



# HY416 ΓΡΑΦΙΚΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Π. ΤΣΟΜΠΑΝΟΠΟΥΛΟΥ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

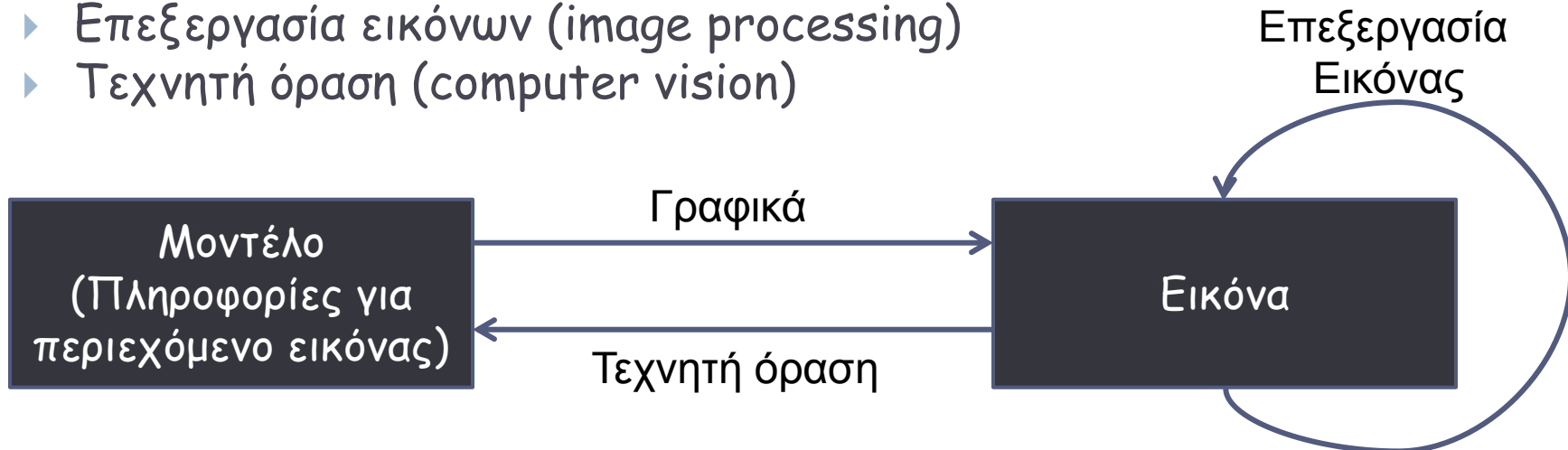
# Περί τίνος πρόκειται...

---

- ▶ Επισκόπηση - ουσία - ιστορία - γιατί
- ▶ Υλη
- ▶ χρονοδιάγραμμα
- ▶ Τυπικά
- ▶ σύνδεσμοι

# Εισαγωγή

- ▶ «Μια εικόνα αξίζει 1000 λέξεις»
  - ▶ Πόσες λέξεις χωράει;
  - ▶ Ανθρώπινο οπτικό κανάλι: 30-40 Mbits/s (64-85M λέξεις/min με 4 γράμματα/λέξη, 7bits/γράμμα).
  - ▶ Γραπτό κείμενο: 600-1200 λέξεις/min.
  - ▶ 100.000 αποδοτικότερη επικοινωνία ανθρώπου-ΗΥ μέσω γραφικών
- ▶ Περιοχές που έχουν σχέση με εικόνα:
  - ▶ Γραφικά (computer graphs)
  - ▶ Επεξεργασία εικόνων (image processing)
  - ▶ Τεχνητή όραση (computer vision)



# Σημαντικοί σταθμοί

---

- ▶ Sketchpad (1963): Αλληλεπίδραση μέσω γραφικών
  - ▶ Διανυσματική οθόνη, light pen.
- ▶ Πλεγματική οθόνη (τέλη δεκαετίας `60): εμφάνιση επιφανειών
- ▶ Έναυσμα για αλγόριθμους απόκρυψης & φωτισμού επιφανειών.
  - ▶ Αλγόριθμοι ρεαλιστικής παράστασης (συνεχώς).
  - ▶ Παράλληλη επεξεργασία / ειδικά κυκλώματα (π.χ. z-buffer ) (δεκαετίες '80 & '90).

# What is Computer Graphics?

## Τι είναι Γραφικά ΗΥ

---

Computers...

accept, process, transform and present information.

Υπολογιστές ...

Αποθηκεύουν, επεξεργάζονται, παραστούν, και μετασχηματίζουν πληροφορίες

Computer Graphics...

involves technology to accept, process, transform and present information in a visual form.

Γραφικά ΗΥ

Περιλαμβάνουν τεχνολογίες και αλγορίθμους για αποθήκευση, επεξεργασία, παράσταση, και μετασχηματισμό πληροφορίας

# CG is Movies

## Γραφικά ΗΥ είναι Κινηματογραφικές Ταινίες

To Reality and beyond!!

Γραφική πραγματικότητα

- Define directions of CG

Καθορίζουν τις κατευθύνσεις των γραφικών

- Set quality standards

Θέτουν ποιοτικά πρότυπα



# Ταινίες

---





# Electronic Games

## Ηλεκτρονικά Παιχνίδια

- ▶ Focus on interactivity
- ▶ (Εστιάζουν στην αλληλοεπίδραση ΗΥ και Χρήστη)
- ▶ Push current hardware to its limits
- ▶ (Ωθούν το υλικό στα όρια του)
- ▶ Games drive the baseline





# Video Games



# Industrial Design

## Βιομηχανικός Σχεδιασμός

---

- ▶ Precision modeling
- ▶ μοντελοποίηση ακριβείας
- ▶ Engineering Visualization
- ▶ Γραφική παράσταση τεχνολογικών προϊόντων





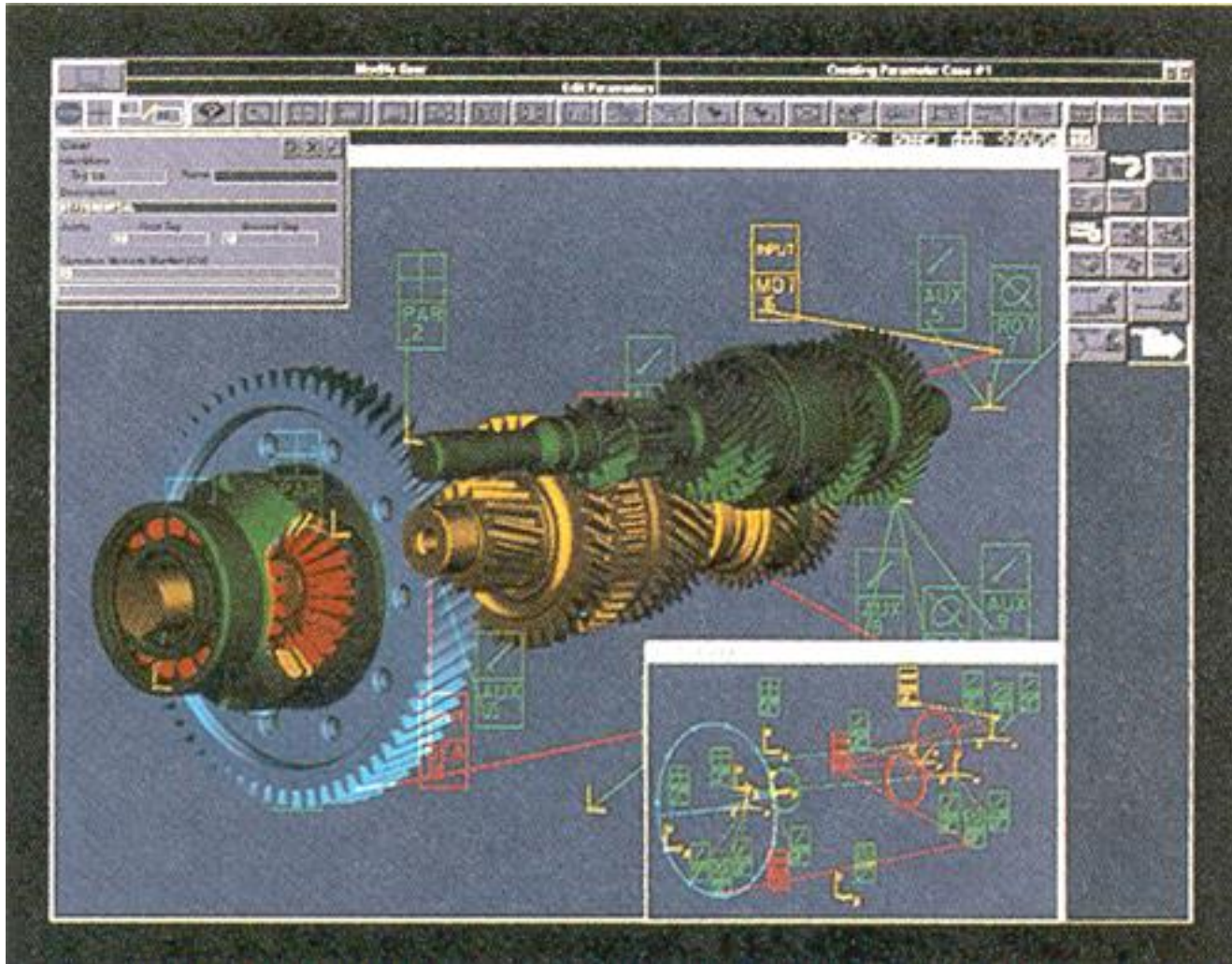


# Computer Aided Design



Los Angeles Airport (*Bill Jepson, UCLA*)

# Computer Aided Design



Gear Shaft Design (Intergraph Corporation)



# Computer Aided Design

---



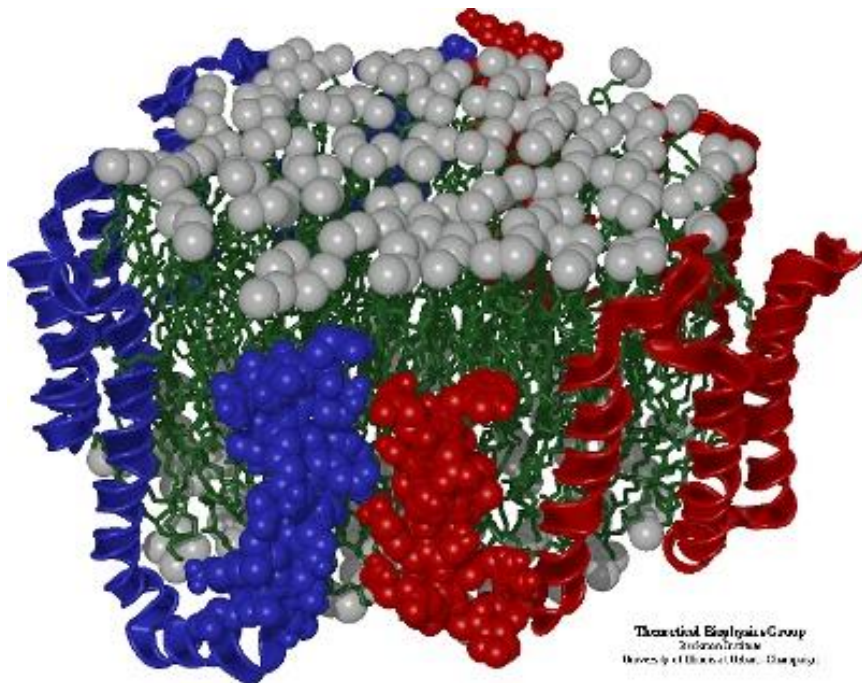
Boeing 777 Airplane (*Boeing Corporation*)



