιτρέπουν διαδικασίες ενσωμάτωσής τους σε σύγχρονα περιβάλλοντα διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που υποστηρίζουν χωρική ανάλυση και τοπολογία, δηλ. σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS integration).
- Να επιτρέπουν διαδικασίες ενσωμάτωσης τόσο σε διαδραστικά εκθέματα πολυμέσων, όσο και σε turn-table περιβάλλοντα προβολής (multimedia authoring data).
- Να επιτρέπουν διαδικασίες δημιουργίας τους σε περιβάλλοντα παράλληλης και συνθετικής κυβερνο-μηχανικής (collaborative Web engineering, Web modeling).
- Να υποστηρίζουν μία διαχρονική ενημέρωση και αναθεώρηση του περιεχομένου τους.
- Να υποστηρίζουν μία διαχρονική λειτουργικότητα με την έννοια της κάλυψης μελλοντικών απρόβλεπτων απαιτήσεων και της συνεχούς ενημέρωσης των λειτουργικών σχεδίων τους, π.χ. αρχιτεκτονικών τομών (temporal documentation).

Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται με τους σημερινούς Η/Υ και το διαθέσιμο CAD λογισμικό ικανοποιούν αρκετές από τις παραπάνω απαιτήσεις, ενώ με κατάλληλες επεκτάσεις και *κάθετες* εφαρμογές μπορούν να καλυφθούν σχεδόν όλες οι υπόλοιπες απαιτήσεις. Οι απαιτήσεις που τελικά δεν καλύπτονται εξαιρούνται άμεσα από τις σημερινές δυνατότητες των CAD συστημάτων που αδυνατούν να υποστηρίξουν ταυτόχρονη λειτουργία σε δύο ή περισσότερες σχεδιαστικές ενότητες (concurrent CAD), με αποτέλεσμα το σαφή περιορισμό της μίας σχεδιαστικής ενότητας στις όποιες προσπάθειες ενσωμάτωσης των τρισδιάστατων μοντέλων σε GIS εφαρμογές χώρου.

Τα τρισδιάστατα μοντέλα, που ικανοποιούν τις παραπάνω απαιτήσεις αποδοτικής λειτουργίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες γενικά τις εφαρμογές μηχανικού, σε συστήματα διαχείρισης πληροφοριών και στήριξης αποφάσεων, σε διαδραστικά εκθέματα πολυμέσων, σε διαχρονικές τεκμηριώσεις μνημείων, κ.λπ.

### **Διατύπωση Προβλημάτων Αυτοματοποιημένης Σχεδίασης - Τρισδιάστατα Μοντέλα**

(Statements of the problem to be solved)

Οι απαιτήσεις (περιορισμοί) στους οποίους πρέπει να υπακούουν τα ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα οριοθετούν και τα προβλήματα που πρέπει να καλυφθούν.

Ορισμένα από αυτά καλύπτονται από το διαθέσιμο CAD και GIS λογισμικό, ενώ τα υπόλοιπα αποτελούν αντικείμενο διαπραγματεύσεως ερευνητικών προγραμμάτων. Ειδικότερα:

- Η απαίτηση για αυξημένη λειτουργικότητα, αποδοτικότητα, απλότητα και ταχύτητα στην κατασκευή και διαχείριση, καλύπτεται εν μέρει από το διαθέσιμο CAD λογισμικό που επιτρέπει απλουστευμένες διαδικασίες και τεχνικές φωτορρεαλισμού που αυξάνουν τη λειτουργικότητα και την απόδοση των μοντέλων. Βεβαίως, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης στον τομέα της ανάπτυξης φιλικού και εξειδικευμένου περιβάλλοντος εργασίας. Επίσης, υπάρχουν πολλά περιθώρια βελτίωσης στην ταχύτητα κατασκευής και την ηλεκτρονική αυτοματοποιημένη διαχείριση, με την προϋπόθεση της αναφοράς σε συγκεκριμένου τύπου μοντέλα.
- Η απαίτηση για υποστήριξη διαδικασιών διαμόρφωσης του μοντέλου με δυνατότητες προσθήκης και διαγραφής διακριτών τμημάτων του χωρίς να επηρεάζεται το πραγματικό αντικείμενο, καλύπτεται γενικά από το διαθέσιμο CAD λογισμικό. Υπάρχουν όμως μεγάλα περιθώρια βελτίωσης και αυτοματοποίησης της διαδικασίας με τη λειτουργία ειδικευμένων τρισδιάστατων βιβλιοθηκών. Επίσης, η διαδικασία εμπλουτισμού των μοντέλων με πολυμέσα υποστηρίζεται ολοκληρωτικά μόνο σε ειδικευμένα και ακριβά περιβάλλοντα που στηρίζονται σε αρχιτεκτονική client-server.

Υπάρχουν, λοιπόν, πολλά περιθώρια βελτίωσης και σε αυτόν τον τομέα, εάν βεβαίως επιλεγεί ως περιβάλλον εργασίας ο προσωπικός υπολογιστής.

- Η απαίτηση για υποστήριξη διαδικασιών ενσωμάτωσης των τρισδιάστατων μοντέλων σε σύγχρονα περιβάλλοντα διαχείρισης και λήψης αποφάσεων έχει να αντιμετωπίσει πολλά προβλήματα. Τα τρισδιάστατα μοντέλα είναι ουσιαστικά CAD δεδομένα που στερούνται εξ ορισμού τοπολογίας. Συνεπώς, οποιαδήποτε προσπάθεια ενσωμάτωσης τους σε ένα οποιοδήποτε σύστημα διαχείρισης χώρου (Spatial Information System, SIS), π.χ. ένα σύστημα χωρικών πληροφοριών μνημείων, θα κατέληγε σε αποτυχία, διότι τα SIS συστήματα στηρίζονται στην τοπολογία για τη λειτουργία της χωρικής ανάλυσης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ότι τα σημερινά CAD και SIS/GIS συστήματα εμφανίζουν περιορισμένη επικοινωνία ενώ δεν υποστηρίζεται η διαχείριση των τρισδιάστατων μοντέλων ενός CAD συστήματος από ένα SIS/GIS σύστημα.

Ουσιαστικά πρόκειται δηλαδή για το γνωστό CAD/GIS integration πρόβλημα, ένα πρόβλημα που περιγράφεται θαυμάσια από τους Logan et al. (1987), Cowen (1988), Ramirez (1991) και Fritsch (1996). Θα πρέπει λοιπόν να αναπτυχθεί η γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ CAD και SIS/GIS (π.χ. με τη δημιουργία ενός χωρικού συστήματος διαχείρισης πληροφοριών CAD μοντέλων), με στόχο τα SIS/GIS περιβάλλοντα να έχουν τη δυνατότητα να διαχειρίζονται τρισδιάστατα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί σε ένα CAD περιβάλλον.

- Η απαίτηση για υποστήριξη διαδικασιών ενσωμάτωσης των μοντέλων, τόσο σε διαδραστικά εκθέματα πολυμέσων, όσο και σε turn-table περιβάλλοντα προβολής υποστηρίζεται από τα περισσότερα συστήματα πολυμέσων. Η σημερινή αρχιτεκτονική των ‘ανοιχτών’ συστημάτων και πρωτοκόλλων επικοινωνίας (π.χ. OLE interface-*Object Linking & Embedding*, ODBC interface-*Open DataBase Connectivity*, DLL-*Dynamic Link Library*, MDI-*Multiple Document Interface*, DDE-*Dynamic Data Exchange*) επιτρέπει πράγματι την ενσωμάτωση των τρισδιάστατων μοντέλων σε εφαρμογές προβολής και διαδραστικών εκθεμάτων με πολυμέσα. Η μόνη απαίτηση στον τομέα αυτό είναι το τρισδιάστατο μοντέλο να εκφράζεται με ένα ad-hoc vector format, π.χ. dxf, dwg, dgn (βλ. Παράρτημα Β).
- Η απαίτηση για δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων σε περιβάλλον παράλληλης και συνθετικής κυβερνο-μηχανικής έχει να αντιμετωπίσει και αυτή πολλά προβλήματα. Στον τομέα αυτόν είναι φανερό ότι ένα απλό τρισδιάστατο μοντέλο, με την περιορισμένη δυνατότητα για δικτύωση και πιθανότατα πολλά προβλήματα μεταφορισιμότητας - τόσο σε επίπεδο γραφικού αρχείου, όσο και σε επίπεδο κώδικα υποστήριξης της γραφικής CAD μηχανής του καθώς και του γραφικού συστήματος επικοινωνίας χρήστη υπολογιστή - δεν μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά. Χρειάζονται νέες τεχνικές έκφρασης των τρισδιάστατων μοντέλων που θα εγγυώνται αυξημένη λειτουργικότητα και μεταφορισιμότητα. Το CAD περιβάλλον εργασίας θα πρέπει, επίσης, να υποστηρίζει client-server περιβάλλοντα λειτουργίας. Χρειάζονται επίσης και ειδικοί ιστοχώροι (Web sites) που να διαθέτουν και να συντηρούν τα πρωτογενή δεδομένα δημιουργίας μοντέλων στα πλαίσια της client-server αρχιτεκτονικής σχεδίασης (π.χ. ιστοχώροι-servers της UNESCO/CIPA για την ψηφιακή τεκμηρίωση μνημείων, κ.λπ.).
- Η απαίτηση για διαχρονική λειτουργικότητα, με την έννοια της κάλυψης μελλοντικών απρόβλεπτων απαιτήσεων και της συνεχούς ενημέρωσης των λειτουργικών σχεδίων διαχείρισης των μοντέλων, π.χ. αρχιτεκτονικών τομών, για να ικανοποιηθεί, χρειάζεται ορισμένες προϋποθέσεις και επεκτάσεις του CAD λογισμικού. Θα πρέπει λοιπόν το τρισδιάστατο μοντέλο να στηρίζεται, να συνεπάγεται και να δημιουργείται από δεδομένα μετα-τεκμηρίωσης που δεν αμφισβητούνται με το χρόνο. Επιπλέον, θα πρέπει να αναπτυχθούν ειδικές τεχνικές τομής του μοντέλου που θα υποστηρίζουν την απαίτηση για συνεχή ενημέρωση των λειτουργικών σχεδίων του όταν αλλάζουν τα βασικά στοιχεία και μεγέθη του τρισδιάστατου μοντέλου.  
Το υπάρχον CAD λογισμικό δεν έχει εργαλεία δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων με βάση κάποια δεδομένα μετα-τεκμηρίωσης. Επίσης, έχει περιορισμένες δυνατότητες τομής τρισδιάστατων μοντέλων, που επιπλέον δεν υποστηρίζουν διαδικασίες αυτόματης ενημέρωσης της γραφικής πληροφορίας των σχεδίων των τομών αυτών.

