

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Μελέτης Πλοίου & Θαλασσίων Μεταφορών

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΒΑΤΙΚΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Σαραφίδης Μάριος



Επιβλέπων: Γκίνης Αλέξανδρος-Αλβέρτος

Ιούλιος 2010

Περιεχόμενα

Πρόλογος	2
Εισαγωγή	4
1 Παρουσίαση Προγράμματος Σχεδίασης	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Παρουσίαση του Rhinoceros 3D	7
1.2.1 Non-uniform rational B-spline	8
2 Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση Πλοίου	10
2.1 Επεξεργασία ναυπηγικών σχεδίων	10
2.2 Μοντελοποίηση γάστρας	12
2.3 Μοντελοποίηση Καταστροφμάτων	14
2.3.1 Αναλυτικός Σχεδιασμός Καμπίνας	16
2.3.2 Αναλυτικός Σχεδιασμός Του Χώρου Υποδοχής	17
2.4 Τριγωνοποίηση Μοντέλου	18
2.4.1 Πολυγωνικό Πλέγμα	18
2.4.2 Τριγωνοποίηση στο Rhinoceros	20
2.5 Ιεράρχηση Γεωμετρικών Μοντέλων	22
3 Δημιουργία και Απόδοση Υλικών	26
3.1 Ρεαλισμός	26
3.2 Απεικόνιση Υφής (Texture Mapping)	27
3.2.1 Απεικόνιση Χάρτη Υφής	27
3.2.2 Συναρτησιακή Υφή	31
3.2.3 Δημιουργία και Επεξεργασία Εικόνα Υφής	32
3.3 Αναπαράσταση Ανάγλυφου Επιφάνειας	33
3.4 Δημιουργία υλικών	34
4 Φωτισμός	36
4.1 Εισαγωγή στο φωτισμό	36
4.2 Το Μοντέλο του Phong	37
4.3 Μοντέλα Καθολικού Φωτισμού	38
4.3.1 Μέθοδος Παρακολούθησης Ακτίνας	38
4.3.2 Μέθοδος Radiosity	39
4.4 Κατηγορίες Φωτεινών Πηγών	40
5 Οπτική Αναπαράσταση (Render)	41
5.1 Περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας	48

Πρόλογος

Η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την δημιουργία κατάλληλου τρισδιάστατου μοντέλου μεγάλου επιβατικού πλοίου. Η μοντελοποίηση πραγματοποιείται με τη βοήθεια εφαρμογών βασισμένων σε γραφική υπολογιστών (computer graphics). Η δημιουργία του γεωμετρικού μοντέλου του πλοίου πραγματοποιείται με τη χρήση Nurbs καμπυλών και επιφανειών και στη συνέχεια παράγεται το πολυγωνικό πλέγμα (polygon mesh) αυτού, όπου είναι η πιο διαδεδομένη αναπαράσταση τρισδιάστατων μοντέλων στο χώρο της γραφικής υπολογιστών. Το τελικό στάδιο της παραγωγής του μοντέλου του πλοίου περιλαμβάνει την απόδοση υφής (texture) και τον φωτισμό.

Σκοπός του τρισδιάστατου φωτορεαλιστικού μοντέλου είναι η εισαγωγή και χρήση του σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality, VR). Τα τελευταία χρόνια η χρήση VR συστημάτων είναι ευρέως διαδεδομένη στον χώρο των γραφικών. Στη ναυπηγική ένας από τους βασικότερους τομείς αξιοποίησης των συστημάτων VR είναι ο υπολογισμός σεναρίων εκκένωσης του πλοίου σε πραγματικό χρόνο. Για το λόγο αυτό δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην σωστή διαμερισματοποίηση των εσωτερικών χώρων του πλοίου καθώς και ο αναλυτικός σχεδιασμός των χώρων μετακίνησης των επιβατών όπως σκάλες και έξοδοι κινδύνου.

Η διπλωματική χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια όπου αναλύεται η μέθοδος της παραγωγής του τρισδιάστατου μοντέλου του πλοίου. Συγκεκριμένα η διπλωματική αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

1. *Παρουσίαση προγράμματος σχεδίασης.* Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στις δυνατότητες των προγραμμάτων Cad (computer-aided design) και παρουσίαση του Rhinoceros όπου είναι το πρόγραμμα σχεδίασης που χρησιμοποιείται. Το Rhinoceros είναι ένα πρόγραμμα δισδιάστατης και τρισδιάστατης σχεδίασης που κάνει χρήση Nurbs καμπυλών και επιφανειών. Για την απόδοση υφής και την τελική οπτική αναπαράσταση (render) χρησιμοποιείται μια επέκταση του βασικού προγράμματος το Vray. Τέλος παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο των καμπυλών Nurbs.
2. *Τρισδιάστατη μοντελοποίηση πλοίου.* Η μοντελοποίηση του πλοίου βασίζεται σε σχέδια γενικής διάταξης (General Arrangement) υπάρχοντος κρουαζιερόπλοιοι. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αρχικά η μεταφορά των σχεδίων του πλοίου στο περιβάλλον του προγράμματος με σκοπό την κατάλληλη σχεδίαση των εσωτερικών χώρων. Στη συνέχεια αναλύονται μερικά από τα βασικότερα εργαλεία σχεδίασης του προγράμματος για την παραγωγή του μοντέλου της γάστρας και των καταστροφμάτων ενδιαίτησης του πλοίου. Κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης δίνεται βαρύτητα στον σχεδιασμό του εσωτερικού χώρου της καμπίνας και του χώρου υποδοχής

των επιβατών. Στο επόμενο στάδιο χρησιμοποιείται το πολυγωνικού μοντέλου παράσταση για να αναπαρασταθούν οι επιφάνειες των αντικειμένων με τρίγωνα και πολύγωνα. Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την ιεράρχηση των πολυγωνικών αντικειμένων σε ομάδες (groups) και επίπεδα (layers) με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση του μοντέλου.

3. *Δημιουργία και επεξεργασία υλικών.* Για την επίτευξη ρεαλισμού σε ένα μοντέλο υπάρχουν δύο βασικοί παράγοντες, η σκίαση και η υφή. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται όλες οι κατηγορίες υφής και οι ιδιότητες τους, από την απεικόνιση υφής (texture mapping) μέχρι το ανάγλυφο επιφάνειας (bump texture). Το texture mapping χωρίζεται σε image texture και procedural texture. Στο πρώτο γίνεται χρήση εικόνων (pictures) για την αναπαράσταση των φυσικών υλικών όπως ξύλο και μάρμαρο ενώ στο δεύτερο η δημιουργία της υφής πραγματοποιείται μέσα από μαθηματικούς αλγόριθμους. Το πρόγραμμα Vray κάνει χρήση διαφορετικών ειδών υφής όπως διαφάνεια, αντανάκλαση, διάθλαση καθώς και του bump texture και texture mapping και στη συνέχεια τα συνθέτει όλα μαζί για την παραγωγή των επιθυμητών υλικών (materials) που αποδίδονται στις επιφάνειες των αντικειμένων.
4. *Φωτισμός.* Η ύπαρξη κατάλληλου φωτισμού σε μια σκηνή τρισδιάστατων αντικειμένων είναι αναγκαία για την παραγωγή ρεαλιστικών εικόνων. Ο φωτισμός διακρίνεται σε άμεσο, όταν το φως έρχεται απευθείας από τη φωτεινή πηγή, και στον έμμεσο, όταν το φως αντανακλάται στον χώρο και σε άλλα αντικείμενα. Για την προσομοίωση του φωτισμού στα προγράμματα σχεδίασης γίνεται χρήση των μοντέλων φωτισμού. Για τον άμεσο φωτισμό το πιο διαδεδομένο είναι το μοντέλο του Phong και για τον έμμεσο φωτισμό το μοντέλο Ανίχνευσης Ακτίνας (Ray Tracing) και Radiosity. Το πρόγραμμα Rhinoceros χρησιμοποιεί παραλλαγές των παραπάνω μοντέλων φωτισμού καθώς και τις φωτεινές πηγές point light, spot light, rectangular light.
5. *Οπτική αναπαράσταση.* Η οπτική αναπαράσταση (rendering) είναι το τελικό στάδιο και το πιο βασικό. Κατά τη διαδικασία του rendering γίνεται χρήση δύο διαφορετικών μηχανών οπτικής αναπαράστασης όπου καθεμία βασίζεται σε διαφορετικό μοντέλο φωτισμού. Οι ρυθμίσεις των ιδιοτήτων κάθε μηχανής render έχουν επίδραση στην ποιότητα της παραγόμενης εικόνας και του χρόνου υπολογισμού. Οι τελικές εικόνες παρουσιάζονται στο τέλος της διπλωματικής εργασίας

Εισαγωγή

Με την πάροδο των χρόνων οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές έχουν εξελιχθεί σε ένα πολύ δυνατό εργαλείο ταχείας και οικονομικής παραγωγής εικόνας. Στη σύγχρονη εποχή δεν υπάρχει κάποιος τομέας όπου οι γραφικές απεικονίσεις να μην έχουν εφαρμογή, για τον λόγο αυτό η γραφική υπολογιστών (computer graphics) είναι τόσο διαδεδομένη.

Η παραγωγή εικόνας και γραφικών μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών άνοιξε με την εμφάνιση των προσωπικών υπολογιστών (Personal Computers,PC). Μέχρι τις αρχές του '80 η γραφική υπολογιστών ήταν ένας πολύ μικρός τομέας κυρίως λόγω των ακριβών μηχανημάτων και την έλλειψη εφαρμογών που είναι βασισμένες σε γραφικά. Με την άνοδο της τεχνολογίας και την έλευση των προσωπικών υπολογιστών περάσαμε από την χρήση δύσκολων γλωσσών προγραμματισμού σε φιλικές προς το χρήστη εφαρμογές για την παραγωγή γραφικής υπολογιστών. Εμφανίστηκαν τα λεγόμενα «παράθυρα» (windows) όπου, και με τη χρήση εξωτερικών συσκευών όπως το ποντίκι (mouse) ,ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί πιο εύκολα και γρήγορα πολλές εφαρμογές γραφικών ταυτόχρονα απ'ότι παλιότερα.

Σήμερα, βρίσκουμε τη χρήση των γραφικών υπολογιστών σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας όπως στην ιατρική, στην επιστήμη, στις επιχειρήσεις ,στη διαφήμιση, στη βιομηχανία και στην εκπαίδευση. Η λίστα με τους τομείς αυτούς είναι μεγάλη και αυξάνεται συνέχεια όσο οι υπολογιστές με δυνατότητα επεξεργασίας γραφικών γίνονται προϊόντα ευρείας χρήσης. Αναλυτικότερα κάποιοι τομείς που βρίσκουν εφαρμογή η γραφική υπολογιστών είναι :

- **Τέχνες - Ψυχαγωγία.** Τα γραφικά υπολογιστών χρησιμοποιούνται ευρέως σε κινούμενα σχέδια, μουσικά βίντεο, τηλεοπτικές σειρές και κυρίως στο κινηματογράφο. Πλέον οι περισσότερες κινηματογραφικές ταινίες και τα κινούμενα σχέδια στηρίζονται στα γραφικά υπολογιστών για την παραγωγή χρονοβόρων και πολυέξοδων σκηνών. Η ποιότητα και ο φωτορεαλισμός των γραφικών σήμερα είναι τέτοια ώστε σκηνικά και αντικείμενα από ταινίες και βίντεο φτιαγμένα και επεξεργασμένα από γραφικά υπολογιστών να φαίνονται το ίδιο ρεαλιστικά όσο τα πραγματικά.
- **Εκπαίδευση.** Εφαρμογές με γραφικές απεικονίσεις χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά τελευταία ως τρόπος εκμάθησης σε σχολεία και εκπαιδευτικά ιδρύματα. Επίσης με την βοήθεια γραφικών υπολογιστών πραγματοποιούνται αρχικά στάδια εκπαίδευσης για διάφορα επαγγέλματα. Παράδειγμα η εκπαίδευση και η πρακτική για τους πιλότους, καπετάνιους και διάφορους χειριστές μηχανημάτων βασίζεται σε γραφικά υπολογιστών. Με τη βοήθεια των υπολογιστών δημιουργείται ένα εικονικό περιβάλλον όπου προσομοιάζονται οι συνθήκες λειτουργίας ενός πιλοτηρίου αεροπλάνου, της γέφυρας ενός πλοίου ή οποιουδήποτε άλλου χώρου .

- **Cad.** Ο «σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή» (computer-aided design, CAD) είναι ο βασικότερος τομέας εφαρμογής της γραφικής υπολογιστών. Σήμερα οι CAD εφαρμογές χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό κτηρίων, αυτοκινήτων, αεροσκαφών, πλοίων και πολλών βιομηχανικών προϊόντων. Πλέον τα λογισμικά πακέτα για CAD εφαρμογές προσφέρουν πολύ-λειτουργικό περιβάλλον που βοηθούν τον σχεδιαστή στη προσπάθεια δημιουργίας των τελικών προϊόντων. Ο κατάλληλος σχεδιασμός τρισδιάστατων μοντέλων πριν την τελική παραγωγή ενός προϊόντος δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να έχουν καλύτερη και πιο σφαιρική αντίληψη για το προϊόν αυτό, με αποτέλεσμα να προβλέπονται πιθανές ατέλειες και αποφυγή πρακτικών λαθών. Η απεικόνιση με κινούμενα σχέδια (animation) χρησιμοποιείται συχνά στις CAD εφαρμογές. Με το πραγματικού-χρόνου (real-time) animation μπορεί να δοκιμαστεί η απόδοση ενός π.χ. αυτοκινήτου ή η ροή του νερού από το πηδάλιο ενός πλοίου.

Η γραφική υπολογιστών είναι πλέον ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στα χέρια πολλών διαφορετικών ανθρώπων. Οι δυνατότητες των προγραμμάτων βασισμένων σε CAD εφαρμογές γίνονται ολοένα και μεγαλύτερες. Το αποτέλεσμα αυτής της ανόδου είναι η παραγωγή ολοένα και πιο ρεαλιστικών μοντέλων. Σημαντικό ρόλο στην προσέγγιση του ρεαλισμού έχουν ο κατάλληλος φωτισμός και η σωστή απόδοση υφής στο μοντέλο.

1 Παρουσίαση Προγράμματος Σχεδίασης

1.1 Γενικά

Το προγράμματα βασισμένα σε CAD εφαρμογές είναι τα εργαλεία των σχεδιαστών για την παραγωγή εικόνων και τρισδιάστατων μοντέλων με τη βοήθεια του υπολογιστή. Οι πρώτες εκδόσεις των προγραμμάτων αυτών παρείχαν στο χρήστη λιγιστές δυνατότητες και ένα απλοϊκό περιβάλλον σχεδίασης. Με τη πάροδο των χρόνων εξελίσσονται και προσφέρουν σύνθετα εργαλεία μοντελοποίησης καθώς και γραφικές διεπιφάνειες (graphical interfaces). Βασικά γνωρίσματα των graphical interfaces είναι τα πολλαπλά παράθυρα λειτουργιών και οι εργαλειοθήκες (toolbars) όπου συνθέτουν ένα περιβάλλον πιο λειτουργικό για τον χρήστη.