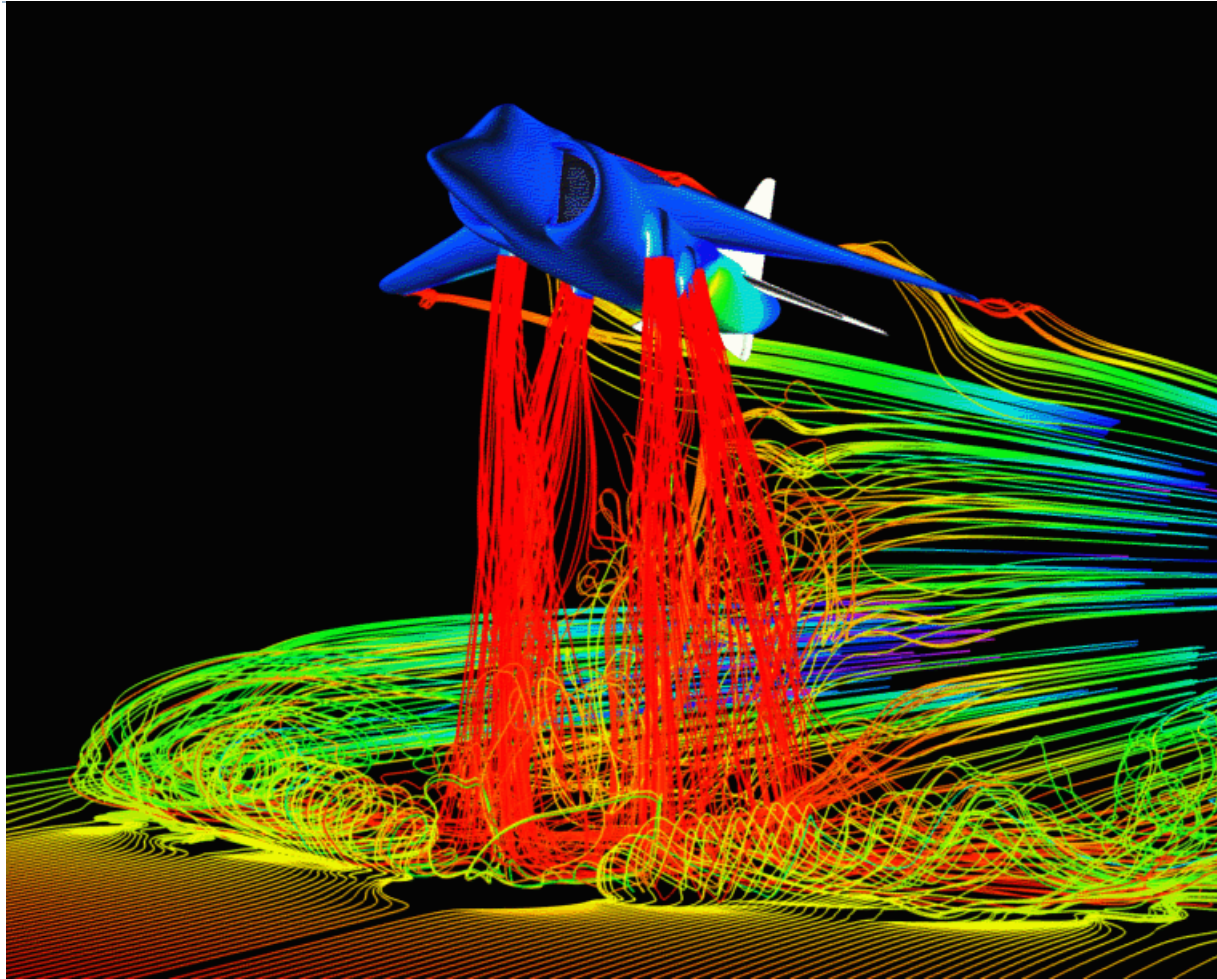
# Scientific Visualization

## Γραφική Παράσταση Επιστημονικών Δεδομένων/Φαινομένων

- ▶ Graphical representation of simulation results (γραφική παράσταση δεδομένων προσομοίωσης φυσικών φαινομένων)
- ▶ Device interaction (αλληλοεπίδραση συσκευών)
- ▶ Large data sets (Γραφική παράσταση μεγάλης κλίμακας δεδομένων)



# Scientific Visualization



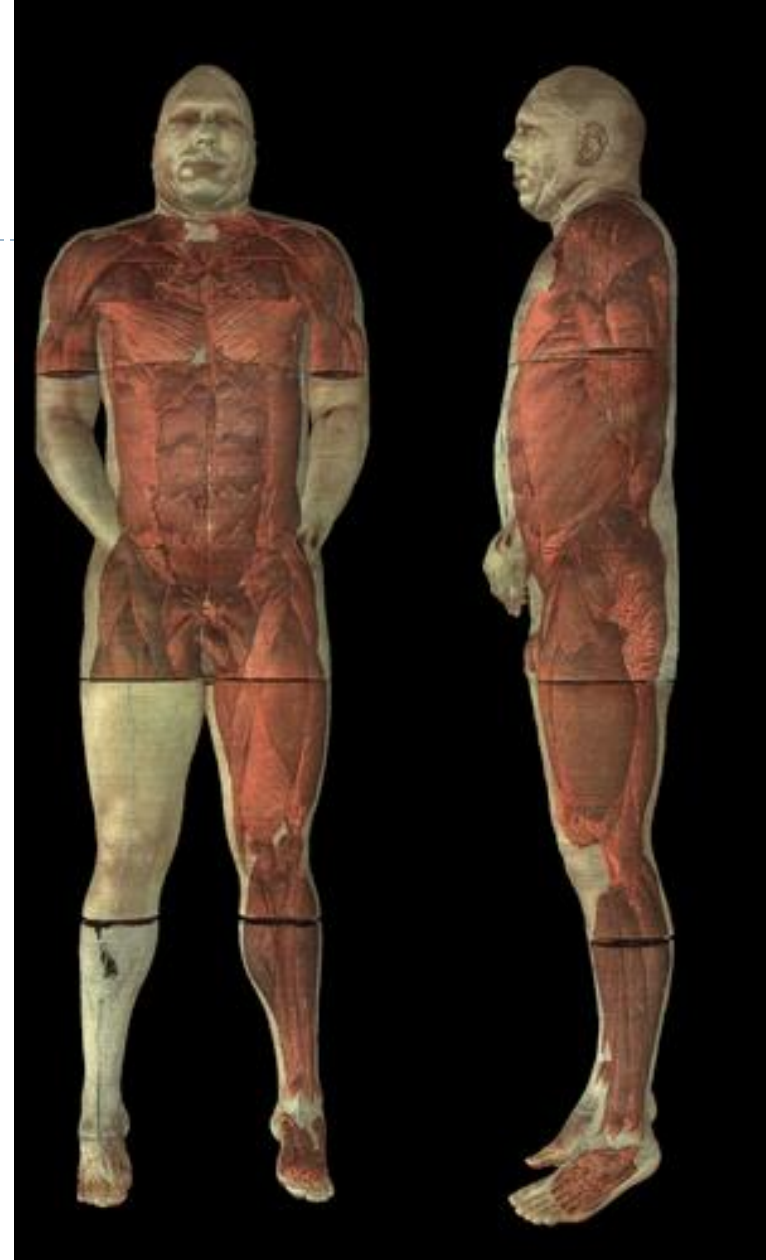
Airflow around a Harrier Jet (*NASA Ames*)



# Scientific Visualization



Compressible Turbulence (*Lawrence Livermore National Labs*)



Visible Human (*National Library of Medicine*)

# Medical Imaging

## Επεξεργασία Ιατρικών Εικόνων

---

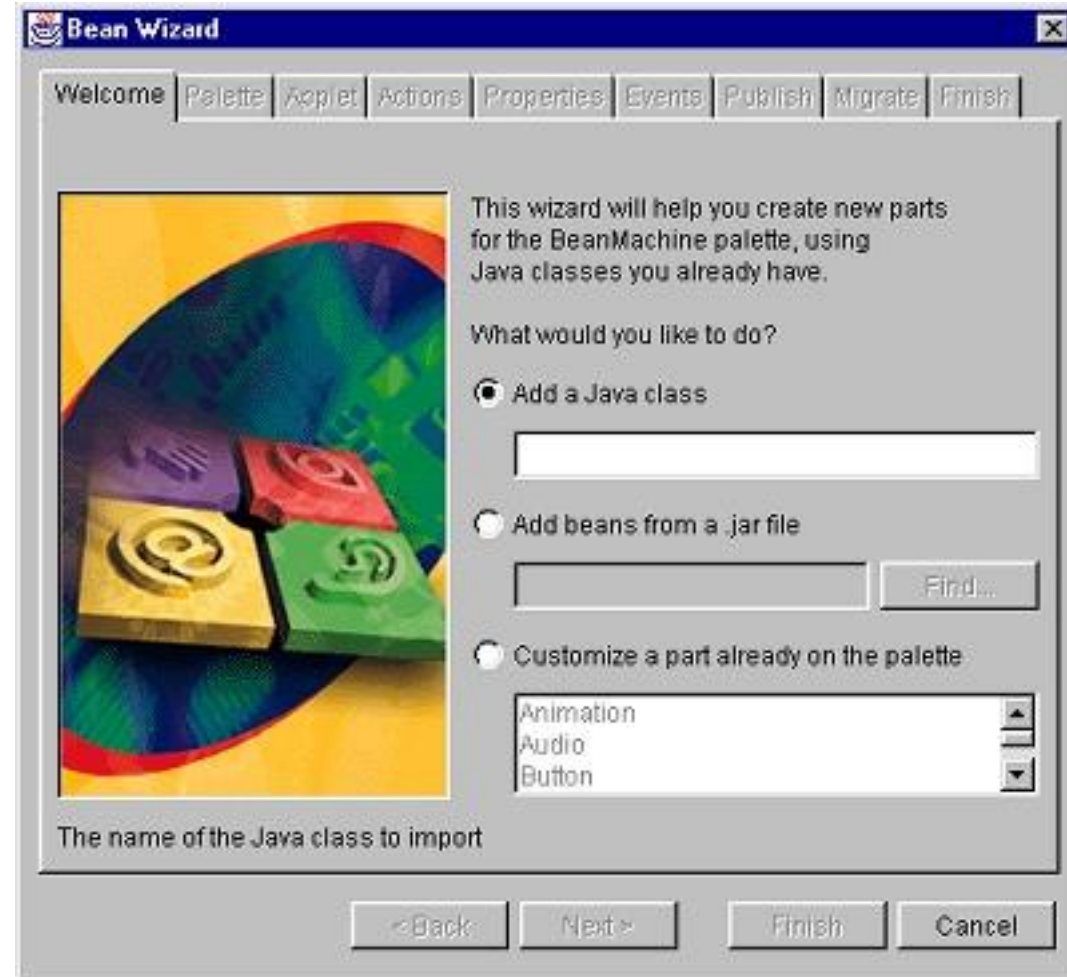
- ▶ Geometric modeling (Γεωμετρική μοντελοποίηση)
- ▶ Interaction (Ηλεκτρονική Αλληλοεπίδραση)
- ▶ Real  $\Leftrightarrow$  Digital data (Πραγματικά  $\Leftrightarrow$  Ψηφιακά Δεδομένα)



