



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Εικονική Πραγματικότητα

Ενότητα 2: Απεικόνιση

*Σπυρίδων Βοσινάκης
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης
Προϊόντων και Συστημάτων*



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Εικονική Πραγματικότητα Απεικόνιση

Σ. Βοσινάκης
Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων

Τα γραφικά στους Εικονικούς Κόσμους

- ▶ Η απεικόνιση είναι κυρίαρχο στοιχείο διεπαφής με τους εικονικούς κόσμους
 - ▶ Παρουσίαση ενός χώρου πλαισιωμένου με αντικείμενα και χαρακτήρες
- ▶ Όχι γνώριμα στοιχεία διεπαφής
 - ▶ Ο χρήστης πρέπει να διακρίνει και να αναγνωρίσει τα επιμέρους στοιχεία
 - ▶ «αποκωδικοποίηση» δισδιάστατης προβολής ως χώρο
 - ▶ Διαρκής ανανέωση απεικόνισης
 - ▶ Εστίαση προσοχής
- ▶ Υψηλές απαιτήσεις απεικόνισης
 - ▶ Μεγάλος όγκος περιεχομένου
 - ▶ Ανάγκη για ποιοτική απεικόνιση
 - ▶ Εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο

Τα γραφικά στους Εικονικούς Κόσμους

- ▶ Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των 3D γραφικών οδήγησαν στην ανάπτυξη και διάδοση των ΕΚ
 - ▶ Παιχνίδια υπολογιστών
 - ▶ Μονάδες Επεξεργασίας Γραφικών (GPU)
 - ▶ Βιβλιοθήκες λογισμικού για 3D γραφικά
- ▶ Τα γραφικά χρησιμοποιούνται για να αποδώσουν διάφορα είδη περιεχομένου
 - ▶ Σκηνικό, αντικείμενα, ενσαρκώσεις, ψηφιακοί χαρακτήρες
 - ▶ Αφηρημένες γεωμετρίες, διαφανή αντικείμενα, περιγράμματα
 - ▶ Δισδιάστατες απεικονίσεις, κείμενα, εικόνες, στοιχεία ελέγχου
 - ▶ Σημαντικές διαφοροποιήσεις: συνδυάζονται πολλαπλές τεχνικές
- ▶ Αντικείμενο μελέτης
 - ▶ Σύγχρονες προσεγγίσεις στη γραφική αναπαράσταση και ανάπτυξη 3D σκηνών

Εισαγωγή στην τεχνολογία 3D γραφικών με Η/Υ

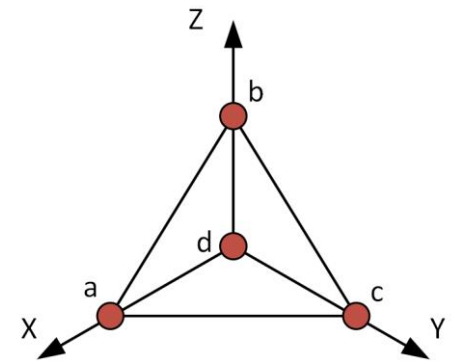
- ▶ Γραφικά με Η/Υ: αξιοποίηση υπολογιστών για την παραγωγή στατικών και κινούμενων εικόνων
 - ▶ Περιοχή της επιστήμης υπολογιστών ενεργή από τη δεκαετία του '60
 - ▶ Εφαρμογή σε πολλούς χώρους, όπως επιστήμη, διασκέδαση, πολιτισμό, κλπ
- ▶ Λόγω διαφορετικών απαιτήσεων οι προσεγγίσεις χωρίζονται σε:
 - ▶ **Φωτορεαλιστικές:** έμφαση στην ποιότητα του αποτελέσματος, π.χ. ψηφιακά εφέ στον κινηματογράφο
 - ▶ **Πραγματικού χρόνου:** έμφαση στην ταχύτητα, αξιοποίηση σε περιβάλλοντα πραγματικού χρόνου, π.χ. παιχνίδια και εικονικά περιβάλλοντα
- ▶ Θα παρουσιάσουμε βασικές τεχνικές μοντελοποίησης, φωτοσκίασης και τελικής απεικόνισης σκηνών

Τρισδιάστατα μοντέλα

- ▶ Η απεικόνιση μιας σκηνής προαπαιτεί την περιγραφή της γεωμετρίας της μέσω **μαθηματικού μοντέλου**
- ▶ Στα γραφικά Η/Υ υπάρχουν αρκετά διαφορετικά μοντέλα αναπαράστασης γεωμετρίας
- ▶ Βασικές κατηγορίες: **αναπαραστάσεις επιφάνειας και αναπαραστάσεις όγκου**
 - ▶ Αναπαραστάσεις επιφάνειας: δύο βασικές προσεγγίσεις
 - ▶ Μαθηματική περιγραφή: περιγραφή βάση **εξισώσεων**
 - Βασικά γεωμετρικά στερεά, καμπύλες επιφάνειες, ..
 - ▶ Πολύγωνα: **σύνολο πολυγώνων** με κοινές ακμές
 - ▶ Αναπαραστάσεις όγκου: χρήση **στοιχειωδών σωματιδίων (voxels)**
- ▶ Οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου βασίζονται στην **πλειοψηφία τους στο πολυγωνικό μοντέλο**
 - ▶ Απλότητα, ποιότητα αποτελέσματος, υποστήριξη από GPUs

Πολυγωνικό μοντέλο

- ▶ Αναπαράσταση με πίνακα κορυφών και πίνακα πολυγώνων
 - ▶ Χρήση καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων για κορυφές
 - ▶ Χρήση δεικτών στον πίνακα κορυφών για τον ορισμό πολυγώνων
- ▶ Σε σχέση με μοναδικό πίνακα πολυγώνων
 - ▶ Οι κοινές κορυφές δηλώνονται μία μόνο φορά
 - ▶ Μπορεί να μετατοπιστεί μια κορυφή διατηρώντας το σχήμα συμπαγές
- ▶ Η φορά με την οποία δηλώνονται οι κορυφές καθορίζει την «εξωτερική» όψη
 - ▶ Υπολογίζεται το κανονικό διάνυσμα
 - ▶ Σε συμπαγή αντικείμενα ζωγραφίζεται μόνο αυτή
- ▶ Συνήθως χρησιμοποιούνται τρίγωνα
 - ▶ Διασφαλίζεται ότι οι κορυφές είναι συνεπίπεδες
 - ▶ Οποιοδήποτε πολύγωνο μπορεί να διασπαστεί σε τρίγωνα



Πίνακας Τριγώνων

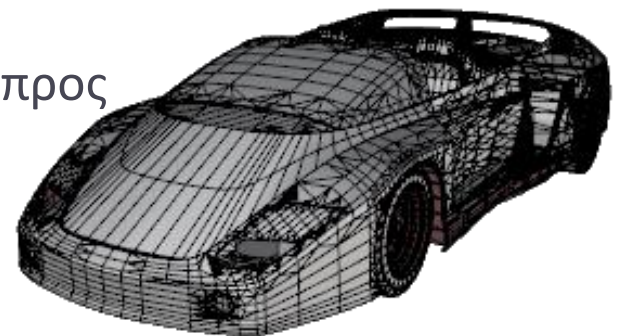
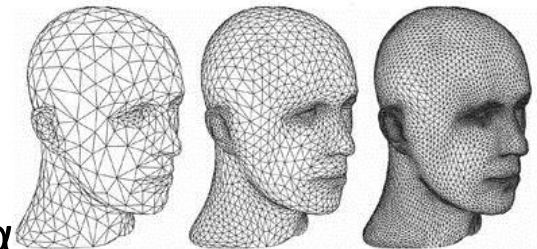
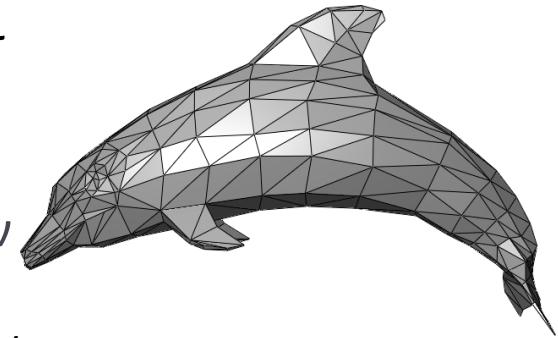
Όνομα	Κορυφές		
abc	a	b	c
cbd	c	b	d
adb	a	d	b
acd	a	c	d

