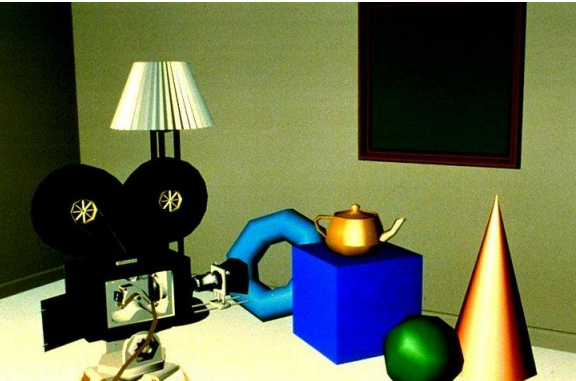
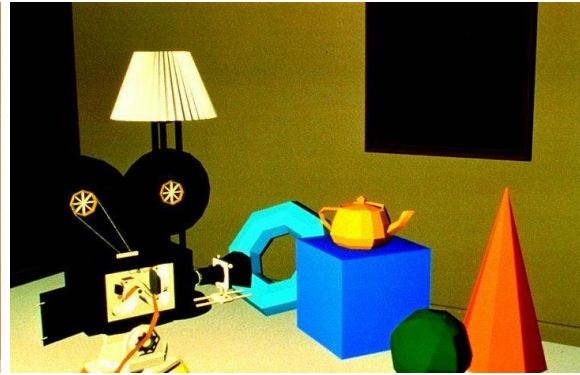
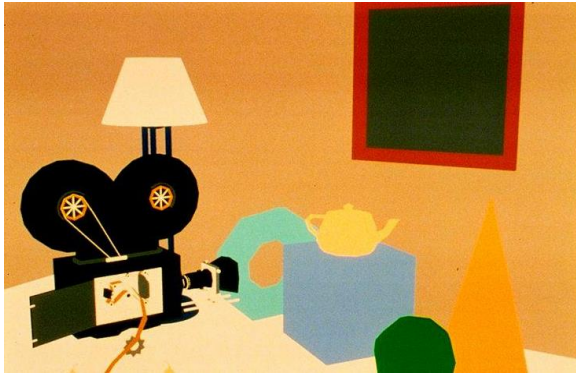




Γραφικά Υπολογιστών

Απόδοση και φωτισμός

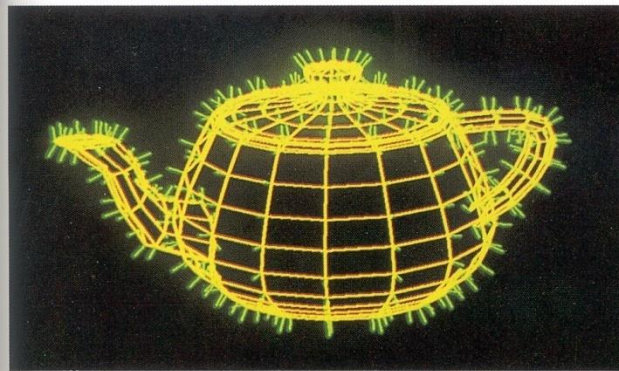
Polygonal Rasterization Rendering Techniques

Περιεχόμενα

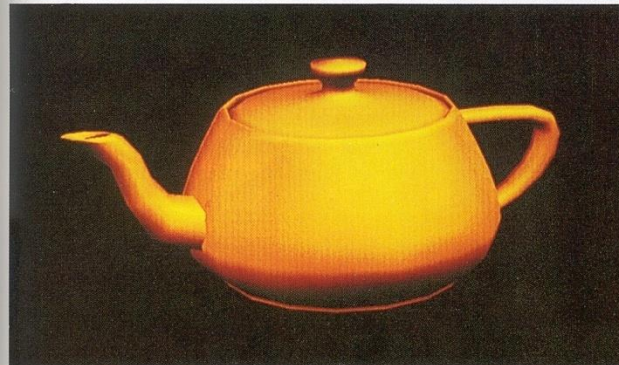
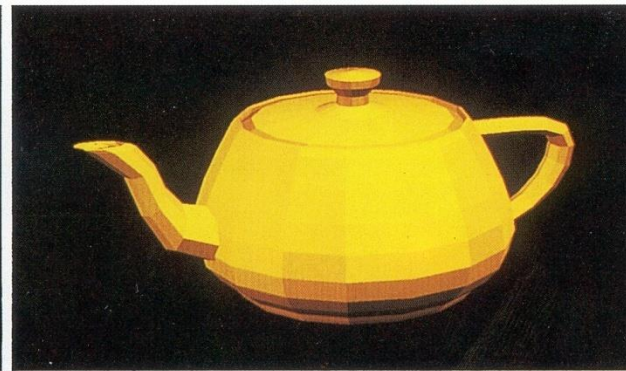
- Σήμερα θα αρχίσουμε να εξετάσουμε τις μεθόδους απόδοσης που χρησιμοποιούνται σε γραφικά υπολογιστών
 - Μέθοδοι απόδοσης πολυγώνου
 - Flat surface rendering
 - Gouraud surface rendering
 - Phong surface rendering