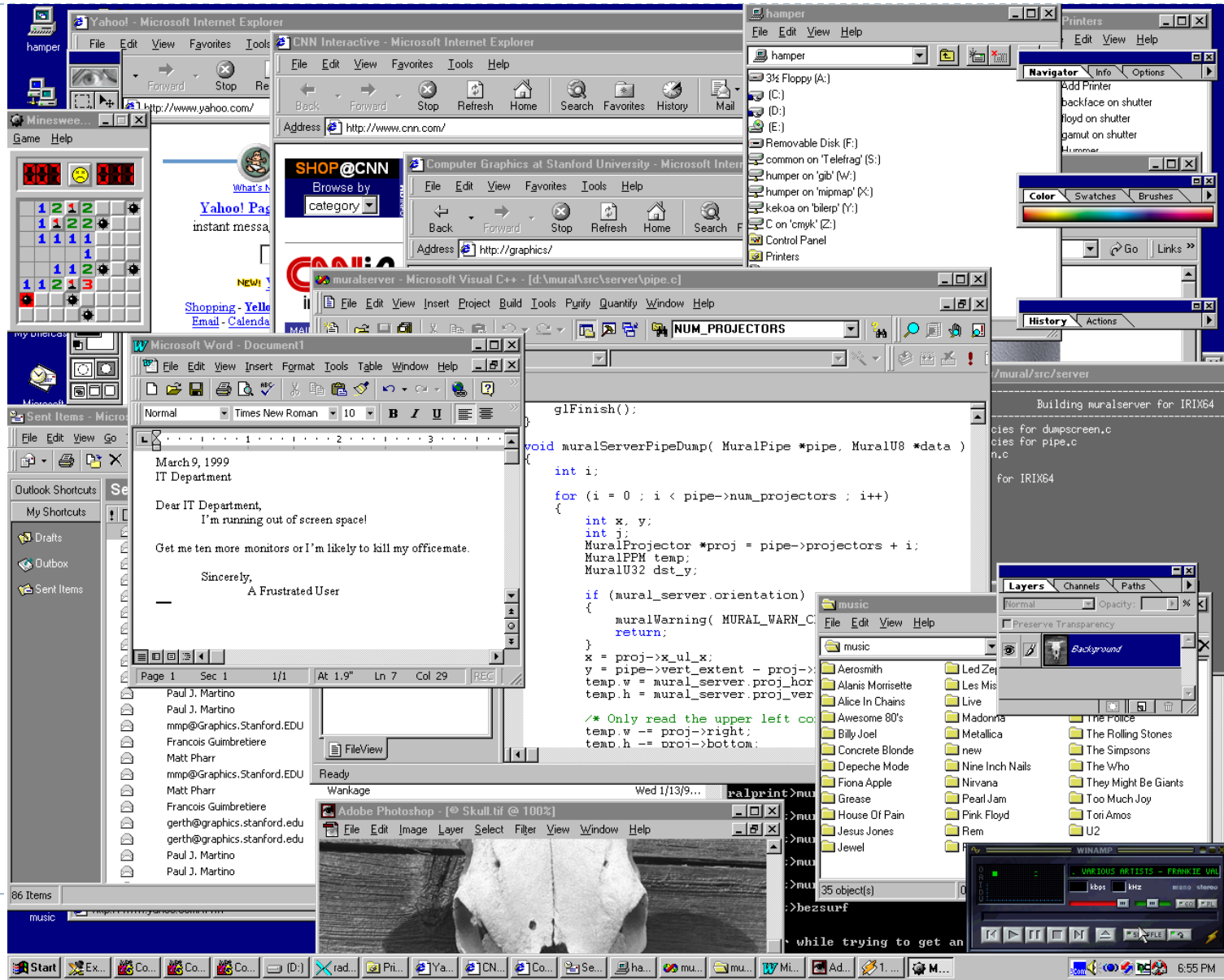
# Graphical User Interfaces (GUI)

## Γραφική Αλληλεπίδραση με τον Χρήστη

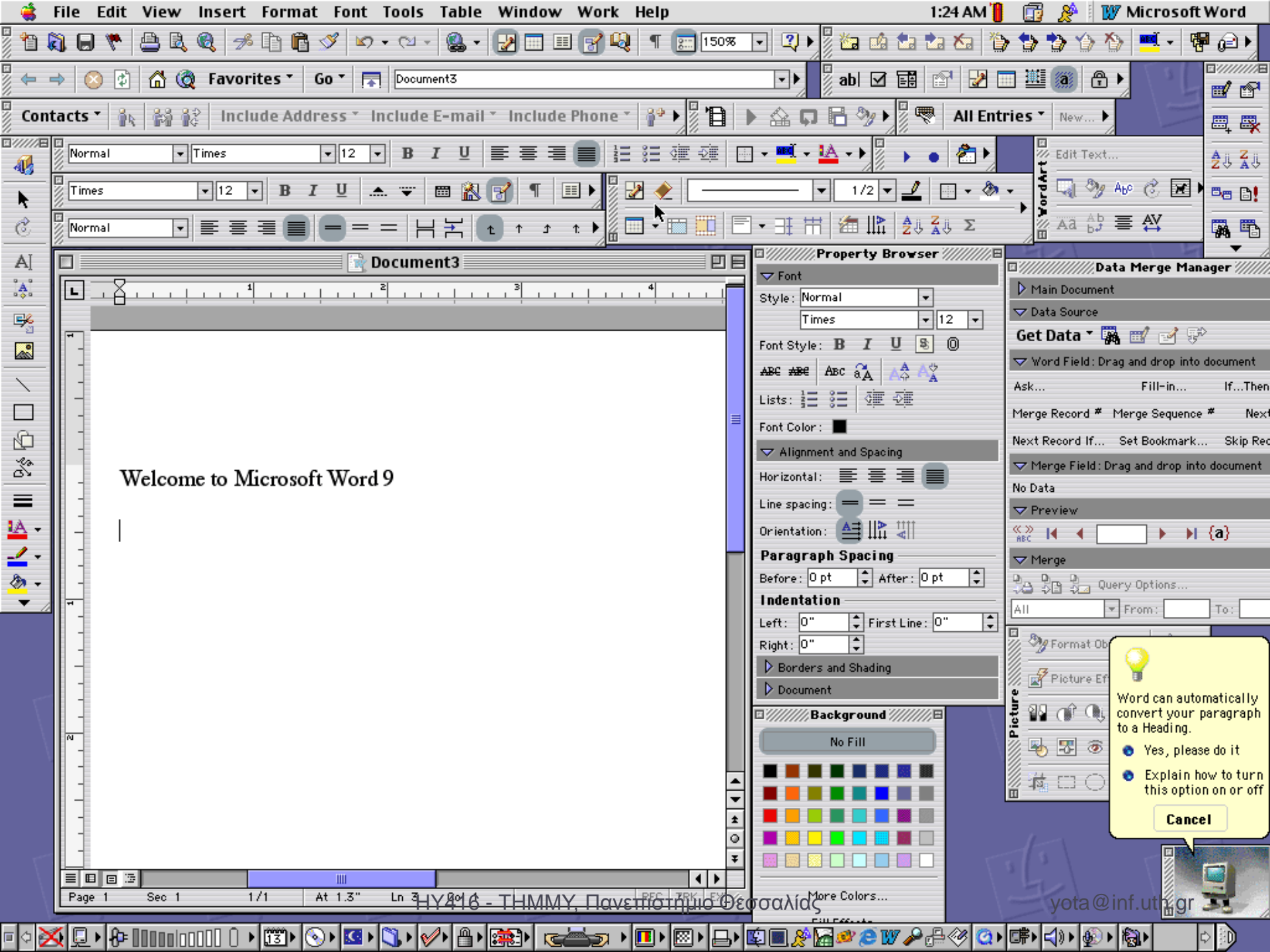
- ▶ Interaction with software and hardware
- ▶ Αλληλεπίδραση με το λογισμικό και υλικό



# Graphical User Interfaces







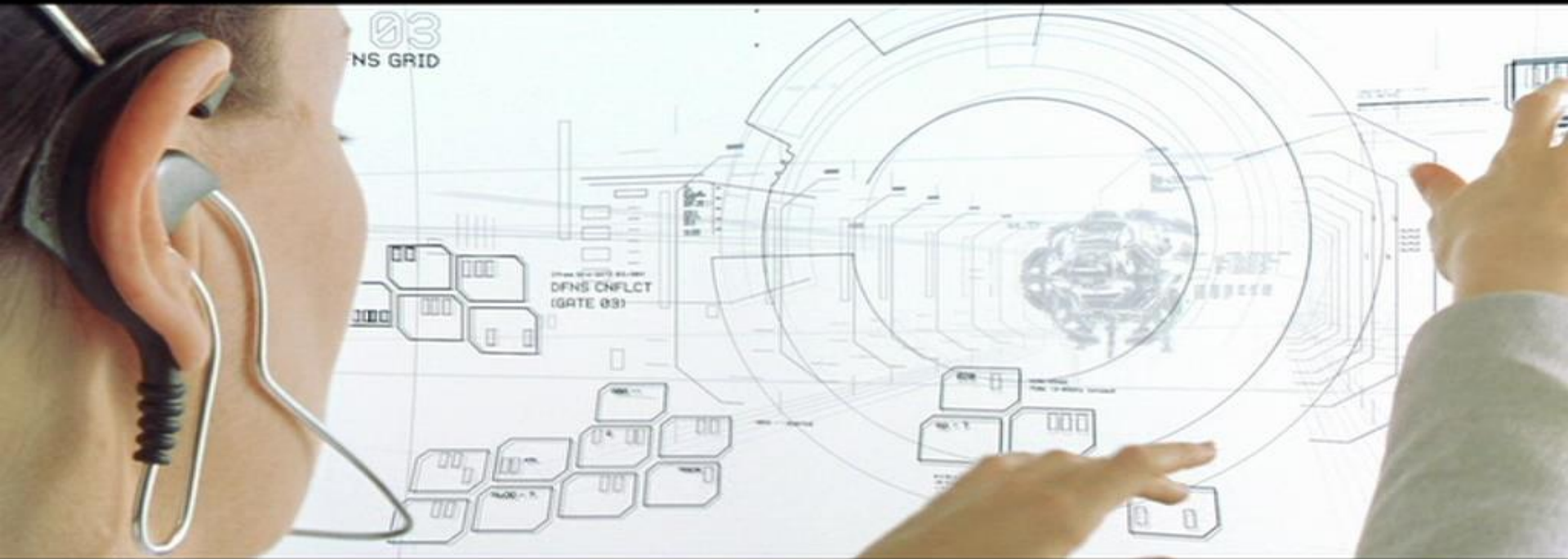
# Graphical User Interfaces



Window system and large-screen interaction metaphors (*François Guimbretière*)

# GUIs from The Matrix Reloaded

---



## Matrix Reloaded



Ok but... what is the course really about?  
Τι περιλαμβάνει το μάθημα;

---

Graphics algorithms (Αλγόριθμοι)

Graphics data structures (Δομές Δεδομένων)

Color and human vision (Χρώμα και Ανθρώπινη  
Όραση)

Graphical interface design and programming  
(Γραφικά Περιβάλλοντα Αλληλεπίδρασης με το  
Χρήστη για Σχεδιασμό και Προγραμματισμό)

Modeling, Animation, Rendering (Μοντελοποίηση,  
Συνθετικές Ταινίες, Γραφική Παράσταση)

# Γραφικά: Η άποψη από ψηλά

---

## ▶ Μοντελοποίηση

- ▶ Πώς να παραστήσουμε σχήδια (shapes) με υπολογιστικές μεθόδους, δηλαδή με την χρήση του υπολογιστή

## ▶ Κινούμενα γραφικά (animation)

- ▶ Πώς να απεικονίζουμε, προσομοιώνουμε, και ελέγχουμε κινούμενα σχήδια

## ▶ Φωτισμός (illumination)

- ▶ Πώς μοντελοποιείτε η αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη

## ▶ Απόδοση (rendering)

- ▶ Πώς μπορούν να παραχθούν 2D εικόνες από 3D παραστάσεις σκηνών

# Μοντελοποίηση

---

- ▶ Πως παραστούμε σχήματα (shapes) με την χρήση του υπολογιστή
  - ▶ Πολλοί διαφορετικοί τρόποι
    - ▶ Splines, τμηματικές επιφάνειες, voxels, metaballs, ...
- ▶ Πολυγωνικές διαμερίσεις (polygonal meshes)
  - ▶ Παράσταση επιφανειών με τμηματικά πολυώνυμα
  - ▶ Διαμέριση (mesh) = λίστα από 3D σημεία (κορυφές = vertices) + λίστα από πολύγωνα που συνδέουν τα σημεία
  - ▶ Διαμέριση μπορεί να περιέχει γεωμετρικές / γραφικές παραμέτρους όπως χρώμα, προσανατολισμός, κυρτότητα

