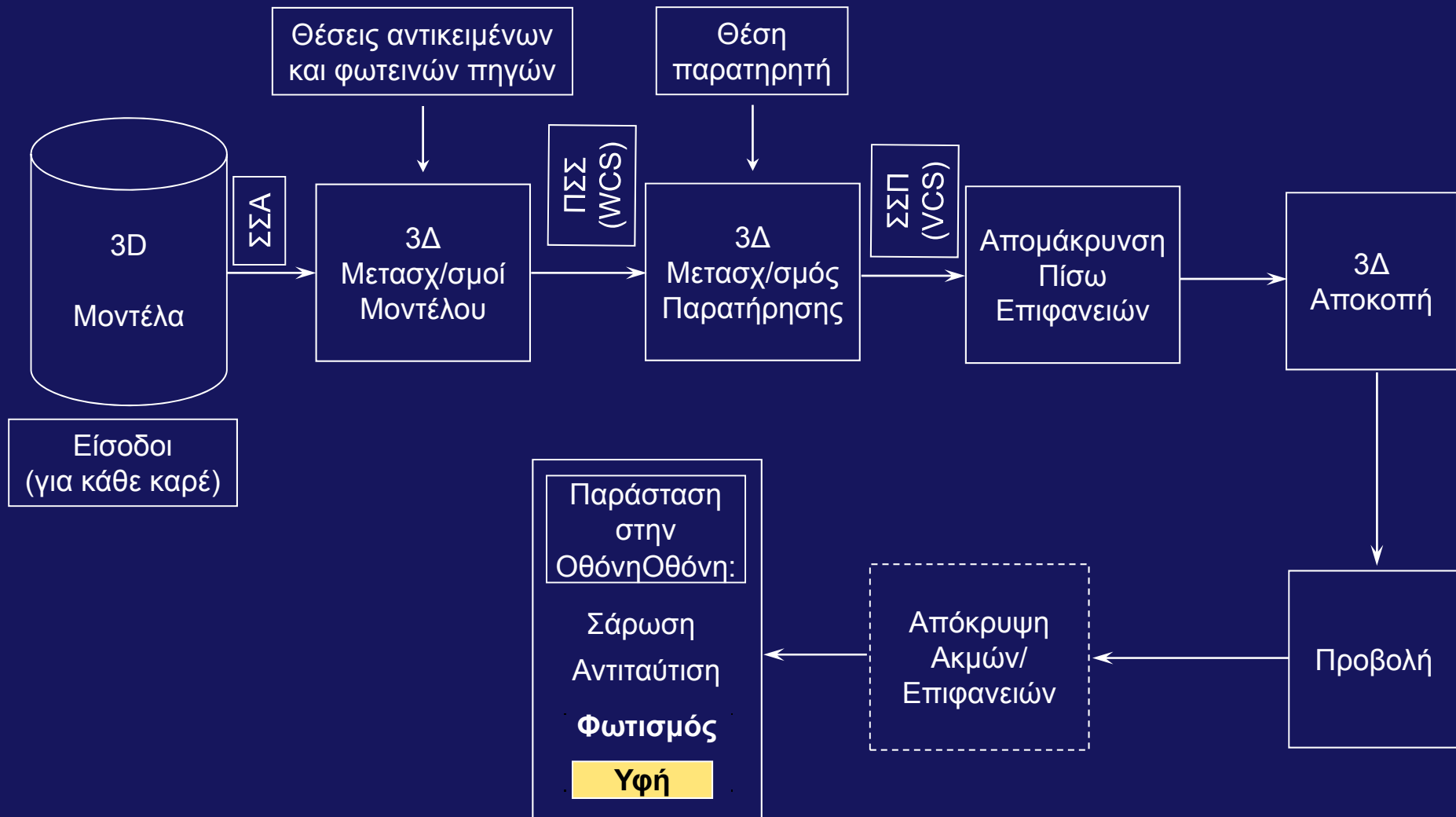


Υφή

Η διαδικασία Παραγωγής Συνθετικής Εικόνας (Rendering)



Τι Είναι η Υφή (Texture);

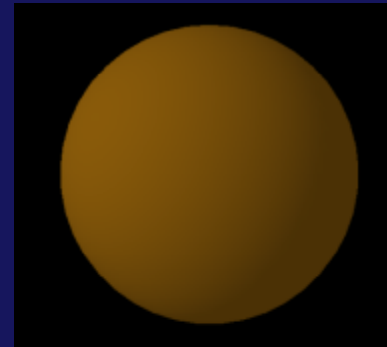
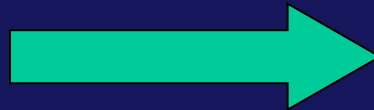
- Η υφή είναι η χωρική διαμόρφωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας ενός αντικειμένου, όπως το χρώμα, η διαφάνεια, το ανάγλυφο ή η ομαλότητα.
- Η διαδικασία με την οποία αποδίδεται υφή με κάποιο κανόνα σε κάθε σημείο της επιφάνειας, αποκαλείται απεικόνιση υφής (texture mapping).
- Απλουστευτικά, μπορούμε να θεωρήσουμε την απεικόνιση υφής σαν μια επικάλυψη του αντικειμένου με μια εικόνα.

Τι είναι η απεικόνιση υφής;

Αν θέλουμε να κάνουμε ένα αντικείμενο να μοιάζει ξύλινο, μπορούμε να το βάψουμε καφέ.



Θέσε το χρώμα σε καφέ



Μπορούμε όμως αντί για ένα χρώμα να εφαρμόσουμε μια εικόνα στο αντικείμενο. Κάθε σημείο του αντικειμένου θα πάρει ένα διαφορετικό χρώμα από την εικόνα!



+



=



Χρησιμότητα της Υφής

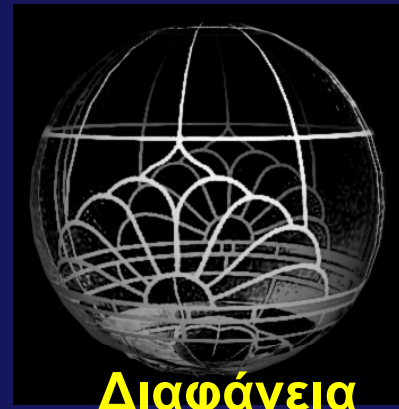
- Άρα χρειαζόμαστε έναν τρόπο να αποτυπώνουμε πάνω σε αντικείμενα προκαθορισμένα σχέδια που προέρχονται είτε από κάποια ψηφιακή εικόνα (bitmap) ή που έχουν υπολογιστεί αλγοριθμικά



Χωρίς υφή



χρώμα



Διαφάνεια



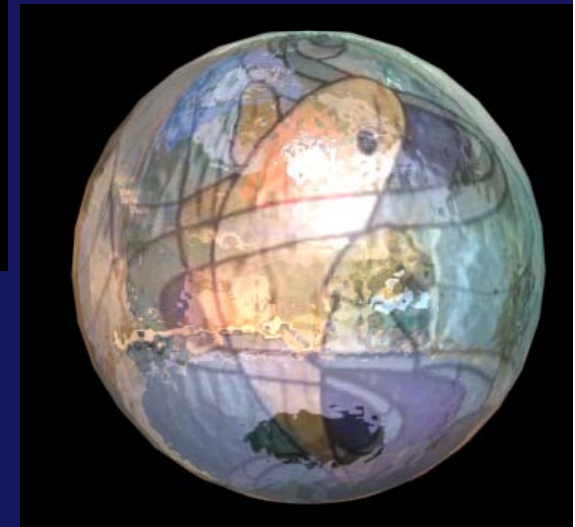
Ανάγλυφο



Ανακλαστικότητα



Ψευδο-ανακλάσεις



Συνδυασμός

Ο Παραμετρικός Χώρος της Υφής

- Είναι ο παραμετρικός χώρος στον οποίο βρίσκεται η περιγραφή του σχεδίου που θα απεικονίσουμε.
- Απεικόνιση του σχεδίου: Αντιστοίχιση των σημείων του καρτεσιανού χώρου σε σημεία του χώρου υφής και υπολογισμός του texture από τον παραμετρικό χώρο της υφής:

$$\bar{u} = f_{mapping}(x, y, z)$$

$$Colour(x, y, z) = f_{texture}(\bar{u})$$

- Στην περίπτωση που έχουμε ψηφιακή εικόνα: $\bar{u} = (u, v)$

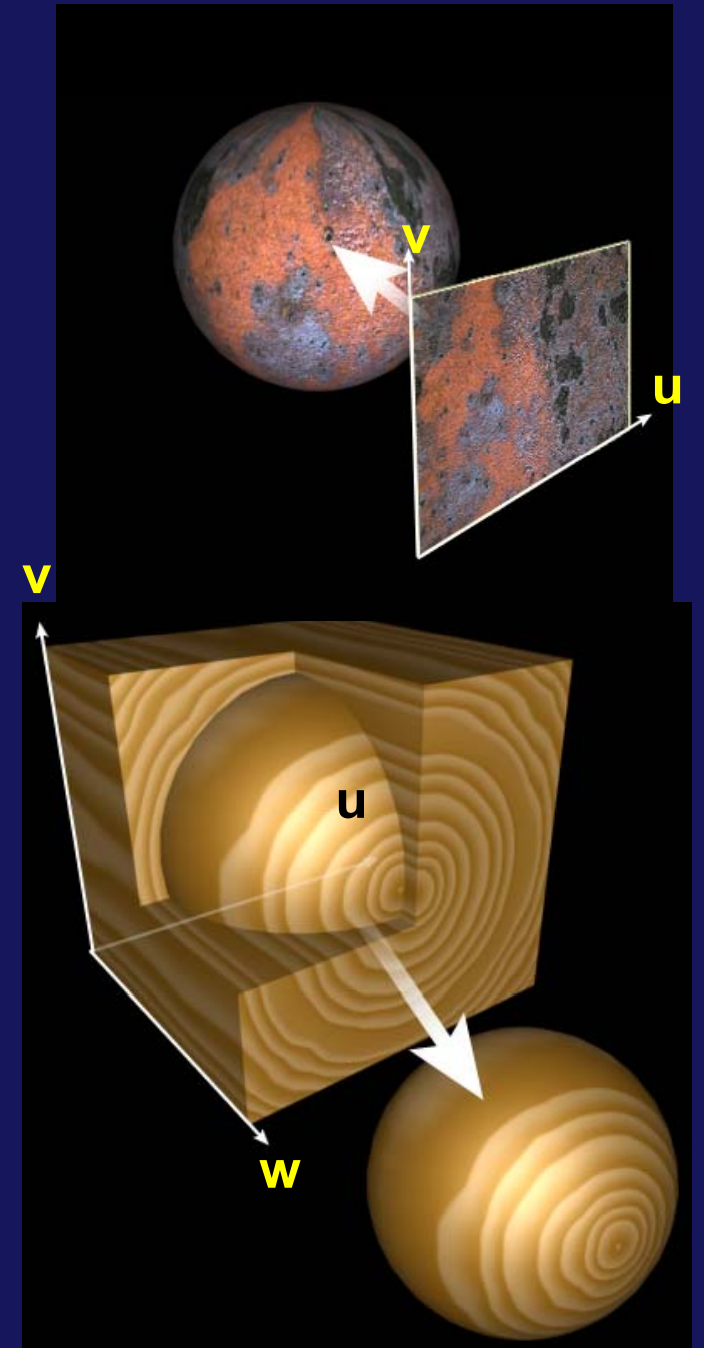
Είδη Υφής

Image mapping:

- Τα σχέδια που αποτυπώνονται πάνω στα αντικείμενα βρίσκονται αποθηκευμένα πάνω σε μια εικόνα.
- Ο παραμετρικός χώρος έχει διάσταση 2 και ισοδυναμεί με το φραγμένο επίπεδο της εικόνας (ονομάζεται και Χάρτης υφής – texture/image map)

Procedural mapping:

- Η υφή παράγεται με αναλυτικό τρόπο, μέσω κάποιου αλγορίθμου



Χάρτες Υφής

Τι κάνει η απεικόνιση χάρτη υφής:

- Απεικονίζει το περιεχόμενο μιας διδιάστατης ψηφιακής εικόνας (χάρτης υφής) πάνω στην επιφάνεια ενός τριδιάστατου αντικειμένου.