## 1.2 Ιστορία Γραφικών

(Computer Graphics History)

Η ιστορία των γραφικών με Η/Υ ξεκινά το **1950** στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και συγκεκριμένα στο MIT (Massachusetts Institute of Technology) με τον υπολογιστή *Whirlwind* που κατασκευάστηκε με αποκλειστικό σκοπό την έρευνα θεμάτων αεροναυτικής. Πράγματι, στα τέλη του 1950 με αρχές του 1960 η επιστημονική κοινότητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών στο MIT ήταν δραστηριοποιημένη στην έρευνα και στην κατασκευή συστημάτων υπολογιστών με ικανότητες διαχείρισης και απόδοσης γραφικών πληροφοριών και το γεγονός αυτό σημάδεψε τις εξελίξεις. Έτσι, σε επίπεδο τεχνολογίας, ο υπολογιστής *Whirlwind* ήταν ουσιαστικό ο πρώτος υπολογιστής που χρησιμοποίησε *λυχνία καθοδικών ακτίνων* (Cathode Ray Tube, CRT), γνωστή και ως *οθόνη παρουσίασης τύπου T.V.*

Σημαντικός σταθμός, επίσης, στην ανάπτυξη των γραφικών υπήρξε το **1963** με την παρουσίαση της διδακτορικής διατριβής του Ivan Sutherland (*Sketchpad - "The Theory and Implementation of an Interactive CAD Package"*) [Sutherland, 1963]. Ο Ivan Sutherland στη διατριβή του ανέπτυξε το *Sketchpad Line Drawing System*, ένα σύστημα που είχε τη δυνατότητα να σχεδιάζει διαλογικά γραμμές και πολύγωνα, αρχικά με την τοποθέτηση των κορυφών - δηλ. των άκρων (end-points) ή/και των ενδιάμεσων κορυφών (vertices) - από το χρήστη και στη συνέχεια με τη αυτόματη σχεδίαση (υλοποίηση) των γραμμών ή των πολυγώνων από το ίδιο το σύστημα. Το διαδραστικό αυτό γραφικό σύστημα του Sutherland θεωρείται ο πρόγονος των σύγχρονων συστημάτων αυτοματοποιημένης σχεδίασης και αποτελεί αντικείμενο διαπραγμάτευσης και ανάπτυξης του παρόντος βιβλίου στα επόμενα κεφάλαια (βλ. ενότητες στο τέλος των κεφαλαίων με τίτλο: *Ολοκληρωμένο Σχεδιαστικό Περιβάλλον Ανάπτυξης Γραφικής - ΟΣΠΑΓ*).

Ιστορικά, εκτός από το υλικό (hardware) σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των γραφικών είχε και το λογισμικό (software). Ειδικότερα, σε επίπεδο λογισμικού, ο Ivan Sutherland στον τομέα της σχεδίασης βασικών αλγορίθμων και δομών, καθώς και οι Steven Coons (**1966**) και Pierre Bezier (**1972**) με την πρωτότυπη δουλειά τους σε θέματα κυρτών επιφανειών και διαδραστικών τρισδιάστατων συστημάτων, θεωρούνται ως οι πρωτεργάτες στην ανάπτυξη της αλγοριθμικής υποδομής της επιστήμης των γραφικών.

### Οι Δεκαετίες Σταθμοί στην Ιστορία των Γραφικών

Η δεκαετία του '60 σήμανε και την έναρξη της εποχής των λεγομένων *διανυσματικών γραφικών* (vectors). Σταθμοί στη δεκαετία αυτή υπήρξαν, η ίδρυση της εταιρείας **Evans & Sutherland** (1964) και η χρήση από την IBM το 1965 (IBM 2250 CAD console) και ακολούθως από την Tektronix το 1968 (Tektronix Storage Tube, TST) της **CRT** τεχνολογίας στον τομέα των γραφικών συστημάτων υποστήριξης. Το υψη-

λό όμως κόστος των CRT συστημάτων, ήταν απαγορευτικό, τόσο για την είσοδο στην περιοχή των γραφικών με H/Y και άλλων εταιριών, όσο και για την μαζική παραγωγή γραφικών συστημάτων από τις εταιρίες αυτές. Όπως ήταν φυσικό το μονοπωλιακό αυτό καθεστώς περιόρισε σημαντικά την ανάπτυξη αλλά και την επιστημονική εξέλιξη και πρόοδο για αρκετά χρόνια. Είναι χαρακτηριστικό ότι στη δεκαετία του '60 ένα CRT περιφερειακό κόστιζε από \$15, 000 έως \$100, 000, ενώ ανάλογα ακριβές ήταν και οι μνήμες. Βεβαίως, τεχνολογικά ένα CRT σύστημα είχε τη δυνατότητα να παρουσιάζει με απόλυτη πιστότητα ένα ευθύγραμμο τμήμα (straight-line quality) ανάμεσα σε δύο κορυφές στην οθόνη, αλλά σε επίπεδο πραγματικών εφαρμογών η μνήμη για την αποθήκευση των χαρακτηριστικών των ευθύγραμμων τμημάτων, αλλά και των συντεταγμένων των κορυφών τους, ήταν ακριβή, όπως πανάκριβος ήταν και ο εξοπλισμός σε υλικό για την όποια απαίτηση επανασχεδίασης της γραμμής.

Η δεκαετία του '70 χαρακτηρίζεται από την επικράτηση των ψηφιδωτών γραφικών (**rasters**) και την ανάπτυξη των **αλγορίθμων** [Phong, 1973], [Phong, 1975]. Έτσι, στα μέσα της δεκαετίας του '70, η δραματική μείωση του κόστους της μνήμης και πολλών τμημάτων υλικού γραφικής, οδήγησε στα σημερινά δημοφιλή συστήματα γραφικών για ψηφιδωτές απεικονίσεις (**raster graphics systems**), ενώ παράλληλα επέτρεψε στην επιστημονική έρευνα να στηριχτεί στη μνήμη του H/Y για την ανάπτυξη αλγορίθμων και τεχνικών παραγωγής ρεαλιστικών και εγχρωμών εικόπων σε διαδραστικά περιβάλλοντα, με παράλληλη δυνατότητα διαχείρισης φωτός και υφής υλικών (gouraud's shading [Gouraud, 1971], phong's lighting, catmull's textures, z-buffering).

Η δεκαετία του '80, στην σκιά των προσωπικών υπολογιστών (**PCs**) και των γραφικών σταθμών εργασίας (**Workstations**), χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση των διεθνώς παραδεκτών προτύπων ανάπτυξης γραφικής (**graphics standards**), την ανάπτυξη αλγορίθμων διαχείρισης ολικού φωτισμού ποιότητας (**global illumination algorithms**) και την εμφάνιση φορμών γραφικής / ανταλλαγής γραφικών πληροφοριών (**graphics formats**). Ειδικότερα, τη δεκαετία αυτή εμφανίστηκαν τα πρότυπα GKS, X11 και PHIGS, οι αλγόριθμοι για την τεχνική *ιχνηλάτησης της φωτεινής ακτίνας* / Ray-Tracing [Glassner, 1989], [Speer, 1991] και την τεχνική *διαχείρισης έμμεσου φωτισμού ποιότητας* / Radiosity, καθώς και οι φόρμες ανταλλαγής dxf (vector) και bmp, tiff (raster).

Η δεκαετία του '90 χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση των λεγομένων γραφικών τελικού χρήστη (**high-end graphics**), την επικράτηση των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (SIS, **GIS**, LIS, AM/FM) που στηρίζονται στη γραφική πληροφορία και την εμφάνιση ολοκληρωμένων περιβαλλόντων ανάπτυξης γραφικών. Ειδικότερα τη δεκαετία αυτή, η εταιρία SGI (Silicon Graphics, Inc.) με τη **reality engine τεχνολογία** κυριαρχεί στο χώρο, ενώ τα νέα περιβάλλοντα-πρότυπα ανάπτυξης λογισμικού OpenGL και OpenInventor φαίνεται να δίνουν λύσεις σε προ-

βλήματα σύνθετης οπτικοποίησης και κίνησης που εμφανίζουν τα παραδοσιακά πρότυπα GKS, X11 και PHIGS.

Η νέα χλιετία αρχίζει με την πρόκληση για παράλληλη και κατανεμημένη (δι-κτυωτή) διαχείριση των γραφικών πληροφοριών (**collaborative Internet/Web graphics**), με τις προσπάθειες για ολοκλήρωση των γραφικών με συστήματα χωρικής ανάλυσης και διαχείρισης τοπολογίας (**CAD/GIS integration**), καθώς και με την ανάγκη δημιουργίας νέων ουδέτερων προτύπων και φορμών ανταλλαγής γραφικών πληροφοριών που θα υποστηρίζουν εκτός των άλλων και δεδομένα πολυμέσων με χωρική διάσταση (**multimedia GIS data**).

Σε επίπεδο πανεπιστημιακής εκπαίδευσης και έρευνας. Το Utah University καθώς και το Carnegie-Mellon University, ήδη από τη δεκαετία του '70, υπήρξαν φυτώρια παραγωγής επιστημόνων με σημαντική συνεισφορά στον τομέα των γραφικών. Βεβαίως, οι δεκαετίες του '80 και του '90 έχουν να αναδείξουν πολλά πανεπιστήμια, ερευνητικά κέντρα και βιομηχανίες με έντονη εκπαιδευτική και ερευνητική δραστηριότητα.

Ανάμεσά τους ξεχωρίζουν τμήματα και ινστιτούτα πληροφορικής, GIS και γεωπληροφορικής στα ιδρύματα: Colorado Univ., Cincinnati Univ., George Washington Univ., Brown Univ. (U.S.A), Toronto Univ., Alberta Univ., Waterloo Univ. (Canada), Edinburgh Univ., Dundee Univ. (Scotland), Melbourne Univ., Curtin Univ. (Australia), Gratz Univ. (Austria), Planet GIS Univ. (Portugal), Czech Technical Univ. (Czech Republic), Comenius Univ. (Slovakia), ETH Zurich (Switzerland), Kaiserslautern Univ., Erlangen-Nurnber Univ. και Fraunhofer Institute for Computer Graphics Rostock (Germany).

### 1.3 Εφαρμογές Γραφικών

(Computer Graphics Applications)

Τα γραφικά με Η/Υ χρησιμοποιούνται σήμερα ευρύτατα στη βιομηχανία, στο εμπόριο, στις επιχειρήσεις, στην εκπαίδευση, στην έρευνα, στην ιατρική, στις διοικητικές υπηρεσίες, στην τέχνη, στην αρχιτεκτονική, στην πολεοδομία, κ.λπ. Ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση των κυριότερων εφαρμογών.

#### Βιομηχανία και Εμπόριο

(Buisness & Commerce - Technical Illustrations / Raster-Scan Color Displays)

Με σκοπό την υποστήριξη της διοίκησης στην κατανόηση πολύπλοκων και δύσκολων προβλημάτων ή καταστάσεων και τη διευκόλυνση της για την ορθολογική λήψη των αποφάσεων, τα γραφικά χρησιμοποιούνται για τη συνοπτική και σημαντική παρουσίαση των δεδομένων.