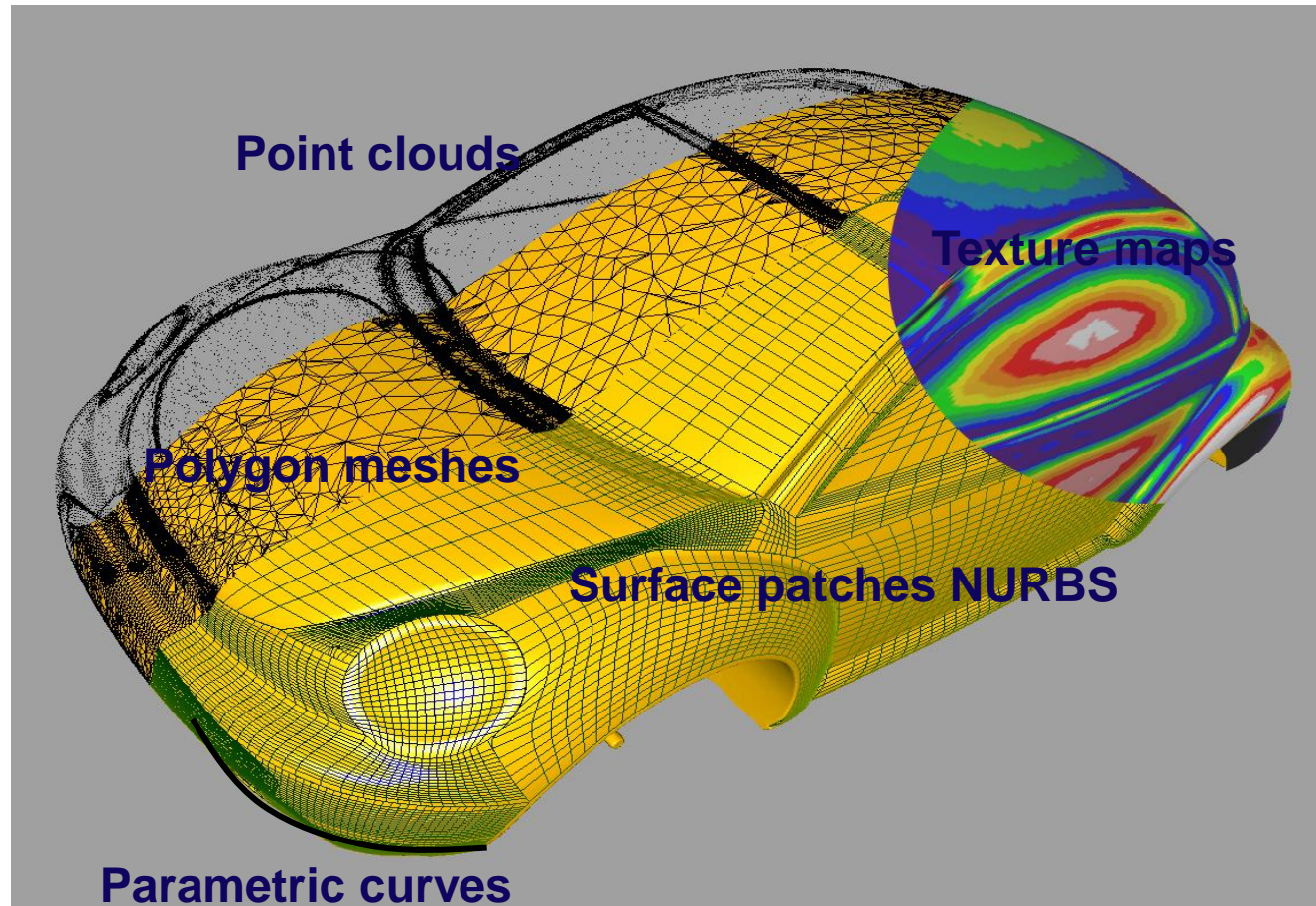


# Elements of CG (modeling)

## Στοιχεία Γραφικών ΗΥ (μοντελοποίηση)

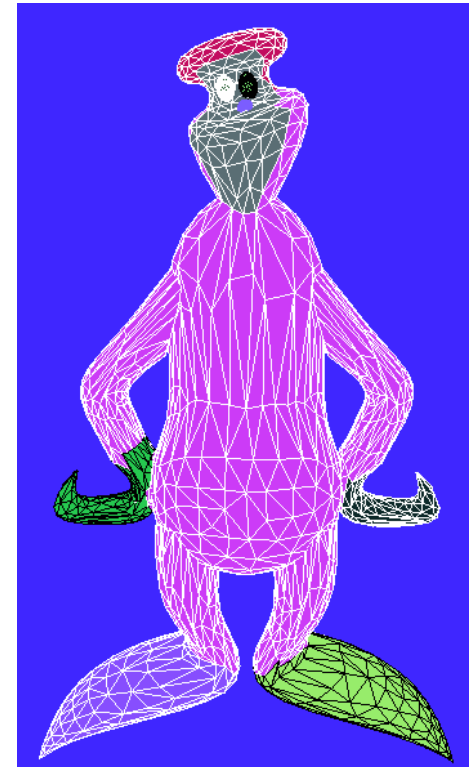
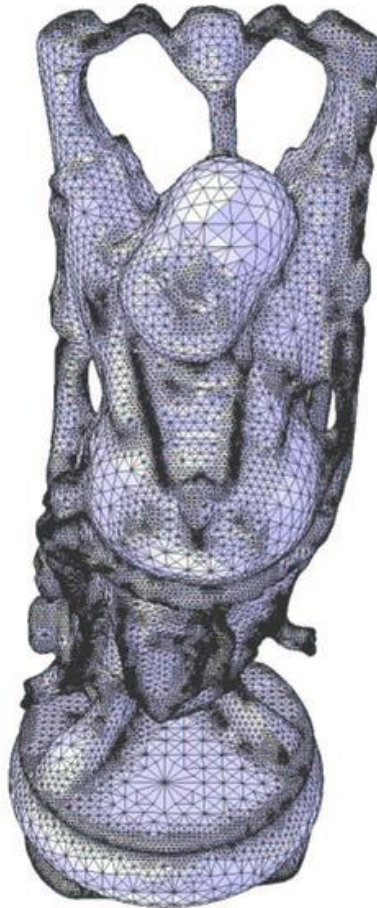
How do we  
represent an  
object  
geometrically  
on a  
computer?

Πως  
παραστούμε  
ένα  
γεωμετρικό  
αντικείμενο  
στον  
υπολογιστή;



# Modeling

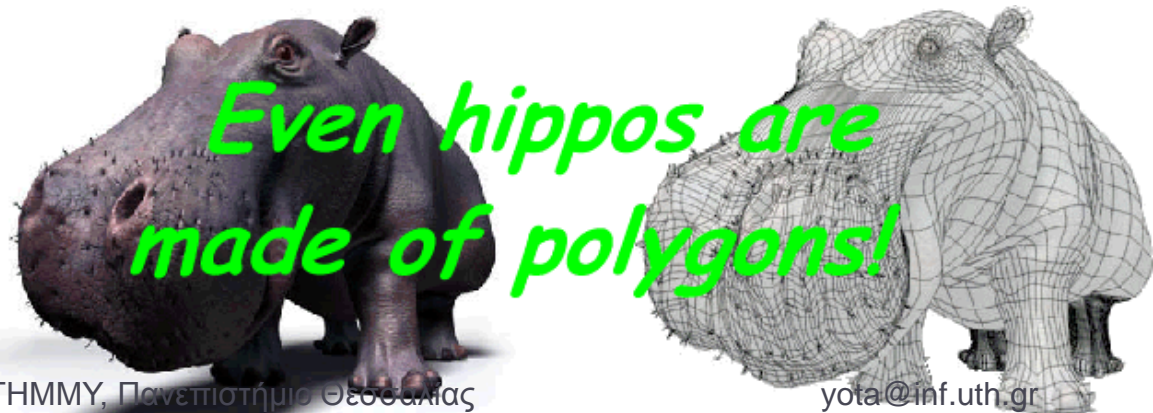
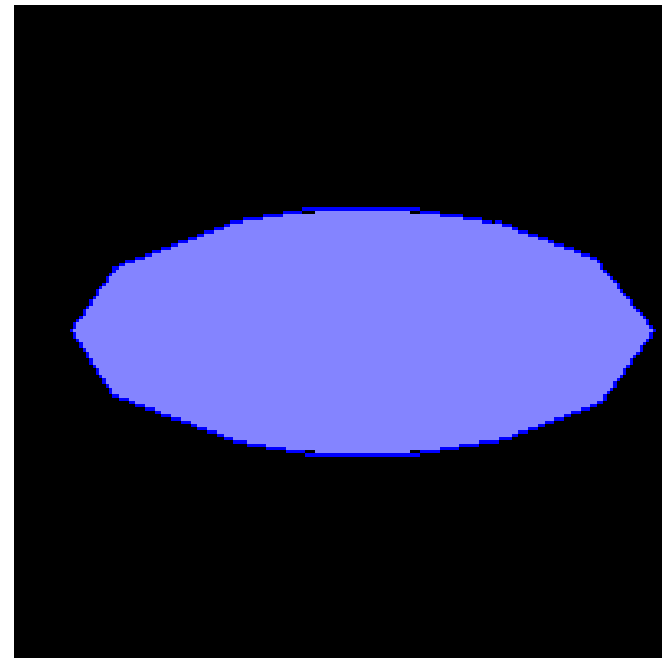
---



# Rasterizing Polygons

## Σάρωση Πολυγώνων

- ▶ Triangle is the *minimal unit* of a polygon
- ▶ Το τρίγωνο είναι η ελάχιστη μονάδα ενός πολυγώνου
  - ▶ All polygons can be broken up into triangles
  - ▶ Όλα τα πολύγωνα αποτελούνται από ένα σύνολο τριγώνων
  - ▶ Triangles are guaranteed to be:
    - ▶ Planar
    - ▶ Convex



*Even hippos are  
made of polygons!*



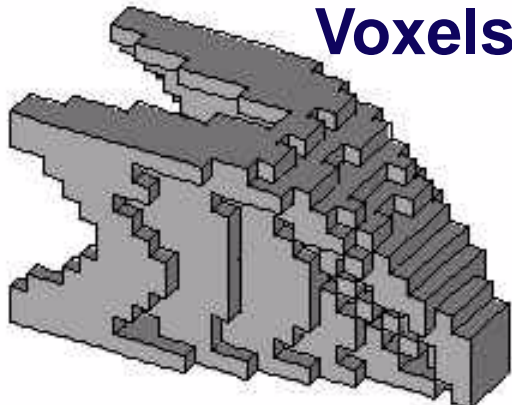
# Elements of CG (modeling) II

## Στοιχεία Γραφικών ΗΥ (μοντελοποίηση) II

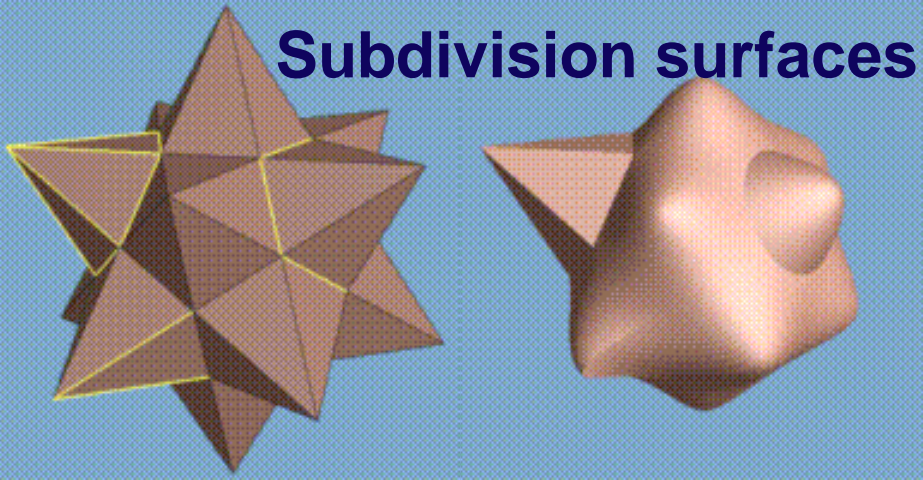
How do we represent an object geometrically on a computer?