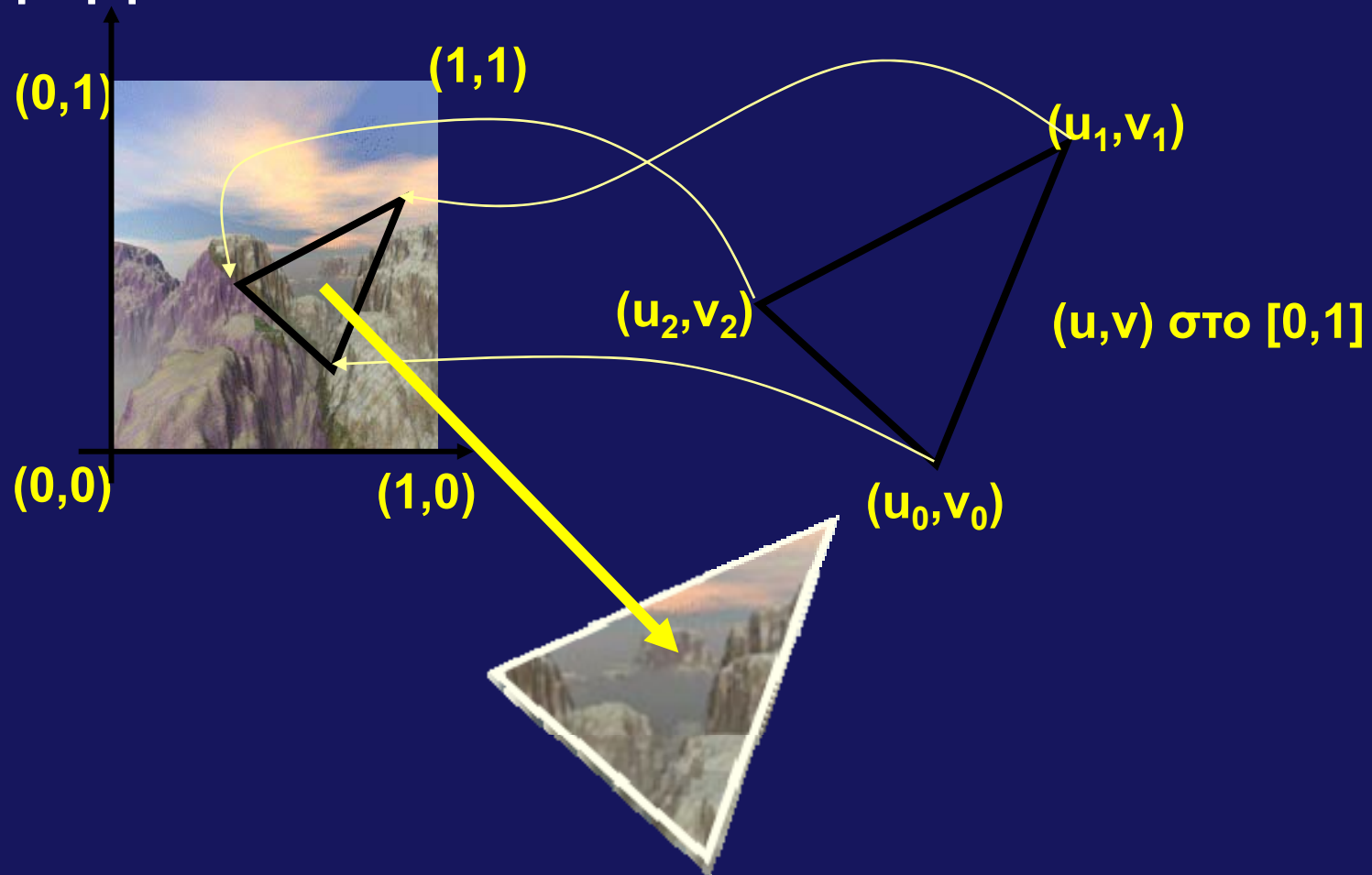
Πως περιγράφεται ο χάρτης υφής:

- Το σχέδιο είναι μια ψηφιακή εικόνα διαστάσεων $Dim_x \times Dim_y$ που απεικονίζεται στο παραμετρικό διάστημα $([0, \alpha], [0, \beta])$
- Η στοιχειώδης μονάδα πάνω στην εικόνα είναι το **pixel** (διαστάσεις 1×1) ενώ πάνω στο χάρτη υφής του παραμετρικού χώρου είναι το **texel** (με διαστάσεις $\alpha / Dim_x \times \beta / Dim_y$)
- Κατά σύμβαση: $\alpha = \beta = 1$

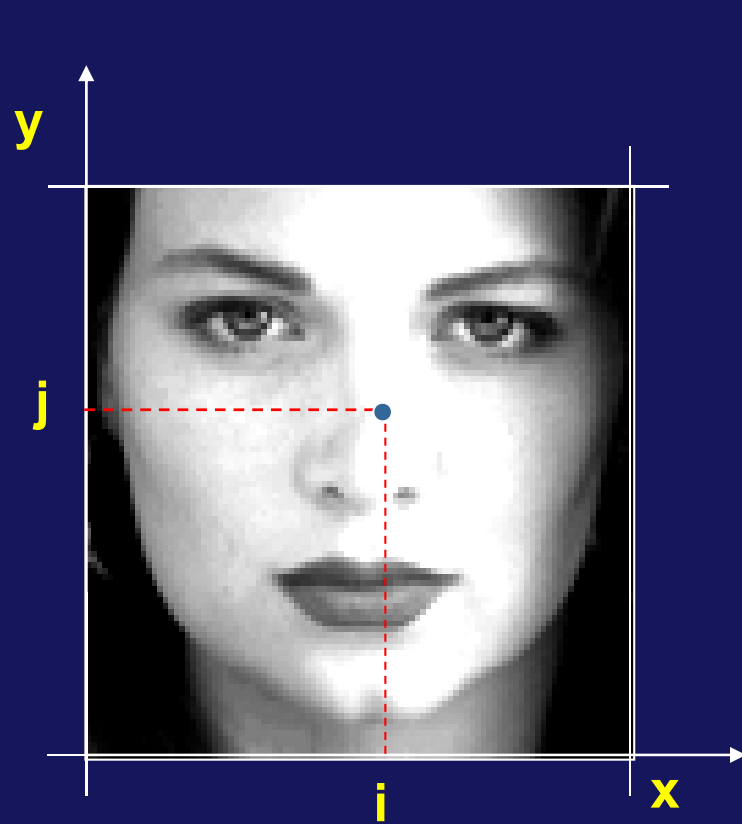
Απεικόνιση υφής

Απεικόνιση υφής: εφαρμογή μιας εικόνας σε μια επιφάνεια.

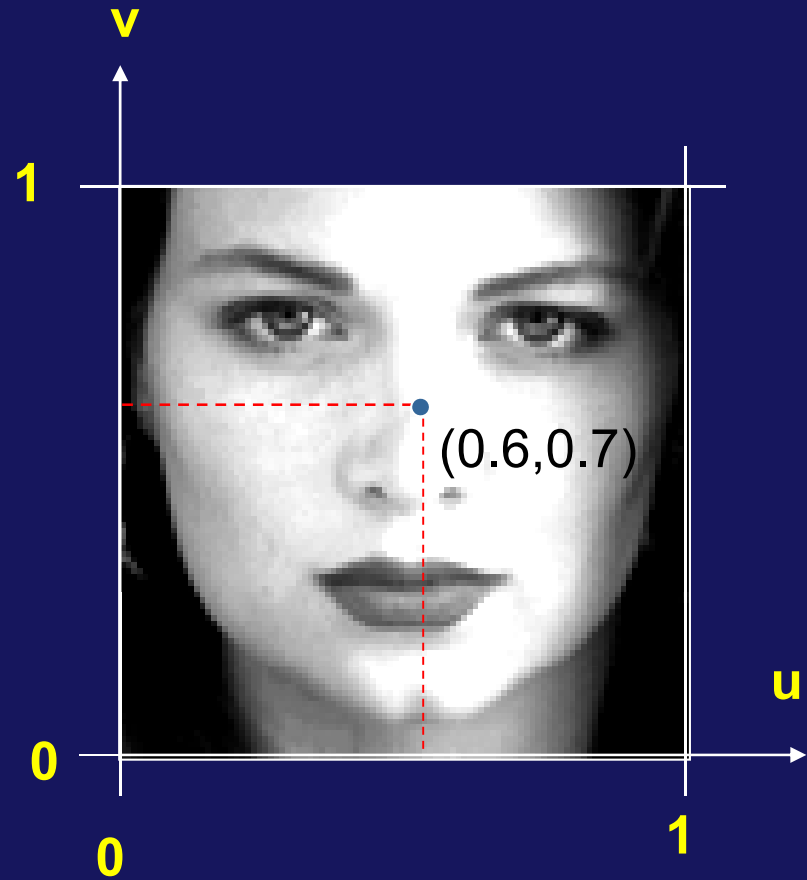
- Αντιστοιχίζουμε ένα ζεύγος συντεταγμένων υφής σε κάθε κορυφή.