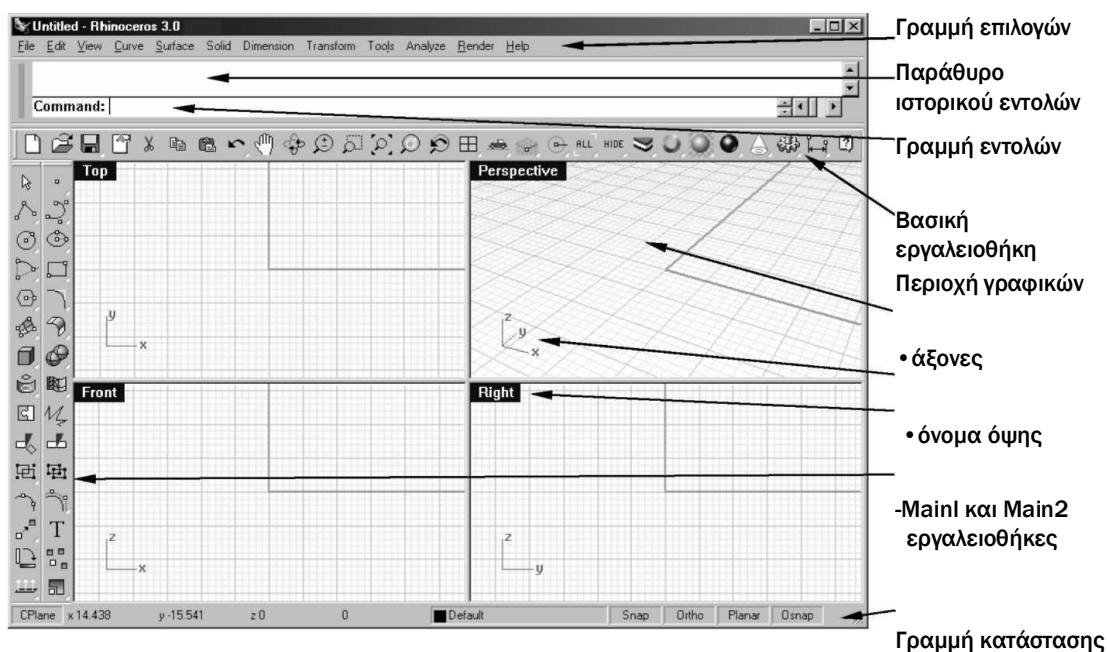
Στα παράθυρα λειτουργιών μπορεί κανείς να δει απεικονίσεις του αντικείμενου που σχεδιάζεται από διαφορετικές οπτικές όπως άνω όψη, πλάγια δεξιά όψη κ.α. Οι διαφορετικές αυτές όψεις δίνουν στον χρήστη μια καλύτερη οπτική για το αντικείμενο που σχεδιάζει. Συνήθως υπάρχουν τέσσερα παράθυρα εργασιών με άνω, πλάγια δεξιά και πλάγια αριστερή όψη καθώς και μια γενική στην οποία μπορεί να γίνει τρισδιάστατη περιήγηση στο αντικείμενο.

Στις εργαλειοθήκες περιέχονται εντολές του προγράμματος σε μορφή εικονιδίων όπου με την επιλογή τους έχουμε σύντομη εκτέλεση των εντολών αυτών. Οι εργαλειοθήκες μπορούν να μετακινούνται, να κρύβονται ή να εμφανίζονται επιλεκτικά ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε χρήστη.

Υπάρχουν πολλά καλά προγράμματα για σχεδιασμό και επεξεργασία γραφικών όπως το AutoCAD, 3Dstudio max, Maya κ.α. Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιείται το Rhinoceros 3D για την τρισδιάστατη μοντελοποίηση του πλοίου και το Vray ως επέκταση του Rhinoceros 3D για την τριγωνοποίηση του μοντέλου και την απόδοση υφής(texture) και την δημιουργία των υλικών(materials) που θα αποδοθούν στο μοντέλο.

1.2 Παρουσίαση του Rhinoceros 3D

Το Rhinoceros είναι ένα πρόγραμμα παραγωγής τρισδιάστατων μοντέλων. Χρησιμοποιείται ευρύτατα για βιομηχανικό σχεδιασμό, αρχιτεκτονικό σχέδιο, ναυπηγικό σχέδιο και γενικότερα σε πολλές εφαρμογές CAD/CAM. Το Rhinoceros ειδικεύεται στη παραγωγή μοντέλων βασισμένα σε NURBS (non-uniform rational B-spline), όπου αναλύονται στη συνέχεια. Στο σχήμα 1.2.1 φαίνεται το παράθυρο λειτουργιών του προγράμματος.



Σχ. 1.2.1 Interface του Rhinoceros 3D

Στη παρούσα διπλωματική εκτός από την παραγωγή του γεωμετρικού μοντέλου του πλοίου αποδίδεται και υφή στα αντικείμενα με απώτερο σκοπό την επίτευξη πιο ρεαλιστικού αποτελέσματος. Το Rhino από μόνο του δεν παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε αυτό το τομέα. Επομένως χρησιμοποιήθηκε μια επέκταση του Rhino το Vray. Το Vray είναι ένα πολύ δυνατό εργαλείο για οπτική αναπαράσταση (render) και επεξεργασία υφής (textures). Οι λειτουργίες και το εύρος ρυθμίσεων δίνουν τη δυνατότητα για ένα πολύ ρεαλιστικό αποτέλεσμα.

1.2.1 Non-uniform rational B-spline

Non-uniform rational B-spline (Nurbs) είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται συχνά στη γραφική υπολογιστών για παραγωγή και απεικόνιση καμπυλών και επιφανειών. Προσφέρουν ευέλικτο χειρισμό και μεγάλη ακρίβεια για δημιουργία αναλυτικών ή ελεύθερης μορφής σχημάτων. Η εξέλιξη τους ξεκινάει το 1950 από μηχανικούς που ήθελαν μια μαθηματική ακρίβεια στις απεικονίσεις επιφανειών ελεύθερης μορφής όπως αυτές της γάστρας των πλοίων.

Το σχήμα μιας Nurbs επιφάνειας καθορίζεται από τα σημεία ελέγχου. Στα προγράμματα μοντελοποίησης και animation ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί σχήματα μέσω των σημείων ελέγχου των καμπύλων ή των επιφανειών Nurbs με αφαίρεση ή μετακίνηση αυτών στο τρισδιάστατο χώρο. Επίσης πολλά εργαλεία των προγραμμάτων εκμεταλλεύονται τη δυνατότητα των Nurbs να δημιουργούν και να πετυχαίνουν γεωμετρικές συνέχειες διαφορετικών επιπέδων. Αυτές είναι :

- *Σημειακή συνέχεια (G0)* . Υπάρχει όταν το τελείωμα δυο καμπυλών ή επιφανειών είναι κοινό. Οι καμπύλες ή επιφάνειες συναντιούνται με οποιαδήποτε γωνία
- *Εφαπτομενική συνέχεια (G1)* . Προϋποθέτει τα τελικά διανύσματα των καμπυλών ή επιφανειών να είναι παράλληλα.
- *Συνέχεια καμπυλότητας (G2)* . Προϋποθέτει τα τελικά διανύσματα των καμπυλών ή επιφανειών να έχουν ίδιο μέγεθος .Στη G2 συνέχεια οι δυο καμπύλες ή επιφάνειες φαίνονται σαν μια. Οπτικά είναι "τέλεια ομαλό"

Η καμπύλη Nurbs ορίζεται από την τάξη της, το βάρος των σημείων ελέγχου και το κόμβο διάνυσμα. Είναι μια γενίκευση των καμπυλών b-spline και bezier όπου το βάρος των σημείων ελέγχου είναι αυτό που την διαφοροποιεί και την κάνει ρητή .

Η γενική εξίσωση μιας καμπύλης Nurbs βαθμού p είναι :

$$C(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) w_i} \quad a \leq u \leq b$$

όπου P_i είναι τα σημεία ελέγχου, w_i τα βάρη των σημείων ελέγχου και $N_{i,p}(u)$ οι βασικές συναρτήσεις p βαθμού.

Αν θέσουμε

$$R_{i,p}(u) = \frac{N_{i,p}(u) w_i}{\sum_{j=0}^n N_{j,p}(u) w_j}$$

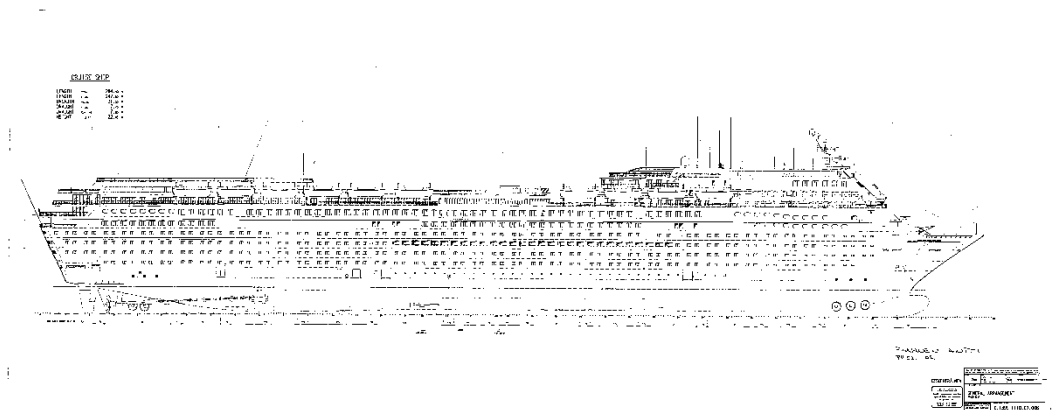
η γενική εξίσωση γράφεται

$$C(u) = \sum_{i=0}^n R_{i,p}(u) P_i$$

2 Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση Πλοίου

2.1 Επεξεργασία ναυπηγικών σχεδίων

Η παραγωγή του γεωμετρικού μοντέλου του πλοίου βασίζεται σε υπάρχοντα σχέδια γενικής διάταξης (General Arrangement) κρουαζιερόπλοιου. Στόχος αρχικά είναι η μετατροπή των ναυπηγικών σχεδίων σε ψηφιακό αρχείο. Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός σαρωτή (scanner). Τα σχέδια με τη διαδικασία της σάρωσης (scanning) μετατρέπονται σε ψηφιακά αρχεία εικονοκυττάρων (raster files), τα οποία επεξεργάζονται πλέον μέσω υπολογιστή. Στο σχήμα 2.1.1 φαίνεται το προφίλ του πλοίου που είναι σε μορφή .tiff αρχείου μέσω της διαδικασίας της σάρωσης



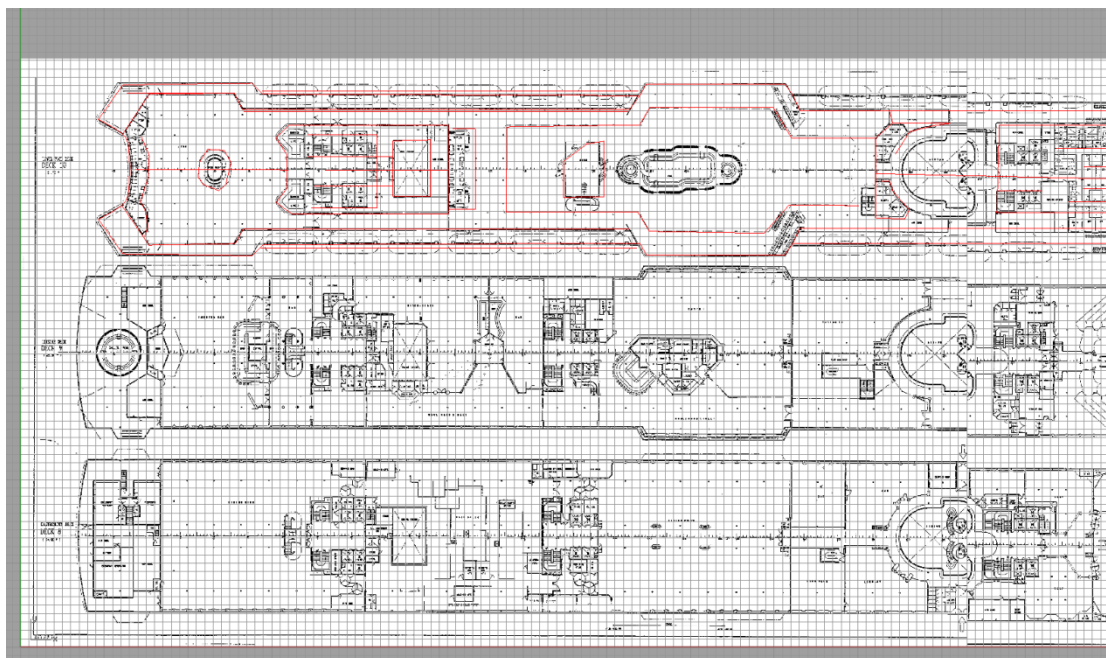
Σχ.2.1.1 Αρχείο .tiff με το προφίλ του πλοίου

Στο επόμενο στάδιο, με τη βοήθεια του rhinoceros, το ψηφιακό αρχείο των καταστρωμάτων μετατρέπεται σε ευθύγραμμα τμήματα και καμπύλες. Η διαδικασία είναι να τοποθετηθούν οι εικόνες των καταστρωμάτων ως φόντο στο rhinoceros και με τα εργαλεία του προγράμματος να σχεδιαστούν τα περιγράμματα του καταστρώματος, των καμπίνων και οποιουδήποτε άλλου χώρου μας ενδιαφέρει. Επιλέγοντας να δουλέψουμε στην “πάνω όψη”, τοποθετείται η εικόνα ως φόντο μέσω της εντολής *place background image*.

Στη συνέχεια υπάρχουν πολλά εργαλεία επεξεργασίας εικόνας όπως:

- *Scale* : μετατροπή του μεγέθους της εικόνας σε αυτό χρειάζεται
- *Align* : τοποθέτηση της εικόνας στο σημείο που πρέπει
- *Grayscale* : μετατροπή των χρωμάτων σε κλίμακα του γκρι
- *Brightness* : ρύθμιση φωτεινότητας

Με τις εντολές *scale* και *align* η εικόνα αρχικά μετατρέπεται σε κλίμακα 1:1 με τις διαστάσεις του πλοίου και στη συνέχεια τοποθετείται στις συντεταγμένες που πρέπει. Με τις εντολές *polyline* και *control points curve* σχεδιάζονται οι ευθείες και οι καμπύλες κάθε χώρου του καταστρώματος που χρειάζεται για την μοντελοποίηση. Ουσιαστικά γίνεται ένα είδος αντιγραφής της εικόνας του φόντου με καμπύλες του προγράμματος. Στο σχήμα 2.1.2 φαίνεται η εικόνα με τρία καταστρώματα όπου έχει τοποθετηθεί ως φόντο και στο ένα κατάστρωμα έχουν περαστεί οι καμπύλες με κόκκινο χρώμα. Με αυτόν τον τρόπο σχεδιάζονται στο κατάλληλο μέγεθος τα περιγράμματα των καταστρωμάτων, οι χώροι των καμπινών, τα ανοίγματα για τις σκάλες, οι εξοδοί από τα καταστρώματα και πολλά άλλα στοιχεία βασικά για την μοντελοποίηση του πλοίου.



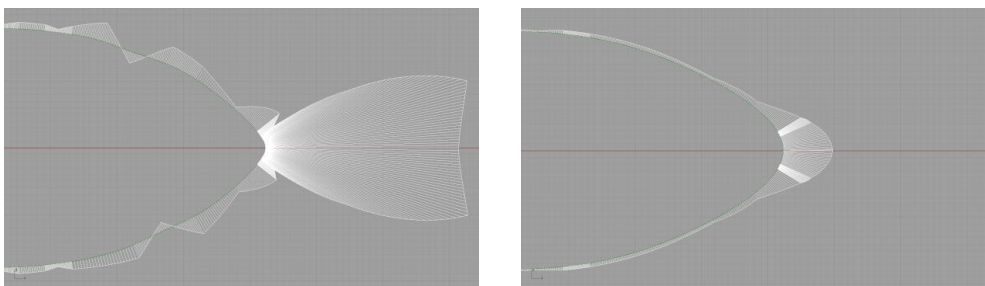
Σχ. 2.1.2 Σχεδιασμός στο Rhino πάνω από την εικόνα φόντο

2.2 Μοντελοποίηση γάστρας

Για την κατασκευή της επιφάνειας της γάστρας χρησιμοποιούνται συνήθως τα σχέδια νομέων ή ισάλων. Η μοντελοποίηση της γάστρας ενός πλοίου είναι από τις βασικότερες και δυσκολότερες διαδικασίες. Οι απότομες αλλαγές στη γεωμετρία της είναι αυτές που δυσκολεύουν την μοντελοποίηση της. Με δεδομένο ότι σκοπός της διπλωματικής είναι κυρίως η μοντελοποίηση του εσωτερικού των καταστρωμάτων και όχι η ακριβής μοντελοποίηση της γάστρας ακολουθείται μια διαδικασία που δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά όχι απόλυτα ακριβή.

