



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ**

---

# **ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΘΕΑΣΗΣ**

ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΓΡΑΦΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΚΠΙΟΝΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΥΣ:

**Καρούτσο Παναγιώτη (pkaroutsos@uth.gr)**

**Μπάκα Ευγενία - Βαΐα (ebaka@uth.gr)**

ΔΙΔΑΣΚΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

**Δρακόπουλος Βασίλειος**

---

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2022-2023

## Περίληψη

Η εργασία αυτή αφορά την ανάπτυξη ενός προγράμματος υπολογιστή που χρησιμοποιεί C++/OpenGL, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να εξερευνήσουν τον μετασχηματισμό προοπτικής σε έναν τρισδιάστατο χώρο. Το πρόγραμμα επιτρέπει τον διαδραστικό χειρισμό παραμέτρων όπως το πεδίο όρασης ( $\theta$ ), τον λόγο διαστάσεων (aspect ratio), το εγγύς επίπεδο ( $n$ ) και το μακρινό επίπεδο ( $f$ ) της προοπτικής προβολής. Οι χρήστες μπορούν να μετακινούν δυναμικά, να κλιμακώνουν και να περιστρέφουν αντικείμενα μέσα στο περιβάλλον, αποκτώντας γνώσεις για τα αποτελέσματα της προοπτικής στην οπτικοποίηση αντικειμένων.

Η υλοποίηση του προγράμματος περιλαμβάνει τη χρήση των πρωτόγονων εντολών σχεδίασης της OpenGL, συμπεριλαμβανομένων σημείων, γραμμών, τριγώνων, ορθογωνίων και πολυγώνων, εντός του δισδιάστατου (2D) χώρου. Οι πράξεις μεταξύ των πινάκων έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην εκτέλεση διαφόρων μετασχηματισμών σε αντικείμενα, διασφαλίζοντας μια ομαλή εμπειρία θέασης για τους χρήστες. Η βιβλιοθήκη GLUI χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία μιας φιλικής προς το χρήστη γραφικής διεπαφής χρήστη (GUI), η οποία διευκόλυνε τις προσαρμογές των παραμέτρων.

Χρησιμοποιώντας τεχνικές προοπτικής προβολής, η υλοποίηση αυτού του προγράμματος παρέχει στους χρήστες μια πρακτική εμπειρία στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η αλλαγή των παραμέτρων προβολής επηρεάζει την αντίληψη των τρισδιάστατων αντικειμένων. Μέσω του χειρισμού των παραμέτρων μετασχηματισμού προοπτικής, οι χρήστες μπορούν να παρατηρήσουν αλλαγές στο μέγεθος, το βάθος και τον προσανατολισμό του αντικειμένου, οι οποίες τους επιτρέπουν να κατανοήσουν τις αρχές της προοπτικής προβολής.

Αυτό το έργο αποτελεί μια προσπάθεια απεικόνισης και πρακτικής εφαρμογής της θεωρίας μετασχηματισμού προοπτικής στη γραφική υπολογιστών. Με την εφαρμογή ενός ευέλικτου προγράμματος, έχουμε αποδείξει τη δυνατότητα για διαδραστική εξερεύνηση και πειραματισμό με προοπτική προβολή. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται, συμβάλλουν στο σύνολο των γνώσεων στη γραφική υπολογιστών και παρέχουν τη βάση για περαιτέρω έρευνα και προόδους στις τεχνικές τρισδιάστατης απεικόνισης.

**Λέξεις κλειδιά:** Μετασχηματισμός Θέασης, Προοπτική Προβολή, OpenGL, C++, Παράμετροι προβολής, Διαδραστικός χειρισμός, Μετασχηματισμοί Πινάκων, GLUI, Γραφική υπολογιστών

## Abstract

This paper focuses on the development of a computer program using C++/OpenGL that enables users to explore perspective transformation in a three-dimensional space. The program allows interactive manipulation of parameters such as field of view ( $\theta$ ), aspect ratio (aspect), near plane (n), and far plane (f) of the perspective projection. Users can dynamically move, scale, and rotate objects within the environment, gaining insights into the effects of perspective on object visualization.

The implementation of the program involves utilizing OpenGL's primitive drawing commands, including points, lines, triangles, rectangles, and polygons, within the 2D space. Matrix operations played a crucial role in performing various transformations on objects, ensuring a seamless viewing experience for users. The GLUT library was employed to create a user-friendly graphical user interface (GUI) that facilitated convenient parameter adjustments.

By employing perspective projection techniques, this program provides users with a hands-on experience in understanding how altering viewing parameters influences the perception of three-dimensional objects. Through the manipulation of perspective transformation parameters, users can observe changes in object size, depth, and orientation, which enable them to comprehend the principles of perspective projection.

This project serves as an illustration of the practical application of perspective transformation theory in computer graphics. By implementing intuitive program, we have demonstrated the potential for interactive exploration and experimentation with perspective projection. The results obtained contribute to the body of knowledge in computer graphics and provide a foundation for further research and advancements in three-dimensional visualization techniques.