Χάρτες Υφής



Χώρος Εικόνας

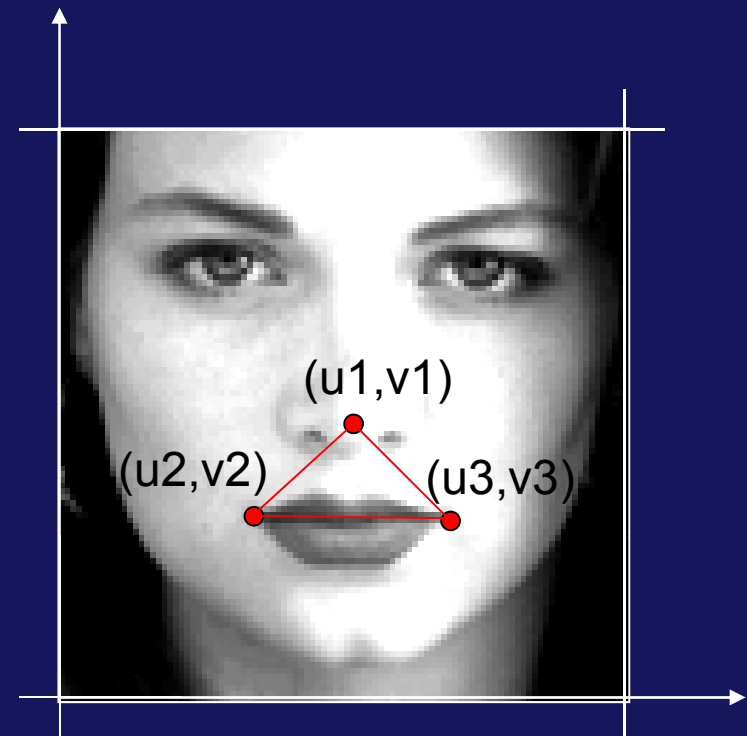
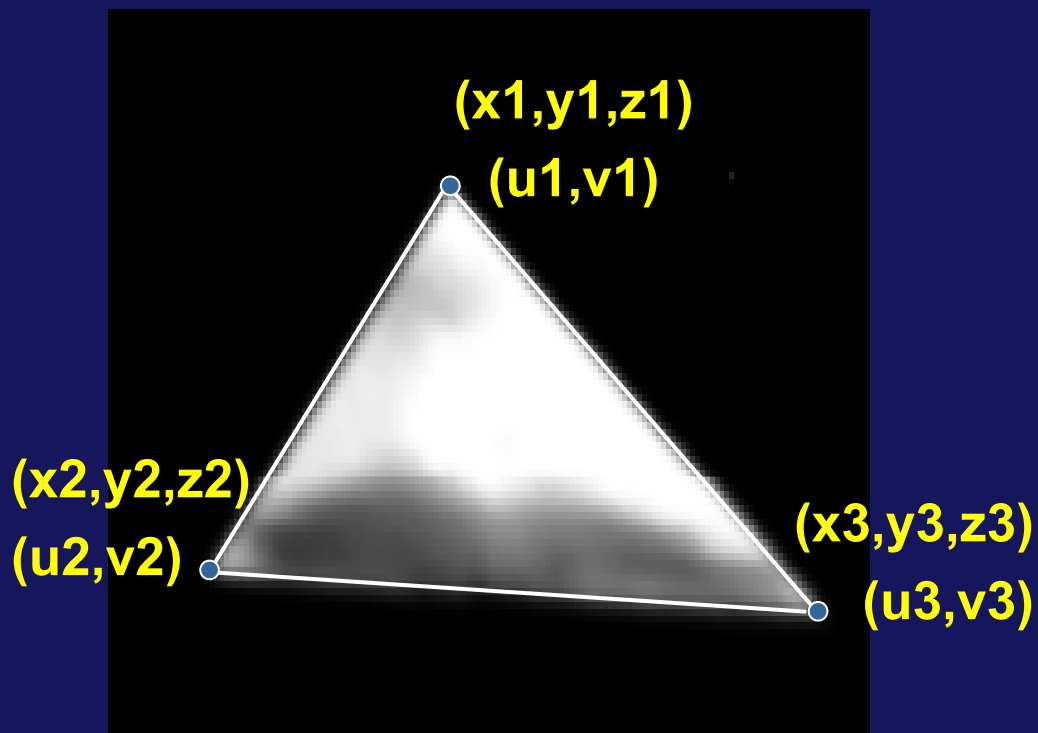


Χώρος Χάρτη Υφής

Απεικόνιση Χάρτη Υφής σε Πολύγωνα

Πως αποθηκεύεται η πληροφορία της υφής;

- Σε κάθε κορυφή του πολυγώνου, αποθηκεύεται και ένα ζεύγος συντεταγμένων (u,v) , το οποίο έχει προϋπολογιστεί κατά τη δημιουργία του μοντέλου με μία συνάρτηση απεικόνισης $(x,y,z) \rightarrow (u,v)$



Απεικόνιση υφής

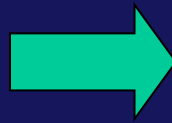
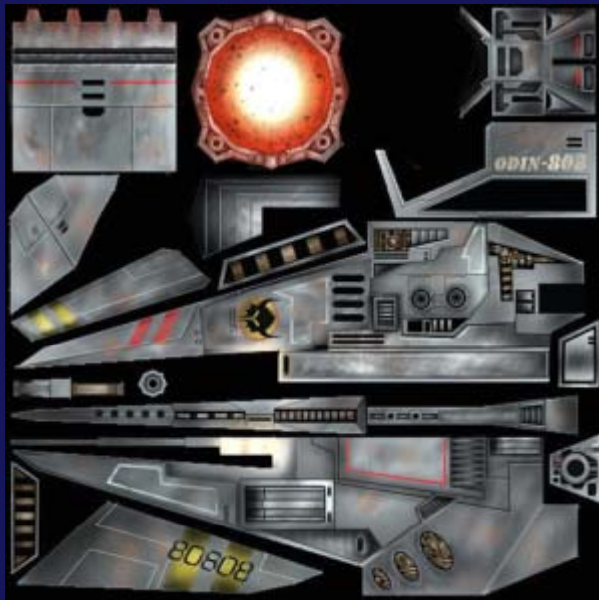
Η τεχνική αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα.

- Μπορούμε να αυξήσουμε σε πολύ μεγάλο βαθμό την λεπτομέρεια της επιφάνειας ενός αντικειμένου
- Μπορούμε να υλοποιήσουμε πολλά πολύπλοκα εφέ όπως ανακλάσεις, διαθλάσεις, σκιές
- Είναι σχετικά φτηνή μέθοδος (εξαρτάται από τη μνήμη της κάρτας γραφικών και το μέγεθος της εικόνας)
- Είναι η προτιμώμενη μέθοδος απόδοσης λεπτομέρειας στα αντικείμενα (σε σχέση με την αύξηση των πολυγώνων)

Συντεταγμένες υφής u,v

Για απλά αντικείμενα (σφαίρα, κύβος) είναι δυνατόν τα υπολογίσουμε τις συντεταγμένες υφής (u,v) αλγοριθμικά.

- Στην πράξη κανένα αντικείμενο δεν είναι τόσο απλό ώστε να μπορεί να γίνει αυτό εύκολα
- Επιπλέον για να γλιτώσουν μνήμη κατά την αποθήκευση της υφής οι καλλιτέχνες βάζουν όλες τις επιμέρους υφές ενός αντικειμένου σε μία εικόνα



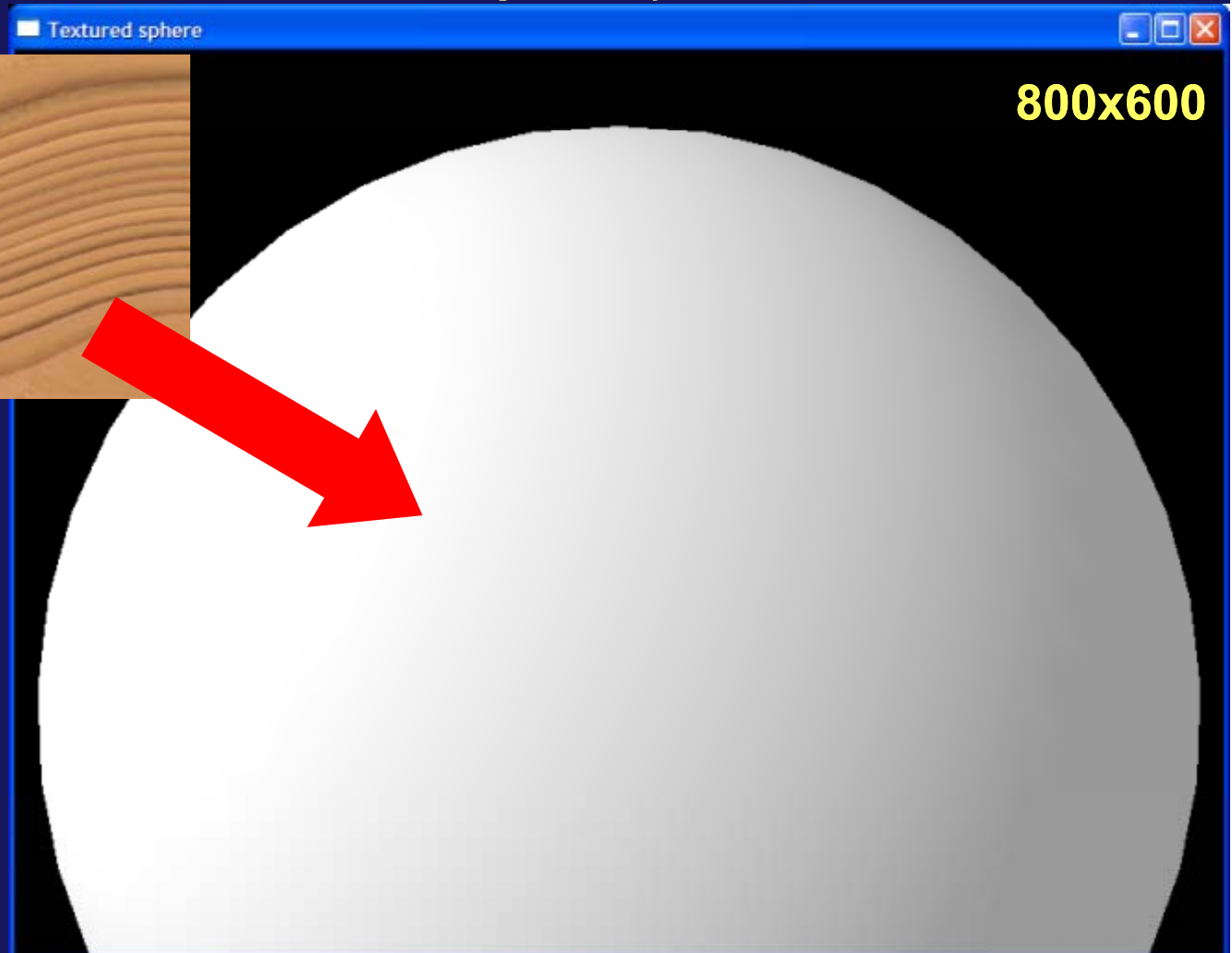
Συντεταγμένες υφής u,v

Στην πράξη η αντιστοίχιση συντεταγμένων (u,v) με κορυφές τριγώνων γίνεται με ειδικές εφαρμογές (Maya, 3D Studio κτ) και είναι περισσότερο τέχνη παρά επιστήμη.



Γραμμική παρεμβολή u,v συντεταγμένων

Καθώς **μεγεθύνουμε** ένα αντικείμενο με υφή η αντιστοίχιση μεταξύ pixels παραθύρου και texels υφής αλλάζει.



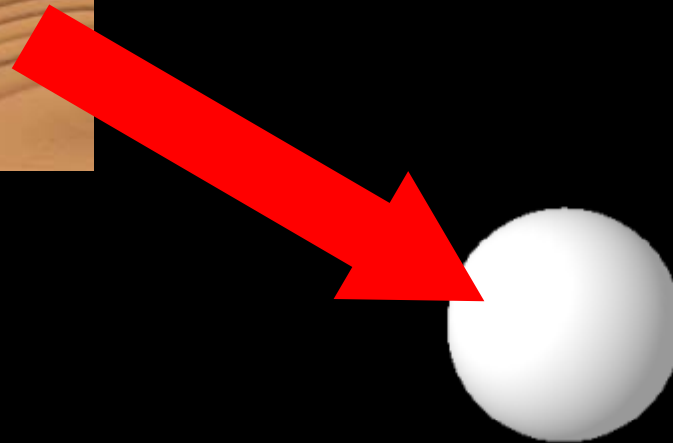
Πρέπει να **μεγεθύνω**
την υφή ώστε να
μπορέσει να καλύψει
την επιφάνεια

Γραμμική παρεμβολή u,v συντεταγμένων

Αντίστοιχα, καθώς **σμικρύνουμε** ένα αντικείμενο με υφή η αντιστοίχιση μεταξύ pixels παραθύρου και texels υφής επίσης αλλάζει.