Πίνακας Κορυφών

Όνομα	x	y	z
a	1	0	0
b	0	0	1
c	0	1	0
d	0	0	0

Πολυγωνικό μοντέλο

- ▶ Η μεγάλη πλειοψηφία των 3D αντικειμένων έχει κατασκευαστεί με βάση το πολυγωνικό μοντέλο
 - ▶ Ονομάζονται και πολυγωνικά πλέγματα (*meshes*)
 - ▶ Συχνά αποτελούνται από μεγάλο αριθμό τριγώνων (π.χ. μερικές χιλιάδες)
 - ▶ Το οπτικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι ιδιαίτερα ποιοτικό
 - ▶ Δεν περιλαμβάνουν καμπύλες επιφάνειες, αλλά ο μεγάλος αριθμός τριγώνων και οι αλγόριθμοι φωτοσκίασης δίνουν *αίσθηση καμπυλότητας*
- ▶ Ο αριθμός των τριγώνων επηρεάζει την ποιότητα απεικόνισης αλλά και την ταχύτητα
 - ▶ Θα πρέπει να υπάρχει καλός συμβιβασμός ως προς τον αριθμό των τριγώνων
 - ▶ Χρήση *αλγορίθμων απλοποίησης και τεχνικών βελτίωσης απόδοσης*

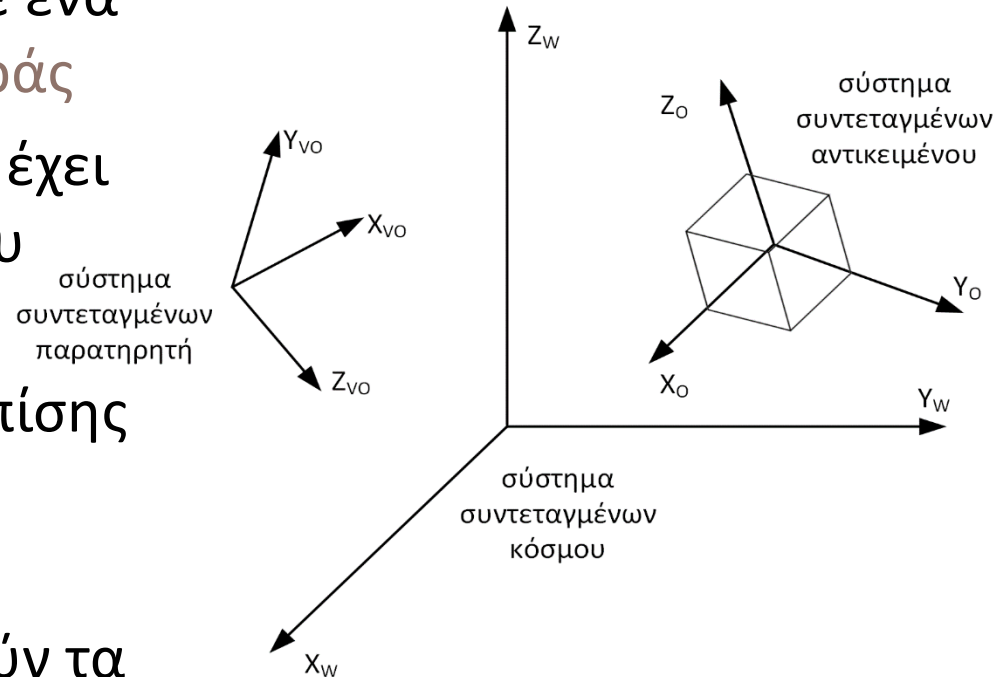


Γεωμετρικοί μετασχηματισμοί

- ▶ Ορισμένα 3D αντικείμενα θέλουμε να έχουν δυναμική συμπεριφορά
 - ▶ Να μεταβάλλονται οι γεωμετρικές ιδιότητές τους στο χρόνο
 - ▶ Π.χ. αυτοκίνητο και ρόδες
- ▶ Τέτοιες μεταβολές είναι πολύ δύσκολο να γίνουν αν όλη η σκηνή περιγράφεται από ένα ενιαίο πλέγμα
- ▶ Κάθε τμήμα της σκηνής που μπορεί να αλλάξει θέση / χαρακτηριστικά μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ξεχωριστό πλέγμα
 - ▶ Π.χ. αντικείμενα του κόσμου, ή και κινούμενα τμήματα σύνθετων αντικειμένων
- ▶ Οι αλλαγές στη θέση, περιστροφή και μέγεθος ενός δυναμικού αντικειμένου προκύπτουν μέσω γεωμετρικών μετασχηματισμών

Γεωμετρικοί μετασχηματισμοί

- ▶ Για να κατασκευάσουμε ένα 3D περιβάλλον θα χρειαστούμε ένα **καρτεσιανό πλαίσιο αναφοράς**
- ▶ Επιπλέον, κάθε αντικείμενο έχει μοντελοποιηθεί στο δικό του πλαίσιο αναφοράς
- ▶ Η άποψη του χρήστη έχει επίσης ένα πλαίσιο αναφοράς
- ▶ Οι γεωμετρικοί μετασχηματισμοί τοποθετούν τα αντικείμενα στο πλαίσιο αναφοράς του κόσμου



Μετατόπιση

- ▶ Αλλαγή της θέσης του αντικειμένου > τελική τοποθέτηση στη σκηνή
- ▶ Οι τιμές μετατόπισης φυλάσσονται σε έναν **πίνακα μετασχηματισμού** και αποδίδονται στις κορυφές του αντικειμένου όταν απαιτείται
 - ▶ Π.χ. σχεδίαση της σκηνής ή έλεγχος σύγκρουσης
 - ▶ Αλλαγές στη θέση, περιστροφή ή κλίμακα του αντικειμένου > αλλαγές μόνο στα στοιχεία του σχετικού πίνακα, όχι στις τιμές συντεταγμένων
- ▶ Ο μετασχηματισμός προκαλεί **πρόσθεση ενός διανύσματος** (τιμές μετατόπισης) **σε ένα άλλο** (κορυφή)
 - ▶ Η πράξη δεν μπορεί να υποστηριχθεί από πίνακες διαστάσεων 3×3
 - ▶ Χρησιμοποιούνται οι **ομογενείς (homogenous)** συντεταγμένες και πίνακες με μία παραπάνω διάσταση
 - ▶ Οι κορυφές είναι διανύσματα-στήλες 4×1 και οι μετασχηματισμοί πίνακες 4×4

Μετατόπιση

Για να μετατοπίσουμε διάνυσμα (x,y,z) κατά (t_x, t_y, t_z) θα προσθέσουμε τις αντίστοιχες τιμές:

$$x' = x + t_x$$

$$y' = y + t_y$$

$$z' = z + t_z$$

Η μετατόπιση μπορεί να υπολογιστεί με ομογενή πολ/μό πινάκων ως εξής:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Αλλαγή κλίμακας

- ▶ Αλλάζει το μέγεθος ενός αντικειμένου μέσω αλλαγής κλίμακας των συντεταγμένων των κορυφών
 - ▶ Η κάθε κορυφή πολ/ζεται με τις τιμές s_x , s_y και s_z στις αντίστοιχες συντεταγμένες
- ▶ Αν οι τιμές των s_x , s_y και s_z είναι ίσες έχουμε ομοιόμορφη (uniform) αλλαγή κλίμακας
 - ▶ Σε κάθε άλλη περίπτωση το αποτέλεσμα επηρεάζει και το σχήμα του αντικειμένου, π.χ. συμπιεσμένο ή τεντωμένο σε κάποιες διαστάσεις
- ▶ Ο πολ/μός πινάκων που περιγράφει αυτή την ενέργεια είναι:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Περιστροφή

- ▶ Η περιστροφή είναι ο πιο σύνθετος μετασχηματισμός
 - ▶ Μπορεί να καθοριστεί με διάφορους τρόπους
- ▶ Περιστροφή γύρω από τους άξονες XYZ
 - ▶ Τρεις γωνίες περιστροφής, μία για κάθε άξονα (θ, ϕ, ω)

