



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Μελέτη μοντέλων φωτισμού και μεθόδων απόδοσης

επιφανειών

**Study of illumination models and surface rendering
methods**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Μαχαιρά Παναγιώτη

Βόλος, Σεπτέμβριος 2014

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Μελέτη μοντέλων φωτισμού και μεθόδων απόδοσης
επιφανειών**

**Study of illumination models and surface rendering
methods**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Μαχαιρά Παναγιώτη

ΑΕΜ: 536

Επιβλέποντες :

Τσομπανοπούλου Παναγιώτα	Μποζάνης Παναγιώτης
Επίκουρος Καθηγήτρια– Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ΤΗΜΜΥ	Αναπληρωτής Καθηγητής – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ΤΗΜΜΥ

Εγκρίθηκε από την διμελή εξεταστική επιτροπή την ημερομηνία εξέτασης

(Υπογραφή)

.....

ΚΥΡΙΟΣ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Τσομπανοπούλου Παναγιώτα

Επίκουρος Καθηγήτρια

Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

(Υπογραφή)

.....

ΔΕΥΤΕΡΕΥΩΝ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Μποζάνης Παναγιώτης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

(Υπογραφή)

.....

Μαχαιράς Παναγιώτης

Διπλωματούχος Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και
Δικτύων του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών,
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

© 2014 – All rights reserved

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ.....	1
1.1	ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	2
1.2	ΒΑΣΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	3
1.3	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	8
2	ΣΚΙΑΣΗ.....	12
2.1	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΥΦΗΣ	15
2.1.1	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΦΑΙΡΑ	17
2.1.2	ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΥΒΟΥ	17
2.1.3	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΞΟΓΚΩΜΑΤΩΝ	18
2.1.4	ΑΛΛΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ	19
2.2	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ	20
2.2.1	ΣΚΙΑΣΗ RHONG.....	20
2.2.2	ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΚΙΑΣΗ GOURAUD	21
2.2.3	ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗ ΣΚΙΑΣΗ	21
2.2.4	ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΟΠΤΙΚΟΥ ΡΕΑΛΙΣΜΟΥ	24
2.2.5	ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	25
2.3	ΒΕΛΤΙΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΚΙΑΣΗ ΟΘΟΝΗΣ.....	26
2.3.1	ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	27
2.3.2	ΒΕΛΤΙΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	29

2.3.3	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΡΑΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	33
2.3.4	ΓΡΗΓΟΡΗ ΣΚΙΑΣΗ RHONG	36
2.3.5	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΚΙΑΣΗΣ RHONG ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ EULER.....	37
2.3.6	ΤΑΧΥΤΕΡΗ ΣΚΙΑΣΗ RHONG ΜΕΣΩ ΓΩΝΙΑΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ.....	39
3	ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	42
3.1	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΟΛΥΓΟΝΩΝ	43
3.2	ΤΥΠΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΙΩΝ.....	49
3.2.1	ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΑΚΤΙΝΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ..	53
3.3	ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	55
3.3.1	ΟΡΟΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	56
3.3.2	ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	57
3.3.3	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΟΡΦΗΣ	59
3.4	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ RADIOSITY	61
3.4.1	MATRIX RADIOSITY.....	63
3.4.2	ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΤΑΔΙΑΚΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	64
3.4.3	SUBSTRUCTING	66
3.4.4	WAVELET RADIOSITY	68
3.5	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ.....	69
3.5.1	ΟΠΤΙΚΑ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ.....	69

3.6	ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ	73
3.6.1	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ BACK-BUFFER.....	74
3.6.2	ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ RADIOSITY ΚΑΙ ΑΝΑΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	74
3.7	ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	76
	Βιβλιογραφία	79

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει βάση την μελέτη μοντέλων φωτισμού και μεθόδων απόδοσης επιφανειών εστιάζοντας στους αλγορίθμους βελτιστοποίησης και άλλες παράλληλες μεθόδους για αποτελεσματικότερη απόδοση των επιφανειών σε γραφικό περιβάλλον. Αρχικά σε κάθε κεφάλαιο γίνεται αναφορά για το τι πραγματεύεται το θέμα του φωτισμού της σκίασης και της απόδοσης επιφανειών και τα χαρακτηριστικά τους. Εν συνεχεία απαριθμούνται οι βασικοί αλγόριθμοι που υπάρχουν και πως ενεργούν, επίσης αναφέρονται τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα και η απόδοσή τους. Τέλος παρουσιάζονται οι προτεινόμενοι βελτιωμένοι αλγόριθμοι και μέθοδοι και αναλύονται εκτενέστερα.

Για να δημιουργήσουμε φαινομενικά ρεαλιστικές ή και ακόμη ημι-ρεαλιστικές σκηνές πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα σωστό μοντέλο φωτισμού. Για να δημιουργήσουμε ένα πετυχημένο μοντέλο (επίδρασης) φωτισμού πρέπει να λάβουμε υπόψη το περιβάλλον φως, τις διάχυτες ανακλάσεις και τις κατοπτρικές ανακλάσεις.

Η ρεαλιστική παράσταση του φωτισμού στα γραφικά υπολογιστών επιτυγχάνεται μέσω της θεωρίας της οπτικής. Μπορούμε να πάρουμε ρεαλιστικές απεικονίσεις μίας σκηνής με την εφαρμογή εφέ φυσικού φωτισμού στις ορατές επιφάνειες. Ένα μοντέλο φωτισμού χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χρώματος των αντικειμένων τα οποία φωτίζονται. Ένα μοντέλο φωτισμού πρέπει να λαμβάνει υπόψη του διάφορες παραμέτρους που μπορεί να επηρεάζουν αυτό το αποτέλεσμα όπως η κατεύθυνση του προσπίπτοντος φωτός, η κατεύθυνση παρατήρησης, ο προσανατολισμός της επιφάνειας του αντικειμένου, η ανακλαστικότητα του υλικού ακόμα και η υφή του. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί από τους βασικούς τύπους φωτισμού, τα βασικά μοντέλα φωτισμού και μερικοί αλγόριθμοι φωτισμού που βασίζονται στο μοντέλο του Phong.

1.1 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Οποιοδήποτε αντικείμενο που εκπέμπει φωτεινή ενέργεια είναι μία πηγή φωτός, που με την βοήθεια της δημιουργούνται τα εφέ φωτισμού για τα άλλα αντικείμενα σε μία σκηνή. Μία πηγή φωτός μπορεί να μοντελοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Η επιλογή του τύπου φωτός είναι υποκειμενική και επηρεάζεται από τον χρήστη και της προτιμήσεις του. Οι βασικοί τύποι φωτισμού είναι ίδιοι σε όλα τα πακέτα λογισμικού

Σημειακός φωτισμός

Το απλούστερο μοντέλο μίας πηγής φωτισμού είναι η σημειακή πηγή φωτός, ενός μόνο χρώματος που ορίζεται με τα τρία στοιχεία της μεθόδου RGB. Η πιο γνωστή πηγή φωτός είναι ο ήλιος. Ωστόσο ποτέ δεν προσομοιώνεται ως ένα φωτεινό σημείο. Αυτό συμβαίνει γιατί, το μοντέλο του σημειακού φωτισμού αποτελεί μια καλή προσέγγιση όταν η πηγή είναι πολύ μικρότερη από τα αντικείμενα της σκηνής. Ο σημειακός τύπος φωτισμού δεν ενδείκνυται για τον φωτισμό μίας σκηνής καθώς η διαδικασίες σκίασης απαιτούν μεγάλη μνήμη και υπολογιστική ισχύ. Για τον λόγο αυτό, συνίσταται η χρήση σημειακών προβολέων.

Σημειακοί προβολείς

Στους σημειακούς προβολείς, οι ακτίνες εξαπλώνονται με κωνικό τρόπο, το οποίο καθιστά τους σημειακούς προβολείς κατάλληλους για την προσομοίωση του διάχυτου φωτός. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου φωτισμού, σε αντίθεση με τις πηγές

σημειακού φωτισμού, είναι η δυνατότητα φωτισμού συγκεκριμένων αντικειμένων σε μία σκηνή.

Άμεσος η παράλληλος φωτισμός

Μια μεγάλη πηγή φωτός, όπως ο ήλιος, η οποία βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση από την σκηνή μπορεί να προσομοιωθεί ως μία σημειακή πηγή φωτός. Η διαφορά σε σχέση με μία πηγή η οποία βρίσκεται πιο κοντά στην σκηνή είναι ότι τα διανύσματα διεύθυνσης εκπομπής είναι παράλληλα μεταξύ τους, με αποτέλεσμα οι σκιές των αντικειμένων της σκηνής να έχουν την ίδια κατεύθυνση.

1.2 ΒΑΣΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Τα μοντέλα φωτισμού δημιουργούν το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην προσπίπτουσα εκπεμπόμενη ενέργεια και στη σύνθεση του υλικού ενός αντικειμένου. Για την απλοποίηση των υπολογισμών φωτισμού των επιφανειών χρησιμοποιούνται προσεγγιστικές μέθοδοι. Εμπειρικά μοντέλα παράγουν αρκετά καλά αποτελέσματα χωρίς ιδιαίτερα μεγάλες υπολογιστικές απαιτήσεις. Από την άλλη, μέθοδοι που προσομοιώνουν μοντέλα φυσικής οπτικής παράγουν πολύ φυσικότερα αποτελέσματα αλλά με κόστος πολύ μεγάλη πολυπλοκότητα. Σημειώνεται επίσης ότι έχουμε δυο κατηγορίες φωτισμού, τοπικός φωτισμός όπου το φως έρχεται στα αντικείμενα κατευθείαν από τις φωτεινές πηγές και ανακλάται στο μάτι, γενικός φωτισμός όπου λαμβάνεται υπόψη και το φως που αναπηδά από άλλες επιφάνειες

πριν ανακλαστεί από το αντικείμενο στο μάτι μας . Μερικά από τα σημαντικότερα μοντέλα φωτισμού παρουσιάζονται παρακάτω.

Φως περιβάλλοντος

Σε αυτό το μοντέλο φωτισμού μπορούμε να συμπεριλάβουμε τον φωτισμό του φόντου, έτσι ορίζεται ένας ομοιόμορφος φωτισμός περιβάλλοντος ίδιος για όλα τα αντικείμενα. Υποθέτοντας ότι το φως του φόντου είναι μονοχρωματικό ορίζεται μία παράμετρος έντασης I_a , η οποία είναι η ένταση του διάχυτου φωτισμού που επικρατεί στον χώρο. Οι αντανάκλασεις των αντικειμένων είναι μία μορφή διάχυτης ανάκλασης. Το προσλαμβανόμενο διάχυτο φως δεν εξαρτάται από τον προσανατολισμό της επιφάνειας των αντικειμένων ούτε από την διεύθυνση θέασης. Ωστόσο κάθε αντικείμενο χαρακτηρίζεται από μία παράμετρο K_a που αναφέρεται στα φυσικά χαρακτηριστικά του. Η ποσότητα του προσπίπτοντος φωτός που ανακλάται εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας, δηλαδή από την παράμετρο K_a .

Διάχυτη αντανάκλαση(Lambertian reflection)

Σε αυτό το μοντέλο φωτισμού οι αντανάκλασεις που προέρχονται από την επιφάνεια ενός αντικειμένου μπορούν να μοντελοποιηθούν υποθέτοντας ότι η ενέργεια πρόσπτωσης διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις με την ίδια ένταση, ανεξάρτητα από την γωνία θέασης. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει στους ανακλαστήρες Lambert όπου η ενέργεια που αντανάκλαται από την επιφάνεια υπολογίζεται από τον νόμο συνημίτονου του Lambert. Ειδικότερα σύμφωνα με αυτό το μοντέλο μία στοιχειώδης περιοχή dA , ανακλά προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση φως έντασης:

Ορίζεται μια παράμετρος K_d η οποία καθορίζει το ποσό του φωτός που διασκορπίζεται ως διάχυτη αντανάκλαση. Η παράμετρος αυτή ονομάζεται συντελεστής διάχυτης αντανάκλασης (diffuse – reflection coefficient). Η παράμετρος K_d παίρνει τιμές ανάμεσα στο μηδέν και το ένα. Μία ιδιαίτερα κατοπτρική επιφάνεια έχει τιμή κοντά στο ένα, ενώ μία επιφάνεια που απορροφά το περισσότερο από το προσπίπτον φως έχει τιμή κοντά στο μηδέν. Επομένως εάν I_a είναι η ένταση του φωτός του περιβάλλοντος η διάχυτη αντανάκλαση δίνεται από τον τύπο:

$$I_{\text{αντανάκλασης}} = K_d \cdot I_a$$

Όταν μία επιφάνεια φωτίζεται από μία φωτεινή πηγή με ένταση I_l η ποσότητα του προσπίπτοντος φωτός εξαρτάται από τον προσανατολισμό της επιφάνειας σε σχέση με την διεύθυνση της πηγής φωτός.

Η ποσότητα του προσπίπτοντος φωτός σε μία επιφάνεια δίνεται από τον τύπο:

$$I_{l, \text{επιφανειας}} = I_l \cos\theta$$

όπου θ η γωνία μεταξύ του μοναδιαίου διανύσματος N που είναι κάθετο στην επιφάνεια και του μοναδιαίου διανύσματος L που έχει κατεύθυνση παράλληλη προς τις προσπίπτουσες φωτεινές ακτίνες.

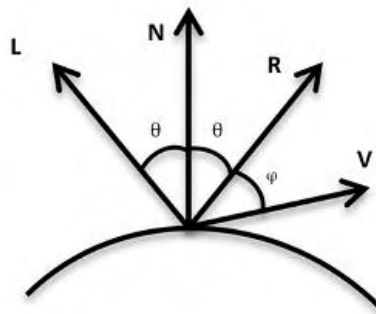
Από τους δύο προηγούμενους τύπους προκύπτει ότι:

$$I_{l, \text{αντανάκλασης}} = K_d I_{l, \text{επιφανειας}} = K_d I_l \cos\theta = K_d I_l (N \cdot L)$$

Μοντέλο ανάκλασης του Phong

Η κατοπτρική αντανάκλαση πάνω σε μία γυαλιστερή επιφάνεια είναι αποτέλεσμα συνολικής, ή σχεδόν συνολικής αντανάκλαση του προσπίπτοντος φωτός. Η γωνία

κατοπτρικής αντανάκλασης ισούται με την γωνία του προσπίπτοντος φωτός σε σχέση με το κάθετο διάνυσμα N στην επιφάνεια του αντικειμένου. Στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 1) το διάνυσμα L έχει κατεύθυνση προς την πηγή φωτός και το διάνυσμα R την διεύθυνση της τέλει κατοπτρικής αντανάκλασης. Το διάνυσμα V έχει διεύθυνση προς τον παρατηρητή και η γωνία φ που σχηματίζεται ανάμεσα στο R και στο V ονομάζεται γωνία θέασης.



Σχήμα 1

Στην περίπτωση ενός τέλει ανακλαστήρα το ανακλώμενο φως θα ήταν ορατό μόνο αν η φ ισούταν με το μηδέν καθώς θα υπήρχε αντανάκλαση φωτός μόνο προς την διεύθυνση της κατοπτρικής αντανάκλασης. Συνήθως όμως τα αντικείμενα που έχουμε να κάνουμε παρουσιάζουν κατοπτρικές αντανάκλασης ορατές για διάφορες τιμές φ . Όσο πιο θαμπή είναι μία επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη μπορεί να γίνει η γωνία φ . Σύμφωνα με το μοντέλο κατοπτρικής αντανάκλασης Phong , η ένταση της αντανάκλασης είναι ανάλογη του $\cos^{n_s}\varphi$. Η γωνία φ μπορεί να πάρει τιμές από 0° έως 90° έτσι το $\cos\varphi$ κυμαίνεται από 1.0 έως 0.0. Ο όρος n_s ονομάζεται εκθέτης κατοπτρικής αντανάκλασης και ποικίλει ανάλογα με τον τύπο της επιφάνειας. Μία γυαλιστερή επιφάνεια παίρνει μεγάλες τιμές (πχ 100) ενώ για μία επιφάνεια αρκετά θαμπή η τιμή του n_s πλησιάζει το 1. Η ένταση της κατοπτρικής αντανάκλασης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, ένας από αυτούς είναι και το χρώμα του

προσπίπτοντος φωτός. Η μονοχρωματική κατοπτρική ένταση μπορεί να μοντελοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα συντελεστή κατοπτρικής αντανάκλασης $W(\theta)$. Το $W(\theta)$ αυξάνει καθώς αυξάνεται η γωνία πρόσπτωσης. Χρησιμοποιώντας το νόμο της αντανάκλασης του Fresnel και την συνάρτηση φασματικής αντανάκλασης $W(\theta)$ του μοντέλου του Phong γράφεται ως εξής:

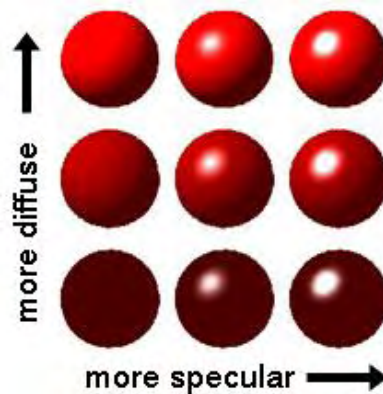
$$I_{i,spec} = W(\theta) I_i \cos^n \phi$$

Γνωρίζοντας ότι $V \cdot R = \cos \phi$ έχουμε:

$$I_{i,spec} = k_s I_i (V \cdot R)^n \quad \text{αν το } V \cdot R > 0 \text{ και } N \cdot L > 0, \text{ η μηδέν διαφορετικά.}$$

Για μια μόνο πηγή φωτός μπορούμε να συνδυάσουμε την επίδραση της διάχυτης και της κατοπτρικής ανάκλασης ως $I = I_{diff} + I_{spec}$. Για πολλαπλές πηγές φωτός υπολογίζουμε τις διάχυτες (diffuse) και τις κατοπτρικές (specular) ανακλάσεις ως άθροισμα των επιμέρους συνεισφορών από τις διαφορετικές πηγές

$$I = I_{amb} + \sum_{1 < i < N} [I_{i,diff} + I_{i,spec}]$$



Σχήμα 2

1.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Στην ενότητα αυτή θα εξεταστούν αλγόριθμοι φωτισμού που βασίζονται στον μοντέλο του Phong. Το μοντέλο φωτισμού του Phong είναι ένα εμπειρικό μοντέλο φωτισμού, το οποίο δεν λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση του φωτός μεταξύ αντικειμένων και χρησιμοποιεί όρους που δεν συνδέονται άμεσα με τους φυσικούς νόμους.

Γενικά οι αλγόριθμοι φωτισμού χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Προσθετικούς αλγορίθμους
- Αλγορίθμους παρακολούθησης ακτίνας
- Αλγορίθμους τύπου radiosity

Η πρώτη ομάδα αλγορίθμων χρησιμοποιεί εμπειρικά μοντέλα φωτισμού. Οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν την εξής βασική λειτουργία. Ξεκινούν με ένα σταθερό φωτισμό, στην συνέχεια προχωρούν με μία φθίνουσα φωτεινότητα ανάλογα με την απόσταση από την φωτεινή πηγή και τέλος παρατηρείται μια παρεμβολή στην ένταση της φωτεινότητας εντός της πολυγωνικής επιφάνειας.

Η δεύτερη ομάδα χρησιμοποιεί αναλυτικά μοντέλα φωτισμού και για την καλύτερευση των εμπειρικών μοντέλων φωτισμού ενσωματώνει αποτελέσματα της οπτικής και της φυσικής. Οι αλγόριθμοι λαμβάνουν υπόψη τους τις δομές των επιφανειών και τους αντικατοπτρισμούς. Με την χρήση των αλγορίθμων αυτών διορθώνεται η γεωμετρία της σκηνής και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον καλύτερο υπολογισμό των ανακλάσεων, διαθλάσεων και σκιών.

Η τρίτη ομάδα αλγορίθμων χρησιμοποιεί ακριβή μοντέλα για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιότητες των φωτεινών πηγών και υλικών και χρησιμοποιούν μεθόδους που εξαρτώνται από το μήκος κύματος λ .

Αλγόριθμος σταθερού φωτισμού

Ο απλούστερος αλγόριθμος φωτισμού για πολυγωνικά αντικείμενα χρησιμοποιεί σταθερή τιμή φωτεινότητας για κάθε πολύγωνο, επομένως το γινόμενο $N * L$, παραμένει σταθερό σε όλη την επιφάνεια. Εφαρμόζει μία σταθερή τιμή φωτισμού και διάχυτη ανάκλαση και δεν χρησιμοποιεί κατοπτρική ανάκλαση ούτε ελάττωση φωτισμού με βάση την απόσταση από την φωτεινή πηγή. Αν τα σημεία της παρατήρησης και της φωτεινής πηγής βρίσκονται σε άπειρη απόσταση δεν δημιουργούνται σκιές και ο όρος είναι σταθερός για κάθε επιφάνεια του πολυγώνου. Αν τα σημεία φωτισμού και παρατήρησης βρίσκονται στον θετικό άξονα Z τότε η εξίσωση φωτισμού είναι:

$$I = I_e + I_a K_a + I_l K_d n_z$$

Η τιμή της έντασης I υπολογίζεται μία φορά και χρησιμοποιείται για κάθε pixel του πολυγώνου.

Το βασικό μειονέκτημα του αλγορίθμου αυτού είναι πως το ανθρώπινο μάτι είναι ευαίσθητο σε ασυνέχειες φωτισμού με αποτέλεσμα να γίνονται εμφανή τα πολυγωνικά όρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να τονίζεται η πολυγωνική δομή του αντικειμένου. Μια απλή λύση για το πρόβλημα αυτό είναι η χρήση κάποιου είδους παρεμβολής του φωτισμού.

Αλγόριθμος του Gouraud

Ο αλγόριθμος του Gouraud είναι ένας απλός αλγόριθμος παρεμβολής φωτισμού. Ο αλγόριθμος αυτός διορθώνει το μειονέκτημα του αλγορίθμου σταθερού φωτισμού καθώς υπολογίζει τιμές έντασης για εσωτερικά ρixel πολυγώνων παρεμβάλλοντας τις τιμές έντασης των κορυφών. Οι τιμές έντασης στις κορυφές υπολογίζονται με βάση κάποιο μοντέλο φωτισμού (πχ Phong). Αφού υπολογιστούν οι τιμές έντασης των κορυφών, παρεμβάλλονται γραμμικά κατά μήκος των ακμών του πολυγώνου και μεταξύ των ακμών. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από την εφαρμογή του αλγορίθμου του Gouraud είναι πολύ καλύτερα από τον αλγόριθμο σταθερού φωτισμού.

Αλγόριθμος του Phong

Αν και ο αλγόριθμος Gouraud επιλύει σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα ασυνέχειας, υπάρχουν ακόμα αρκετά θέματα προς επίλυση. Ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα είναι πως η γραμμική παρεμβολή διατηρεί ασυνέχειες δευτέρου βαθμού, οι οποίες είναι ορατές. Ο αλγόριθμος του Phong λύνει το παραπάνω πρόβλημα εφαρμόζοντας το μοντέλο του Phong σε κάθε ρixel. Με αυτόν τον αλγόριθμο η φωτεινότητα κάθε ρixel υπολογίζεται ξεχωριστά. Τα απαιτούμενα κανονικά διανύσματα υπολογίζονται με παρεμβολή των κανονικών διανυσμάτων των κορυφών. Το αποτέλεσμα του Phong είναι σαφώς καλύτερο από το αποτέλεσμα του Gouraud. Το μοναδικό πρόβλημα είναι ότι απαιτείται μεγάλο υπολογιστικό κόστος καθώς έχουμε υπολογισμό της εξίσωσης φωτισμού για κάθε ρixel. Στις μέρες μας αυτό το

πρόβλημα παύει να είναι σημαντικό λόγω της μεγάλης αύξησης της επεξεργαστικής ισχύος των επεξεργαστών γραφικών.

