

# Εικονική & Επαυξημένη Πραγματικότητα

Τζέριες Μπεςαράτ, PhD

1 Απριλίου 2022, Άρτα



Πώς όμως θα κάνουμε τα αντικείμενα να φαίνονται ρεαλιστικά;

Υπάρχει μεγάλη ανάλυση - με πολλά “μαθηματικά” - το πως θα κάνουμε ένα αντικείμενο να φαίνεται ρεαλιστικό. Τόσο στην Εικονική Πραγματικότητα όσο και στην Επαυξημένη.

Αν και τα περισσότερα πλέον τα κάνουν τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται, καλό είναι να έχουμε γνώση - έστω και θεωρητική - για τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων.

# Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί και Προβολές

Τι χρειάζεται να γνωρίζετε;

- Γραμμική Άλγεβρα
- Διανυσματική Ανάλυση
- Γεωμετρία και Τριγωνομετρία

# Αναπαράσταση Τρισδιάστατων Αντικειμένων

Τα σύγχρονα συστήματα γραφικών επεξεργάζονται πολύπλοκες σκηνές με πολυάριθμα αντικείμενα τα οποία συνθέτουν την τελική εικόνα που αντιλαμβάνεται οπτικά ο χρήστης. Το πρόβλημα της αναπαράστασης αναφέρεται στον τρόπο μοντελοποίησης και δόμησης των αναπαριστώμενων αντικειμένων.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν ακόμη τρισδιάστατες οθόνες, ένα σύνολο από 3D αντικείμενα καλούνται:

- να προβληθούν πάνω σε πλεγματικές οθόνες με αποδοτικό τρόπο,
- να επιδέχονται μετασχηματισμούς και
- να προσαρμόζονται δυναμικά στις εκάστοτε απαιτήσεις.

# Χρώμα και Υφή

Τα γραφικά προϋποθέτουν τη χρήση του χρώματος για να επενδύσουν τα μοντέλα τα οποία προκύπτουν από τους αλγόριθμους σχεδίασης και αναπαράστασης αντικειμένων. Το χρώμα είναι πολύ βασικό στοιχείο και πολλές φορές είναι αυτό που δίνει νόημα σε μια συνθετική αναπαράσταση (παραγόμενη από υπολογιστή).

- Ο τρόπος απόδοσης χρώματος στην επιφάνεια ενός μοντέλου διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:
- η απευθείας χρήση του χρώματος πάνω στα δομικά στοιχεία του μοντέλου (επιφάνειες, ακμές, κορυφές) και
  - η χρήση υφής που επενδύει τις επιφάνειες του μοντέλου με βάση μια ψηφιογραφική (bitmap) ή σχεδιογραφική εικόνα (raster image) με επαναληπτική ή όχι εφαρμογή σε όλη την επιφάνεια.

# Χρώμα και Υφή

Ο τρόπος χρήσης του χρώματος εξαρτάται σε ένα μεγάλο βαθμό από τις φυσικές ιδιότητες του φωτός, τις ιδιαιτερότητες του κάθε αντικειμένου, αλλά και από τον τρόπο πρόσληψης του χρώματος από το ανθρώπινο οπτικό σύστημα και τις καλλιτεχνικές αξίες που προσδίδονται στις συνθετικές σκηνές οι οποίες παράγονται για τη βιομηχανία του κινηματογράφου, της διαφήμισης και των βιντεοπαιχνιδιών.

# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Βάθος Χρώματος

Το χρώμα είναι μια αίσθηση που δημιουργείται στον ανθρώπινο εγκέφαλο, όπως και στα περισσότερα έμβια όντα, από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει στους οφθαλμούς και δημιουργεί την αντίδραση του οπτικού νεύρου. Οι πληροφορίες που αφορούν το χρώμα, το διαφοροποιούν από άλλα και, επομένως, το καθορίζουν• είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας που ανιχνεύεται από τους χρωματικούς υποδοχείς.

Αυτοί ονομάζονται φωτοευαίσθητοι υποδοχείς (κωνία) και ο ρόλος τους είναι να αντιδρούν στην παρουσία φωτός από συγκεκριμένο εύρος της συχνότητας του φωτός. Η εντύπωση του χρώματος, τελικά, δημιουργείται στον οπτικό φλοιό από την ύπαρξη φωτός κάποιου μήκους κύματος, ή από το συνδυασμό ακτινοβολίας με πολλά διαφορετικά μήκη κύματος.

# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Βάθος Χρώματος

Όσον αφορά την εντύπωση που δημιουργεί το φως, υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες:

το ασπρόμαυρο φως και το έγχρωμο

Το ασπρόμαυρο φως (γκρίζο για την ακρίβεια) δημιουργείται όταν το φως χάνει τα χρωματικά του χαρακτηριστικά. Αυτό που απομένει για να διαχωρίσει τις στάθμες του φωτός είναι η ένταση, ή αλλιώς **φωτεινότητα**.

Στην ακραία περίπτωση που υπάρχουν δύο μόνο χρώματα (π.χ. μαύρη γραμμή πάνω σε λευκό φόντο), τότε έχουμε **μονοχρωματική αναπαράσταση**.

Από την άλλη πλευρά, επειδή μας ενδιαφέρει η απόδοση του χρώματος πάνω σε οθόνες (ή από προβολείς με αντανάκλαση πάνω σε προβολικές επιφάνειες) το χαρακτηριστικό του χρώματος αποδίδεται με αριθμητικές τιμές των χρωματικών του παραμέτρων.



# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Βάθος Χρώματος

Ωστόσο, το πόση πληροφορία μεταφέρουν οι χρωματικές παράμετροι καθορίζει ουσιαστικά το πλήθος των χρωμάτων που μπορούν να αποδοθούν και επομένως, το **βάθος χρώματος**.

Βάθος χρώματος	Αριθμός χρωμάτων	Αποτέλεσμα
1 bit	$2^1 = 2$	Ασπρόμαυρη εικόνα (χωρίς διαβαθμίσεις γκριζου).
8 bit	$2^8 = 256$	Αποχρώσεις του γκριζου.
16 bit	$2^{16} = 65.536$	Το βάθος χρώματος αυτό αναφέρεται και ως High Color.
24 bit	$2^{24} = 16.777.216$	Το βάθος χρώματος αυτό αναφέρεται και ως True Color.
32 bit		Το βάθος χρώματος αυτό αναφέρεται και ως Deep Color. Αποτελεί αντίγραφο του 24 bit με τη διαφορά ότι υπάρχουν 8 επιπρόσθετα bit ανά εικονοστοιχείο (μη χρησιμοποιούμενα).
48 bit	$2^{48} = 281474976710656$	Αποτελεί βάθος χρώματος τύπου Deep Color αλλά με δυνατότητες που υπερβαίνουν τη διακριτική ικανότητα του ματιού. Για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιείται από τους σαρωτές οι οποίοι αποδίδουν 16 bits ανά βασικό χρώμα.

# Το ίδιο θέμα με διαφορετικά βάθη χρώματος



α) 24 bit (16M χρώματα)



β) 8 bit (256 χρώματα)



γ) 4 bit (16 χρώματα )



δ) 2 bit (4 χρώματα)



ε) 1 bit (2 χρώματα)



στ) 1 bit (2 χρώματα)

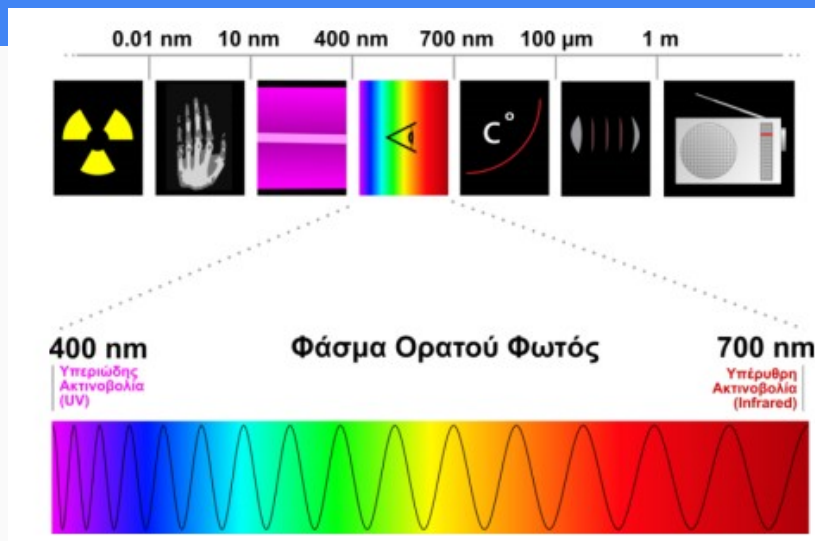
# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Αναπαράσταση Χρώματος