Οι αντίστοιχοι πίνακες είναι:

$$\begin{bmatrix} \cos \vartheta & -\sin \vartheta & 0 & 0 \\ \sin \vartheta & \cos \vartheta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \omega & 0 & \sin \omega & 0 \\ -\sin \omega & 1 & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- ▶ Οι παραπάνω **μπορούν να συνδυαστούν με οποιαδήποτε σειρά**
- ▶ Η περιστροφή μπορεί να γίνει είτε **ως προς τους άξονες ενός σταθερού ΣΣ (εξωγενής)** είτε **ως προς τους άξονες του τοπικού ΣΣ (ενδογενής – γωνίες Euler)**
- ▶ Συνήθως στα συστήματα γραφικών χρησιμοποιούνται γωνίες Euler με σειρά XYZ

Περιστροφή - quaternions

- ▶ Η περιστροφή με γωνίες Euler παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα
 - ▶ Δεν γίνεται περιστροφή γύρω από αυθαίρετο άξονα
 - ▶ «κλείδωμα περιστροφών» (gimbal lock) > απώλεια ενός βαθμού ελευθερίας
 - ▶ Προβλήματα στο animation μέσω παρεμβολής
- ▶ Τα **quaternions** είναι ένα μαθηματικό μοντέλο για την αναπαράσταση περιστροφών που επιλύει τα παραπάνω
 - ▶ Επέκταση των μιγαδικών αριθμών με τρεις «φανταστικές μονάδες» i, j και k
- ▶ Η περιστροφή γύρω από αυθαίρετο άξονα μπορεί να περιγραφεί ως quaternion
- ▶ Το **γινόμενο δύο περιστροφών** είναι η **συνδυασμένη περιστροφή**
 - ▶ Άρα μπορούμε να εκφράσουμε τις γωνίες Euler ως το γινόμενο τριών quaternions
- ▶ Μια κορυφή μπορεί επίσης να περιγραφεί ως quaternion
- ▶ Ένα ειδικό γινόμενο **περιστροφής** και **κορυφής** οδηγεί στη νέα κορυφή μετά την περιστροφή
- ▶ Ένα quaternion περιστροφής μπορεί να εκφραστεί και ως **πίνακας**

Περιστροφή - quaternions

- ▶ Τα quaternions θεωρούνται η καταλληλότερη μορφή αναπαράστασης περιστροφών
- ▶ Η απευθείας ανάθεση τιμών είναι δύσκολη
- ▶ Οι περισσότερες εφαρμογές 3D μοντελοποίησης επιτρέπουν στο χρήστη να ορίσει τις περιστροφές ως γωνίες Euler ή ως ζεύγος άξονα / γωνίας
 - ▶ Εσωτερικά τις μετατρέπουν σε quaternions

Χρώματα και υφές

- ▶ Εκτός από τον καθορισμό της γεωμετρίας απαιτείται και η χρωματική απόδοση της επιφάνειας
 - ▶ Συνδυασμός χρώματος και υφής που έχει αποδοθεί στο αντικείμενο
 - ▶ Φωτισμός της σκηνής
 - ▶ Οπτική γωνία παρατήρησης (αντανάκλασεις, κλπ)
- ▶ Η απόδοση του χρώματος γίνεται με το μοντέλο RGB
 - ▶ Συνολικά στο αντικείμενο ή σε μεμονωμένα πολύγωνα
- ▶ Αρκετά αντικείμενα μπορεί να είναι ημιδιαφανή
 - ▶ ορίζεται βαθμός αδιαφάνειας (opacity) μεταξύ του 0 και 1
- ▶ Χρήση εικόνων (υφών) για πιο ρεαλιστικές απεικονίσεις
 - ▶ Αποτυπώνονται στην επιφάνεια των αντικειμένων
 - ▶ Σε ορισμένες περιπτώσεις οι υφές επαναλαμβάνονται καλύπτοντας μεγαλύτερο χώρο
 - ▶ Φωτογραφίες επεξεργασμένες για να δίνουν την αίσθηση του συνεχούς όταν επαναλαμβάνονται
 - ▶ Συνήθως αναπαράσταση χαρακτηριστικών υλικών (ξύλο, μέταλλο, κλπ)

Χρώματα και υφές

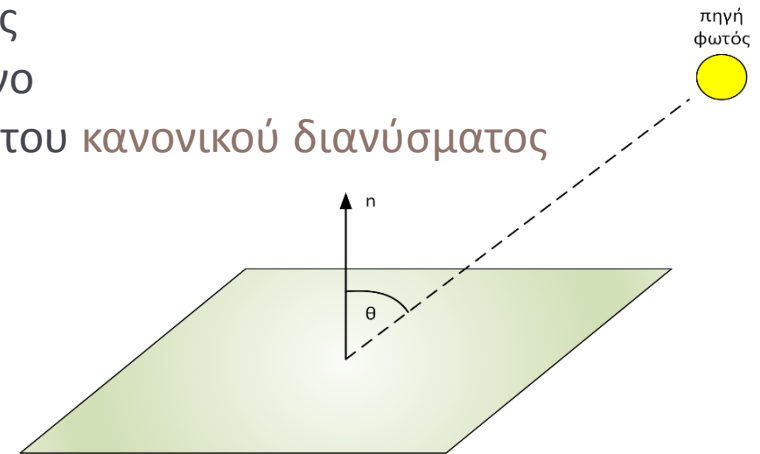
- ▶ Για την απόδοση υφής απαιτείται καθορισμός του τρόπου αντιστοίχισης στις επιφάνειες
 - ▶ Αντιστοίχιση υφής (texture mapping): πολύγωνα της επιφάνειας στα οποία θα αποδοθεί η υφή, συσχέτιση κορυφών με σημεία της εικόνας υφής
 - ▶ Σε περίπλοκα αντικείμενα η διαδικασία είναι σύνθετη και γίνεται μέσω κατάλληλων προγραμμάτων
- ▶ Οι υφές συνδυάζονται με το χρώμα και τη διαφάνεια
 - ▶ Υπάρχουν περιβάλλοντα που επιτρέπουν το συνδυασμό παραπάνω από μίας υφών
 - ▶ Ενίσχυση ρεαλισμού, δημιουργία διαφοροποιήσεων
- ▶ Οι εικόνες των υφών μπορούν να εμπεριέχουν διαφάνεια ή και κίνηση
 - ▶ Το αποτέλεσμα αποδίδεται αντίστοιχα στο τρισδιάστατο αντικείμενο

Φωτισμός και σκίαση

- ▶ Η οπτική απόδοση μιας σκηνής προϋποθέτει
 - ▶ Καθορισμό πηγών φωτισμού
 - ▶ Φωτοσκίαση επιφάνειας αντικειμένων
- ▶ Ο ρεαλισμός του περιβάλλοντος βελτιώνεται με τη χρήση τεχνικών όπως σκιές, τραχιές επιφάνειες, αντανακλάσεις.
- ▶ Η καλής ποιότητας φωτοσκίαση μπορεί να υποκαταστήσει τη χαμένη αίσθηση του βάθους
 - ▶ Πλοήγηση, κατανόηση χώρου, αποτύπωση τρισδιάστατων μορφών
- ▶ Βασικά είδη φώτων
 - ▶ Φωτισμός περιβάλλοντος (ambient): μοναδικό σταθερό φως χωρίς διεύθυνση, μόνο χρώμα και ένταση
 - ▶ Σημειακό φως (point light): ξεκινάει από συγκεκριμένο σημείο, επεκτείνεται προς όλες τις διευθύνσεις
 - ▶ Προβολέας (spot light): σαν το σημειακό φως αλλά με συγκεκριμένη διεύθυνση, νοητός κώνος
 - ▶ Φως κατεύθυνσης (directional light): δεν έχει αρχή, ορίζεται μόνο η διεύθυνση, παράλληλες ακτίνες (συνήθως φως του ήλιου)