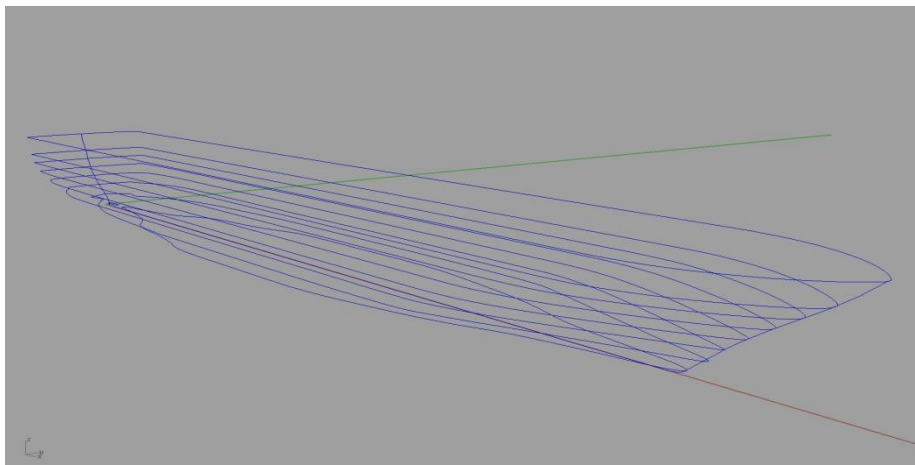
Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε η μέθοδος ‘αντιγραφής’ των σχεδίων γενικής διάταξης στο Rhinoceros 3D. Με την ίδια μέθοδο γίνεται η εισαγωγή των περιγραμμάτων των καταστρωμάτων στο πρόγραμμα σχεδίασης. Γίνεται χρήση κάθε περιγράμματος από το κατάστρωμα 1 μέχρι το 7 όπου και είναι το τελευταίο που περιλαμβάνεται στη γάστρα του πλοίου. Επιπλέον χρησιμοποιείται το περίγραμμα από το προφίλ του πλοίου. Οι καμπύλες των καταστρωμάτων γίνονται η βάση πάνω στη οποία δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο της γάστρας του πλοίου.

Μετά την εισαγωγή των περιγραμμάτων ακολουθείται η διαδικασία εξομάλυνσης των καμπυλών αυτών. Αρχικά εξομαλύνεται κάθε περίγραμμα ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο η επιφάνεια της γάστρας γίνεται πιο ομαλή. Στο σχήμα 2.2.1 φαίνονται δύο ξεχωριστά παράθυρα, όπου στο πρώτο είναι το πρωταίο τμήμα του καταστρώματος 7 πριν την εξομάλυνση και στο δεύτερο μετά. Με την εντολή *curvature graph on* ενεργοποιούμε το γραφικό που δείχνει την καμπυλότητα. Όπως φαίνεται και στο πρώτο παράθυρο του σχήματος 2.2.1 το γραφικό της καμπυλότητας έχει απότομες αλλαγές και έντονες γωνίες. Αυτό δείχνει την μη ομαλότητα της καμπύλης αυτής. Σκοπός της εξομάλυνσης είναι η δημιουργία ομαλών καμπυλών με συνέπεια την επίτευξη ομαλών επιφανειών που παράγονται από τις καμπύλες αυτές. Επιλέγοντας την καμπύλη και εμφανίζοντας τα σημεία ελέγχου της (*control points*), ο χρήστης μπορεί να επέμβει στην καμπυλότητα μετακινώντας τα σημεία αυτά. Το Rhinoceros επιπλέον προσφέρει μια πιο αυτοματοποιημένη διαδικασία μέσω της εντολής *fair* όπου η εξομάλυνση γίνεται από το πρόγραμμα με τον χρήστη να εισάγει μια τιμή ανοχής. Στη διπλωματική επιλέχθηκε η εντολή *fair* με ανοχή 10mm.



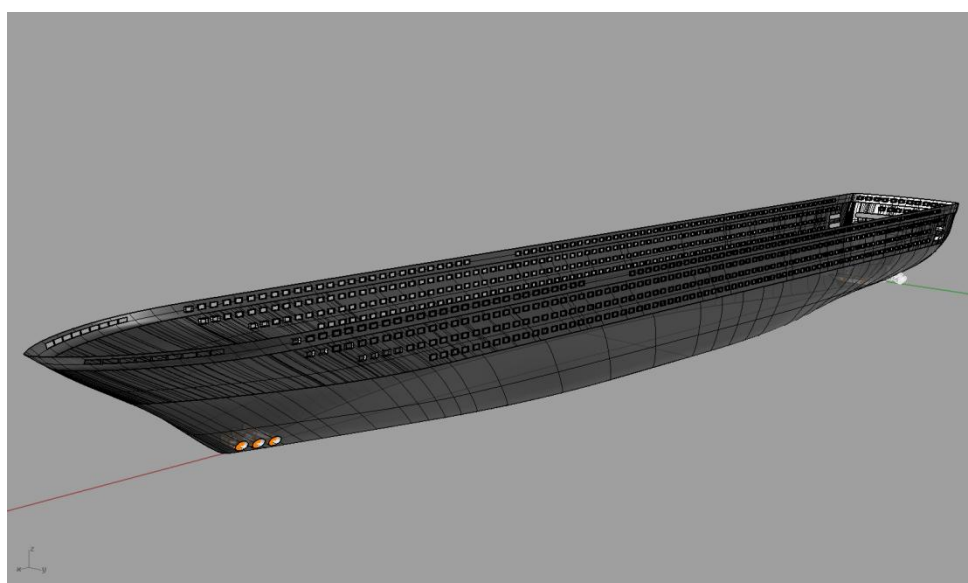
Σχ. 2.2.1 Διαφορά καμπύλης περιγράμματος πριν και μετά την εξομάλυνση

Στο σχήμα 2.2.2 φαίνεται το σύνολο των καμπυλών που αντιπροσωπεύουν τα περιγράμματα κάθε καταστρώματος και συνθέτουν τη δομή στην οποία μοντελοποιείται η επιφάνεια της γάστρας



Σχ. 2.2.2 Τα περιγράμματα κάθε καταστρώματος

Στη συνέχεια με την εντολή *loft* και επιλέγοντας όλες τις καμπύλες, δημιουργείται η επιφάνεια της γάστρας του πλοίου. Η εντολή *loft* δημιουργεί επιφάνεια που περικλείεται μέσω επιλεγμένων καμπυλών που ορίζουν το σχήμα της επιφάνειας. Η επιφάνεια όπως αναφέρθηκε και στην αρχή είναι μια ικανοποιητική μοντελοποίηση της πραγματικής γάστρας, όχι το ακριβές αντίγραφο της. Στο σχήμα 2.2.3 φαίνεται η τελική μορφή της επιφάνειας της γάστρας όπου και περιλαμβάνονται οι προπέλες και τα ανοίγματα για τα παράθυρα των καταστρωμάτων.



Σχ. 2.2.3 Επιφάνεια της γάστρας του πλοίου

2.3 Μοντελοποίηση Καταστροφμάτων

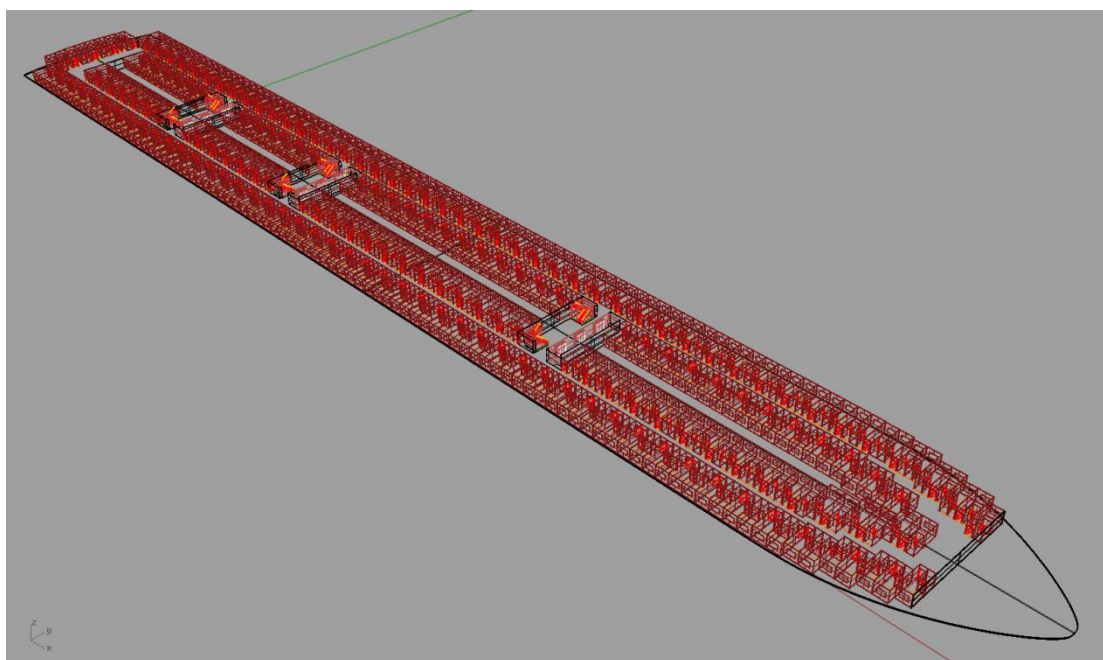
Το πλοίο διαθέτει δεκατρία καταστρώματα. Τα οκτώ από αυτά αποτελούνται από καμπίνες και κοινόχρηστους χώρους (Deck 4-11) και είναι εκείνα που θα μοντελοποιηθούν. Για την κατασκευή των καταστροφμάτων χρησιμοποιούνται τα ψηφιακά αρχεία που εισήχθησαν στο Rhinoceros. Η διαδικασία σχεδιασμού είναι παρόμοια με εκείνη για τη γάστρα με σκοπό να γίνει ακριβής αποτύπωση των εσωτερικών χώρων του πλοίου.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την κατασκευή των καταστροφμάτων είναι όλοι οι χώροι και τα αντικείμενα να μοντελοποιούνται με κλειστούς όγκους, στερεά. Σε ένα στερεό μοντέλο (solid model) υπάρχει ταξινόμηση του χώρου καθώς διακρίνεται ένα σημείο αν είναι στο εσωτερικό, εξωτερικό ή πάνω στο στερεό. Η μοντελοποίηση με στερεά αντικείμενα διευκολύνει το χρήστη σε περίπτωση μελλοντικής εκμετάλλευσης του μοντέλου σε άλλα προγράμματα όπως η εισαγωγή του σε σύστημα εικονικής πραγματικότητας

Εκτός από τα βασικά εργαλεία για τον σχεδιασμό καμπυλών, ευθύγραμμων τμημάτων, επιφανειών και όγκων υπάρχουν πολλά ακόμα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τρισδιάστατων μοντέλων. Μερικές από αυτά τα εργαλεία και τις εντολές παραθέτονται στη συνέχεια.

- **Offset curve/surface:** Δημιουργεί παράλληλες καμπύλες και επιφάνειες. Είναι πολύ χρήσιμο εργαλείο μοντελοποίησης ειδικά για χώρους με απλές και επίπεδες επιφάνειες.
- **Duplicate edge:** Κάθε στερεό αντικείμενο αποτελείται από ακμές. Με την εντολή αυτή αντιγράφεται πιστά οποιαδήποτε ακμή επιλεγεί από ένα υπάρχον αντικείμενο.
- **Sweep 1/2 rails:** Με την εντολή αυτή δημιουργείται μια επιφάνεια από καμπύλες που ακολουθούν μία ή δύο καμπύλες τροχιάς. Η συγκεκριμένη διαδικασία δημιουργίας επιφανειών δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να παράγει πιο πολύπλοκες επιφάνειες
- **Extrude surface:** Πολλά αντικείμενα ενός καταστρώματος μοντελοποιήθηκαν με εκβολή επιπέδου. Τα ελάσματα του καταστρώματος, το δάπεδο και οι τοίχοι από τις καμπίνες είναι μερικά από αυτά. Με την εντολή extrude surface μια επιφάνεια μπορεί να γίνει στερεό είτε με ευθεία εκβολή είτε με εκβολή πάνω σε μια καμπύλη

- **Boolean join/split:** Κάποια γεωμετρικά αντικείμενα παράγονται από τον συνδυασμό ή την διαφορά δύο και περισσότερων στερεών. Η εντολή αυτή πραγματοποιεί αυτή ακριβώς τη διαδικασία
- **Orient:** Είναι εντολή επεξεργασίας αντικειμένου. Τοποθετεί καμπύλες, επιφάνειες ή στερεά σε προσδιορισμένα σημεία άλλων επιφανειών ή στερεών με ταυτόχρονη αλλαγή στις διαστάσεις και τον προσανατολισμό. Χρησιμοποιήθηκε σε περιπτώσεις όπως η τοποθέτηση του χερουλιού στη πόρτα και τα σκαλοπάτια στις κεντρικές σκάλες.
- **Array:** Αντιγράφει αντικείμενα σε προσδιορισμένο αριθμό, από το χρήστη, σειρών και στηλών στο ίδιο επίπεδο ή πάνω σε μια καμπύλη ή επιφάνεια. Ένα παράδειγμα χρήσης της εντολής αυτής είναι οι καμπίνες των καταστρώματων. Σαν μοντέλο κατασκευάστηκε μια καμπίνα και μέσω της εντολής array αντιγράφηκε και τοποθετήθηκε αυτόματα στον αριθμό των σειρών και των στηλών που χρειαζόνταν. Στο σχήμα 2.3.1 φαίνεται το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας καθώς και συνολικά το κατάστρωμα 6 μοντελοποιημένο.



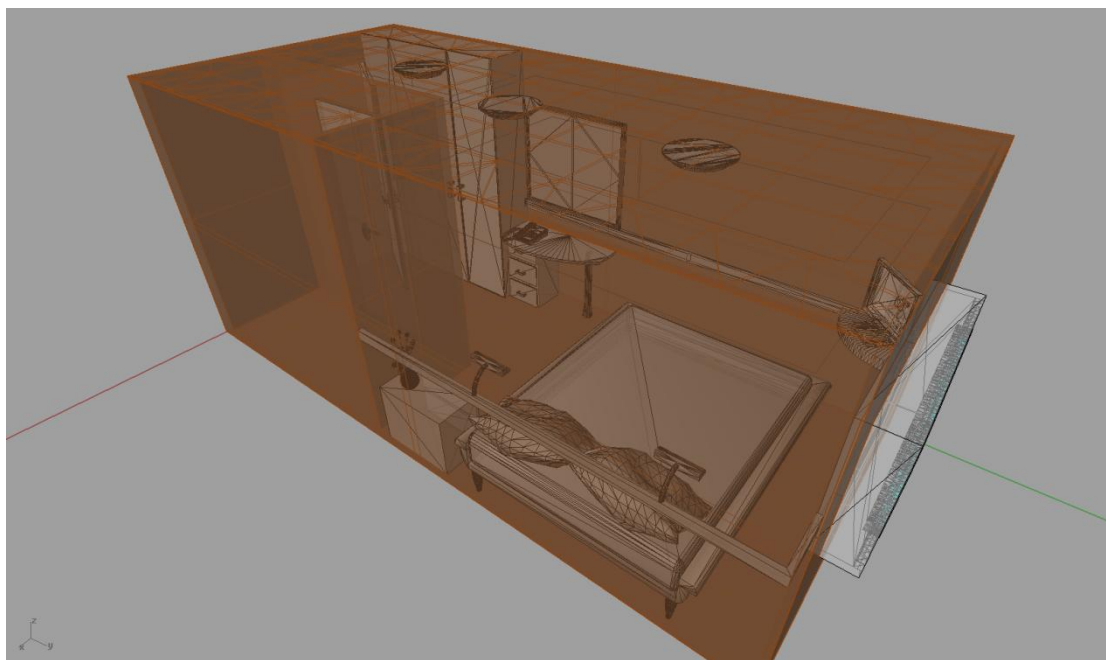
Σχ. 2.3.1 Μοντέλο καταστρώματος 6

Η μοντελοποίηση των καταστροφμάτων περιλαμβάνει τις καμπίνες, τις σκάλες, τους ανελκυστήρες, τις εξόδους κινδύνου και τους τοίχους για την γενικότερη διαμερισματοποίηση του πλοίου. Στη συνέχεια γίνεται πιο αναλυτικός σχεδιασμός της καμπίνας και του χώρου υποδοχής των επιβατών με σκοπό να αποδοθούν υλικά και φωτισμός στους συγκεκριμένους χώρους.