Ο τρόπος που το ανθρώπινο οπτικό σύστημα αντιλαμβάνεται το χρώμα και ο τρόπος που αυτό θα αναπαρασταθεί, αποτελεί αντικείμενο πολλών επιστημονικών πεδίων όπως είναι η φυσική, η φυσιολογία και η κωδικοποίηση και ψηφιακή παράσταση πληροφοριών οπτικοποίησης. Αυτό που μας είναι χρήσιμο είναι η περιγραφή και η χρήση του χρώματος στις ορατές από τον άνθρωπο συχνότητες.

## Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Αναπαράσταση Χρώματος

Έτσι τελικά, από όλο το φάσμα, η ζώνη του ορατού φωτός είναι μία σχετικά στενή ζώνη του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η περιοχή στην οποία είναι ευαίσθητο το αισθητήριο της όρασης των ζωντανών οργανισμών καλύπτει μια περιοχή συχνοτήτων από 400 έως 800THz και η ενέργεια των φωτονίων κυμαίνεται από 1,6 - 3,2 eV.

# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Αναπαράσταση Χρώματος



Διάγραμμα ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ορατής ακτινοβολίας

# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Αναπαράσταση Χρώματος

Από την άποψη των φυσικών ιδιοτήτων του φωτός, μπορούμε να διαχωρίσουμε:

- Τη συχνότητά του σε Hz (ή το μήκος κύματος σε nm)
- Την ακτινοβολία του (radiance) = η ενέργεια που εκπέμπεται από τη φωτεινή πηγή σε Watts
- τη φωτεινότητα (luminance), δηλαδή την ενέργεια της ακτινοβολίας από τη θέση του παρατηρητή σε lumens (lm)
- η λαμπρότητά (brightness) του ως εκτίμηση της φωτεινότητας.

# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Χρωματικά Μοντέλα

Το μέγεθος της αντίληψης του χρώματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι:

- η διέγερση των φωτοευαίσθητων κυττάρων (κωνία),
- ο τρόπος φωτισμού και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η παρατήρηση.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της χρωματικής αντίληψης έχει ανάγκη από ένα μοντέλο που να τον περιγράφει με σαφήνεια και ακρίβεια

# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Χρωματικά Μοντέλα

Η αρχή πίσω από κάθε χρωματικό μοντέλο είναι η ανάλυση του κάθε χρώματος σε βασικά χρώματα και η ποσοτικοποίηση της συμμετοχής κάθε βασικού χρώματος στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος, προκειμένου να καταστεί εφικτή η ανασύνθεση του αρχικού χρώματος από τα συστατικά του.

Με αφαίρεση ενός βασικού χρώματος από ένα μοντέλο δεν είναι δυνατή η περιγραφή και ανασύνθεση των υπόλοιπων χρωμάτων. Επίσης, κανένα βασικό χρώμα δεν μπορεί να προκύψει από μίξη των υπόλοιπων βασικών.



# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Χρωματικά Μοντέλα

Υπάρχουν χρωματικά μοντέλα τα οποία είναι εξαρτώμενα από τη συσκευή προβολής, όπως είναι το RGB και το CMYK.

RGB: Red - Green - Blue

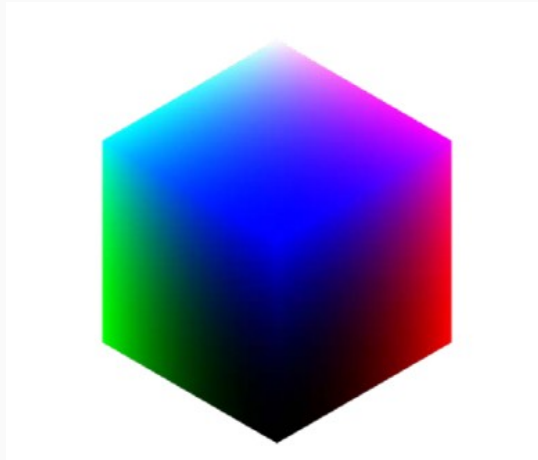
CMYK: Cyan - Magenta - Yellow - Black

# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Χρωματικά Μοντέλα - Το μοντέλο RGB