Πως παραστούμε ένα γεωμετρικό αντικείμενο στον υπολογιστή;

**Voxels**



**Subdivision surfaces**



**Blobs**

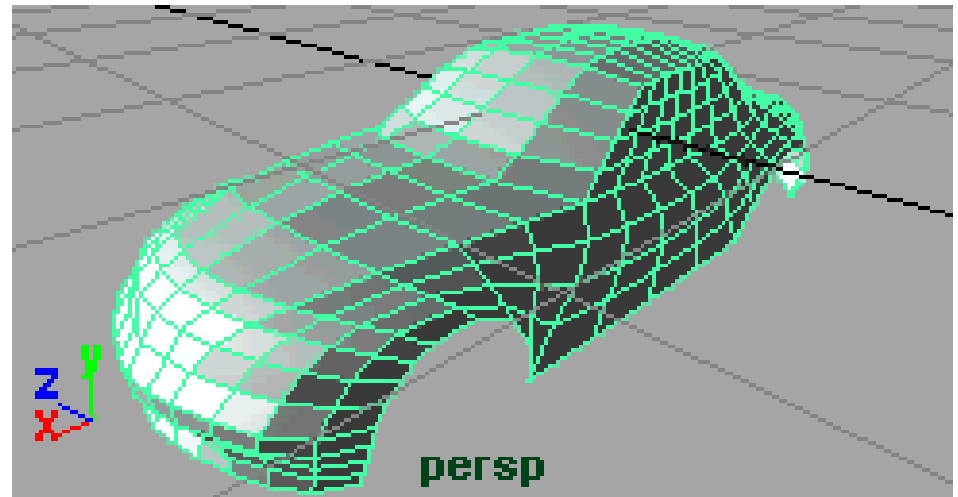
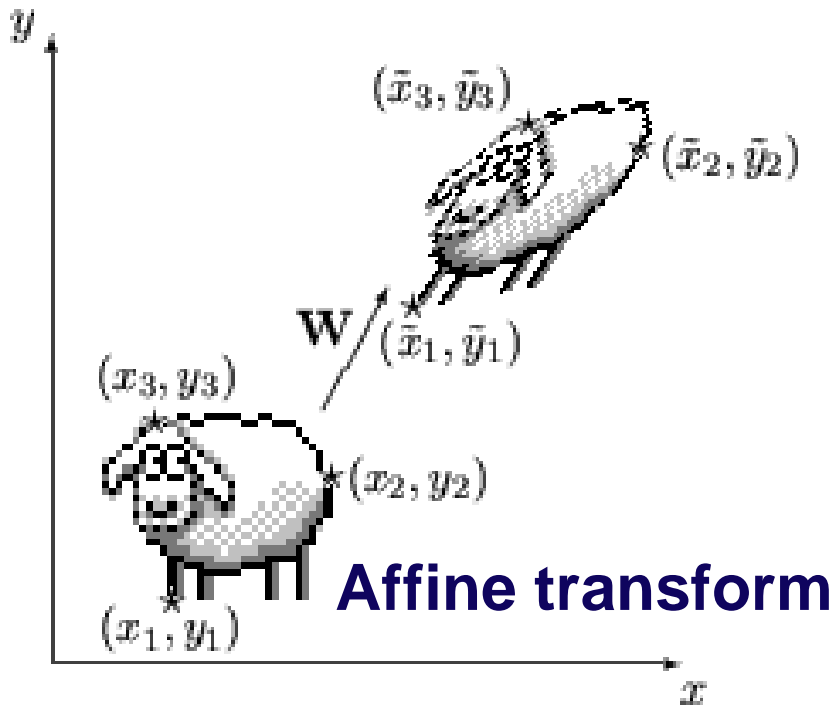


# Elements of CG (modeling) III

## Στοιχεία Γραφικών ΗΥ (μοντελοποίηση) III

How can one change a digital model?

Πως μπορούμε να αλλάξουμε ένα ψηφιακό μοντέλο;



**Free-form deformation (FFD)**

# Κινούμενα Γραφικά (Animation)

---

- Πώς απεικονίζουμε, προσομοιώνουμε, και ελέγχουμε κινούμενα γραφικά;
  - Περίπτωση 1: χρήση νόμων της φυσικής
    - Navier - Stokes εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση φωτο-ρεαλιστική γραφική παράσταση νερού, καπνού, και σύννεφων
    - Υπολογιστικά δύσκολο
  - Περίπτωση 2: χειροκίνητος
    - Παράδειγμα: ηλεκτρονικό κουκλοθέατρο
    - Δεν μπορεί εύκολα να γενικευθεί.
  - Περίπτωση 3: χρήση μετρήσεων
    - Motion capture techniques: video recording τις κινήσεις ενός ηθοποιού.

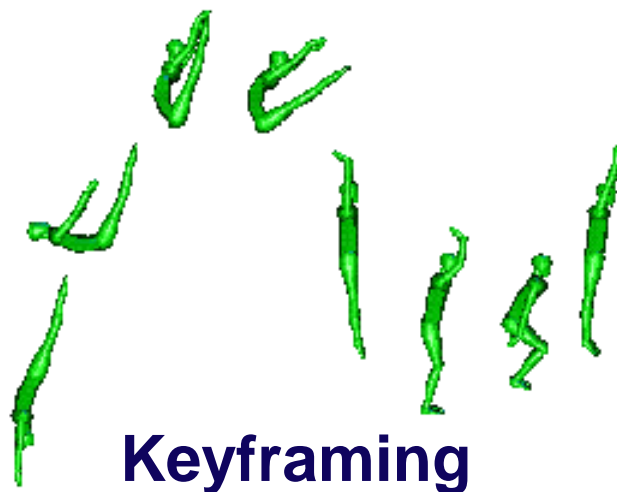


# Elements of CG (animation)

Στοιχεία Γραφικών ΗΥ (Συνθετική Ταινία/Κινούμενα Γραφικά)

How does one make digital models move?

Πως μπορούμε να κάνουμε ένα ψηφιακό μοντέλο να κινείται;

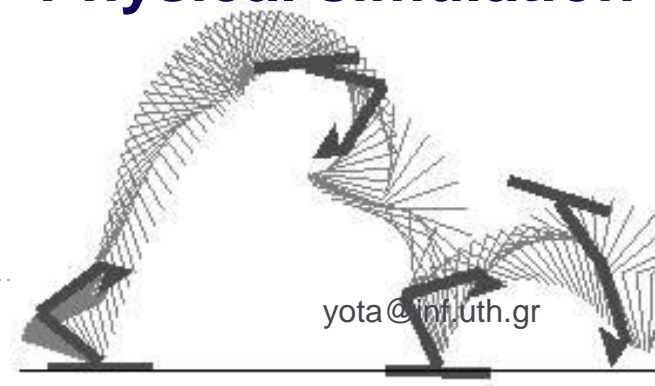


**Keyframing**



**Behavior rules**

**Physical simulation**



# Elements of CG (animation) II

## Στοιχεία Γραφικών ΗΥ (Συνθετική Ταινία)

---

How does one make digital models move?

Πως μπορούμε να κάνουμε ένα ψηφιακό μοντέλο να κινείται;



# Elements of CG (rendering)

Στοιχεία Γραφικών ΗΥ (Γραφική Απόδοση)

---

How does one present a digital scene?

Πως παραστούμε μια ψηφιακή σκηνή;



# Απόδοση (rendering)

---

- ▶ Πώς παράγουμε μια 2D εικόνα από 3D γραφικές σκηνές;
  - ▶ Οι τεχνικές είναι διαφορετικές για offline και online γραφικά
    - ▶ Για Offline γραφικά χρησιμοποιούμε ειδικευμένο λογισμικό και τεχνικές όπως path tracing για την μοντελοποίηση της οπτικής μιας σκηνής
    - ▶ Για online (διαδραστική = interactive, online) απαιτείτε εξειδικευμένο υλικό υπολογιστών για την μετατροπή (rasterization) πολυγώνων στα εικονικά κύτταρα (pixels)



# Elements of CG (rendering) II

## Στοιχεία Γραφικών ΗΥ (Γραφική Απόδοση) II

How does one present a digital scene?

Πως παραστούμε μια ψηφιακή σκηνή;

- ▶ **Γραφική Σκηνή (Scene Graphics)** : Ιεραρχική περιγραφή αντικειμένων και μέρη αντικειμένων ως προς την χωροταξική τους θέση
- ▶ **Φωτισμός (Lighting)**: Η θέση της πηγής φωτισμού στην σκηνή και η αλληλοεπίδραση των με τα αντικείμενα της σκηνής
- ▶ **Φωτογραφικός ρεαλισμός (Cameras)**: Κέντρο παρατήρησης η φωτογράφισης
- ▶ **Προβολή (Projection)**: Πως η σκηνή προβάλλεται σε μια 2Δ εικόνα; (παράλληλη, προοπτική)
- ▶ **Διαφάνεια/Απόκρυψη (Visibility)**
- ▶ **Αποκοπή (Clipping)**
- ▶ **Σάρωση - Scan Conversion**
- ▶ **Φωτεινότητα-Illumination**
- ▶ **Απεικόνιση Υφής - Textures**
- ▶ **Ειδικά Εφέ - Special Effects**



# Elements of CG (rendering) II

## Στοιχεία Γραφικών ΗΥ (Γραφική Απεικόνιση/ Απόδοση Πραγματικότητας) II

How does one present a digital scene?

Πως παραστούμε μια ψηφιακή σκηνή;

- ▶ **Scene Graph:** Hierarchical description of objects and parts of objects relative to each other.
- ▶ **Lighting:** Where are the lights in the scene?
- ▶ **Cameras:** Where is the scene viewed from (pin-hole model)?
- ▶ **Projection:** How is the scene projected onto an image (parallel vs. perspective)?
- ▶ **Visibility**
- ▶ **Clipping**
- ▶ **Scan Conversion**
- ▶ **Illumination**
- ▶ **Textures**
- ▶ **Special Effects**



# Motivation

## Photography



- Easy acquisition
- Fast display
- Natural impression

## Computer Graphics



- Time-consuming scene modeling
- Computation-intensive rendering
- Artificial appearance