Έτσι, οι σύγχρονες επιχειρήσεις χρησιμοποιούν 2-D ή 3-D γραφήματα από μαθηματικές, φυσικές και οικονομικές συναρτήσεις, ιστογράμματα διαφόρων μορ-



φών, διαγράμματα σχεδιασμού και προγραμματισμού ενεργειών, διαγράμματα ελέγχου αποθέματος υλικών (αποθήκευσης), διαγράμματα παραγωγής, κ.λπ.

Στον τομέα αυτόν, οι έγχρωμες γραφικές απεικονίσεις ψηφιδωτής μορφής, παρέχουν τη δυνατότητα παρουσίασης υψηλής ποιότητας σκιαγραφημένων και εγχρωμών εκτυπώσεων με επιλογή χρώματος, γραμματοσειρών, γραμμών διαφορετικού πάχους και μορφής, κ.λπ.

### **Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών - Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία** (Geographical Information Systems - Automated Chartography)

Τα γραφικά χρησιμοποιούνται για την υψηλής ακρίβειας παρουσίαση στο χαρτί ή σε film χαρτών και διαγραμμάτων διαφόρων τύπων, π.χ. τοπογραφικών ή γεωγραφικών χαρτών, ωκεανογραφικών διαγραμμάτων, μετεωρολογικών χαρτών, χαρτών άντλησης και εκμετάλλευσης πετρελαίου (oil exploration maps), χαρτών δημογραφικής πυκνότητας (population density maps), κ.λπ.

### **Σχεδιασμός και Παραγωγή Βιομηχανικών Προϊόντων - Στερεά Προσομοίωση** (Computer-Aided Design & Manufacturing - Solid Modeling)

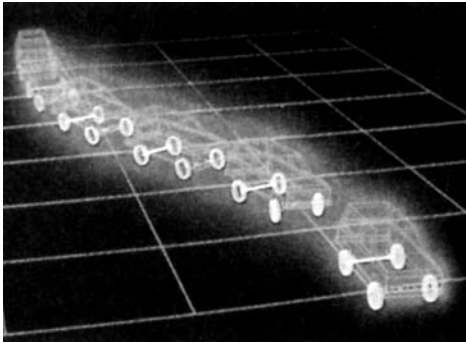
Η εφαρμογή της τεχνολογίας των γραφικών στο σχεδιασμό βιομηχανικών προϊόντων, προσδίδει στα αντικείμενα τη βιομηχανική τεχνητή τελειότητα της προέλευσής τους, τη χρηστική και λειτουργική ιδιότητα της κατασκευής τους, την έκφραση του υλικού και τις καθαρές φόρμες έκφρασης τους.

Η τεχνολογία της στερεάς προσομοίωσης, γνωστή ως solid ή solids modeling, αυξάνει τη λειτουργικότητα του τελικού προϊόντος και στοχεύει στην παραγωγή υψηλής ακρίβειας σχεδίων και μοντέλων των επιμέρους στοιχείων των συστημάτων. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται εκτός των άλλων και για τον έλεγχο των ιδιοτήτων του συστήματος. Έτσι, είναι δυνατόν, σε συνδυασμό με το κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης, να καταγράφονται οι αντιδράσεις του συστήματος σε συγκεκριμένα ελεγχόμενα περιβάλλοντα (αντοχής, θερμοκρασίας, κ.λπ.).

### **Προσομοιώσεις** (Simulations, Flight Simulation)

Η χρήση προσομοιωτών πτήσης γνωστών ως flight simulators, στηρίζεται σε τεχνικές σύνθετης οπτικοποίησης της γραφικής πληροφορίας και βοηθά τις αεροπορικές εταιρίες στην εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, ενώ παράλληλα μειώνει τις πιθανότητες ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης των πι-





λότων. Έτσι, οι προσομοιωτές πτήσης εξομοιώνουν τις συνθήκες απογείωσης (take-off simulation) και προσγείωσης (landing simulation) κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας, χρησιμοποιώντας έγχρωμες γραφικές απεικονίσεις ψηφιδωτής μορφής για την παραγωγή του κατάλληλου τοπίου.

### Κίνηση - Marketing (Διαφήμιση - Πωλήσεις)

[Animation - Marketing (Advertising - Promotions)]

Οι γραφικές απεικονίσεις ψηφιδωτής μορφής χρησιμοποιούνται επίσης για την παρασκευή των ανεξάρτητων εικόνων (animation frames), που συνθέτουν τις σχετικές ακολουθίες μίας εφαρμογής σκηνοθετημένης περιήγησης (animation sequences). Στα συστήματα γραφικών, το σχετικό film παραγωγής είναι συνήθως ψηφιακής μορφής σε μία κατάλληλη φόρμα γραφικής (π.χ. avi, fli).

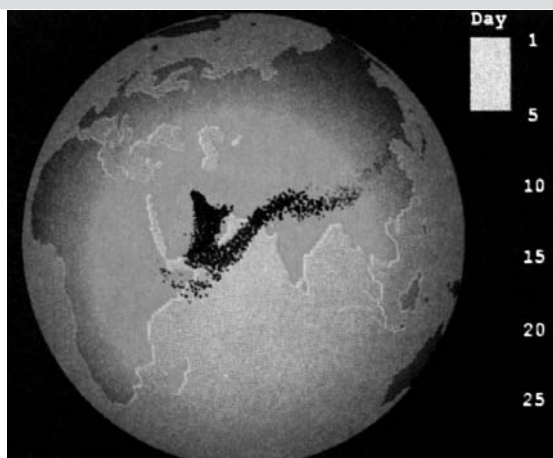
Επίσης, οι επαναλαμβανόμενες διαδικασίες που απαιτούν συνήθως οι τεχνικές marketing για τη διαφήμιση ενός προϊόντος, διευκολύνονται κατά μεγάλο βαθμό από τα γραφικά με Η/Υ και τις τεχνικές σκηνοθετημένης περιήγησης και ελεύθερης κίνησης στο χώρο.

### Επεξεργασία Εικόνας

(Image Processing, Remote Sensing)

Η επεξεργασία εικόνας και τα γραφικά με Η/Υ αποτελούν δύο επιστημονικές περιοχές που αλληλο-συμπληρώνονται και αλληλο-υποστηρίζονται.

Πράγματι, η επεξεργασία εικόνας επεξεργάζεται και αναλύει εικόνες αντλώντας δεδομένα και πληροφορίες, ενώ τα γραφικά συνθέτουν και δημιουργούν γραφική πληροφορία τύπου 'εικόνας'



(σχέδια και μοντέλα). Επίσης, πολλές φορές οι εφαρμογές γραφικών επικουρούν σύνθετες εφαρμογές remote sensing που στηρίζονται σε επεξεργασία της διανυσματικής ή μη γραφικής πληροφορίας.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συνεργασίας της γραφικής με την επεξεργασία εικόνας, αποτελεί η χρήση συστημάτων γραφικών τύπου ψηφίδας για την απεικόνιση, επεξεργασία και ανάλυση εικόνων ψηφιδωτής μορφής που έχουν μεταδοθεί από Landsat ή Spot δορυφόρους.

### Ψυχαγωγία

(Entertainment)



### Εικονικές Περιηγήσεις

(Real-Time Visualization)



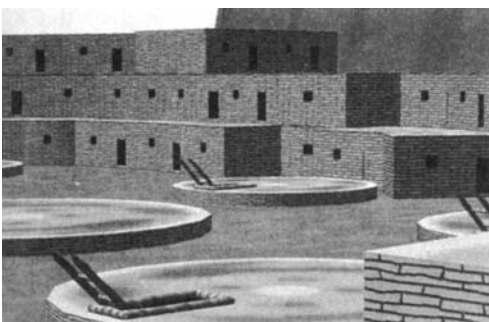
### Αρχιτεκτονική

(Computer-Aided Architectural Design, CAAD)



### Εικονικές Αναπαραστάσεις Μνημείων και Πολιτιστικών Συνόλων

(Monuments & Sites - Digital Modeling and Visualization)





## Ανασκόπηση Κεφαλαίου

(Chapter Review)

Το τρέχον κεφάλαιο είχε στόχο την παρουσίαση βασικών εννοιών, τη γνωριμία με την ιστορία των γραφικών, καθώς και την παράθεση πλήθους εφαρμογών που εξυπηρετούν τον άνθρωπο-χρήστη.

Η ιστορία των γραφικών ξεκινάει πενήντα χρόνια πριν, σχεδόν ως ένα όνειρο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι τεχνολογικές εξελίξεις των ηλεκτρονικών υπολογιστών (μνήμη, υλικό, λογισμικό) σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους, οδήγησαν σε αξιόλογα και οικονομικά εκμεταλλεύσιμα συστήματα.

Έτσι, τα συστήματα γραφικών, ως διαδραστικά συστήματα επικοινωνίας ανθρώπου - υπολογιστή, κυριάρχησαν στην έρευνα, στην εκπαίδευση, στην παραγωγική διαδικασία και στη λήψη των αποφάσεων.

Σταθμοί στην ιστορία των γραφικών είναι η χρήση της CRT τεχνολογίας στο MIT (*Whirlwind*, 1950), η διατριβή του Ian Sutherland με αναφορά στη θεωρητική υποδομή των διαδραστικών CAD συστημάτων (*Sketchpad*, 1963), η δεκαετία της δυναμικής απεικόνισης και των βασικών μονάδων εισόδου/εξόδου γραφικής πληροφορίας (vectors, '60), η δεκαετία της ψηφίδας και των αλγορίθμων (rasters, '70), η δεκαετία των προτύπων (standards, '80), η δεκαετία των γραφικών τελικού-χρήστη, της SGI reality engine και της εικονικής πραγματικότητας (VR, '90) και η πρόκληση για τα γραφικά διαδίκτυα (Internet/Web γραφικά) και την CAD/GIS ολοκλήρωση (WVR, νέα χιλιετία).



## Επιστημονικές Αναφορές

(References)

- Bezier, P.** (1972). *Numerical Control - Mathematics and Applications*. A. R. Forrest (trans.). John Wiley, London.
- Coons, S. A.** (1966). *The Uses of Computers in Technology*. Sci. Am., September 1966.
- Cowen, D. J.** (1988). *GIS versus CAD versus DBMS: What are the Differences ?*. PE&RS Vol. 54, No. 11, pp. 1551-1555. ASPRS, Falls Church, VA.
- Fritsch, D.** (1996). *Three-Dimensional Geographic Information Systems - Status and Prospects*. ISPRS Archives Vol. XXXI, Part B3, pp. 215-221.
- Gouraud, H.** (1971). *Computer Display of Curved Surfaces*. University of Utah, Computer Science Department, UTEC-CSc-71-113, June 1971. NTIS ADA-762 018. Abridged version in IEEE Transactions, C-20(6): 623, June 1971.
- Glassner, A.** (1989). *An Introduction to Ray-Tracing*. London: Academic Press.