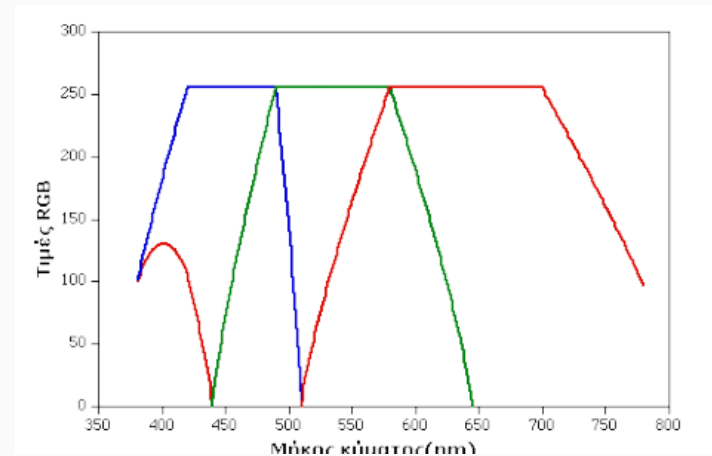
Πρόκειται, ίσως, για το πιο γνωστό χρωματικό μοντέλο και βασίζεται στα βασικά χρώματα Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε (Red, Green, Blue).

Σύμφωνα με αυτό, σε κάθε βασικό χρώμα αποδίδεται ένας αριθμός από το 0 έως το 255 (2<sup>8</sup>=256 τιμές), ή από το 0 έως το 1 σε κανονικοποιημένες τιμές. Μια τριάδα τέτοιων αριθμών αναπαριστά ένα χρώμα στο μοντέλο RGB, με δεδομένο ότι η τιμή μηδέν αντιστοιχεί στο μαύρο.

# Το μοντέλο RGB



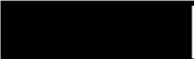














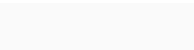
Ο χρωματικός κύβος RGB σε ισομετρική προβολή



Κατά προσέγγιση τιμές RGB με μήκη κύματος του ορατού φάσματος

# Το μοντέλο RGB

Μερικά παραδείγματα γνωστών χρωμάτων στο μοντέλο RGB

Χρώμα	Όνομα CSS	Δεκαεξαδική τιμή (#RRGGBB)	Τιμή decimal (R,G,B)
	Black	#000000	(0,0,0)
	White	#FFFFFF	(255,255,255)
	Red	#FF0000	(255,0,0)
	Lime	#00FF00	(0,255,0)
	Blue	#0000FF	(0,0,255)
	Yellow	#FFFF00	(255,255,0)
	Cyan / Aqua	#00FFFF	(0,255,255)
	Magenta / Fuchsia	#FF00FF	(255,0,255)
	Silver	#C0C0C0	(192,192,192)
	Gray	#808080	(128,128,128)
	Maroon	#800000	(128,0,0)
	Olive	#808000	(128,128,0)
	Green	#008000	(0,128,0)
	Purple	#800080	(128,0,128)
	Teal	#008080	(0,128,128)
	Navy	#000080	(0,0,128)