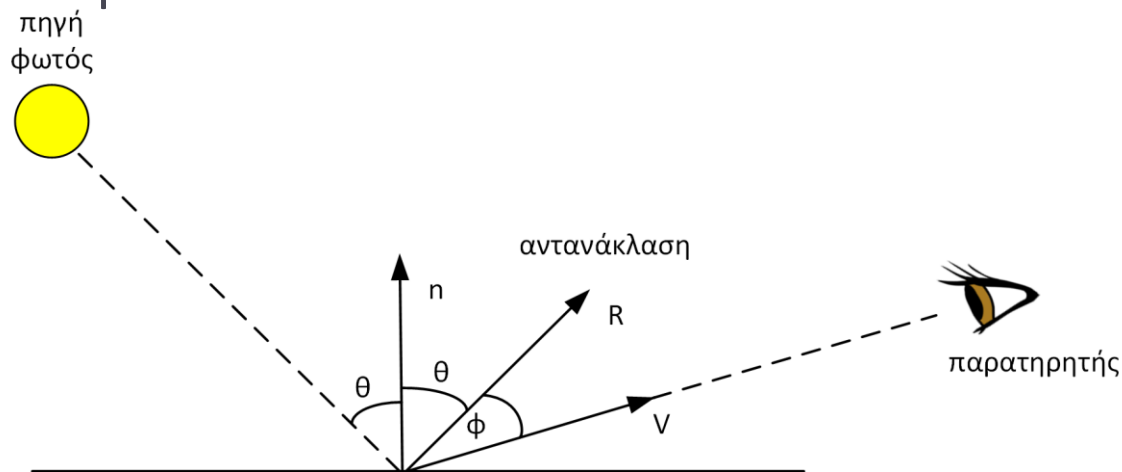
Φωτισμός και σκίαση

- ▶ Αντανάκλαση του φωτός στις επιφάνειες
 - ▶ Υπάρχουν διάφορα υπ. μοντέλα που λαμβάνουν υπ' όψιν είδη υλικών, κλπ με μεγάλο υπολογιστικό κόστος και ποιοτικά αποτελέσματα
- ▶ Ένα απλοποιημένο μοντέλο χρησιμοποιεί δύο είδη
 - ▶ Διάχυση: το φως εκπέμπεται ομοιόμορφα
 - ▶ Κατοπτρική: λάμπεις στην επιφάνεια γυαλιστερών αντικειμένων από αντανάκλασεις πηγών φωτισμού
 - ▶ Σχετίζεται με το σημείο παρατήρησης
- ▶ Ο υπολογισμός της ανάκλασης διάχυσης σε σημείο της επιφάνειας γίνεται βάσει:
 - ▶ του παράγοντα διάχυσης της επιφάνειας
 - ▶ της έντασης του φωτός στο σημείο εκείνο
 - ▶ της γωνίας μεταξύ της πηγής φωτός και του κανονικού διανύσματος επιφάνειας



Φωτισμός και σκίαση

- ▶ Η κατοπτρική ανάκλαση υπολογίζεται βάσει
 - ▶ του παράγοντα γυαλάδας της επιφάνειας
 - ▶ της έντασης του φωτός
 - ▶ της γωνίας μεταξύ της αντανάκλασης και της διεύθυνσης παρατήρησης
 - ▶ μιας παραμέτρου γυαλάδας (gloss parameter) που σχετίζεται με το υλικό



Φωτισμός και σκίαση

- ▶ Η συνολική αντανάκλαση φωτός σε ένα σημείο υπολογίζεται από
 - ▶ το φωτισμό περιβάλλοντος (ambient), και
 - ▶ για κάθε πηγή φωτός το συνδυασμό αντανάκλασης διάχυσης και γυαλάδας που προκαλεί στο σημείο

- ▶ Η τελική ένταση προκύπτει από τον τύπο:

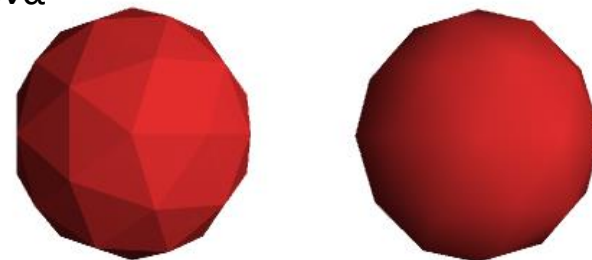
$$I = I_a K_a + [I_i K_d \cos \vartheta + I_j K_s \cos^g \varphi]$$

Και υπολογίζεται για κάθε ένα από τα τρία χρωματικά κανάλια, ώστε να προκύψει το τελικό χρώμα.

- ▶ Θα πρέπει για κάθε αντικείμενο να ορίσουμε τις τιμές των τριών παραγόντων (περιβάλλοντος, διάχυσης και γυαλάδας) ως τρία χρώματα
 - ▶ Συνήθως στα δύο πρώτα αποδίδουμε το χρώμα της επιφάνειας του αντικειμένου, και στο τρίτο το λευκό

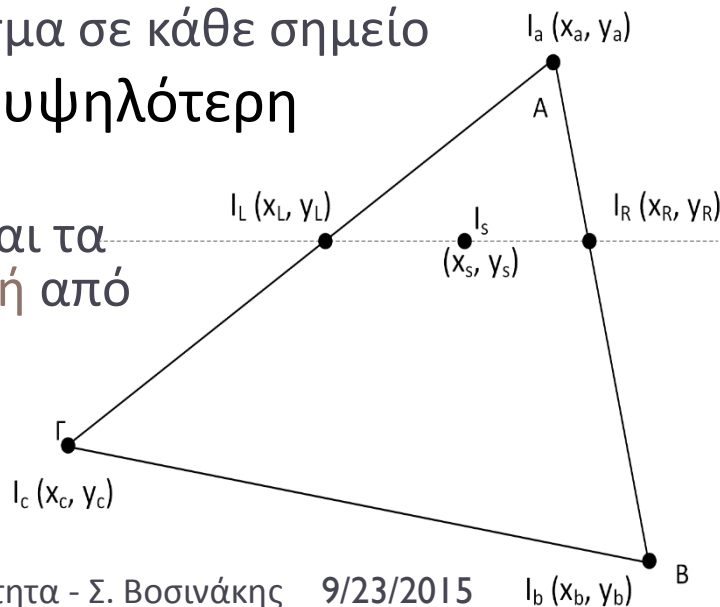
Φωτισμός και σκίαση

- ▶ Το χρώμα φωτοσκίασης εξαρτάται από το κανονικό διάνυσμα (ΚΔ) της κάθε επιφάνειας
- ▶ Τα αντικείμενα αποτελούνται από πολύγωνα > κάθε πολύγωνο θα έχει μοναδικό χρώμα
 - ▶ Τα επιμέρους πολύγωνα θα φαίνονται διακριτά
- ▶ Αν θέλουμε να αποδώσουμε καμπύλες επιφάνειες το αποτέλεσμα δεν θα είναι ικανοποιητικό
- ▶ Η λύση είναι η **ομαλή φωτοσκίαση (smooth shading)**
 - ▶ Αποδίδεται ένα ΚΔ σε κάθε κορυφή
 - ▶ Υπολογίζεται αυτόματα ως μέσος όρος των ΚΔ των πολυγώνων στα οποία ανήκει η κορυφή
 - ▶ Ως προς τη φωτοσκίαση το πολύγωνο θα ζωγραφίζεται ως καμπύλη επιφάνεια
 - ▶ σε κάθε σημείο το ΚΔ θα είναι ελαφρώς διαφοροποιημένο > αλλαγή στο χρώμα
 - ▶ οπτικά αποδίδεται «συνέχεια» με τα γειτονικά πολύγωνα