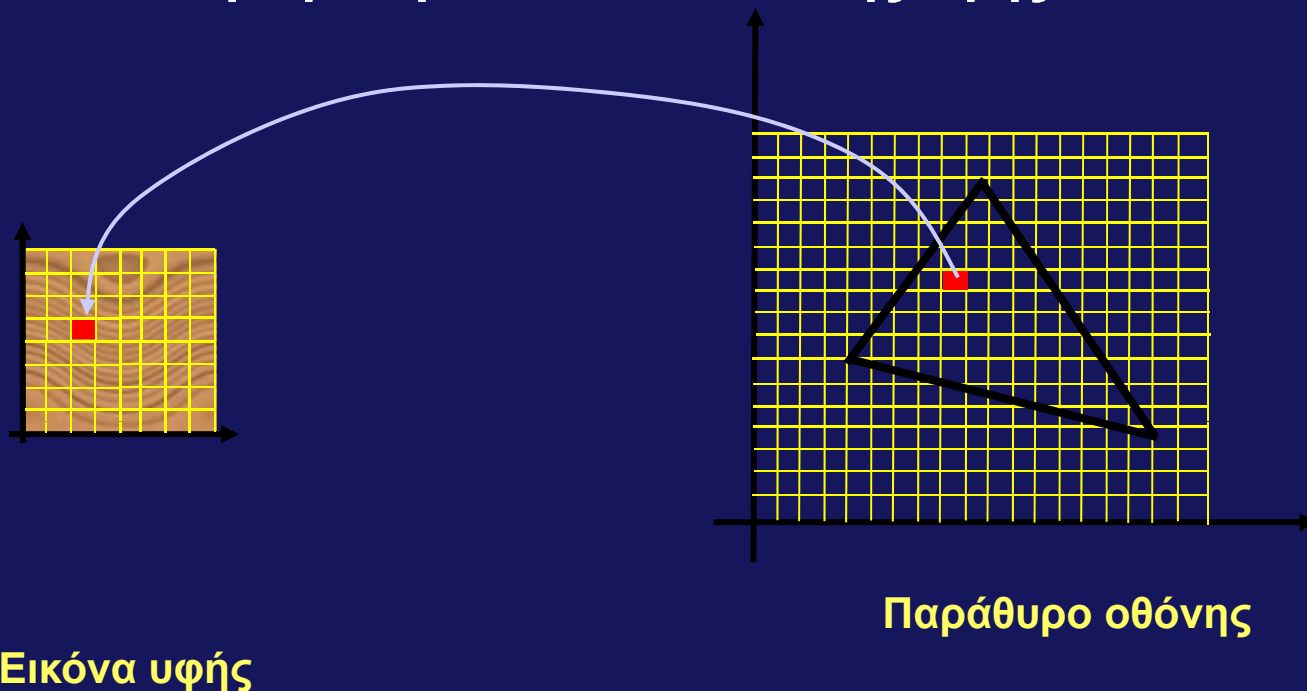
800x600



Πρέπει να **σμικρύνω**
την υφή ώστε να
μπορέσει να καλύψει
την επιφάνεια

Μεγέθυνση υφής

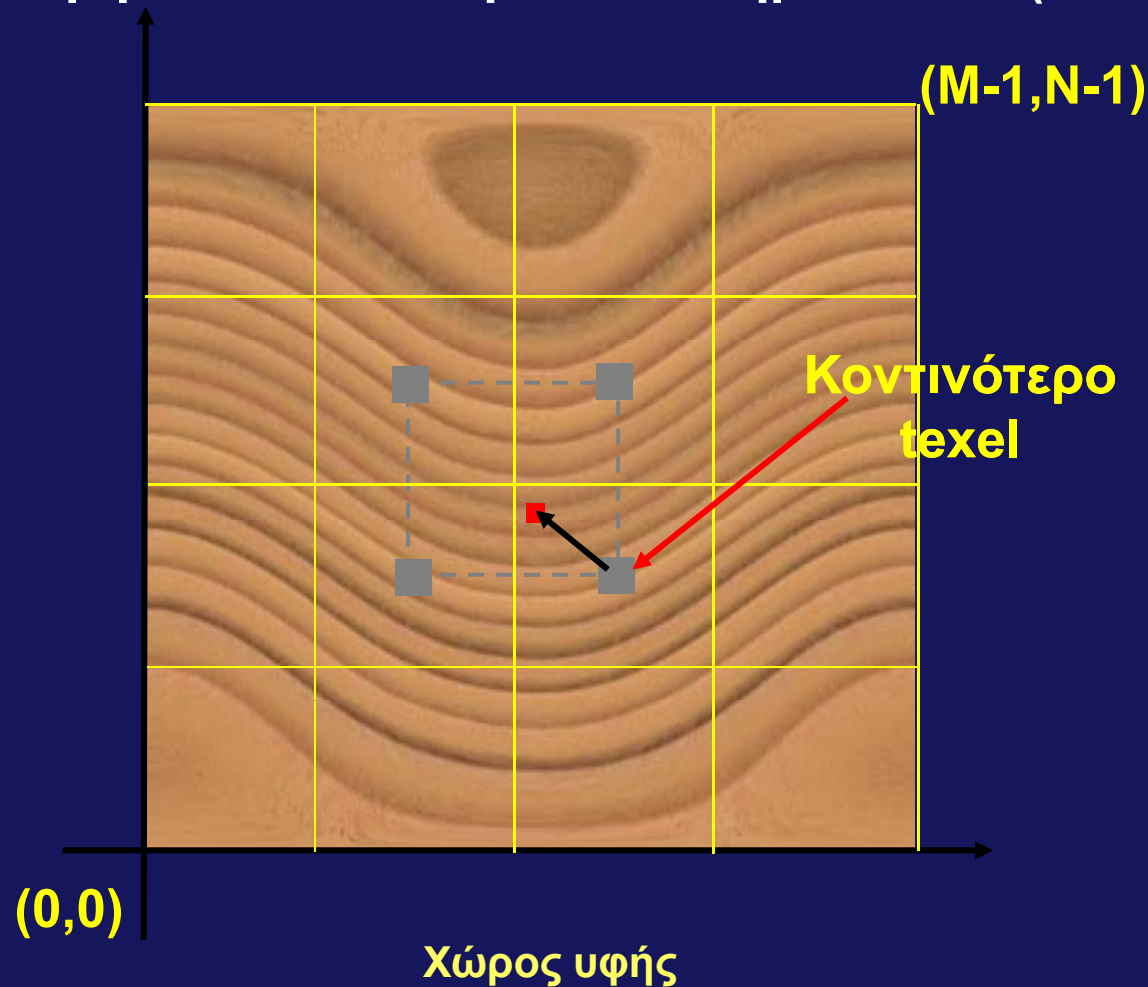
Όταν μεγεθύνουμε μια υφή για να καλύψει την επιφάνεια ενός «μεγάλου» αντικειμένου θα φτάσει μια στιγμή που ένα pixel στη οθόνη θα είναι μικρότερο από το texel της υφής.



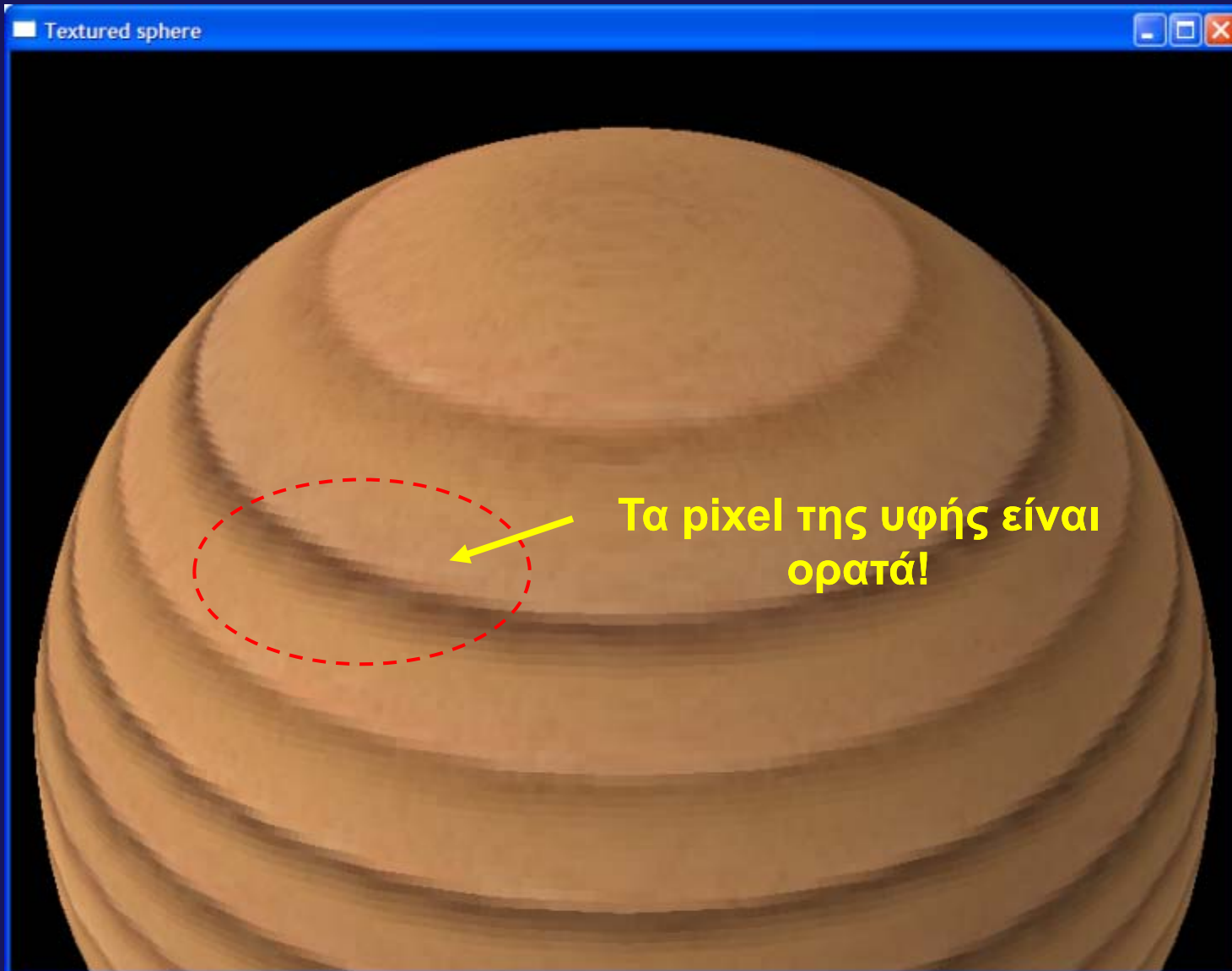
Το pixel δεν αντιστοιχεί ακριβώς σε ένα texel. Πρέπει με κάποιο τρόπο να υπολογίσω την τιμή αυτού του σημείου στην υφή.