Αλγόριθμοι φωτισμού πολυγώνων

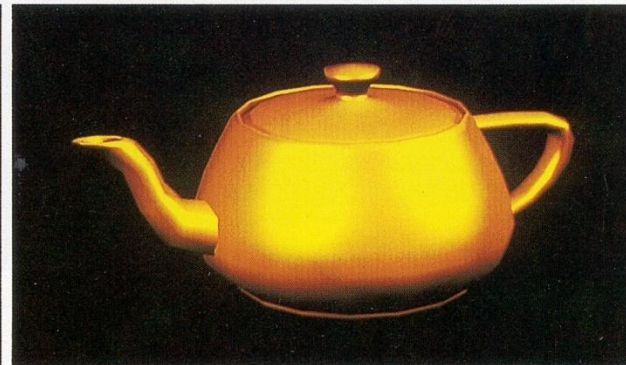
Wireframe



Flat



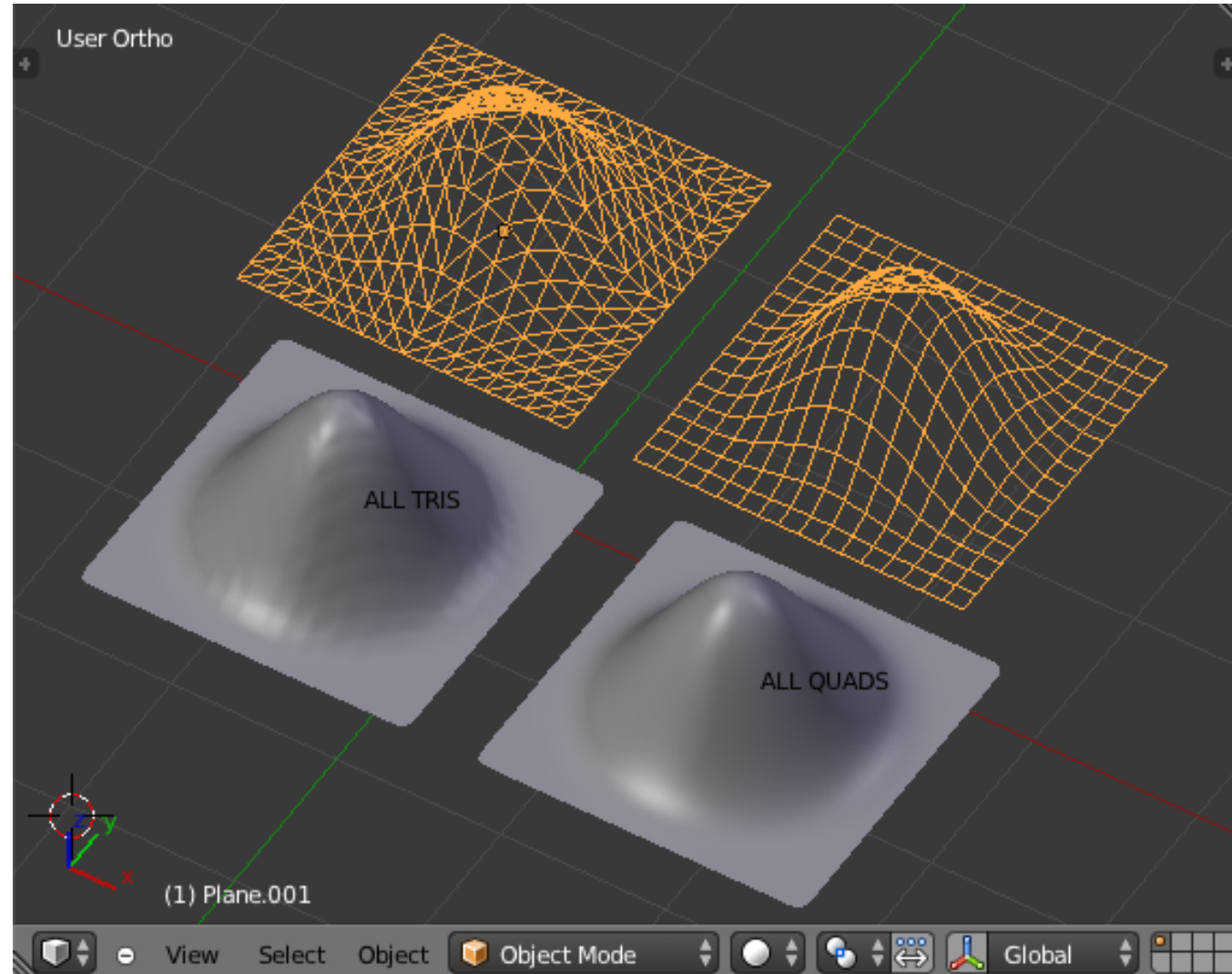
Gouraud



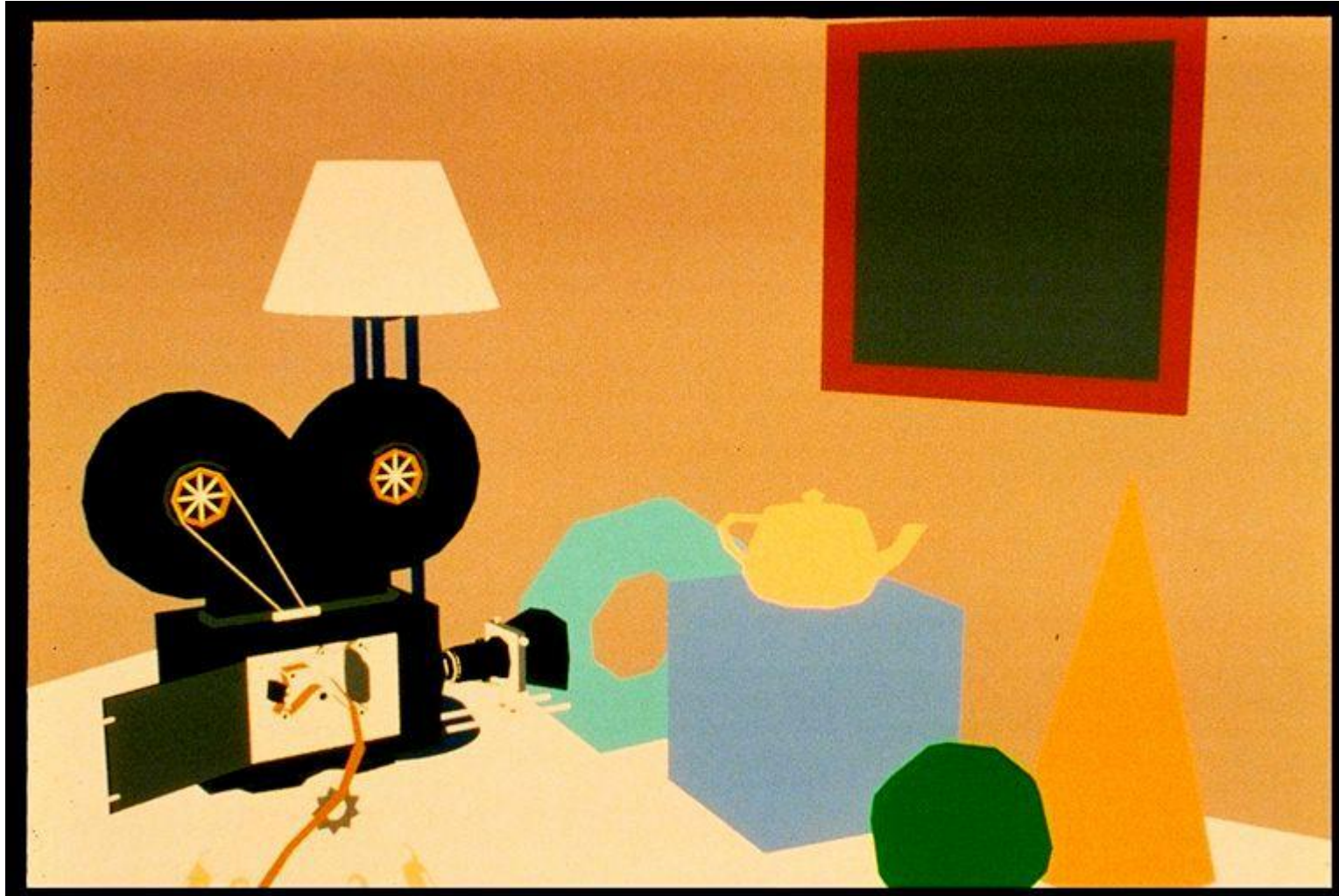
Phong

Μέθοδοι απόδοσης πολυγώνου

- Θεωρούμε την εφαρμογή ενός μοντέλου φωτισμού σαν την απόδοση σε πολύγωνα με τοπικές επιφάνειες.
- Υπάρχουν δυο τρόπο απόδοσης σε επιφάνειες:
 - Κάθε πολύγωνο μπορεί να αποδοθεί με σταθερή ένταση
 - Η ένταση σε κάθε σημείο του πολυγώνου υπολογίζεται με παρεμβολή.

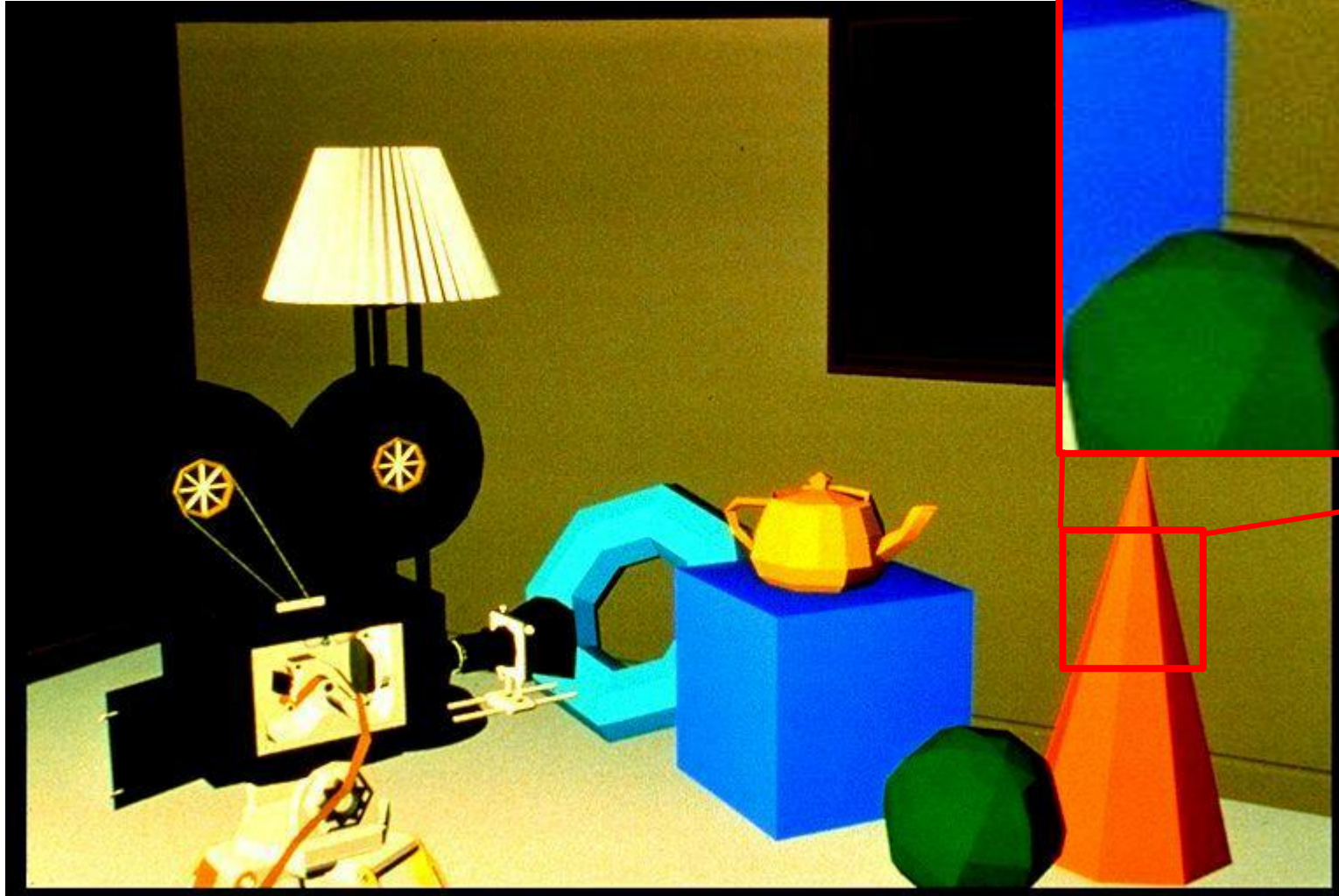


No Surface Rendering

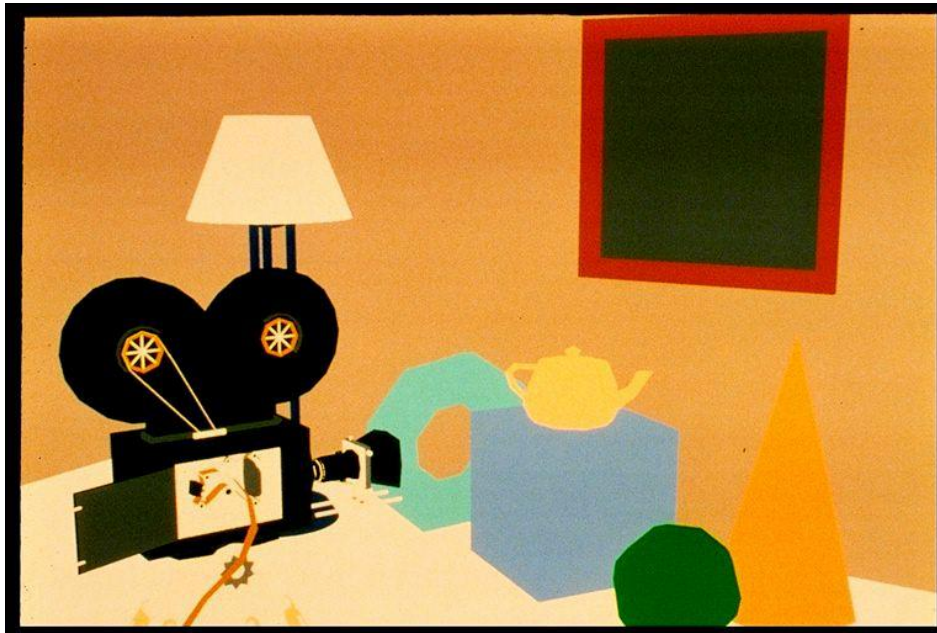


No interpolation, pick a single representative intensity and propagate it over entire object
Loses almost all depth cues