Στην απλή του μορφή το μοντέλο φωτισμού του Phong μπορεί να περιγράψει ως

$$I=I_d+I_s+I_a$$

Οπού η ένταση του φωτός I υπολογίζεται ως το άθροισμα του διάχυτου φωτός I_d , του κατοπτρικού φωτός I_s και του φωτός του περιβάλλοντος I_a . Το διάχυτο φως είναι το φως που προέρχεται από ένα τέλειο ματ υλικό. $I_d = \cos^2 f = n^2 I$, όπου n είναι το διάνυσμα κάθετο στην επιφάνεια I είναι το διάνυσμα προς την πηγή φωτός και f ανάμεσα. Το κατοπτρικό φως είναι το φως που αντανακλάται σε με γυαλιστερή επιφάνεια και είναι ορατό ως τα highlights ενός αντικείμενου. Ο υπολογισμός του απαιτεί ένα διάνυσμα που είναι προς τον θεατή v και ένα διάνυσμα αντανάκλασης r . $I_s = \cos^2 f' = (r \cdot v)^2$, όπου $r = 2n(n \cdot I) - I$ και f' η γωνία ανάμεσα σε r και v . Τέλος το φως περιβάλλοντος είναι μια προσέγγιση του φως που περιβάλλει τον χώρο και είναι αποτέλεσμα των αντανακλάσεων μεταξύ των αντικειμένων. Αυτό το μοντέλο δεν βασίζεται στην φυσική αλλά παράγει φυσικά αποδεκτά αποτελέσματα.

Μία από τις πιο σημαντικές διεργασίες για να δημιουργήσουμε μια εικόνα με ευκρινή χαρακτηριστικά είναι αυτή της *σκίασης*. Αυτό σημαίνει να εξετάσουμε τα αντικείμενα και τους χρωματισμούς τους αν τοποθετήσουμε πηγή φωτός μέσα στη σκηνή ή έξω από αυτήν. Το όνομα «σκίαση» μπορεί να είναι παραπλανητικό καθώς δεν ορίζονται σκιές αλλά χρωματισμοί. Οι πρώτες μελέτες πάνω στη σκίαση έγιναν από τον Henry Gouraud στις αρχές της δεκαετίας του '70. Το μοντέλο σκίασής του περιλάμβανε μόνο την διαχεόμενη (diffuse) ή την Lambertian ανάκλαση του φωτός από τα αντικείμενα. Συνεπώς δεν μπορούσε να αναπαραστήσει αντικείμενα με κατοπτρικές ιδιότητες, όπως τα μέταλλα.

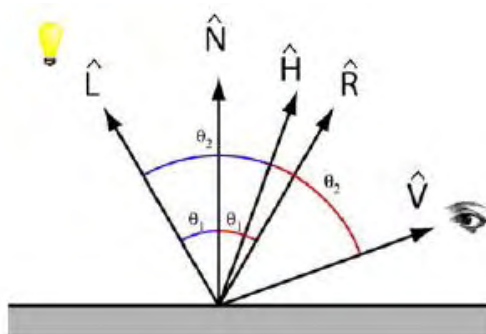
Ο Bui-Tuong Phong βελτίωσε σημαντικά το μοντέλο του Gouraud προσθέτοντας έναν όρο για την κατοπτρική ανάκλαση (specular reflection). Σύμφωνα με αυτό το βελτιωμένο μοντέλο, εκτός από την κανονική επιφάνεια και το εισερχόμενο φως, η ένταση του κατοπτρικού φωτός εξαρτάται επίσης από τη θέση θέασης. Ο Phong ανέπτυξε μια αναλυτική έκφραση ευρηστικού μοντέλου για μια σειρά από επιφάνειες μεταξύ διάχυτων και αυτών σαν καθρέφτη προσθέτοντας έναν όρο που ελέγχει την εξάπλωση των κατοπτρικών highlight, τα οποία συχνά αναφέρονται ως λάμψη του υλικού. Η εξίσωση φωτισμού σε αυτή τη μορφή είναι γνωστή ως φωτισμός Phong. Ο Phong βελτίωσε επίσης την Gouraud σκίαση, επισημαίνοντας ότι παρά την παρεμβολή του χρώματος σε ένα τρίγωνο, πρέπει κανείς να παρεμβάλει τα καθετα διανύσματα σε μια επιφάνεια και να επαναξιολογήσει την εξίσωση φωτισμού σε κάθε pixel - ένας αλγόριθμος γνωστός ως σκίαση Phong.

Το μοντέλο του Phong βελτιώθηκε περαιτέρω από τον James Blinn ο οποίος βασίστηκε στις μελέτες των Torrence-Sparrow για την ανάκλαση του φωτός από τυχαίες επιφάνειες. Η θεωρία τους αναφέρει ότι στο μικρό-επίπεδο, κάθε υλικό

αποτελείται από πολυάριθμες κατοπτρικές πτυχές με κάποια πιθανοτική κατανομή του προσανατολισμού. Η ιδέα του Blinn ήταν να μετρήσει πόσο η μέση επιφάνεια αποκλίνει από την 'ιδανική κανονική' που αντανακλά όλο το φως προς τον θεατή. Σύμφωνα με το νόμο του Snell για την αντανάκλαση, αυτό το ιδανικό είναι ο φορέας διχοτόμος ανάμεσα στο φως και την κατεύθυνση προς το θεατή, που ονομάζεται επίσης ημι-φορέας. Ενόψει αυτού του γεγονότος, ο Blinn μοντελοποίησε τα κατοπτρικά highlights να είναι ισχυρότερα όταν ο κανονικός και ο ημι-φορέας συμπίπτουν και να ασθενούν όταν αποκλίνουν. Το μοντέλο του Phong τροποποιημένο κατά Blinn είναι ένα από τα πιο ευρέως αποδεκτά στη βιομηχανία γραφικών για υπολογιστές.

Τα διανύσματα που λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς της σκίασης είναι :

- $\hat{\mathbf{N}}$: μοναδιαίο διάνυσμα κάθετο στην επιφάνεια, βαθμίδα.
 - $\hat{\mathbf{L}}$: μοναδιαίο διάνυσμα στην κατεύθυνση της πηγής φωτός.
 - $\hat{\mathbf{V}}$: μοναδιαίο διάνυσμα στην κατεύθυνση του παρατηρητή.
 - $\hat{\mathbf{R}}$: μοναδιαίο διάνυσμα στην κατεύθυνση του ιδανικά ανακλώμενου φωτός.
- $$\hat{\mathbf{H}} = \frac{\hat{\mathbf{L}} + \hat{\mathbf{V}}}{|\hat{\mathbf{L}} + \hat{\mathbf{V}}|} : \text{μοναδιαίο διάνυσμα στην κατεύθυνση } \hat{\mathbf{L}} + \hat{\mathbf{V}} .$$



Σχημα 3 Τα διανύσματα $\hat{\mathbf{L}}, \hat{\mathbf{N}}, \hat{\mathbf{R}}$ ανήκουν στο ίδιο επίπεδο, όπως και τα $\hat{\mathbf{L}}, \hat{\mathbf{H}}, \hat{\mathbf{V}}$. Τα δύο επίπεδα δεν συμπίπτουν απαραίτητα.

Η εξίσωση σκίασης του Phong είναι η εξής:

$$c_{\lambda}(x_i) = c_{p,\lambda} K_{a,\lambda} + \frac{c_{p,\lambda}}{k_1 + k_2 d(x_i)} \left[K_{d,\lambda} (\hat{\mathbf{N}}(x_i) \hat{\mathbf{L}}) + K_{s,\lambda} (\hat{\mathbf{V}} \hat{\mathbf{R}})^n \right]$$

$c_\lambda(x_i)$: λ-συνιστώσα του χρώματος στο ογκοστοιχείο x_i . $\lambda = r, b, g$

$c_{p,\lambda}$: λ-συνιστώσα του χρώματος της φωτεινής πηγής

$K_{a,\lambda}$: συντελεστής περιβάλλουσας ανάκλασης για τη λ-συνιστώσα του χρώματος

$K_{d,\lambda}$: συντελεστής διαχεόμενης ανάκλασης για τη λ-συνιστώσα του χρώματος

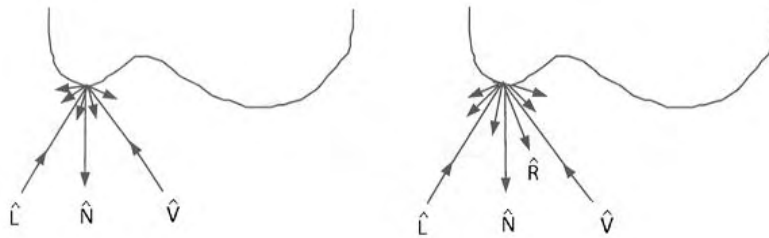
$K_{s,\lambda}$: συντελεστής κατοπτρικής ανάκλασης για τη λ-συνιστώσα του χρώματος

n : εκθέτης που καθορίζει την διασπορά της κατοπτρικής ανάκλασης

$d(x_i)$: απόσταση του ογκοστοιχείου από το επίπεδο προβολής

k_1, k_2 : σταθερές που χρησιμοποιούνται στη γραμμική προσέγγιση της αναπαράστασης βάθους (depth cueing)

Ο όρος $K_{d,\lambda}(\hat{N}(x_i)\hat{L})$ αντιπροσωπεύει τη διαχεόμενη ανάκλαση, ενώ ο όρος $K_{s,\lambda}(\hat{V}\hat{R})^n$ την κατοπτρική ανάκλαση.



Σχήμα 4

Στη διαχεόμενη ανάκλαση στην εικόνα (Σχήμα 3 αριστερά) το φως ανακλάται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, ενώ στην κατοπτρική ανάκλαση (δεξιά) το φως ανακλάται σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό στη διεύθυνση της ιδανικής ανάκλασης (\hat{R}).

Το μοντέλο του Blinn διαφέρει από του Phong στην περιγραφή της κατοπτρικής ανάκλασης:

$$c_\lambda(x_i) = c_{p,\lambda} K_{a,\lambda} + \frac{c_{p,\lambda}}{k_1 + k_2 d(x_i)} \left[K_{d,\lambda}(\hat{N}(x_i)\hat{L}) + K_{s,\lambda}(\hat{N}(x_i)\hat{H})^n \right]$$

Στον όρο της κατοπτρικής ανάκλασης το εσωτερικό γινόμενο $\hat{V}\hat{R}$ έχει αντικατασταθεί από το $\hat{N}(x_i)\hat{H}$. Από φυσική άποψη το μοντέλο του Blinn είναι πιο ακριβές.

Τα μοντέλα της σκίασης χρησιμοποιούνται τόσο για απόδοση επιφανειών όσο και για απόδοση όγκου

2.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΥΦΗΣ

Η χαρτογράφηση υφής είναι μια ισχυρή τεχνική για προσθήκη ρεαλισμού σε σκηνές δημιουργούμενες από υπολογιστή. Ουσιαστικά η χαρτογράφηση υφής σχεδιάζει την υφή μιας εικόνας επάνω σε ένα τρίγωνο. Ένα σχέδιο υφής μπορεί να οριστεί είτε σε ένα πινάκα χρωματικών τιμών είτε με μια διαδικασία που τροποποιεί τα χρώματα του αντικείμενου. Ο ορισμός οποιασδήποτε υφής ονομάζεται χώρος υφής στον οποίο αναφερόμαστε με συντεταγμένες υφής στο διάστημα 0 έως 1. Ο αλγόριθμος παίρνει σαν είσοδο τις συντεταγμένες υφής των κορυφών τριγώνου και τότε παρεμβάλλει γραμμικά συντεταγμένες υφής στο τρισδιάστατο χώρο. Όταν αυτή η παρεμβολή υπολογίζεται σε 2-D χώρο της εικόνας απαιτείται μια διαίρεση προοπτικής για να επιτευχθεί αυτή η παρεμβολή, προκειμένου να μοντελοποιηθεί η εστίαση στην τυπική προοπτική.

Η χαρτογράφηση υφής είναι ευέλικτη για δύο λόγους: πρώτον, οι συντεταγμένες υφής σε κορυφές τριγώνου μπορούν να ληφθούν με πολλούς τρόπους και δεύτερον, οι τιμές υφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς τρόπους. Συχνά, οι συντεταγμένες υφής είναι προκαθορισμένες ως μέρος της περιγραφής μοντέλου, όπου αυτά χρησιμοποιούνται για να μπουν οι εικόνες πάνω στο αντικείμενο σαν ετικέτες. Ωστόσο, οι συντεταγμένες υφής μπορούν επίσης να υπολογιστούν

χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες κορυφή και άλλες πληροφορίες, ένα καλό παράδειγμα αυτού είναι το καθορισμένο περιβάλλον όπου οι κάθετοι των κορυφών χρησιμοποιούν ως δείκτες εντός της υφής για να προσομοιώσουν την σφαιρική αντανάκλαση. Όσον αφορά τη χρήση των τιμών υφής, συνήθως εξαρτώνται από το διάχυτο χρώμα του αντικειμένου. Άλλες χρήσεις της υφής περιλαμβάνουν εξογκώματα χαρτογράφησης, όπου οι τιμές υφής αντιπροσωπεύουν την παραλλαγές της κανονικής επιφάνειας.

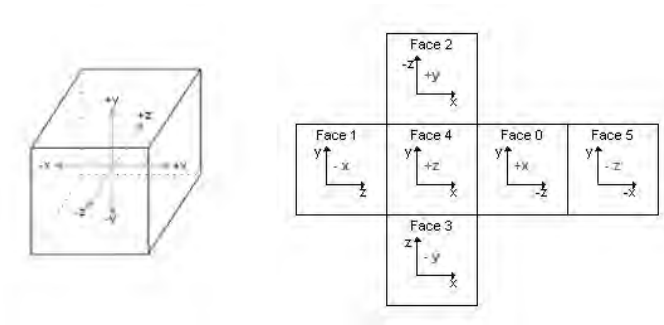
Ένα μονοδιάστατο σχέδιο υφής μπορεί να οριστεί σε έναν πίνακα μονού δείκτη με χρωματικές τιμές, ο οποίος ορίζει μια ακολουθία χρωμάτων σε ένα γραμμικό χώρο υφής. Σε ένα γραμμικό σχέδιο γίνεται αναφορά στο χώρο υφής με μια μονό τιμή συντεταγμένης s . Για να χαρτογραφήσουμε ένα γραμμικό σχέδιο υφής σε μια σκηνή θέτουμε μια τιμή συντεταγμένης s σε μια θέση του χώρου και μια άλλη τιμή s σε μια δεύτερη θέση του χώρου. Τότε, το τμήμα του πίνακα χρωμάτων που αντιστοιχεί στην εμβέλεια των συντεταγμένων s που ορίσαμε, χρησιμοποιείται για να παράγουμε μια πολύχρωμη γραμμή ανάμεσα στις δυο θέσεις. Συνήθως χρησιμοποιείται μια γραμμική συνάρτηση για τον υπολογισμό των θέσεων του πίνακα που θα αντιστοιχούν στα εικονοστοιχείου του ευθύγραμμου τμήματος. Αν το πλήθος των χρωμάτων για τη γραμμή είναι μικρό τότε ένα χρώμα θα αντιστοιχεί για πολλά εικονοστοιχείου και το ανάποδο. Για χαρτογράφηση επιφανειακής υφής χρησιμοποιούμε ίδια διαδικασία για τον ορισμό με αυτή της γραμμικής υφής σε μια σκηνή. Έχουμε συντεταγμένες (s,t) για τις γωνίες της επιφάνειας. Τέλος έχουμε και τα σχέδια υφής όγκων όπου έχουμε τρισδιάστατες συντεταγμένες.

2.1.1 Χαρτογράφηση σφαίρα

Η χαρτογράφηση σφαίρα (ή σφαιρική χαρτογράφηση του περιβάλλοντος) είναι ένα είδος χαρτογράφησης που προσεγγίζει ανακλαστικές επιφάνειες, εξετάζοντας το περιβάλλον σαν να είναι απείρως πολύ μακρινό σφαιρικό τοίχωμα. Το περιβάλλον αυτό αποθηκεύεται ως υφή που απεικονίζει πως ένα είδωλο σφαίρας θα έμοιαζε αν είχε τοποθετηθεί στο περιβάλλον, χρησιμοποιώντας μια ορθογραφική προβολή. Αυτή η υφή περιέχει ανακλαστικά στοιχεία για ολόκληρο το περιβάλλον, εκτός από το σημείο ακριβώς πίσω από τη σφαίρα.

2.1.2 Χαρτογράφηση κύβου

Η χαρτογράφηση κύβου είναι μια μέθοδος χαρτογράφησης περιβάλλοντος που χρησιμοποιεί τις έξι έδρες του κύβου ως το σχήμα του χάρτη. Το περιβάλλον προβάλλεται επάνω στις πλευρές ενός κύβου και αποθηκεύονται ως έξι τετραγωνικές υφές, ή ξεδιπλώνονται σε έξι περιοχές μιας ενιαίας υφής. Αυτή η χαρτογράφηση παράγεται πρώτα αποδίδοντας τη σκηνή έξι φορές από μια οπτική γωνία, με τις όψεις που ορίζονται από μια 90 μοιρών θέα κώνου που αντιπροσωπεύει κάθε όψη κύβου.

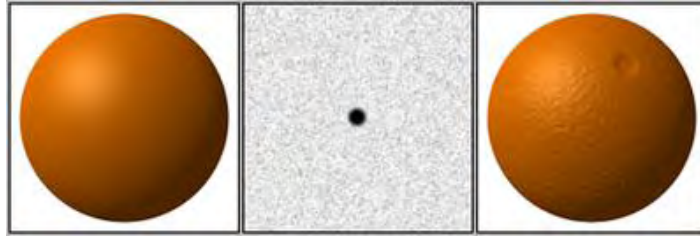


Σχήμα 5

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η χαρτογράφηση κύβου είναι προτιμότερη από την παλαιότερη μέθοδο της χαρτογράφησης σφαίρας, διότι εξαλείφει πολλά από τα προβλήματα που είναι εγγενή στη χαρτογράφηση τομέα όπως είναι η στρέβλωση της εικόνας, η εξάρτηση οπτικής, και υπολογιστική αναποτελεσματικότητα. Επίσης, η χαρτογράφηση κύβου παρέχει μια πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα για την υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο απόδοσης των ανανακλάσεων σε σχέση με τη χαρτογράφηση σφαίρα, επειδή ο συνδυασμός της αναποτελεσματικότητας και άποψης εξάρτησης περιορίζει σημαντικά την ικανότητα της χαρτογράφησης σφαίρας που πρέπει να εφαρμόζονται όταν μια σταθερά αλλάζει λόγο οπτικής. Γενικά η χαρτογράφηση κύβου προτιμάται έναντι άλλων μεθόδων, λόγω της σχετικής απλότητας της και επίσης επειδή παράγει αποτελέσματα τα οποία είναι παρόμοια με εκείνα που λαμβάνονται με ακτινανίχνευση, αλλά είναι πολύ πιο αποτελεσματική υπολογιστικά.

2.1.3 Απεικόνιση εξογκωμάτων

Η απεικόνιση εξογκωμάτων είναι μια τεχνική για την προσομοίωση τραχύτητας στην επιφάνεια ενός αντικειμένου. Αυτό επιτυγχάνεται με μια συνάρτηση διατάραξης των επιφανειακών κάθετων διανυσμάτων του αντικειμένου και μετά χρησιμοποιώντας το διαταραγμένο κάθετο διάνυσμα κατά τη διάρκεια υπολογισμών του μοντέλου φωτισμού. Το αποτέλεσμα είναι μια φαινομενικά ανώμαλη επιφάνεια παρά μία λεία, αν και η επιφάνεια του υποκείμενου αντικειμένου δεν έχει πραγματικά αλλάξει. Εισήχθη από τον James Blinn το 1978



Σχήμα 6

Εάν το $P(u,v)$ περιγράφει μια θέση πάνω σε μια παραμετρική επιφάνεια τότε μπορούμε να πάρουμε το κάθετο διάνυσμα της επιφάνειας σε αυτό το σημείο με τον υπολογισμό : $N=P_u*P_v$

Προσθέτοντας την συνάρτηση διατάραξης και μετά από υπολογισμούς έχουμε

$$N'=N +b_v(P_v*n) +b_u(P_u*n)$$

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ορίσουμε το $b(u,v)$ Το τελικό βήμα είναι να κανονικοποιήσουμε το N' για χρήση του υπολογισμού του μοντέλου φωτισμού.

2.1.4 Άλλες απεικονίσεις

Υπάρχουν ακόμα πολλές άλλες τεχνικές χαρτογράφησης όπου θα αναφερθούμε περιληπτικά. Χαρτογράφηση Parallax είναι μια ενισχυμένη μορφή της απεικόνισης εξογκωμάτων όπου εφαρμόζεται σε υφές σε 3D αποδώσεις όπως τα video games. Χαρτογράφηση εκτοπισμού η οποία στην πραγματικότητα χρησιμοποιείται για να αλλάξει τη γεωμετρία και παρέχει περισσότερες λεπτομέρειες. Mirrmapping όπου βελτιστοποιημένη συλλογή εικόνων που συνοδεύουν μια κύρια υφή, η τεχνική αυτή προορίζεται να αυξήσει την ταχύτητα απόδοσης και να μειώσει το aliasing. Τέλος αναφέρουμε και την απεικόνιση πλαισίου όπου χρησιμοποιείτε στην απόδοση ανισόροπων επιφανιών.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα περιγράψει η Phong σκίαση και οι προσεγγίσεις της που χρησιμοποιούν διαφορετικές στρατηγικές παρεμβολής για τη βελτίωση της απόδοσης της ποιότητας. Η πιο βασική από αυτές που χρησιμοποιείται ευρέως είναι η γραμμική σκίαση Gouraud.

2.2.1 Σκίαση Phong

Η σκίαση Phong, όπως περιγράψαμε προηγουμένως, εισήχθη από τον Phong ως η κατάλληλη μέθοδος σκίασης που ταιριάζει με το μοντέλο φωτισμού του. Τα τρίγωνα σκιάζονται από μια γραμμική παρεμβολή στην κανονική επιφάνεια, που ορίζεται σε κάθε κορυφή, και επαναπροσδιορίζουν την εξίσωση φωτισμού σε κάθε pixel. Ποιοτικά, εικόνες που δημιουργούνται χρησιμοποιώντας Phong σκίαση είναι ανώτερες από εκείνες που προκύπτουν από άλλες μεθόδους στο πρότυπο απόδοσης pipeline. Ωστόσο η σκίαση Phong είναι υπολογιστικά απαιτητική και δεν τρέχει σε πραγματικό χρόνο, ακόμη και για τους σύγχρονους υπολογιστές.