# Μια εικόνα που έχει αναλυθεί στα τρία κανάλια RGB



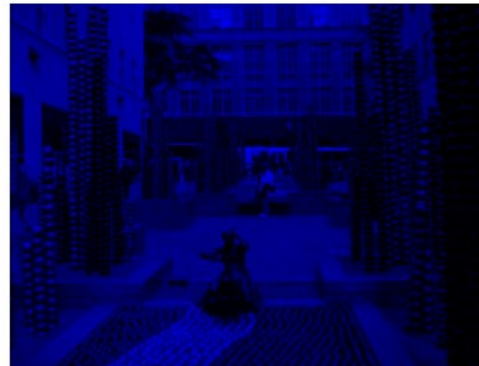
(α) Αρχική εικόνα



(β) Κανάλι R



(γ) Κανάλι G



(δ) Κανάλι B

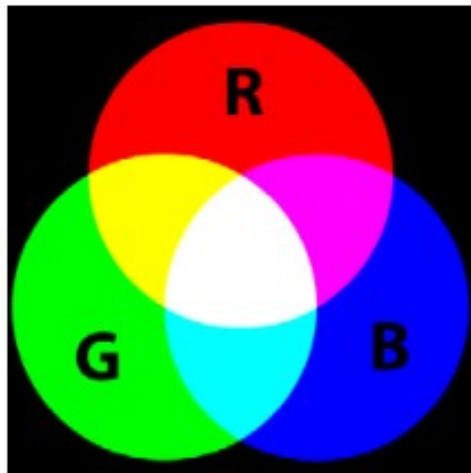
# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Χρωματικά Μοντέλα - Το μοντέλο CMY

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί το γαλάζιο (Cyan), το μαγεντιανό ερυθρό (Magenta) και το κίτρινο σε κατάλληλες αναλογίες, για να παράγει οποιοδήποτε χρώμα του χρωματικού φάσματος.

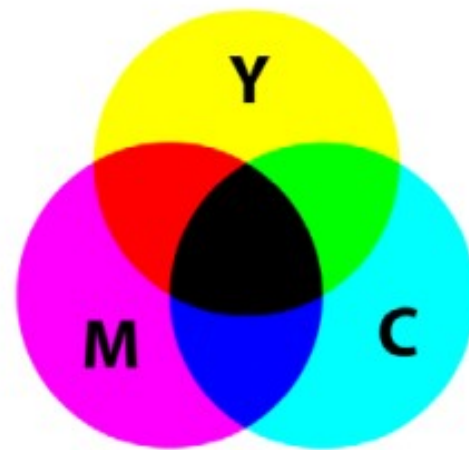
Η αρχή του μοντέλου CMY είναι παρόμοια με του RGB, με τη διαφορά ότι δημιουργήθηκε για να εξυπηρετεί καλύτερα τις τεχνολογίες εκτύπωσης, καθώς αυτές δέχονται ως **δεδομένη τη λευκή επιφάνεια** του χαρτιού. Αντίθετα, οι τεχνολογίες των οθονών δέχονται ως υπόβαθρο τη **μελανή οθόνη** (απουσία χρώματος).

**Το μοντέλο αυτό είναι αφαιρετικό (subtractive)- αυτό σημαίνει ότι η απουσία των βασικών χρωμάτων αντιστοιχεί στο λευκό, ενώ η παρουσία όλων οδηγεί στο μαύρο.**

# Οι διαφορές του προσθετικού και του αφαιρετικού μοντέλου



(α) Η παρουσία όλων των χρωμάτων σε ένα προσθετικό μοντέλο (π.χ. RGB) δημιουργεί το λευκό.



(β) Η παρουσία όλων των χρωμάτων σε ένα αφαιρετικό μοντέλο (π.χ. CMY) δημιουργεί το μαύρο.

# Το μοντέλο CMY

Το μειονέκτημα του χρωματικού μοντέλου CMY είναι και πάλι το ίδιο με αυτό του RGB, δηλαδή, ότι τα βασικά χρώματα από τα οποία παράγονται όλα τα υπόλοιπα δεν είναι αμιγή.

Το μοντέλο CMYK χρησιμοποιεί και το μαύρο ως επέκταση των βασικών χρωμάτων, προκειμένου να μπορέσει να παράγει πιο καθαρό μαύρο χρώμα (στο απλό μοντέλο CMY, ο συνδυασμός όλων των χρωμάτων παράγει ένα γκριζο-καφετί χρώμα).