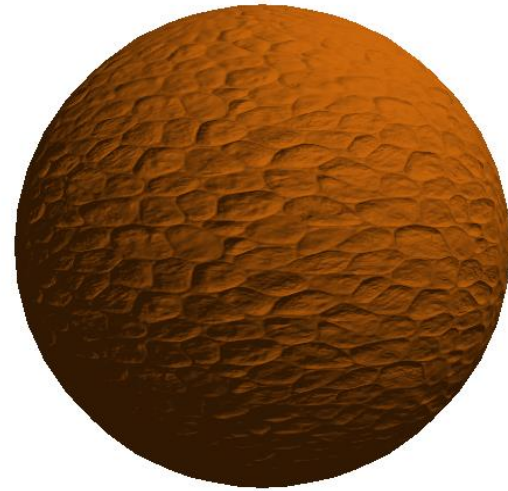
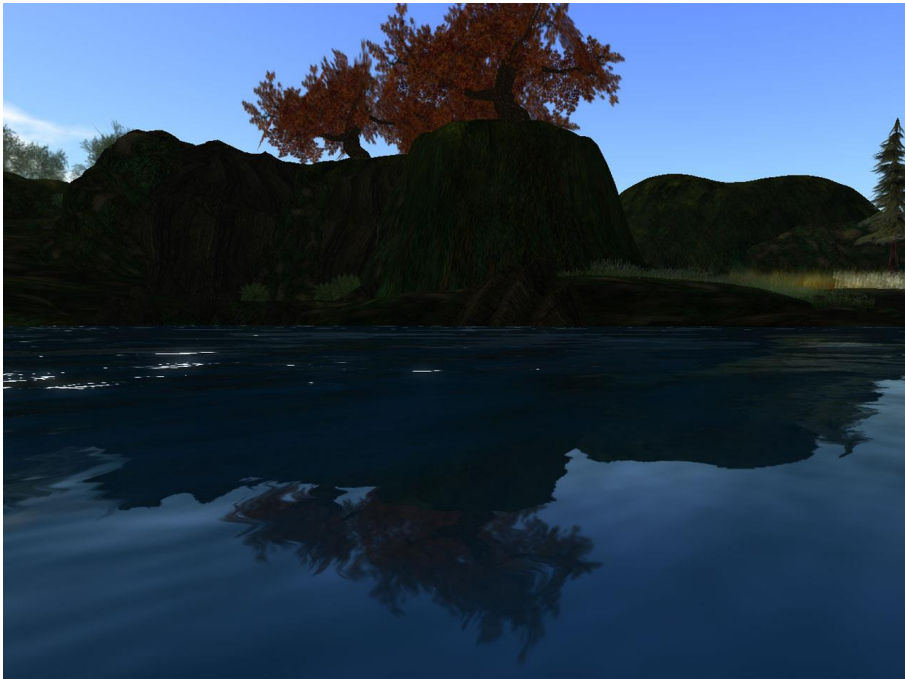
Φωτισμός και σκίαση

- ▶ Ο πιο απλός αλγόριθμος φωτοσκίασης καμπύλων επιφανειών είναι ο Gouraud
 - ▶ υπολογίζεται η **συνολική ένταση του φωτός** στις τρεις κορυφές του τριγώνου
 - ▶ σε όλα τα ενδιάμεσα σημεία αυτού υπολογίζονται οι εντάσεις με **παρεμβολή**
- ▶ Όμως με την τεχνική αυτή η κατοπτρική αντανάκλαση δεν υπολογίζεται σωστά
 - ▶ δεν γνωρίζουμε το κανονικό διάνυσμα σε κάθε σημείο
- ▶ Ο αλγόριθμος Phong επιτυγχάνει υψηλότερη ποιότητα
 - ▶ Στα ενδιάμεσα σημεία υπολογίζονται τα **κανονικά διανύσματα με παρεμβολή** από αυτά των κορυφών
 - ▶ Με βάση αυτά υπολογίζεται η αντίστοιχη ένταση



Φωτισμός και σκίαση

- ▶ Υπάρχουν τεχνικές που δίνουν ρεαλιστικότερα αποτελέσματα, όπως η **radiosity**
 - ▶ Υπολογισμός **χρωματικών αντανακλάσεων** μεταξύ αντικειμένων
 - ▶ Το κόστος εκτέλεσης είναι απαγορευτικό για εφαρμογές πραγματικού χρόνου
 - ▶ Σε περιβάλλοντα πραγματικού χρόνου:
 - ▶ προ-υπολογίζεται η φωτοσκίαση με radiosity,
 - ▶ αποθηκεύεται ως απεικόνιση φωτισμού (**light mapping**) και
 - ▶ αποδίδεται στην υφή των αντικειμένων
- ▶ Άλλες τεχνικές βελτίωσης του ρεαλισμού:
 - ▶ Απεικόνιση αναγλύφου (**bump mapping**): αποδίδεται μια ειδική υφή που προκαλεί **διαφοροποιήσεις στα κανονικά διανύσματα** > ψευδαίσθηση εξογκωμάτων / βαθουλωμάτων πάνω στη γεωμετρία
 - ▶ Απεικόνιση περιβάλλοντος (**environmental mapping**): ανταλάκλαση των αντικειμένων του περιβάλλοντος πάνω σε «γυαλιστερές» επιφάνειες
 - ▶ Χρήση προκατασκευασμένης εικόνας του περιβάλλοντος
 - ▶ Σκιές αντικειμένων πάνω σε άλλα
 - ▶ **Shaders**: αλγόριθμοι φωτοσκίασης που εκτελούνται στον επεξεργαστή γραφικών για ειδικά εφέ (νερό, καπνός, φωτιά, χιόνι)



Κάμερες

- ▶ Ο ορισμός ενός ή περισσότερων καμερών είναι απαραίτητο στοιχείο στα 3D γραφικά
- ▶ Οπτικοποίηση τρισδιάστατης σκηνής:
 - ▶ Κατάλληλη τοποθέτηση της κάμερας
 - ▶ Προβολή τρισδιάστατου χώρου σε εικόνα δύο διαστάσεων
- ▶ Οι κάμερες αποτελούν μέρος της σκηνής
 - ▶ Έχουν το δικό τους γεωμετρικό μετασχηματισμό
 - ▶ Μπορεί να συνδέεται με το μετασχηματισμό άλλου αντικειμένου (π.χ. κινούμενου)
- ▶ Εκτός από τη θέση και τον προσανατολισμό ορίζονται:
 - ▶ το πεδίο όρασης: το «άνοιγμα» της κάμερας σε μοίρες
 - ▶ δύο «πεδία αποκοπής»: το κοντινό (*near*) και το μακρινό (*far*)
 - ▶ ελάχιστο και μέγιστο όριο απόστασης από την κάμερα εντός των οποίων θα ζωγραφίζεται η σκηνή
 - ▶ συνήθως η προβολή γίνεται πάνω στο κοντινό επίπεδο αποκοπής
- ▶ Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να απαιτούνται παραπάνω από μία κάμερες
 - ▶ αλλαγή μεταξύ προκαθορισμένων οπτικών
 - ▶ ταυτόχρονη εμφάνιση (*picture-in-picture*)

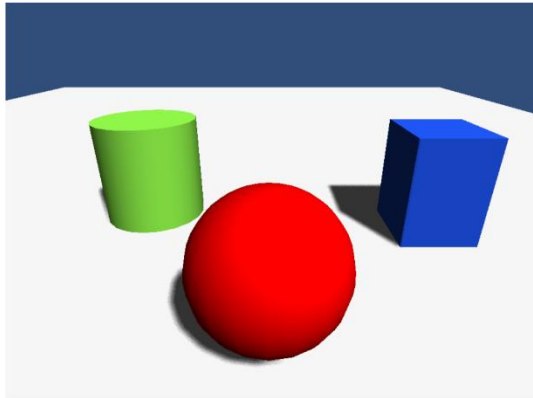
Άλλες τεχνικές

- ▶ **Billboards:** επίπεδες επιφάνειες με υφή
 - ▶ στρέφονται πάντα προς τη μεριά του παρατηρητή
 - ▶ αναπαράσταση αντικειμένων που δεν παίζει ρόλο η γωνία παρατήρησης, π.χ. δέντρα και φυτά
 - ▶ αναπαράσταση πολύ μεγάλου αριθμού αντικειμένων, π.χ. θεατές σε γήπεδο
- ▶ **Μαλακά αντικείμενα (soft objects):** δυνατότητα παραμόρφωσης γεωμετρίας
 - ▶ π.χ. σφουγγάρι, δέρμα, μαλλιά
 - ▶ συνήθως η μορφή του αντικειμένου περιγράφεται από εξισώσεις μέσω των οποίων παράγονται τα πολύγωνα
 - ▶ Δυνατότητα παραμετροποίησης, μεταβολής μορφής
- ▶ **Συστήματα σωματιδίων (particles):** πολλαπλά μικρά αντικείμενα (σωματίδια) που συνθέτουν την τελική μορφή του «αντικειμένου»
 - ▶ Για αντικείμενα με διαρκώς μεταβαλλόμενη μορφή, π.χ. υγρά και αέρια
 - ▶ Κίνηση βάσει κανόνων