2.3.1 Αναλυτικός Σχεδιασμός Καμπίνας

Η μοντελοποίηση της καμπίνας μέχρι στιγμής περιελάμβανε τους τοίχους, τα παράθυρα και τις πόρτες. Με εντολές και εργαλεία που παρουσιάστηκαν και προηγουμένως σκοπός είναι ο σχεδιασμός αντικειμένων που υπάρχουν στο εσωτερικό μιας καμπίνας πλοίου επιδιώκοντας την πληρέστερη μοντελοποίηση της.

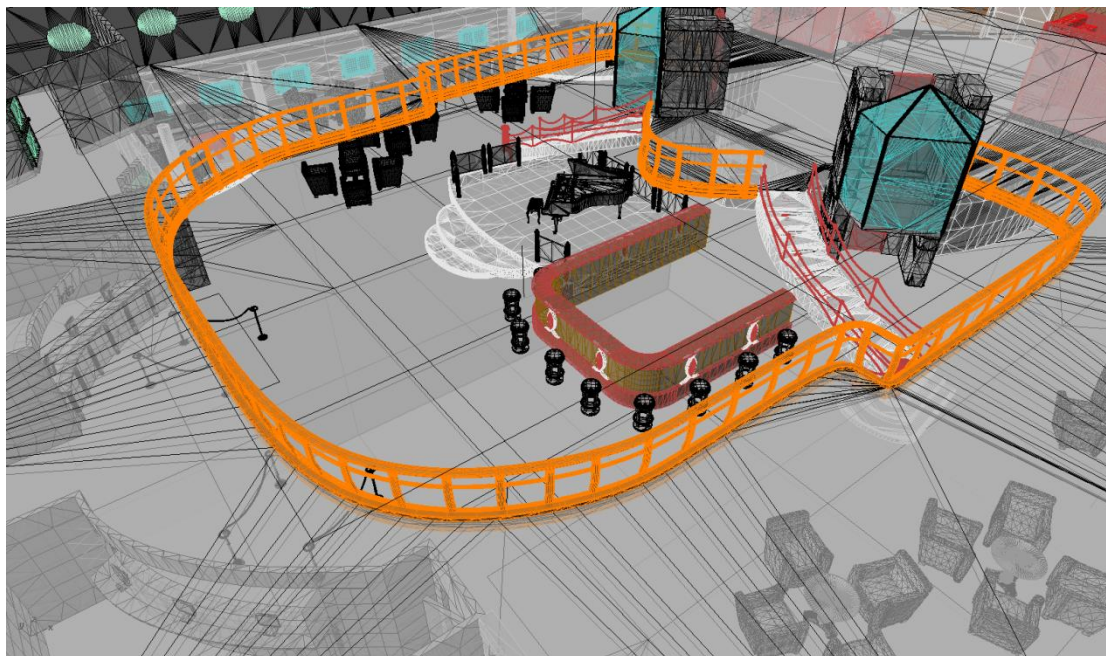
Αντικείμενα όπως το κρεβάτι, η ντουλάπα, το τραπέζι, το κομοδίνο και τα φώτα δημιουργούν ένα πληρέστερο μοντέλο καμπίνας. Στο σχήμα 2.3.1.1 φαίνεται το τελικό μοντέλο της καμπίνας με όλα τα αντικείμενα που τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό της. Το μοντέλο έχει ρυθμιστεί να φαίνεται σε 'x-ray' οπτική. Οι επιφάνειες των στερεών έχουν χρώμα, για να φαίνεται ξεκάθαρα ο όγκος τους στο χώρο, και ταυτόχρονα ένα ποσοστό διαφάνειας ώστε να διακρίνονται όλα τα αντικείμενα στο εσωτερικό.



Σχ. 2.3.1.1 Αναλυτικό μοντέλο καμπίνας

2.3.2 Αναλυτικός Σχεδιασμός Του Χώρου Υποδοχής

Ο χώρος υποδοχής των επιβατών του πλοίου βρίσκεται στο κατάστρωμα 7 μαζί με κάποιες καμπίνες. Ο χώρος αυτός είναι ο πιο πολύπλοκος σχεδιαστικά λόγω των πολλών και διαφορετικών αντικειμένων που συνυπάρχουν καθώς και του Atrium. Το ιδιαίτερο γνώρισμα του Atrium είναι το άνοιγμα που έχει δημιουργηθεί σε όλα τα καταστρώματα πάνω από αυτό του χώρου υποδοχής. Το σχήμα 2.3.2.1 δείχνει το άνοιγμα αυτό από το κατάστρωμα 8 καθώς και πολλά από τα αντικείμενα του χώρου υποδοχής στο από κάτω κατάστρωμα όπως καναπέδες, μπαρ, πιάνο, γραφείο πληροφοριών κ.α. Το μοντέλο φαίνεται σε 'x-ray view' όπως και αυτό της καμπίνας.



Σχ. 2.3.2.1 Αναλυτικό μοντέλο του atrium του πλοίου

2.4 Τριγωνοποίηση Μοντέλου

Κάθε εφαρμογή βασισμένη σε γραφικά υπολογιστών αναπαριστά τις επιφάνειες των μοντέλων με συγκεκριμένο τρόπο. Το είδος των αντικειμένων προς αναπαράσταση παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή του μοντέλου παράστασης. Το πολυγωνικό, οι δικυβικές επιφάνειες, το σύστημα σωματιδίων και τα fractals είναι μερικά από τα πιο γνωστά μοντέλα παράστασης που χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια στο χώρο της γραφικής υπολογιστών.

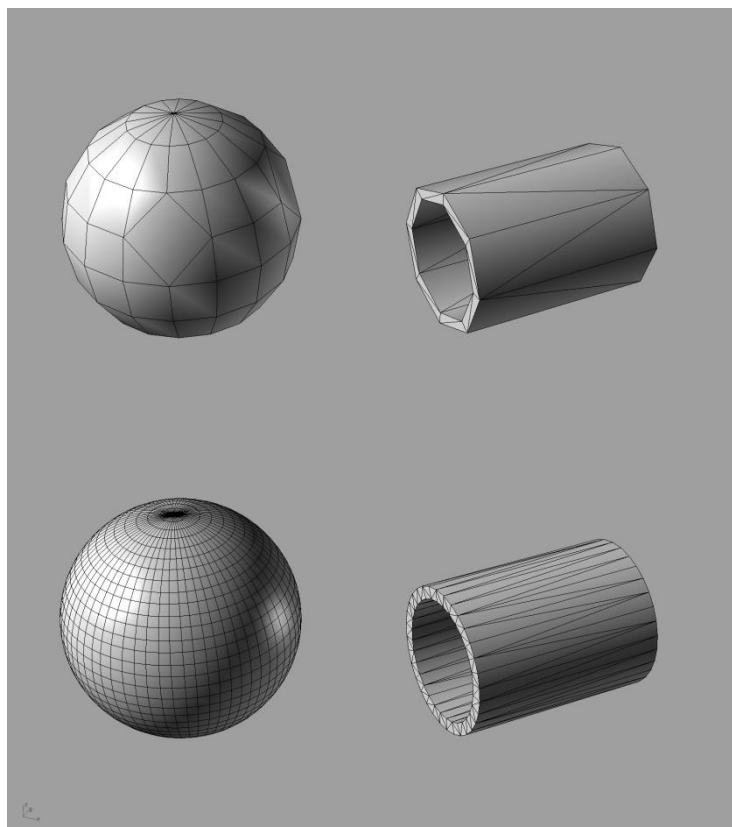
2.4.1 Πολυγωνικό Πλέγμα

Το πολυγωνικό πλέγμα (polygon mesh) είναι το πιο διαδεδομένο μοντέλο και από τα πιο εύχρηστα για την αναπαράσταση των καμπυλών και των επιφανειών των τρισδιάστατων αντικειμένων. Το πολυγωνικό πλέγμα είναι ένα σύνολο ακμών, κορυφών και πολυγώνων τα οποία είναι έτσι ενωμένα ώστε μια ακμή να συνυπάρχει σε τουλάχιστον δύο πολύγωνα. Τα πολύγωνα είναι συνήθως τρίγωνα εκτός από ειδικές περιπτώσεις. Η χρήση πολυγώνων είναι ιδανική για επίπεδες επιφάνειες. Κρίνεται όμως ακατάλληλη για παράσταση φυσικών αντικειμένων όπως το τρίγωνο ενός ζώου ή ο καπνός.

Υπάρχουν πολλών ειδών αλγόριθμοι για τη αναπαράσταση πολυγωνικού πλέγματος, κάθε ένας με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του. Η δουλειά του χρήστη είναι να επιλέξει την σωστή αναπαράσταση ανάλογα με τις απαιτήσεις ενός μοντέλου. Μερικά από τα γνωρίσματα που πρέπει να έχει ένα πολυγωνικό αντικείμενο είναι τα εξής:

- Ικανοποιητική απόδοση του σχήματος του αρχικού αντικειμένου. Στο σχήμα 2.5.1 φαίνονται δύο αντικείμενα, μία σφαίρα και ένας κύλινδρος, με διαφορετικές πολυγωνικές αναπαραστάσεις. Στη μια εικόνα φαίνεται ξεκάθαρα πόσο έχει αλλοιωθεί το σχήμα των αντικειμένων λόγω κακής τριγωνοποίησης
- Αποδοτικό από θέμα χώρου και χρόνου. Χρήση πολλών πολυγώνων για την αναπαράσταση ενός αντικειμένου καθιστά την τριγωνοποίηση χρονοβόρα διαδικασία καθώς και το μοντέλο αρκετά μεγάλο από θέμα αποθηκευτικού χώρου.
- Το πολυγωνικό αντικείμενο δεν πρέπει να έχει ασυνέχειες στην επιφάνεια του καθώς και η τοπολογία του να είναι πανομοιότυπη με το αρχικό

Τα δύο πρώτα γνωρίσματα έρχονται σε αντίθεση και είναι στην κρίση του χρήστη πως θα τα αξιοποιήσει καλύτερα.



Σχ. 4.4.1 Πολυγωνικά αντικείμενα με χρήση διαφορετικού αριθμού πολυγώνων

Υπάρχουν τρία είδη αναπαράστασης ενός πολυγωνικού πλέγματος :

1. *Explicit polygons*. Κάθε πολύγωνο αναπαριστάται από τη λίστα των συντεταγμένων των κορυφών του

$$P = ((x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n))$$

Η αναπαράσταση αυτή είναι αρκετά απλή αλλά έχει δύο μειονεκτήματα.

- Ένα σημείο μπορεί να συνυπάρχει σε πολλά πολύγωνα και αυτό είναι χάσιμο χώρου γιατί θα αποθηκεύονται πολλαπλές αντιγραφές των συντεταγμένων των κορυφών

- Σε κάθε μετατροπή ενός σημείου θα πρέπει να βρεθούν και να αλλαχθούν όλα τα πολύγωνα στα οποία βρίσκεται το σημείο αυτό, δυσχεραίνοντας την όλη διαδικασία

2. *Ανάλυση πολυγώνου από σημεία.* Κάθε κορυφή αποθηκεύεται μια φορά και η λίστα κορυφών έχει τη μορφή

$$V = ((x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n))$$

Επομένως εάν ένα πολύγωνο αποτελείται από τις κορυφές 1,5,6 και 9, το πολύγωνο θα γράφεται $P = (1,5,6,9)$

3. *Explicit edges.* Η λίστα με τις κορυφές V είναι όπως προηγουμένως, αλλά επιπλέον υπάρχει λίστα ακμών

$$E = ((v_1, v_4, p_3), (v_2, v_7, p_1, p_2, p_7), \dots)$$

Κάθε στοιχείο E αντιπροσωπεύει μια ακμή. Αποτελείται από δύο σημεία και ακολουθούν όλα τα πολύγωνα στα οποία συνυπάρχει.

2.4.2 Τριγωνοποίηση στο Rhinoceros

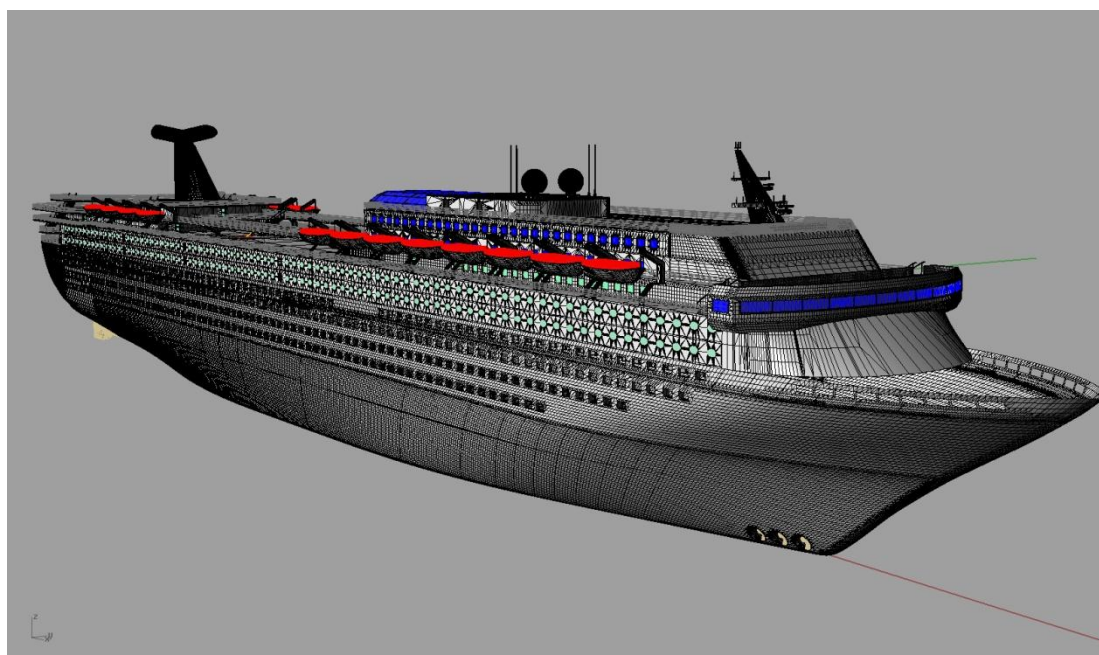
Το Rhinoceros είναι πρόγραμμα μοντελοποίησης που χρησιμοποιεί Nurbs καμπύλες και επιφάνειες. Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε ο τρόπος και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή και επεξεργασία Nurbs επιφανειών. Το πρόγραμμα όμως δίνει τη δυνατότητα παραγωγής και επεξεργασίας πολυγωνικού πλέγματος από τα Nurbs αντικείμενα που έχουν μοντελοποιηθεί.

Μέσα από την εντολή *Mesh -> Mesh from Nurbs object* δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα τριγωνοποίησης των αντικειμένων. Το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από μελλοντική χρήση του μοντέλου. Σε περίπτωση που το μοντέλο δημιουργείται για παραγωγή εικόνων τότε δίνεται περισσότερη προσοχή στην ιδανική προσέγγιση του αρχικού Nurbs αντικειμένου με αρνητική επίδραση στην απόδοση του συστήματος και στον χρόνο οπτικής αναπαράστασης. Στην αντίθετη περίπτωση γίνεται χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων πολύγωνων για την επίτευξη γρήγορων αποτελεσμάτων. Μια τέτοια περίπτωση είναι η εισαγωγή του μοντέλου σε συστήματα εικονικής πραγματικότητας.

Η τριγωνοποίηση στο rhinoceros μπορεί να γίνει με δύο τρόπος. Ο ένας τρόπος είναι η αυτόματη παραγωγή πολυγώνων ανάλογα με την ποσότητα πολυγώνων που δηλώνει ο χρήστης. Ο δεύτερος τρόπος είναι η λεπτομερής επεξεργασία πολυγώνων ρυθμίζοντας πέντε παραμέτρους.