Η σκίαση Phong είναι ακριβή, όχι μόνο επειδή ο φωτισμός πρέπει να αξιολογείται σε κάθε pixel, αλλά και επειδή η κανονική γραμμική παρεμβολή δεν είναι τόσο απλή όσο η βαθμωτή γραμμική παρεμβολή. Η κανονική παρεμβάλλεται με γραμμική παρεμβολή από καθένα από τα συστατικά βαθμωτών και κανονικοποιείται εκ νέου σε κάθε pixel. Η κανονικοποίηση περιλαμβάνει μια διαίρεση, μια τετραγωνική ρίζα, και μερικούς πολλαπλασιασμούς και προσθέσεις. Για να αποφευχθεί η εκ νέου κανονικοποίηση, μερικοί ερευνητές έχουν εξετάσει την τετραγωνοποιημένη παρεμβολή των συστατικών. Αυτή η προσέγγιση λειτουργεί αρκετά καλά, όταν τα αντικείμενα βρίσκονται σε κάποια απόσταση από το μάτι, αλλά η ποιότητα μειώνεται

καθώς έρχονται πιο κοντά και η εκ νέου εξομάλυνση καθίσταται αναγκαία. Μια άλλη προσέγγιση είναι να παρεμβάλει σφαιρικά, δηλαδή να σχεδιάζει το τρίγωνο πάνω στην επιφάνεια μιας σφαίρας και να χρησιμοποιεί τα στάνταρ της σφαίρα, όπως τα στάνταρ του τριγώνου. Αν και η σφαιρική παρεμβολή λειτουργεί καλά, εξακολουθεί να απαιτεί ένα σημαντικό ποσό υπολογισμού ανά ρixel που περιλαμβάνει πολλαπλασιασμούς, προσθέσεις και τριγωνομετρικές εξισώσεις

2.2.2 Γραμμική σκίαση Gouraud

Μια από τις πρώτες και γνωστές προσεγγίσεις για την επιτάχυνση σκίασης, διατηρώντας παράλληλα τις επιφάνειες λείες είναι η σκίαση Gouraud. Η Gouraud εφαρμόζει το φωτισμό μόνο στις κορυφές τριγώνου και γραμμικά παρεμβάλει τα χρώματα που προκύπτουν σε όλο το τρίγωνο. Η γραμμική παρεμβολή ωστόσο δεν μπορεί να εκφράσει τις φωτεινές κορυφές έντασης ή να τονίσει με φως περιοχές υψηλής καμπυλότητας. Η Gouraud σκίαση έχει μια κοινή τεχνική που είναι εύκολο να αναγνωρίσει το υποκείμενο τριγωνικό πλέγμα, ιδίως για πλέγματα χαμηλής ανάλυσης. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τη παράγωγος της τμηματικής γραμμικής συνάρτησης χρώματος δεν είναι συνεχής κατά μήκος των ακμών τριγώνου. Αυτές οι ασυνέχειες τονίζονται από το ανθρώπινο οπτικό σύστημα, μέσα από ένα ψυχοσωματικό φαινόμενο γνωστό ως Mach banding

2.2.3 Τετραγωνική σκίαση

Μια εναλλακτική λύση για γραμμική σκίαση Gouraud είναι τετραγωνική παρεμβολή. Μια τετραγωνική μπορεί να εκφράσει μέγιστη και ελάχιστη σκίαση που εμφανίζεται

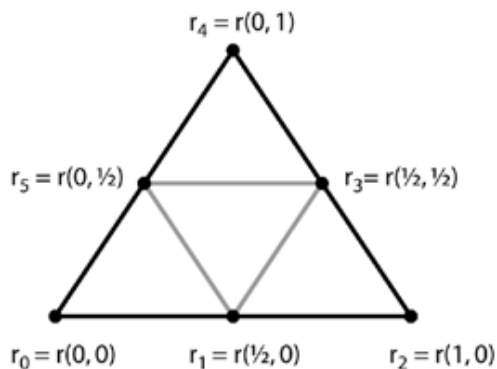
μέσα στο εσωτερικό ενός τριγώνου και έτσι μπορεί να προσεγγίσει την κατανομή του φωτός καλύτερα από ότι η Gouraud σκίαση. Επιπλέον η τετραγωνική σκίαση μπορεί να περιοριστεί επιβάλλοντας συνέχεια σε όλα τα άκρα τριγώνου, συγκαλύπτοντας έτσι το υποκείμενο πλέγμα. Το μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι η αύξηση στους υπολογισμούς. Εφόσον η τετραγωνική έχει περισσότερους βαθμούς ελευθερίας (έξι), χρειαζόμαστε περισσότερους περιορισμούς για να καθοριστεί πλήρως. Ως εκ τούτου, ο φωτισμός πρέπει να υπολογίζεται σε έξι σημεία, σε αντίθεση με τα τρία. Επιπλέον, η αξιολόγηση των δευτεροβάθμιων όρων κατά τη μετατροπή σάρωσης εισάγει πρόσθετη επιβάρυνση ανά pixel σε σχέση με τη γραμμική Gouraud σκίαση.

Αν και πιο περίπλοκη από ότι η Gouraud, η δημιουργία μιας τετραγωνικής σκίασης σε ένα τρίγωνο είναι απλή. Για κάθε εικονοστοιχείο με βαρυκεντρικές συντεταγμένες (s, t) εντός του τριγώνου, μπορούμε να ορίσουμε το r τιμή χρώματος (s, t) σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$r(s,t) = C_0 + C_1*s + C_2*t + C_3*s^2 + C_4*s*t + C_5*t^2$$

όπου C_0-C_5 είναι σταθεροί συντελεστές ανά τρίγωνο. Για την επίλυση των εν λόγω συντελεστών, χρειαζόμαστε έξι τιμές χρώματος προ-υπολογισμένες. Τρεις από τις τιμές που λαμβάνονται σε κορυφές τριγώνου, οι οποίες έχουν ήδη τις θέσεις τους και έχουν υπολογιστεί. Για να θέσει το χρώμα στην συνέχεια σε όλα τα τρίγωνα, οι υπόλοιπες τρεις τιμές θα πρέπει να βρίσκονται στις άκρες τριγώνου - μια ανά άκρη. Με αυτό τον τρόπο οι τρεις τιμές ανά άκρη - δύο στις κορυφές και μία στο ενδιάμεσο - καθορίζουν εντελώς μια τετραγωνική ($Ax^2 + Bx + C$). Ακόμη και με προαναφερθέντες περιορισμούς, τα σημεία ακμής μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε ανάμεσα στις κορυφές και θα μπορούσε κανείς να διατυπώσει την επιλογή τους ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Ωστόσο, για απλότητα του υπολογισμού, τα σημεία ακμής έχουν

προκαθοριστεί στα μεσαία σημεία στο ενδιάμεσο των κορυφών, όπως απεικονίζεται στο σχήμα.



Σχήμα 7

Μόλις έχουμε τις έξι χρωματικές αξίες, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα γραμμικό σύστημα έξι εξισώσεων.

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_0 \\ -3 \cdot r_0 + 4 \cdot r_1 - r_2 \\ -3 \cdot r_0 - r_4 + 4 \cdot r_5 \\ 2 \cdot r_0 - 4 \cdot r_1 + 2 \cdot r_2 \\ 4 \cdot r_0 - 4 \cdot r_1 + 4 \cdot r_3 - 4 \cdot r_5 \\ 2 \cdot r_0 + 2 \cdot r_4 - 4 \cdot r_5 \end{bmatrix}$$

Τέλος, η ακόλουθη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τη σκίαση ενός τριγώνου:

1. Αξιολογήστε την εξίσωση φωτισμού στις τρεις κορυφές και τα τρία μεσοδιαστήματα.

Η κανονική επιφάνεια σε κάποιο κεντρικό σημείο είναι η διαχωριστική γραμμή των δύο γειτονικών κορυφών - αυτό υπολογίζεται από την κανονικοποίηση του αθροίσματος τους.

2. Υπολογίστε τους συντελεστές C_0 - C_5 χρησιμοποιώντας την εξίσωση.

3 Για κάθε pixel, αξιολόγησε την τετραγωνική εξίσωση $r(s, t)$ για να πάρει το χρώμα εξόδου. Γνωρίζοντας τις κέντρο βάρους συντεταγμένων (s, t) για κάθε pixel είναι απλό: οι δύο συντεταγμένες πρέπει να είναι γραμμικά παρεμβαλλόμενες σε όλο το τρίγωνο ακριβώς όπως τον τρόπο χαρτογράφηση υφής.

Ο περιγραφόμενος αλγόριθμος μπορεί να γενικευθεί για να εκτελέσει υψηλότερη ανάλυση σκίασης. Ένα κυβικά σκιασμένο τρίγωνο, για παράδειγμα, απαιτεί δέκα αξιολογήσεις φωτισμού και είναι ισοδύναμο με το φωτισμό εννέα μικρότερων Gouraud σκιασμένων τριγώνων με ακριβότερο ανά pixel υπολογισμού. Δεν είναι σαφές κατά πόσον η ποιότητα απόδοσης ενός μεγαλύτερου κυβικά σκιασμένου τριγώνου είναι αισθητά καλύτερη από εκείνη των εννέα μικρότερων γραμμικά σκιασμένων τριγώνων. Ανώτατη διαστάσεων σκίαση εισάγει ακόμη μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και θα πρέπει μάλλον διαιρεί το τρίγωνο και την απλούστερη χρήση χρώματος παρεμβολής σε πολλά μικρότερα τρίγωνα.

2.2.4 Προσπάθειες για βελτίωση οπτικού ρεαλισμού

Πολλοί ερευνητές έχουν συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό για την βελτίωση του οπτικού ρεαλισμού και έχουν προτείνει διάφορες τεχνικές παρεμβολής. Οι Overveld και Wyvill [OverWy] πρότειναν έναν αλγόριθμο τετραγωνικού διανύσματος παρεμβολής για να αντικαταστήσει την παραδοσιακή γραμμική παρεμβολή. Ο αλγόριθμός τους είναι μια επέκταση της Phong σκίασης στην οποία εφαρμόζεται τετραγωνική παρεμβολή των καθέτων διανυσμάτων επιφανειών. Ξεπερνά την ακαταλληλότητα της παραδοσιακής γραμμικής παρεμβολής, όταν μια επιφάνεια που προσεγγίζεται από πολύγωνα έχει σημεία καμπής. Ωστόσο, ο αλγόριθμος τους έχει πολλά ελαττώματα και είναι ακατάλληλος για πρότυπο μετατροπής σάρωσης

τρίγωνου. Οι Lee και Jen [LeeJen] έχουν προτείνει έναν αλγόριθμο που βελτιώνει τις ατέλειες και τα προβλήματα αυτής της μεθόδου. Έχουν προτείνει μια μέθοδο biquadratic διανυσματικής παρεμβολής, η οποία εκτελείτε σε ένα τρίγωνο. Αφού η Phong σκίαση βασίζεται στους υπολογισμούς των κάθετων διανυσμάτων επιφάνειας, οι Thürmer, Grit και Charles [ThGrCh] και Max [Max] έχουν επίσης προτείνει μεθόδους για τον ακριβή υπολογισμό τους.

2.2.5 Προσπάθειες για βελτίωση της ταχύτητας

Οι Bishop και Weimer [BishopW] χρησιμοποίησαν μια δεύτερη σειρά Taylor προσέγγιση για να απλοποιήσουν τις εργασίες εξομάλυνσης και να μειωθεί έτσι το υπολογιστικό κόστος. Οι Kuijk και Blake [KuiBl] παρέμβαλαν πολικές γωνίες αντί των κανονικών διανυσμάτων για την εξάλειψη των πράξεων εξομάλυνσης και συνεπώς τη γρηγορότερη σκίαση. Μια άλλη τεχνική για να αποφευχθεί η ομαλοποίηση των παρεμβαλλόμενων κάθετων διανυσμάτων προτείνεται από τους Mohamed, Szirmay-Kalos και Horvath [MoSzHo]. Έχουν προτείνει μια στρατηγική σφαιρικής παρεμβολής και έχουν αποδείξει ότι, βάση αυτής της μεθόδου, τα κάθετα διανύσματα αυτόματα θα ομαλοποιούνται. Ωστόσο, αυτό απαιτεί τη χρήση της λειτουργίας τόξου συνημίτονου, το οποίο είναι σχεδόν τόσο ακριβό όσο η εξομάλυνση. Ο Schlick [Schlick] πρότεινε μια απλή προσέγγιση με τον κατοπτρικό όρο. Στο έργο τους οι Hast, Barrera και Bengtsson [HaBaBe] πρότειναν υβριδική σκίαση που εφαρμόζει τη χρήση της Gouraud σκίασης για διάχυτη συνιστώσα και Phong σκίαση για συνιστώσα κατοπτρικής επισήμανσης. Οι Overveld και Wyvill [OverWy2] χρησιμοποιούν ένα άπειρης απόστασης μοντέλο αντί το ακριβό μοντέλο πεπερασμένων αποστάσεων για τον υπολογισμό. Αυτό το μοντέλο λειτουργεί με την αντικατάσταση μιας πηγής φωτός

σε μια πεπερασμένη απόσταση, από μια πηγή φωτός σε μια άπειρη απόσταση. Τα κάθετα διανύσματα ρυθμίζονται με τέτοιο τρόπο που το προκύπτον πρότυπο φωτισμού παραμένει ίδιο.

Οι Cho, Neumann και Woo [ChoNeWoo] περιγράφουν ένα γρήγορο τεστ που καθορίζει τα τρίγωνα που έχουν highlights πάνω τους. Το δυνητικά τονισμένο τρίγωνο υποδιαιρείται σε τέσσερα μικρότερα τρίγωνα και εφαρμόζεται Gouraud σκίαση. Οι Lai και Tai [LaiTai] έχουν προτείνει highlight ανίχνευση σκίασης, δηλαδή μια μέθοδο για να πιάνει τα highlight για ένα τρίγωνο, έτσι ώστε όλα τα κάθετα διανύσματα των pixels σε αυτό το κομμάτι να υπολογιστούν με ακρίβεια. Οι Tai και Hsu [TaiHsu] προτείνουν μια μέθοδο για να προσδιορίσει ποια πολύγωνα πρέπει να σκιαστούν με Phong, με Gouraud ή με Fence σκίαση. Ο Lin [Lin1] προτείνει μια αποδοτική και αποτελεσματική προσέγγιση για γρήγορη Phong σκίασης με χρήση τοπικής μέγιστης κατοπτρικής εκτίμησης στο κατοπτρικό όρο για το φως τόσο σε πεπερασμένη όσο και σε άπειρη απόσταση. Ο Seiler [Seiler] πρότεινε επίσης έναν απλό τρόπο δημιουργίας συντελεστών τετραγωνικής σκίασης στην απόδοση του υλικού. Ο Brown [Brown1] πρότεινε τη χρήση των τριγώνων Bezier στο να παρεμβάλει κατοπτρισμούς. Στην συνέχεια θα δούμε κάποιες από αυτές τις μεθόδους αναλυτικότερα.

2.3 ΒΕΛΤΙΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΣΚΙΑΣΗ

Για να σχεδιαστεί με ακρίβεια μια δισδιάστατη εικόνα από μια τρισδιάστατη σκηνή, οι πληροφορίες φωτισμού που επηρεάζουν την ένταση του κάθε pixel της εικόνας πρέπει να είναι γνωστές κατά τη στιγμή που η ένταση υπολογίζεται. Σε μία

απλουστευμένη μορφή, αυτή η πληροφορία αποθηκεύεται σε ένα δέντρο από "ακτίνες" που εκτείνονται από τον θεατή στην πρώτη επιφάνεια που συναντάνε και από εκεί σε άλλες επιφάνειες μέχρι να φτάσει τις φωτεινές πηγές. Ένας αλγόριθμος δημιουργεί αυτό το δέντρο για κάθε pixel της οθόνης και το περνάει στον shader. Ο shader διασχίζει το δέντρο για να καθορίσει την ένταση του φωτός που λαμβάνετε από τον θεατή. Η εξέταση όλων αυτών των παραγόντων επιτρέπει στο shader να προσομοιώσει με ακρίβεια αληθινή αντανάκλαση, σκιάς, και διάθλαση. Το Anti-aliasing περιλαμβάνεται ως αναπόσπαστο μέρος των υπολογισμών ορατότητας.

Ο ρόλος του μοντέλου φωτισμού είναι να καθορίσει πόσο φως αντανακλάται στο θεατή από έναν ορατό σημείο μιας επιφάνειας ως συνάρτηση της κατεύθυνσης και τη δύναμη φωτεινής πηγής, επίσης καθορίζει τη θέση θέασης, την επιφάνεια προσανατολισμού και τις ιδιότητες της επιφάνειας. Οι υπολογισμοί σκίασης μπορεί να γίνονται σε τρεις κλίμακες: μικροσκοπική, τοπική και γενικού επιπέδου. Αν και η ακριβής φύση της ανάκλασης από την επιφάνεια εξηγείται καλύτερα από την άποψη των μικροσκοπικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ακτινών του φωτός και της επιφάνειας, οι περισσότεροι shaders παράγουν εξαιρετικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας τοπικά συγκεντρωτικά στοιχεία επιφανειών. Δυστυχώς, αυτά τα μοντέλα έχουν συνήθως περιορισμένο πεδίο εφαρμογής. Ο λόγος που οι shaders τείνουν να λειτουργούν σε τοπικά δεδομένα είναι ότι οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι ορατής επιφάνειας δεν μπορούν να παρέχουν τα απαραίτητα γενικά δεδομένα.

2.3.1 Συμβατικά μοντέλα

Οι απλούστεροι αλγόριθμοι ορατής επιφάνειας χρησιμοποιούν shaders με βάση νόμο συνημίτονου του Adam Lambert. Η ένταση του ανακλώμενου φωτός είναι

ανάλογη προς το γινόμενο της κανονικής επιφάνειας και την κατεύθυνση φωτεινής πηγής, προσομοιώνοντας τέλεια διάχυση και δίδοντας μια λογική προσέγγιση μιας ματ επιφάνειας. Ένα πιο εξελιγμένο μοντέλο είναι αυτό που επινοήθηκε από Bui-Tuong Phong. Ένταση από το μοντέλο Phong δίνεται από

$$I = I_a + k_d \sum_{j=1}^{j=ls} (\vec{N} \cdot \vec{L}_j) + k_s \sum_{j=1}^{j=ls} (\vec{N} \cdot \vec{L}'_j)^n, \quad (1)$$

I : η ανακλώμενη ένταση.

I_a : αντανάκλαση που οφείλεται στο φως του περιβάλλοντος

k_d : διάχυτη αντανάκλαση σταθερά

N : μονάδα κανονικής επιφάνειας,

L_j : ο φορέας στην κατεύθυνση της j-οστης πηγής φωτός

k_s : ο συντελεστής κατοπτρικής ανάκλασης,

L'_j : ο φορέας στην κατεύθυνση στα μισά του δρόμου μεταξύ του θεατή και πηγής φωτός,

n : ένας εκθέτης που εξαρτάται από την στιλπνότητα της επιφάνειας.

Το μοντέλο Phong υποθέτει ότι κάθε πηγή φωτός βρίσκεται σε ένα σημείο απείρως μακριά από τα αντικείμενα στη σκηνή. Το μειονέκτημα αυτό δεν επηρεάζει το ρεαλισμό της διάχυτης συνιστώσας ανάκλασης πολύ, αλλά βλάπτει σοβαρά την ποιότητα των κατοπτρικών ανακλάσεων. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε από Blinn και Newell , επιλύει μερικώς το πρόβλημα, αλλά με τους περιορισμούς της αποκλείει τη χρήση της στη γενική περίπτωση.

Όσον αφορά την σκίαση ορισμένες μέθοδοι επικαλούνται τον αλγόριθμο για μια ορατή επιφάνεια δύο φορές, μία φορά για την πηγή φωτός και μια φορά για τον θεατή. Άλλα χρησιμοποιούν απλουστευμένο υπολογισμό για να προσδιοριστεί αν το σημείο είναι ορατό στο φως πηγής. Η Μετάδοση του φωτός μέσω διαφανών

αντικειμένων έχει προσομοιωθεί με αλγόριθμους που ζωγραφίζουν επιφάνειες σε αντίστροφη σειρά βάθους. Όταν ζωγραφίζω μια διάφανη επιφάνεια, το φόντο είναι μερικώς επανασχεδιασμένο, επιτρέποντας προηγουμένως σχεδιασμένα τμήματα της εικόνας να φαίνονται. Ο Kay [Kay79] έχει βελτιώσει αυτή την προσέγγιση με την τεχνική που δίνει μια πολύ ρεαλιστική προσέγγιση για τις επιπτώσεις διάθλασης.

2.3.2 Βελτιωμένο μοντέλο

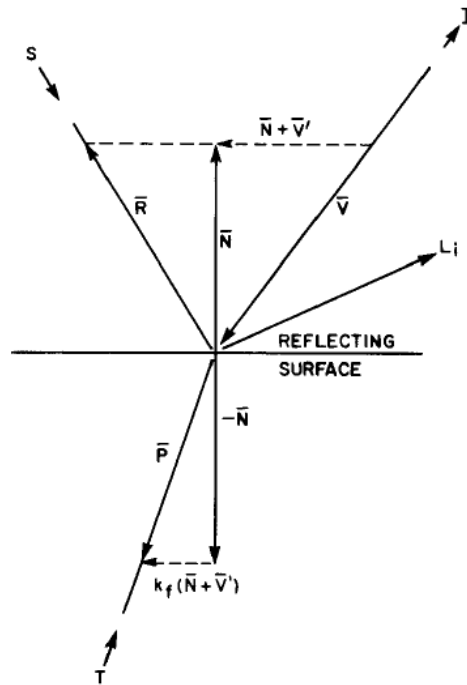
Ένα απλό μοντέλο για την αντανάκλαση του φωτός από απολύτως λείες επιφάνειες παρέχεται από τις κλασικές οπτικές ακτίνες. Όπως φαίνεται στο σχήμα πιο κάτω (Σχήμα 8), η ένταση του φωτός I πέραν στο θεατή από ένα σημείο επί της επιφανείας μέσω κατοπτρικής ανάκλασης S και μετάδοσης T . Οι εντάσεις αυτές αντιπροσωπεύουν το φως που διαδίδεται κατά μήκος των V , R , και P κατευθύνσεων, αντιστοίχως. Δεδομένου ότι οι επιφάνεια που εμφανίζεται δεν είναι πάντα τέλεια γυαλιστερή, ένας ακόμα όρος πρέπει να προστεθεί στο μοντέλο της διάχυτης συνιστώσας. Ιδανικά, η διάχυτη ανάκλαση πρέπει να περιέχει συστατικά που οφείλονται στην αντανάκλαση των κοντινών αντικειμένων, καθώς και προκαθορισμένες πηγές φωτός, αλλά ο υπολογισμός που απαιτείται για να διαμορφώσει μια κατανεμημένη πηγή φωτός είναι συντριπτικός. Το νέο μοντέλο είναι

$$I = I_a + k_d \sum_{j=1}^{j=ls} (\bar{N} \cdot \bar{L}_j) + k_s S + k_t T, \quad (2)$$

S : Η ένταση του φωτός που προσπίπτει από την κατεύθυνση R

k_t : συντελεστής μετάδοσης

T : η ένταση του φωτός από την κατεύθυνση P .



Σχήμα 8

Οι συντελεστές k_s και k_t πρέπει να επιλεγούν προσεκτικά ώστε να αντιστοιχούν σε φυσικές λογικές τιμές, εάν πρόκειται να παραχθούν ρεαλιστικές εικόνες. Η R κατεύθυνση καθορίζεται από τον απλό κανόνα ότι η γωνία ανάκλασης πρέπει να ισούται με τη γωνία πρόσπτωσης. Ομοίως, η P κατεύθυνση που μεταδίδεται το φως πρέπει να υπακούει στον νόμο του Snell.

$$V' = V / |V \cdot N|,$$

$$R = V' + 2N,$$

$$P = k_r(N + V') - N,$$

$$k_r = (k_n^2 |V'|^2 - |V' + N|^2)^{-1/2}$$

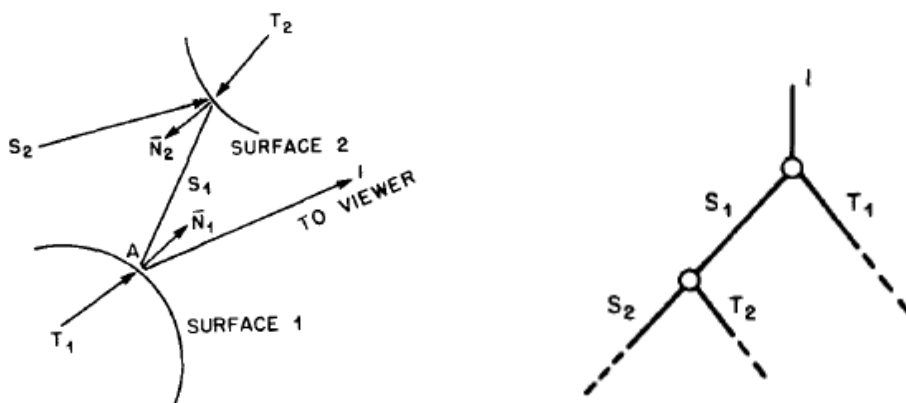
Δεδομένου ότι αυτές οι εξισώσεις υποθέτουν ότι $V \cdot N$ είναι μικρότερο του μηδενός, ο επεξεργαστής τομής πρέπει να προσαρμόσει το σήμα του N , έτσι ώστε να δείχνει προς την πλευρά της επιφάνειας από την οποία η τεμνόμενη ακτίνα προσπίπτει. Θα πρέπει ομοίως να ρυθμιστεί και ο δείκτης διάθλασης. Κάνοντας το k_s μικρότερο και

μεγαλύτερο το k_a , μπορεί η επιφάνεια να φαίνεται λιγότερο γυαλιστερή. Ωστόσο, στο απλό μοντέλο δεν θα εξαπλωθεί ο κατοπτρικός όρος όπως στο μοντέλο Phong που το κάνει με τη μείωση του κατοπτρικού εκθέτη n . Η κατοπτρική ανάκλαση από μία τραχεία επιφάνεια παράγεται με μικροσκοπικούς καθρέφτες σαν έδρες. Η ένταση της κατοπτρικής ανάκλαση είναι ανάλογη προς τον αριθμό από αυτές τις μικροσκοπικές πτυχές των οποίων ο φορέας είναι στοιχισμένος με την μέση κανονική αξία της επιφάνειας στην περιοχή του δείγματος. Για να δημιουργήσει τη σωστή κατοπτρική ανάκλαση, μια τυχαία διατάραξη προστίθεται στην κανονική επιφάνεια για την προσομοίωση των τυχαία προσανατολισμένων μικροόψεων.