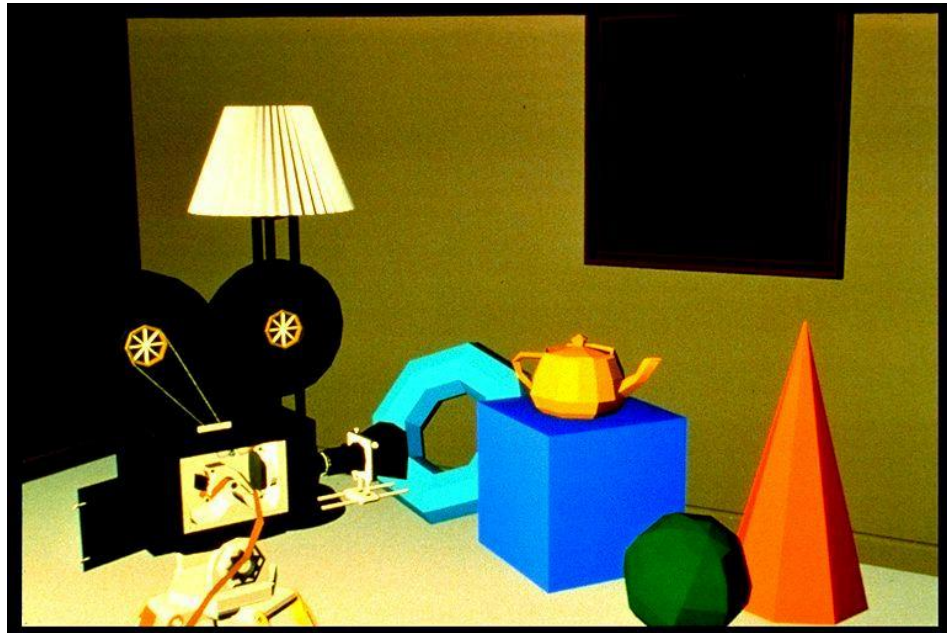
Flat Surface Rendering



No Surface Rendering Vs Flat Surface Rendering

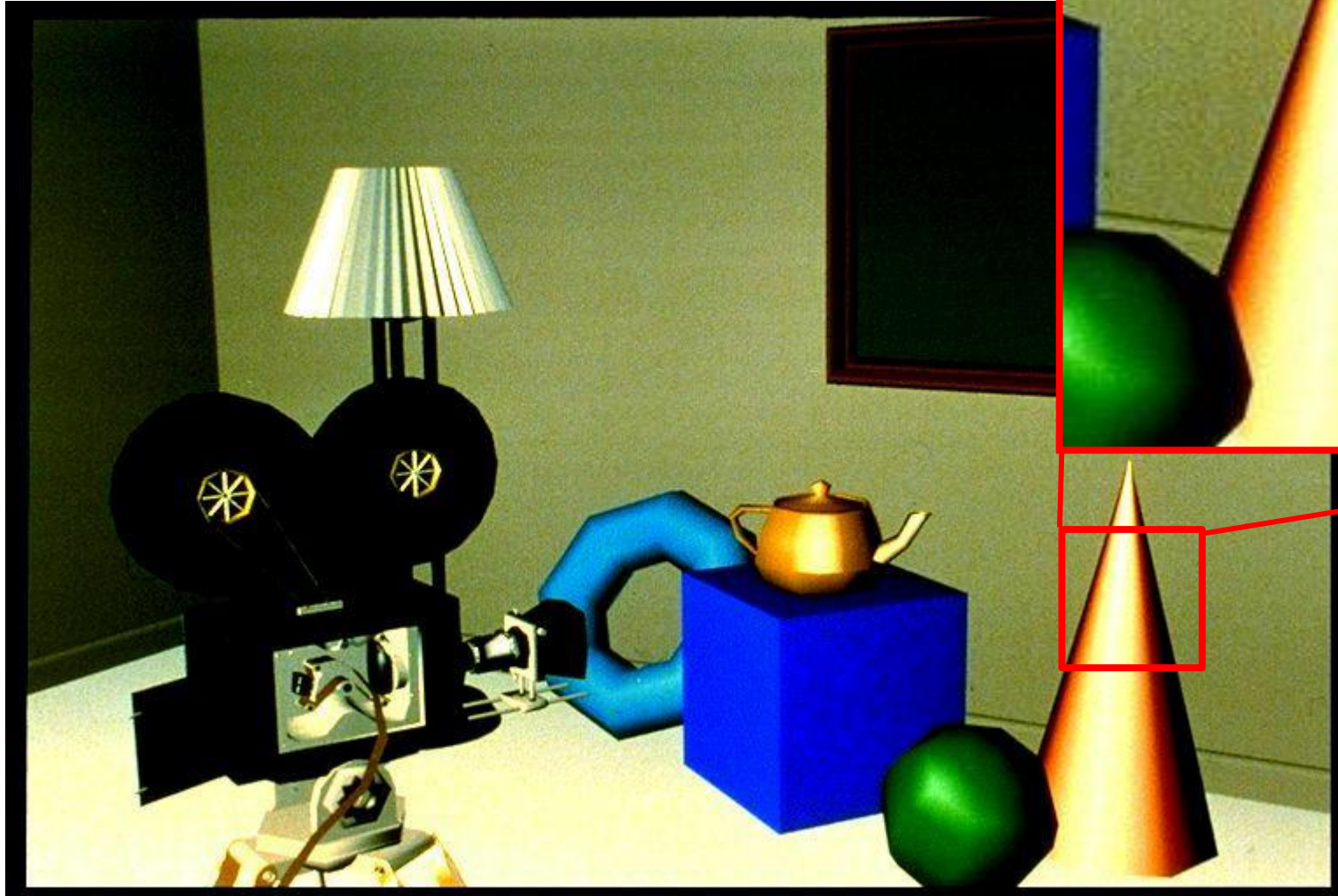


No Surface Rendering

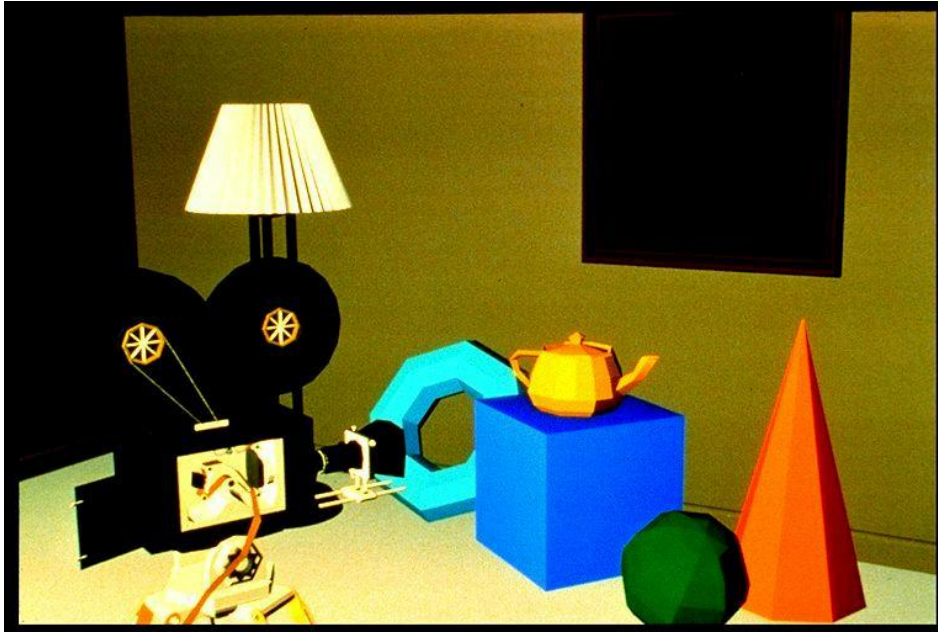


Flat Surface Rendering

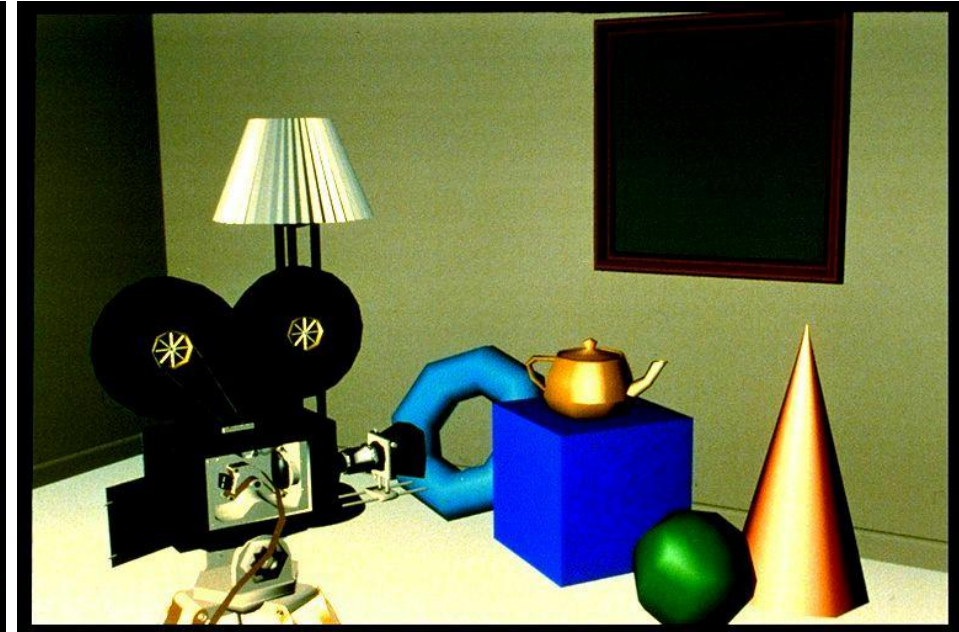
Gouraud Surface Rendering



No Surface Rendering Vs Gouraud Surface Rendering



Flat Surface Rendering

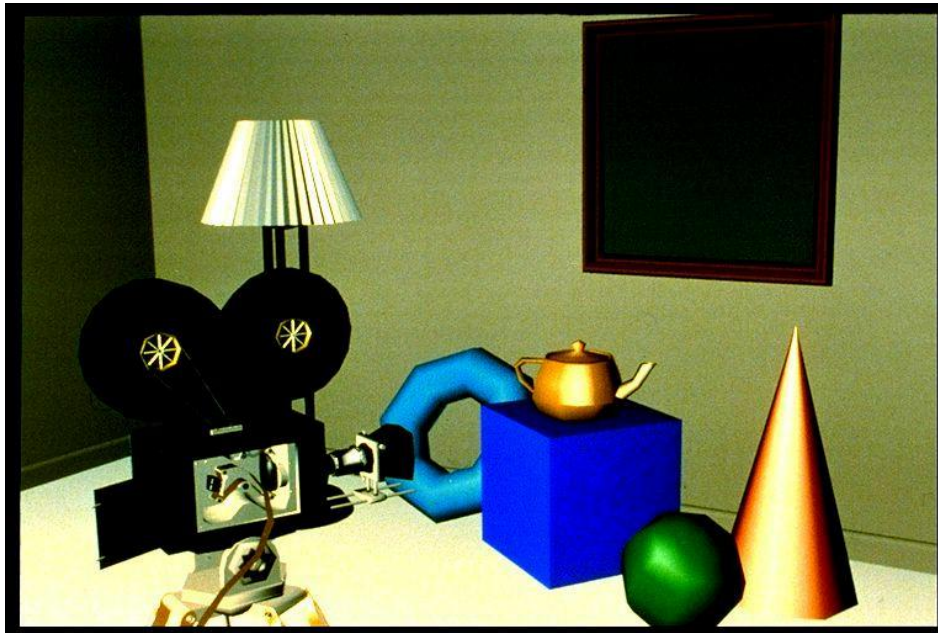


Gouraud Surface Rendering

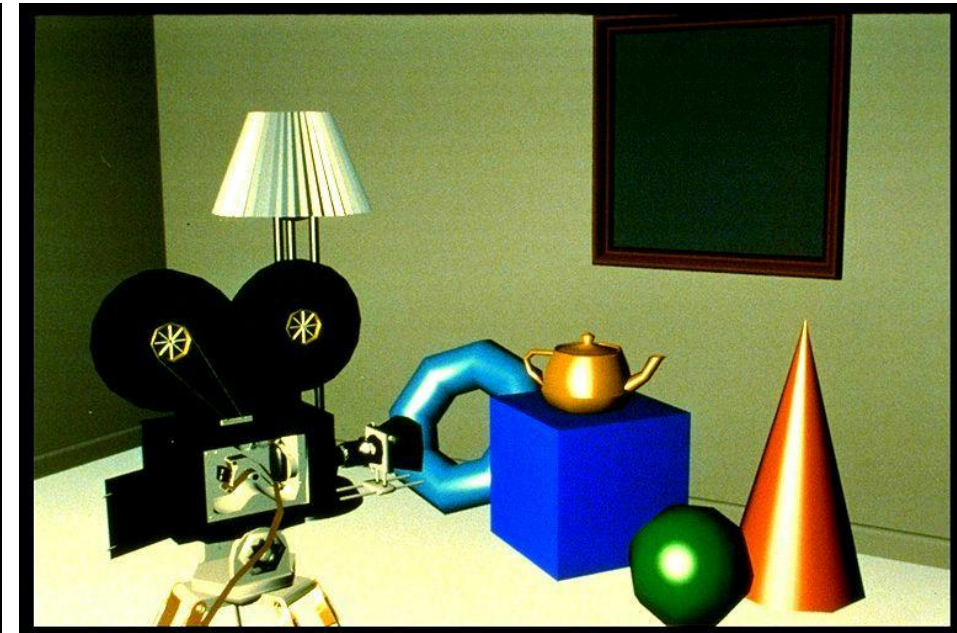
Phong Surface Rendering



No Surface Rendering Vs Flat Surface Rendering



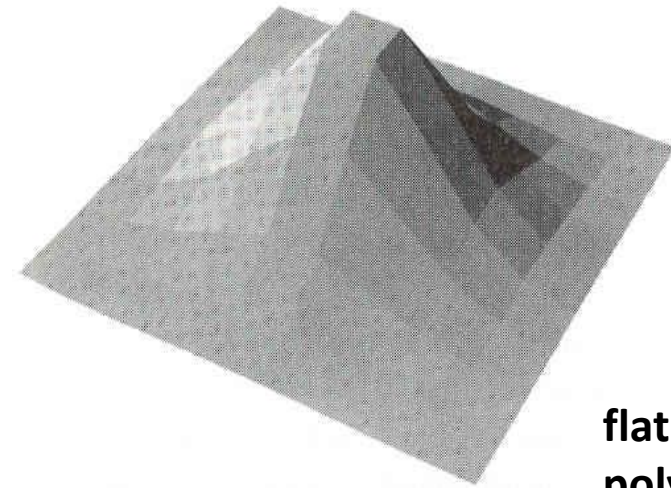
Gouraud Surface Rendering



Phong Surface Rendering

Σκίαση συνεχούς έντασης (Flat Shading)

- Είναι η απλούστερη προσέγγιση, για επίπεδη σκίαση, και υπολογίζει τον φωτισμό σε ένα μόνο σημείο για κάθε πολύγωνο:



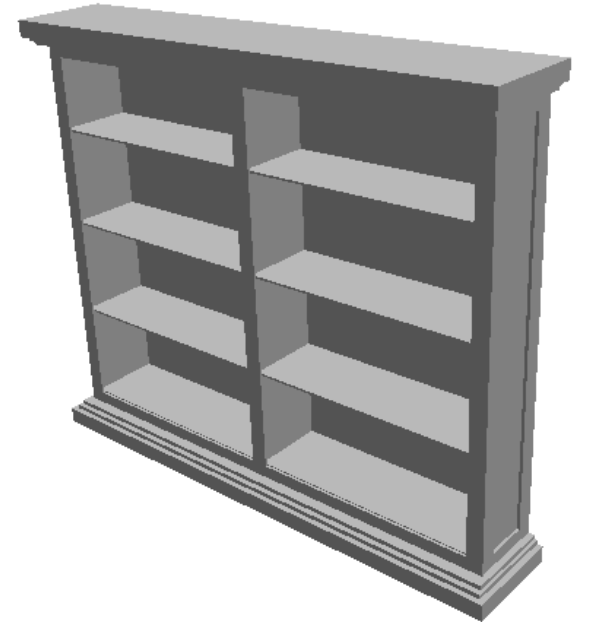
flat shading of
polygonal mesh

Πόσο ακριβής είναι αυτή η προσέγγιση;
Ποια τα μειονεκτήματα;