- **Μέγιστη γωνία.** Η μέγιστη γωνία μεταξύ των πλευρών. Μικρότερες τιμές παράγουν περισσότερα πολύγωνα και πιο αργή τριγωνοποίηση
- **Μέγιστη αναλογία όψης.** Η μέγιστη αναλογία μήκος προς πλάτος τριγώνου. Μικρότερες τιμές παράγουν περισσότερα πολύγωνα και πιο αργή τριγωνοποίηση
- **Μέγιστο μήκος πλευράς.** Μικρότερες τιμές παράγουν περισσότερα πολύγωνα και πιο αργή τριγωνοποίηση
- **Ελάχιστο μήκος πλευράς.** Ελέγχει το ελάχιστο μήκος της πλευράς του τριγώνου. Μεγαλύτερες τιμές έχουν σαν αποτέλεσμα γρήγορη τριγωνοποίηση με λιγότερο ακριβές πολυγωνικό πλέγμα
- **Μέγιστη απόσταση ακμής από επιφάνεια.** Ισχύει ότι και στο μέγιστο μήκος ακμής. Μικρότερες τιμές παράγουν περισσότερα πολύγωνα και πιο αργή τριγωνοποίηση

Το μοντέλο του πλοίου τριγωνοποιήθηκε με τον δεύτερο και αναλυτικότερο τρόπο τριγωνοποίησης. Το βάρος δόθηκε περισσότερο στην παραγωγή ενός πολυγωνικού μοντέλου που θα προσεγγίζει την γεωμετρία του πλοίου χωρίς ταυτόχρονα να γίνει υπερβολική χρήση πολυγώνων. Στο σχήμα 2.5.2.1 φαίνεται το πολυγωνικό μοντέλο του πλοίου.

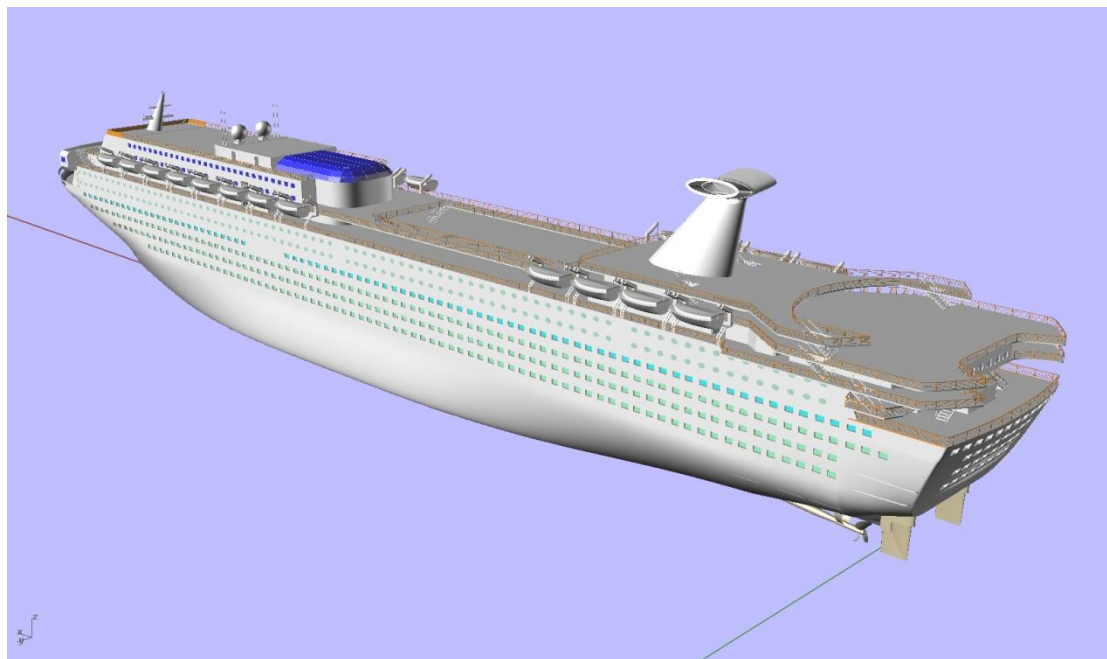


Σχ. 2.4.2.1 Πολυγωνικό Μοντέλο Πλοίου

2.5 Ιεράρχηση Γεωμετρικών Μοντέλων

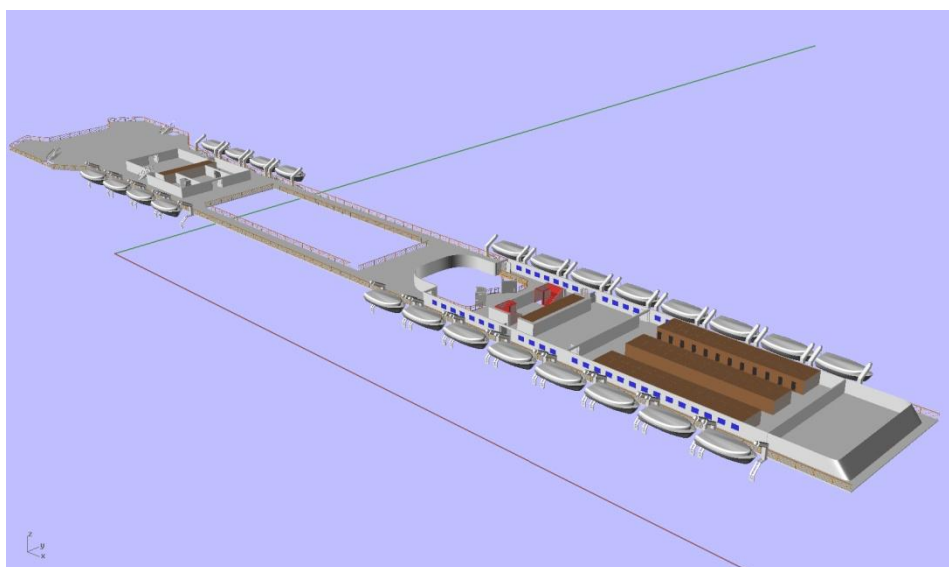
Το γεωμετρικό μοντέλο του πλοίου αποτελείται από ένα σύνολο πολυγωνικών αντικειμένων. Η δημιουργία μιας ιεραρχικής δομής για τα αντικείμενα που αποτελούν το μοντέλο θα διευκολύνει την περαιτέρω αξιοποίηση του από άλλα συστήματα και προγράμματα. Για την ιεράρχηση των χώρων χρησιμοποιείται η ομαδοποίηση κατά επίπεδα (layers) και υποεπίπεδα (sublayers). Τα αντικείμενα που συνυπάρχουν στο ίδιο επίπεδο μπορούν να επιλεγθούν ομαδικά και ύστερα να μετακινηθούν, αντιγραφούν σε άλλο επίπεδο ή να διαγραφούν τελείως. Η ιεραρχία των χώρων του πλοίου αναλύεται στη συνέχεια.

- **Επίπεδο 1:Ship.** Το αρχικό επίπεδο που περιλαμβάνει όλα το γεωμετρικό μοντέλο του πλοίου ορίζεται ως ship (σχήμα 2.5.1)



Σχ. 2.5.1 Επίπεδο Ship

- **Επίπεδο 2:Decks.** Το επόμενο επίπεδο αποτελείται από όλα τα καταστρώματα ενδιαίτησης του πλοίου καθώς και από τη γάστρα. Στο σχήμα 2.5.2 φαίνεται συνολικά το κατάστρωμα 11.



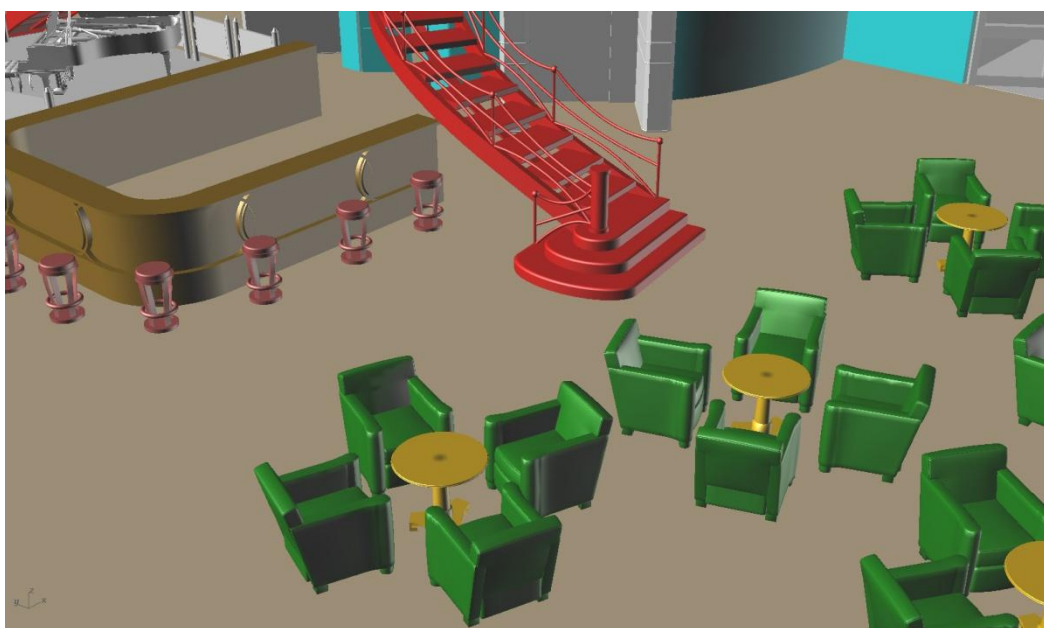
Σχ. 2.5.2 Επίπεδο 2 – κατάστρωμα 11

- **Επίπεδο 3: Χώροι καταστρωμάτων.** Σε αυτό το επίπεδο υπάρχουν οι χώροι που βρίσκονται σε ένα κατάστρωμα όπως καμπίνες, χώρος υποδοχής, τοιχώματα, κεντρικές σκάλες σωστικά μέσα κ.α.



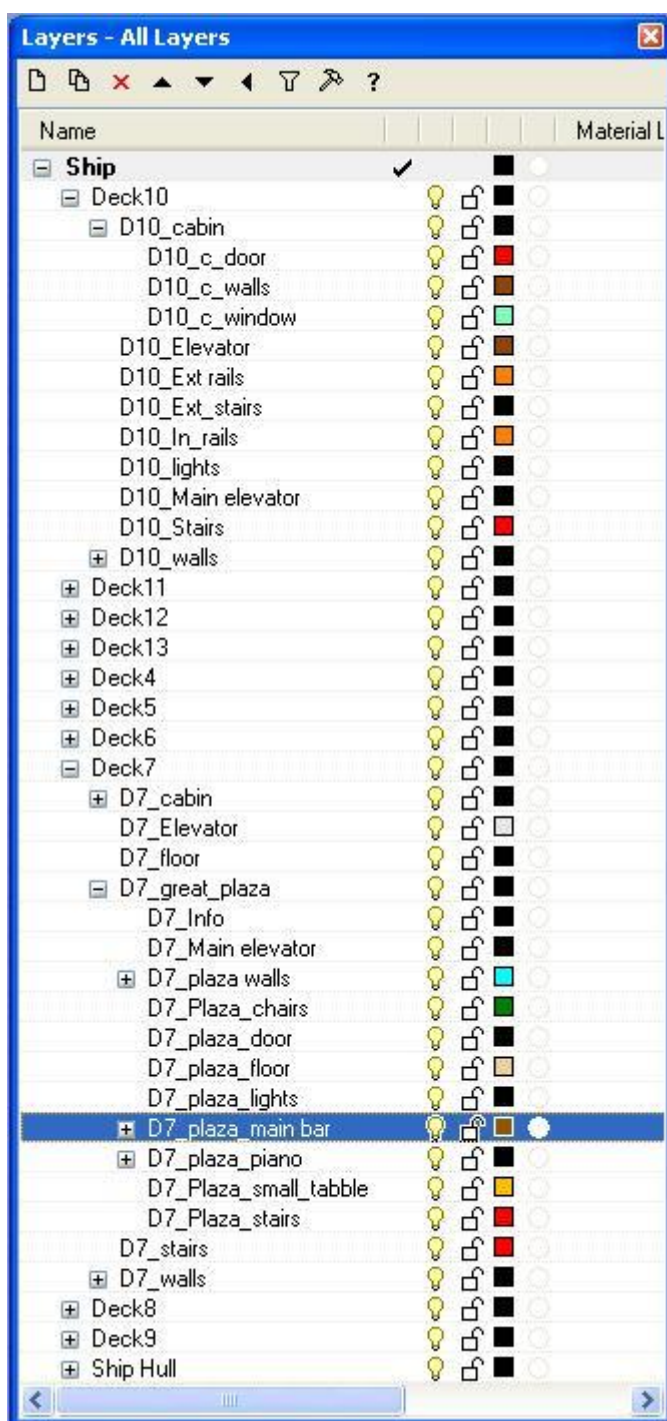
Σχ. 2.5.3 Επίπεδο 3 – Κεντρικές σκάλες και ανελκυστήρες

- **Επίπεδο 4: Αντικείμενα εσωτερικών χώρων.** Αποτελείται από αντικείμενα που βρίσκονται στους εσωτερικούς χώρους καταστρωμάτων που ανήκουν στο επίπεδο 3. Πόρτες και παράθυρα καμπινών, τραπέζια και πολυθρόνες σαλονιού είναι μερικά από τα αντικείμενα που ανήκουν σε αυτό το επίπεδο. Στο σχήμα 2.5.4 φαίνεται ο χώρος υποδοχής και τα αντικείμενα που ανήκουν σε αυτόν. Διαφορετικά χρώματα σε αυτή τη περίπτωση δηλώνουν διαφορετικό επίπεδο



Σχ. 2.5.4 Επίπεδο 4 – Αντικείμενα στον χώρο υποδοχής

Αναλυτικά ο πίνακας επεξεργασίας των επιπέδων φαίνεται στο σχήμα 2.5.5



Σχ. 2.5.5 Επεξεργασία επιπέδων

3 Δημιουργία και Απόδοση Υλικών

3.1 Ρεαλισμός

Στο επόμενο στάδιο της διπλωματικής, σκοπός είναι η απόδοση φωτορεαλισμού στο γεωμετρικό μοντέλο του πλοίου. Η επίτευξη ρεαλισμού στον τομέα των γραφικών υπολογιστών είναι μια διαδικασία άκρως εξελίξιμη κατά την πάροδο των χρόνων. Ο κλασσικός ορισμός του ρεαλιστικού ήταν το αληθοφανές. Πλέον ο φωτορεαλισμός ταυτίζεται σαν έννοια με την οπτική πολυπλοκότητα (visual complexity).

Η αιτία της οπτικής πολυπλοκότητας σε μία υπολογιστικά επεξεργασμένη εικόνα συνδέεται με τα στοιχεία της αντίληψης : χρώμα, υφή, ακμές και βάθος. Σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία όπως σχήμα, αντανάκλαση και φωτισμός μπορούν να δημιουργηθούν αντικείμενα όπως ξύλο, πέτρα, μέταλλο και ύφασμα. Αυτός είναι ο τρόπος παραγωγής ρεαλιστικής εικόνας ή μοντέλου, η ποικιλία βασικών δεδομένων και στοιχείων όμως τα προηγούμενα που είναι αντιληπτά από το ανθρώπινο μάτι και η αλληλοεπίδραση τους σε ένα κοινό περιβάλλον.

Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και την επεξεργασία μιας οπτικής πολυπλοκότητας και ρεαλισμού έχουν οι υπολογιστές. Η άνοδος της υπολογιστικής ισχύς με άμεση επίδραση στην επεξεργασία τεράστιου όγκου δεδομένων που απαιτούνται για την επίτευξη μιας ρεαλιστικής εικόνας καθιστούν τους υπολογιστές το βασικότερο εργαλείο δουλειάς σε σχέση με παλιότερα.

3.2 Απεικόνιση Υφής (Texture Mapping)

Σκοπός της γραφικής υπολογιστών κατά τη πάροδο των χρόνων είναι η εξέλιξη του ρεαλισμού των σύνθετων εικόνων βρίσκοντας καλύτερους τρόπους οπτικής αναπαράστασης (render) της εμφάνισης των επιφανειών. Η διαδικασία απόδοσης ρεαλισμού χωρίζεται σε δύο μέρη, στη σκίαση (shading) και την υφή (texture). Σκίαση είναι η διαδικασία κατά την οποία υπολογίζεται το χρώμα ενός εικονοκυττάρου (pixel) μέσω των ιδιοτήτων της επιφάνειας. Βασικός παράγοντας σε αυτή τη διαδικασία είναι η επίδραση του φωτός με τα υλικά (materials) της επιφάνειας. Υφή είναι η μέθοδος της διαφοροποίησης των ιδιοτήτων μιας επιφάνειας από σημείο σε σημείο με σκοπό να αποδώσει την λεπτομέρεια της εμφάνισης της επιφάνειας.