- Hamming, R. W.** (1980). *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics*. American Mathematics Monthly Vol. 87, p. 81. USA.
- Hazelton, N. W. J.** (1992). *Integrating Time, Dynamic Modelling and Geographical Information Systems: Development of a Four-Dimensional GIS*. Ph.D. Thesis, 150 pp. Department of SLI, The University of Melbourne, Australia.
- Λιβιεράτος, Ε. και Παρασκάκης, Ι.** (1995). *Ψηφιακές Τεκμηριώσεις Χώρου - Εφαρμογές στην Τοπική Αυτοδιοίκηση & στον Αρχιτεκτονικό και Μνημειακό Πλούτο*. 176 σελ., Έκδοση Comett/DigiDoc, Θεσσαλονίκη.
- Logan, T. L. and Bryant, N. A.** (1987). *Spatial Data Software Integration: Merging CAD/CAM/Mapping with GIS and Image Processing*. PE&RS Vol. 53, No. 10, pp. 1391-1395. ASPRS, Falls Church, VA.
- Παρασκάκης, Ι., Παπαδοπούλου, Μ. και Πατιάς, Π.** (1990). *Σχεδίαση με HY*. 295 σελ., Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- Παρασκάκης, Ι., Πατιάς, Π. και Γεωργούλα, Ο.** (1992). *Προδιαγραφές Ψηφιακής Τεκμηρίωσης Μνημείων, Συνόλων και Αρχαιολογικών Χώρων. Μία πρώτη προσέγγιση*. Πρακτικά Σεμιναρίου “Επίγεια Φωτογραμμετρία και Συστήματα Πληροφοριών Χώρου για την Τεκμηρίωση του Μνημειακού Πλούτου της Χώρας”, σελ. 69-85. ΤΚΦΧ/ΤΑΤΜ/ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Phong, Bui-Tuong** (1973). *Illumination for Computer-Generated Images*. Univ. of Utah, Computer Science Dept., UTEC-CSc-73-129, July 1973. NTIS ADA-008 786.
- Phong, Bui-Tuong** (1975). *Illumination for Computer-Generated Pictures*. CACM, Vol. 18, No. 6, pp. 311-317, June 1975.
- Ramirez, J. R.** (1991). *Computer-Aided Mapping System: The Next Generation*. PE&RS Vol. 57, No. 1, pp. 85-88. ASPRS, Falls Church, VA.
- Speer, L. R.** (1991). *A Cross-Indexed Guide to the Ray-Tracing Literature*. Computer Graphics Forum, Vol. 10, No. 2, pp. 145-174.
- Sutherland, I. E.** (1963). *SKETCHPAD: A Man-Machine Graphical Communication System*. MIT Lincoln Lab. Tech. Rep. 296, May 1965. Abridged version in SJCC 1963, pp. 329, Spartan Books, Baltimore, Md.
- Στυλιάδης, Α. Δ.** (1997). *Ψηφιακές Τεκμηριώσεις Μνημείων και Συνόλων με Τρισδιάστατη Γεωμετρία και Ποιοτική Πληροφορία*. Διδακτορική Διατριβή, 178 σελ., ΠΣΑΠΘ/ΤΑΤΜ, Θεσσαλονίκη.
- Styliadis, A. D.** (1997). *Integrating Modelling in Geographical Information Systems - An Archaeological Application*. Proceedings of Int'l Conference “Studies of Ancient Structures - SAS97” (ICOMOS), pp. 147-156.



## Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις Αναφοράς

(Internet/Web - WWW Clients)

**EUROGRAPHICS Association** (European Association for Computer Graphics)

URL: <http://www.cwi.nl/Eurographics> (WWW Client)

**INRIA France**

<http://www.inria.fr/eg96>

**IEEE Computer Science, The**

URL: [info.computer.org](http://info.computer.org) (Gopher Client)

URL: <http://www.computer.org> (WWW Client)

Email: [membership@computer.org](mailto:membership@computer.org)

**Blackwell Publishers**

URL: <http://www.blackwellpublishers.co.uk> (WWW Client)

Email: [spearson@blackwellpublishers.co.uk](mailto:spearson@blackwellpublishers.co.uk)

## 2. ΣΥΝΘΕΣΗ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

(Overview of Graphics Systems, Configuration)

*«Expert is the Man who has made  
all the possible mistakes  
could be done in a very narrow field...»*

(Khoi Dinh-Vu, 1896)

Τα σύγχρονα περιβάλλοντα (συστήματα) υποστήριξης γραφικών οφείλουν να τονίζουν τη διαδραστικότητα και διαλογικότητα του περιβάλλοντός, να υπακούουν σε κανόνες και πρότυπα διεθνώς αποδεκτά και να χαρακτηρίζονται από φιλικότητα, επεκτασιμότητα και ανοιχτή δομή. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθορίζουν και μία σειρά από ποιοτικές παραμέτρους τις οποίες οφείλει να υπακούει η σύνθεση των σύγχρονων γραφικών συστημάτων.

Η σύνθεση ενός σύγχρονου γραφικού συστήματος αποτελείται από διαλογικές μονάδες εισόδου/εξόδου (περιφερειακά), από λογισμικό περιβάλλοντος, επικοινωνίας και συστήματος, καθώς και από μεθόδους και διαδικασίες διευθυνσιοποίησης της γραφικής πληροφορίας. Στο τρέχον κεφάλαιο εξετάζονται τα βασικά στοιχεία ενός γραφικού συστήματος και αναλύονται οι ποιοτικές παράμετροι που το χαρακτηρίζουν.

### 2.1 Μονάδες Εισόδου/Εξόδου - Περιφερειακά

(Graphics Hardware: I/O Graphics Devices - Peripherals)

Στα πλαίσια ενός γραφικού συστήματος οι μονάδες εισόδου/εξόδου (I/O devices) λειτουργούν ως *πρωτόκολλο επικοινωνίας* ανάμεσα στο χρήστη του συστήματος και τον υπολογιστή. Για μία πιο λεπτομερή περιγραφή των περιφερειακών συσκευών συνιστάται το βιβλίο *Σχεδίαση με HY - 3<sup>ο</sup> & 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο* [Παρασχάκης κ. ά., 1990].

#### A. Μονάδες Εισόδου

(Input Graphics Devices)

Το **Πληκτρολόγιο** (keyboard) είναι το απλούστερο και πιο γνωστό περιφερειακό εισόδου. Η χρήση του σε εφαρμογές γραφικών αφορά την είσοδο δεδομένων, πράξεων και κώδικα προγραμμάτων.

Η πίεση ενός πλήκτρου (key-hit) έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μεταφορά ενός αποκλειστικού κωδικού χαρακτήρα (uni-



que character code) στο γραφικό υποσύστημα. Σε ένα απόλυτα ελεγχόμενο γραφικό περιβάλλον οι 128 ASCII (256 EBCDIC) χαρακτήρες κατευθύνουν ανάλογα τη ροή της γραφικής πληροφορίας.

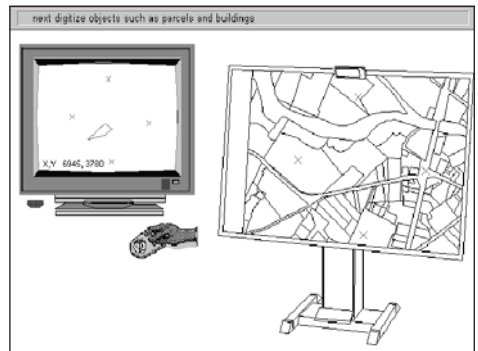
Η **Πένα Φωτισμού** (light pen), ένα ειδικευμένο και λιγότερο γνωστό περιφερειακό εισόδου, χαρακτηρίζεται από την ιδιότητά της να ενεργοποιεί ένα φωτοκύτταρο όταν τοποθετείται σε κάποιο σημείο επί της οθόνης. Έτσι, όταν ένα pixel βρεθεί στο πεδίο όρασης της πέννας φωτισμού, το φωτοκύτταρο στέλνει στο γραφικό υποσύστημα το χρόνο που συλλαμβάνει από τον κύκλο διαρκούς σάρωσης του ελεγκτή απεικόνισης (display controller, scan refresh cycle). Στη συνέχεια η ακριβής θέση του pixel επί της οθόνης υπολογίζεται από το χρόνο αυτόν.

Το **Ποντίκι** (mouse), αποτελεί το χαρακτηριστικό εκπρόσωπο των *δεικτικών συσκευών* (pointing devices). Τα mice χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στα διαδραστικά γραφικά συστήματα αντικαθιστώντας σε μεγάλο βαθμό τα πληκτρολόγια. Η διαχείριση του mouse σε ένα ελεγχόμενο γραφικό περιβάλλον επιτυγχάνεται με την κλήση κατάλληλων ρουτίνων εξυπηρέτησης (s/w interrupt 33H).

Ο **Ψηφιοποιητής** (digitizer, graphics tablet) είναι αυτόνομη περιφερειακή συσκευή με διαστάσεις που ποικίλουν από DIN A4 έως A0. Ειδικότερα, ο ψηφιοποιητής μετράει ορθογώνιες Καρτεσιανές συντεταγμένες (x, y) 'εδάφους' και έχει στόχο τη διανυσματοποίηση / διανυσματική απεικόνιση (Raster-to-Vector, **R V**)

ενός αναλογικού σχεδίου (tablet digitizing) ή μίας ψηφιακής εικόνας ("heads-up" / on-screen digitizing) χρησιμοποιώντας ένα δικό του τοπικό σύστημα αναφοράς.

Οι Καρτεσιανές αυτές συντεταγμένες *μεταβιβάζονται*, σε πραγματικό χρόνο, σε ένα ενεργό σχεδιαστικό CAD περιβάλλον ενός Η/Υ με τον οποίον είναι συνδεδεμένος ο ψηφιοποιητής. Ακολουθεί ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων σε συντεταγμένες 'οθόνης' και η δημιουργία της γραφικής πληροφορίας με διανυσματική μορφή. Ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων στηρίζεται σε τρία (3) τουλάχιστον σημεία αναφοράς (registration ή calibration points) του αναλογικού σχεδίου, γνωστά ως **TICs**, για τα οποία είναι γνωστές οι συντεταγμένες 'εδάφους' (στην πραγματικότητα χρησιμοποιούνται 8 έως 10 σημεία). Τα σημεία αναφοράς, λίγο πριν αρχίσει η διαδικασία του registration (mapping) της συσκευής, πρέπει να τοποθε-





τούνται στο ψηφιακό σχεδιαστικό περιβάλλον. Αμέσως μετά το registration του ψηφιοποιητή αρχίζει η ψηφιοποίηση σε πραγματικό χρόνο (on-line vectorization).

Οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα ψηφιοποίησης είναι η διακριτική και σχεδιαστική ικανότητα και η ακρίβεια. Η *διακριτική ικανότητα* (resolution) αναφέρεται στην ικανότητα διάκρισης της γραφικής πληροφορίας και κυμαίνεται από 0.1 mm έως και 0.010 mm. Αντίστοιχα, η *σχεδιαστική ικανότητα* του χεριού είναι της τάξης του 1/40 inch (ή 40 dots per inch). Τέλος, η *ακρίβεια* (accuracy) αφορά τις συντεταγμένες της γραφικής πληροφορίας και κυμαίνεται από 0.5 mm έως και 0.10 mm (απόλυτες τιμές).