Σκίαση συνεχούς έντασης (Flat Shading)

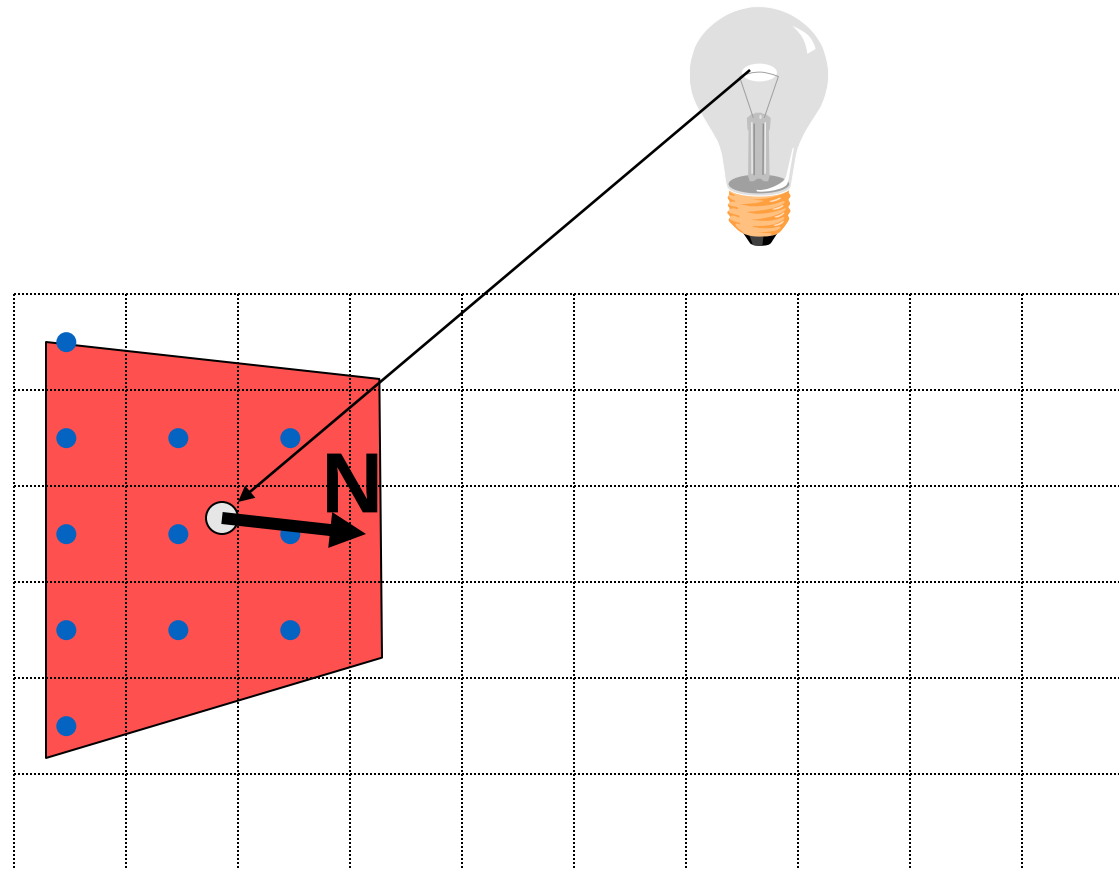
- Τι συμβαίνει όταν ένα αντικείμενο (faceted object) φωτίζεται μόνο από κατευθυνόμενες (directional) φωτεινές πηγές και είναι είτε διάχυτο (diffused) ή το βλέπουμε από απεριόριστα μακρινή απόσταση;
- Τότε το κάθε σημείο πάνω σε ένα πολύγωνο έχει τον ίδιο φωτισμό

$$I = k_a I_a + \sum_{j=1}^p I_j \left(k_d (n \cdot l_j) + k_s (h_j \cdot n)^m \right)$$



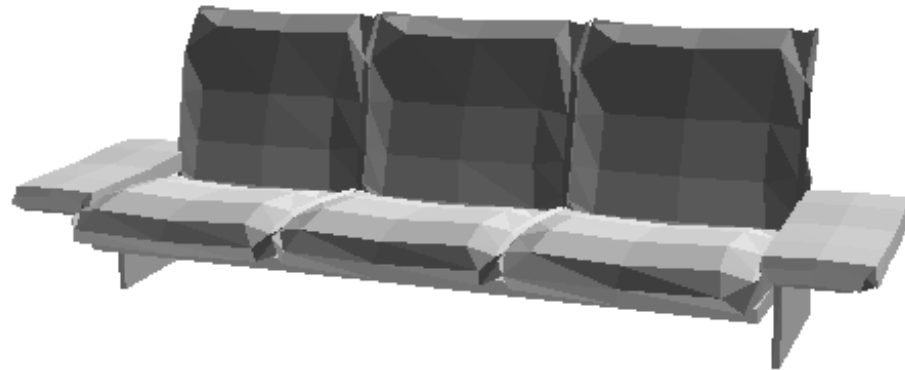
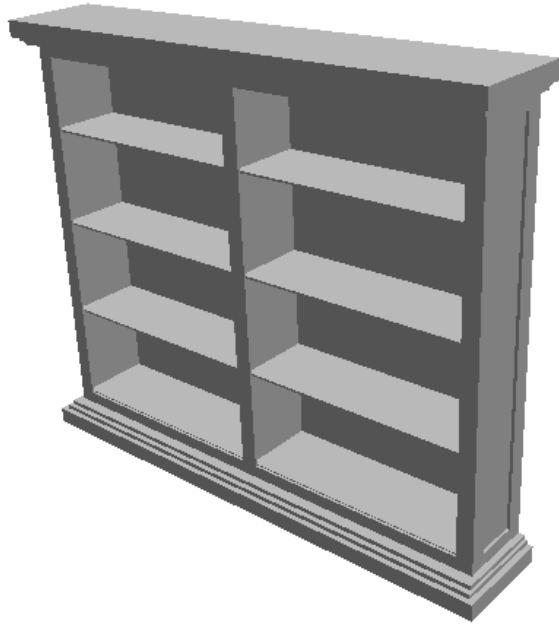
Σκίαση συνεχούς έντασης (Flat Shading)

- Ένας υπολογισμός φωτισμού για κάθε πολύγωνο
 - Ανάθεση του ίδιου χρώματος σε όλα τα pixels μέσα στο ίδιο πολύγωνο



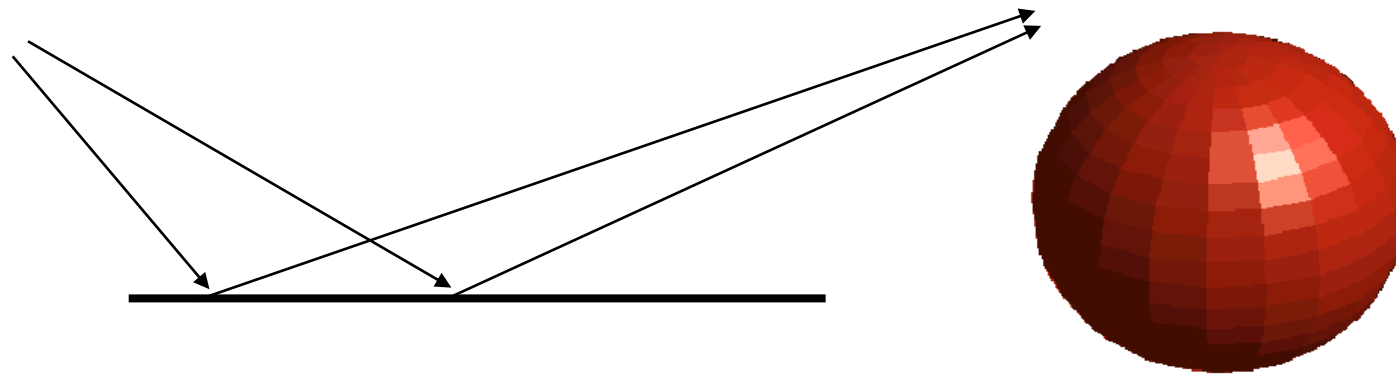
Σκίαση συνεχούς έντασης (Flat Shading)

- Τα αντικείμενα φαίνονται σαν να αποτελούνται από πολύγωνα
 - Εντάξει για πολυεδρικά αντικείμενα
 - Όχι τόσο καλό για αντικείμενα με ομαλές (smooth) επιφάνειες



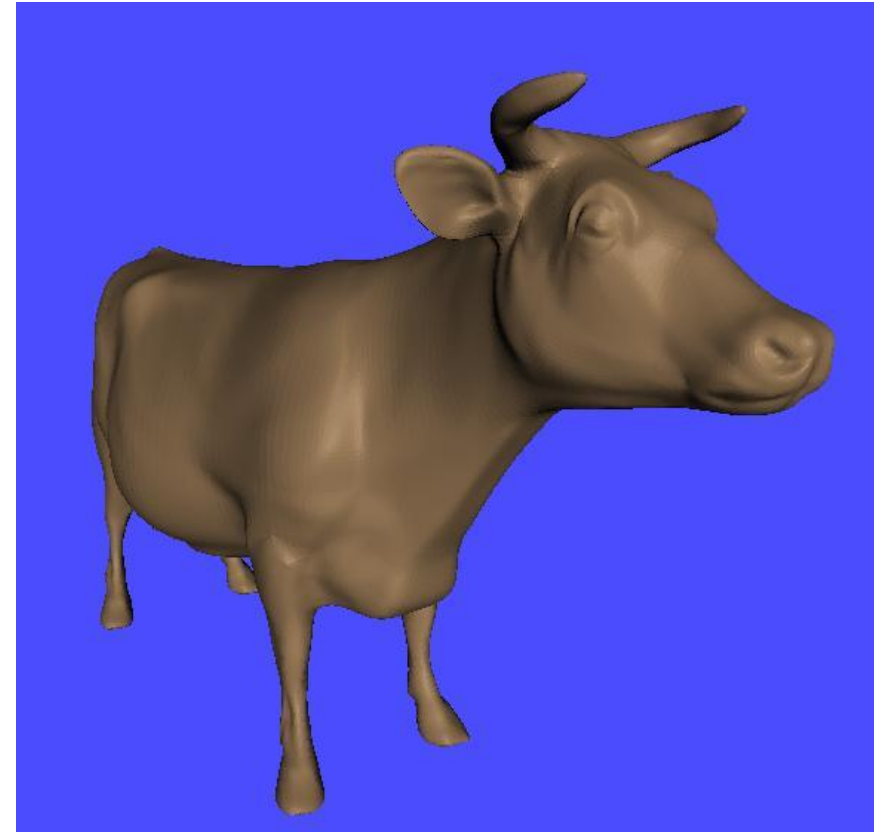
Σκίαση συνεχούς έντασης (Flat Shading)

- Γρήγορη και απλή μέθοδος
- Δίνει λογικά αποτελέσματα μόνο αν ισχύουν όλες οι πιο κάτω υποθέσεις:
 - Το αντικείμενο είναι πραγματικά πολύεδρο
 - Η φωτεινή πηγή είναι πολύ μακριά από την επιφάνεια έτσι ώστε το $N \bullet L$ είναι σταθερό για κάθε πολύγωνο
 - Viewing position είναι πολύ μακριά από την επιφάνεια έτσι ώστε το $V \bullet R$ να είναι σταθερό για κάθε πολύγωνο



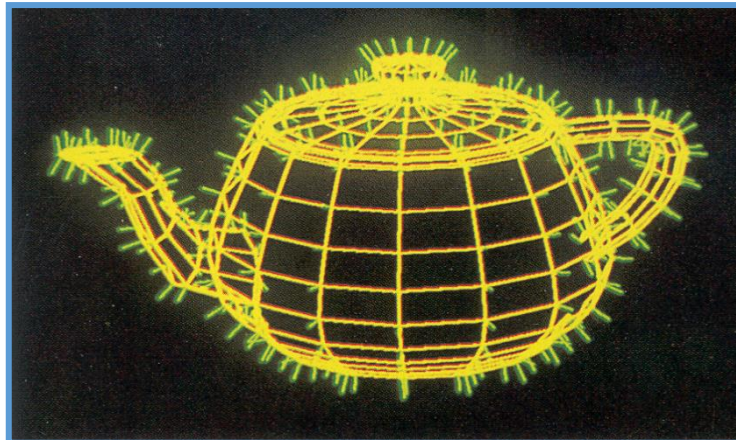
Σκίαση συνεχούς έντασης

- Μπορούμε να λύσουμε το πρόβλημα με το να αυξήσουμε τα πολύγωνα
 - Μεγάλο αρχείο
 - Πολύ αργή διαδικασία