Για μια γυαλιστερή επιφάνεια, αυτή η διαταραχή έχει μια μικρή διακύμανση, με μεγαλύτερες διακυμάνσεις θα αρχίσει να φαίνεται λιγότερο γυαλιστερή. Αυτή η ίδια η διαταραχή όταν αυξάνεται θα προκαλέσει ένα διαφανές αντικείμενο να φαίνεται σταδιακά σαν παγωμένο. Ενώ παρέχει ένα καλό μοντέλο για τη μικροσκοπική τραχύτητα της επιφάνειας, το σύστημα αυτό βασίζεται σε δείγματα επιφάνειας που θα δείχνουν τα αποτελέσματα του aliasing για μεγαλύτερες διακυμάνσεις. Δεδομένου ότι το σύστημα αυτό χρειάζεται επίσης πάρα πολλούς πρόσθετους υπολογισμούς, αποφεύγεται όποτε είναι δυνατόν.

Το απλό μοντέλο προσεγγίζει την αντανάκλαση από μια μόνο επιφάνεια. Σε μια σκηνή ακόμα και μέτριας πολυπλοκότητας το φως συχνά θα πρέπει να αντανάκλατε από διάφορες επιφάνειες πριν φτάσει στον θεατή. Για μία τέτοια περίπτωση, που φαίνεται στο σχήμα 9 αριστερά, οι συνιστώσες του φωτός που φθάνουν στον θεατή από το σημείο A, αντιπροσωπεύονται από το δέντρο στο σχήμα 9 δεξιά. Για την δημιουργία αυτού του δένδρου απαιτείτε ο υπολογισμός του σημείου τομής της κάθε συνιστώσα ακτίνας με τις επιφάνειες στη σκηνή. Οι υπολογισμοί απαιτούν απ τον

αλγόριθμο να εφαρμόζεται επαναληπτικά έως ότου το δέντρο τερματιστεί. Για την περίπτωση των επιφανειών που ευθυγραμμίζονται με τέτοιο τρόπο που ένα κλαδί του δέντρου έχει άπειρο βάθος, το υποδένδρο περικόπτετε σε σημείο όταν υπερβαίνει τον διαθέσιμο όριο αποθήκευσης. Η υποβάθμιση της εικόνας δεν είναι αισθητή.

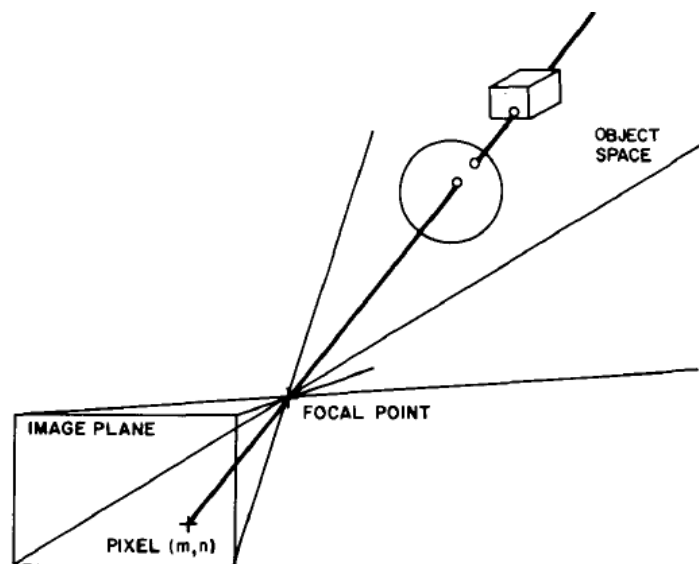


Σχήμα 9

Οι ακτίνες των κατευθύνσεων R και P που αντιστοιχούν στους όρους L_j της εξίσωσης (2) συνδέονται επίσης με κάθε κόμβο. Εάν μία από τις ακτίνες τέμνει κάποια επιφάνεια στη σκηνή πριν φτάσει την πηγή φωτός, το σημείο τομής που παριστάνεται από τον κόμβο έγκειται στην σκιά σε σχέση με την εν λόγω πηγή φωτός. Αυτή η συνεισφορά της πηγής φωτός για την διάχυτη ανάκλαση από το σημείο εξασθενεί. Μετά τη δημιουργία του δέντρου, ο shader διασχίζει το δέντρο, εφαρμόζοντας την εξίσωση (2) σε κάθε κόμβο για τον υπολογισμό της έντασης. Η ένταση σε κάθε κόμβο κατόπιν εξασθενίζει από μία γραμμική συνάρτηση της απόστασης μεταξύ των σημείων τομής της ακτίνας που αντιπροσωπεύεται από τον γονέα του κόμβου πριν χρησιμοποιηθεί ως μία είσοδος στον υπολογισμό της έντασης του γονέα.

2.3.3 Επεξεργασία ορατής επιφάνειας

Καθώς ο φωτισμός που επιστρέφει στο θεατή καθορίζεται από ένα δέντρο «ακτινών», ένας αλγόριθμος ακτινανίχνευσης είναι κατάλληλος για αυτό το μοντέλο. Σε μια προφανή προσέγγιση για την ακτινανίχνευση, οι ακτίνες του φωτός που προέρχονται από μια πηγή εντοπίζονται μέσα από τα μονοπάτια μέχρι να φτάσουν στο θεατή. Δεδομένου ότι μόνο λίγες θα φτάσουν στο θεατή, η προσέγγιση αυτή είναι σπάταλη. Σε μια δεύτερη προσέγγιση που προτείνεται από τον Appel [Appel1] και χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς από τον MAGI [MAG 1], οι ακτίνες ανιχνεύονται στην αντίθετη κατεύθυνση - από το θεατή στα αντικείμενα στη σκηνή, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 10



Σχήμα 10

Σε αντίθεση με τα προηγούμενους αλγορίθμους ακτινανίχνευσης, οι υπολογισμοί ορατότητας δεν τελειώνουν όταν βρεθεί η πλησιέστερη διασταύρωση μιας ακτίνας με τα αντικείμενα στη σκηνή. Αντ' αυτού, κάθε ορατή τομή μιας ακτίνας με μία επιφάνεια παράγει περισσότερα ακτίνες στην R και στην P κατεύθυνση, αλλά και προς την

κατεύθυνση κάθε πηγής φωτός. Η διαδικασία τομής επαναλαμβάνεται για κάθε ακτίνα μέχρι καμία από τις νέες ακτίνες να τέμνει οποιοδήποτε αντικείμενο.

Δεδομένου ότι τα αντικείμενα μπορούν να είναι ορατά στον θεατή μέσα από τις αντανακλάσεις σε άλλα αντικείμενα, ακόμη και αν άλλα αντικείμενα βρίσκονται μεταξύ αυτών και του θεατή, το μέτρο της ορατής πολυπλοκότητας σε μια εικόνα είναι μεγαλύτερο από ό,τι για μια συμβατική εικόνα που δημιουργείται από την ίδια σκηνή. Για τον ίδιο λόγο, ψαλίδισμα και εξάλειψη των στοιχείων των πίσω όψεων επιφάνειας δεν εφαρμόζονται με αυτόν τον αλγόριθμο. Χρησιμοποιώντας μία τεχνική παρόμοια με εκείνη που περιγράφεται από τον Clark [Clark 1], η περιγραφή του αντικειμένου περιλαμβάνει ένα όγκο οριοθέτησης για κάθε στοιχείο στη σκηνή. Εάν μια ακτίνα δεν τέμνει τα όρια όγκου ενός αντικειμένου, τότε το αντικείμενο μπορεί να εξαλειφθεί από την περαιτέρω επεξεργασία για την εν λόγω ακτίνα. Για απλότητα και ευκολία εκτέλεσης του υπολογισμού τομής, οι σφαίρες χρησιμοποιούνται ως οριοθέτηση όγκου.

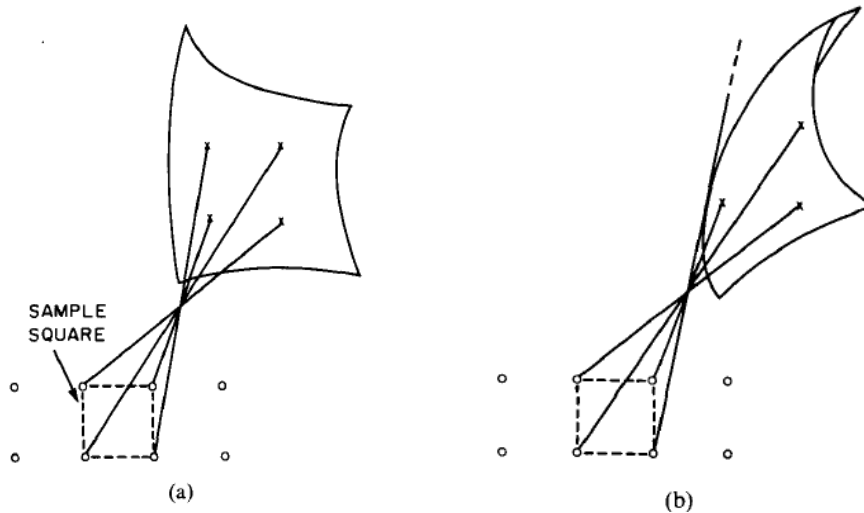
Δεδομένου ότι μια σφαίρα μπορεί να χρησιμεύσει για οριοθέτηση του όγκου, αρχικά πειράματα με τον επεξεργαστή σκίασης χρησιμοποιούν σφαίρες σαν αντικείμενα δοκιμής. Για μη-σφαιρικά αντικείμενα, επιπλέον επεξεργαστές τομής πρέπει να καθορίζονται κάθε φορά που μια ακτίνα τέμνει τη σφαίρα οριοθέτησης για αυτό το αντικείμενο. Για πολυγωνικές επιφάνειες ο αλγόριθμος βρίσκει το σημείο τομής της ακτίνας και του επιπέδου του πολυγώνου και στη συνέχεια ελέγχει για να διαπιστώσει εάν το σημείο είναι στο εσωτερικό του πολυγώνου. Εάν η επιφάνεια αποτελείται από δικυβικά patches, σφαίρες οριοθέτησης δημιουργούνται για κάθε επίθεμα. Εάν η σφαίρα οριοθέτησης διαπερνάται από την ακτίνα, τότε το patch υποδιαιρείται χρησιμοποιώντας μία μέθοδο που περιγράφεται από τους Clark και Catmull [CC1],

και σφαίρες οριοθέτησης παράγονται για κάθε subpatch. Η διαδικασία υποδιαίρεση επαναλαμβάνεται έως ότου είτε δεν διασταυρώνονται σφαίρες οριοθέτησης (δηλαδή, το patch δεν τέμνεται με την ακτίνα) ή η σφαίρα οριοθέτησης που τέμνεται είναι μικρότερη από μία προκαθορισμένη ελάχιστη τιμή. Αυτό το σύστημα επιλέχθηκε για την απλότητα και όχι την αποτελεσματικότητα

Ο αλγόριθμος ορατής επιφάνειας περιέχει επίσης το μηχανισμό που εκτελεί anti-aliasing. Καθώς το aliasing είναι το αποτέλεσμα της υποδειγματοληψίας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εμφάνισης, η πιο απλή λύση είναι να περαστεί απο χαμηλοπερατό φίλτρο ολόκληρη η εικόνα πριν από τη δειγματοληψία. Το Aliasing είναι πλέον εμφανής στον θεατή σε τρεις περιπτώσεις: (1) σε περιοχές της απότομης μεταβολής της έντασης, όπως η σκιά μιας επιφάνειας, (2) σε θέσεις όπου μικρά αντικείμενα πέφτουν μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας και εξαφανίζονται και (3) κάθε φορά που ένα δείγμα λειτουργίας (όπως η υφή) είναι χαρτογραφημένο πάνω στην επιφάνεια. Η ορατή επιφάνεια του αλγορίθμου αναζητά αυτές τις περιπτώσεις και εκτελεί τη λειτουργία φιλτραρίσματος μόνο σε αυτές τις περιοχές.

Σε αυτόν τον αλγόριθμο έχουμε μια ορθογώνια περιοχή που οι γωνίες της είναι τα δείγματα που αντιστοιχούν στην καμπύλη επιφάνεια όπως φαίνεται και στο σχήμα 11 (a). Εάν οι εντάσεις που υπολογίζονται στα τέσσερα σημεία έχουν σχεδόν ίσες τιμές και δεν υπάρχει μικρό αντικείμενο στη περιοχή μεταξύ τους, ο αλγόριθμος υποθέτει ότι ο μέση τιμή των τεσσάρων τιμών είναι μια καλή προσέγγιση της έντασης πάνω σ' ολόκληρη την περιοχή. Εάν οι τιμές έντασης δεν είναι σχεδόν ίσες, σχήμα 11 (b), ο αλγόριθμος υποδιαίρει την περιοχή του δείγματος και αρχίζει ξανά από την αρχή. Αυτή η διαδικασία εκτελείται επαναληπτικά έως ότου ο υπολογιστής φτάσει στο όριο της ανάλυσης ή έως ότου επαρκή ποσότητα των πληροφοριών σχετικά με τις

λεπτομέρειες της περιοχής του δείγματος έχουν καταγράψει. Η συνεισφορά κάθε υποπεριοχής σταθμίζεται από την περιοχή του, και όλες αυτές οι σταθμισμένες εντάσεις αθροίζονται για να προσδιοριστεί η ένταση του πίξελ. Αυτή η προσέγγιση ισοδυναμεί με την εκτέλεση μιας διαδικασίας ορατότητα Warnock τύπου για κάθε εικονοστοιχείου [Warnock1].



Σχήμα 11

2.3.4 Γρήγορη σκίαση Phong

Μια τεχνική προσέγγισης Phong που ονομάζεται "γρήγορη σκίαση Phong" παρουσιάστηκε από τους Bishop Gary και David Weimer [BishopW] στα μέσα της δεκαετίας του ογδόντα. Προσέγγισαν την αληθινή σκίαση Phong με την επέκταση της εξίσωσης φωτισμού χρησιμοποιώντας δισδιάστατη μορφή της σειράς του Taylor - επεκτείνοντας το δεύτερο βαθμό για το κέντρο βάρους τριγώνου. Η προκύπτουσα έκφραση μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας την διαφοροποίηση, η οποία καθιστάτε κατάλληλη για την εφαρμογή του υλικού. Παρά το γεγονός ότι η γρήγορη σκίαση Phong βελτιώνει την ταχύτητα σε σχέση με την στάνταρ σκίαση Phong, δεν εφαρμόζεται συνεχόμενα σε όλα τα τριγωνικά άκρα. Επιπλέον, το σφάλμα της

προσέγγισης αυξάνεται με το μέγεθος του τριγώνου δεδομένου ότι η σειρά Taylor επεκτείνεται για το κέντρο βάρους. Για να απλοποιηθεί ο υπολογισμός οι Bishop και Weimer υποθέτουν ότι τόσο το μάτι και οι φωτεινές πηγές είναι απείρως μακριά από το αντικείμενο. Αυτό καθιστά τη γρήγορη σκίαση Phong ακατάλληλη για τη σημερινές χρήσεις real-time 3D γραφικών.

2.3.5 Προσέγγιση σκίασης Phong με χρήση της μεθόδου Euler

Η τεχνική προσέγγιση τετραγωνικού πολυώνυμου, όπως η μέθοδος του Bishop θα μπορούσε να μειώσει το ποσό του υπολογισμού στον εσωτερικό βρόχο αποδίδοντας διπλά σε σχέση με την Gouraud σκίαση. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Euler έχουμε μια άλλη τέτοια τεχνική προσέγγιση η οποία είναι εξίσου γρήγορη στον εσωτερικό βρόχο, αλλά θα δώσει επίσης τη σωστή ένταση στις άκρες, το οποίο δεν θα πάρουμε με την μέθοδο του Bishop.

Αν έχουμε κανονικοποιήσει τα κάθετα διανύσματα στα άκρα θα πάρουμε τη σωστές εντάσεις και στη συνέχεια μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα τετραγωνικό πολυώνυμο για να πάρουμε προσεγγίσεις της έντασης για το εσωτερικό του πολυγώνου. Για να επιτευχθεί καλή προσέγγιση θα δανειστούμε μια μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την επίλυση διαφορικών εξισώσεων, που είναι γνωστή ως μέθοδος του Euler. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσέγγιση μιας καμπύλης σε ένα γνωστό σημείο έναρξης και ένα δεδομένο παράγωγο σε κάθε σημείο. Ξεκινάμε με την ένταση στο σημείο εκκίνησης και καθώς προχωράμε στην κατεύθυνση x προσθέτουμε το παράγωγο σε αυτήν την τιμή. Όσο μικρότερο είναι το βήμα που

επιλεγούμε τόσο καλύτερη θα είναι η προσέγγιση. Η επανάληψη που θα χρησιμοποιήσουμε είναι:

$$y_{i+1} = y_i - dy_i$$

Τελικά η μέθοδος Euler για την προσέγγιση της καμπύλης σκίαση Phong θα είναι

$$p_{i+1} = p_i - s_i$$

$$s_{i+1} = s_i - ds$$

όπου έχουμε τα εξής

$$s_0 = di_a$$

$$ds = (di_b - di_a) / n.$$

$$di_a = \left(\frac{dp_a}{dx} - \frac{p_a}{2} \frac{dq_a}{dx} \right)$$

$$di_b = \left(\frac{dp_b}{dx} - \frac{p_b}{2} \frac{dq_b}{dx} \right)$$

Η προσέγγιση αυτή είναι κατά κάποιο τρόπο μια βελτιωμένη έκδοση του fence shading.

Για μια πιο σωστή μέθοδο Euler αν θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε το σφάλμα εκ των προτέρων, τότε θα μπορούσαμε να έχουμε γραμμική παρεμβολή από το 0 του πρώτου άκρου στο προϋπολογισμένο σφάλμα του άλλου άκρου και να αφαιρούμε από αυτήν την τιμή της προσέγγισης μας έτσι ώστε να μπορούμε να έχουμε σωστές τιμές στις ακμές. Καθώς το p_i υπολογίζεται επαναληπτικά γνωρίζουμε ότι θα καταλήξουμε με την ακόλουθη τιμή

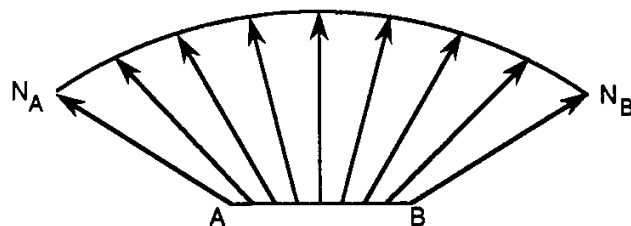
$$p_n = p_a + ndi_a + (n^2-n)ds/2$$

το σφάλμα θα είναι : $\epsilon = p_n - p_b$

έτσι έχουμε τις εξισώσεις $p_{i+1} = p_i - t_i$ και $t_{i+1} = t_i - ds$ όπου $t_0 = di_a - d\epsilon$ και $d\epsilon = \epsilon/N$

2.3.6 Ταχύτερη σκίαση Phong μέσω γωνιακής παρεμβολή

Η βασική ιδέα της γωνιακής παρεμβολής είναι ότι η γωνιακή περιστροφή ενός κατευθυντικού διανύσματος (N, L ή H) σχετίζεται γραμμικά με τη θέση κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής σε ολο το πολύγωνο (βλέπε Σχήμα 12). Τα διανύσματα παρεμβολής σύμφωνα με αυτήν την υπόθεση έχουν ένα σταθερό μήκος και είναι όλα σε ένα επίπεδο, το επίπεδο που εκτείνεται από την αρχή μέχρι το τέλος διανύσματος. Ανάλογο με τη μέθοδο παρεμβολής διανύσματος, η παρεμβολή θα γίνει σε δύο στάδια, πρώτα το διάνυσμα παρεμβάλλεται κατά μήκος των ακμών του πολυγώνου, και μετά τα προκύπτοντα διανύσματα χρησιμοποιούνται για παρεμβολή κατά μήκος της scanline.

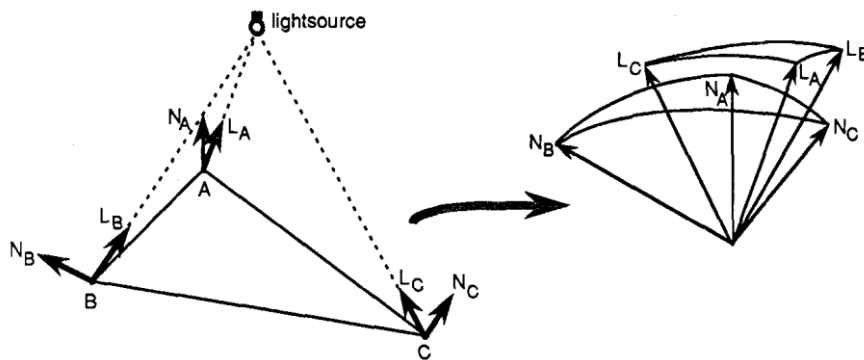


Σχήμα 12

Παρατηρώντας τη μεταβολή ενός από τα διανυσματικά ζευγάρια κατά μήκος μιας διαδρομής σε ένα πολύγωνο που μπορείτε να φανταστείτε μια κίνηση που αυτά τα δύο διανύσματα εκτελούν. Δεδομένου ότι και οι δύο φορείς μεταβάλλονται ανεξάρτητα, το αποτέλεσμα είναι ότι το καθένα μπορεί να κάνει κύκλο γύρω από κάθε άλλο, ώστε να πλησιάσουν ή να απομακρυνθούν. Αυτή η κίνηση σε ευθεία πορεία

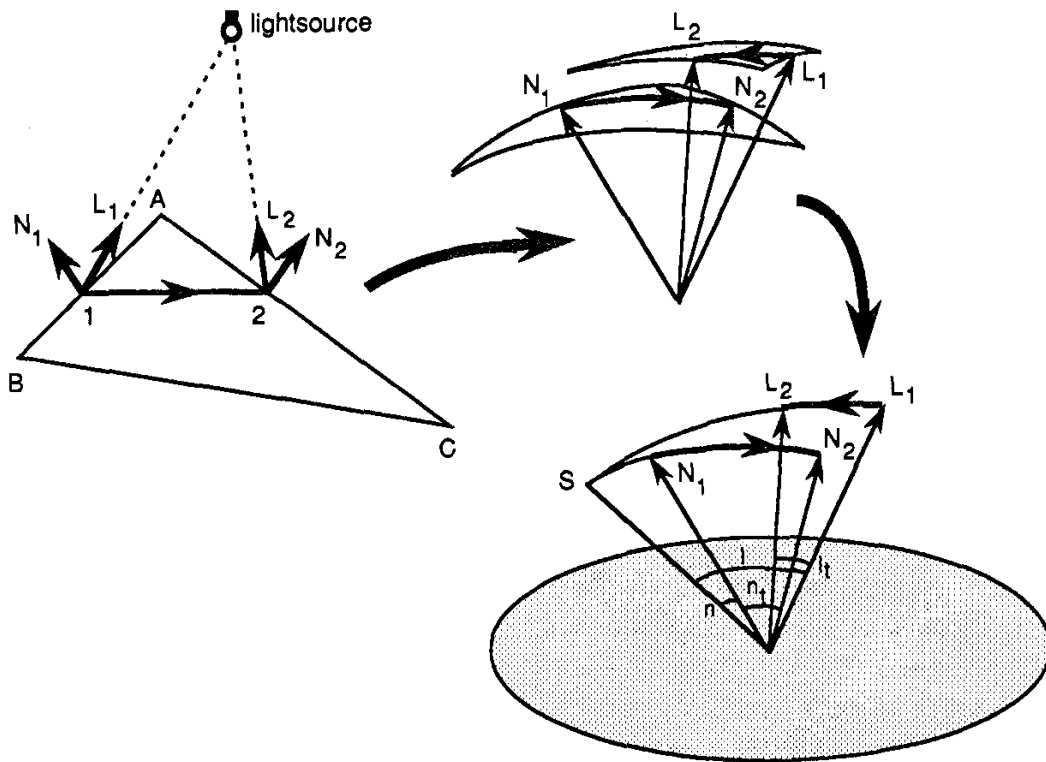
είναι εντελώς καθοριζόμενη από δύο γραμμικά διαφορετικές γωνίες, μια για κάθε διάνυσμα. Πρέπει να βρούμε μια σχέση μεταξύ αυτών των γωνιών αυξάνομενη κατά μήκος του scanline και την αξιολόγηση του στοιχείου έντασης $\cos \alpha$.