**Λέξεις κλειδιά:** Perspective transformation, OpenGL, C++, Viewing parameters, Interactive manipulation, Matrix operations, GLUT, Computer graphics

## **Πίναξ περιεχομένων**

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Σχεδίαση των αντικειμένων</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Προοπτική προβολή και μετασχηματισμοί θέασης</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Υλοποίηση του προγράμματος σε C++, χρήση βιβλιοθήκων OpenGL</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Επίλογος</b>	<b>10</b>

# 1 Εισαγωγή

Ο μετασχηματισμός θέασης αποτελεί μία σημαντική έννοια στον τομέα των γραφικών υπολογιστών και της τρισδιάστατης απεικόνισης αντικειμένων σε ένα γραφικό περιβάλλον, τη μετάβαση δηλαδή από το Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων (Π.Σ.Σ.) στον Κανονικό Χώρο Οθόνης (Κ.Χ.Ο.) μέσω του Συστήματος Συντεταγμένων Οφθαλμών (Σ.Σ.Ο.) [Δρακόπουλος, 2023]. Αποτελεί ένα εργαλείο που επιτρέπει στους χρήστες να αλλάζουν την προοπτική προβολή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, ώστε να μετακινούνται γύρω από αυτό, να το περιστρέφουν, να το μεγεθύνουν ή να το σμικρύνουν, και να προσαρμόζουν διάφορες παραμέτρους προβολής για να αποκτήσουν διαφορετικές οπτικές γωνίες του αντικειμένου [Foley, 1996]. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, ο στόχος είναι η ανάπτυξη ενός προγράμματος με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C++ και των βιβλιοθηκών της OpenGL, το οποίο θα επιτρέπει τη σχεδίαση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου της επιλογής μας στον χώρο και τον πειραματισμό του χρήστη με τον μετασχηματισμό θέασης, χρησιμοποιώντας προοπτική προβολή. Συγκεκριμένα, ο χρήστης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αλλάζει διαδραστικά και σε πραγματικό χρόνο τις παραμέτρους  $\theta$ ,  $\text{aspect}$ ,  $n$  και  $f$  της προοπτικής προβολής, καθώς επίσης να μπορεί να μετακινεί, να κλιμακώνει και να περιστρέφει το αντικείμενο. Ο κώδικας θα πρέπει να χρησιμοποιεί μόνο μητρώα για τους μετασχηματισμούς και μόνον τις εντολές σχεδίασης αρχεγόνων της OpenGL. Οι παρακάτω ενότητες εμπεριέχουν τη σχεδίαση του αντικειμένου, την προοπτική προβολή και τέλος την υλοποίηση του προγράμματος, ενώ ταυτόχρονα εξηγούνται οι μαθηματικές αρχές και συναρτήσεις που απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί η σχεδίαση και η εφαρμογή των μετασχηματισμών με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

## 2 Σχεδίαση των αντικειμένων

Στην υλοποίηση του μετασχηματισμού θέασης διακρίνονται δύο αντικείμενα: ένας κύβος και μια πυραμίδα, ενώ σχεδιάζονται επίσης οι άξονες  $x,y,z$  για την ευκολότερη κατανόηση του χώρου.