Μεγέθυνση υφής

Ένας τρόπος να το κάνουμε αυτό είναι με το να δώσουμε σε αυτό το σημείο την τιμή του κοντινότερου στο σημείο `texel` (nearest neighbour)

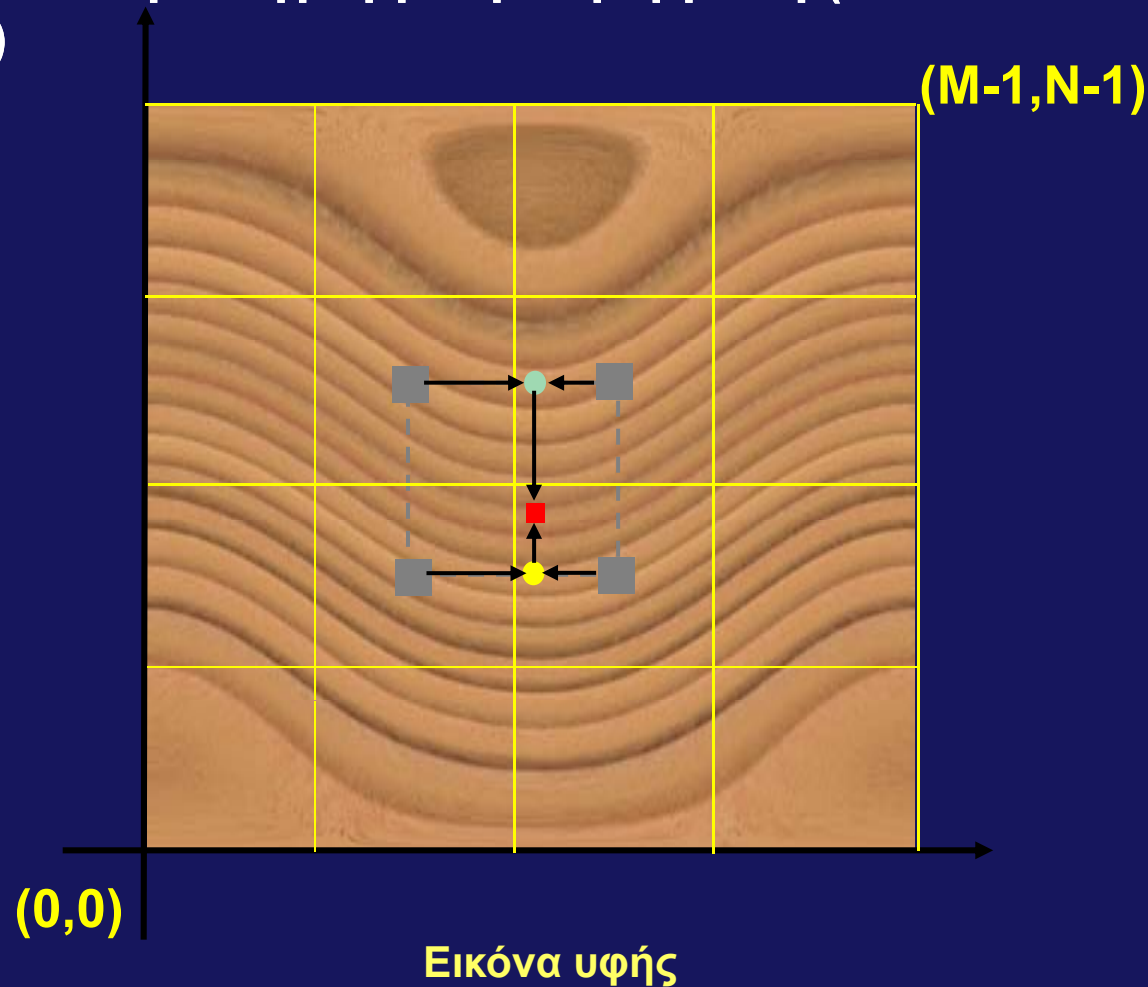


Μεγέθυνση υφής (nearest neighbour)

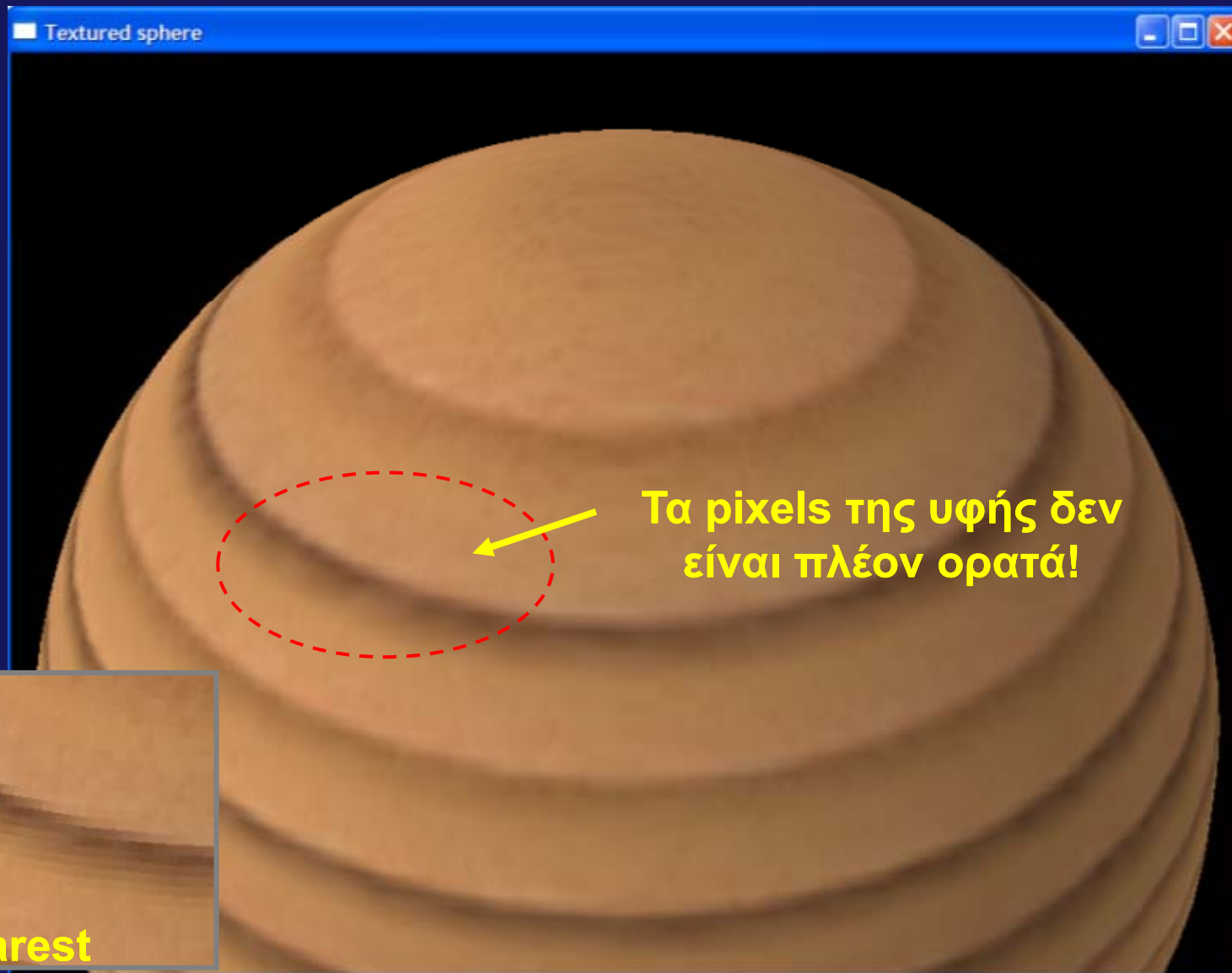


Μεγέθυνση υφής

Ένας άλλος είναι να υπολογίσουμε το χρώμα του σημείου από τα γειτονικά texels με διγραμμική παρεμβολή (bilinear interpolation)

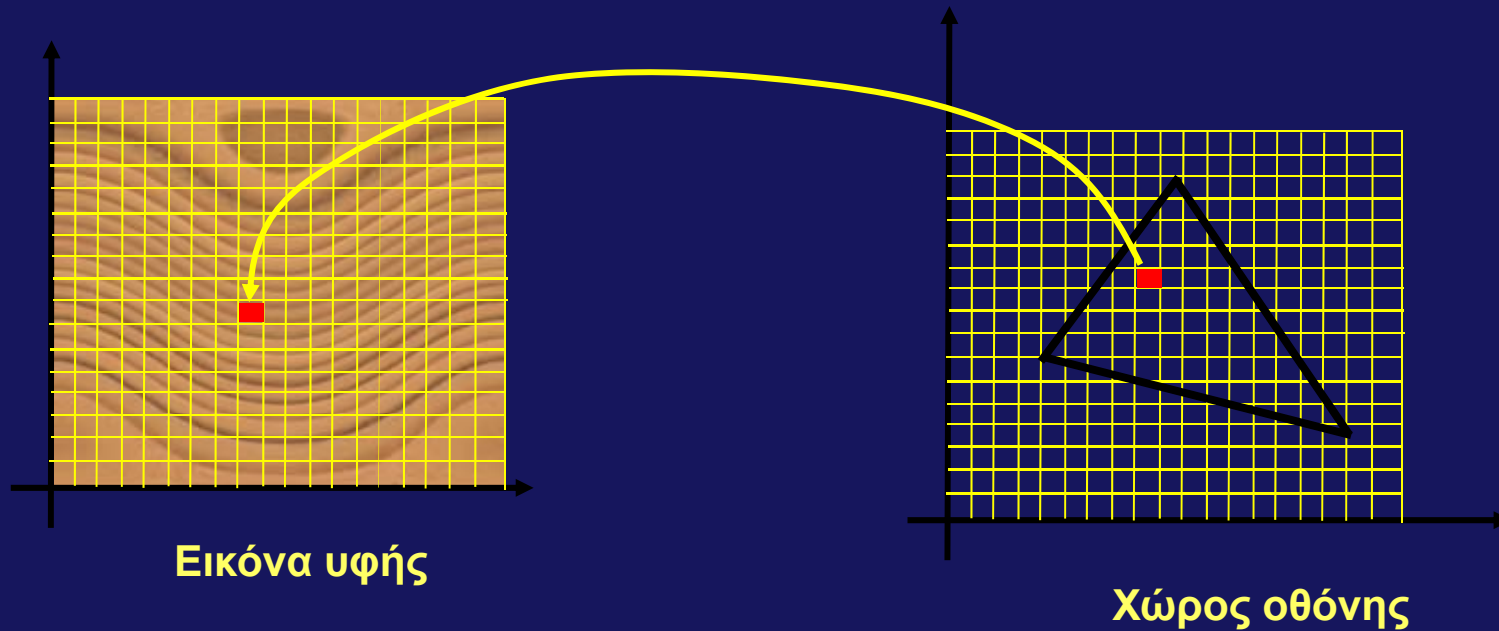


Μεγέθυνση υφής (bilinear)



Σμίκρυνση υφής

Αντίστοιχα, όταν σμικρύνουμε μια υφή για να καλύψει την επιφάνεια ενός «μικρού» αντικειμένου θα φτάσει μια στιγμή που ένα pixel στη οθόνη θα καλύπτει πολλά texels της υφής.