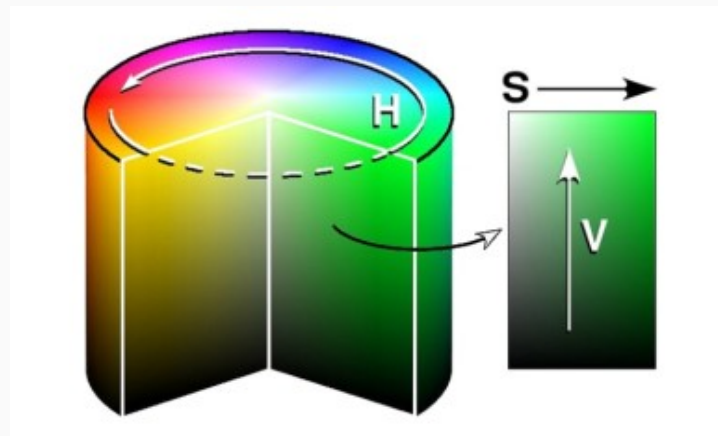
<b>Χρώμα 1</b>	<b>Χρώμα 2</b>	<b>Χρώμα 3</b>	<b>Αποτέλεσμα</b>
Ματζέντα	Κίτρινο	-	Κόκκινο
Κίτρινο	Γαλάζιο	-	Πράσινο
Γαλάζιο	Ματζέντα	-	Μπλε
Μαύρο	Γαλάζιο	Ματζέντα	Κίτρινο



# Η Χρήση του Χρώματος στις Ψηφιακές Εικόνες - Χρωματικά Μοντέλα - Το μοντέλο HSV

Το μοντέλο αυτό περιγράφει τα χρώματα με βάση τρεις παραμέτρους: τη Χροιά (**hue**), τον Κορεσμό (**saturation**) και την Αξία (**value** ή **lightness**).

Η χροιά προσδίδει στο χρώμα μια θέση στο χρωματικό κύκλο (γωνία περιστροφής), ο κορεσμός προσδίδει απόσταση από το κέντρο του κύκλου, ενώ η αξία δηλώνει την ποσοστιαία ένταση της λαμπρότητας (0-100%).



# Άλλα μοντέλα

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα άλλα χρωματικά μοντέλα.

- Το Μοντέλο CIE XYZ
- Το Μοντέλο RYB (παρόμοιο με RGB - Yellow αντί Green)
- Το Μοντέλο HSB (παρόμοιο με HSV - Brightness αντί για το Value)
- Το Μοντέλο HSI (παρόμοιο με HSV - Intensity αντί Value)
- Το Μοντέλο YIQ (luminance (Y), chromaticity(I) και type of color(Q))

Αξίζει να σημειωθεί : Μίξεις χρωμάτων με το μοντέλο RYB που χρησιμοποιείται στο χώρο της Τέχνης και της εκπαίδευσης στην Τέχνη.

Από το νηπιαγωγείο μαθαίνουμε τα βασικά χρώματα στα παιδιά.

Στην τέχνη λοιπόν τα βασικά χρώματα είναι το ΜΠΛΕ - ΚΟΚΚΙΝΟ - ΚΙΤΡΙΝΟ

Από αυτά μπορούμε να παράγουμε όλο και περισσότερα!



# Χάρτης Υφής

Η μοντελοποίηση της πολυπλοκότητας μιας επιφάνειας σε μικρο-επίπεδο θα απαιτούσε υπερβολικούς υπολογιστικούς πόρους, ενώ είναι αμφίβολο κατά όσο το αποτέλεσμα που θα προέκυπτε θα ήταν ρεαλιστικό.

Η επεξεργασία επιφανειών ώστε να αποκτήσουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ονομάζεται **Απόδοση Υφής (Texturing)**.

# Χάρτης Υφής

Στην έξοδο αυτής της διαδικασίας λαμβάνουμε υλικά τα οποία μιμούνται αυτά του φυσικού κόσμου, όπως είναι το ξύλο, διάφορα μέταλλα και υφάσματα. Κάθε υφή εξαρτάται από ένα σύνολο παραμέτρων που προσδιορίζουν τα παρακάτω:

- το χρώμα (color),
- η λάμψη (shininess),
- η ανακλαστικότητα (reflectivity),
- η διαφάνεια (transparency) ή η αδιαφάνεια (opaque),
- η λευκοπύρωση (incandescence),
- η διαύγεια (translucence),
- η ομαλότητα (smoothness).

# Χρονικά μεταβαλλόμενες υφές

Υπάρχουν και χρονικά μεταβαλλόμενες υφές οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη ρεαλιστική απόδοση υδάτινων όγκων, τη νέφωση κ.ά.