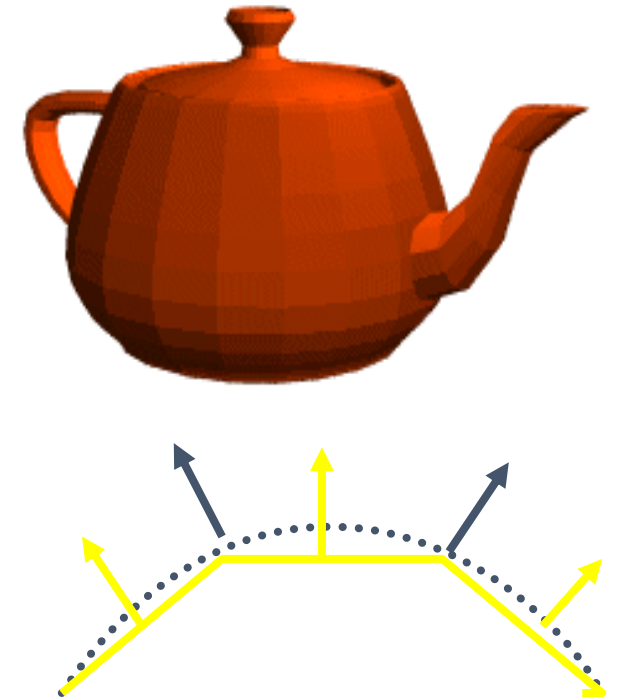
Gouraud Surface Rendering

- Η σκίαση επιφάνειας Gouraud αναπτύχθηκε στη δεκαετία του '70 από τον Henri Gouraud
- Εργάστηκε στο Πανεπιστήμιο της Γιούτα με τους Ivan Sutherland και David Evans
- Συχνά είναι γνωστό και ως **intensity-interpolation surface rendering**
- Τα επίπεδα έντασης υπολογίζονται σε κάθε κορυφή και παρεμβάλλονται διαμέσου της επιφάνειας



Gouraud Surface Rendering

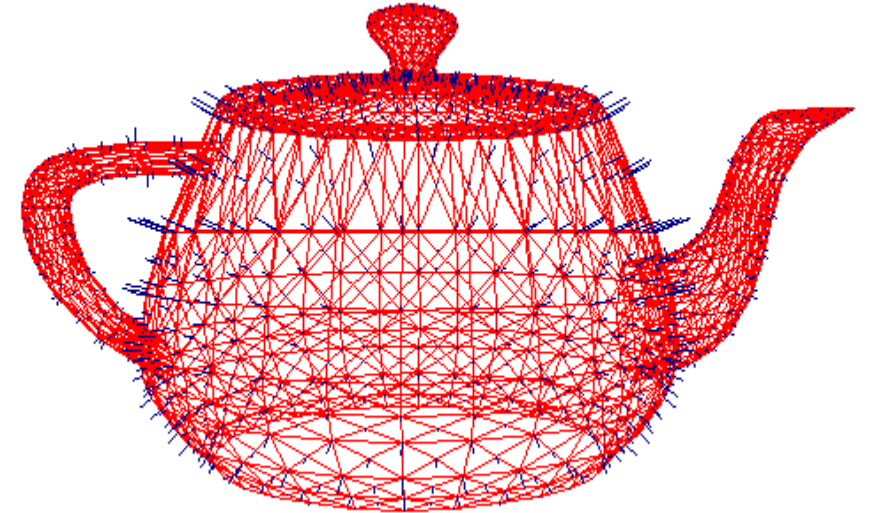
- Αυτή η μέθοδος υπολογίζει την ένταση σε μια επιφάνεια πολύγωνου με γραμμική παρεμβολή των τιμών έντασης σε όλη την επιφάνεια.
- Για να έχουμε ομαλότερες επιφάνειες, υπολογίσουμε τα **vertex normals** σε κάθε κορυφή
 - Συνήθως είναι διαφορετικά από τα facet normals
 - Χρησιμοποιούνται **μόνο** για σκίαση
 - Θεωρείστε πως είναι μια καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής επιφάνειας που τα πολύγωνα προσεγγίζουν



Graurad Shading

Vertex Normals:

- Τα Vertex normals μπορεί
 - Να δίνονται ταυτόχρονα με το μοντέλο
 - Υπολογίζονται από το μοντέλο
 - Να προσεγγίζονται με τον μέσο όρο των κανονικών των όψεων που μοιράζονται την ίδια κορυφή

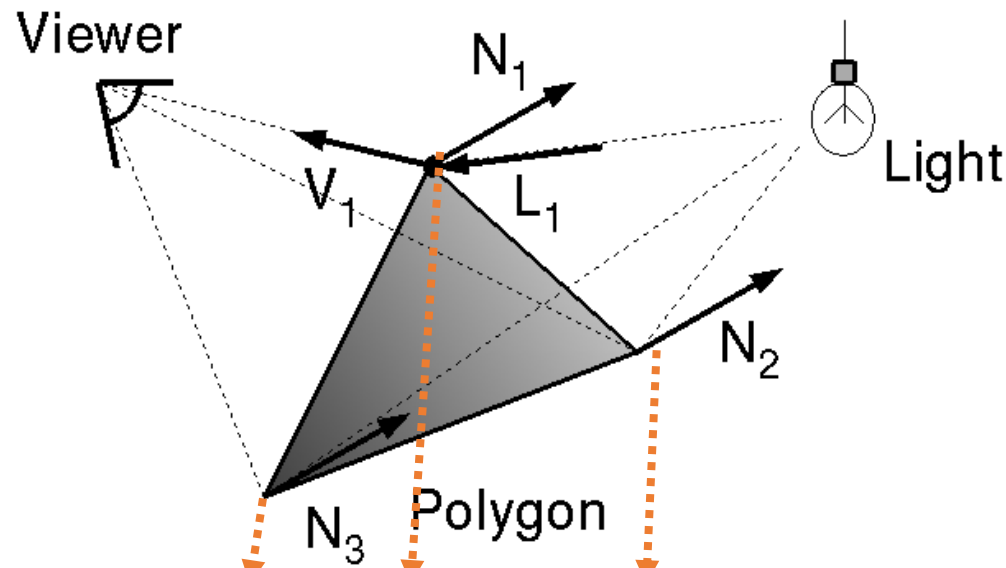


Gouraud Surface Rendering

- Ο αλγόριθμος για την απόδοση της επιφάνειας Gouraud προχωρά ως εξής:
 - Προσδιορίστε τον unit normal vector σε κάθε κορυφή του πολυγώνου
 - Εφαρμόστε ένα μοντέλο φωτισμού σε κάθε κορυφή πολυγώνου για να αποκτήσετε την ένταση του φωτός σε αυτή τη θέση
 - Εφαρμόστε γραμμική παρεμβολή των εντάσεων των κορυφών στην προβαλλόμενη περιοχή του πολυγώνου

Gouraud Shading

- Ένας υπολογισμός φωτισμού ανά κορυφή
 - Ανάθεση των pixels μέσα στο πολύγωνο με παρεμβολή (interpolation) των χρωμάτων που υπολογίζονται στις κορυφές



$$I = k_a I_a + \sum_{j=1}^p I_j \left(k_d (n \cdot l_j) + k_s (h_j \cdot n)^m \right)$$

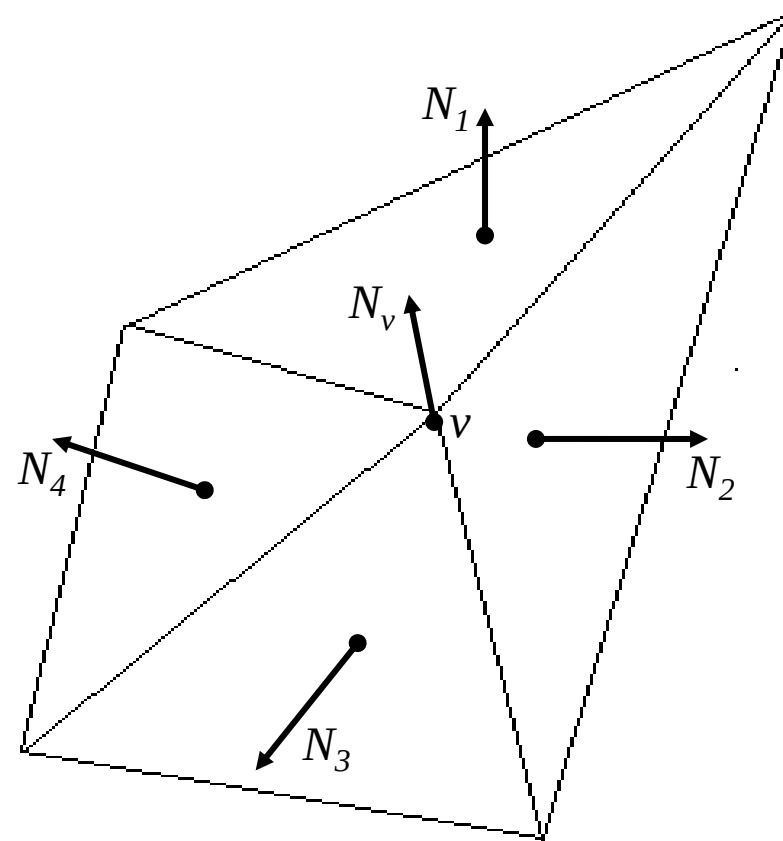
Gouraud Surface Rendering

- Η κάθετος N_v της κορυφής είναι ένας μέσος όρος όλων των γειτονικών καθετών:

$$N_v = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4}{|N_1 + N_2 + N_3 + N_4|}$$

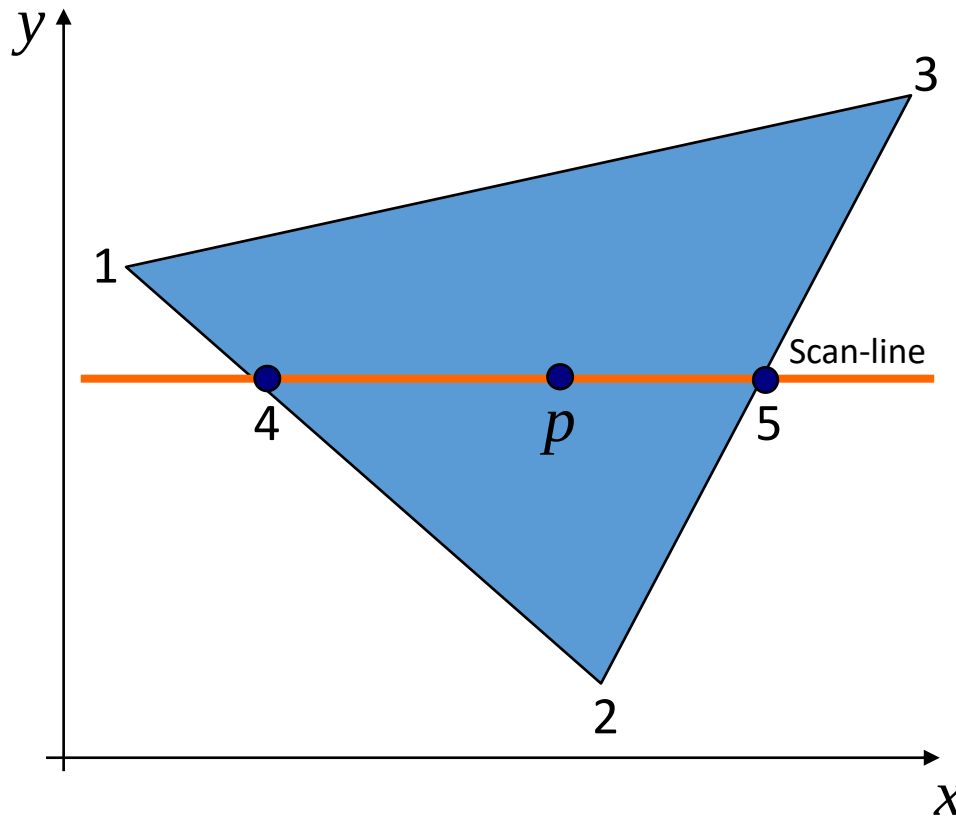
- ή γενικότερα:

$$N_v = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\left| \sum_{i=1}^n N_i \right|}$$