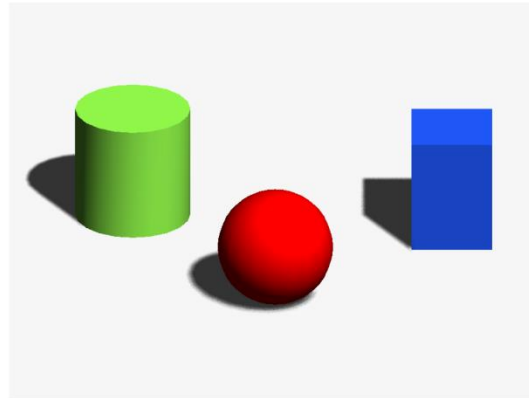
Διαδικασία απεικόνισης

- ▶ Η απεικόνιση μιας σκηνής στην οθόνη εκτελείται σε τρία βασικά στάδια:
 - ▶ Μετασχηματίζεται το σύστημα συντεταγμένων κόσμου σε ΣΣ προβολής
 - ▶ Προοπτική ή ορθογραφική προβολή
 - ▶ Περικοπή τμημάτων σκηνής εκτός πεδίου όρασης
 - ▶ οι επιφάνειες που η «εξωτερική» όψη δεν είναι προσανατολισμένη προς τη κάμερα
 - ▶ τα αντικείμενα εκτός στερεού παρατήρησης
 - ▶ Προβολή τριγώνων και υπολογισμός χρώματος για κάθε pixel
 - ▶ Οι πιο κοντινές επιφάνειες θα πρέπει να επικαλύπτουν τις μακρινές
 - Αλγόριθμος Ζωγράφου: ταξινόμηση επιφανειών από τη μακρύτερη στην κοντινότερη
 - Z-Buffer: πληροφορία βάθους για κάθε εικονοστοιχείο

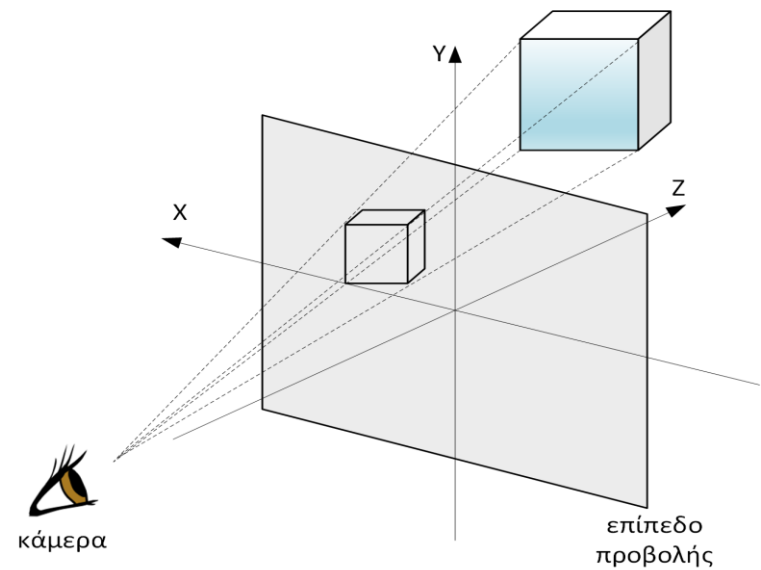
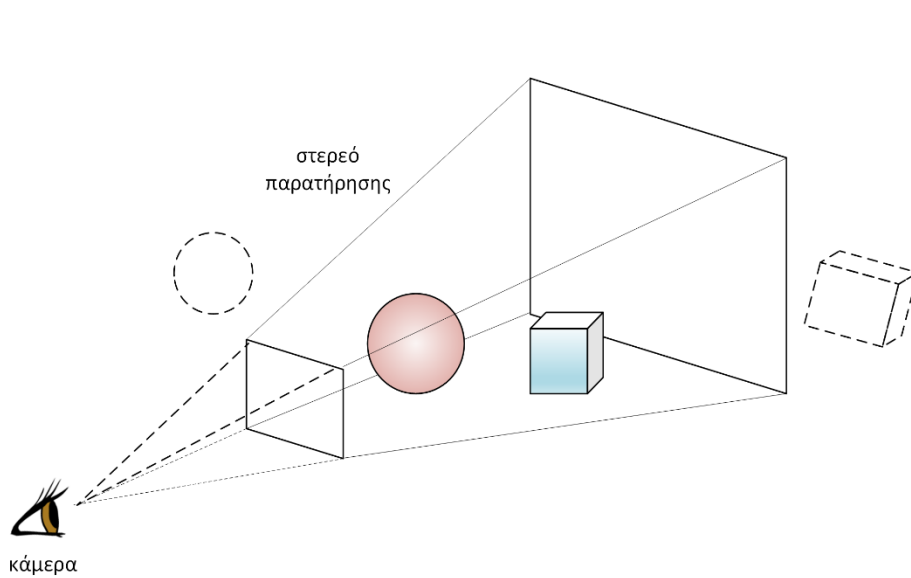
Διαδικασία απεικόνισης



προοπτική προβολή



ορθογραφική προβολή



Στερεοσκοπία

- ▶ Τα παραδοσιακά συστήματα ΕΠ βασίζονται στη στερεοσκοπία
 - ▶ Στερεοσκοπικά γυαλιά, κράνη ΕΠ, κλπ
- ▶ Εκτελείται η διαδικασία προοπτικής προβολής δύο φορές, μία για κάθε μάτι
 - ▶ Υπολογίζονται δύο ανεξάρτητα σημεία προβολής, αριστερά και δεξιά σε σχέση με διεύθυνση παρατήρησης
 - ▶ Η απόσταση θα πρέπει να ταιριάζει με την απόσταση των ματιών του χρήστη
 - ▶ Η μέση απόσταση είναι 63.5 mm
- ▶ Ανάλογα με το υλικό το σύστημα διασφαλίζει ότι η κάθε μία από τις προβολές θα κατευθυνθεί στο αντίστοιχο μάτι

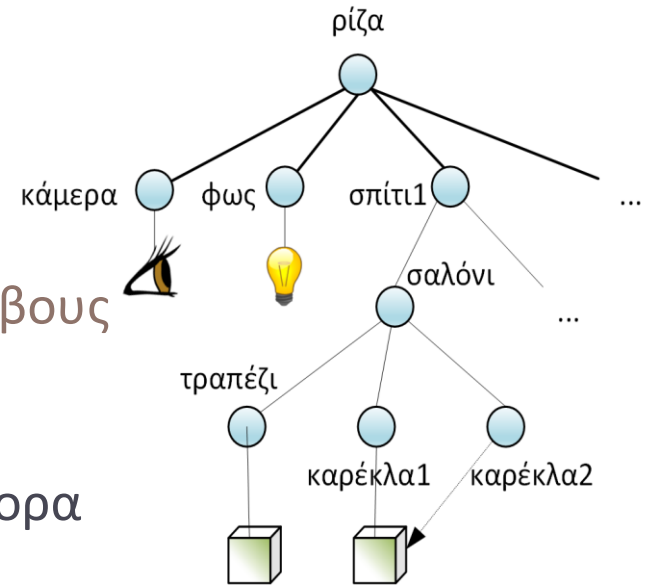
Δημιουργία 3D σκηνών

- ▶ Η δημιουργία μιας 3D σκηνής περιλαμβάνει
 - ▶ καθορισμό και σχεδίαση στοιχείων που την αποτελούν
 - ▶ κατάλληλη διαμόρφωσή τους
 - ▶ υποστήριξη κινήσεων και αλληλεπιδράσεων
- ▶ Οι σκηνές έχουν μια **δενδρική δομή**, το γράφο σκηνής (scene graph / scene hierarchy)
 - ▶ αντικείμενα ομαδοποιούνται και συμπεριφέρονται ως σύνολο
 - ▶ κληρονομούν μετασχηματισμούς από άλλα αντικείμενα
 - ▶ η θέση τους επηρεάζεται από αυτά
 - ▶ καλύτερη οργάνωση της σκηνής
- ▶ Η διαμόρφωση της γεωμετρίας γίνεται με
 - ▶ μοντελοποίηση
 - ▶ Εξειδικευμένα εργαλεία, διάφορες τεχνικές
 - ▶ ψηφιοποίηση από τον πραγματικό κόσμο

Γράφος σκηνης

▶ Δενδρική δομή αντικειμένων της σκηνης

- ▶ Ο κορυφαίος κόμβος είναι η «ρίζα»
 - ▶ Περιλαμβάνει όλο τον υπόλοιπο γράφο, αναπαριστά τη σκηνή συνολικά
- ▶ Συνδέεται με πολλαπλούς **εσωτερικούς κόμβους**
 - ▶ Έχουν ως απόγονους άλλους εσωτερικούς ή εξωτερικούς (φύλλα)
- ▶ Οι εξωτερικοί κόμβοι περιγράφουν τα διάφορα αντικείμενα της σκηνης
 - ▶ Γεωμετρικά αντικείμενα, κάμερες, φώτα, σημεία εκπομπής ήχων, κλπ
- ▶ Οι εσωτερικοί αναπαριστούν γεωμετρικούς μετασχηματισμούς
 - ▶ Οποιαδήποτε αλλαγή επηρεάζει όλους τους απογονικούς