Ο **Σαρωτής** (scanner) με την τεχνική του *ψηφιδωτού* δημιουργεί ψηφιακές εικόνες ψηφιδωτής μορφής από αναλογική γραφική πληροφορία (π.χ. εκτυπωμένες φωτογραφίες). Η ψηφιακή εικόνα αποθηκεύεται με βάση τους κανόνες μίας φόρμας γραφικής (π.χ. tiff, jpeg) και περιέχει όλη την απαιτούμενη πληροφορία για την τοπολογική ανακατασκευή της εικόνας. Αποτελεί δηλαδή ένα είδος ψηφιακής τεκμηρίωσης της αναλογικής μορφής γραφικής πληροφορίας.

Η *πραγματική* ή *ενεργή* διακριτική ικανότητα (actual scan resolution) των σαρωτών ποικίλει από τα 300 dpi (12 dots/mm) μέχρι τα 1,500 dpi (60 dots/mm). Αντίστοιχα, η διακριτική ικανότητα *παρεμβολής* (interpolated resolution) μπορεί να φτάσει, με τη βοήθεια λογισμικού, τα 3,000 dpi (120 dots/mm).

## **B. Τεχνολογία Απεικόνισης της Γραφικής Πληροφορίας - Μονάδες Εξόδου** (Output Graphics Devices - Technology)

Η απαίτηση για ποιότητα σχεδίασης καθορίζει και τα χαρακτηριστικά του περιφερειακού απεικόνισης. Στον τομέα αυτόν η διακριτική ικανότητα (π.χ. 800 dpi), το πλήθος των χρωμάτων (π.χ. 32 K) και η μνήμη της συσκευής (π.χ. 4 MByte) αποτελούν τους βασικούς παράγοντες επιλογής.

### **B<sub>1</sub>. Hard-Copy Output Devices**

#### **Εκτυπωτής (printer)**

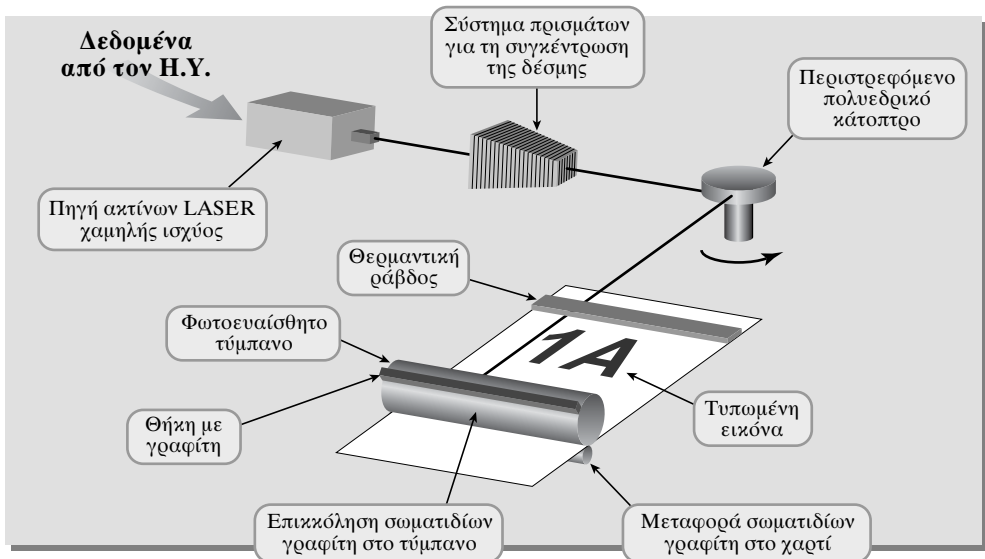
Ο εκτυπωτής αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα περιφερειακού που δέχεται και απεικονίζει γραφική πληροφορία με την τεχνική του *ψηφιδωτού*. Η απόδοση της γραφικής πληροφορίας (εικόνων ή σχεδίων) επιτυγχάνεται, είτε μέσω των ειδικών χαρακτήρων που υποστηρίζουν το σύστημα, είτε με την εκτύπωση κουκίδων (dots), είτε με τη χρήση ακτίνων laser χαμηλής ισχύος, είτε με έκχυση μελάνης.

Αντίστοιχα, οι εκτυπωτές διακρίνονται στους παλιές τεχνολογίας κρουστικούς εκτυπωτές μαργαρίτας ή ημισφαιρίου (impact printers), τους εκτυπωτές μήτρας κουκκίδων (dot-matrix printers), τους εκτυπωτές laser και τους εκτυπωτές ψεκασμού μελάνης (ink-jet printers).

Στους έγχρωμους εκτυπωτές ψεκασμού, η έγχρωμη εκτύπωση επιτυγχάνεται με τη μίξη μελάνης από τα χρώματα κίτρινο, κόκκινο και κυανό. Επιπλέον, για οικονομία χρόνου και χρώματος, διατίθεται και μαύρο μελάνι.

Ειδικότερα:

- Οι **line printers** (band printers) χρησιμοποιούνται για χαμηλής ανάλυσης γραφικές παρουσιάσεις.
- Οι **dot-matrix printers** χρησιμοποιούνται για χαμηλής και μέσης ποιότητας παρουσιάσεις. Στην περίπτωση αυτή για καθένα ASCII ή γραφικό χαρακτήρα διατίθεται ένας κάποιος αριθμός *κουκκίδων* (pins). Για παράδειγμα, ένας dot-matrix printer με ανάλυση 7 lines x 5 dots per line διαθέτει 35 *κουκκίδες* για καθένα χαρακτήρα.
- Οι **laser graphics printers** χρησιμοποιούνται για υψηλής ανάλυσης ασπρόμαυρες εικόνες. Μερικές χαρακτηριστικές αναλύσεις αναφέρονται σε 240, 300, 480, 560, 800, 1024 dpi [Εικ. 2.1].
- Οι **daisy-wheel printers** χρησιμοποιούνται για πολύ καλής ποιότητας γραφικές παρουσιάσεις.
- Οι **ink-jet printers** χρησιμοποιούνται για πολύ υψηλής ποιότητας έγχρωμες εικόνες με ανάλυση μέχρι και 2,200 dpi.



Εικόνα 2.1 Σχηματική Παράσταση Λειτουργίας Εκτυπωτή Laser

### Αυτόματος Σχεδιαστής (plotter)

Ο αυτόματος σχεδιαστής, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [Hartke et al., 1978], αποτελεί ένα *καλλιγραφικό* περιφερειακό (calligraphic device) διότι παράγει σχεδιάσεις ποιότητας. Ένας αυτόματος σχεδιαστής έχει υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, ενώ χρησιμοποιείται ευρύτατα στη παραγωγή θεματικών χαρτών και διαγραμμάτων στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών και τη χαρτογραφία.

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες αυτόματων σχεδιαστών:

- Οι **drum plotters** που θεωρούνται κατάλληλοι για μέσης ποιότητας γραφικές παρουσιάσεις. Σε αυτά τα περιφερειακά το χαρτί ή η διαφάνεια μετακινείται σε μια μονάχα κατεύθυνση και η πέννα ή οι πέννες κατά την αντίστοιχη κάθετη κατεύθυνση.
- Οι **flatbed plotters** που θεωρούνται κατάλληλοι για υψηλής ποιότητας γραφικές παρουσιάσεις. Σε αυτά τα περιφερειακά υπάρχει η δυνατότητα η πέννα να μετακινείται σε δύο ορθογώνιες κατευθύνσεις, ενώ το μέσο καταχώρισης της εικόνας (χαρτί, διαφάνεια, κ.λπ.) παραμένει σταθερό και οριζόντιο.
- Οι **electrostatic plotters** (raster plotters) που θεωρούνται κατάλληλοι για υψηλής ποιότητας έγχρωμες εικόνες με ανάλυση μέχρι και 800 dpi.

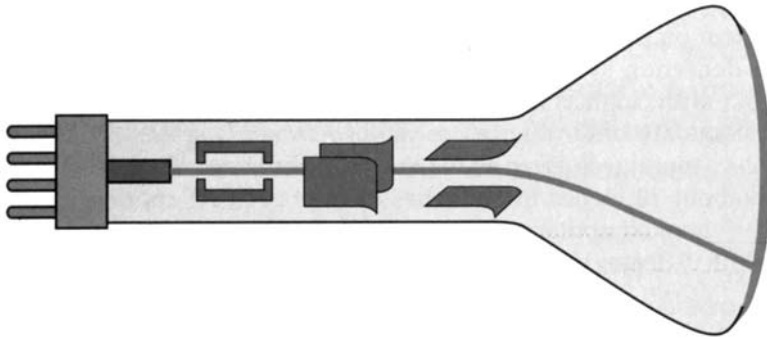
### B<sub>2</sub>. Soft-Copy Display Devices (Οθόνες)

Τόσο η διαδικασία δημιουργίας της γραφικής πληροφορίας, όσο και οι παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα της απεικόνισης (persistence time, resolution, aspect ratio), έχουν ως σημείο αναφοράς μία συσκευή προβολής της γραφικής πληροφορίας που ονομάζεται **οθόνη** (display device). Οι σύγχρονες οθόνες χρησιμοποιούν, είτε την τεχνολογία των *συμπαγών υλικών* (**solid-state**), είτε την παραδοσιακή τεχνολογία του *καθοδικού σωλήνα* (**CRT**).

Σύμφωνα με την CRT τεχνολογία, τρεις δέσμες αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων (RGB ray beams) παράγονται σε ηλεκτρόδια (δηλ. *καθόδους*) στο ένα άκρο ενός σωλήνα κενού αέρος και κατευθύνονται, μέσω ενός ηλεκτροστατικού ή μαγνητικού συστήματος *εστίασης* και *εκτροπής*, σε ειδικά θετικά επιστρωμένη επιφάνεια φωσφόρου που καλύπτει την οθόνη στο άλλο άκρο του σωλήνα.

Αρχικά, το *συγκεντρωτικό σύστημα εστίασης* (**focusing system**) επικεντρώνει-εστιάζει τη δέσμη των ηλεκτρονίων έτσι ώστε όταν αυτά συναντούν την οθόνη να έχουν μετατραπεί σε μία μικρή κουκίδα (dot). Ακολούθως, το *κατευθυντήριο σύστημα εκτροπής* (**deflection system**), που αποτελείται από δύο ζευγάρια *πλακών* (plates), ένα οριζόντιο και ένα κατακόρυφο, κατευθύνει τη δέσμη των ηλεκτρονίων σε οποιαδήποτε σημείο επί της οθόνης [Εικ. 2.2].

Η διαχείριση της δέσμης των ηλεκτρονίων στηρίζεται στο γεγονός ότι αυτή είναι αρνητικά φορτισμένη και συνεπώς είναι ευαίσθητη στις ηλεκτροστατικές ή μαγνητικές επιρροές του συγκεντρωτικού και του κατευθυντηρίου συστήματος.