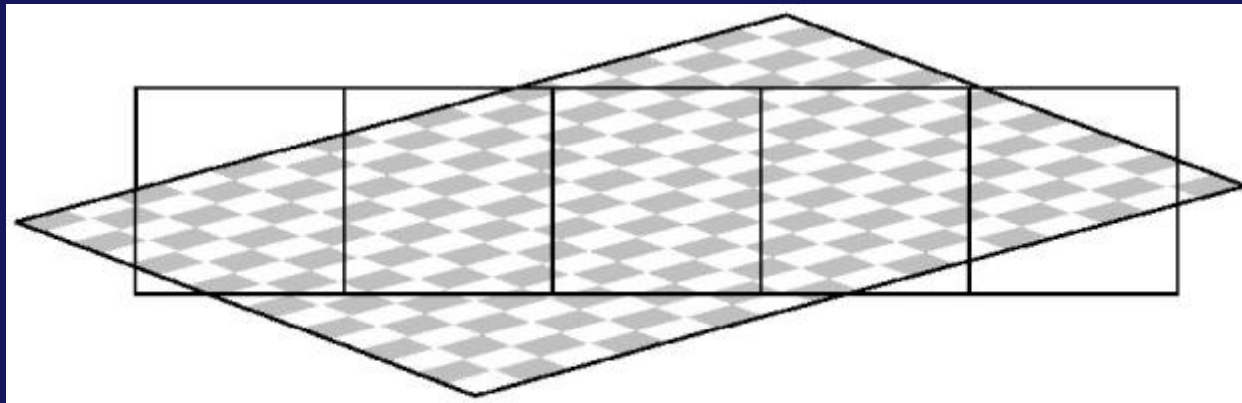


Το pixel αντιστοιχεί σε παραπάνω από ένα texel. Πρέπει με κάποιο τρόπο να συνδυάσω τις τιμές αυτών των texel για να πάρω το χρώμα στο νέο σημείο.

Σμίκρυνση υφής

Θα μπορούσα να χρησιμοποιήσω πάλι την τιμή του κοντινότερου texel (nearest neighbour) ή διγραμμική παρεμβολή (bilinear interpolation) για να υπολογίσω την νέα τιμή χρώματος.

- Όμως ένα pixel μπορεί να καλύπτει πολλά texels στην υφή.
- Το ένα ή τα τέσσερα texels που χρησιμοποιούν οι δυο αυτές τεχνικές ίσως να μην είναι αρκετά για να παράγουν ένα καλό αποτέλεσμα
- Γενικά είναι δύσκολο (και ακριβό υπολογιστικά) να υπολογιστεί πόσα texels καλύπτει ένα pixel.

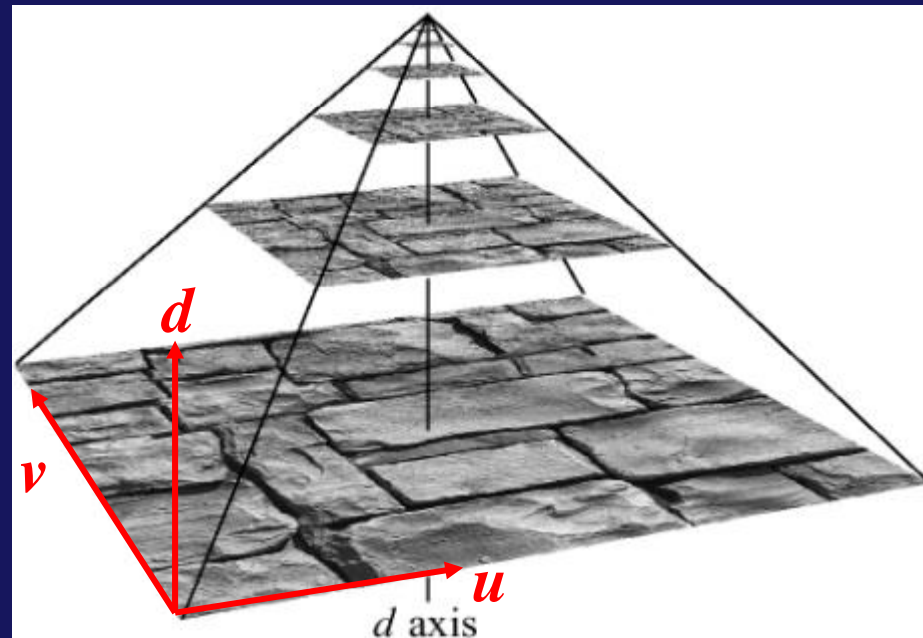


Σμίκρυνση υφής : mipmapping

Μια λύση στο πρόβλημα αυτό μπορεί να δώσει η τεχνική mipmapping.

Ιδέα:

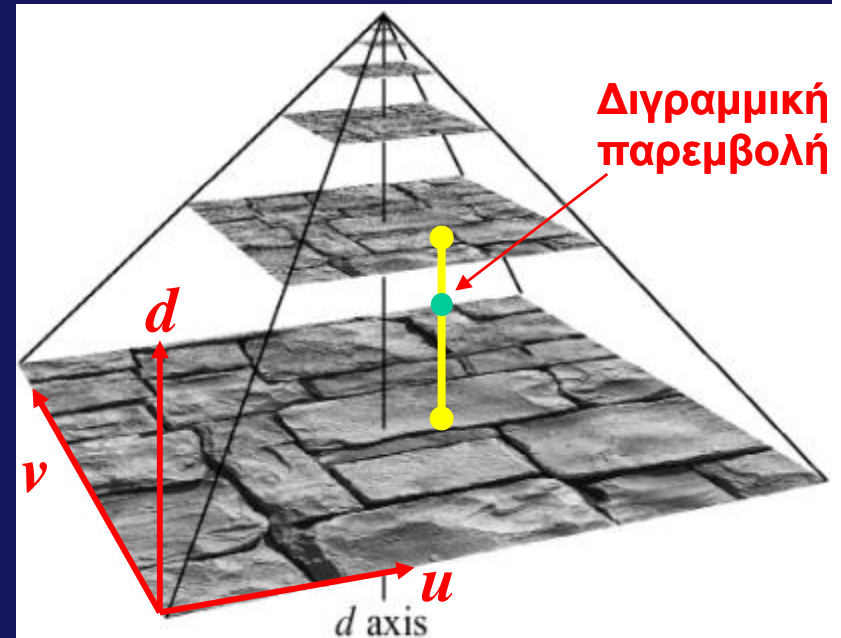
- Αντί να εφαρμόζω nearest neighbour ή bilinear interpolation για να φιλτράρω της υφής κάθε φορά που θέλω να υπολογίσω το νέο χρώμα ενός pixel, κατασκευάζω πολλές παραλλαγές της αρχικής υφής σε διάφορες αναλύσεις.
- Όταν πρέπει να υπολογίσω μια νέα τιμή pixel επιλέγω την κατάλληλη παραλλαγή υφής και χρησιμοποιώ αυτήν, αντί να την σμικρύνω την υφή.



Mipmapping

- Έχει μορφή πυραμίδας με k επίπεδα
- Η ανάλυση (μέγεθος) κάθε επιπέδου είναι το $\frac{1}{4}$ που προηγούμενου
- Χρησιμοποιούμε 4 texels σε κάθε επίπεδο για να παράγουμε 1 texel στο επόμενο επίπεδο (με bilinear interpolation)
- Αυξάνει το χώρο αποθήκευσης της υφής κατά 33%

Όταν θέλω να υπολογίσω το νέο χρώμα ενός pixel, επιλέγω 2 κατάλληλες αναλύσεις υφών και εφαρμόζω διγραμμική παρεμβολή ανάμεσα στα αντίστοιχα σημεία.

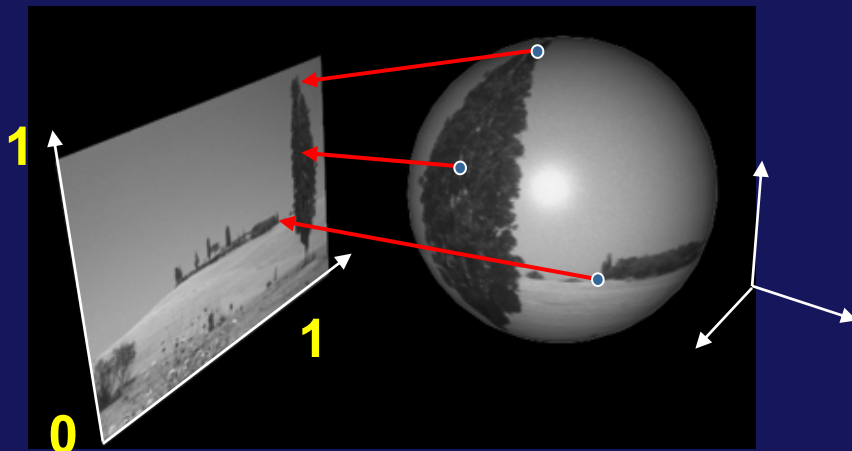


Συντεταγμένες Υφής

- Ο χώρος της εικόνας που χρησιμοποιείται ως υφή (texture map) είναι παραμετροποιημένος σύμφωνα με συντεταγμένες υφής (texture coordinates)
- Μια εικόνα αποτυπώνεται πάνω σε επιφάνεια με παρεμβολή των συντεταγμένων υφής μεταξύ των κορυφών των πολυγώνων
- Πώς υπολογίζουμε τι τιμή θα αποδώσουμε για αυτές τις συντεταγμένες σε κάθε κορυφή;

Συναρτήσεις Απεικόνισης Υφής

- Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων υφής, χρειαζόμαστε έναν τρόπο να περνάμε από τον καρτεσιανό χώρο (\mathbb{R}^3) στον παραμετρικό χώρο της υφής (u,v coordinates)
- Το ρόλο αυτό έχουν ειδικές συναρτήσεις που καλούνται συναρτήσεις απεικόνισης υφής (**texture mapping functions**)
- Αυτές οι συναρτήσεις αντιστοιχούν με μοναδικό τρόπο (όχι αμφιμονοσήμαντα όμως) συντεταγμένες του χώρου (π.χ. κορυφές τριγώνων) στο παραμετρικό διάστημα $([0,1],[0,1])$



Συναρτήσεις Απεικόνισης Υφής

Πώς λειτουργούν;

- Έχουν δύο στάδια:
 - i) Μετασχηματίζουν κάθε σημείο του \mathbb{R}^3 σε ένα γεωμετρικό τόπο του \mathbb{R}^3 ο οποίος μπορεί να ορισθεί παραμετρικά (παραμετρική επιφάνεια)
 - ii) Απεικονίζουν τα σημεία της παραμετρικής επιφάνειας στο φραγμένο παραμετρικό διάστημα της εικόνας
- Βασικές συναρτήσεις απεικόνισης:
 - Επίπεδη (planar)
 - Σφαιρική (spherical)
 - Κυλινδρική (cylindrical)
 - Κυβική (box)

Συναρτήσεις απεικόνισης υφής

Κάθε είδος προβολής ορίζει ένα νοητό σχήμα (επίπεδο, σφαίρα, κύλινδρος) γύρω από το αντικείμενο και προβάλλει τις (x,y,z) συντεταγμένες του αντικειμένου πάνω στο νοητό αντικείμενο αυτό.