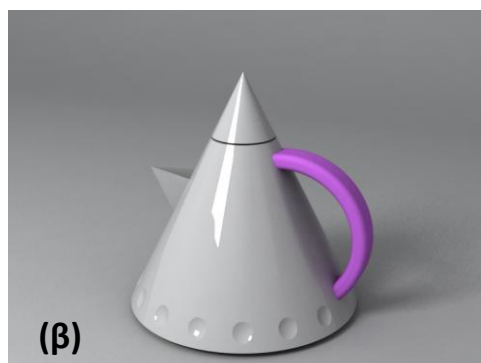
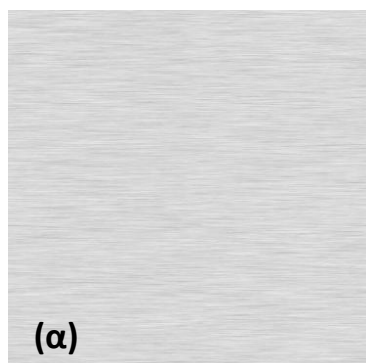
Η απεικόνιση υφής (texture mapping) είναι από τις πιο βασικές μεθόδους για την απόδοση υφής στα αντικείμενα. Χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, στην *Απεικόνιση Χάρτη Υφής* (Image mapping) και στη *Συναρτησιακή Υφή* (procedural texture mapping)

3.2.1 Απεικόνιση Χάρτη Υφής

Η απεικόνιση χάρτη υφής είναι από τις παλαιότερες μεθόδους απόδοσης υφής που συνηθίζεται να χρησιμοποιείται και σήμερα λόγω της απλότητας και της ευκολίας στη χρήση. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη χρήση μιας εικόνας (image) δυο διαστάσεων που υπάρχει είτε σε ηλεκτρονική μορφή είτε μετατρέπεται μέσω της διαδικασίας της σάρωσης. Η εικόνα είναι ορισμένη σε ένα διάστημα του παραμετρικού χώρου με παραμέτρους u και v . Η μέθοδος της απεικόνισης της υφής είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται η αντιστοίχιση κάθε σημείου της τρισδιάστατης επιφάνειας με ένα συγκεκριμένο δισδιάστατο σημείο (u,v) του παραμετρικού χώρου. Η αντιστοίχιση αυτή δηλώνει την ικανότητα να αποτυπωθεί μια δισδιάστατη εικόνα πάνω σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο (σχήμα 3.2.1.1).

Ο τρόπος που αποτυπώνεται μια εικόνα σε ένα αντικείμενο εξαρτάται από τη διαδικασία που θα επιλεγθεί για την προβολή των σημείων του τρισδιάστατου χώρου στον παραμετρικό. Αυτή η διαδικασία αντιστοιχεί σε μια συνάρτηση απεικόνισης (mapping function). Με τη χρήση συναρτήσεων απεικόνισης η σύνδεση των u,v παραμέτρων γίνεται αρχικά με μία ενδιάμεση επιφάνεια στο τρισδιάστατο χώρο. Η ενδιάμεση επιφάνεια απεικόνισης μπορεί να είναι ένας κύλινδρος ή μια σφαίρα. Στη συνέχεια τα σημεία του αντικειμένου απεικονίζονται πάνω στην ενδιάμεση

επιφάνεια. Οι συναρτήσεις απεικόνισης δίνουν στον χρήστη τη δυνατότητα να αποδώσουν την υφή στο αντικείμενο όσο πιο αισθητικά σωστά γίνεται.



Σχ. 3.2.1.1 (α) Δισδιάστατη εικόνα (β) Τρισδιάστατο μοντέλο (γ) Αποτέλεσμα της μεθόδου Image Mapping στο τρισδιάστατο μοντέλο

Στο Rhinoceros οι συναρτήσεις απεικόνισης που χρησιμοποιούνται είναι η επίπεδη, η σφαιρική, η κυλινδρική και κυβική συνάρτηση απεικόνισης (σχήμα 3.2.1.2). Τα επίπεδα που χρησιμοποιούν οι συναρτήσεις μπορούν να επεξεργαστούν όπως κάθε άλλο αντικείμενο στο πρόγραμμα με αποτέλεσμα να ρυθμίζεται κατάλληλα η θέση και το μέγεθος τους.

- **Επίπεδη Συνάρτηση Απεικόνισης (Planar Mapping).** Το planar mapping γίνεται με τη χρήση ενός επιπέδου ως ενδιάμεση παραμετρική επιφάνεια (σχήμα 3.2.1.2). Αν υποθέσουμε ότι το επίπεδο προβολής είναι το (X,Y) τότε η συνάρτηση απεικόνισης έχει τη μορφή:

$$(u, v) = \Phi_{Planar}(x, y, z) = \left(\frac{x}{a} - \left\lfloor \frac{x}{a} \right\rfloor, \frac{y}{b} - \left\lfloor \frac{y}{b} \right\rfloor \right)$$

Το planar mapping χρησιμοποιείται συνήθως για σχετικά επίπεδες επιφάνειες.

- **Κυλινδρική Συνάρτηση Απεικόνισης (Cylindrical Mapping).** Ως ενδιάμεση επιφάνεια γίνεται η χρήση του μοναδιαίου κυλίνδρου με συμμετρία ως προς τον άξονα Y. Η συνάρτηση απεικόνισης έχει τη μορφή:

$$(u, v) = \Phi_{Cylindrical}(x, y, z) = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2\pi} \arcsin \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}, \frac{y}{\beta} - \left\lfloor \frac{y}{\beta} \right\rfloor \right)$$

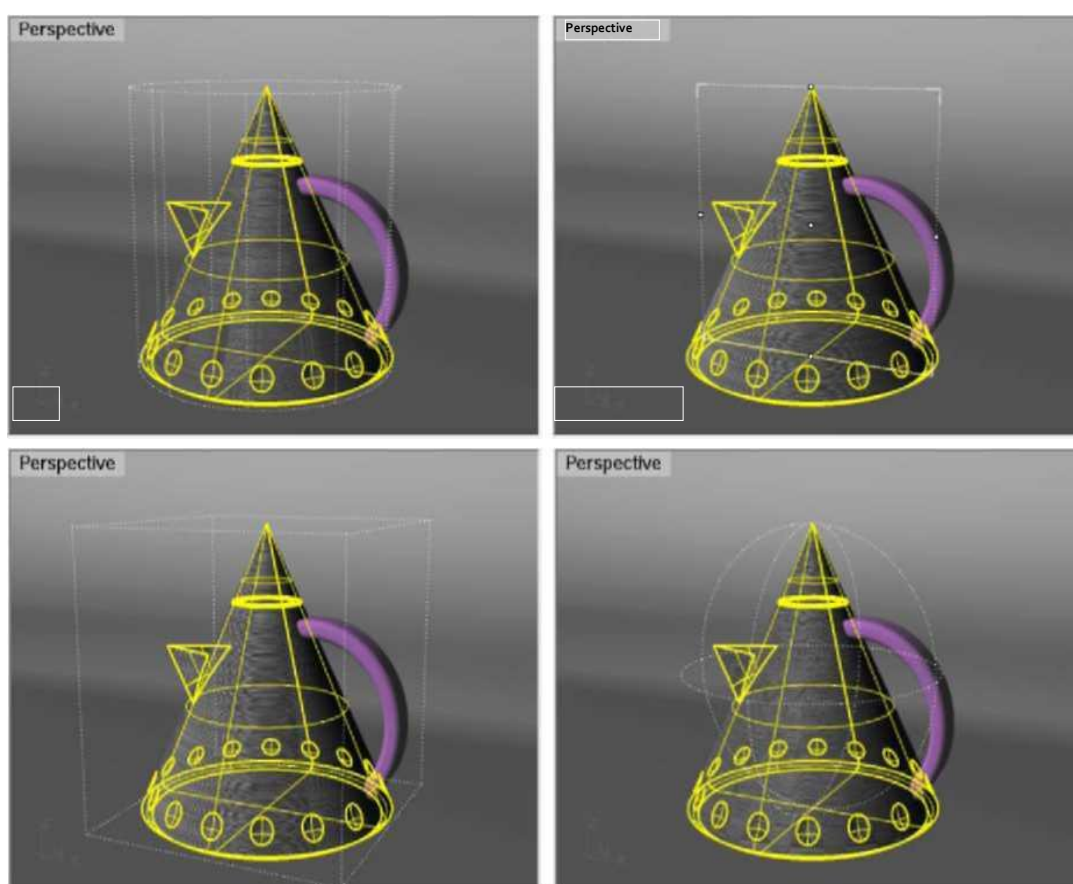
Όπου r η ακτινική απόσταση από τη κατακόρυφο και θ η γωνιακή απόκλιση από τον X Το cylindrical mapping δίνει καλύτερα αποτελέσματα για επιμήκη αντικείμενα.

- **Σφαιρική Συνάρτηση Απεικόνισης (Spherical Mapping).** Σε αντικείμενα με κοίλες επιφάνειες η χρήση της επίπεδης και κυλινδρικής προβολής θα είχε αποτέλεσμα παραμορφώσεις στην υφή. Η σφαιρική απεικόνιση είναι η κατάλληλη για τέτοιου είδους επιφάνειες. Η συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$u = \frac{1}{2} + \frac{\arcsin \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}}{2\pi}$$

$$v = \frac{1}{2} + \frac{\arcsin \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}}{\pi}$$

- **Κυβική Συνάρτηση Απεικόνισης (Box Mapping).** Η κυβική συνάρτηση κάνει χρήση των επιπέδων απεικονίσεων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιεί έξι επίπεδα που διατάσσονται σαν πλευρές ενός κύβου. Η διαδικασία έχει να κάνει με την επιλογή του πιο κατάλληλου επιπέδου ανάλογα με την διεύθυνση του διανύσματος κάθε σημείου. Έστω ότι θ είναι η γωνία απόκλισης του διανύσματος του σημείου, η συνάρτηση υπολογίζει τη γωνία και ανάλογα εφαρμόζει planar mapping για το αντίστοιχο επίπεδο.



Σχ. 3.2.1.2 Συναρτήσεις απεικόνισης: α) Cylindrical β) Planar γ) Box δ) Spherical

3.2.2 Συναρτησιακή Υφή

Η συναρτησιακή υφή είναι μια υπολογιστικά παραγόμενη εικόνα (computer generated image) που δημιουργείται με τη χρήση αλγορίθμων και μαθηματικών συναρτήσεων με σκοπό την ρεαλιστική απεικόνιση φυσικών στοιχείων και μη. Το κύριο χαρακτηριστικό μίας συναρτησιακής υφής είναι ότι αυτή παράγεται από ένα πρόγραμμα και δεν είναι απλά μια ηλεκτρονική εικόνα ή μια φωτογραφία. Βέβαια μια εικόνα μπορεί να συμπεριλαμβάνεται σε μια συναρτησιακή υφή και στη συνέχεια να επιδέχεται επεξεργασία. Βασικό γνώρισμα μιας συναρτησιακής υφής είναι η απευθείας αντιστοίχιση ενός σημείου του τρισδιάστατου χώρου σε μια συγκεκριμένη τιμή. Η αντιστοίχιση αυτή βασίζεται στην ακόλουθη μέθοδο:

$$I = f_{\text{tex}}(P)$$

όπου P το σημείο στον 3D χώρο, I η τιμή της υφής και f_{tex} η συναρτησιακή υφή.

Οι συναρτήσεις παραγωγής θορύβου, στροβιλισμού, αντιστοίχισης χρώματος είναι μερικές από τις βασικές συναρτήσεις υφής. Με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και αλγορίθμων μπορεί να αποδοθεί εύκολα η κοκκώδης επιφάνεια ενός τοίχου, τα νερά ενός μαρμάρου ή οι δακτύλιοι ενός ξύλου.

Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους απεικόνισης υφής υπάρχουν θετικά και αρνητικά σημεία σε κάθε μια.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης συναρτησιακής υφής σε σχέση με την απεικόνιση χάρτη υφής είναι:

- Έχουν πολύ μικρότερο μέγεθος σαν αρχείο, της τάξης των kb.
- Δεν έχουν συγκεκριμένη ανάλυση, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται το πρόβλημα του pixelization
- Μια συναρτησιακή υφή μπορεί να παραμετροποιηθεί ώστε να μπορεί να παράγει όμοιες υφές
- Εφαρμόζεται σε όλο τον όγκο του αντικειμένου και όχι μόνο στην επιφάνεια

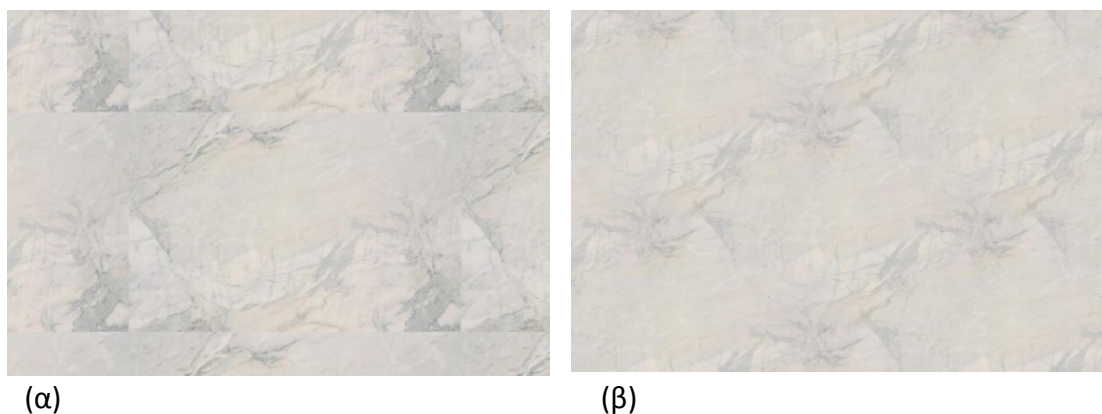
Τα μειονεκτήματα είναι :

- Δυσκολία στον προγραμματισμό μιας υφής
- Δεν είναι εύκολο να προβλεφθεί το αποτέλεσμα
- Μεγαλύτερος χρόνος κατά τη διαδικασία της οπτικής αναπαράστασης

3.2.3 Δημιουργία και Επεξεργασία Εικόνα Υφής

Η μέθοδος της απεικόνισης υφής στηρίζεται σε δισδιάστατες εικόνες. Η σωστή επεξεργασία μιας εικόνας ή η λεπτομερής παραγωγή μιας εικόνας από την αρχή μπορεί να προσδώσει μεγαλύτερο ρεαλισμό στην υφή ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Συνήθως για να γίνει σωστά η απεικόνιση υφής σε ένα αντικείμενο πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ίδια εικόνα πολλές φορές ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η επιφάνεια του αντικειμένου. Το πρόγραμμα υπολογίζει την επιφάνεια και στη συνέχεια ενώνει όσες εικόνες χρειαστεί. Το αποτέλεσμα όμως συνήθως δεν είναι οπτικά αποδεκτό γιατί φαίνεται η ασυνέχεια στις ενώσεις των εικόνων. Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση ενός άλλου προγράμματος, του *Text Maker*.

Το *Text Maker* είναι μια εφαρμογή που μπορεί να δημιουργήσει συναρτησιακή υφή, να αποκόψει μέρη μιας εικόνας και να τα τοποθετήσει σε μια άλλη, να αποδώσει την αίσθηση του ανάγλυφου σε μια εικόνα όπως και πολλές άλλες λειτουργίες. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται για την δυνατότητα που προσφέρει να τροποποιεί την ασυνέχεια μεταξύ επαναλαμβανόμενων εικόνων. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιεί η εφαρμογή για αυτή τη διαδικασία είναι πολλοί και εφαρμόζονται για διαφορετικές περιπτώσεις εικόνων. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2.3.1 α, ξεχωρίζουν οι ενώσεις μεταξύ των εικόνων. Με την εντολή *circle blend seamless* η τελική υφή που παράγεται έχει συνέχεια σε όλη της την επιφάνεια χωρίς να διακρίνονται τα όρια μεταξύ των εικόνων (σχήμα 3.2.3.1β).