*Εικόνα 2.2 Ηλεκτροστατική Καθοδήγηση της Ομάδας των Αρνητικά Φορτισμένων Ηλεκτρονίων σε μία CRT συσκευή (Focusing & Deflection Systems)*

Όταν η απόλυτα ελεγχόμενη και κατευθυνόμενη ομάδα ηλεκτρονίων συναντάει την οθόνη, δημιουργείται ένα φωτεινό μικρό σημάδι (light-spot) εξαιτίας του φωσφόρου που καλύπτει την οθόνη. Βεβαίως, όταν το light-spot δεν είναι αρκετά φωτεινό, αυτό οφείλεται στα λίγα σχετικά ηλεκτρόνια που τελικά φτάνουν μέχρι την οθόνη. Η διάρκεια του light spot είναι σχετικά μικρή μια και η δέσμη ηλεκτρονίων μετακινείται συνεχώς σε άλλες θέσεις επί της οθόνης και ονομάζεται *χρόνος επιμονής (persistence time)*. Συνήθως, ο *χρόνος επιμονής* των light-spots διαρκεί κλάσματα του δευτερολέπτου, ανάλογα με τον τύπο του φωσφόρου που καλύπτει την οθόνη. Συνεπώς, επιβάλλεται μία συνεχής σάρωση της οθόνης (**refreshing**) με στόχο τη χρονική συνέχεια της εικόνας-γραφικής πληροφορίας. Μία συνηθισμένη σάρωση έχει συχνότητα 70 φορές το δευτερόλεπτο.

Από τα CRT συστήματα, εκείνα που βασίζονται στην πιο πάνω τεχνική της συνεχούς σάρωσης της οθόνης, είναι τα πλέον κατάλληλα για διαλογικά-διαδραστικά γραφικά περιβάλλοντα και ονομάζονται **refresh CRT devices**. Αντιθέτως, άλλα συστήματα στηρίζονται στην αποθήκευση της γραφικής πληροφορίας στο εσωτερικό της CRT συσκευής. Από τα συστήματα αυτά ξεχωρίζουν τα **DVST CRT devices** (direct-view storage tube) που αποθηκεύουν τη γραφική πληροφορία ως κατανομή φόρτισης ακριβώς στο πίσω μέρος της καλυμμένης με φώσφορο οθόνης.

Τα DVST περιφερειακά θεωρούνται ως *καλλιγραφικά* περιφερειακά ποιότητας που χρησιμοποιούν τεχνολογία τηλεόρασης. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των DVST displays είναι το μικρό κόστος, η υψηλή ανάλυση, και η παρουσίαση γραμμών χωρίς προβλήματα ευθυγραμμίας. Δηλαδή, τα συστήματα αυτά έχουν δυνατότητα για παράσταση γραμμών με απόλυτη ευθυγραμμία (straight lines), άρα δυνατότητα για παράσταση 2-D και 3-D ιστογραμμάτων (vector-like διαγράμματα).

Αντίστοιχα, τα κυριότερα μειονεκτήματά τους είναι:

- Αδυναμία υποστήριξης διαδικασιών ‘σβησίματος’ τμημάτων της γραφικής πληροφοροφίας κατ’ επιλογή.
- Αδυναμία ενημέρωσης (τροποποίησης) τμημάτων της εικόνας. Τονίζεται ότι κάθε αλλαγή πάνω στην εικόνα απαιτεί καθολικό ‘σβήσιμο’ και επανασχεδίαση της εικόνας απ’ την αρχή.
- Η εικόνα όταν δημιουργηθεί διατηρείται αναγκαστικά για μία ώρα περίπου. Αυτό αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα για διαδραστικές εφαρμογές γραφικών, εφαρμογές animation, κ.λπ.
- Τέλος, τα DVST περιφερειακά δεν κρίνονται κατάλληλα για τερματικά τύπου ASCII.

### Βασικά Στοιχεία των DVST Περιφερειακών

Τα βασικά στοιχεία των DVST περιφερειακών είναι: ένα πλέγμα αποθήκευσης της γραφικής πληροφορίας (**storage grid**), μία οθόνη φωσφόρου με δυνατότητα να κρατάει μέχρι και μία ώρα την εικόνα (**phosphor display screen**), μία δέσμη αρνητικώς φορτισμένων ηλεκτρονίων (**electron beam**) και ένα πιστολέτο μαζικής παραγωγής ηλεκτρονίων (**flood gun**).

Έτσι, καθώς η δέσμη ηλεκτρονίων χτυπάει το πλέγμα αποθήκευσης δημιουργείται μία εικόνα με θετική χρέωση. Το πιστολέτο μαζικής παραγωγής ηλεκτρονίων σαρώνει συνεχώς ολόκληρη την οθόνη με χαμηλής ενέργειας ηλεκτρόνια και προκαλεί τη μεταφορά της με θετική χρέωση εικόνας στην οθόνη, όπου και παραμένει ορατή για μία περίπου ώρα. Για να ‘σβηστεί’ η εικόνα αποδίδεται σε ολόκληρο το πλέγμα αποθήκευσης μια καθολική θετική χρέωση, με αποτέλεσμα την παρουσία μίας άσπρης λάμπης πριν η οθόνη σβήσει οριστικά.

Πρώτη η Tektronix το 1968 παρουσίασε την DVST τεχνολογία. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα DVST περιφερειακού είναι το γνωστό Tektronix 4010.

### Σύγκριση DVST CRT και Refresh CRT Τεχνολογίας

Λίγο πριν την αναλυτική παρουσίαση των βασικών κατηγοριών CRT απεικονίσεων και περιφερειακών, ένας σχολιασμός της κυριότερης διαφοράς των **DVST CRT** περιφερειακών σε σχέση με τα refresh CRT περιφερειακά, δηλαδή τα **random/vector CRT** και τα **raster CRT** περιφερειακά, θεωρείται αναγκαίος.

Η βασική διαφορά των DVST και refresh CRT περιφερειακών είναι ότι η οθόνη στα refresh CRT - σε αντίθεση με τα DVST CRT - σαρώνεται συνεχώς, ενώ παράλληλα το υλικό τύπου φωσφόρου που χρησιμοποιείται διαρκεί πολύ λίγο χρόνο. Συνεπώς, στα **refresh CRT** περιφερειακά για να δημιουργηθεί μία εικόνα συνεχώς ορατή από το ανθρώπινο μάτι πρέπει να ξανασχεδιάζεται στην οθόνη η όποια γραφική πληροφορία τουλάχιστον 30 φορές το δευτερόλεπτο. Το πλήθος αυτό των *ανεώσεων* (*σαρώσεων*) της οθόνης κατά τη διάρκεια ενός δευτερολέπτου επηρεάζει

σημαντικά την ποιότητα απεικόνισης της γραφικής πληροφορίας και είναι ευρύτετα γνωστό ως *ρυθμός ανανέωσης (σάρωσης)* της γραφικής πληροφορίας του συστήματος απεικόνισης (**refresh rate**).

Είναι γεγονός ότι στις ΗΠΑ και την Ευρώπη τα συστήματα απεικόνισης χρησιμοποιούν διαφορετικούς *ρυθμούς ανανέωσης*. Βεβαίως, σε καμιά περίπτωση δεν συναντώνται συστήματα με refresh rate < 30, διότι έτσι δημιουργούνται προβλήματα στην παρουσίαση και τη φωτεινότητα της εικόνας. Πράγματι, όταν ένα σύστημα απεικόνισης έχει *ρυθμό ανανέωσης* < 30, αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ανθρώπινο μάτι που κοιτάει προς την οθόνη να αντιλαμβάνεται ένα *τρεμούλιασμα* της εικόνας, γνωστό ως **flickering**.

Ακολουθεί η παρουσίαση των δύο βασικών **refresh CRT** περιφερειακών. Οι απεικονίσεις που στηρίζονται στα περιφερειακά αυτά χαρακτηρίζονται ως γραφικές απεικονίσεις *διανυσματικής* (random/vector-scan) και *ψηφιδωτής* (raster-scan) μορφής αντίστοιχα.

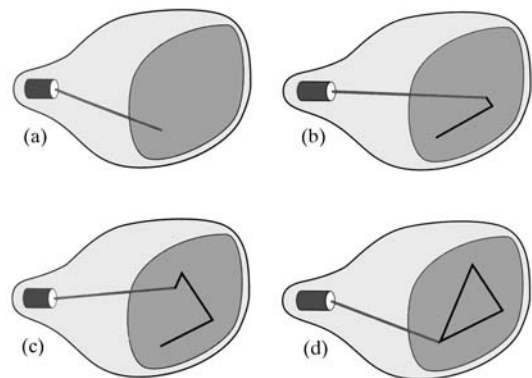
### Random/Vector-Scan Απεικονίσεις

(Γραφικές Απεικονίσεις Διανυσματικής Μορφής, CRT Refresh)

Τα random/vector συστήματα, που πολλές φορές συναντώνται απλά και ως vector συστήματα (ή calligraphic, ή stroke-writing, ή line-drawing), ανήκουν στην κατηγορία των refresh CRT συστημάτων απεικόνισης της γραφικής πληροφορίας. Η βασική φιλοσοφία που χαρακτηρίζει τις απεικονίσεις με αυτά τα συστήματα, στηρίζεται στη δημιουργία πολύπλοκων σχεδίων (2-D) και μοντέλων (3-D) με τη βοήθεια σχετικά μικρών και πεπερασμένων ευθύγραμμων τμημάτων, γνωστών και ως **line-segments** [Εικ. 2.3].

Τα random/vector συστήματα χρησιμοποιούν μια περιοχή της μνήμης RAM που ονομάζεται, σχεδόν από όλα τα πρότυπα γραφικής (CORE, GKS, PHIGS+), **display file**. Το display file είναι ουσιαστικά μία περιοχή μνήμης RAM, με συνεχή ανανέωση των περιεχομένων της, αφιερωμένη στην απεικόνιση της γραφικής πληροφορίας (refresh display memory). Η μνήμη αυτή περιέχει εντολές σχεδίασης line segments (line-drawing commands), π.χ. “draw a line from A to B”.

Η CPU ή ένας ειδικός επεξεργαστής (display processor) χρησιμοποιείται για την είσοδο των *εντολών σχεδίασης* στο display file. Ακολουθώντας, ένας ειδικός επεξεργαστής



Εικόνα 2.3 Διανυσματικές Απεικονίσεις

(vector-generating) ερμηνεύει τα περιεχόμενα του display file και στέλνει την αναγκαία διαφορά τάσης (voltage) στο κατευθυντήριο σύστημα εκτροπής (deflection system) του random/vector περιφερειακού, μετακινώντας τη δέσμη των ηλεκτρονίων με μία απόλυτα ευθεία γραμμή (straight line) από το αρχικό σημείο (A) στο τελικό σημείο (B).

Τα random/vector συστήματα συνήθως έχουν ρυθμό ανανέωσης της γραφικής πληροφορίας του συστήματος απεικόνισης από 30 έως 60 times/sec.