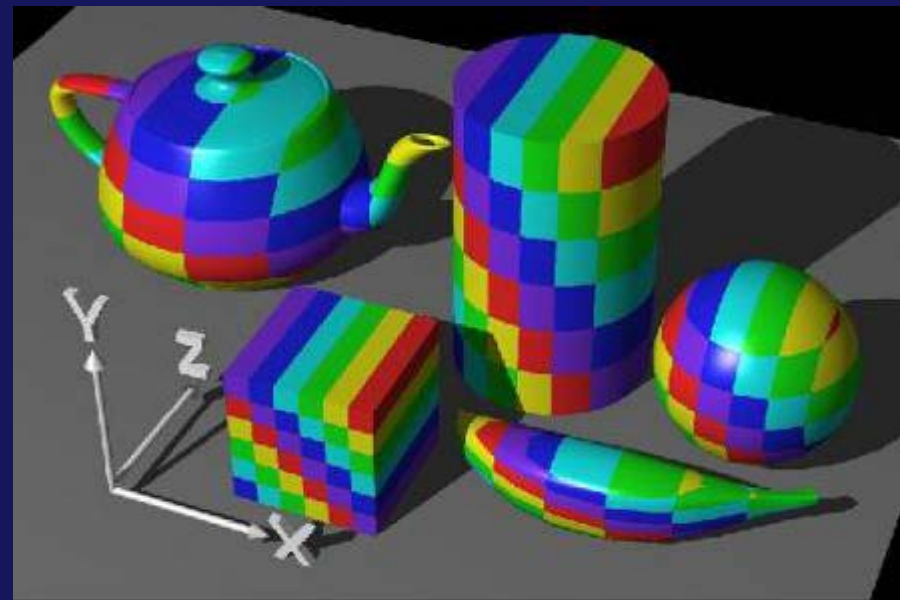
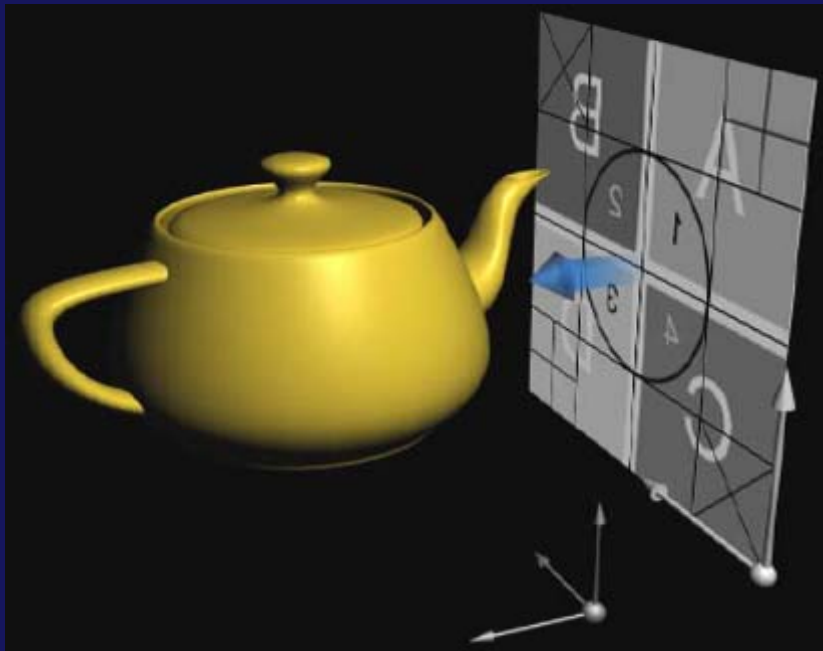
Είναι ευκολότερο να «τυλίξω» την υφή σε ένα προκαθορισμένο σχήμα παρά σε ένα αυθαίρετο αντικείμενο!

Ο λόγος που υπάρχουν τόσες πολλές είναι ότι κάθε μια ταιριάζει καλύτερα σε συγκεκριμένο είδος γεωμετρίας.

Επίπεδη προβολή

Η επίπεδη προβολή προβάλλει την υφή στο αντικείμενο προς μία κατεύθυνση χρησιμοποιώντας ορθογραφική προβολή.

- Σαν νοητή επιφάνεια χρησιμοποιούμε το επίπεδο UV
- Για να αντιστοιχήσουμε ένα σημείο της γεωμετρίας (x,y,z) με ένα σημείο στο νοητό επίπεδο (u,v) απλά αφαιρούμε την z -συντεταγμένη
- Μετασχηματίζουμε το (x,y) στο διάστημα $[0,1)$ και το χρησιμοποιούμε για να προσπελάσουμε την υφή.

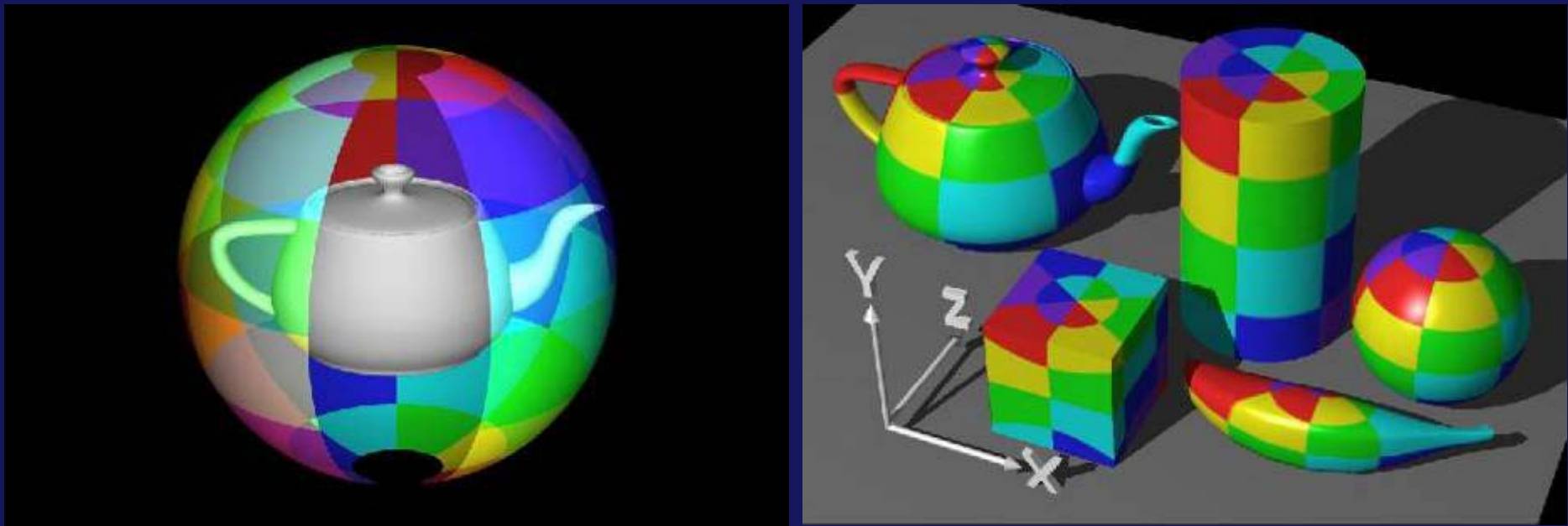


Η επίπεδη προβολή είναι κατάλληλη για ομαλές, σχεδόν επίπεδες επιφάνειες.

Σφαιρική προβολή

Η σφαιρική προβολή χρησιμοποιεί ως νοητή επιφάνεια μια σφαίρα

- Η σφαίρα θεωρείται ότι περιέχει το αντικείμενο
- Οι συντεταγμένες ενός σημείου της γεωμετρίας (x,y,z) μετατρέπονται σε σφαιρικές συντεταγμένες (ρ,φ) (ισημερινός-μεσημβρινός;).
- Οι σφαιρικές συντεταγμένες (ρ,φ) μετασχηματίζονται στο διάστημα $[0,1)$ και χρησιμοποιούνται για να προσπελάσουν την υφή.

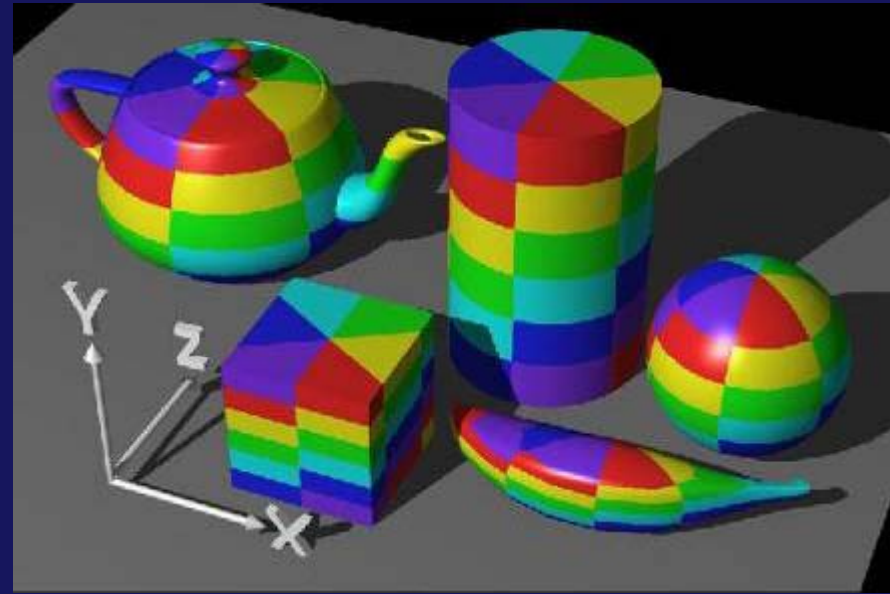


Η σφαιρική προβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για «σφαιρικά» αντικείμενα, χωρίς ακμές.

Κυλινδρική προβολή

Η προβολή αυτή χρησιμοποιεί ως νοητή επιφάνεια ένα κύλινδρο παράλληλο με το Y άξονα του αντικειμένου