Το κανονικό διάνυσμα και η κατεύθυνση της πηγής φωτός στις κορυφές ενός τριγώνου δείχνονται στο Σχήμα 13. Για καθένα από τα δύο διανυσμάτων υπάρχει μια χαρτογράφηση του πολυγώνου στο unisphere υποδεικνύοντας το εύρος του εν λόγω διανύσματος σε όλο το πολύγωνο. Εάν για παράδειγμα η πηγή φωτός είναι στο άπειρο το σφαιρικό τρίγωνο μειώνεται σε ένα σημείο.



Σχήμα 13 Το εύρος των κατευθυντικών διαμμημάτων N και L σε όλο το τρίγωνο ABC υποδεικνύεται από δύο σφαιρικά τρίγωνα $N_A N_B N_C$ και $L_A L_B L_C$ στο *Unisphere*

Μια scanline σ' ολόκληρο το τρίγωνο αντιστοιχίζεται σε δύο κυκλικές διαδρομές, υποδεικνύοντας την μεταβολή των διανυσμάτων N και L κατά μήκος αυτού του scanline (βλέπε σχήμα κάτω). Αυτά τα μονοπάτια, από τον N_1 σε N_2 και από την L_1 στην L_2 είναι καθένα μέρος ενός μεγάλου κύκλου. Αυτοί οι δύο μεγάλοι-κύκλοι τέμνονται στο S και καθορίζονται οι γωνίες ανάμεσα στα διανύσματα.



Σχήμα 14

Έτσι έχουμε ένα σφαιρικό τρίγωνο S Nt Lt και την εξής σχέση

$$\cos \alpha_t = \cos(n+n_t)\cos(I+I_t) + \cos(n-n_t)\cos(I-I_t)\cos\gamma$$

όπου τα n , I και γ είναι σταθερές κατά μήκος του scanline. Εδώ έχουμε μια έκφραση που παράγει άμεσα τη διάχυτη συνιστώσα της έντασης. Η κατοπτρική συνιστώσα μπορεί να βρεθεί ομοίως, αλλά χρειάζεται αύξηση στη δύναμη του κατοπτρικού εκθέτη. Αυτή η έκφραση ήδη μπορεί να υπολογιστεί πιο αποτελεσματικά από τον υπολογισμό της έντασης στο διάνυσμα παρεμβολής, η οποία περιλαμβάνει εγγενώς επανακανονικοποίηση. Έχουν αναπτυχθεί δύο μέθοδοι εναλλακτικής προσέγγισης και παράγουν καλά αποτελέσματα υπό μέτριους περιορισμούς. Στη μία μέθοδο αποσύνθεσης, η περιστροφή ενός φορέα αποσυντίθεται σε δύο κάθετες συνιστώσες. Η άλλη μέθοδος συνδυάζει τα δύο μεταβλητά διανύσματα σε ένα.

Απόδοση επιφανειών η αλλιώς Rendering είναι η διαδικασία της δημιουργίας μιας εικόνας από ένα μοντέλο (ή μοντέλα, που συλλογικά θα μπορούσε να ονομαστεί αρχείο σκηνή), μέσω προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Μια σκηνή περιέχει αντικείμενα σε μια αυστηρά καθορισμένη γλώσσα ή δομή δεδομένων · περιέχει τη γεωμετρία, την οπτική, την υφή, το φωτισμό, τη σκίαση και πληροφορίες ως περιγραφή μιας πραγματικής σκηνής. Τα δεδομένα που περιέχονται στη σκηνή κατόπιν περνούν σε ένα πρόγραμμα απόδοσης για την επεξεργασία και έξοδο σε μια ψηφιακή εικόνα ή πλέγμα εικόνας γραφικών. Αν και διαφέρουν οι τεχνικές λεπτομέρειες των μεθόδων επεξεργασίας, γενικά η μετάβαση και η παραγωγή μιας δισδιάστατης εικόνας από μια 3D αναπαράσταση γίνεται με έναν αγωγό γραφικών μαζί με μια συσκευή απόδοσης, όπως μια GPU. Η GPU είναι μια συσκευή που είναι σε θέση να βοηθήσει μια CPU κατά την εκτέλεση πολύπλοκων υπολογισμών απόδοσης. Αν θέλουμε μια σκηνή να είναι σχετικά ρεαλιστική υπό εικονικό φωτισμό, το λογισμικό απόδοσης θα πρέπει να λύσει την εξίσωση απόδοσης. Η εξίσωση απόδοσης δεν λαμβάνει υπόψη όλα τα φαινόμενα φωτισμού, αλλά είναι ένα γενικό μοντέλο φωτισμού για τον υπολογιστή-γεννήτρια εικόνας. Η «Απόδοση» χρησιμοποιείται

επίσης για να περιγράψει τη διαδικασία υπολογισμού αποτελέσματος σε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας βίντεο για να παράγει τελική έξοδο.

Η απόδοση επιφανιών έχει χρήσεις στον τομέα της αρχιτεκτονικής, βιντεοπαιχνίδια, προσομοιωτές, οπτικά εφέ σε ταινίες ή τηλεόραση και στην απεικόνιση του σχεδιασμού. Στο καθένα χρησιμοποιείτε μια διαφορετική ισορροπία των χαρακτηριστικών και των τεχνικών. Ως προϊόν, μια ευρεία ποικιλία renderers είναι διαθέσιμοι. Μερικοί έχουν ενσωματωθεί σε μεγαλύτερα μοντέλα και πακέτα animation, μερικά είναι stand-alone, μερικά είναι δωρεάν open-source προγράμματα. Στο εσωτερικό, ο renderer είναι ένα προσεκτικά σχεδιασμένο πρόγραμμα, βασισμένο σ' ένα επιλεκτικό μείγμα των κλάδων που σχετίζονται με: το φυσικό φως, οπτική αντίληψη, τα μαθηματικά και την ανάπτυξη λογισμικού.

3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ

Οι υπολογισμοί έντασης ενός μοντέλου φωτισμού μπορούν να εφαρμοστούν στην απόδοση επιφανειών με διάφορους τρόπους. Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μοντέλο φωτισμού για να προσδιορίσουμε την ένταση των επιφανιών σε κάθε θέση εικονοστοιχείου που προβάλλεται, η θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε το μοντέλο φωτισμού σε μερικά επιλεγμένα σημεία και να προσεγγίσουμε την ένταση στις άλλες θέσεις των επιφανειών. Τα πακέτα γραφικών συνήθως αποδίδουν επιφάνειες χρησιμοποιώντας αλγορίθμους γραμμών σάρωσης που ελαττώνουν το χρόνο επεξεργασίας, με την επεξεργασία μόνο των επιφανειών των πολύγωνων και τον υπολογισμό εντάσεων των επιφανειών μόνο στις κορυφές. Μετά γίνεται παρεμβολή των εντάσεων των κορυφών στις άλλες θέσεις στην επιφάνεια των

πολυγώνων. Έχουν αναπτυχθεί κι άλλες, περισσότερο ακριβείς μέθοδοι απόδοσης που βασίζονται σε αλγόριθμους γραμμών σάρωσης, ενώ οι αλγόριθμοι ακτινανίχνευσης υπολογίζουν την ένταση σε κάθε σημείο της επιφάνειας που προβάλλεται, είτε αυτή είναι καμπύλη είτε επίπεδη.

1. Απόδοση επιφανειών με σταθερή ένταση

Η απλούστερη και πιο γρήγορη μέθοδος απόδοσης της επιφάνειας πολυγώνου είναι η **απόδοση επιφανειών με σταθερή ένταση ή επίπεδη απόδοση επιφανειών**. Σε αυτή θέτουμε το ίδιο χρώμα σε όλες τις θέσεις της επιφάνειας που προβάλλονται και χρησιμοποιούμε το μοντέλο φωτισμού για να προσδιορίσουμε την ένταση των τριών χρωματικών στοιχείων RGB σε μια μόνο επιφανειακή θέση, όπως μια κορυφή ή το κέντρο ενός πολυγώνου.

Γενικά, η επίπεδη απόδοση επιφανειών ενός πολυγώνου παρέχει μια ακριβή προβολή της επιφάνειας, εάν ισχύουν οι ακόλουθες υποθέσεις:

- Το πολύγωνο είναι μια έδρα ενός πολυέδρου και δεν είναι τμήμα ενός πλέγματος προσέγγισης καμπύλης επιφάνειας.
- Όλες οι πηγές φωτός που φωτίζουν το πολύγωνο βρίσκονται σε αρκετά μακρινή απόσταση από την επιφάνεια έτσι ώστε το $N \cdot L$ και η συνάρτηση εξασθένησης να είναι σταθερά σε όλη την επιφάνεια του πολυγώνου.
- Η θέση θέασης βρίσκεται σε αρκετά μακρινή απόσταση από το πολύγωνο έτσι ώστε το $V \cdot R$ να είναι σταθερό σε όλη την επιφάνεια του πολυγώνου.

2. Απόδοση επιφανειών με την μέθοδο Gouraud

Η **απόδοση επιφανειών με την μέθοδο Gouraud** ή αλλιώς **απόδοση επιφανειών με παρεμβολή εντάσεων**, παρεμβάλλει γραμμικά τιμές έντασης κορυφών στις έδρες των

πολυγώνων ενός φωτισμένου αντικείμενου. Η μέθοδος μεταβάλλει ομαλά τις τιμές έντασης κάθε πολυγωνικής έδρας με τις τιμές γειτονικών πολυγώνων, κατά μήκος των κοινών πλευρών. Αυτή η παρεμβολή εντάσεων σε ολόκληρη την πολυγωνική περιοχή εξαλείφει τις ασυνέχειες έντασης που μπορούν να παρουσιαστούν στην επίπεδη απόδοση επιφανειών.

Γίνεται επεξεργασία από την μέθοδο καθενός πολυγωνικού τμήματος μιας ψηφιδωμένης επιφάνειας, χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Προσδιορίζουμε το μέσο μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα σε κάθε κορυφή πολυγώνου.
- Εφαρμόζουμε ένα μοντέλο φωτισμού σε κάθε κορυφή του πολυγώνου για να πάρουμε την ένταση του φωτός σε αυτή τη θέση.
- Παρεμβάλλουμε γραμμικά τις εντάσεις των κορυφών πάνω στην περιοχή του πολυγώνου που έχει προβληθεί.

Σε κάθε κορυφή του πολυγώνου παίρνουμε ένα κάθετο διάνυσμα που είναι ο υπολογισμός του μέσου όρου των κάθετων διανυσμάτων όλων των πολυγώνων σε πλέγμα της επιφάνειας που μοιράζονται την κορυφή. Αμέσως μετά καλούμε το μοντέλο φωτισμού για να πάρουμε την ένταση της επιφάνειας σε αυτό το σημείο. Μετά τον υπολογισμό των εντάσεων των κορυφών μιας πολυγωνικής έδρας, μπορούμε να υπολογίσουμε με παρεμβολή τις τιμές των κορυφών, ώστε να πάρουμε τις εντάσεις σε θέσεις κατά μήκος γραμμών σάρωσης που τέμνουν την περιοχή του πολυγώνου που έχει προβληθεί. Για κάθε γραμμή σάρωσης, η ένταση στην τομή της γραμμής σάρωσης με μια πλευρά του πολυγώνου παρεμβάλλεται γραμμικά μεταξύ των εντάσεων των άκρων αυτής της πλευράς.

Ξεκινώντας από μια γραμμή σάρωσης που τέμνει μια από τις κορυφές του πολυγώνου, μπορούμε να υπολογίσουμε επαυξητικά τιμές εντάσεων και για άλλες

γραμμές σάρωσης που τέμνουν μια πλευρά που συνδέεται σε αυτή την κορυφή. Υποθέτοντας ότι οι πολυγωνικές έδρες είναι κυρτές, κάθε γραμμή σάρωσης που τέμνει το πολύγωνο έχει δυο τομές στις πλευρές του. Αφότου έχουμε υπολογίσει τις εντάσεις στις δυο τομές των πλευρών σε μια γραμμή σάρωσης, εφαρμόζουμε τις επαυξητικές διαδικασίες για να πάρουμε τιμές εντάσεων κατά μήκος της γραμμής.

Αυτή η μέθοδος αν και όπως αναφέραμε εξαλείφει τις ασυνέχειες που σχετίζονται με την επίπεδη απόδοση, έχει κάποιες ελλείψεις. Μερικές φορές οι λάμπες πάνω στην επιφάνεια προβάλλονται με ανώμαλα σχήματα και η γραμμική παρεμβολή εντάσεων μπορεί να προκαλέσει να εμφανιστούν στην επιφάνεια φωτεινές και σκοτεινές λωρίδες που ονομάζονται ταινίες Mach. Αυτά τα εφέ μπορούν να ελαττωθούν με την διαίρεση της επιφάνειας σε μεγαλύτερο πλήθος από πολυγωνικές έδρες η με τη χρήση μεγαλύτερης ακριβείας υπολογισμών έντασης.

3. Απόδοση επιφανειών με την μέθοδο Phong

Μια πιο ακριβής μέθοδο παρεμβολής για την απόδοση ενός πολυγωνικού πλέγματος είναι η **απόδοση επιφανειών με την μέθοδο Phong** ή **απόδοση παρεμβολής κάθετων διανυσμάτων**, η οποία παρεμβάλλει κάθετα διανύσματα αντί για τιμές έντασης. Το αποτέλεσμα είναι μια πιο ρεαλιστική προβολή των λάμπων των επιφανειών και μια μεγάλη μείωση στο εφέ ταινιών Match. Ωστόσο, η μέθοδος Phong απαιτεί περισσότερους υπολογισμούς από την Gouraud.

Χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες διαδικασίες, γίνεται επεξεργασία καθενός πολυγωνικού τμήματος μιας ψηφιδωμένης καμπύλης επιφάνειας από την μέθοδο απόδοσης επιφανειών Phong.

- Προσδιορίζουμε το μέσο κάθετο διάνυσμα σε κάθε κορυφή του πολυγώνου.
- Παρεμβάλλουμε γραμμικά τα κάθετα διανύσματα των κορυφών πάνω στην προβαλλόμενη επιφάνεια του πολυγώνου.
- Εφαρμόζουμε ένα μοντέλο φωτισμού σε θέσεις κατά μήκος των γραμμών σάρωσης για να υπολογίσουμε τις εντάσεις των εικονοστοιχείου, χρησιμοποιώντας τα παρεμβλημένα κάθετα διανύσματα.

Οι διαδικασίες παρεμβολής των κάθετων διανυσμάτων είναι οι ίδιες με αυτές των τιμών εντάσεων στη μέθοδο Gouraud. Επίσης μπορούμε να εφαρμόσουμε τις ίδιες επαυξηθήκες μεθόδους για να πάρουμε τα κάθετα διανύσματα σε διαδοχικές γραμμές σάρωσης και σε διαδοχικές θέσεις εικονοστοιχείων κατά μήκος γραμμών σάρωσης. Η διάφορα ανάμεσα στις δυο προσεγγίσεις απόδοσης επιφανειών είναι ότι τώρα πρέπει να εφαρμόσουμε το μοντέλο φωτισμού σε κάθε θέση εικονοστοιχείου που έχει προβληθεί κατά μήκος των γραμμών σάρωσης, ώστε να πάρουμε τις τιμές έντασης της επιφάνειας.

4. Γρήγορη απόδοση επιφανειών με τη μέθοδο Phong

Μπορούμε να ελαττώσουμε το χρόνο επεξεργασίας στη μέθοδο απόδοσης Phong με την προσέγγιση μερικών υπολογισμών του μοντέλου φωτισμού. Η γρήγορη απόδοση επιφανειών με τη μέθοδο Phong εκτελεί τους υπολογισμούς έντασης χρησιμοποιώντας ένα αποκομμένο ανάπτυγμα ακολουθιών Taylor και τον περιορισμό των πολυγωνικών εδρών σε τριγωνικά επιφανειακά τμήματα.

Αφού η μέθοδος Phong λειτουργεί με την παρεμβολή των κάθετων διανυσμάτων από τα διανύσματα κορυφών, μπορούμε να γράψουμε την παράσταση υπολογισμού του κάθετου διανύσματος N στην θέση (x,y) ενός τριγωνικού επιφανειακού τμήματος ως

$$N=Ax+By+C$$

Όπου τα διανύσματα A,B και C υπολογίζονται από τις τρεις εξισώσεις κορυφών:

$$N_k=Ax_k+By_k+C. \quad k=1,2,3$$

με (x_k,y_k) τη θέση της κορυφής τριγώνου που έχει προβληθεί πάνω στο επίπεδο εικονοστοιχείων.

Εάν δεν λάβουμε υπόψη τις παραμέτρους ανακλασιμότητας και εξασθένησης, τότε μπορούμε να γράψουμε τον υπολογισμό της διάχυτης αντανάκλασης μια πηγής φωτός από ένα σημείο (x,y) μιας επιφάνειας ως

$$I_{diff}(x,y) = L \cdot N / |L| \cdot |N| = (L \cdot A)x + (L \cdot B)y + L \cdot C / |L| |Ax+By+C|$$

Γράφουμε την παράσταση στην εξής μορφή όπου οι παράμετροι a,b,c,d χρησιμοποιούνται για να περιγράψουμε τα διάφορα εσωτερικά γινόμενα

$$I_{diff}(x,y) = ax+by+c / [dx^2+exy+fy^2+gx+hy+i]^{1/2}$$

Τέλος γράφοντας το παρονομαστή ως ανάπτυγμα ακολουθίας Taylor και διατηρώντας τους όρους μέχρι το δεύτερο βαθμό στα x και y. Αυτό δίνει

$$I_{diff}(x,y) = T_5x^2+T_4xy+T_3y^2+T_2x+T_1y+T_0$$

Όπου T_k είναι μια συνάρτηση των διαφόρων παραμέτρων της προηγούμενης εξίσωσης όπως τα a,b,c.

Με τη χρήση πρόσω διαφορών μπορούμε να υπολογίσουμε την τελευταία εξίσωση μόνο με δυο προσθέσεις για κάθε θέση εικονοστοιχείου (x,y) , αφού πρώτα υπολογίσουμε τις αρχικές παραμέτρους της πρόσω διαφοράς. Ακόμα και με την γρήγορη προσέγγιση Phong απαιτείται περίπου διπλάσιος χρόνος απόδοσης μιας επιφάνειας σε σχέση με την μέθοδο Gouraud. Η βασική μέθοδο Phong απαιτεί 6 με 7 φορές περισσότερο χρόνο εκτέλεσης από την Gouraud.

Η γρήγορη απόδοση Phong των διάχυτων αντανakλάσεων μπορεί να επεκταθεί ώστε να συμπεριλαμβάνει κατοπτρικές αντανakλάσεις , χρησιμοποιώντας παρόμοιες προσεγγίσεις υπολογισμού των κατοπτρικών όρων. Επιπλέον, μπορούμε να γενικεύσουμε τον αλγόριθμο ώστε να περιλαμβάνει μια πεπερασμένη θέση θέασης και όχι μόνο τριγωνικά πολύγωνα.

3.2 ΤΥΠΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΙΩΝ

ΑΠΟΔΟΣΗ SCANLINE

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις στην απόδοση επιφανιών· Η Scanline rendering και η ακτινανίχνευσης (raytracing). Η διαφορά έγκειται στο σημείο οπτικής του renderer. Η προσέγγιση scanline είναι περίπου ισοδύναμη με το να θέσεις το ερώτημα “αν η σκηνή υπήρχε πραγματικά σε 3D και κοιτάς μέσα από ένα παράθυρο οθόνης τι θα δείτε μέσα από την πρώτη μικροσκοπική τρύπα (pixel) και μετά από το επόμενο και το επόμενο pixel;”. Μια μηχανή απόδοσης scanline σχεδιάζει μια νοητή γραμμή από το μάτι του θεατή, μέσω ενός pixel σε μια CRT, σε μια φανταστική 3D σκηνή για να καθορίσει ποιο στοιχείο (s) θα είναι ορατό. Ανάλογα με το τι χρώμα ή τι υφή έχει ανατεθεί στο αντικείμενο ,το pixel χρωματίζεται κατάλληλα και ο μηχανισμός rendering πηγαίνει στο επόμενο pixel , αυτό γίνεται για κάθε γραμμή ξεχωριστά μέχρι το τελευταίο pixel να έχει χρωματιστεί.