Gouraud Surface Rendering

- Οι τιμές φωτισμού υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή σε κάθε γραμμή σάρωσης

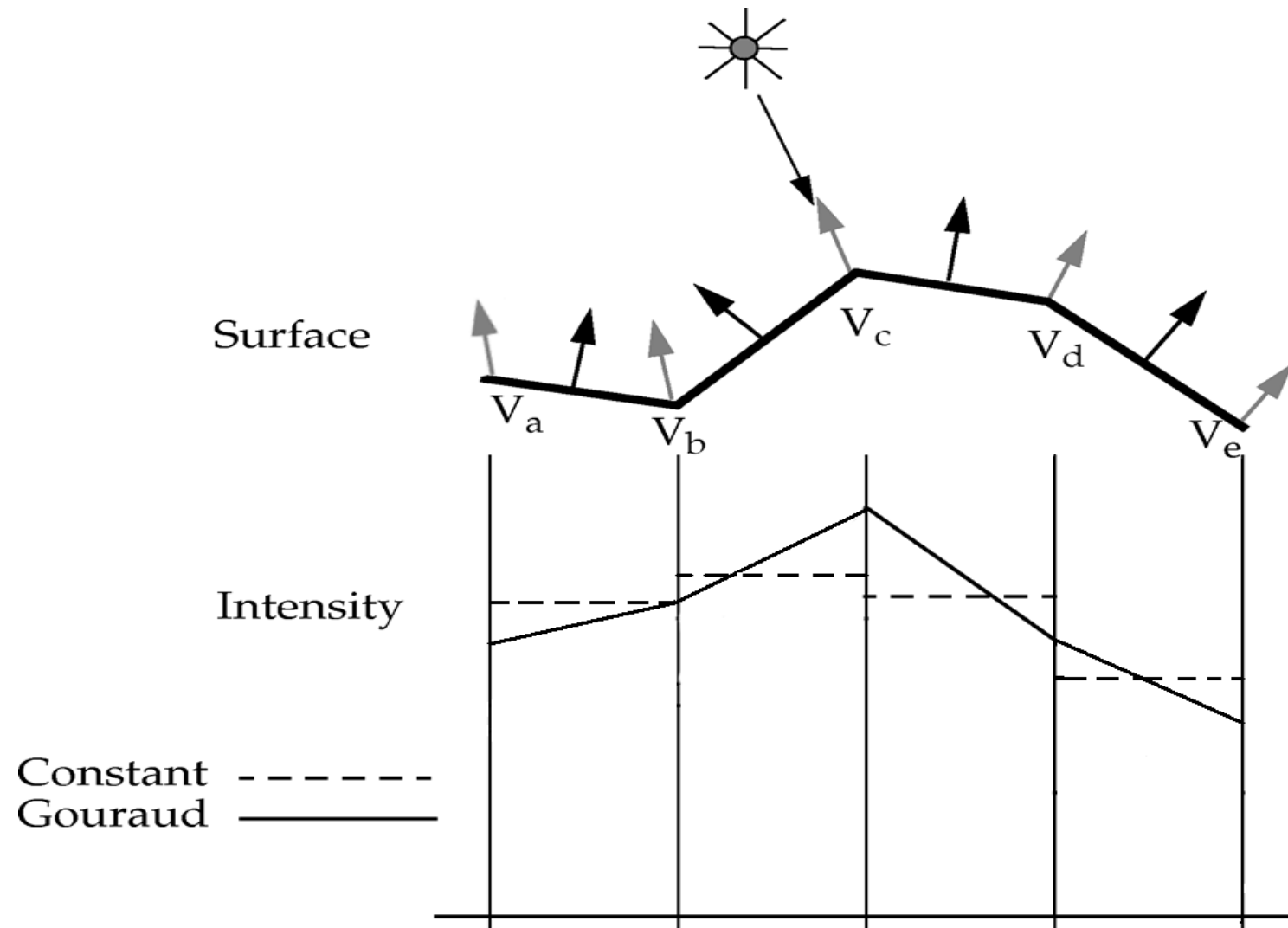


$$I_4 = \frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} I_1 + \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2} I_2$$

$$I_5 = \frac{y_5 - y_2}{y_3 - y_2} I_3 + \frac{y_3 - y_5}{y_3 - y_2} I_2$$

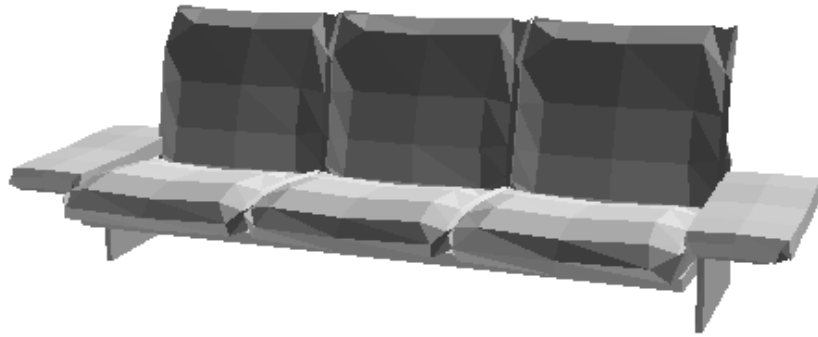
$$I_p = \frac{x_5 - x_p}{x_5 - x_4} I_4 + \frac{x_p - x_4}{x_5 - x_4} I_5$$

Πλεονεκτήματα του Gouraud Surface Rendering

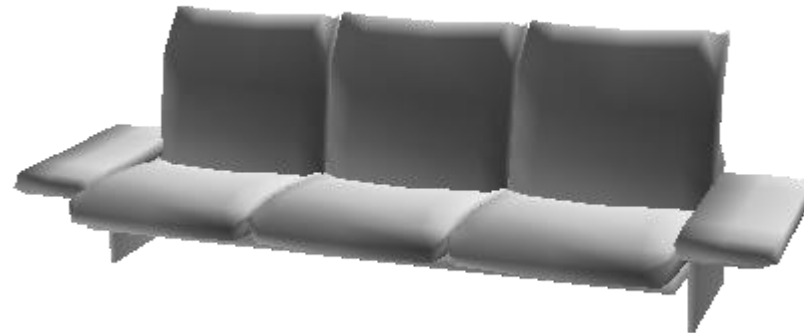


Gouraud Shading

- Παράγει ομαλά χρωματικά διαβαθμισμένα (shaded) πολυγωνικά mesh
 - Piecewise γραμμική προσέγγιση
 - Need fine mesh to capture subtle lighting effects



Flat Shading



Gouraud Shading

Gouraud Surface Rendering: Παράδειγμα



Images come from: http://www-static.cc.gatech.edu/classes/AY2004/cs4451a_spring/shading_models/linint.html

Gouraud Surface Rendering Implementation

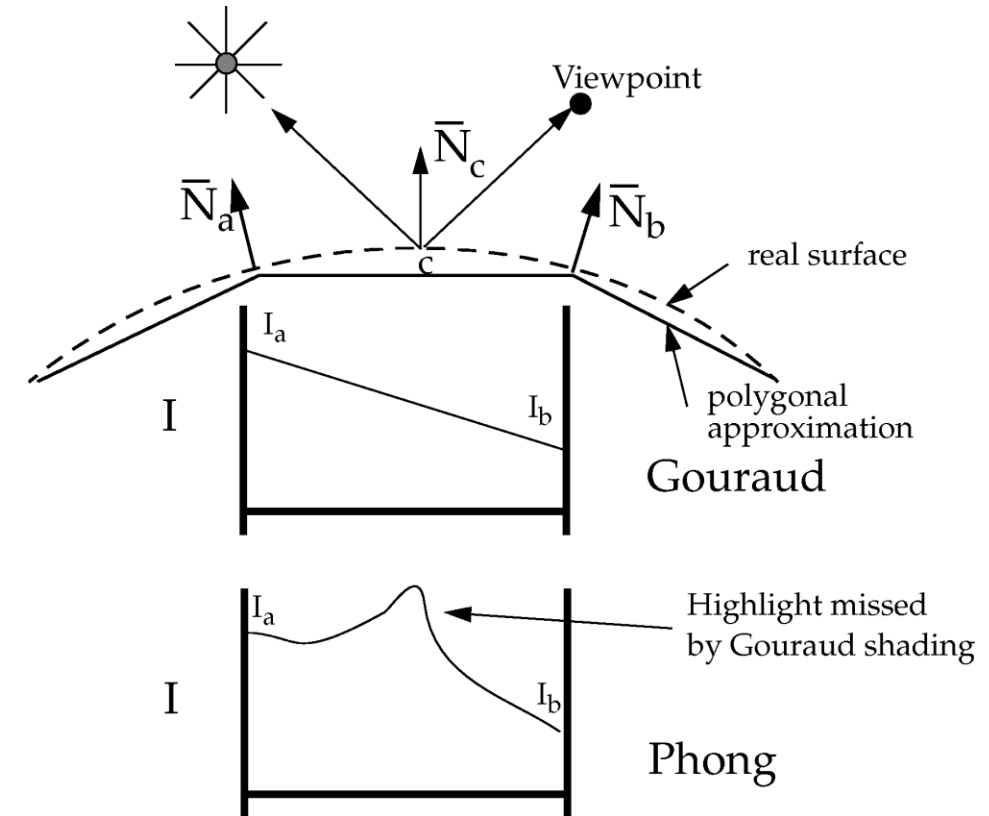
- Η απόδοση της Gouraud μπορεί να εφαρμοστεί σχετικά εύκολα και αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας μια επαναληπτική προσέγγιση
- Συνήθως η σκίαση Gouraud υλοποιείται ως μέρος μιας τεχνικής ανίχνευσης ορατών επιφανειών

Προβλήματα με το Gouraud Shading

- Gouraud η σκίαση τείνει να χάσει ορισμένες λεπτομέρειες.
 - Πιο συγκεκριμένα, το Gouraud shading έχει πρόβλημα να αποδώσει τον κατευθυνόμενο φωτισμό
- Επίσης, το Gouraud shading μπορεί να εισαγάγει ανωμαλίες γνωστές ως **Mach bands**

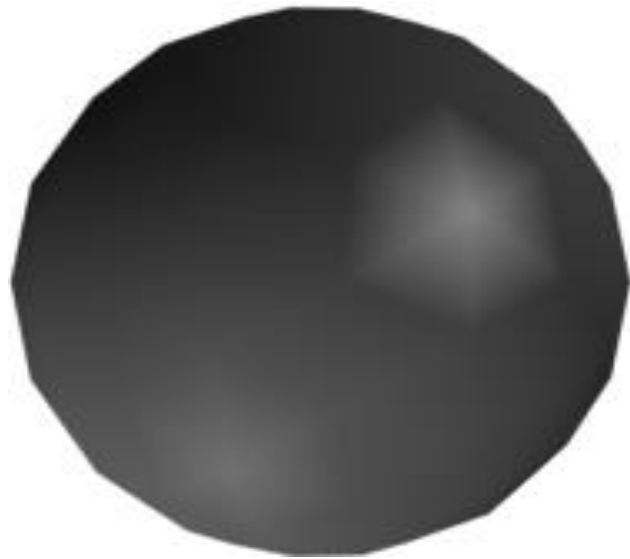


Mach bands

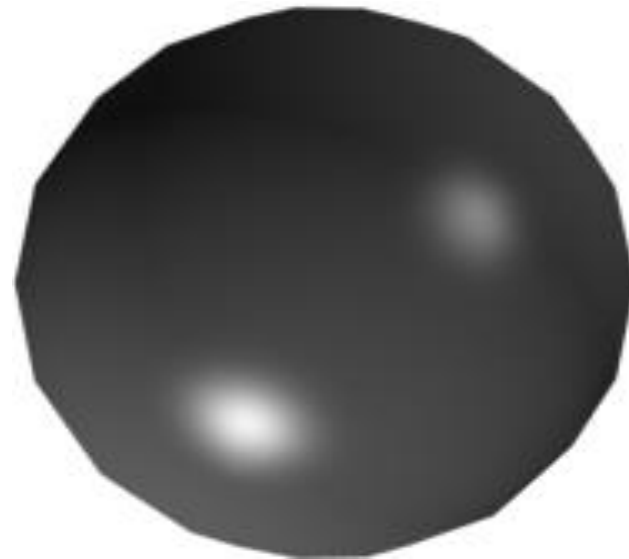


Προβλήματα με το Gouraud Shading

- Το κύριο πρόβλημα με τη σκίαση του Gouraud είναι ο χειρισμός των κατοπτρικών/κατευθυνόμενων αντανακλάσεων



Gouraud



Phong

Gouraud Shading: *Summary*

- Προσδιορισμός του μέσου μοναδιαίου διανύσματος καθέτου σε κάθε κορυφή πολυγώνου
- Εφαρμογή του μοντέλου φωτισμού σε κάθε κορυφή για τον υπολογισμό της έντασης (intensity) της κορυφής.
- **Γραμμική παρεμβολή των εντάσεων των κορυφών** στην επιφάνεια του πολυγώνου.