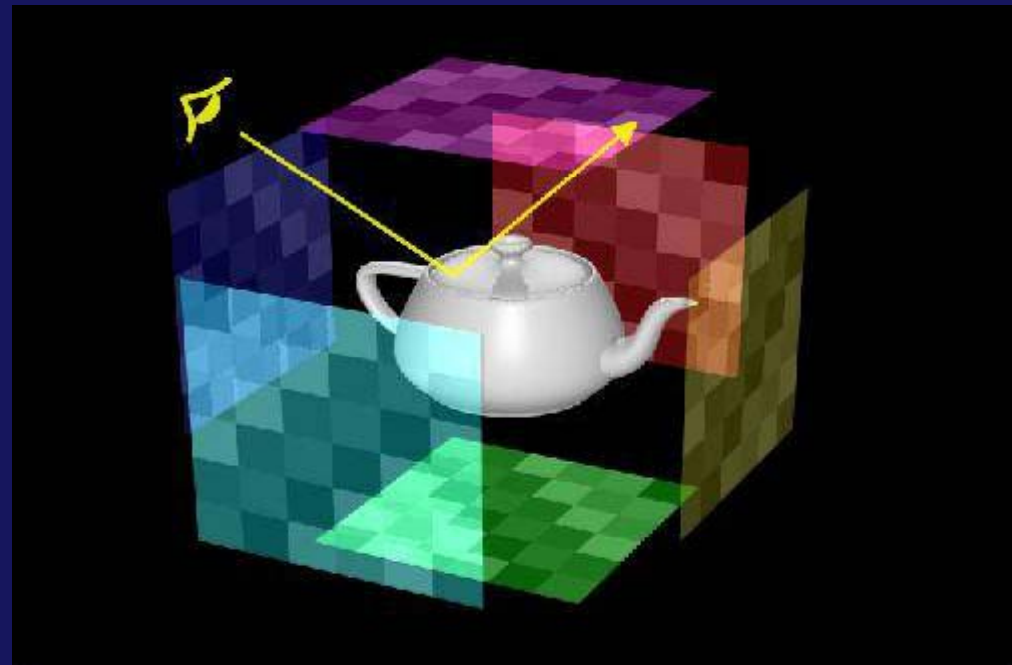
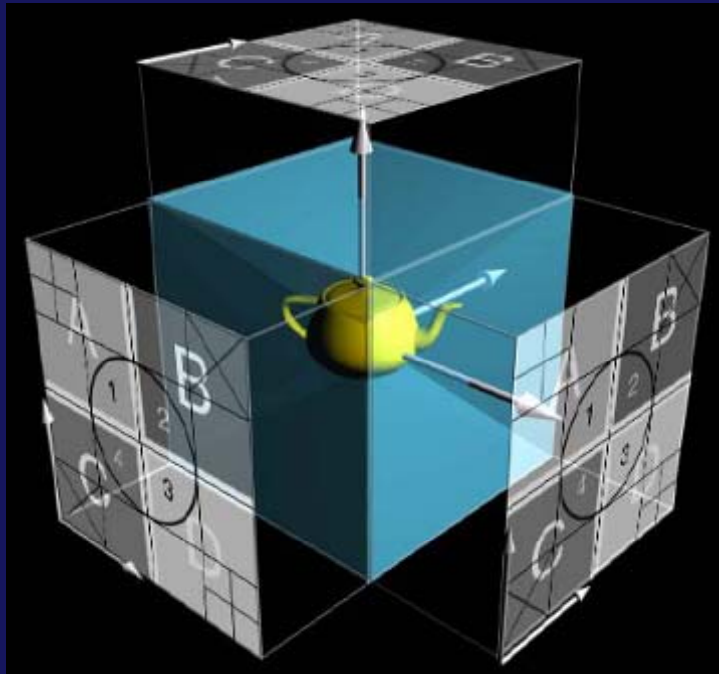
- Η κύλινδρος θεωρείται ότι περιέχει το αντικείμενο
- Οι συντεταγμένες ενός σημείου της γεωμετρίας (x,y,z) μετατρέπονται σε κυλινδρικές συντεταγμένες (ρ,φ,u) u - ύψος
- Ενδιαφερόμαστε μόνο για τις συντεταγμένες (φ,u) που μετασχηματίζονται στο διάστημα $[0,1)$ και χρησιμοποιούνται για να προσπελάσουν την υφή.



Η κυλινδρική προβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επιμήκη αντικείμενα χωρίς επίπεδα κάθετα στο Y άξονα.

Προβολή κύβου

- Η προβολή αυτή χρησιμοποιεί ως νοητή επιφάνεια ένα κύβο
- Χρησιμοποιεί επίπεδη προβολή μια φορά για κάθε πλευρά του κύβου, ανάλογα με το ποια πλευρά του κύβου κοιτάζει το αντικείμενο.



Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ακαθόριστα σχήματα και σχήματα με μορφή παραλληλεπίπεδου.

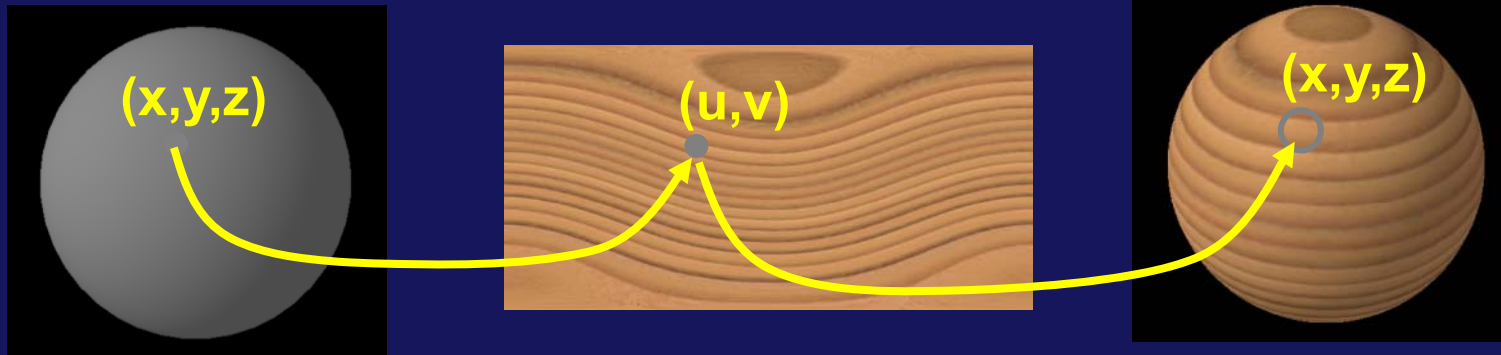
Συναρτήσεις Απεικόνισης



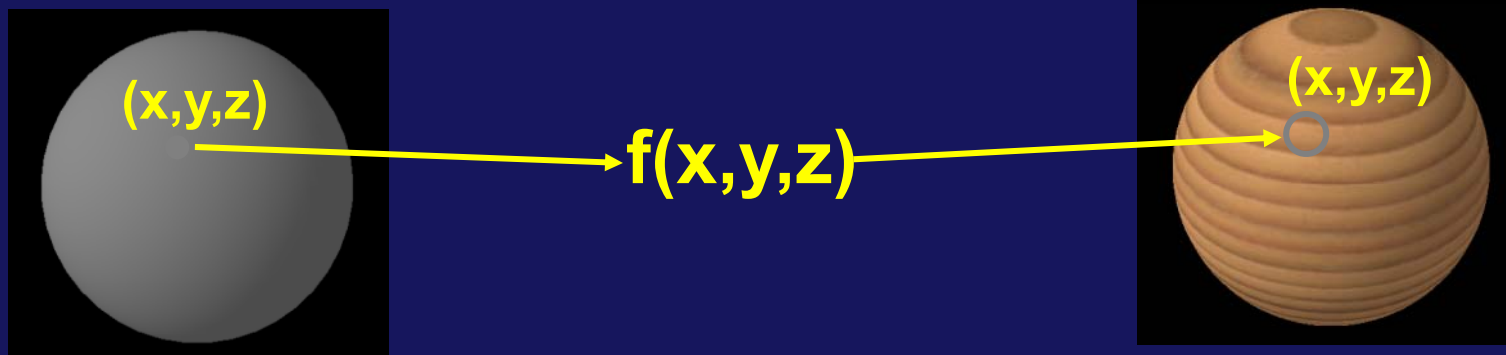
- Planar
- Cylindrical
- Box

Συναρτησιακές υφές

Οι υφές που είδαμε μέχρι τώρα χρησιμοποιούν ένα διδιάστατο πίνακα σε κάθε σημείο του οποίου αποθηκεύουν μια παράμετρο της επιφάνειας (χρώμα, ανάκλαση κλπ) Οι υφές αυτές χρησιμοποιούν μια ειδική απεικόνιση (u,v) από τις κορυφές του αντικειμένου στην υφή.



Συναρτησιακή υφή (procedural texture) είναι μια υφή που παράγεται με αλγοριθμικό τρόπο



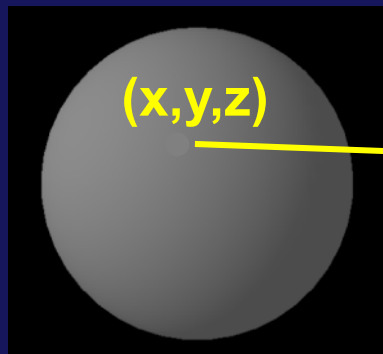
Συναρτησιακές υφές

Η συναρτησιακές υφές έχουν πολλά πλεονεκτήματα:

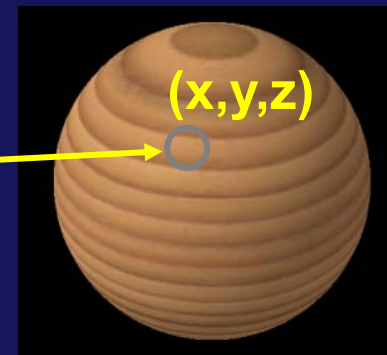
- Μικρό μέγεθος (αποθηκεύουμε μόνο μια συνάρτηση)
- Απεριόριστη ανάλυση
- Παραμετροποίηση
- Δεν χρειάζονται συντεταγμένες υφής (χρησιμοποιούν τις συντεταγμένες του σημείου)
- Δεν εξαρτώνται από την μορφή της γεωμετρίας

Και μερικά μειονεκτήματα:

- Δεν είναι εύκολο να κατασκευαστούν (non-intuitive)
- Δεν υποστηρίζονται από επεξεργαστές γραφικών (ακόμα)
- Είναι πιο ακριβές υπολογιστικά από τις υφές εικόνας



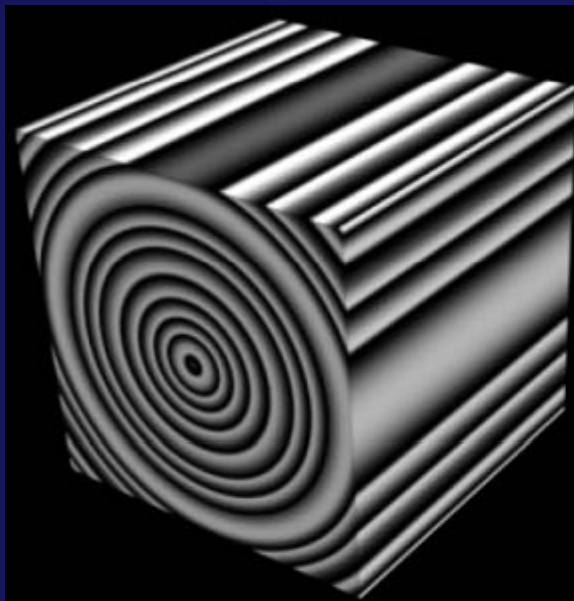
$f(x,y,z)$



Παραδείγματα συναρτησιακών υφών

Ξύλο:

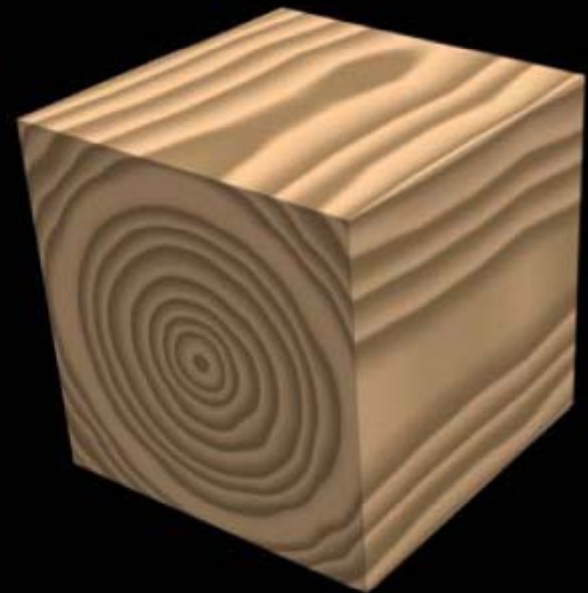
$$f(y,z) = \sin^2(\sqrt{y^2+z^2})$$



Συνάρτηση



Με χρωματικό πίνακα



Με θόρυβο

Παραδείγματα συναρτησιακών υφών

Συνάρτηση καρό:

$$f(x,y,z) = (\lfloor x \rfloor + \lfloor y \rfloor + \lfloor z \rfloor) \bmod 2$$