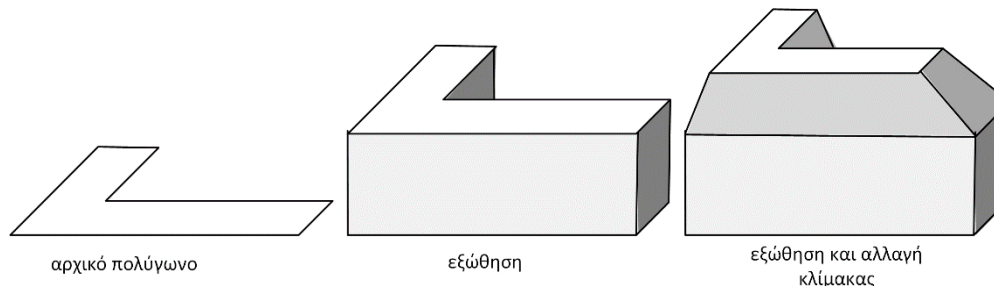


Γράφος σκηνης

- ▶ Ο γράφος σκηνης βοηθάει στην **ομαδοποίηση στοιχείων** με βάση κάποια «λογική» ή «χωρική» σύνδεση
 - ▶ εύκολος εντοπισμός, δημιουργία αντιγράφων
 - ▶ αποκλεισμός ομάδων αντικειμένων για επιτάχυνση
- ▶ Διευκολύνει **σύνθετες κινήσεις** που περιλαμβάνουν πολλαπλά αντικείμενα
 - ▶ καθορισμός επιμέρους κινήσεων τμημάτων αντικειμένων
- ▶ Υποστηρίζει **πολλαπλά στιγμιότυπα** μιας γεωμετρίας
 - ▶ αντικείμενα που επαναλαμβάνονται στη σκηνή, π.χ. δέντρα, έπιπλα, κλπ.
- ▶ Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης, είναι πιθανό ο γράφος να **μεταβάλλεται**
 - ▶ προσθήκη/ αφαίρεση αντικειμένου
 - ▶ αλλαγή θέσης στην ιεραρχία
 - ▶ π.χ. χαρακτήρας πιάνει αντικείμενο > αντικείμενο απογονικό του χεριού
- ▶ Ο γράφος σκηνης διασχίζεται σε δύο κατευθύνσεις πριν από την ανανέωση εικόνας
 - ▶ Από πάνω προς τα κάτω > υπολογισμός συνδυασμένου μετασχηματισμού
 - ▶ Από κάτω προς τα πάνω > υπολογισμός συνολικού όγκου (bounding volume) κάθε κόμβου

Τεχνικές μοντελοποίησης

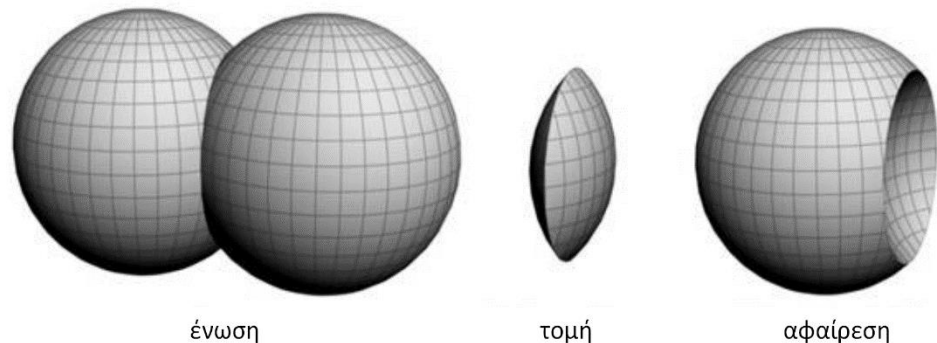
- ▶ Προσδιορισμός γεωμετρίας της επιφάνειας ενός αντικειμένου
 - ▶ Μοντέλο ενός αντίστοιχου φυσικού ή ιδεατού αντικειμένου
 - ▶ Αποτύπωση μορφής ως σύνολο πολυγώνων με τα κατάλληλα εργαλεία
 - ▶ Όχι φυσικοί περιορισμοί, μεγάλη ελευθερία
- ▶ Προσφέρονται διάφορες τεχνικές
 - ▶ **Εξώθηση**: ένα αρχικό πολύγωνο εξωθείται στον κάθετο άξονα
 - ▶ Δημιουργείται αντίγραφο, συνδέονται οι αντίστοιχες κορυφές, δημιουργούνται πλευρικές επιφάνειες > συμπαγές αντικείμενο
 - ▶ Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί στο νέο πολύγωνο, επεκτείνοντάς το περαιτέρω, κλπ
 - ▶ Σε κάθε αντίγραφο μπορεί να γίνει μετατόπιση, περιστροφή, αλλαγή κλίμακας τροποποιώντας το σχήμα
 - ▶ Μπορεί να οριστεί **μονοπάτι** και να γίνουν **διαδοχικές εξωθήσεις**



Τεχνικές μοντελοποίησης

▶ Τεχνικές (συνέχεια)

- ▶ Απευθείας μετατόπιση κορυφών
 - ▶ Μπορεί να γίνει σε υπάρχον 3D μοντέλο, π.χ. βασικό στερεό
 - ▶ Προκαλούνται μεταβολές στα αντίστοιχα πολύγωνα
 - ▶ Ανάγκη συχνής αλλαγής άποψης για καλύτερη τοποθέτηση
- ▶ Στερεά γεωμετρία (Constructive Solid Geometry – CSG)
 - ▶ Κατασκευή αντικειμένου από βασικά στερεά
 - ▶ Συνδυασμός για πιο σύνθετα μοντέλα
 - Boolean πράξεις μεταξύ στερών: ένωση, τομή, αφαίρεση

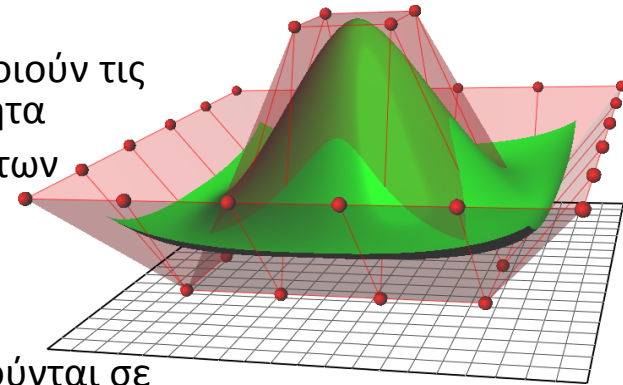


Τεχνικές μοντελοποίησης

▶ Τεχνικές (συνέχεια)

▶ Καμπύλες NURBS

- ▶ Δημιουργία καμπύλων επιφανειών
- ▶ Ο χρήστης ξεκινάει από επίπεδη επιφάνεια που μοιράζεται σε τμήματα
- ▶ Η επιφάνεια συνδέεται με **σημεία ελέγχου** που τροποποιούν τις κορυφές του κάθε τμήματος δημιουργώντας καμπυλότητα
- ▶ Το σχήμα της καμπύλης διαμορφώνεται με μετακίνηση των στοιχείων ελέγχου



▶ Επιφάνειες υποδιαίρεσης

- ▶ Ο σχεδιαστής ξεκινάει από απλό στερεό
- ▶ Προοδευτικά επιλέγει επιφάνειες αυτού που υποδιαιρούνται σε μικρότερες
- ▶ Μια σύνθετη μορφή μπορεί να κατασκευαστεί από μια απλούστερη μέσω υποδιαίρεσεων και τροποποιήσεων των νέων κορυφών

▶ Ψηφιακή γλυπτική

- ▶ Ο σχεδιαστής ξεκινάει από βασικό στερεό, τροποποιεί τη μορφή με εργαλεία που μιμούνται αντίστοιχες ενέργειες πραγματικού κόσμου