Μία βασική διαφορά των random/vector συστημάτων από τα raster συστήματα, είναι ότι στα random/vector συστήματα η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει μόνο εκείνα τα τμήματα της οθόνης όπου υπάρχουν straight lines κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου ανανέωσης της γραφικής πληροφορίας (refresh cycle). Αντίθετα, στα raster συστήματα η σάρωση είναι καθολική και αναφέρεται σε ολόκληρη την οθόνη.

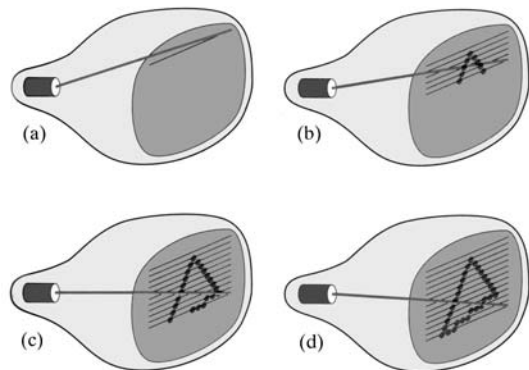
Σοβαρό πλεονέκτημα των random/vector συστημάτων είναι η απόλυτη ακρίβεια απεικόνισης στη σχεδίαση straight lines με απλές σχετικά ρουτίνες υποστήριξης (vector-scan conversion routines), καθώς και το γεγονός ότι στα συστήματα αυτά απαιτείται συγκριτικά λιγότερη μνήμη για την παρουσίαση ενός σχεδίου ή μοντέλου επί της οθόνης (display file RAM). Αντίστοιχα, ως μειονέκτημα θεωρείται το υψηλό κόστος και η εξορισμού έλλειψη δυνατοτήτων στον τομέα του φωτορρεαλισμού και των γραφικών ποιοτικής αναπαράστασης (δηλ. rendering, shading, filling, coloring, κ.λπ.).

## Raster-Scan Απεικονίσεις

(Γραφικές Απεικονίσεις Ψηφιδωτής Μορφής, CRT Refresh)

Τα raster συστήματα είναι τα πλέον συνηθισμένα refresh CRT συστήματα στα σύγχρονα ολοκληρωμένα περιβάλλοντα γραφικών. Ειδικότερα, εφαρμογές ποιοτικής αναπαράστασης που απαιτούν χρώμα (color) ή σκιά (shade) στηρίζονται εξ ολοκλήρου στα συστήματα αυτά. Επιπλέον, τα raster περιφερειακά είναι πολύ πιο φθηνά από τα αντίστοιχα random/vector. Έτσι, η πλειονότητα των προσωπικών Η/Υ χρησιμοποιεί τα συστήματα αυτά για απεικονίσεις ποιότητας εικόνων, σχεδίων και μοντέλων.

Ένα raster σύστημα κατευθύνει τη δέσμη ηλεκτρονίων από την πάνω αριστερά γωνία της οθόνης, με μία από τα “αριστερά προς τα δεξιά” και από “πάνω προς τα κάτω” διαδικασία σάρωσης (“left-to-right & top-to-bottom scanning pattern”), συνεχώς μέχρι να συναντήσει την κάτω δεξιά γωνία της οθόνης [Εικ. 2.4].



Εικόνα 2.4 Ψηφιδωτές Απεικονίσεις

Όπως είναι φανερό, αυτή η left-to-right & top-to-bottom διαδικασία σάρωσης επαναλαμβάνεται πολλές φορές το δευτερόλεπτο για να αποφεύγονται φαινόμενα flickering. Με τον ορισμό του *ρυθμού ανανέωσης* της γραφικής πληροφορίας, ως το πλήθος των σαρώσεων της οθόνης σε ένα δευτερόλεπτο, τα σύγχρονα raster συστήματα έχουν *ρυθμούς ανανέωσης* από 30 έως 70 times/sec.

Τα raster συστήματα οδηγούν σε γραφικές απεικονίσεις ψηφιδωτής μορφής και χρησιμοποιούν frame buffers, display controllers, scan-conversion αλγορίθμους και TV monitors. Ακολουθεί μία σύντομη παρουσίαση των βασικών στοιχείων που συνθέτουν μία raster-scan απεικόνιση.

### A) Frame Buffer (Bitmap)

Ο frame buffer είναι στην ουσία ένας δισδιάστατος πίνακας, αποθηκευμένος στην κύρια μνήμη RAM, με στοιχεία (dots) τους ακεραίους αριθμούς 0 και 1. Κάθε στοιχείο του πίνακα αυτού αντιστοιχεί και σε ένα εικονοστοιχείο επί της οθόνης (screen pixel). Το στοιχείο '1' του frame buffer αντιστοιχεί σε ένα *φωταγωγημένο* (illuminated, "lit-up") pixel επί της οθόνης, ενώ αντίστοιχα το στοιχείο '0' αντιστοιχεί σε ένα *μη φωταγωγημένο* ("lit-down") pixel.

Ορισμένα συστήματα γραφικών έχουν το frame buffer πέρα από τη βασική μνήμη RAM, αλλά η σύγχρονη τάση είναι ο πίνακας αυτός να αποτελεί τμήμα της βασικής μνήμης, εάν βεβαίως δεν υπάρχουν άλλοι ιδιαίτεροι λόγοι για το διαχωρισμό του απ' αυτήν.

Στα raster συστήματα που υποστηρίζουν μόνο απλές ασπρόμαυρες εικόνες χρησιμοποιούνται *ενός επιπέδου (single-bit-plane)* frame buffers, με δυνατότητες για *δύο επίπεδα έντασης/διαχείρισης* (intensity levels, π.χ. colors). Στα συστήματα αυτά, κάθε στοιχείο του frame buffer απαιτεί και 1 bit μνήμη RAM.

Αντίστοιχα, στα συστήματα που υποστηρίζουν έγχρωμες εικόνες ή ασπρόμαυρες εικόνες ποιότητας, χρησιμοποιούνται *πολλών επιπέδων (n-bit-planes)* frame buffers, με δυνατότητες για  $2^n$  *επίπεδα έντασης/διαχείρισης*. Έτσι, στα συστήματα αυτά υπάρχει δυνατότητα για  $2^n$  χρώματα, με το καθένα στοιχείο του frame buffer να απαιτεί για την αποθήκευσή του n bits μνήμη RAM. Σημειώνεται ότι τα n bits δίνουν τη δυνατότητα για  $2^n$  συνδυασμούς των δυαδικών στοιχείων 0 και 1.

Ακολουθούν μερικά παραδείγματα που παρουσιάζουν τις δυνατότητες διαχείρισης χρωμάτων στα raster συστήματα με frame buffers πολλών επιπέδων. Έτσι, οι 3-bit-plane frame buffers έχουν 8 *επίπεδα έντασης/διαχείρισης* (δηλ. υποστηρίζουν 8 διαφορετικά χρώματα), οι 4-bit-plane frame buffers έχουν 16 *επίπεδα έντασης/διαχείρισης*, οι 8-bit-plane frame buffers έχουν 256 *επίπεδα έντασης/διαχείρισης*, οι 24-bit-plane frame buffers έχουν 16,777,216 *επίπεδα έντασης/διαχείρισης*, κ.λπ.

Συνήθως, οι 24-bit-plane frame buffers στηρίζονται στα τρία βασικά χρώματα -red, green, blue- χρησιμοποιώντας ένα 8-bit plane για το καθένα από αυτά.

Η απαίτηση σε μνήμη RAM των frame buffers είναι ανάλογη με τα *επίπεδα έντασης/διαχείρισης* που αυτοί υποστηρίζουν, δηλ. την ικανότητα τους σε επίπεδο χρω-



ματικής απεικόνισης. Έτσι, μία **ασπρόμαυρη** με ανάλυση 640 x 640 οθόνη (δηλ. ένας 640 x 640 dots frame buffer) απαιτεί 50 KBytes μνήμη RAM, ενώ μία αντίστοιχη **full color** οθόνη απαιτεί  $640 \times 640 \times 24 = 1,200$  KBytes μνήμη RAM.

### B) Display Controller (Ελεγκτής Απεικόνισης)

Ο ελεγκτής απεικόνισης είναι ένα h/w περιφερειακό που *διαβάζει* τα περιεχόμενα του frame buffer και ακολούθως τα τοποθετεί σε ένα **video buffer** αφού πρώτα μετατρέψει την ψηφιακή ακολουθία των pixel values σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο αναλογικό σήμα video (voltage signal). Ακολούθως, αυτό το αναλογικό σήμα video στέλνεται σειριακά στην οθόνη.

### C) Scan-Conversion Αλγόριθμοι

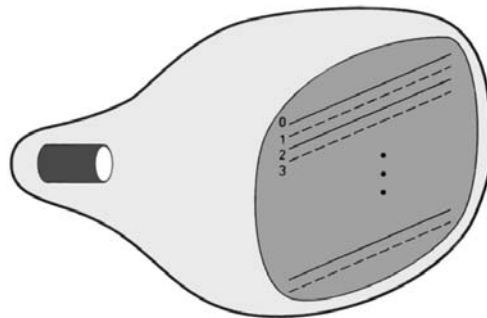
Οι scan-conversion αλγόριθμοι έχουν αποστολή τη διαδικασία μετατροπής *αυθαίρετων* -με την έννοια του *τυχαίων* (arbitrary)- ως προς την παρουσίαση σχεδίων και μοντέλων στα κατάλληλα σύνολα γραφικής πληροφορίας (δηλ. ακολουθίες δυαδικών στοιχείων 0 και 1) για το frame buffer.

### D) TV Monitor

Η ψηφιακή εικόνα του frame buffer παρουσιάζεται στην οθόνη με μία σύμπλεκτη διαδικασία ανανέωσης (interlaced refresh). Δηλαδή μία διαδικασία ανανέωσης δύο φάσεων κατά την οποία η σάρωση της οθόνης γίνεται αρχικά στις περιττές γραμμές και ακολούθως στις άρτιες. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ικανοποιητική παρουσίαση του σχεδίου ή μοντέλου (γραφική πληροφορία) στην οθόνη, ακριβώς στο μισό χρόνο από ότι θα απαιτούσε μία πλήρης σειριακή σάρωση από την κορυφή προς τη βάση.

Επιπλέον, με την τεχνική του **interlacing** αποφεύγεται το γνωστό flickering της οθόνης, δηλ. το *τρεμούλιασμα* της εικόνας [Εικ. 2.5]. Πράγματι, στα συστήματα απεικόνισης που χρησιμοποιούν refresh time της τάξης των 30 frames/second, χωρίς την τεχνική του interlacing, το φαινόμενο του flickering παρουσιάζεται, όπως είναι φυσικό, έντονα. Αντίθετα, στα ίδια συστήματα αλλά με interlacing υποστήριξη, μία πλήρης ανανέωση (refreshing) της οθόνης επιτυγχάνεται σε 1/60 του δευτερολέπτου, δηλ. παρουσιάζονται 60 *οθόνες* (frames) στο δευτερόλεπτο. Βεβαίως, οι *οθόνες* αυτές δεν θα είναι πλήρεις ως προς τη γραφική πληροφορία που παρουσιάζουν.