# What is Computer Graphics ?

## Engineering

Photography

Psychology

CAD/CAM/CAE

Rendering

Perception

**Graphics**

Simulation

Inverse Rendering

Geometric  
Modeling

Physics

Vision

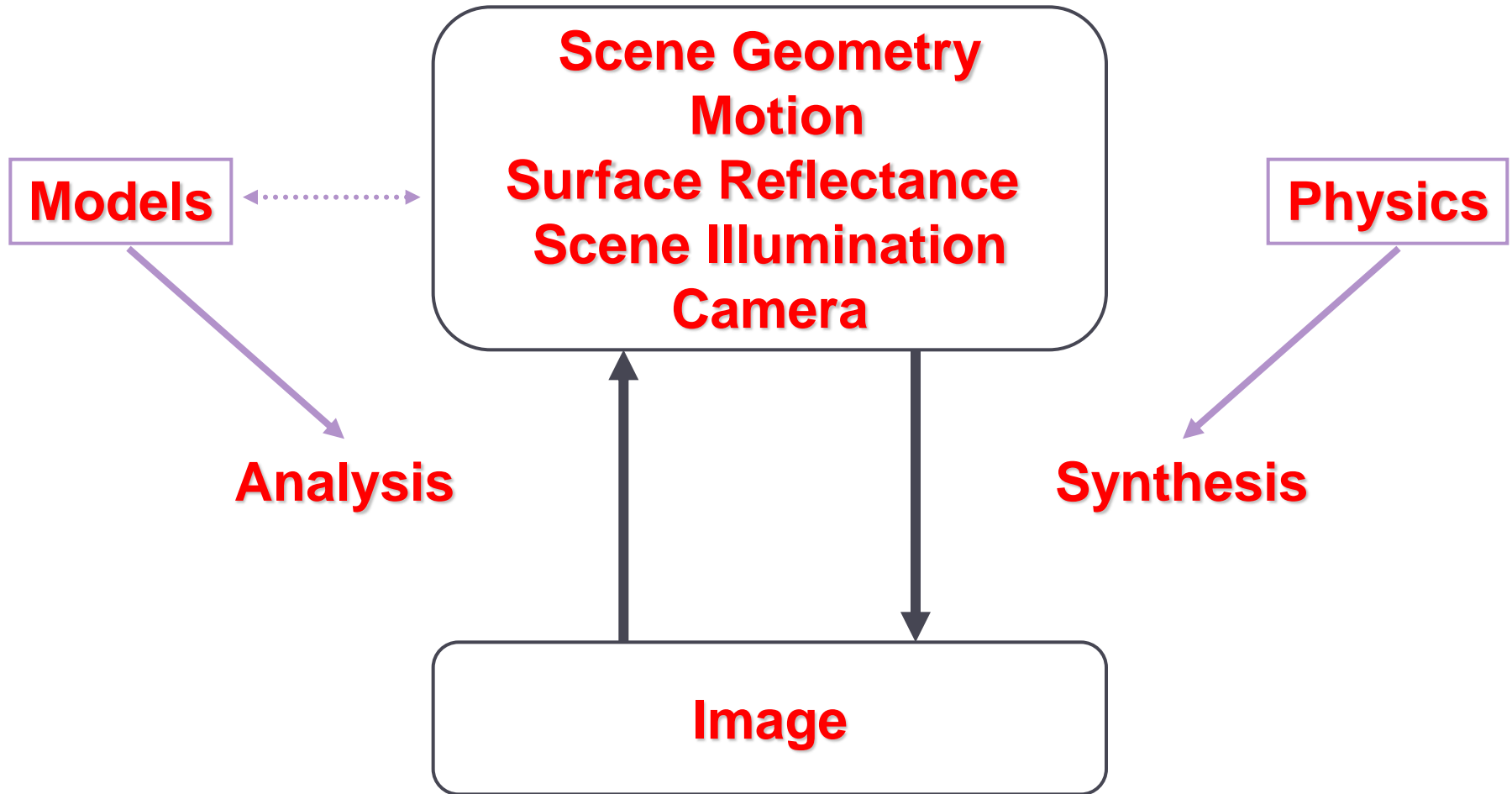
Mathematics





# Image Perception - Image Formation

---



# Ρεαλισμός:

---

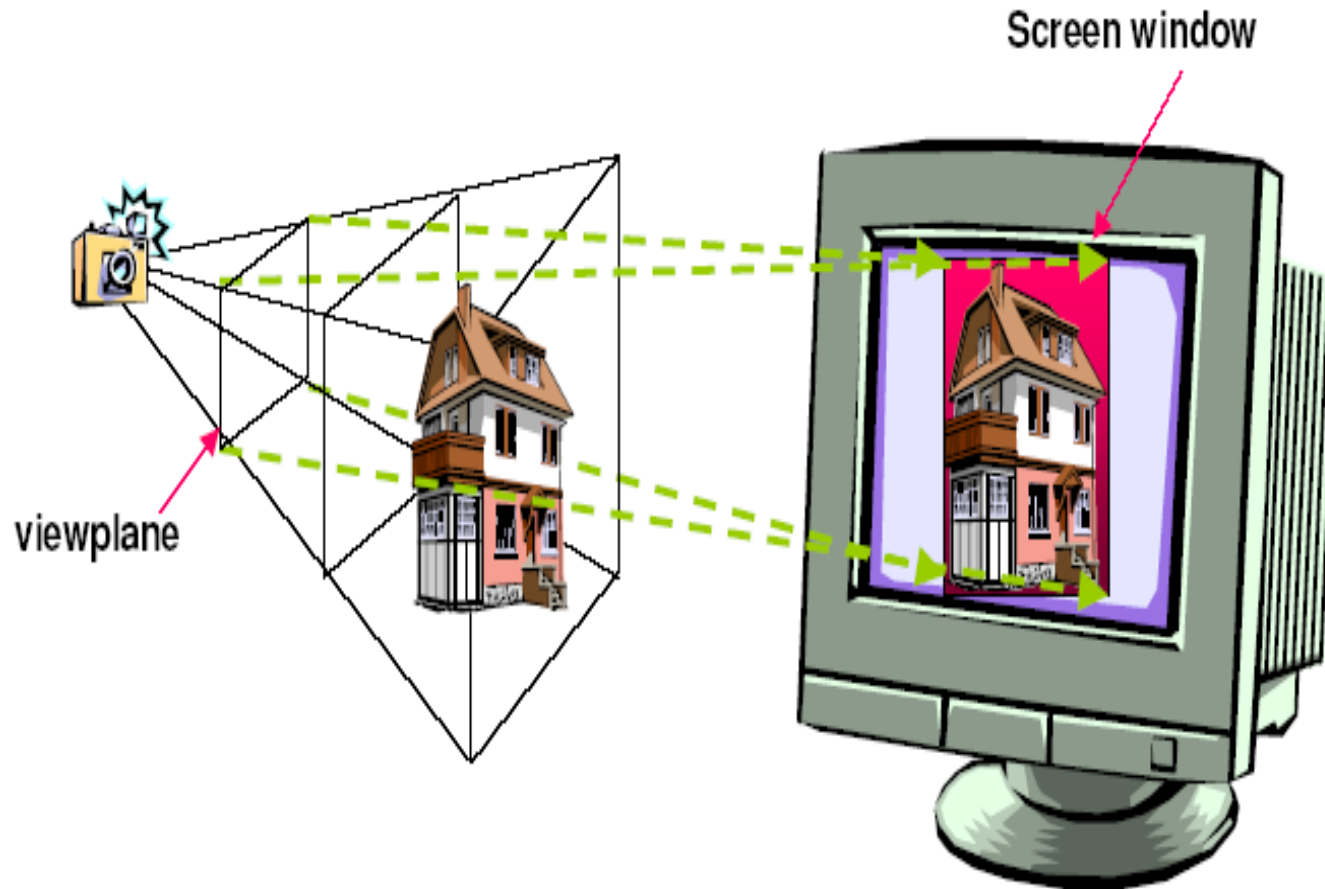
- ▶ Για ορισμένους η αποστολή της επιστήμης των γραφικών είναι ο Φώτο ρεαλισμός (photorealism)
  - ▶ δημιουργία εικόνων που δεν μπορούν να διακριθούν από μια φωτογραφία
  - ▶ αυτό απαιτεί μοντελοποίηση και προσομοίωση της οπτικής, φυσικής, και ανθρώπινης αντίληψης
- ▶ Αλλά ένα μεγάλο μέρος των γραφικών αφορά τα μη ρεαλιστικά αντικείμενα (unreality)
  - ▶ Όντα που δεν μπορούν να υπάρξουν: δεινόσαυροι, φαντάσματα, ομιλούντα ποντίκια
  - ▶ Ελεγχόμενη προσομοίωση, π.χ. καπνός που διαγράφει μια λέξη, κατευθυνόμενες σκιές που υπακούουν την αίσθηση του σκηνοθέτη, όχι την οπτική
  - ▶ Το κενό! Αφαίρεση στοιχείων από εικόνες ή σκηνές
- ▶ Και μερικές φορές ο στόχος δεν είναι ο ρεαλισμός αλλά **απεικόνιση ή αφαίρεση**

# Γραφική πραγματικότητα

---

- ▶ Τα γραφικά ΗΥ (Computer graphics) περιλαμβάνουν την *προσομοίωση* (simulation), *αφαίρεση* (abstraction), και *παράσταση* (representation) φωτός και ύλης
  - ▶ Αλληλεπίδραση φωτός και ύλης
    - ▶ προσομοίωση της στιλπνής γυαλάδας του χρώματος αυτοκινήτων
    - ▶ ή κέρνη αφή των φύλλων και του ανθρώπινου δέρματος
    - ▶ ή τον αυτο-σκιασμό της αλληλεπίδρασης των τριχών των μαλλιών μας
  - ▶ Αλληλεπίδραση ύλης με ύλη
    - ▶ η φυσική των αντικειμένων που συγκρούονται και παραμορφώνονται
    - ▶ η ρευστο-μηχανική του ύδατος, ή φωτιάς, ή καπνού
    - ▶ η φυσική συμπεριφορά του υφάσματος

# The Graphics Problem





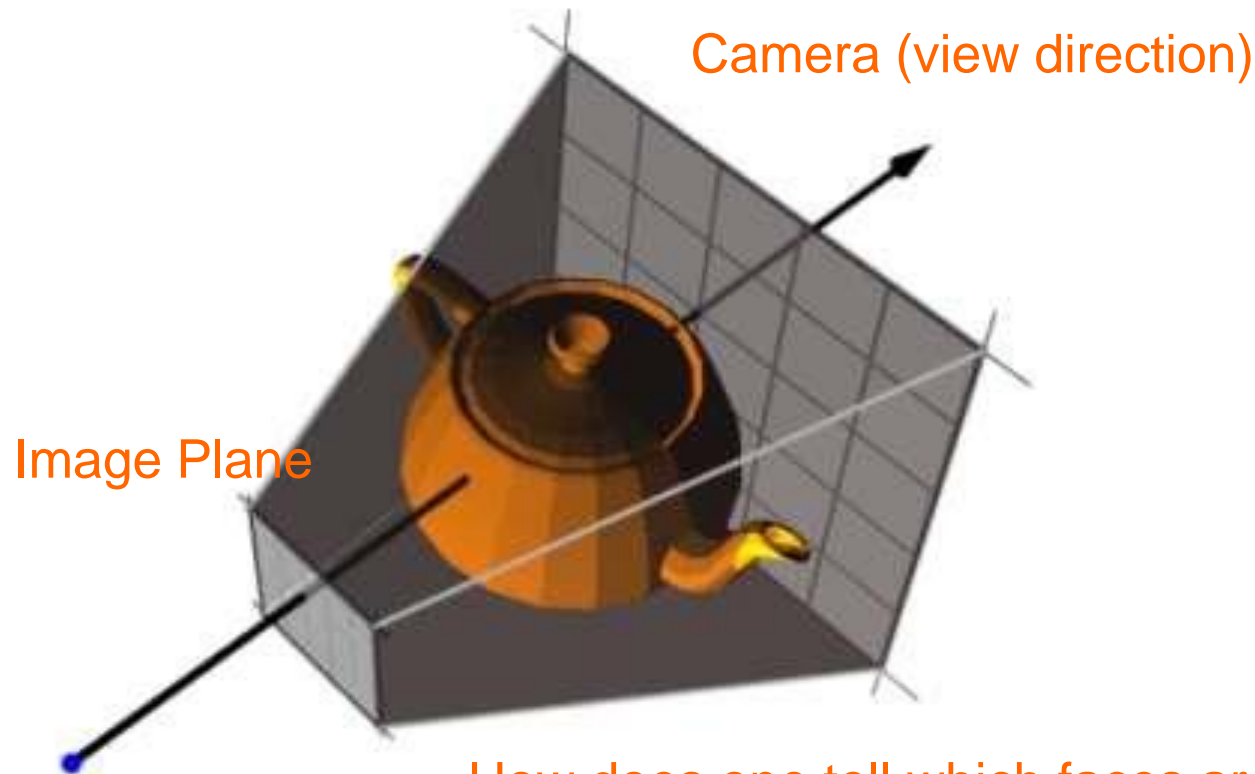
# Elements of CG (rendering) III

## Στοιχεία Γραφικών (Απόδοση) III

---

How does one present a digital scene?