Ένα πρόβλημα με αυτήν την προσέγγιση είναι αποτελεσματικός καθορισμός του τι μπορεί να φανεί και τι όχι. Οι scanline renderer’s χρησιμοποιούν μια απλή πρόχειρη προσέγγιση-αποδίδοντας τα πάντα ξεκινώντας με τα αντικείμενα σε πιο μακρινή απόσταση από τον θεατή. Αν κάτι σε πρώτο πλάνο καλύπτει κάτι στο παρασκήνιο,

απλά επαναπροσδιορίζει το pixel. Αυτή η προσέγγιση ενώ λειτουργεί, δεν είναι πολύ αποτελεσματική. Ένα τέχνασμα που χρησιμοποιούν οι μηχανές rendering για να αποφευχθεί ο σχεδιασμός των ίδιων pixels ξανά και ξανά είναι να υπολογίσει ποια αντικείμενα αποκρύπτονται από άλλα αντικείμενα πριν γίνει η διαδικασία εμφάνισης τους στην οθόνη. Αυτό επιτυγχάνει το Z-buffering. Προτού αποδοθεί το οτιδήποτε στην οθόνη, ο μηχανισμός του αποδίδει σε κάθε πολύγωνο μια τιμή Z καθορίζοντας απόσταση από την οθόνη. Όταν έρχεται η ώρα της απόδοσης επιφάνειας, ο μηχανισμός παίρνει το πολύγωνο με τη χαμηλότερη αξία Z και δεν ασχολείται με τα υπόλοιπα. Αυτό επιταχύνει σημαντικά την διαδικασία.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΤΙΝΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ

Ένας από τα πρώτους γενικούς αλγορίθμους φωτισμού που είχε αναπτυχθεί είναι γνωστός ως μέθοδος ακτινανίχνευσης. Σε αυτόν αναγνωρίζεται ότι, ενώ μπορεί να υπάρχουν δισεκατομμύρια φωτόνια που ταξιδεύουν στο δωμάτιο, τα φωτόνια που μας ενδιαφέρουν κυρίως είναι αυτά που εισέρχονται στο μάτι. Ο αλγόριθμος λειτουργεί με τον εντοπισμό ακτίνες προς τα πίσω, από κάθε pixel στην οθόνη προς το μοντέλο 3D. Με τον τρόπο αυτό, υπολογίζουμε μόνο τις πληροφορίες που απαιτούνται για την κατασκευή της εικόνας. Για να δημιουργηθεί μια εικόνα χρησιμοποιώντας ακτινανίχνευση, ακολουθείται η διαδικασία για την απόδοση κάθε pixel στην οθόνη του υπολογιστή

Μια ακτίνα ιχνηλατείται από το μάτι, μέσω του pixel στην οθόνη, έως ότου διασταυρωθεί με μια επιφάνεια. Όταν αυτό γίνει τρία πράγματα συμβαίνουν. Πρώτον, οι τιμές χρώματος και φωτεινότητας υπολογίζονται με βάση τον άμεσο φωτισμό που

προέρχεται από πολύγωνο. Γνωρίζουμε την ανακλαστικότητα της επιφάνειας από την περιγραφή μοντέλου, αλλά δεν γνωρίζουμε ακόμη το ποσό του φωτός που φθάνει στην επιφάνεια αυτή. Για τον προσδιορισμό του συνολικού φωτισμού, ιχνηλατούμε μια ακτίνα από το σημείο της τομής σε κάθε πηγή φωτός του περιβάλλοντος (shadow ray). Αν η ακτίνα σε μία πηγή φωτός δεν μπλοκάρεται από ένα άλλο αντικείμενο, το φως που προέρχεται από την πηγή αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του χρώματος της επιφάνειας.

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι γωνίες ανάκλασης και διάθλασης. Με βάση το είδος της επιφάνειας την ανακλαστικότητα ή/και τη διαφάνεια της, η ακτίνα διασπάτε και συνεχίζει σε δύο νέες κατευθύνσεις. Η επιφάνεια πρόσπτωσης μπορεί να είναι γυαλιστερή ή διαφανής. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει επίσης να καθοριστεί τι φαίνεται πάνω στην επιφάνεια η μέσα της και να επεξεργαστεί. Τα βήματα 1 και 2 επαναλαμβάνονται στην ανακλώμενη κατεύθυνση μέχρι να συναντήσει άλλη επιφάνεια. Το χρώμα στο επόμενο σημείο τομής υπολογίζεται και να λαμβάνεται υπόψη για το αρχικό σημείο.

Τέλος αν η δεύτερη επιφάνεια είναι και πάλι ανακλαστική ή διαφανής, η διαδικασία ακτινανίχνευσης επαναλαμβάνει για άλλη μια φορά, και ούτω καθεξής, έως ότου επιτευχθεί ο μέγιστος αριθμός των επαναλήψεων ή μέχρι να μην παρεμβάλλονται περισσότερες επιφάνειες. Κάθε ακτίνα συνεχίζει την πορεία της στη σκηνή μέχρι να χτυπήσει μια πηγή φωτός ή βγει από τη σκηνή ή φτάσει κάποιο αυθαίρετο αριθμό (επίπεδο αναδρομής). Όταν όλες οι ακτίνες έχουν ολοκληρώσει τις διαδρομές τους, η ένταση και οι τιμές χρώματος συνδυάζονται και το pixel χρωματίζεται.

Ο αλγόριθμος της ακτινανίχνευσης είναι πολύ ευέλικτος, λόγω του μεγάλου φάσματος των εφέ φωτισμού που μπορούν να μοντελοποιηθούν. Μπορεί με ακρίβεια

να υπολογίσει τα γενικά χαρακτηριστικά άμεσου φωτισμού, σκιές, φασματικές ανακλάσεις και διάθλαση μέσω διαφανών υλικών. Οι αντίστροφοι ακτινανίχνευτές ξεκινούν σε μια σκηνή και υπολογίζουν τις εκατομμύρια ακτίνες φωτός που θα αναπηδούν σε αυτή και τελικά να περνούν μέσα από ένα δεδομένο pixel έτσι ώστε να φτάσει μια συνολική εικόνα στο μάτι του θεατή.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής ακτινανίχνευσης είναι ότι πράγματα όπως ανακλάσεις και διάθλαση υπολογίζονται με ακρίβεια όπως την πραγματικότητα. Μπορεί επίσης να αποδώσει τις σκιές με αληθοφάνεια. Όταν μια ακτίνα χτυπά ένα πολύγωνο, ο μηχανισμός θα προσπαθήσει να εντοπίσει ακτίνες από εκείνο το σημείο που να πηγαινούν άμεσα σε πηγές φωτός. Εάν δεν υπάρχει απευθείας γραμμή φωτός, τότε το πολύγωνο είναι στη σκιά. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τον αλγόριθμο scanline είναι η ικανότητά του να αντιμετωπίζει εύκολα τις μη-επίπεδες επιφάνειες και τα στερεά, όπως κώνους και σφαίρες. Περίτεχνα αντικείμενα μπορούν να δημιουργηθούν με τη χρήση τεχνικής μοντελοποίησης και εύκολα αποδίδονται.

Το κύριο μειονέκτημα της ακτινανίχνευσης είναι ότι η διαδικασία είναι υπολογιστικά ακριβή και αργή για περιβάλλοντα ακόμα και μέτριας πολυπλοκότητας. Επίσης, δεν είναι όλες οι συμπεριφορές του φωτός αντιπροσωπευτικές. Για παράδειγμα, αν ένα κόκκινο αντικείμενο είναι μπροστά από ένα λευκό αντικείμενο τότε ένα μέρος από το κόκκινο θα εμφανιστεί στο λευκό φόντο. Μια άλλη συμπεριφορά του φωτός που δεν είναι συνήθως αντιμετωπίσιμη με την τεχνική ακτινανίχνευσης είναι η περίθλαση ή η σκέδαση του φωτός καθώς αναπηδά στα αντικείμενα και διαχέεται. Με την παραδοσιακή ακτινανίχνευση μόνο το φως που έρχεται άμεσα από τις ίδιες τις πηγές φωτός δίνει ακρίβεια στον υπολογισμό.

Εκεί που μειονεκτεί επίσης ο ray tracing σε σχέση με τον αλγόριθμο Scanline και άλλους, είναι ότι αυτοί οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν συνοχή των δεδομένων για κοινή χρήση υπολογισμών μεταξύ εικονοστοιχείων, ενώ ο ray tracing συνήθως ξεκινά τη διαδικασία εκ νέου, αντιμετωπίζοντας κάθε ακτίνα ξεχωριστά.

3.2.1 Βελτιωμένες μέθοδοι υπολογισμού για ακτινανίχνευση

Καθώς το υπολογιστικό κόστος για παραγωγή εικόνων με την κλασική ακτινανίχνευση είναι ακριβό, είναι προφανές ότι νέες τεχνικές πρέπει να βρεθούν για να μειώσουν το χρόνο υπολογισμού. Οι τεχνικές αυτές θα χρησιμοποιήσουν συνοχή του αντικείμενου και της εικόνας. Ο όρος συνοχή χρησιμοποιείται για να περιγράψει το βαθμό στον οποίο ένα περιβάλλον ή μια εικόνα είναι τοπικά σταθερή. Η συνοχή αντικείμενο βασίζεται στην γνωστή σχέση μεταξύ αντικειμένων σε ένα περιβάλλον και αυτή η πληροφορία χρησιμοποιείται για να μειώσει τους υπολογισμούς ορατής επιφάνειας. Η τεχνική συνοχή-εικόνας επωφελείται από το γεγονός ότι η εικόνα δεν αλλάζει με ταχείς ρυθμούς από σημείο σε σημείο ή γραμμή σάρωσης σε γραμμή σάρωσης στο προβαλλόμενο πλάνο. Επωφελείτο επίσης από τον πλευρικό διαχωρισμό της αλλαγής εικόνας για να μειώσει τις συγκρίσεις βάθους.

Για τη βελτίωση της απόδοσης οι **Rubin** και **Whitted** [RubinWhi] χρησιμοποιούν δύο όγκους οροθέτησης και ιεραρχική περιγραφή του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η χρήση σφαιρικού όγκου οριοθέτησης μειώνει σημαντικά το χρόνο υπολογισμού, και αυτή η διαδικασία είναι πλέον κοινή πρακτική στην ανίχνευση

ακτινών. Ο διαχωρισμός του περιβάλλοντος έχει βελτιώσει επίσης την αποτελεσματικότητα των αλγορίθμων ορατής επιφάνεια. Στην εφαρμογή τους, το περιβάλλον υποδιαιρείται σε ιεραρχικά, ορθογώνιους υποχώρους, εκτός από το κατώτερο επίπεδο, το οποίο οριοθετείται από αυθαίρετα προσανατολισμένα, ορθογώνια παραλληλεπίπεδα. Κατά τη δημιουργία εικόνας, κάθε ακτίνα μετασχηματίζεται σε ευθυγράμμιση με τους άξονες των παραλληλεπίπεδων, έτσι ώστε η δοκιμές διασταύρωσης μειώνονται σε απλές συγκρίσεις έναντι των ορίων των κουτιών οριοθέτησης.

Ο **Crow** [Crow] περιγράφει επίσης ένα σύστημα παραγωγής εικόνας που καθορίζεται από την διαχωριστικότητα των αντικειμένων κατά τη διάρκεια της ανάλυσης σκηνής. Το περιβάλλον είναι χωρισμένο από ακατέργαστες εξοχές και το βαθιές εσοχές και εκεί καθορίζει προτεραιότητες για την απόδοση. Παρά το γεγονός ότι αυτός ο διαχωρισμός χρειάζεται διαφορετικού είδους αλγορίθμους απόδοσης που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για κάθε αντικείμενο, καθώς και παράλληλη επεξεργασία, είναι δύσκολο να εφαρμοστεί σε αλγορίθμους ακτινανίχνευσης οι οποίοι απαιτούν γενικές πληροφορίες.

Ο **Kajiya** [Kajiya83] δημοσίευσε ένα άρθρο βελτίωσης των αλγορίθμων τομής για την ακτινανίχνευση των τριών τύπων διαδικαστικά καθορισμένων αντικείμενων, αυτά είναι, φράκταλ επιφάνειες, πρίσματα, και τις επιφάνειες της περιστροφής. Δεδομένου ότι τα φράκταλ είναι επιφάνειες που ορίζονται αναδρομικά, ο Kajiya καθόρισε πιθανές "εκτάσεις" των φράκταλ επιφανειών, η οποίες, κατά μία έννοια, ενεργούν ως οριοθέτησης όγκους. Η λύση του για το στο πρίσμα και τις επιφάνειες περιστροφής μειώνει το πρόβλημα από τρισδιάστατες τομές ακτινών σε δύο διαστάσεις.

Ο Hall [Hall] χρησιμοποιεί προσαρμοστικό έλεγχο βάθους-δένδρου μειώνοντας το υπολογιστικό κόστος . Παραδοσιακά, τα δέντρα ακτίνων-τομής για όλα τα σημεία δειγματοληψίας είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να έχουν προκαθορισμένο βάθος για να εξασφαλίζουν ότι όλες οι σχετικές αντανάκλασεις και οι διαθλάσεις λαμβάνονται για την εικόνα. Ωστόσο, το άνω όριο της συνεισφοράς από οποιονδήποτε κόμβο στο δέντρο ακτίνων-τομής έως το τελικό χρώμα του δείγματος μπορεί να προσδιορίζεται σύμφωνα με την διάχυτη, κατοπτρική, και μεταδιδόμενες ιδιότητες της τέμνουσας επιφάνειας. Έτσι, με τη θέσπιση ενός ορίου εισφοράς, το βάθος του δέντρου μπορεί να ελέγχεται προσαρμοστικά. Στατιστικές δείχνουν τις σημαντικές εξοικονομήσεις που μπορούμε να έχουμε, ακόμη και για πολύ ανακλαστικά περιβάλλοντα

3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Οι μέθοδοι της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εισήχθησαν, από τον Goral γύρω στο 1984, στα γραφικά υπολογιστών με το όνομα "Radiosity" για τη δημιουργία φωτορεαλιστικών εικόνων. Η νέα διαδικασία, που προέρχεται από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στη θερμική μηχανική, έχει θεμελιώδη βάση της ενεργειακής ισορροπίας, και σωστά μοντελοποιεί την αλληλεπίδραση μεταξύ του φωτός που αντανάκλουν οι επιφάνειες. Η Radiosity είναι ιδιαίτερα κατάλληλη μέθοδος για μεγάλων διαστάσεων περιβάλλοντα και ο αλγόριθμος βασίζεται στο χώρο αντικειμένου και όχι από το χώρο της εικόνας. Αυτό σημαίνει ότι τα χρώματα των αντικειμένων υπολογίζονται πριν να προβληθούν επάνω στην οθόνη έτσι μετά τους

αρχικούς υπολογισμούς που έχουν γίνει, μπορεί να γίνει η απόδοση της επιφάνειας από κάθε οπτική γωνία με τη χρήση γρηγορών τεχνικών rendering.

Η μέθοδος εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι η ικανότητα των υλικών να αντανακλούν το φως και αυτό να προσκρούει πάνω σ' άλλα υλικά σαν να προερχόταν από μια δεύτερη πηγή φωτισμού. Αυτό συμβαίνει για όλα τα πραγματικά υλικά και για όλες τις πηγές φωτός.

Σε αντίθεση με το βασικό μοντέλο φωτισμού, το μοντέλο εκπεμπόμενης ακτινοβολίας (radiosity model) μπορεί να μοντελοποιήσει τα εφέ φωτισμού με μεγαλύτερη ακρίβεια λαμβάνοντας υπόψη τους νομούς φυσικής που διέπουν την μεταφορά ακτινοβολούμενης ενέργειας μέσα σε μια σκηνή που φωτίζεται.

3.3.1 Όροι ακτινοβολούμενης ενέργειας

Η ενέργεια καθενός φωτονίου στην μονοχρωματική φωτεινή ακτινοβολία υπολογίζεται ως

$$E_{\text{photon},f} = h \cdot f$$

Όπου f η συχνότητα χαρακτηρίζει το χρώμα του φωτός και h είναι η σταθερά Planck..

Συνεπώς η συνολική ακτινοβολούμενη ενέργεια είναι το άθροισμα όλων των φωτονίων όλων των συχνοτήτων

$$E = \sum_f \sum_{\text{all photons}} hf$$

Για να πάρουμε τα εφέ φωτισμού των επιφανειών μια σκηνής υπολογίζουμε την ροή της ακτινοβολίας ανά μονάδα εμβαδού που φεύγει από την επιφάνεια.

Αυτή η ποσότητα ονομάζεται **εκπεμπόμενη ακτινοβολία B (radiosity)**.

$$B=d\Phi/dA$$

Που μετριέται σε μονάδες watt ανά τετραγωνικό μέτρο.

Φ είναι η ροή ακτινοβολίας: $\Phi = \delta E/\delta t$

3.3.2 Το βασικό μοντέλο εκπεμπόμενης ακτινοβολίας

Για την ακριβή περιγραφή διάχυτων αντανάκλασεων από μια επιφάνεια, το μοντέλο εκπεμπόμενης ακτινοβολίας υπολογίζει τις αλληλεπιδράσεις εκπεμπόμενης ενέργειας απ όλες τις επιφάνειες μιας σκηνής. Το μοντέλο υποθέτει ότι όλες οι επιφάνειες είναι μικρές, διαφανείς και τέλειοι διάχυτοι ανακλαστήρες (επιφάνειες Lambert).

Φανταστείτε τη διαμέριση του περιβάλλοντος σε ένα πεπερασμένο αριθμό N διακριτών περιοχών, καθεμία από τις οποίες είναι πεπερασμένου μεγέθους, εκπομπής και αντανακλούν το φως ομοιόμορφα σε ολόκληρο τον χώρο. Αν λάβουμε υπόψη κάθε επίθεμα ως ένα αδιαφανές Lambertian διάχυτο εκπομπό και ανακλαστήρα, (οι Lambertian επιφάνειες εμφανίζονται εξίσου φωτεινές από όλες τις οπτικές γωνίες, επειδή αντανακλούν το φως με την ίδια ένταση σε όλες τις κατευθύνσεις), στη συνέχεια, για την επιφάνεια i .

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{1 < j < N} B_j F_{ji} A_j / A_i$$

Οπού:

B_i και B_j είναι οι *radiosities* (δηλαδή εκπεμπόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας) των patches i

και j που μετράται σε περιοχή ενέργειας/μονάδα χρόνου/μονάδα εμβαδού (W/m^2).

E_i είναι ο ρυθμός με τον οποίο το φως που εκπέμπεται από το i patch και έχει τις ίδιες μονάδες με το radiosity.

ρ_i είναι το i patch που είναι ανακλαστικό και αδιάστατο.

F_{ji} είναι ο form factor μεταξύ patch j και i το οποίο καθορίζει το μέρος της ενέργειας που εξέρχονται από το patch j και φτάνει στο patch i , λαμβάνοντας υπόψη το σχήμα και σχετικό προσανατολισμό των δύο patches και παρουσία τυχόν παρεμβαλλόμενων patches.

N είναι ο αριθμός των επιφανειών.

Η παραπάνω εξίσωση δηλώνει την ενέργεια που φεύγει από μια μονάδα επιφάνειας, είναι το άθροισμα του εκπεμπόμενου φωτός συν το ανακλώμενο φως. Το ανακλώμενο φως υπολογίζεται κλιμακώνοντας το άθροισμα του προσπίπτοντος φωτός από την ανακλαστικότητα. Το προσπίπτον φως είναι με τη σειρά του το άθροισμα του φωτός που εξέρχεται από το σύνολο του κάθε patch στο περιβάλλον κλιμακούμενο από το κλάσμα του εν λόγω φωτός που φθάνει μια μονάδα περιοχή του patch υποδοχής. $B_j F_{ji}$ είναι η ποσότητα του φωτός που φεύγει από μια μονάδα επιφάνειας A_j και φτάνει σε όλο το A_i . Ως εκ τούτου, είναι αναγκαίο να πολλαπλασιάζονται από την αναλογία περιοχής A_j / A_i για τον προσδιορισμό του φωτός που φεύγει απ όλα A_j και φτάνει σε μια μονάδα περιοχής του A_i .

Όμως με βάση τη σχέση $A_i F_{ij} = A_j F_{ji}$, η εξίσωση απλοποιείτε και έχουμε

$$\mathbf{B}_i = \mathbf{E}_i + \rho_i \sum_{1 < j < N} \mathbf{B}_j F_{ij}$$

Αυτό δίνει την αλληλεπίδραση του φωτός μεταξύ των patches ως ένα σύνολο από ταυτόχρονες εξισώσεις, το οποίο μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας μέθοδο Gauss

Siedel να υπολογίσει το φως που εκπέμπεται από κάθε patch. Η ακόλουθη εξίσωση πινάκων λαμβάνεται:

$$\begin{bmatrix} 1 - \rho_1 F_{11} & -\rho_1 F_{12} & \cdots & -\rho_1 F_{1n} \\ -\rho_2 F_{21} & 1 - \rho_2 F_{22} & \cdots & -\rho_2 F_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\rho_n F_{n1} & -\rho_n F_{n2} & \cdots & 1 - \rho_n F_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix}$$

Οι ταυτόχρονες εξισώσεις πρέπει να λυθούν για κάθε ζώνη μήκους κύματος με βάση το μοντέλο φωτισμού, δεδομένου ότι r_i και E_i είναι εξαρτημένα από το μήκος κύματος. Οι παράγοντες μορφή είναι αποκλειστικά συνάρτηση της γεωμετρίας, και ως εκ τούτου δεν χρειάζεται να επαναυπολογίζονται αν οι φωτισμοί ή η επιφάνεια ανακλαστικότητας αλλάζουν.

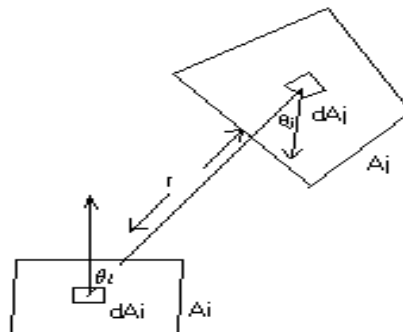
3.3.3 Παράγοντες μορφής

Οι παράγοντες μορφής (Form Factors) καθορίζουν το ποσό της ενέργειας που φεύγει από μια δεδομένη επιφάνεια και φθάνει σε μία δεύτερη επιφάνεια άμεσα. Αυτή είναι η ουσία της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Εξ ορισμού το άθροισμα όλων των παραγόντων μορφής από ένα συγκεκριμένο σημείο ή patch είναι ίσον με τη μονάδα. Ο όρος του form factor είναι καθαρά γεωμετρικός, σχετίζεται μόνο με το μέγεθος, τον προσανατολισμό, την απόσταση και την προβολή μεταξύ των δύο patches.

Υπάρχουν δύο αλγόριθμοι για τον υπολογισμό των form-factors: Ο hemisphere και ο hemicube. Η Δειγματοληψία στον hemisphere απαιτεί την εύρεση της τομής του patch και της επιφάνειας ημισφαιρίου και στη συνέχεια προβάλλοντας τη διασταύρωση προς τα κάτω στο πάτωμα του ημισφαιρίου για να πάρει τον form-factor. Αυτή είναι μια πολύ δαπανηρή υπολογιστικά μέθοδος. Έτσι αναπτύχθηκε η

μέθοδος hemicube. Η περιοχή του hemicube που διασταυρώνεται με την ακτινοβολία του patch είναι η ίδια όπως η προβολή της επιφάνειας του hemicube στο πάτωμα. Έτσι, ο form-factor είναι απλώς η περιοχή της τομής με την επιφάνεια του hemicube. Αυτό εξαλείφει ένα μεγάλο μέρος των υπολογισμών που ήταν απαραίτητοι με τον αλγόριθμο hemisphere. Κάθε τμήμα του hemicube είναι ένα pixel για να κάνει τα πράγματα ευκολότερα.

Μέθοδος Hemisphere



Σχήμα 15

Στη μέθοδο ημισφαιρίου (Hemisphere) εξετάζοντας τα δύο κομμάτια φαίνεται στο Σχήμα 15 ο form factor από την διαφορική περιοχή dA_i στη διαφορική περιοχή dA_j είναι

$$dF_{d_i d_j} = (\text{Cos } \theta_i \text{ Cos } \theta_j H_{ij} dA_j) / \pi r^2$$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να επιτευχθεί με την προβολή αυτών των τμημάτων του A_j που είναι ορατά από το dA_i πάνω από μια μονάδα ημισφαιρίου με κέντρο περίπου το dA_i , προβάλλοντας αυτή την περιοχή του κυκλικού τμήματος του ημισφαιρίου στη βάση του και διαιρώντας με το εμβαδόν του κύκλου.

Ο τελικός form factor μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση.

$$F_{ij} = 1/A_i \iint (\cos \theta_i \cos \theta_j H_{ij} dA_j dA_i) / \pi r^2$$

Μέθοδος Hemicube

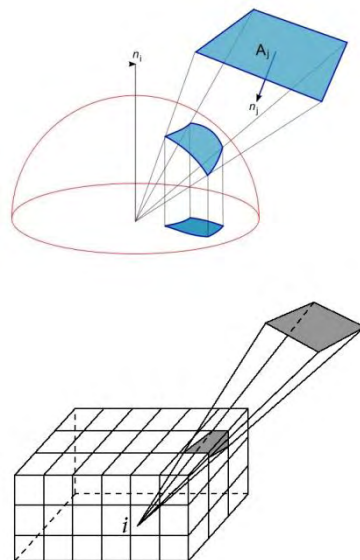
Ο Cohen (1985) εισήγαγε μια γενική διαδικασία, του ημίκυβου, για τον υπολογισμό της σχέσης μεταξύ των διακριτών επιφανειών μέσα σε φραγμένο περιβάλλον. Η τεχνική ήταν ένας αποτελεσματικό αλγόριθμος, παρόμοιας φύσης με την προβολή των ορατών επιφανειών, και εφαρμοζόταν σε σκηνές οποιασδήποτε πολυπλοκότητας.