▶ Διαδικαστική μοντελοποίηση

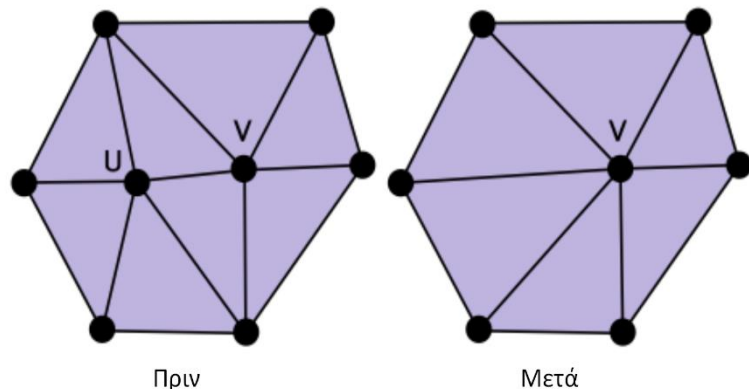
- ▶ Αλγοριθμική δημιουργία μορφών

Ψηφιοποίηση

- ▶ Παραγωγή ψηφιακού μοντέλου μέσω σύλληψης δεδομένων από φυσικό αντικείμενο
- ▶ Η ψηφιοποίηση γίνεται μέσω ειδικών συσκευών, τρισδιάστατων σαρωτών
 - ▶ Η σάρωση μπορεί να γίνει με φυσική επαφή με το αντικείμενο ή εξ' αποστάσεως
 - ▶ Χρήση laser
 - ▶ Εναλλακτικά πολλαπλές φωτογραφήσεις και ειδική επεξεργασία
 - ▶ Η σάρωση μπορεί να γίνει χειροκίνητη ή να γίνεται από σταθερή συσκευή
- ▶ Η ψηφιοποίηση επιταχύνει σημαντικά την παραγωγή νέων μοντέλων και τα τελικά μοντέλα έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια
 - ▶ Όμως τα μοντέλα περιγράφονται από πολύ μεγάλο αριθμό τριγώνων και απαιτούνται διαδικασίες απλοποίησης

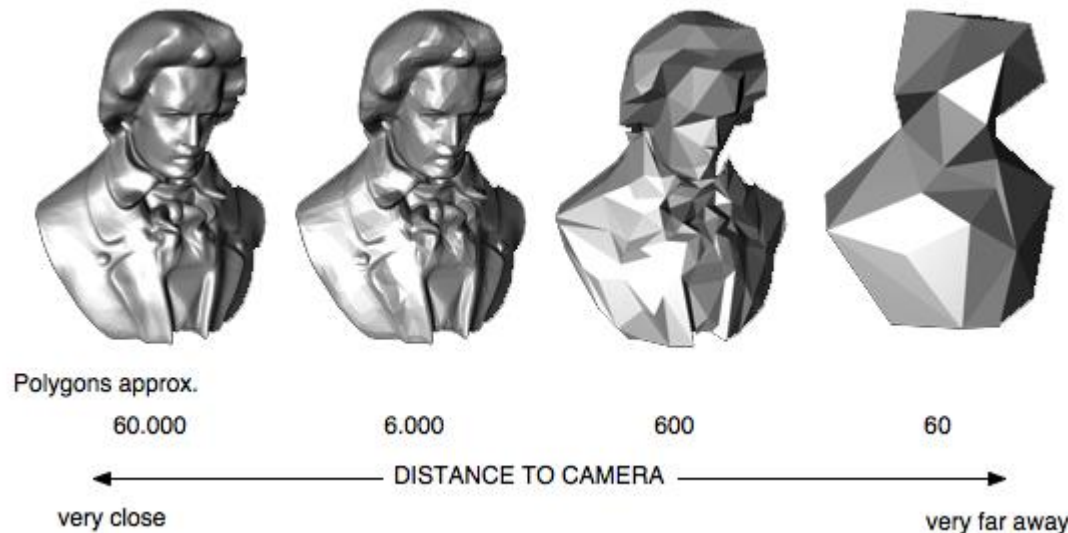
Βελτιστοποίηση για εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο

- ▶ Ο μεγάλος αριθμός τριγώνων επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του συστήματος
- ▶ Η μεγάλη λεπτομέρεια έχει νόημα μόνο όταν παρατηρείται το αντικείμενο από κοντινή απόσταση
- ▶ **Μείωση πολυγώνων:** με κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να μειωθούν τα τρίγωνα ενός 3D αντικειμένου
 - ▶ Υποστηρίζεται από τα περισσότερα προγράμματα μοντελοποίησης, ενώ υπάρχουν και εξειδικευμένα εργαλεία
 - ▶ Η βασική λογική είναι η κατάργηση γειτονικών τριγώνων μέσω αφαίρεσης της κοινής τους ακμής
 - ▶ Προτιμούνται ζεύγη με το χαμηλότερο «κόστος» ενοποίησης



Βελτιστοποίηση για εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο

- ▶ Επίπεδα λεπτομέρειας: παραπάνω από ένα μοντέλα για κάθε αντικείμενο, επιλογή ανάλογα με την απόσταση
 - ▶ Όσο μικραίνει η απόσταση μεγαλώνει η λεπτομέρεια
 - ▶ Μπορούμε να έχουμε πολύ υψηλής ποιότητας μοντέλα χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση
 - ▶ Π.χ. σε εικονικό μουσείο > η λεπτομέρεια θα είναι ορατή όταν ο χρήστης πλησιάζει κοντά στα αντικείμενα
 - ▶ Μειονέκτημα: η ανάγκη δημιουργίας και αποθήκευσης πολλαπλών μοντέλων



Υποστηρικτικό λογισμικό

- ▶ Χαμηλού επιπέδου βιβλιοθήκες γραφικών: **Direct3D** και **OpenGL**
 - ▶ Πολύ υψηλή ταχύτητα με τη χρήση της **GPU**
 - ▶ Προγραμματισμός σε ισχυρή γλώσσα προγραμματισμού
 - ▶ Υποστήριξη μόνο χαμηλού επιπέδου ενεργειών
 - ▶ Έκδοση για Web > **WebGL**
- ▶ Βιβλιοθήκες προγραμματισμού γραφικών υψηλού επιπέδου
 - ▶ Πολλές επιπλέον λειτουργίες
 - ▶ Π.χ. **Java3D** ή **OpenSceneGraph**
- ▶ Μηχανές γραφικών / παιχνιδιών
 - ▶ Ολοκληρωμένα περιβάλλοντα ανάπτυξης
 - ▶ Εφαρμογή οπτικής επεξεργασίας της σκηνής
 - ▶ Υλοποιημένος βασικός μηχανισμός λειτουργίας
 - ▶ Προγραμματισμός μέσω σεναρίων (scripts) ή γλώσσας)
 - ▶ Π.χ. **Unity**, **UnrealEngine**
- ▶ Μοντελοποίηση: εργαλεία επεξεργασίας εικόνας, περιβάλλοντα 3D μοντελοποίησης
 - ▶ Π.χ. **3D Studio**, **Softimage XSI**, **Blender**
 - ▶ Ειδικά προγράμματα για κατασκευή χαρακτήρων, π.χ. **Poser**, **MakeHuman**

Συμπεράσματα

- ▶ Συνοπτική παρουσίαση εισαγωγικών εννοιών τρισδιάστατων γραφικών > βασική κατανόηση τεχνολογίας και διαδικασιών μοντελοποίησης
- ▶ Πολλές διαφορετικές τεχνικές
 - ▶ Αν αξιοποιηθούν σωστά μπορούν να συμβάλουν σε ποιοτικά αποτελέσματα
- ▶ Ισχυροί περιορισμοί σε απόδοση > καλή ισορροπία μεταξύ ποιότητας και απόδοσης
 - ▶ Χρήση υφών και shaders για λεπτομέρειες χωρίς πρόσθετα τρίγωνα, billboards, επίπεδα λεπτομέρειας, κλπ
- ▶ Απαιτείται προσεκτική κατασκευή και διαμόρφωση της σκηνής, της γεωμετρίας και των υλικών για επίτευξη ισορροπίας
 - ▶ Επένδυση χρόνου στη μελέτη δυνατοτήτων πλατφόρμας ανάπτυξης, επιλογή κατάλληλων μορφών αναπαράστασης, βελτιστοποίηση γεωμετριών, κλπ