Πως παραστούμε μια ψηφιακή σκηνή;

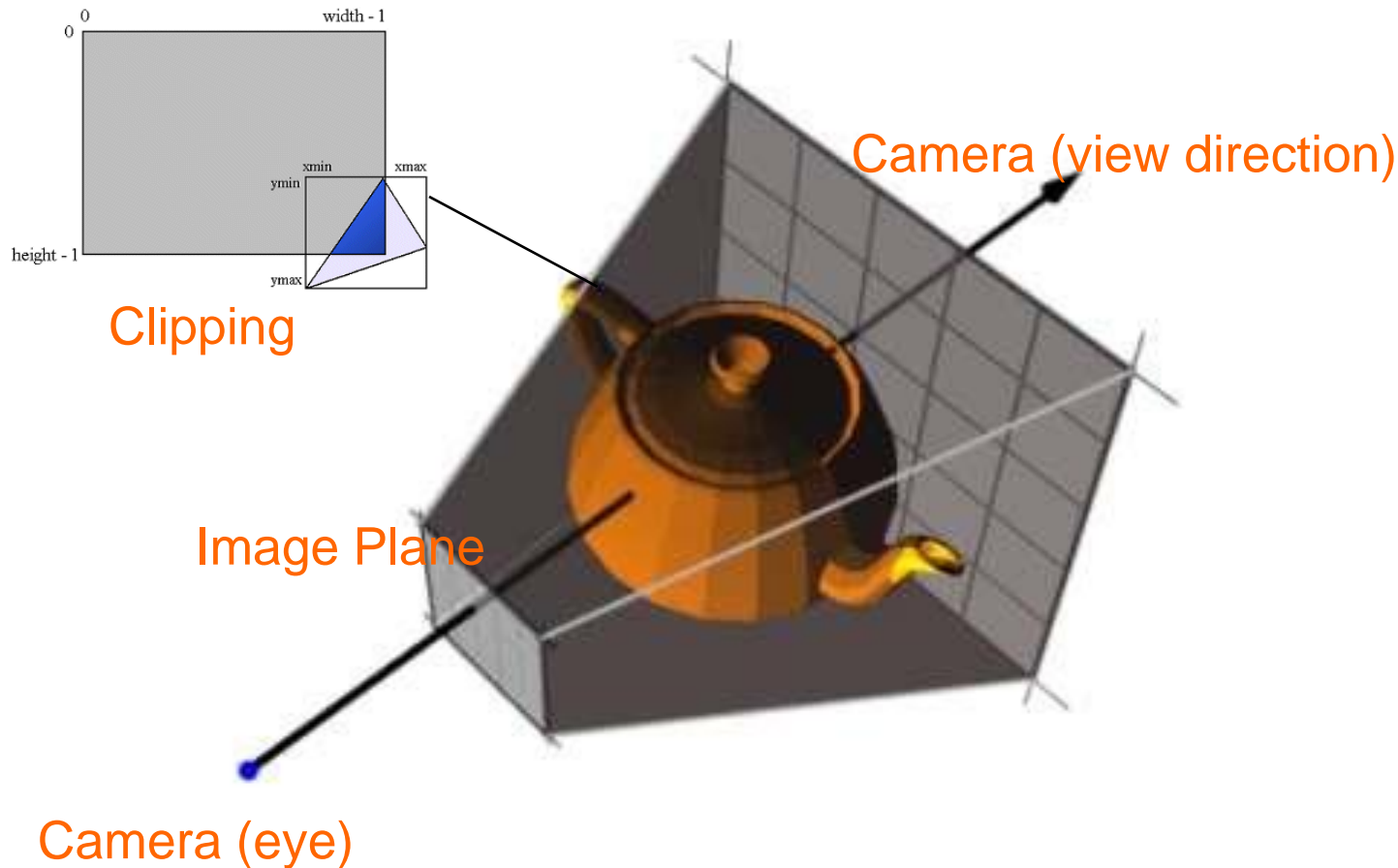


How does one tell which faces are visible?

# Elements of CG (rendering) III

## Στοιχεία Γραφικών (Απόδοση) III

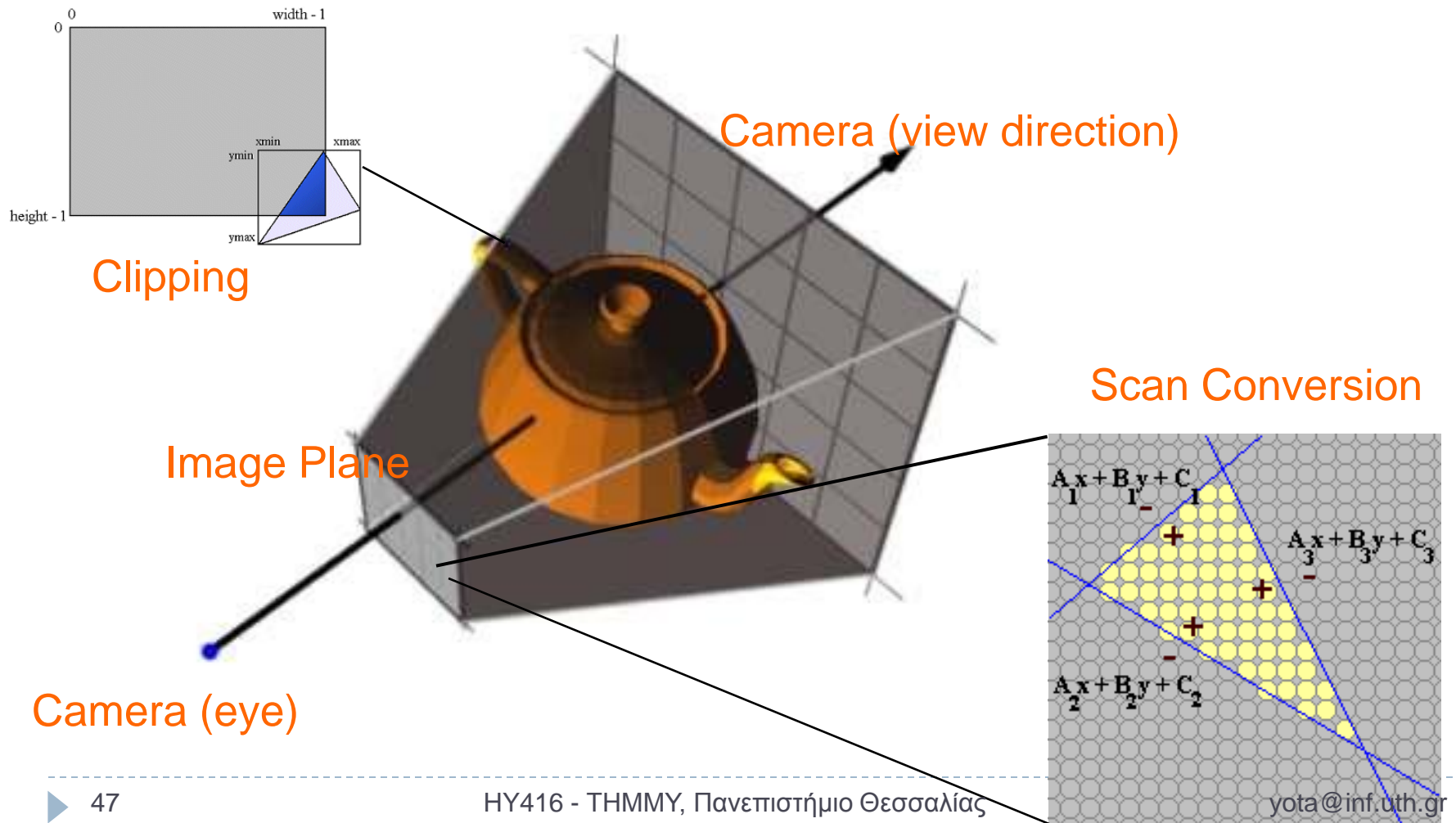
How does one present a digital scene?



# Elements of CG (rendering) III

## Στοιχεία Γραφικών (Απόδοση) III

How does one present a digital scene?



# Φωτισμός

---

- ▶ πώς μοντελοποιείτε η αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη;
  - ▶ Πάρα πολύ σύνθετο πρόβλημα: το πραγματικό φως
    - ▶ αναπηδά σε κάθε επιφάνεια
    - ▶ εκτείνεται σε απίστευτες δυναμικές περιοχές
  - ▶ Κοινές προσεγγίσεις:
    - ▶ Τρίχρωμο Φάσμα (RGB)
    - ▶ καμία σκιά, κανένας έμμεσος φωτισμός
    - ▶ καμία αντανάκλαση /διάθλαση /πόλωση
  - ▶ Συχνά θέλουμε ελεγχόμενο μη ρεαλισμό (unrealism)
    - ▶ Παράδειγμα, αρνητικά φώτα που παράγουν σκιές χωρίς φωτισμό
    - ▶ Μεγάλο μέρος του φωτισμού σε ένα κινηματογραφικό έργο είναι μη ρεαλιστικό για καθαρά συνθετικούς λόγους

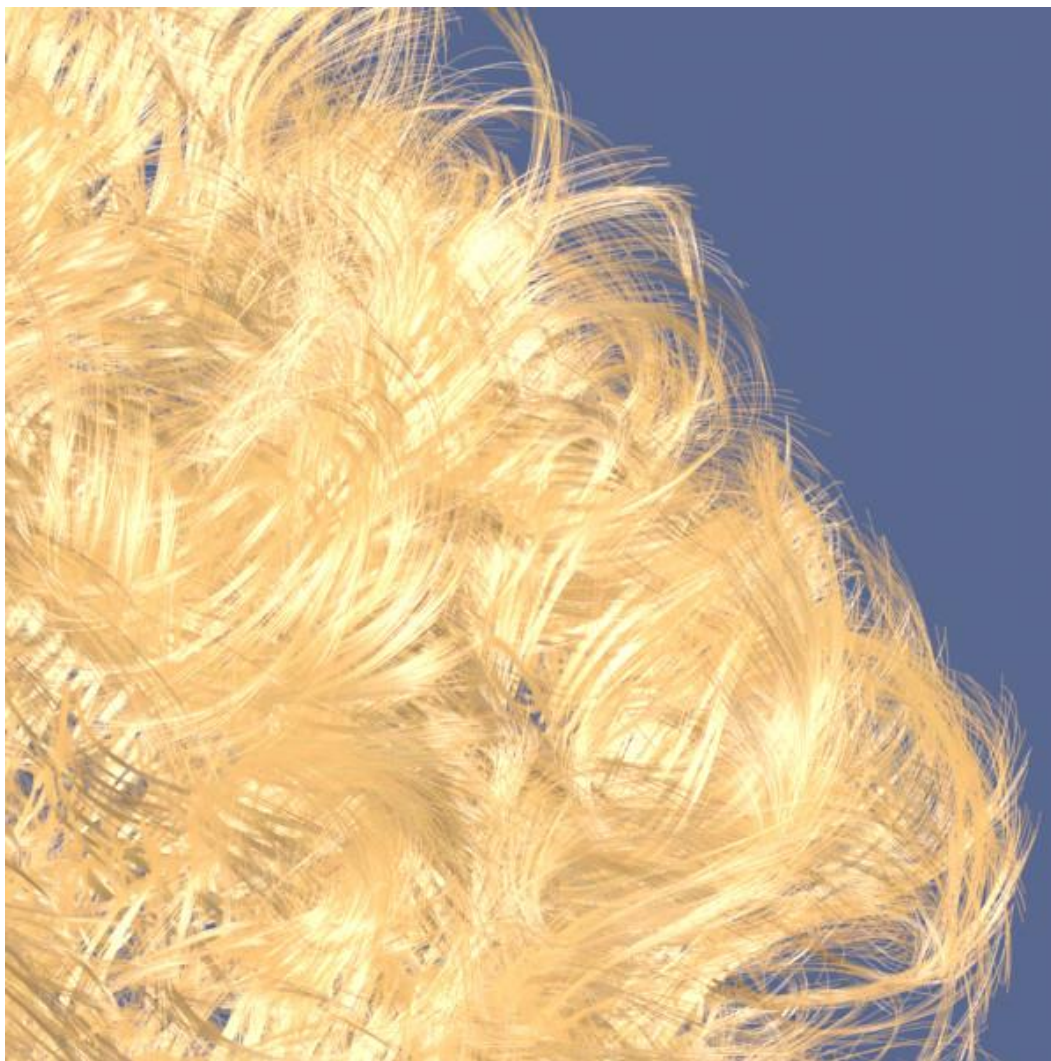




Skin shader from "Shrek"