Σε κάθε περίπτωση, αυτό που χρειάζεται μια ρεαλιστική αναπαράσταση είναι η απεικόνιση της υφής και του ανάγλυφου μιας επιφάνειας του χώρου  $R^3$ . Γενικά υπάρχουν δύο μεγάλες κατευθύνσεις:

- η Απεικόνιση Χάρτη Υφής (Image Mapping) και
- η Συναρτησιακή Υφή (Procedural Texture mapping)

# Χάρτης Υφής

Επειδή η μεταφορά από τον τρισδιάστατο χώρο των μοντέλων στο δισδιάστατο χώρο της εικόνας της υφής δεν είναι εύκολη, πρώτα προβάλλεται η εικόνα της υφής πάνω σε μια ενδιάμεση επιφάνεια και στη συνέχεια 'τυλίγουμε' αυτήν την επιφάνεια πάνω στο αντικείμενο.

# Επίπεδη Απεικόνιση

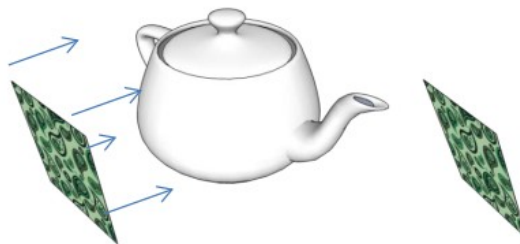
Η επίπεδη απεικόνιση (planar mapping) πραγματοποιείται με μια συνάρτηση απεικόνισης η οποία είναι επίπεδη και μοιάζει σαν να προβάλλει παράλληλα τα σημεία του αντικειμένου πάνω στο επίπεδό της. Είναι μια συνάρτηση  $R^3 \rightarrow T^2$  η οποία δεν είναι αμφιμονοσήμαντη.

Το ερώτημα είναι: με δεδομένο ένα σημείο  $(x, y, z)$  πάνω στο αντικείμενο, ποιο σημείο  $(u, v)$  της εικόνας της υφής θα χρησιμοποιήσουμε; Ουσιαστικά αυτό που ψάχνουμε είναι για καθένα σημείο πάνω στο αντικείμενο ένα άλλο σημείο πάνω στην εικόνα της υφής, για να βρούμε το χρώμα του.

Απαιτούμενα υλικά (εικόνα υφής & 3D μοντέλο)



Διαδικασία εφαρμογής της επίπεδης απεικόνισης (θέση, προσανατολισμός, κλίμακα)





# Κυλινδρική Απεικόνιση

Για παράδειγμα, στην κυλινδρική απεικόνιση μεταφερόμαστε από το χώρο καρτεσιανών συντεταγμένων  $(x,y,z)$  στο χώρο κυλινδρικών συντεταγμένων  $(\theta, h)$  για να προσδιορίσουμε έναν κύλινδρο ο οποίος περιβάλλει το αντικείμενο, και τελικά για να καταλήξουμε στην επιφάνεια  $(u,v)$  της υφής.

Απαιτούμενα υλικά (εικόνα υφής & 3D μοντέλο)



Διαδικασία εφαρμογής της κυλινδρικής απεικόνισης (κλίμακα)



# Σφαιρική Απεικόνιση

Παρομοίως, στη σφαιρική απεικόνιση μεταφερόμαστε από τον καρτεσιανό χώρο  $(x,y,z)$  στο χώρο  $(\varphi, \theta)$  μιας σφαίρας (σφαιρικές συντεταγμένες), για να καταλήξουμε τελικά στην επιφάνεια  $(u,v)$ .

Απαιτούμενα  
υλικά  
(εικόνα υψής  
& 3D  
μοντέλο)



Διαδικασία  
εφαρμογής  
της  
σφαιρικής  
απεικόνισης



Με τη μέθοδο της απεικόνισης χάρτη υφής κατορθώνουμε να αποδώσουμε ρεαλιστικές λεπτομέρειες πάνω σε λείες αναλυτικές ή πολυγωνικές επιφάνειες, χωρίς αλλαγή στη μορφολογία της επιφάνειας. Όλες οι λεπτομέρειες που θέλουμε να αποδοθούν στην επιφάνεια, δίνονται μέσα στην εικόνα της υφής. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η ευκολία αλλαγής της εμφάνισης ενός αντικειμένου με αντικατάσταση της εικόνας της υφής.