Στη μέθοδο ημίκυβου (hemicube) το patch A_j προβάλλεται επάνω στο άνω ήμισυ ενός κύβου με κέντρο περίπου dA_i . Κάθε όψη αυτού του hemicube υποδιαιρείται σε έναν αριθμό ίσων μεγέθους τετραγωνικών κυττάρων. Κάθε κυττάρων p συνδέεται με την προϋπολογισμένη τιμή του παράγοντα δέλτα,

$$\Delta F_p = (\cos \theta_i \cos \theta_p \Delta A) / \pi r^2$$

όπου θ_i είναι η γωνία μεταξύ της επιφάνειας του p και του διανύσματος μεταξύ του dA_i και p , r είναι το μήκος αυτού του φορέα και ΔA είναι η περιοχή ενός κυττάρου. Με κατάλληλη προσεγγίσεις η παραπάνω εξίσωση μπορεί να μειωθεί σε ένα κλάσμα απαλλαγμένο από τριγωνομετρικές εξισώσεις και τα ολοκληρώματα. Επίσης, λόγω της συμμετρίας οι τιμές ΔF_p πρέπει να υπολογιστεί μόνο για το ένα-όγδοο της άνω επιφάνειας και το ένα τέταρτο της μιας πλευράς μισής όψης. Μπορούμε να προσεγγίσουμε το F_{ij} για κάθε patch j αθροίζοντας τις τιμές των ΔF_p που σχετίζονται με κάθε κύτταρο p στις προβολές του hemicube.

Υπάρχουν δύο κύρια προβλήματα με τη διαμόρφωση ημίκυβου. Δεδομένου ότι μόνο τα ολοκλήρωμα για το αποσταλμένο patch έχουν εκτελεστεί, ανακρίβειες μπορεί να παρουσιαστούν εάν το μέγεθος του το patch είναι μεγάλο σε σχέση με την απόσταση μεταξύ των patches. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να μειωθεί υπολογίζοντας το μέσο όρο των αποτελεσμάτων των διαφόρων του ημίκυβου κατά τη διάρκεια όταν λαμβάνουν τα patch ή υποδιαιρώντας το περιβάλλον σε μικρότερα patches ή χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ολοκλήρωσης περιγράμματος. Το δεύτερο πρόβλημα που εμφανίζεται είναι λόγω του ότι ο ημικύβος δειγματοληπτεί το περιβάλλον σε κανονικές αποστάσεις στερεάς γωνίας, έτσι μπορούν να εμφανιστούν προβλήματα με aliasing. Μικρά patches στο περιβάλλον μπορεί ποτέ να μη φανούν, ενώ άλλα μπορεί να υποστούν δειγματοληψία μόνο από ένα ή δύο κυψελίδες ημίκυβου. Μία λύση για αυτά τα προβλήματα είναι να χρησιμοποιηθεί ένας διαφορετικός αλγόριθμος προβολής: ray tracing.



Σχήμα 16

3.4 Αλγόριθμοι Radiosity

Ο υπολογισμός των συντελεστών μορφής, δημιουργεί ένα εμπόδιο στον αλγόριθμο radiosity. Από την άλλη πλευρά, όσο λεπτότερη η παραμετροποίηση του patch, τόσο καλύτερα είναι τα αποτελέσματα. Αυτό συνεπάγεται ενίσχυση της εικόνας έναντι κόστους του χρόνου υπολογισμού. Εδώ συζητάμε για μερικές μεθόδους για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Για να μελετήσουμε τους αλγόριθμους, θα χρειαστεί κάποιο συμβολισμό. Έστω k δηλώνει τον αριθμό των επιφανειών εισόδου (τυπικά πολύγωνα), n είναι ο αριθμός των patches εντός των οποίων οι επιφάνειες υποδιαιρούνται κατά τη διάρκεια της διαμέρισης, και v το κόστος προσδιορισμού ορατότητας μεταξύ ενός ζεύγους σημείων στη σκηνή. Σε μία απλή εφαρμογή, $v = O(k)$, αλλά με καλές δομές δεδομένων και αρκετή μνήμη, $v = O(k^{1/3})$ ή $O(\log k)$ είναι εφικτό. Εδώ θα εξετάσουμε θεμελιώδεις αλγόριθμους. Οι βασικές κατηγορίες αλγορίθμων για απόδοση εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι οι Matrix Radiosity, σταδιακή βελτιστοποίηση εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, Substructuring, Wavelet Radiosity.

3.4.1 Matrix Radiosity

Η πρώτη από αυτές είναι η Matrix Radiosity, η οποία υπολογίζει ρητώς ένα μεγάλο form factor πίνακα και λύνει πολλά μεγάλα συστήματα εξισώσεων. Πρώτα, η σκηνή διαφοροποιείται σε patches, τότε υπολογίζονται οι form factor. Το προκύπτων $n \times n$ γραμμικό σύστημα εξισώσεων συνήθως επιλύεται με μια επαναληπτική μέθοδο, όπως Gauss-Seidel. Ο υπολογισμός του πίνακα είναι το πιο δαπανηρό βήμα. Παίρνει $O(n^2v)$ χρόνο, επειδή πρέπει να υπολογίζεται n^2 form factors και ο καθένας απαιτεί

μία ή περισσότερες δοκιμές ορατότητας. Η επίλυση στην πράξη χρειάζεται μόνο $O(n^2)$ χρόνο, διότι συνήθως απαιτεί μόνο ένα μικρό, σταθερό αριθμό επαναλήψεων κάθε ένα με κόστος $O(n^2)$. Η ορατότητα μπορεί να ελεγχθεί είτε χρησιμοποιώντας ένα ημικυβό, στην οποία περίπτωση το αποσβεσμένο κόστος της προβολής μπορεί να είναι $n=O(1)$. Επειδή είναι τόσο ακριβός σε χρόνο και χώρο, δεν περιμένουμε η matrix radiosity να είναι ανταγωνιστική με τις άλλες μεθόδους.

3.4.2 Μέθοδος σταδιακής βελτιστοποίησης εκπεμπόμενης ακτινοβολίας

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι ότι υπάρχουν ιδιαίτερα μεγάλες αποθηκεύτηκες απαιτήσεις και επίσης ο σημαντικός χρόνος επεξεργασίας για τον υπολογισμό των παραγόντων μορφής. Με την **μέθοδο σταδιακής βελτίωσης** (progressive refinement) μπορούμε να επαναδομήσουμε τον επαναληπτικό αλγόριθμο εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ώστε να ξεπεράσουμε αυτά τα προβλήματα. Επί του παρόντος είναι η πιο συχνά εφαρμοζόμενη μέθοδος.

Η μέθοδος εξηγείτε ακολούθως

Η μέθοδος matrix radiosity συγκεντρώνει το φως από το υπόλοιπο του περιβάλλοντος με υπολογισμό του radiosity για κάθε επίθεμα χρησιμοποιώντας την

$$\mathbf{B}_i \text{ due to } \mathbf{B}_j = \rho_i \mathbf{B}_j \mathbf{F}_{ij}, \text{ for all } j$$

Η μέθοδο σταδιακής βελτίωσης αντίστροφα

$$\mathbf{B}_j \text{ due to } \mathbf{B}_i = \rho_j \mathbf{B}_i \mathbf{F}_{ji}, \text{ for all } j$$

Δυστυχώς, αυτό απαιτεί τον καθορισμό F_{ji} για κάθε j που επιβάλλει το ίδιο μεγάλο χώρο-χρόνο γενικά. Ωστόσο, με τη χρήση της αμοιβαιότητας μπορούμε να ξαναγράψουμε την παραπάνω εξίσωση ως

$$\mathbf{B}_j \text{ due to } \mathbf{B}_i = \rho_j \mathbf{B}_i F_{ij} A_i / A_j, \text{ for all } j$$

Με αυτή τη διαδικασία χρειάζεται να υπολογίσουμε και να αποθηκεύσουμε μόνο τις τιμές των παραμέτρων για μόνο ένα ημικύβο και τους αντίστοιχους παράγοντες μορφής. Στην επομένη επανάληψη αντικαθιστούμε τις τιμές των παραμέτρων με τιμές για ένα άλλο επιλεγμένο επιφανειακό τμήμα. Ακόμη μπορούμε να προβάσουμε τις σταδιακές βελτιστοποιήσεις της απόδοσης των επιφανειών καθώς προχωρήμα από τμήμα σε τμήμα.

```
for each patch k
    // 'Ορισε έναν ημι-κύβο και υπολόγισε τους παράγοντες μορφής F [j][k].

    for each patch j {
        dRad = rho [j] * B [k] * F [j][k] * A [j] / A [k];
        dB [j] = dB [j] + dRad;
        B [j] = B [j] + dRad;
    }

dB [k] = 0;
```

Η προβολή σε κάθε βήμα των επιφανειών που αποδίδονται παράγει μια ακολουθία απεικονίσεων που μεταβαίνουν από μια σκοτεινή σκηνή σε μια πλήρως φωτισμένη. Μετά το πρώτο βήμα οι μόνες επιφάνειες που φωτίζονται είναι οι πηγές φωτός και αυτά τα επιφανειακά τμήματα που είναι ορατά στον επιλεγμένο εκπομπό. Για να παράγουμε πιο χρήσιμες αρχικές απεικονίσεις της σκηνής, θα μπορούσαμε να ορίσουμε ένα επίπεδο περιβάλλοντος φωτισμού, έτσι ώστε όλα τα επιφανειακά τμήματα να έχουν κάποιο φωτισμό. Μετά, σε κάθε στάδιο της επανάληψης ελαττώνουμε το φωτισμό του περιβάλλοντος ανάλογα με την ποσότητα της εκπεμπόμενης ενέργειας που μεταφέρετε στην κάθε σκηνή.

Ο αριθμός των επαναλήψεων που απαιτούνται για την προσομοίωση για να φτάσουν σε μια κατάσταση σύγκλισης ποικίλει ανάλογα με την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος. Επειδή οι επαναλήψεις διαλέγουν να υπολογίζουν τις επιφάνειες με τη μεγαλύτερη ενέργεια πρώτα, το ποσοστό της σύγκλισης για το λύση της radiosity είναι πολύ ταχύτερη στην αρχή. Προς το τέλος, η ποσότητα της παραμένουσας προς διανομή ενέργειας είναι τόσο μικρή ώστε δεν υπάρχει αισθητή διαφορά στις εικόνες που προκύπτουν από μία επανάληψη στην επόμενη. Ως εκ τούτου, ενώ μπορεί να πάρει ένα μεγάλο αριθμό επαναλήψεων για μια λύση για να επιτευχθεί η πλήρης σύγκλιση, η διαδικασία μπορεί τυπικά να διακοπεί πριν επιτευχθεί αυτό το σημείο, διότι μια αποδεκτή λύση έχει ληφθεί.

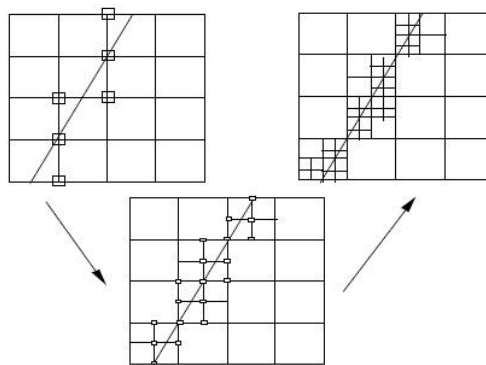
Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται πολύ συχνά μαζί με substructuring, η οποία επιταχύνει τον αλγόριθμο σε μεγάλο βαθμό.

3.4.3 Substructuring

Μια σημαντική ανησυχία στον τομέα της έρευνας radiosity είναι η υποδιαίρεση του περιβάλλοντος σε κατάλληλου μεγέθους patches. Αν τα patches είναι πολύ μεγάλα, τότε η λύση δεν είναι μόνο ανακριβή, αλλά και τα patches που βρίσκονται κατά μήκος μεγάλων αλλαγών εκπεμπόμενης ακτινοβολίας δεν αναπαρίστανται σωστά. Από την άλλη αν τα patches είναι πολύ μικρά, η υπολογιστική επιβάρυνση φτάνει το $O(N^2)$ και το πρόβλημα γίνεται ασύμφορο. Μία λύση στο πρόβλημα αυτό είναι το «substructuring». Εδώ τα patches υποδιαιρούνται σε στοιχεία, τα οποία λαμβάνουν ακτινοβολία για μια πιο ακριβή λύση. Ωστόσο, τα στοιχεία δεν στέλνουν ακτινοβολία, η ξεχωριστή ακτινοβολία όλων των στοιχείων που συνθέτουν ένα patch αθροίζεται για

τον υπολογισμό του radiosity του patch που στη συνέχεια θα διανεμηθεί στο υπόλοιπο περιβάλλον. Σε αυτή τη περίπτωση, hemicubes (ή άλλες μέθοδοι όπως raytracing) μπορούν να εφαρμοστούν στο αποσταλμένο patch και να υπολογίσουν τους form factors σε όλα τα άλλα στοιχεία, αλλά ο υπολογισμός αυτός πρέπει να πραγματοποιηθεί σε patches, και όχι στα στοιχεία μεμονωμένα.

Αυτή υποδιαίρεση Patch-στοιχείο μπορεί να εκτελεστεί πριν από κάθε υπολογισμό που γίνεται για την radiosity, ή μπορεί να γίνει προσαρμοστικά βασιζόμενο σε υψηλές κλίσεις radiosity κατά τη διάρκεια της λύσης. Όταν τα patches διαφέρουν κατά πολύ στις κορυφές, τότε το patch μπορεί να υποδιαιρεθεί σε στοιχεία και να επαναληφθεί η μέθοδος. Αυτό θα οδηγήσει σε επιμέρους ανακατασκευή όπως μπορούμε να δούμε στην εικόνα.



Σχήμα 17

Στη μέθοδο substructuring τα patches υποδιαιρούνται προσαρμοστικά σε subpatches σε μέρη όπου διαπιστώθηκε υψηλό εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Τα subpatches δεν αντιμετωπίζονται σαν πλήρεις patches. Οι form factors F_{sj} από κάθε subpatch s σε κάθε patch j υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την τεχνική hemicube αλλά οι form factors από j σε s δεν υπολογίζονται. Μετά αφού το patch έχει σπάσει σε

subpatches οι προηγούμενες υπολογισμένες τιμές κάθε form factor από το ένα patch σε άλλα patches αντικαθίστανται από την πιο ακριβή σταθμισμένη περιοχή μέσου όρου form factor από m subpatches του:

$$F_{ij} = (1 / A_i) \sum_{1 \leq s \leq m} F_{sj} A_s.$$

Η μέθοδος Substructuring επιτρέπει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία του subpatch να προσδιοριστεί χωρίς αλλαγή του μεγέθους του πίνακα που πρέπει να επιλυθεί.

Αυτή η προσαρμοσμένη υποδιαίρεση εξακολουθεί να πάσχει από αρκετά μειονεκτήματα. Ένα πρόβλημα είναι ότι τα patches πρέπει αρχικώς να είναι αρκετά μικρά για τις υψηλές κλίσεις radiosity για να υφίστανται εξαρχής. Εάν ένα patch είναι πολύ μεγάλο, ένα μικρό αντικείμενο που δημιουργεί σκιά δεν θα φαίνεται καθόλου στα patches, έτσι κανείς υποφορέας δεν θα τεθεί σε ισχύ. Επίσης, δεδομένου ότι οι εκπεμπόμενες επιφάνειες δεν υποδιαιρούνται (με άλλα λόγια, τα patches είναι σημεία δειγματοληψίας), απαλές σκιές, ή ημισκιές, δεν φαίνονται. Μια άλλη μέθοδος παράγει υποδιαιρέσεις patch-στοιχείου με βάση τα όρια της σκιάς. Τα όρια σκιάς υπολογίζονται με βάση τα δέντρα BSP, Οι παράγοντες μορφής υπολογίζονται με τη μέθοδο ακτινανίχνευσης, αλλά η προβολή υπολογίστηκε με το δέντρο δομή BSP που είχε ήδη σχηματιστεί για τα όρια σκιάς.

3.4.4 Wavelet Radiosity

Η τελική κλάση των μεθόδων ονομάζεται wavelet radiosity. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν πολυεπίπεδο πλέγμα για να εκπροσωπήσει τη λειτουργία της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και επιτρέπουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ των inter-patch

για να λάβει αυθαίρετα χώρα μεταξύ επιπέδων της ιεραρχίας του πλέγματος. Έτσι, σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους, δεν χρησιμοποιούν ένα σταθερό πλέγμα, αλλά ένα πλέγμα που είναι προσαρμοσμένο στην επιφάνεια "οπτικής" τους. Όταν αντανακλούν το φως από μια μακρινή επιφάνεια, η επιφάνεια αποδίδεται στο περίπου, αλλά όταν αντανακλώνται σε μια κοντινή επιφάνεια υπάρχει καλύτερη απόδοση. Θεωρητικά, το κόστος της είναι $O(k^2v+nv)$.

3.5 Ενσωμάτωση κατοπτρικών επιδράσεων

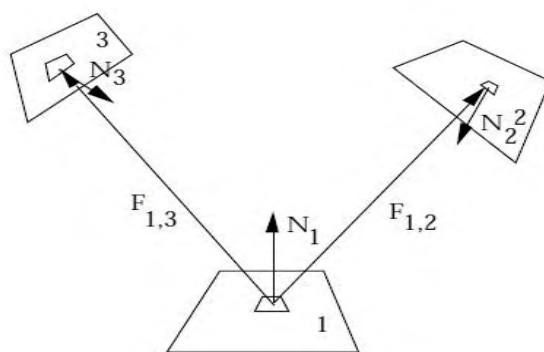
Οι υπολογισμοί της radiosity που περιγράφονται στις προηγούμενες ενότητες αφορούν όλοι αποκλειστικά διάχυτα περιβάλλοντα. Πολλές επεκτάσεις έχουν προταθεί για τη μέθοδο radiosity που συμπεριλαμβάνουν τα κατοπτρικά εφέ, κάποια διατηρώντας την ανεξαρτησία οπτικής, ενώ άλλες προσθέτουν ένα βήμα εξαρτημένης οπτικής

3.5.1 Οπτικά ανεξάρτητες προσεγγίσεις

Ο **Immel** [Immel86] πρότεινε την επεκταμένη radiosity συμπεριλαμβάνοντας πληροφορίες κατεύθυνσης σε κάθε patch πέραν αυτών του διάχυτου φωτισμού. Ο αλγόριθμος συνεχίζεται με τη διάδοση του εισερχόμενου φωτός προς τα έξω κατά την αντίστοιχη εξερχόμενη κατεύθυνση. Δεδομένου ότι κάθε patch διατηρεί όλες τις εξερχόμενες πληροφορίες, η τελική άποψη μπορεί να ενσωματώσει όλες τις κατοπτρικές πληροφορίες για κάθε άλλο patch ανεξάρτητη από όπου θα φαίνεται.

Το κύριο πρόβλημα με τον αλγόριθμο είναι ότι τεράστιες ποσότητες πληροφοριών πρέπει να αποθηκευτούν και να υπολογιστούν. Ένα πεπερασμένο πλήθος κατευθύνσεων πρέπει να επιλέγουν ώστε να διατηρούνται σε κάθε patch, αλλά ο αριθμός αυτός πρέπει να είναι εξαιρετικά μεγάλος για κατοπτρικά αντικείμενα, δεδομένου ότι μπορούν να λαμβάνουν και να αντανακλούν το φως από και προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Οι επιβλητικές απαιτήσεις για την αποθήκευση και υπολογισμό αυτού του αλγόριθμου τον κάνουν ανέφικτο κατά την παρούσα φάση, αλλά μπορεί να είναι ενδιαφέρον στο μέλλον για μεγάλης κλίμακας παράλληλων υλοποιήσεων.

Ο **Shao** [Shao88] πήρε μια παρόμοια αλλά λιγότερο υπολογιστικά εντατική προσέγγιση. Ουσιαστικά, τροποποιεί την έννοια του form factor για να συμπεριλάβει όχι μόνο γεωμετρικές πληροφορίες μεταξύ των δύο patches, αλλά και γενικές πληροφορίες ακτινοβολίας. Εάν ένα patch είναι κατοπτρικό, ο form factor $F_{1,2}$ μεταξύ των patches 1 και 2 στο σχήμα θα εξαρτάται από την ποσότητα του φωτός που λαμβάνεται από το patch 3. Ο αλγόριθμος αρχίζει με την παραδοχή μιας διάχυτης προσέγγισης της λύσης χρησιμοποιώντας μια τυπική λύση radiosity. Αυτή η λύση στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει επαναληπτικά όλους τους form factors, έτσι ώστε οι form factors των μη διάχυτων patches σχηματίζουν με αυτούς των άλλων patches στο υπολογισμένο περιβάλλον την εισερχόμενη και εξερχόμενη πληροφορία. Αν και αυτή η μέθοδος παράγει πληροφορίες κατεύθυνσης από κάθε πέρασμα, οι συγγραφείς έπρεπε να προσθέσουν μια τελική απόδοση της σκηνής για να λαμβάνει γρήγορες μεταβολές ανάκλασης στα patches.



Form Factors for Shao et al

Σχήμα 18

Οι μέθοδοι

Αρκετοί ερευνητές έχουν προτείνει συνδυαζόμενα πλεονεκτήματα των δύο διαφορετικών τύπων υπολογισμών ακτινανίχνευσης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η ακτινανίχνευση έχει καλή εφαρμογή σε κατοπτρικά περιβάλλοντα δεδομένου ότι η «σημαντική» δειγματοληψία στην αντανακλώμενη κατεύθυνση είναι δυνατή (δηλαδή, να στείλει τις περισσότερες ακτίνες προς την κατεύθυνση που θα έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην αντιληπτή ένταση σε pixel). Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία, όπως είδαμε παραπάνω, είναι κατάλληλη για διάχυτα περιβάλλοντα. Επεκτάσεις έχουν γίνει για κάθε μέθοδο που προσπαθεί να συμπεριλάβει πτυχές της άλλης.

Ο Kajiyu [Kajiyu86] χρησιμοποιεί "path-tracing" σε στοχαστικό δείγμα μονοπατιών στο περιβάλλον, αλλά ένα μεγάλος αριθμός των ακτινών πρέπει να εκτοξευτούν για να προσπαθήσει να υπολογίσει τα αποτελέσματα της διάχυτης μετάδοσης. Ο Immel (όπως συζητήθηκε προηγουμένως) επέκτεινε την μέθοδο radiosity να περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη κατοπτρική μετάδοση και την αντανάκλαση, αλλά οι κατοπτρικές επιφάνειες συχνά έπρεπε να υποδιαιρούνται σε ένα επίπεδο που καθιστούν ανέφικτο τον υπολογισμό. Ουσιαστικά, οι δύο μέθοδοι

χρησιμοποιούν την radiosity ως ένα πρώτο πέρασμα για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων του διάχυτου φωτός, και μια εφαρμογή μετά της διαδικασία raytracing ή z-buffering προσθέτει κατοπτρική συνεισφορές.