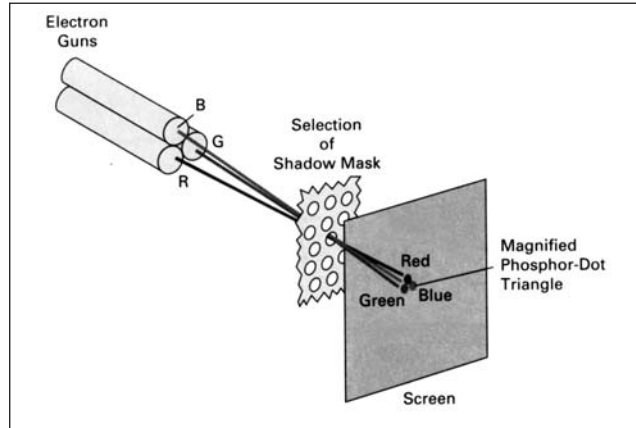
Άρα, βασική προϋπόθεση για μία ικανοποιητική εφαρμογή της interlacing υποστήριξης είναι οι γειτονικές γραμμές σάρωσης (scan-lines) του σχεδίου ή του μοντέλου να περιέχουν παρόμοια γραφική πληροφορία.



*Εικόνα 2.5 Interlacing Scan Lines  
(Raster-Scan Απεικονίσεις)*

## Color Graphics (Raster-Scan Monitor Systems)

Στις έγχρωμες raster-scan απεικονίσεις, που στηρίζονται στα τρία βασικά χρώματα, εφαρμόζονται συνήθως μέθοδοι βέλτιστης διαχείρισης της σκιάς με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων τύπου μάσκας (shadow-mask) [Εικ. 2.6].



Εικόνα 2.6 Λειτουργία της Delta-Delta Shadow-Mask CRT

## 2.2 Λογισμικό Γραφικών

(Graphics Software)

Το λογισμικό στα συστήματα γραφικών με Η/Υ ταξινομείται σε λογισμικό περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών, σε λογισμικό επικοινωνίας περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών και γραφικού (υπο)συστήματος, και λογισμικό συστήματος.

### Λογισμικό Περιβάλλοντος Ανάπτυξης Εφαρμογών

(CAD Software)

Το λογισμικό περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών αναφέρεται στο *υψηλότερο* επίπεδο του γραφικού συστήματος, δηλ. το επίπεδο που είναι πιο κοντά στον τελικό χρήστη. Όπως είναι φυσικό στο επίπεδο αυτό υπάρχουν δυνατότητες για δημιουργία γεωμετρίας και διαχείριση της γραφικής πληροφορίας με τρόπο εύκολο και φιλικό. Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι ακόμα και τα πιο απλά γραφικά περιβάλλοντα έχουν τουλάχιστον τις θεμελιώδεις δυνατότητες για σχεδίαση γραμμών, πολυγώνων και την υποστήριξη γεωμετρικών μετασχηματισμών.

Το λογισμικό περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών είναι ευρύτατα γνωστό ως **CAD** περιβάλλον ή *πλατφόρμα* (π.χ. Autodesk's AutoCAD, Bentley's MicroStation, κ.λπ.).

Μία απλή και ενδιαφέρουσα για εκπαιδευτικούς σκοπούς περίπτωση λογισμικού περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών είναι και το Borland Graphics Interface (BGI) που περιλαμβάνεται στο Development Toolkit της Turbo C (από την έκδοση 1.5 και μετά).

Όλες οι εντολές σύνθεσης γραφικών, που συνθέτουν ένα γραφικό πακέτο, είναι στην πραγματικότητα ρουτίνες γραμμένες σε Assembly ή C/C++. Οι ρουτίνες αυτές καλούνται, στα πλαίσια ενός φιλικού γραφικού περιβάλλοντος (GUI), απλά όπως καλούνται οι ρουτίνες μαθηματικών  $\sin(x)$ ,  $\cos(x)$  ή οι ρουτίνες συστήματος  $read(x, y)$ ,  $write(x, y)$  σε ένα πρόγραμμα Pascal.

## Λογισμικό Επικοινωνίας Περιβάλλοντος Ανάπτυξης Εφαρμογών & Γραφικού Συστήματος (Graphics Interface Software)

Το λογισμικό επικοινωνίας περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών και γραφικού (υπο)συστήματος θεωρείται βασικό συστατικό των σύγχρονων διαδραστικών συστημάτων. Το λογισμικό επικοινωνίας έχει στόχο να καλύψει, τόσο τις απαιτήσεις μεταφοράς, επέκτασης και συντήρησης μίας εφαρμογής γραφικής (ιδιότητες γραφικού συστήματος), όσο και την ανάγκη των γραφικών συστημάτων να υποστηρίζονται από ένα φιλικό περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών και να λειτουργούν σε δικτυωτό περιβάλλον με λογικές παράλληλης και κατανεμημένης κυκλοφορίας της γραφικής πληροφορίας (χαρακτηριστικά γραφικού συστήματος).

Στον τομέα αυτόν, ενώ οι δυνατότητες των γραφικών συστημάτων αυξάνονται συνεχώς, το κόστος αντίστοιχα μειώνεται, με αποτέλεσμα η συνεχώς αναπτυσσόμενη κοινωνία των γραφικών με Η/Υ να απαιτεί λογισμικό επικοινωνίας ευρύτερα αποδεκτό.

Αυτή η απαίτηση θεμελιώνει την ανάγκη για πρότυπα ανάπτυξης γραφικής (**graphics standards**, βλ. Παράρτημα Β) που: α) θα βοηθήσουν να αποφευχθούν ερευνητικές επικαλύψεις, β) θα επιτρέψουν την εκμετάλλευση και διάδοση της προηγούμενης γνώσης, γ) θα υποστηρίξουν τη λειτουργία των γραφικών προγραμμάτων σε διαφορετικά περιβάλλοντα (*πλατφόρμες*) και λειτουργικά συστήματα, και δ) θα αποσαφηνίσουν τη λειτουργία του λογισμικού περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών στα πλαίσια του κυβερνοχώρου.

Οι ιδιότητες των γραφικών συστημάτων ορίζουν τα χαρακτηριστικά του λογισμικού επικοινωνίας, το οποίο πλέον ως βασικό τμήμα ενός γραφικού συστήματος, οφείλει να υπακούει σε κανόνες και μεθόδους διεθνώς παραδεκτές. Έτσι, το λογισμικό επικοινωνίας πρωτοεμφανίζεται το 1979 με το σύστημα **CORE** [GSPC, 1977], [GSPC, 1979]. Ειδικότερα, το Graphics Standards Planning Committee (GSPC), σε μια προσπάθεια να πετύχει την ενιαία έκφραση του λογισμικού γραφικών στις ΗΠΑ σχεδίασε το Core graphics system (CORE) με φιλοδοξία υποστήριξης δισδιάστατων και τρισδιάστατων διαδραστικών περιβαλλόντων. Το CORE αναπτύχθηκε με βασικό στόχο να βοηθήσει τη μεταφερισιμότητα των γραφικών προγραμμάτων. Με βάση αυτόν το στόχο το CORE χαρακτηρίζεται από μία ανεξάρτητη από μηχανή σχεδίαση και υλοποίηση των αλγορίθμων.

Επίσης, στα πλαίσια πάντα της λογικής για κώδικα μεταφάρεσιμο και ανοιχτό σε επεκτάσεις, το πρότυπο αυτό υποστηρίζει μόνο τις βασικές λειτουργίες ενός διαδραστικού πακέτου, αλλά παράλληλα διαθέτει τα αναγκαία εργαλεία για υλοποίηση περισσότερο σύνθετων λειτουργιών. Δυστυχώς, παρόλο που το 1990 υπήρχαν πάνω από 330,000 χρήστες CORE-like συστημάτων, το σύστημα αυτό δεν κατάφερε να γίνει ένα διεθνώς αποδεκτό πρότυπο γραφικής. Το ΟΣΠΑΓ που διαπραγματεύεται το βιβλίο στα επόμενα κεφάλαια στηρίζεται σε σημαντικό βαθμό στο CORE πρότυπο.

Το 1980, το τότε West German National Standards Body (DIN), ανακοίνωσε το δικό του πρότυπο, το Graphical Kernel System (GKS). Το GKS είναι εξαιρετικό για γραφικά δύο διαστάσεων, πλην όμως παρουσιάζει ελλείψεις στη διαπραγμάτευση τρισδιάστατης πληροφορίας. Το 1982 το GKS έγινε ένα διεθνές πρότυπο (ISO) [Enderle et al., 1987].

Άλλα πρότυπα ανάπτυξης γραφικής, που λειτουργούν ως λογισμικό επικοινωνίας περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών και γραφικού συστήματος είναι τα **PHIGS**, **PHIGS+**, **OpenGL** και **OpenInventor**. Όλα αυτά τα πρότυπα εκφράζουν τη λειτουργικότητά τους με ρουτίνες ανεξάρτητες από το περιβάλλον λειτουργίας, παρόλο που πολλές φορές χρησιμοποιούν συγκεκριμένες γλώσσες προγραμματισμού (Fortran, Pascal, C/C++) σε επίπεδο παραδειγμάτων.

Το τρέχον βιβλίο, σε θέματα δημιουργίας και διαχείρισης γεωμετρίας στα πλαίσια δημιουργίας ολοκληρωμένου σχεδιαστικού περιβάλλοντος, στηρίζεται γενικά στα πρότυπα CORE, GKS και PHIGS, με ιδιαίτερη έμφαση στο πρώτο, ενώ σε θέματα σύνθετης οπτικοποίησης της γραφικής πληροφορίας ακολουθεί τα σύγχρονα πρότυπα OpenGL και OpenInventor. Σε όλες τις περιπτώσεις, χρησιμοποιεί την ίδια φιλοσοφία με τα αποδεκτά πρότυπα και στηρίζεται στην Pascal και τη C σε επίπεδο παραδειγμάτων.

Ειδικότερα, η επιλογή του CORE στηρίχτηκε στα βασικά χαρακτηριστικά της μεταφερεσιμότητας και απλότητας που το διακρίνουν και το καθιστούν ιδεώδες για τη σταδιακή δόμηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος ανάπτυξης και διδασκαλίας της γραφικής. Π.χ., στο πρότυπο CORE η εντολή σχεδίασης ενός ευθύγραμμου τμήματος αποθηκεύεται σε έναν control πίνακα, που ονομάζεται **Display File** (προσοχή: απλή συνωνυμία με το γνωστό display file των random/vector refresh CRT συστημάτων, σελ. 26), με την παρακάτω ρουτίνα (CORE pseudo-coding).

**Algorithm LINE-ABS-2** (x, y)

Begin

DF-PEN-X x;

DF-PEN-Y y;

DISPLAY-FILE-ENTER(2);

RETURN;

End;