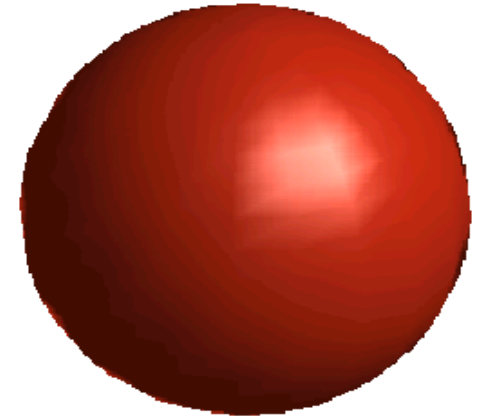
Phong Surface Rendering

- Μια πιο ακριβής προσέγγιση για την απεικόνιση της επιφάνειας των πολυγώνων, με βάση την παρεμβολή, αναπτύχθηκε από το Phong Bui Tuong.
- Ουσιαστικά το Phong surface rendering model (or **normal-vector interpolation rendering**) παρεμβάλλει τις κάθετες αντί για τις τιμές της έντασης
 - Η απεικόνιση της επιφάνειας των πολυγώνων γίνεται με **παρεμβολή των καθέτων** (normals), και εφαρμογή του μοντέλου φωτισμού (illumination model) σε κάθε σημείο της επιφάνειας.
- Ωστόσο, πολύ πιο ακριβό μοντέλο

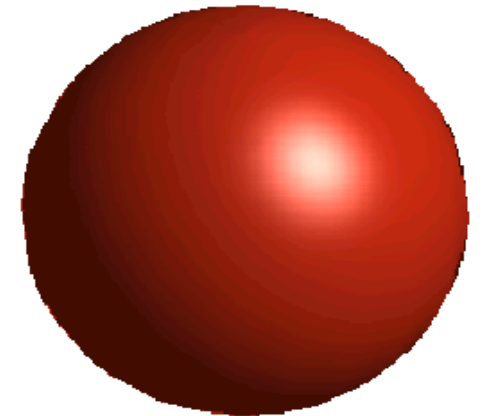
Flat



Gouraud

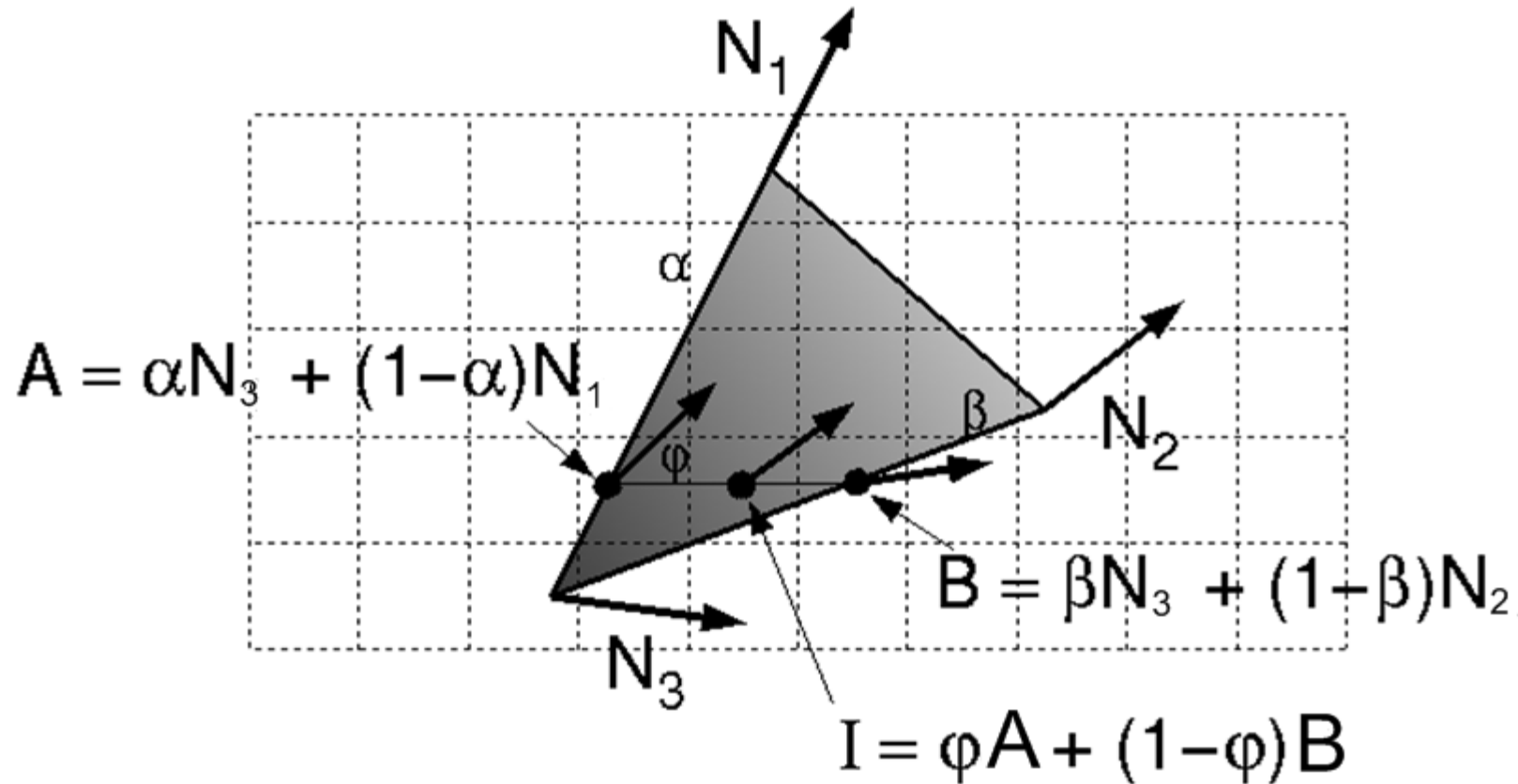


Phong



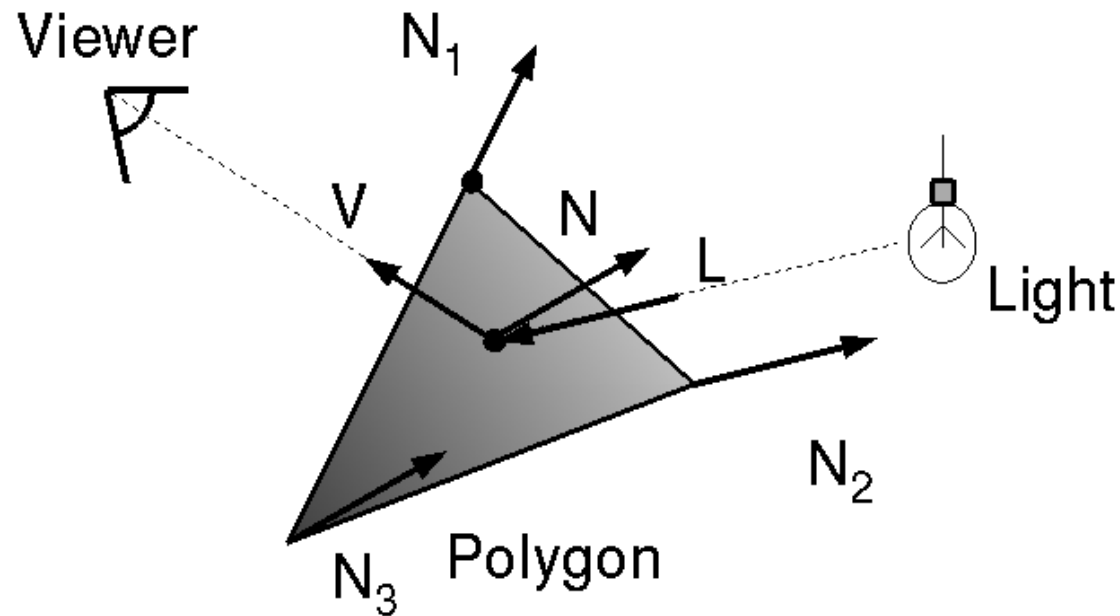
Phong Shading

- Υπολογίζουμε την κάθετο σε κάθε σημείο με δι-γραμμική παρεμβολή (bilinear interpolation) των καθέτων στις κορυφές της επιφάνειας, προς τα πάνω και κατά μήκος των γραμμών σαρώσεων



Phong Shading

- Ένας υπολογισμός φωτισμού για κάθε pixel
Εφαρμογή της πλήρους εξίσωσης σε κάθε pixel, χρησιμοποιώντας την υπολογιζόμενη κάθετο

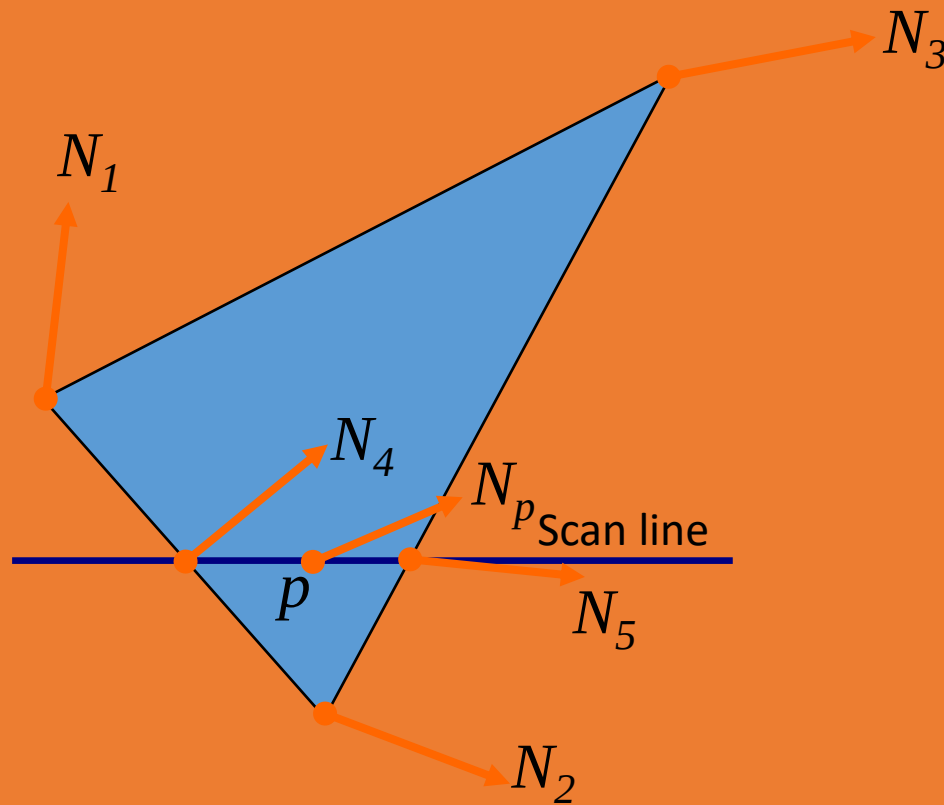


$$I = k_a I_a + \sum_{j=1}^p I_j \left(k_d (n \cdot l_j) + k_s (h_j \cdot n)^m \right)$$

Phong Shading

- Προσδιορισμός του μέσου μοναδιαίου διανύσματος καθέτου σε κάθε κορυφή του πολυγώνου.
- Γραμμική παρεμβολή (Linearly interpolate) των καθέτων των κορυφών σε όλη την επιφάνεια του πολυγώνου.
- Εφαρμογή του μοντέλου φωτισμού κατά μήκος της κάθε γραμμής σάρωσης για να υπολογίσουμε τις εντάσεις των pixels σε κάθε σημείο της επιφάνειας.