Σχ. 3.2.3.1 α) Υφή πριν την επεξεργασία β) Αποτέλεσμα υφής μετά την επεξεργασία

3.3 Αναπαράσταση Ανάγλυφου Επιφάνειας

Με την απεικόνιση υψής μπορεί να αποδοθεί μια επιφάνεια πολύ ρεαλιστικά. Στη περίπτωση όμως που μια επιφάνεια έχει τοπικές ανωμαλίες η απεικόνιση υψής δεν επαρκεί σαν μέθοδος απόδοσης ρεαλισμού. Για να αποδοθεί το ανάγλυφο μιας επιφάνειας εφαρμόζονται άλλες τεχνικές που σκοπό έχουν την δημιουργία οπτικής εντύπωσης ότι η επιφάνεια του μοντέλου παρουσιάζει εξογκώματα και βυθίσματα όπως το πρωτότυπο. Η τεχνική που εφαρμόζεται συχνότερα είναι το *bump mapping*.

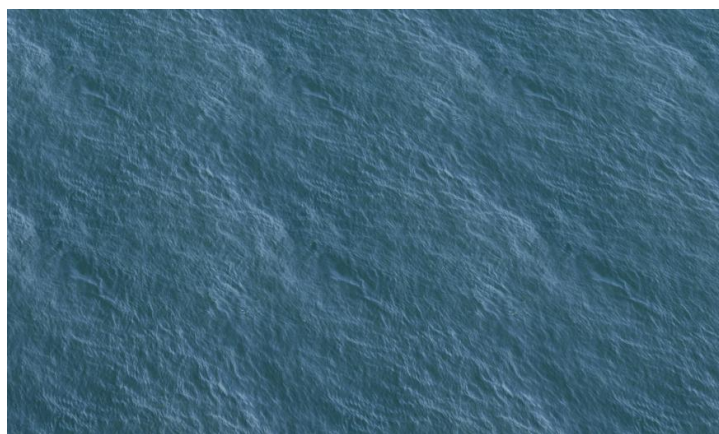
Η ιδέα που στηρίζεται η τεχνική του bump mapping είναι το ανάγλυφο της επιφάνειας να ξεχωρίζει από τον τρόπο που σκιάζονται η πτυχώσεις της επιφάνειας. Η τεχνική αυτή δεν επεμβαίνει στη γεωμετρία της επιφάνειας παρά δίνει την εντύπωση της τραχύτητας με τον τρόπο που φωτίζονται τα υψώματα και σκιάζονται τα βυθίσματα του ανάγλυφου της επιφάνειας. Κατά τη διάρκεια της οπτικής αναπαράστασης διαμορφώνεται η διεύθυνση του διανύσματος κάθε σημείου με αποτέλεσμα να φωτίζεται περισσότερο ή λιγότερο και να δημιουργείται η εντύπωση της υψομετρικής διαφοράς.

Η εξίσωση που αναπαριστά την τεχνική του bump mapping είναι:

$$\vec{N}' = \vec{N} - B_u \vec{U} - B_v \vec{V}$$

Όπου N το διάνυσμα του σημείου, B_u , B_v οι παράγωγοι του χάρτη ανάγλυφου κατά u και v και U, V τα μοναδιαία διανύσματα πάνω στο εφαπτομενικό επίπεδο της επιφάνειας.

Στο σχήμα 3.3.1 φαίνεται το μοντέλο της θάλασσας με κυματισμούς. Χρησιμοποιήθηκε Bump texture για να αποδοθεί κατάλληλα το ανάγλυφο της επιφάνειας του νερού που δημιουργούν οι μικροί κυματισμοί.



Σχ. 3.3.1 Επιφάνεια της θάλασσας με χρήση bump mapping

3.4 Δημιουργία υλικών

Για την απόδοση ρεαλισμού σε ένα αντικείμενο τοποθετούνται στο τρισδιάστατο μοντέλο του υλικά (materials). Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε μια επέκταση του Rhinoceros το Vray. Μέσω αυτού του προγράμματος και της εντολής *Material Editor* δημιουργήθηκαν όλα τα υλικά (materials) που τοποθετήθηκαν στα γεωμετρικά μοντέλα των αντικειμένων του πλοίου. Για την παραγωγή ενός υλικού γίνεται χρήση πολλών και διαφορετικών ειδών υφής. Δύο από τα βασικότερα είδη αναπτύχθηκαν στο κεφαλαίο αυτό και είναι το *image texture* και *bump texture* που δημιουργούνται με τις αντίστοιχες μεθόδους. Σε συνδυασμό με τα προηγούμενα υπάρχουν και οι εξής :

- *Υφή Διαφάνειας (transparency texture)*. Χρησιμοποιείται για να δοθεί στο υλικό το ποσοστό διαφάνειας που έχει. Από το πολύ διαφανές όπως το γυαλί μέχρι το τελείως αδιαφανές που είναι το ξύλο
- *Υφή Αντανάκλαση; (reflection texture)*. Προσομοιώνει την αντανάκλαση που δημιουργούν επιφάνειες όπως καθρέφτης και μέταλλο. Μεγάλο ρόλο έχει η γωνία της κάμερας και της πηγής του φωτός που πέφτει στην επιφάνεια του μοντέλου
- *Υφή Διάθλασης (refraction texture)* .Σε συνδυασμό με την διαφάνεια ενός αντικειμένου υπολογίζει την ποσότητα του φωτός που διαθλάται από την επιφάνεια.
- *Εκπέμπων υφή (Emissive texture)*. Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση αυτόφωτων αντικειμένων όπως είναι οι λάμπες και οι φωτεινές επιγραφές. Ρυθμίζει την ποσότητα και το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται.

Στα σχήματα 3.3.1 και 3.3.2 απεικονίζονται δύο επιλεγμένα τρισδιάστατα μοντέλα από το εσωτερικό του πλοίου, στα οποία έχει αποδοθεί συνδυασμός υλικών. Τα υλικά είναι ξύλο, δέρμα, μέταλλο και μάρμαρο. Για τους ρόζους του ξύλου και τα

νερά του μαρμάρου έχουν χρησιμοποιηθεί υπάρχουσες ψηφιακές εικόνες απο ξύλο και μάρμαρο που στη συνέχεια επεξεργάστηκαν στον *editor* του Vray.



Σχήμα 3.3.1 Καρέκλα κεντρικού χώρου υποδοχής με υλικά ξύλο, μέταλλο και δέρμα



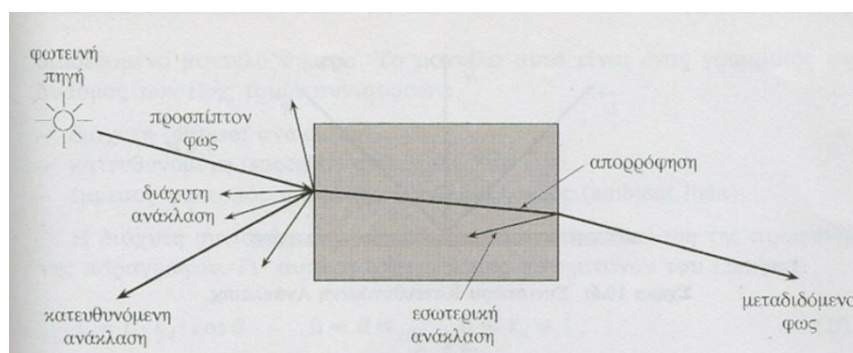
Σχήμα 3.3.2 Κεντρικές σκάλες με υλικά μάρμαρο και μέταλλο

4 Φωτισμός

4.1 Εισαγωγή στο φωτισμό

Στη γραφική υπολογιστών για να μπορέσει ένα αντικείμενο να προσομοιώσει τη πραγματικότητα πρέπει να αλληλεπιδρά με το φως. Η απόδοση υλικών και υφής στα αντικείμενα δεν θα μπορούσε να παράγει ένα ρεαλιστικό αποτέλεσμα χωρίς το κατάλληλο φωτισμό. Η αλληλεπίδραση του φωτός με τα αντικείμενα είναι η αιτία της δημιουργίας των μοντέλων φωτισμού (illumination models/shading models). Τα μοντέλα φωτισμού βασίζονται σε νόμους της φυσικής με πιο απλοποιημένους κανόνες ώστε να αναπαράγουν τη συμπεριφορά ενός φωτισμένου υλικού όπως παρατηρείται στον πραγματικό κόσμο. Ένα τέτοιο μοντέλο φωτισμού είναι το μοντέλο ανάκλασης του Phong το οποίο αναλύεται στη συνέχεια. Στην επεξεργασία του φωτισμού υπάρχουν δύο κατηγορίες, ο τοπικός φωτισμός (local illumination) και ο καθολικός φωτισμός (global illumination).

Ο τοπικός φωτισμός είναι ο φωτισμός που έρχεται κατευθείαν από μια πηγή φωτός. Δείχνει πως το φως επηρεάζει το αντικείμενο που σημαδεύει. Στον τοπικό φωτισμό η προσομοίωση της μεταφοράς του φωτός υπολογίζει το φως που έρχεται κατευθείαν από μια πηγή μέχρι το αντικείμενο που φωτίζει και σταματάει εκεί. Είναι ένα ημιτελές μοντέλο μεταφοράς φωτός καθώς δεν ασχολείται καθόλου με το φως του περιβάλλοντος. Στο σχήμα 4.1.1 αναλύεται το προσπίπτον φως σε ένα σώμα από μια φωτεινή πηγή.



Σχ. 4.1.1: Ανάλυση φωτός

Σε αντίθεση με τον τοπικό, ο καθολικός φωτισμός είναι ένα ολοκληρωμένο μοντέλο μεταφοράς φωτός. Ο καθολικός φωτισμός υπολογίζει το έμμεσο αντανακλώμενο φως που υπάρχει σε ένα περιβάλλον αντικειμένων. Στον καθολικό φωτισμό είτε το φως έρχεται κατευθείαν από μια πηγή είτε αντανακλάται μέσα στο περιβάλλον, θα το υπολογίσει και θα το επεξεργαστεί με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας φωτορεαλιστικής εικόνας ή σκηνής. Υπάρχουν δύο τύποι μοντέλων καθολικού φωτισμού, η παρακολούθηση ακτίνας (ray tracing) και το μοντέλο radiosity.

4.2 Το Μοντέλο του Phong

Το μοντέλο ανάκλασης του Phong είναι το πιο διαδεδομένο μοντέλο τοπικού φωτισμού σήμερα. Χρησιμοποιείται στη γραφική υπολογιστών από τη δεκαετία του '70 και υπολογίζει την πρόσπτωση του φωτός σε ένα αντικείμενο από μια φωτεινή πηγή. Το μοντέλο αναλύεται σε τρεις κατηγορίες :

- Διάχυτη ανάκλαση (diffuse)
- Κατευθυνόμενη ανάκλαση (specular)
- Έμμεσος φωτισμός (ambient light)

Η πρώτη συνιστώσα εκφράζεται μέσω του νόμου του Lambert:

$$I_d = I_i * k_d * \cos\theta$$

Όπου I_i η ένταση της πηγής και θ η γωνία της ακτίνας πρόσπτωσης με το διάνυσμα της επιφάνειας.

Η κατευθυνόμενη ανάκλαση είναι η δεύτερη συνιστώσα και εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζουν η κατεύθυνση της ανάκλασης με τη κατεύθυνση της παρατήρησης. Ισχύει:

$$I_s = I_i * k_s * \cos^n\alpha$$

Η συγκεκριμένη συνιστώσα είναι υπεύθυνη για το φαινόμενο της ανάκλασης. Στην εξίσωση ο όρος $\cos^n\alpha$ αναλύει τη ποσότητα της διάχυσης του ανακαλούμενου φωτός. Το n συγκεκριμένα αναφέρεται στην αδρότητα της επιφάνειας. Όσο πιο μεγάλες τιμές παίρνει τόσο πιο γυαλιστερή είναι η επιφάνεια και πιο καθαρή η αντανάκλαση. Το χρώμα της κατευθυνόμενης ανάκλασης είναι ίδιο με της φωτεινής πηγής, σε αντίθεση με αυτό της διάχυτης που παίρνει το χρώμα του αντικειμένου.

Η ύπαρξη της τρίτης συνιστώσας στο μοντέλο του Phong βοηθάει στο να μην εμφανίζεται μαύρο ένα αντικείμενο που δεν φωτίζεται κατευθείαν από μια πηγή αλλά είναι ορατό από το σημείο παρατήρησης. Ο έμμεσος φωτισμός θεωρείται σταθερός σε όλη την εικόνα και δεν εξαρτάται από την απόσταση του αντικειμένου από τη φωτεινή πηγή. Ισχύει:

$$\mathbf{I}_g = \mathbf{I}_a * \mathbf{k}_a$$

Όπου k_a ο συντελεστής έμμεσου φωτισμού και I_a η ένταση του. Όλα μαζί συνθέτουν το μοντέλο του Phong που είναι από τα πιο ολοκληρωμένα μοντέλα τοπικού φωτισμού.

4.3 Μοντέλα Καθολικού Φωτισμού

Τα μοντέλα τοπικού φωτισμού όπως αυτό του Phong εστιάζουν στις φωτεινές ακτίνες που έρχονται από μία πηγή, χωρίς να υπολογίζουν τις αντανακλάσεις και διαθλάσεις που μπορεί να υποστούν από άλλα αντικείμενα του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πιο σύνθετα μοντέλα φωτισμού με στόχο την πιο πειστικά δοσμένη αναπαράσταση ενός φυσικού περιβάλλοντος. Τα μοντέλα καθολικού φωτισμού αναλύουν την επίδραση του έμμεσου φωτισμού σε ένα περιβάλλον αντικειμένων και φωτεινών πηγών. Μοντέλα στα οποία έχουν αποδοθεί υλικά με ιδιότητες όπως ανακλαστικότητα και διαφάνεια, αποκτούν ρεαλιστικότερα αποτελέσματα κατά την οπτική αναπαράσταση με τη βοήθεια των μοντέλων καθολικού φωτισμού. Οι μέθοδοι που ακολουθούνται σε ένα καθολικό μοντέλο φωτισμού είναι η παρακολούθηση ακτίνας (ray tracing) και η μέθοδος radiosity.

4.3.1 Μέθοδος Παρακολούθησης Ακτίνας

Η παρακολούθηση ακτίνας είναι μια μέθοδος καθολικού φωτισμού που χρησιμοποιεί τις ακτίνες για να ακολουθεί τη διαδρομή του φωτός σε μία σκηνή που προβάλλεται σε ένα δισδιάστατο οπτικό επίπεδο. Υπολογίζει μόνο τις επιφάνειες που φαίνονται από την οπτική του χρήστη και αγνοεί όλες τις υπόλοιπες. Η συγκεκριμένη τεχνική ονομάζεται ανάδρομη παρακολούθηση ακτίνας.

Η ανάδρομη παρακολούθηση ακτίνας αρχικά ορίζει ένα επίπεδο προβολής που χωρίζεται σε ένα πλέγμα στοιχείων. Το επίπεδο προβολής αναπαριστάνει την οπτική που έχει ο παρατηρητής. Κάθε τετράγωνο του πλέγματος αναπαριστάνει ένα στοιχείο της εικόνας. Η διαδικασία της παρακολούθησης ακτίνας είναι να καθορίσει το χρώμα και τη φωτεινότητα κάθε στοιχείου ανάλογα με τις πληροφορίες που λαμβάνει από τη σκηνή.

Η πορεία της ακτίνας παρακολούθησης στη συγκεκριμένη μέθοδο ξεκινάει από τον παρατηρητή και στη συνέχεια περνάει μέσα από το επίπεδο προβολής. Στη συνέχεια πηγαίνει στον χώρο των αντικειμένων και εξετάζεται η περίπτωση της τομής με κάποιο αντικείμενο. Στη περίπτωση που δεν συναντήσει κάποιο αντικείμενο το αντίστοιχο εικονικό στοιχείο του πλέγματος παίρνει το χρώμα του υπόβαθρου. Στην αντίθετη περίπτωση βρίσκει το σημείο τομής και συνεχίζεται η παρακολούθηση της πορείας της ακτίνας. Η ακτίνα είναι πιθανό να έχει διαχωριστεί σε περισσότερες ανάλογα την περίπτωση που φωτίζεται το αντικείμενο. Οι περιπτώσεις μπορεί να είναι απευθείας φωτισμός από τη πηγή, ανάκλαση από άλλο αντικείμενο ή διάθλαση μέσω άλλης επιφάνειας. Η διαδικασία ολοκληρώνεται μέχρι να φτάσει η ακτίνα στην πηγή απευθείας φωτισμού. Συνολικά η ένταση του φωτός σε κάθε σημείο τομής με ένα αντικείμενο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I = I_L + k_r I_R + k_t I_T$$

Όπου οι όροι I_L, I_R, I_T αναφέρονται στις εντάσεις της ακτίνας της πηγής, της ακτίνας ανάκλασης και της ακτίνας διάθλασης αντίστοιχα. Οι k_r, k_t είναι οι συντελεστές ανάκλασης και διάθλασης αντίστοιχα. Κάθε μια ποσότητα έντασης της ακτίνας υπολογίζεται ξεχωριστά με διαφορετικούς αλγόριθμους.