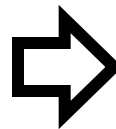
Accounting for translucent  
transmission of light





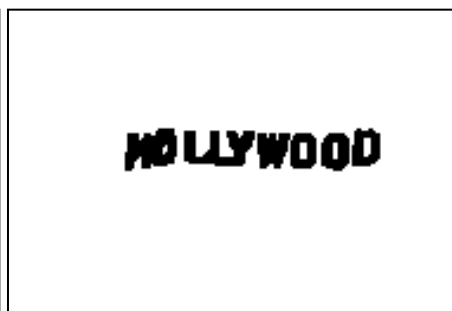
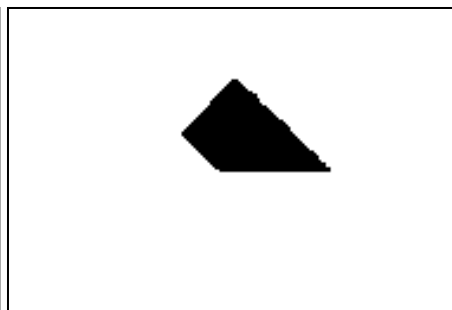
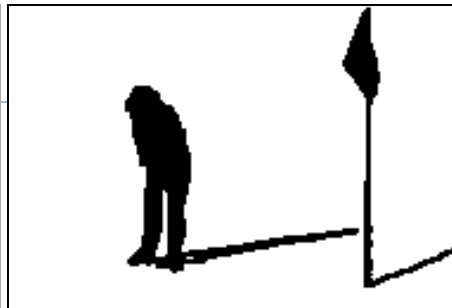






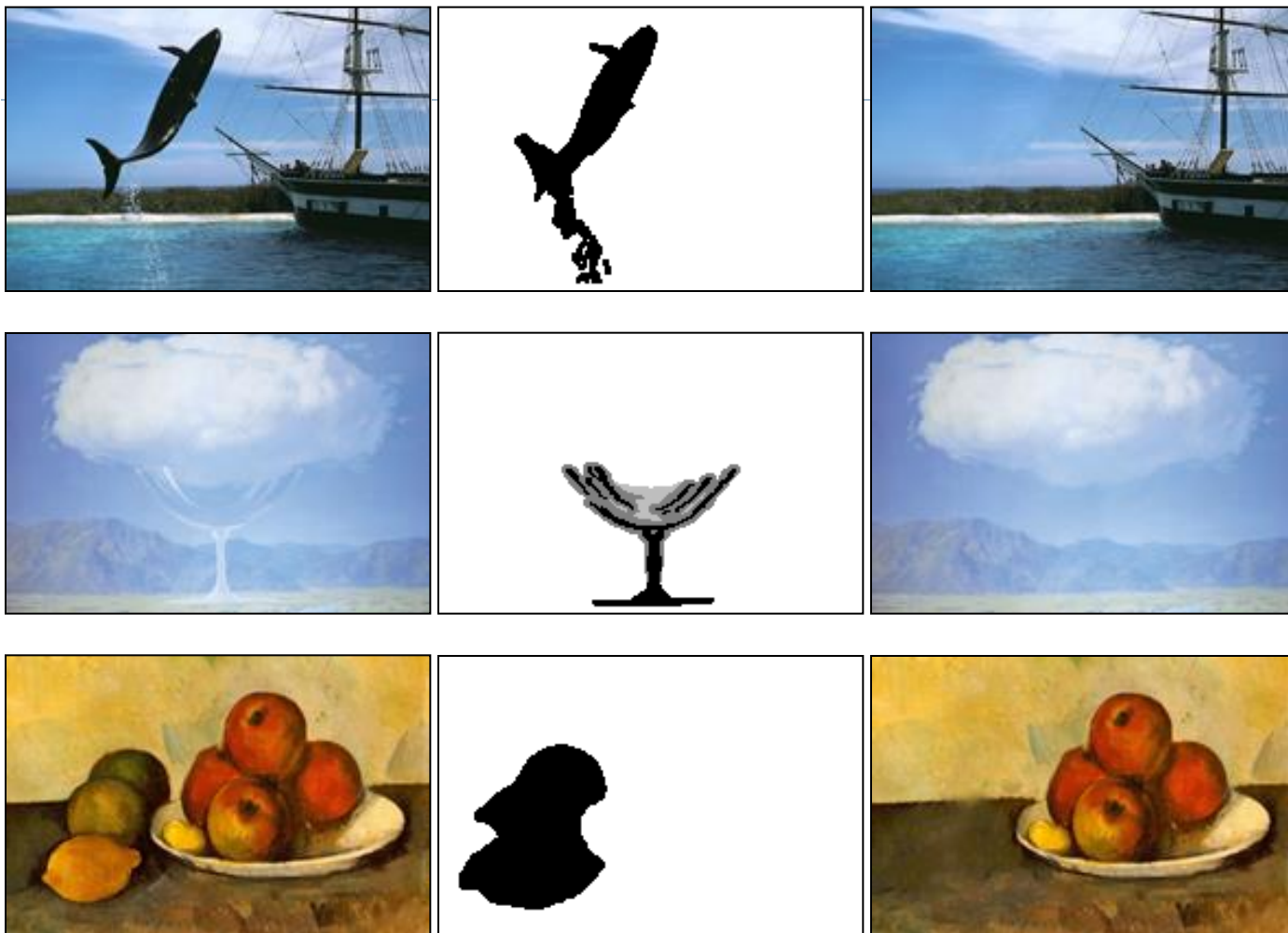
## Fragment-Based Image Completion

Iddo Drori, Daniel Cohen-Or, Hezy Yeshurun



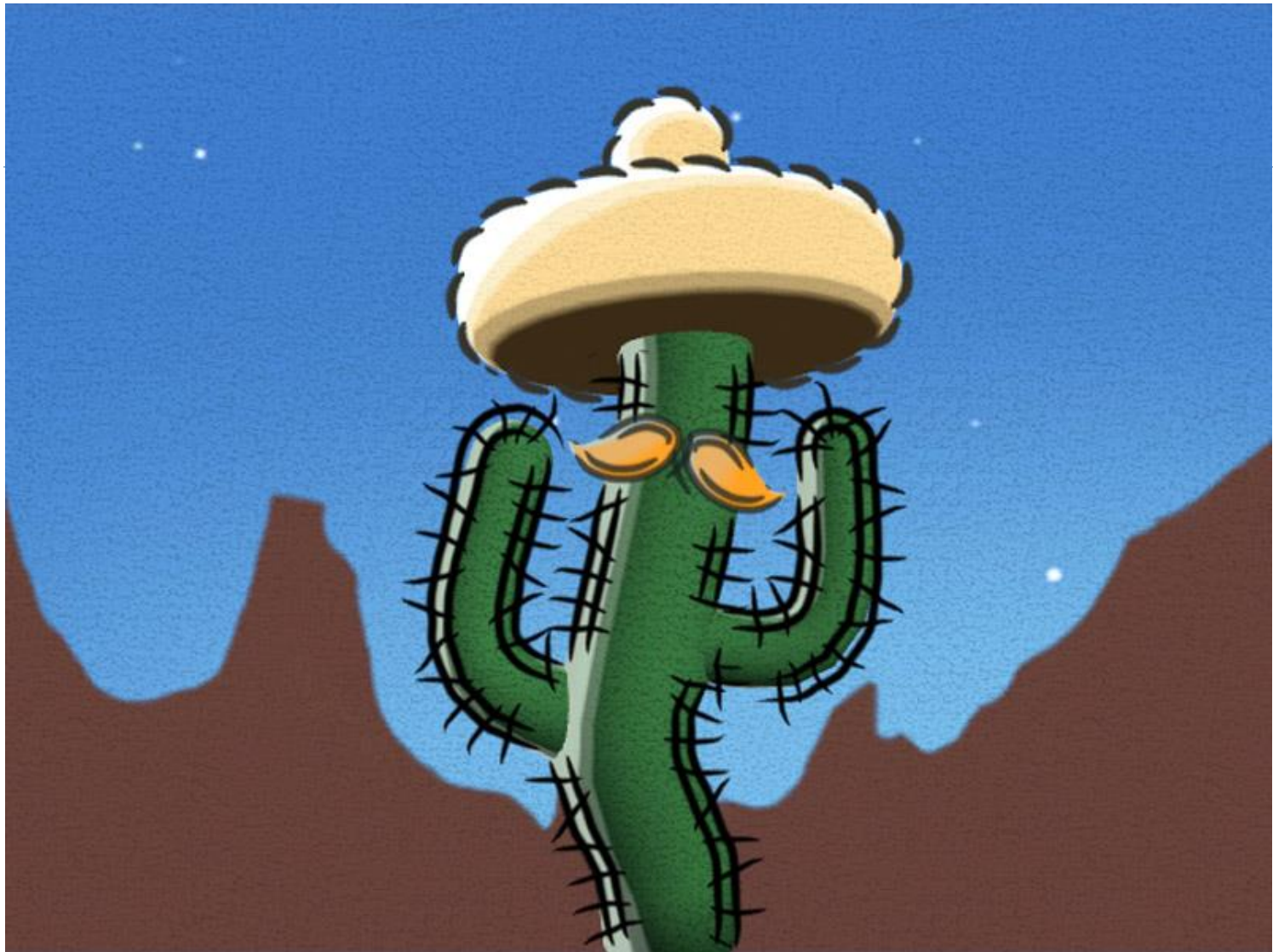
## Fragment-Based Image Completion

Iddo Drori, Daniel Cohen-Or, Hezy Yeshurun



## Fragment-Based Image Completion

Iddo Drori, Daniel Cohen-Or, Hezy Yeshurun



## Coherent Stylized Silhouettes

Robert D. Kalnins, Philip L. Davidson, Lee Markosian and Adam Finkelstein





**Keyframe Control of Smoke**  
Antoine McNamara, Adrien Treuille, Zoran Popović, Jos Stam

# Διάκριση

---

- ▶ **Ρεαλισμός vs. Ταχύτητα**
- ▶ **Δύο κατηγορίες γραφικών**
  - ▶ **Ρεαλιστικά γραφικά**
    - ▶ Παραγωγή εικόνων offline για αργότερη (playback) χρήση
    - ▶ Εφαρμογές: κινηματογράφος, τηλεόραση
    - ▶ Ταχύτητα (time frames): δευτερόλεπτα έως ώρες
    - ▶ Υπολογιστικές πλατφόρμες: υψηλής απόδοσης συστάδες υπολογιστών, gigabytes δεδομένων
  - ▶ **Διαδραστικά (interactive, online) γραφικά**
    - ▶ Δυναμική παραγωγή εικόνων δηλαδή κατά την διάρκεια που ο χρήστης αλληλεπιδρά με το σύστημα
    - ▶ Για παράδειγμα: τηλεοπτικά παιχνίδια, CAD, εικονική πραγματικότητα
    - ▶ Ταχύτητα γραφικής απόδοσης: 10-30 χιλιοστά του δευτερολέπτου
    - ▶ Υπολογιστικές πλατφόρμες: τηλέφωνο μέχρι PC, Megabytes δεδομένων

# Elements of CG (rendering) IV

## Στοιχεία Γραφικών (Απόδοση) III

---

How does one present a digital scene?



# Ερωτήσεις

---

- ▶ Ιστοσελίδα μαθήματος (ενεργοποιημένη) :  
<http://support.inf.uth.gr/courses/CE416/>  
<http://eclass.uth.gr/eclass/MHX101/>
- ▶ E-mail λίστα του μαθήματος:  
[ce416@inf-server.inf.uth.gr](mailto:ce416@inf-server.inf.uth.gr)  
...και μέσω eclass...
- ▶ Π. Τσομπανοπούλου, Ε3-12, [yota@uth.gr](mailto:yota@uth.gr)