Phong Surface Rendering



$$N_4 = \frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} N_1 + \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2} N_2$$

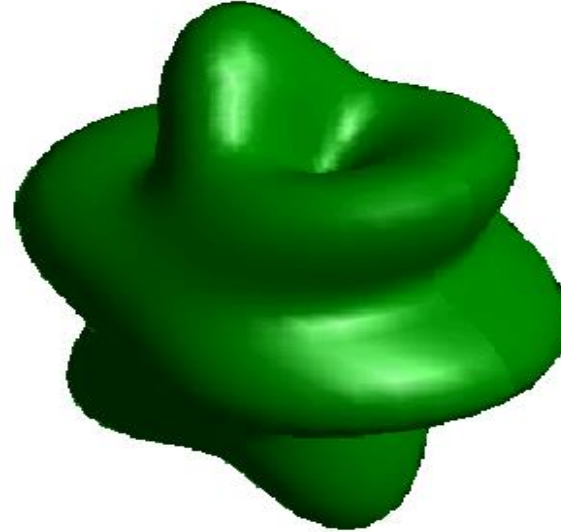
$$N_5 = \frac{y_5 - y_2}{y_3 - y_2} N_3 + \frac{y_3 - y_5}{y_3 - y_2} N_2$$

$$N_p = \frac{y_p - y_5}{y_4 - y_5} N_4 + \frac{y_4 - y_p}{y_4 - y_5} N_5$$

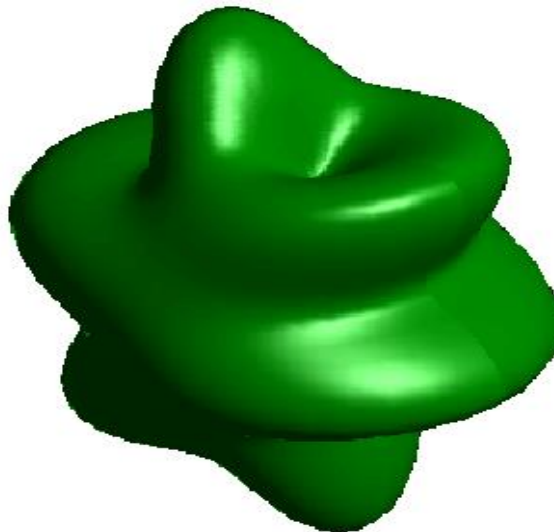
Flat Shading



Gouraud Shading



Phong Shading



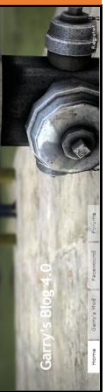
Phong Surface Rendering Implementation

- Η σκίαση Phong είναι πολύ πιο αργή από τη σκίαση Gouraud καθώς το μοντέλο φωτισμού αναπροσαρμόζεται/υπολογίζεται πολλές φορές
- Ωστόσο, υπάρχουν γρήγορες προσεγγίσεις του μοντέλου Phong που μπορούν να υλοποιηθούν με επαναληπτικό τρόπο
- Συνήθως η σκίαση Phong εφαρμόζεται ως μέρος μιας τεχνικής ανίχνευσης της ορατής επιφάνειας

Phong Shading Examples



Images come from Garry's Mod:
<http://www.garry.tv/>



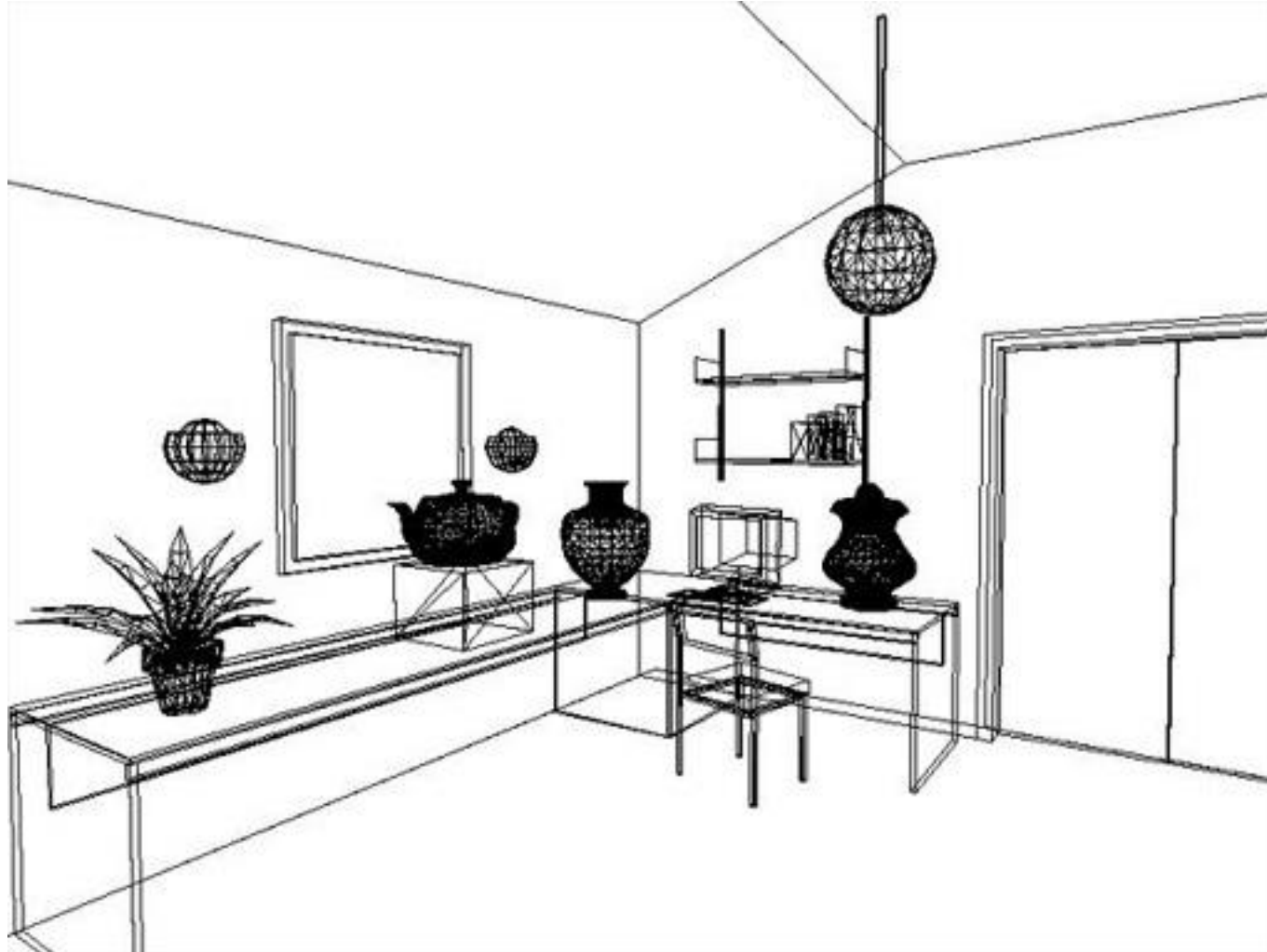
Phong Shading Examples



Images come from Garry's Mod:
<http://www.garry.tv/>



Wire-frame



Ambient Illumination Only



Flat-Shading



Gouraud Shading



Phong Shading

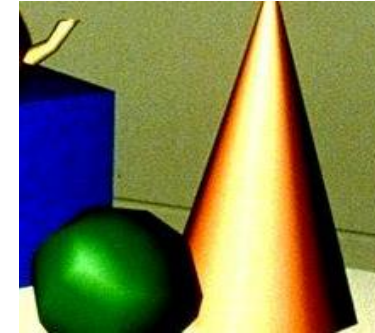


Shadows, Texture & Enviromental Mappings

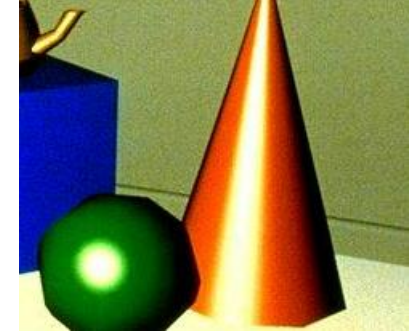


Περίληψη

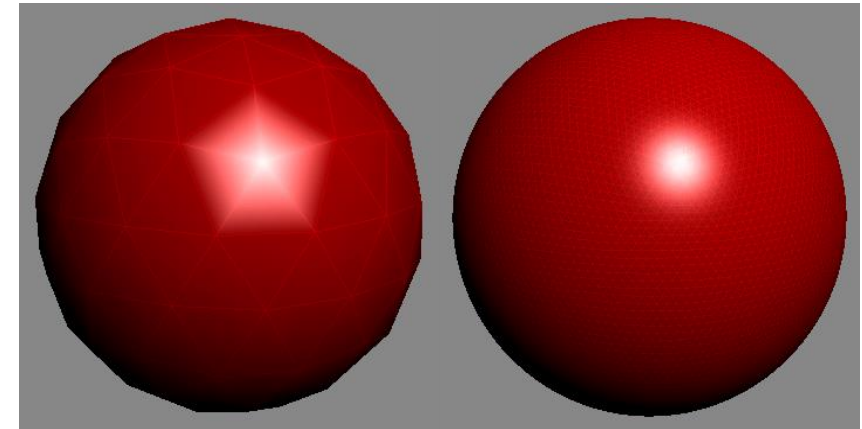
- Για ρεαλιστική απόδοση των πολυγώνων χρειαζόμαστε μεθόδους παρεμβολής για τον προσδιορισμό των θέσεων φωτισμού
- Flat shading είναι γρήγορη, αλλά μη ρεαλιστική
- Gouraud shading είναι καλύτερη, αλλά δεν χειρίζεται τις κατοπτρικές αντανακλάσεις πολύ καλά
- Phong shading είναι ακόμα καλύτερη, αλλά μπορεί να είναι αργή μέθοδος



Gouraud



Phong



Gouraud

Phong

<http://www.cgchannel.com/2010/11/cg-science-for-artists-part-2-the-real-time-rendering-pipeline/>

Πιο εξελιγμένες τεχνικές

- ▶ Αυτό που έχουμε δεν καλύπτει τις περισσότερες σκηνές – ανάγκη για χρήση hacks για προσέγγιση πιο επιθυμητών χαρακτηριστικών
- ▶ Hacks για τη γεωμετρική λεπτομέρεια
 - ▶ Complicated color, geometry – texture mapping, normal and bump mapping, etc.
- ▶ Hacks για τα σφαιρικά αποτελέσματα φωτισμού
 - ▶ Reflections, shadows – environment mapping, shadow stencil volumes and shadow mapping
- ▶ Πολλά από αυτά τα hacks που σχεδιάστηκαν αρχικά για την πολυγωνική απόδοση χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με Ray/Path-μεθόδων απόδοσης για μεγαλύτερο φωτο-ρεαλισμό