Το τελευταίο στοιχείο που λείπει για να ολοκληρωθεί η διαδικασία είναι ο υπολογισμός της σκίασης σε κάθε αντικείμενο. Ένα αντικείμενο σκιάζεται εάν παραβρίσκεται κάποιο σώμα ανάμεσα στο αντικείμενο και τη φωτεινή πηγή. Για το λόγο αυτό στέλνεται μια επιπλέον ακτίνα που ονομάζεται ακτίνα σκίασης. Η πορεία της ακτίνας αυτή τη φορά ξεκινάει από το σημείο του αντικειμένου προς τη φωτεινή πηγή. Αν στη πορεία αυτή υπάρξει τομή με ένα τρίτο αντικείμενο τότε το αρχικό σημείο σκιάζεται. Στη συνέχεια υπολογίζεται το ποσοστό της σκίασης.

Η μέθοδος της αντίστροφης παρακολούθησης ακτίνας βασίζεται στο σημείο παρατήρησης. Κάθε φορά που αλλάζει η οπτική από την οποία ο παρατηρητής τη βλέπει τη σκηνή η μέθοδος ray tracing θα ξαναυπολογίσει από την αρχή τις επιδράσεις του φωτισμού.

4.3.2 Μέθοδος Radiosity

Η έννοια Radiosity ορίζεται ως το ποσοστό ενέργειας που φεύγει από ένα σώμα ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου. Υπολογίζει τη ποσότητα της ενέργειας που εκπέμπει ένα συγκεκριμένο σημείο σε μια επιφάνεια. Το μοντέλο Radiosity βασίζεται στη θερμική μηχανική και συγκεκριμένα στη μεταφορά θερμότητας και στην ακτινοβολία.

Είναι το πιο ολοκληρωμένο μοντέλο καθολικού φωτισμού το οποίο υπολογίζει ιδανικά και τον άμεσο και τον έμμεσο φωτισμό σε μια σκηνή. Επίσης σαν μέθοδος υπολογισμού της σκίασης σε ένα περιβάλλον αντικειμένων είναι πιο αποτελεσματική από τη μέθοδο παρακολούθησης ακτίνας.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι κάθε επιφάνεια να αντιμετωπίζεται σαν εκπομπός φωτός ή σαν φωτεινή πηγή. Όταν μια επιφάνεια δέχεται φως θα πρέπει να είναι ικανή να το εκπέμψει προς άλλη κατεύθυνση. Η μέθοδος radiosity υπολογίζει την ένταση του φωτισμού ανά μονάδα επιφάνειας ανάλογα με την μεταφορά ενέργειας που γίνεται μεταξύ των αντικειμένων σε ένα χώρο.

Σε αντίθεση με την παρακολούθηση ακτίνας η radiosity σαν μέθοδος δεν εξαρτάται από την οπτική του παρατηρητή. Σε περίπτωση αλλαγής της οπτικής δεν χρειάζεται να υπολογιστεί ξανά από την αρχή η αναπαράσταση του χώρου γιατί όλες οι πληροφορίες είναι αποθηκευμένες στη γεωμετρία των μοντέλων. Λόγω του μεγάλου όγκου πληροφοριών χρειάζεται μεγάλη ποσότητα μνήμης και αποθηκευτικού χώρου στον υπολογιστή. Η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή στη περίπτωση που ο χρήστης θέλει να περιηγηθεί στο τρισδιάστατο περιβάλλον επιδιώκοντας άμεση ανταπόκριση των γραφικών σε κάθε του κίνηση χωρίς χρονοβόρες διαδικασίες υπολογισμού της οπτικής αναπαράστασης των μοντέλων (rendering).

4.4 Κατηγορίες Φωτεινών Πηγών

Η επίτευξη μιας φωτορεαλιστικής σκηνής στα γραφικά υπολογιστών προϋποθέτει κατάλληλη επιλογή φωτεινής πηγής και τη σωστή τοποθέτηση στο χώρο. Το πρόγραμμα σχεδίασης Rhinoceros δίνει τη δυνατότητα χρήσης των εξής ειδών πηγών φωτός :

- *Σημειακός Προβολέας (spotlight)* : πηγή φωτός σε σχήμα κώνου. Ο κώνος του προβολέα δηλώνει τη κατεύθυνση του φωτός. Το μήκος και το πλάτος της βάσης του κώνου ρυθμίζουν τη φωτεινότητα.
- *Σημειακό Φως (point light)* : φωτεινή πηγή που διαχέει το φως προς όλες τις κατευθύνσεις.
- *Κατευθυνόμενο Φως (directional light)* : φωτεινή πηγή που φωτίζει προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση με παράλληλες ακτίνες. Η απόσταση των αντικειμένων από τη πηγή δεν επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα γιατί η πηγή εκπέμπει με την ίδια ένταση σε όλη τη διαδρομή.
- *Ορθογώνιο Φως (rectangular light)* : Φωτεινή πηγή σε ορθογώνια σχήμα που μπορεί να φωτίσει μεγάλες επιφάνειες προς μια ή και την αντίθετη κατεύθυνση.

5 Οπτική Αναπαράσταση (Render)

Η οπτική αναπαράσταση (rendering) είναι η διαδικασία παραγωγής εικόνας από ένα μοντέλο. Το μοντέλο αποτελείται από τρισδιάστατα αντικείμενα που έχουν σχεδιαστεί σε προγράμματα γραφικών υπολογιστών όπως το rhinoceros. Η οπτική αναπαράσταση είναι το τελικό στάδιο και το πιο βασικό. Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε ο τρόπος παραγωγής ενός μοντέλου πλοίου. Αρχικά δόθηκε η γεωμετρική του υπόσταση και στη συνέχεια αποδόθηκε υφή και φωτισμός. Η διαδικασία της οπτικής αναπαράστασης είναι η επεξεργασία όλων αυτών των πληροφοριών και η παραγωγή του τελικού αποτελέσματος.

Τα προγράμματα επεξεργασίας οπτικής αναπαράστασης όπως το Vray που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα διπλωματική, έχουν σχεδιαστεί να βασίζονται σε ένα σύνολο κανόνων όπως μαθηματικά, φυσική του φωτός και ιδιότητες των επιφανειών. Στον τομέα των γραφικών υπολογιστών η οπτική αναπαράσταση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο ένας είναι η αργή επεξεργασία εικόνας μέσω μίας μηχανής αναπαράστασης όπου σκοπός είναι το τελικό αποτέλεσμα να είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό και ο άλλος είναι η αναπαράσταση να γίνει σε πραγματικό χρόνο όπως γίνεται στα τρισδιάστατα παιχνίδια και στις εφαρμογές εικονικού περιβάλλοντος.

Το Vray για τον υπολογισμό του έμμεσου φωτισμού σε μια σκηνή δίνει τη δυνατότητα χρήσης δύο μηχανών οπτικής αναπαράστασης (render engine). Οι επιλογές για τη βασική μηχανή είναι το Irradiance map, Photon map, Quasi Monte-Carlo, και Light cache. Οι ίδιες είναι και για την δευτερεύουσα μηχανή εκτός του Irradiance map. Οι συγκεκριμένες render engines βασίζονται στα δύο μοντέλα καθολικού φωτισμού που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο το Ray tracing και το Radiosity. Στις ρυθμίσεις του Vray σημαντικό ρόλο παίζουν οι αναπηδήσεις του φωτός. Ο διαχωρισμός τους είναι ο εξής:

- *Direct light*: αναφέρεται στον άμεσο φωτισμό από μια πηγή. Ο υπολογισμός του γίνεται με τη γενική μέθοδο του Ray tracing
- *Primary bounces*: είναι η πρώτη αναπήδηση του φωτός μετά την επαφή του άμεσου φωτισμού με μια επιφάνεια. Έχει το μεγαλύτερο μερίδιο στον υπολογισμό του έμμεσου φωτισμού λόγω της μεγάλης φωτεινής ενέργειας του. Σαν πρώτη αναπήδηση θεωρείται και το φως του περιβάλλοντος (Environmental Light)
- *Secondary bounces*: είναι όλο το φως που αναπηδάει στο χώρο μετά τη πρώτη αναπήδηση. Σε εσωτερικές σκηνές είναι πολύ σημαντικό λόγω της επίδρασης που έχει στον τελικό φωτισμό.

Η οπτική αναπαράσταση του μοντέλου έγινε με χρήση του Irradiance map ως βασική μηχανή αναπαράστασης και του Quasi Monte-Carlo ως δευτερεύουσα. Ο συνδυασμός των δύο αυτών μηχανών δίνει το καλύτερο από θέμα ποιότητας τελικό αποτέλεσμα με μειονέκτημα τον μεγάλο χρόνο υπολογισμού και επεξεργασίας της εικόνας.

Το Irradiance map χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αρχικής αναπήδησης του φωτός. Στις ιδιότητες ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την ποιότητα και τον χρόνο υπολογισμού της συγκεκριμένης μηχανής αλλάζοντας τις τιμές του μέγιστου και ελάχιστου αριθμού δειγμάτων που θα χρησιμοποιούνται. Ένα δείγμα (sample) από την εικόνα αντιστοιχεί σε έναν αριθμό εικονοκουττάρων (pixels). Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των pixels που παίρνει η μηχανή σαν δείγμα τόσο χαμηλότερης ποιότητας θα είναι η σκίαση, η αντανάκλαση και η διάθλαση της τελικής εικόνας. Αυτό όμως δίνει πλεονέκτημα στον χρόνο επεξεργασίας για την παραγωγή της τελικής εικόνας που είναι πολύ μικρότερος.

Το Quasi Monte-Carlo είναι η πιο ακριβής μέθοδος του προγράμματος. Τα χρώματα κυρίως στην τελική εικόνα αποδίδονται ελάχιστα καλύτερα σε σχέση με το Irradiance map. Ο λόγος όμως ποιότητας έναντι χρόνου δίνει στην μέθοδο του Irradiance map πλεονέκτημα χρήσης ως βασική μηχανή οπτικής αναπαράστασης.

Στην συνέχεια δίνονται οι τελικές εικόνες από το εξωτερικό και εσωτερικό μέρος του πλοίου. Στο εσωτερικό συγκεκριμένα φαίνονται οι χώροι της καμπίνας και του χώρου υποδοχής.

Στην εικόνα 5.1 φαίνεται η οπτική αναπαράσταση του εξωτερικού μέρους του πλοίου. Ο φωτισμός που χρησιμοποιήθηκε έχει σκοπό την προσομοίωση του φυσικού φωτισμού ήλιου. Η χρήση Bump texture για την υφή της θάλασσας ήταν η κατάλληλη επιλογή για να προσομοιωθούν όσο πιο πιστά γίνεται οι κυματισμοί .



Σχ. 5.1 Εξωτερική όψη του πλοίου

- **Εσωτερικός χώρος καμπίνας**

Οι εικόνες 5.2 και 5.3 παρουσιάζουν τον εσωτερικό χώρο μιας καμπίνας του πλοίου. Στο κεφάλαιο της τρισδιάστατης μοντελοποίησης δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην μοντελοποίηση του εσωτερικού της καμπίνας με αποτέλεσμα να σχεδιαστούν πολλά από τα αντικείμενα που βρίσκονται στην πραγματικότητα σε μια καμπίνα. Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία υλικών (materials) και η απόδοση τους στις επιφάνειες των πολυγωνικών αντικειμένων. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν πηγές φωτισμού όπως rectangular και point light με σκοπό την προσομοίωση των φωτιστικών που βρίσκονται πάνω από το κρεβάτι και στην οροφή της καμπίνας. Τα αποτελέσματα της οπτικής αναπαράστασης (render) της σκηνής φαίνονται στη συνέχεια



Σχ. 5.2 Φωτορεαλιστικός χώρος καμπίνας



Σχ. 5.3 Φωτορεαλιστικός χώρος καμπίνας

- **Χώρος υποδοχής επιβατών**

Ο χώρος υποδοχής είναι πιο σύνθετη σκηνή από αυτήν της καμπίνας. Αποτελείται από περισσότερα αντικείμενα με ποικιλία υλικών όπως ξύλινο πάτωμα, σκαλοπάτια από μάρμαρο, μεταλλικές επιφάνειες, δερμάτινα καθίσματα, υφασμάτινοι καναπέδες και πολλά άλλα. Η επίδραση του έμμεσου φωτισμού στη σκηνή είναι μεγάλη λόγω της ύπαρξης επιφανειών με μεγάλες τιμές ανακλαστικότητας. Στις εικόνες 5.4 και 5.5 φαίνεται ο χώρος υποδοχής από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες



Σχ. 5.4 Φωτορεαλιστικός χώρος υποδοχής επιβατών



Σχ. 5.5 Φωτορεαλιστικός χώρος υποδοχής επιβατών

5.1 Περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας

Ο βασικός στόχος της διπλωματικής είναι η δημιουργία ρεαλιστικού τρισδιάστατου μοντέλου κρουαζιερόπλοιου με σκοπό την περαιτέρω χρήση του σε προγράμματα εικονικής πραγματικότητας (virtual reality, VR). Η εισαγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας μπορεί να προσφέρει πολλές ουσιαστικές πληροφορίες στη φάση σχεδίασης νέων επιβατικών πλοίων.

Στη ναυπηγική η χρήση περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας γίνεται κυρίως για μελέτη εγκατάλειψης (evacuation analysis) επιβατικών πλοίων. Σκοπός είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός των εσωτερικών μερών του πλοίου ως προς την διαρρύθμιση τους στο χώρο. Επιπλέον η χρήση VR συστημάτων μπορεί να γίνει για την εκπαίδευση του προσωπικού σε σενάρια κρίσης. Τέτοια σενάρια σε ένα πλοίο είναι η δημιουργία πυρκαγιάς ή η ύπαρξη ρήγματος στη γάστρα και κατάκλιση.

Ένα εικονικό περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα προγραμματισμού διαφόρων παραμέτρων που συμβάλουν στην παραγωγή ρεαλιστικότερων αποτελεσμάτων. Οι παράμετροι χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των συνθηκών που υπάρχουν σε ένα επιβατικό πλοίο και έχουν να κάνουν με το φυσικό περιβάλλον όπως φωτισμός, αέρας και κυματισμοί αλλά και με τους επιβαίνοντες που διακρίνονται ανάλογα το φύλο και την ηλικία τους.

Το τρισδιάστατο μοντέλο της παρούσης διπλωματικής βασίστηκε σε υπάρχων κρουαζιερόπλοιο με σκοπό τα αποτελέσματα που θα ληφθούν από την εισαγωγή του σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό νέων επιβατικών πλοίων

Βιβλιογραφία

1. **Michael Mehnert**, Materials.Vray for Rhino, 2006
2. **Chia Fu Chiang, Damien Alomar**, Vray for Rhino User's Manual, 2006
3. **Les Piegel, Wayne Tiller**, The NURBS book, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995
4. **Θ.Θεοχάρης,Α. Μπεμ**, Γραφικά Αρχές και Αλγόριθμοι, 1999
5. **Θεοδουλίδης Αλέξανδρος**, Ανάπτυξη εικονικού περιβάλλοντος για χρήση στη μελέτη εγκατάλειψης επιβατηγού πλοίου
6. **Max K. Agoston**,Computer Graphics and Geometric Modeling, Springer-Verlag London Limited 2005
7. **David Salomon**, Curves and Surfaces for Computer Graphics, 2006 Springer Science+Business Media, Inc.
8. **Samuel R.Buss**, 3-D Computer Graphics, 2003
9. **James D. Foley**, Computer Graphics: Principles and Practice
10. **Arnold Gallardo**, 3D Lighting: History, Concepts, and Techniques Charles River Media, 2000
11. **David S. Ebert**, Texturing and Modeling, a procedural approach
12. Rhinoceros v4.0 SR5 User's Manual
13. Text Maker v1.5 User's Manual