Ο Wallace [Wallace87] χαρακτήρισε την "μεταφορά" του φωτός μέσω τεσσάρων μηχανισμών, (1) διάχυτη σε διάχυτη, (2) κατοπτρική σε διάχυτη, (3) διάχυτη σε κατοπτρική, και (4) κατοπτρική σε κατοπτρική. Την Radiosity αντιπροσωπεύει μόνο ο πρώτος μηχανισμός μεταφοράς. Ένα βήμα μετά τη διαδικασία μπορεί να προστεθεί για να ανιχνεύει τις ακτίνες από το μάτι προς στη σκηνή, ακολουθούν αναδρομικά κατοπτρικά αντικείμενα μέχρι να διακοπεί όταν χτυπήσει αντικείμενο που διαχέει το φως. Αυτό όμως έχει βάση για την κατοπτρική σε διάχυτη μεταφορά. Για να γίνει αυτό, το βασικό μοντέλο της radiosity πρέπει να επεκταθεί και να υπολογίζεται και αυτό το μέσο μεταφοράς.

Οι Rushmeier και Torrance [Rushmeier90] περιγράφουν τη μέθοδο έτσι ώστε να επεκτείνουν τους υπολογισμούς των form factors για να περιλαμβάνουν διάχυτη μετάδοση, κατοπτρική μετάδοση και κατοπτρική ανάκλαση. Διάχυτη μετάδοση επιτυγχάνεται με το απλό τέχνασμα υπολογισμού των form factors στον ημισφαίριο στο πίσω μέρος της επιφάνειας (τοποθέτησαν έναν ημι-κύβο κεντραρισμένο στο patch, αλλά αντικρύ στην κατεύθυνση της μετάδοσης. Η κατοπτρική μετάδοση υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη το κατοπτρικά μεταδιδόμενο patch ως ένα παράθυρο στο περιβάλλον μέσω του οποίου υπολογίζονται οι επιπλέον form factors.

Εν τέλει, τόσο ο Wallace και ο Rushmeier μεταχειρίζονται τις κατοπτρικά ανακλαστικές επιφάνειες ως ιδανικούς καθρέφτες μέσω των οποίων ένα αντίγραφο του περιβάλλοντος είναι ορατό. Οι form factors υπολογίζονται στη συνέχεια με παρόμοιο τρόπο όπως μέσω των κατοπτρικών μεταβιβαστικών παραγόντων. Οι

Sillion και Puech [Sillion89] διεύρυναν την έννοια των form factors εξετάζοντας τους όχι μόνο ως άμεση συμβολή μεταξύ ενός patch για το άλλο, αλλά το ποσοστό της ενέργειας αφήνει το patch i και φτάνει στο patch j μέσω οποιουδήποτε αριθμού κατοπτρικών ανακλάσεων ή διαθλάσεις. Αυτό είναι παρόμοιο με το μοντέλο των Wallace και Rushmeier, αλλά για οποιαδήποτε κατοπτρική επιφάνεια, όμως καθρέφτες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν επειδή χρησιμοποιούν ακτινανίχνευση να υπολογίσουν τους form factors.

Το να εφαρμόζεις ακτινανίχνευση στο προκύπτον περιβάλλον είναι αρκετά πιο αποτελεσματικό από την τυπική ακτινανίχνευση δεδομένου ότι δεν εμφανίζονται ακτίνες σκιάς και το μοντέλο σκίασης είναι μηδαμινό, απλοποιεί την τιμή παρεμβαλλόμενης εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στο σημείο τομής. Τέλος, οι κατοπτρικές επιφάνειες δεν χρειάζεται να είναι τόσο λεπτά υποδιαιρεμένες όπως στη μέθοδο του Shao ή του Immel.

3.6 Δυναμικά περιβάλλοντα

Μόλις οι form factors υπολογισμοί έχουν διεξαχθεί και η λύση επιτυγχάνετε με οποιαδήποτε μέθοδο, η σκηνή μπορεί να αποδοθεί από κάθε οπτική γωνία με απλή επανεμφάνιση. Ωστόσο, όταν η γεωμετρία εντός περιβάλλοντος αλλάξει, η λύση της radiosity δεν είναι πλέον ακριβή και νέοι υπολογισμοί πρέπει να εκτελεστούν. Δεδομένου ότι οι υπολογισμοί ολόκληρης της σκηνής είναι εξαιρετικά υπολογιστικά ακριβή, θα ήταν ωφέλιμο να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα της υπολογισμένης προηγούμενης λύση για να δημιουργηθεί μια νέα λύση. Δύο μέθοδοι που έχουν εισαχθεί στη βιβλιογραφία για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι αυτές

του Baum [Baum86] και του Chen [Chen90] ή η στενά συνδεδεμένη με αυτή του Chen, η μέθοδο του George [George90].

3.6.1 αλγόριθμος Back-Buffer

Ο Baum προτείνει την πρώτη μέθοδο. Αυτή η μέθοδος απαιτεί ότι η κίνηση οποιουδήποτε αντικειμένου στη σκηνή είναι γνωστή εκ των προτέρων. Το πρώτο μέρος του αλγορίθμου είναι να γίνει μια γενίκευση χώρου μέσα στον οποίο τα δυναμικά αντικείμενα ταξιδεύουν στο χρόνο. Στη συνέχεια, όλα τα στατικά αντικείμενα υπολογίζουν τους form factors τους σε συσχέτιση με όλα τα άλλα στατικά αντικείμενα στο περιβάλλον. Τα αντικείμενα που φράσσονται κατά την σάρωση χώρου από ένα συγκεκριμένο σημείο οπτικής του patch αποθηκεύονται σε μια δομή που ονομάζεται "back-buffer".

Η αρχική λύση υπολογίζεται εντελώς. Όταν έρχεται η ώρα για να ενημερωθεί η λύση, μόνο οι form factors μεταξύ στατικών αντικειμένων που βρίσκονται πίσω από το χώρο σάρωσης πρέπει να υπολογιστούν εκ νέου με βάση την τρέχουσα θέση του κινούμενου αντικειμένου. Επιπλέον, μόνο οι form factors μεταξύ του δυναμικού αντικειμένου και των στατικών patches στο περιβάλλον που μπορούν να "φάνουν" στο χώρο σάρωσης πρέπει να υπολογιστούν. Με αυτή την μέθοδο, οι περισσότεροι από τους προηγούμενους υπολογισμένους form factors μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και η λύση μπορεί να προχωρήσει στο στάδιο επαναληπτικής λύσης.

3.6.2 Στοιχειώδης radiosity και ανακατανομή

Δεν μπορεί όλη η κίνηση σε ένα περιβάλλον να είναι γνωστή εκ των προτέρων. Δύο κατ' ουσίαν όμοιες μέθοδοι για δυναμικά περιβάλλοντα που πρότειναν οι Chen και George, D.W. Sillion αφορούν την ανακατανομή της αλλαγμένης radiosity σε

ολόκληρο το περιβάλλον. Η αναδιανομή αυτή έχει ονομαστεί αυξητική radiosity από τον Chen. Η σταδιακή μέθοδος radiosity είναι ουσιαστικά μια επέκταση της προοδευτικής μεθόδου radiosity που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Αντί να ρίχνετε εκπεμπόμενη ακτινοβολούμενη ενέργεια σε ολόκληρο το περιβάλλον, περιορίζεται και αναδιανέμεται πιο σωστά. Όταν τα χαρακτηριστικά ενός patch αλλάξουν, η στοιχειώδης radiosity του patch υπολογίζεται για πρώτη φορά. Αυτή η στοιχειώδης radiosity στη συνέχεια διανέμεται στο υπόλοιπο περιβάλλον. Για παράδειγμα, εάν ένα φως σε μια σκηνή ξαφνικά κλείσει, η προκύπτουσα στοιχειώδης radiosity θα είναι αρνητική, και αυτή η αρνητική radiosity θα διανεμηθεί σε όλη την σκηνή, κάνοντας κάθε επιφάνεια που φθάνει πιο σκούρα.

Τελικά, όλες οι αλλαγές θα μεταδοθούν μέσω της σκηνής για τη σωστή λύση. Η μαθηματική παράγωγος έχει ως ακολούθως

$$\Delta B_i = E'_i - E_i + (\rho'_i - \rho_i)(B_i - E_i)/\rho_i$$

Μόλις υπολογισθεί αυτή η στοιχειώδης radiosity, αυτή προστίθεται στην απλή radiosity και επανεκπέμπεται στο patch. Η προοδευτική radiosity μπορεί να προχωρήσει όπως πριν. Αν ένα αντικείμενο στο περιβάλλον κινηθεί, πρέπει να υπολογιστούν εκ νέου οι form factors μεταξύ πολλών αντικείμενων του περιβάλλοντος, αν και ευτυχώς, η συνοχή αντικείμενων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιορίσει αυτούς τον υπολογισμούς.

Εδώ έχουμε την νέα radiosity βασίζομενη σε μια αλλαγή τους form factors:

$$B''_j = B_j + \rho_j (B_i^s \Delta F_{ji} + B_i^u F''_{ji})$$

Αυτό σημαίνει ότι όλες οι προηγούμενες εκπεμπόμενες πληροφορίες πρέπει να επανεκπεμφθούν με βάση την αλλαγή στους form factors ΔF_{ji} και της προηγούμενης radiosity. Έτσι τα patches που έλαβαν προηγουμένως φως από ένα ορισμένο patch πρέπει τώρα να λάβουν αρνητική radiosity από αυτό το κομμάτι σε συνδυασμό με την μη εκπομπή radiosity από άλλα patches με βάση τον τρέχοντα form factor.

Αυτή η γενική τεχνική για την προσθήκη και την αφαίρεση radiosity με βάση τις αλλαγές στο περιβάλλον είναι πολλά υποσχόμενη για τη δημιουργία εικόνων σε πραγματικό χρόνο που βασίζονται στη διαδραστική radiosity. Μια άλλη μέθοδος που μπορεί να παράγει λύση radiosity σε πραγματικό χρόνο είναι η ενσωμάτωση της παράλληλης επεξεργασίας.

3.7 Παράλληλη επεξεργασία

Η μέθοδος radiosity προσφέρεται για παραλληλοποίηση αρκετά βολικά και πολλοί ερευνητές έχουν διερευνήσει τεχνικές για να επιτευχθεί αυτό. Η κύρια μέθοδος, χρησιμοποιείται από τους Puech [Puech90], Recker [Recker90], και Baum [Baum90], στην οποία διανέμονται οι υπολογισμοί των form factors σε πολλούς διαφορετικούς επεξεργαστές που ο καθένας περιέχει ένα αντίγραφο ολόκληρης της βάσης δεδομένων. Μία διεργασία server διατηρεί επαφή με όλους τους πελάτες και στέλνει patches για κάθε πελάτη για να υπολογίσει τους form factors. Ο server λαμβάνει ενημερώσεις από τους πελάτες και με τη σειρά του ενημερώνει την οθόνη. Συμφόρηση μπορεί να προκύψει όταν ο server δεν μπορεί να επικοινωνήσει με πάνω από ένα ορισμένο ποσό των πελατών χωρίς τους πελάτες να περιμένουν για έναν υπολογισμό patch.

Ο Baum πήρέ μια ελαφρώς διαφορετική προσέγγιση στο παραλληλισμό του αλγόριθμο radiosity. Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος του ημι-κύβου είναι ουσιαστικά ένα πρόβλημα rasterization (μετατροπή γραφικού διανύσματος σε ισοδύναμες εικόνες αποτελούμενο από από μοτίβα pixel που μπορούν να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν ως σύνολα από bits), χρησιμοποιεί το υλικό που ήδη υπάρχει στην πλατφόρμα SGI GTX γραφικών. Χρησιμοποιώντας την ήδη παράλληλη γεωμετρία του αγωγό παίρνουμε βελτιώσεις πάνω από 40 φορές την απόδοση από μη ειδικές πλατφόρμες. Διανέμει σε παράλληλες εργασίες την μετατροπή των ρυθμιστικών στοιχείο ημι-κύβου σε form factors και την αναδιανομή του φωτός στο περιβάλλον.

Κοινόχρηστη μνήμη χρησιμοποιείται για να διατηρεί πληροφορίες σχετικά με τις radiosities όλων των patches στο περιβάλλον. Συμφόρηση θα έχουμε ως αποτέλεσμα, όταν ο γεωμετρικός αγωγός είναι τελείως γεμάτος και οι πελάτες πρέπει να περιμένουν για τις πληροφορίες που επεξεργάζονται. Επίσης χρησιμοποιείτε μια διπλή ρυθμιστική προσέγγιση για τη μείωση του χρόνου αδράνειας για ένα άδειο γεωμετρικό αγωγό, ενώ τα ρυθμιστικά στοιχεία είναι υπό επεξεργασία.

Άλλοι ερευνητές έχουν σχεδιάσει VLSI αρχιτεκτονικές για να επιτύχουν μια λύση υψηλής ταχύτητας. Η αρχιτεκτονική που πρότεινε ο Bu [Bu89] διαιρεί το σύστημα σε δύο μέρη, το πρώτο υποσύστημα υπολογίζει τους form factors, ενώ το δεύτερο υποσύστημα υλοποιεί μια παράλληλη Gauss Siedel επαναληπτική λύση. Ο υπολογισμός των συντελεστών μορφής γίνεται με παράλληλη ακτινανίχνευση, κάθε form factor υπολογίζεται ανεξάρτητα. Αυτό το εγχείρημα μπορεί επίσης να εφαρμοστεί πιο γενικά σε SIMD παράλληλες μηχανές επεξεργασίας, τέτοια μηχανή είναι και η Connection Machine.

Ο Drucker έχει εφαρμόσει έναν αλγόριθμο radiosity σε Connection Machine [Drucker91]. Ο αλγόριθμος βασίζεται στον υπολογισμό των form factors με ακτινανίχνευση. Ουσιαστικά, όλοι οι παράγοντες μορφή σε ένα μόνο εκπεμπόμενο patch μπορούν να υπολογιστούν ταυτόχρονα. Κάθε κορυφή υπολογίζει μια νέα τιμή radiosity βάση του υπολογισμένου form factor και στη συνέχεια κάθε patch στο οποίο ανήκει η κορυφή ενημερώνεται ταυτόχρονα. Δεδομένου ότι η παράλληλη επεξεργασία χρησιμοποιείται, δεν υπάρχει επιτάχυνση για την ενσωμάτωση περισσότερων στοιχείων για τα οποία η radiosity υπολογίζεται. Επί του παρόντος, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια απλοϊκή σειρά βάση της κύριας διαδικασίας του αλγόριθμου ακτινανίχνευσης, και έτσι το σύστημα είναι $O(N)$ στον υπολογισμό form factors. Πιο εξελιγμένοι αλγόριθμοι raytracing διερευνώνται επί του παρόντος. Τα Προκαταρκτικά αποτελέσματα είναι εξαιρετικά ενθαρρυντικά σε σύγκριση με άλλες μεθόδους υπολογισμού radiosity.

Βιβλιογραφία

- [1] Γραφικά Υπολογιστών με OpenGL”, Hearn Bakers, Εκδόσεις Τζιόλα 2010, 3η έκδοση
- [2] Γραφικά και Οπτικοποίηση. Αρχές και Αλγόριθμοι. Θ.θεοχάρης, Γ.Παπαϊωάννου, Ν.Πλατής, Ν.Μ.Πατρικαλάκης
- [3] Fake Phong Shading Daniel Vlasic *Department of Electrical Engineering and Computer Science Massachusetts Institute of Technology May 2002*
- [4] An Improved Illumination Model for Shaded Display Turner Whitted Bell Laboratories Holmdel, New Jersey
- [5] Approximated Phong Shading by using the Euler Method - Anders Hast, Tony Barrera, Ewert Bengtsson
- [6]Fast Phong Shading by Gary Bishop- Gary Bishop, David M Weimer
- [7] Faster Phong Shading via Angular Interpolation-A.A.M. Kuijk and E.H. Blake
- [8] RADIOSITY: An Illuminating Perspective -Steven M. Drucker
- [9] Radiosity A method for computing global illumination - Donald P. Greenberg,Michael F. Cohen and Kenneth E. Torrance
- [10] <http://www.navs.8m.com/seminar/radiosity.html>
A SEMINAR REPORT ON AN INTRODUCTION TO RADIOSITY – A RENDERING TECHNIQUE
By:-N. Thadani
- [11]Improved Computational Methods for Ray Tracing HANK WEGHORST, GARY HOOPER, and DONALD P. GREENBERG Comell University
- [12] www.wikipedia.org
- [13] www.google.com

Παραπομπές αλγορίθμων

[Appel 1]Appel, A. Some techniques for shading machine renderings of solids. AFIPS 1968 Spring Joint Comptr. Conf., pp. 37~15.

[Baum86]Baum, D.R., Wallace, J.R., Cohen, M.F., and Greenberg, D.P. The back-buffer algorithm: an extension of the radiosity method to dynamic environments. *The Visual Computer*. 2(5):298- 306, June 1986.

[Brown1] Russ Brown, "Modeling Specular Highlights Using Bezier Triangles", Technical Report, Sun Microsystems Laboratories, TR-99-75,1999.

[BishopW] G. Bishop and D. M. Weimer, "Fast Phong Shading", ACM SIGGRAPH, Vol 20, No. 4, pp. 103-106,1986

[Bu89]Bu, J. Deprettere, E.F, A VLSI system architecture for high-speed radiative transfer 3D Image synthesis. *The Visual Computer* 5:121- 133. 1989.

[CC1] Catmull, E., and Clark, J. Recursively generated B-spline surfaces on arbitrary topological meshes. *Comptr. Aided Design* 10, 6 (Nov. 1978), 350-355. 11. Clark, J.H. Hierarchical

[Chen90]Chen, S.E. Incremental Radiosity: An extension of Progressive Radiosity to an Interactive Image Synthesis System. *Computer Graphics*, 24(4):135-144, August 1990. Proceedings SIGGRAPH 1990 in Dallas.

[ChoNeWoo] Youngkwan Cho, Ulrich Neumann and Jongwook Woo, "Improved Specular Highlights with Adaptive Shading" *Computer Graphics International* , June pp. 24 - 28, 1996 ,Pohang, KOREA

[Clark 1] Clark, J.H. Hierarchical geometric models for visible surface algorithms. *Comm. ACM* 19, 10 (Oct. 1976), 547-554.

[Crow] CRow, F.C. A more flexible image generation environment. In SIGGRAPH '82 Conferece proceedings (Boston, Mass., July 20-30). ACM, New York, 1982, pp. 9-18.

[Drucker91]Drucker, S.M. Radiosity on the Connection Machine System TM, In Progress.

[George90]George, D.W. Sillion, F.X., Greenberg, D.P. Radiosity redistribution for dynamic environments. Course Notes on Radiosity, Tutorial at SIGGRAPH 1990. Dallas.

[HaBaBe]Anders Hast, Tony Barrera and Ewert Bengtsson, "Improved Shading Performance by Avoiding Vector Normalization", Doctoral theses, Uppsala University, Sweden, 2001

[Hall]HALL, R.A. A methodology for realistic image synthesis. Master's thesis, Cornell University,thaca,Ithaca New York. 1983.

[Immel86]Immel, D.S., Cohen, M.F., Greenberg, D.P. A Radiosity Method for Non-Diffuse environments, *Computer Graphics*, 20(4):133-142, August 1986. Proceedings SIGGRAPH 1986 in Dallas.

[Kajiya86]Kajiya, J.T.1986. The Rendering Equation, *Computer Graphics*, 20(4):143-150, July 1986. Proceedings SIGGRAPH 1986 in Boston.

- [Kajiya 83] Kajiya, James T., "New Techniques for Ray Tracing Procedurally Defined Objects", *Computer Graphics*, 17(3), July, 1983, pp. 91-102.
- [Kay79] Kay, D.S., and Greenberg, D. Transparency for computer synthesized images. *Proc. SIGGRAPH 1979*, Chicago, Ill., pp. 158-164.
- [KuiBl] A.A.M. Kuijk and E. H. Blake, "Fast Phong Shading via Angular Interpolation", *Computer Graphics Forum* 8, pp. 315-324, 1989
- [LaiTai] Yua-Yi Lai and Wen-Kai Tai, "Highlight Track Shading" *International Computer Symposium Workshop on Computer Graphics & Virtual Reality*, pp 45-51, 2000.
- [LeeJen] Yuan-Chung Lee and Chein-Wei Jen, "Improved Quadratic Normal Vector Interpolation for Realistic Shading", *Visual Computer*, Vol. 17, pp. 337- 352, 2001
- [Lin1] Yeh-Chun Lin, Yueh-Yi Lai, Yao-Xun Chang and Chen-Duo Liu, "Fast Phong Shading Based on Local Maximal Specular Estimation", *Fifth International workshop on Advanced Image Technology*, Hualien, Taiwan, pp 183-188, 2002.
- [MAGI 1] Goldstein, R.A. and Nagel, R. 3-D visual simulation. *Simulation* (Jan. 1971), 25-31.
- [Max] Nelson Max, "Weights for Computing Vertex Normals from Facet Normals" *Journal of Graphic Tools*, Vol.4, No. 2, pp. 1-6, 1999
- [MoSzHo] Abbas Ali Mohamed, Laszlo Szirmay-Kalos and Tamas Horvath, "Hardware Implementation of Phong Shading using Spherical Interpolation", *Machine Graphics and Vision*, Vol. 9, No. 4, pp. 825-804, 2001.
- [OverWy] C.W.A.M. Van Overveld and B. Wyvill, "Phong Normal Interpolation Revisited", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 16, No. 4, pp. 397- 419, 1997
- [OverWy2] C.W.A.M. van Overveld and Brian Wyvill, "Hi-speed, hi-fi, hi-lights: a fast algorithm for the specular term in the Phong illumination model." *Journal of Graphics Tools*, Vol. 1, No.2, pp.25-30, 1996
- [Recker90] Recker, R.J., George, D.W. Greenberg, D.P. Acceleration Techniques for progressive refinement radiosity, *Computer Graphics (Special Issue on 1990 Symposium on Interactive 3D Computer Graphics)* 24(2):59-64, March, 1990.
- [RubWh] Rubin, Steve M. and T. Whitted., "A Three- Dimensional Representation for Fast Rendering of Complex Scenes," *Computer Graphics* 14(3), July 1980, pp.110-116.
- [Rushmeier90] Rushmeier, H. Torrance, K.E., *Extending the Radiosity Method to Include Specularly Reflecting and Translucent Materials*. *Transactions on Computer Graphics*. 1990.
- [Seiler] Larry Seiler, "Quadratic Interpolation for Near-Phong Quality Shading", *Technical Sketch, SIGGRAPH* 1998.
- [Schlick] Christophe Schlick, "A Fast alternative to Phong's Specular Model", *Graphics Gems*, Vol 4, pp 363-366, Eds Paul Heckbert, Academic Press, 1994
- [Sillion89] Sillion, F., Puech, C., *A General Two-Pass Method Integration Specular and Diffus*

Reflection. *Computer Graphics*, 23(3):335-344, July 1989. Proceedings SIGGRAPH 1989 in Boston.

[Shao88]Shao, M.Z., Peng,Q.S, Lian, Y.D, A new radiosity approach by procedural refinements for realistic image synthesis, *Computer Graphics*, 22(4):93- 101, July 1988. Proceedings SIGGRAPH 1988 in Atlanta.

[TaiHsu] Wen Kai Tai and Shih-Chieh Hsu, "3- Tier Hierarchical Shading Based on Highlight Test" Fifth International workshop on Advanced Image Technology, Hualien, Taiwan, pp 179- 182, 2002.

[ThGrCh]Thórmer, Grit, and A. Wuthrich Charles, "Computing Vertex Normals from Polygonal Facets," *Journal of graphics tools*, vol. 3, no. 1, pp. 43-46, 1998.

[Wallace87]Wallace, J.R., Cohen, M.F., Greenberg, D.P., A two pass solution to the rendering equation: A synthesis of ray tracing and radiosity methods. *Computer Graphics*, 21(4):311-320, July 1987. Proceedings SIGGRAPH 1987 in San Anaheim.

[Warnock1]Warnock, J.E. A hidden line algorithm for halftone picture representation. Tech. Rep. TR 4-15, Comptr. Sci. Dept., Univ. Of Utah, 1969.