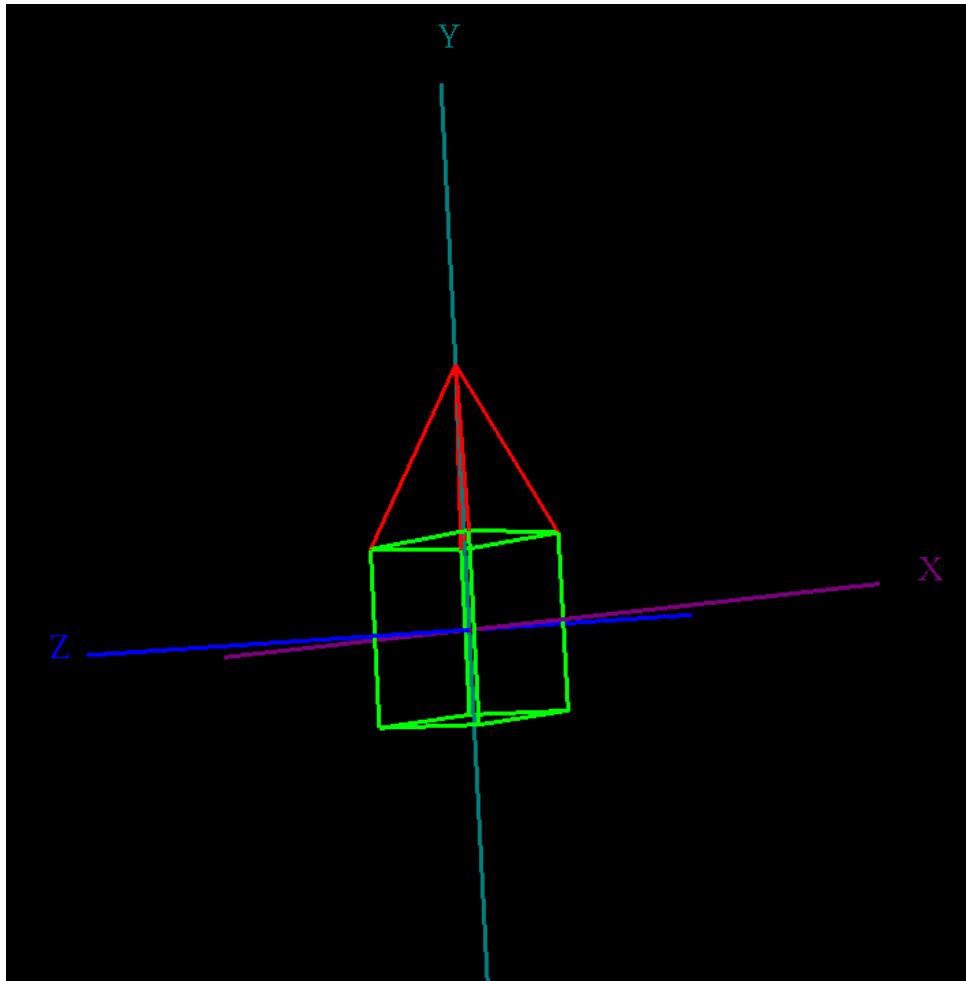
Για τη σχεδίαση του κύβου χρησιμοποιούμε έναν πίνακα `cubeVertices` για να αποθηκεύσουμε τις κορυφές και έναν πίνακα `cubeFaces` για να αποθηκεύσουμε τους δείκτες των κορυφών για κάθε έδρα. Σύμφωνα με τη θεωρία, ένας κύβος καθορίζεται από οκτώ κορυφές, δώδεκα ακμές και έξι ίσες έδρες, ενώ κάθε έδρα αποτελείται από τέσσερις κορυφές οι οποίες σχηματίζουν ένα τετράγωνο [Πρώης, Σ., 2022]. Κατ' αυτόν τον τρόπο ξεκινάμε ένα νέο τετράγωνο και καθορίζουμε τις τέσσερις κορυφές του. Επαναλαμβάνουμε αυτήν τη διαδικασία για όλες τις πλευρές του κύβου, προκειμένου να σχεδιάσουμε τον κύβο στην οθόνη [Sabry, 2022].

Όσον αφορά τη σχεδίαση της πυραμίδας, χρησιμοποιούμε τον πίνακα `pyramidVertices` για να αποθηκεύσουμε τις πέντε κορυφές του πίνακα και ταυτόχρονα τον πίνακα `pyramidFaces` για τις πέντε έδρες της πυραμίδας για να αποθηκεύσουμε τους δείκτες των κορυφών για κάθε έδρα. Ξεκινάμε σχεδιάζοντας τρίγωνα, μέχρι να σχεδιάσουμε την πυραμίδα που ζητάμε στην οθόνη, με παρόμοιο τρόπο όπως αυτόν της σχεδίασης του κύβου. Έπειτα, για να σχεδιάσουμε τα δύο αντικείμενα μαζί, απλά καλούμε τις συναρτήσεις `drawCube()` και `drawPyramid()` μέσα στην `drawScene()`. Αυτό θα εμφανίσει τόσο τον κύβο όσο και την πυραμίδα στην οθόνη.

Η σχεδίαση των αξόνων γίνεται με τη χρήση των ευθυγράμμων γραμμών στις συντεταγμένες  $X, Y$  και  $Z$ . Καθορίζουμε τις δύο κορυφές της γραμμής για καθέναν από τρεις άξονες ώστε να σχεδιαστούν στην οθόνη.

Τα αντικείμενα σχεδιάζονται αρχικά στερεά (solid), ενώ έχουμε την επιλογή, μέσω του μενού επιλογών της βιβλιοθήκης γραφικών GLUI, να τα εμφανίσουμε ως σύρματα ή αλλιώς μοντέλα καλωδίων (wireframe). Συγκεκριμένα, ο κύβος και η πυραμίδα μπορούν να απεικονιστούν ως στερεά αντικείμενα χρησιμοποιώντας την εντολή `glPolygonMode()` [SiliconGraphics, 2014]. Όταν η μεταβλητή `isWireframe` είναι αληθής, ο κύβος και η πυραμίδα αποτυπώνονται ως σύρματα, δηλαδή σχεδιάζονται μόνο οι ακμές των πολυγώνων. Όταν η `isWireframe` είναι ψευδής, τα αντικείμενα απεικονίζονται ως στερεά, δηλαδή τα

πολύγωνα γεμίζουν με χρώμα. Η απόδοση αντικειμένων ως σύρμάτων είναι χρήσιμη για την απεικόνιση των ακμών και των γραμμών περιγράμματος του αντικειμένου, ενώ η απεικόνιση τους ως στερεών μπορεί να κάνει τα αντικείμενα να μοιάζουν πιο ρεαλιστικά και τρισδιάστατα. Με την εναλλαγή μεταξύ κατασκευής ως σύρματα και ως στερεά, μπορούμε να δούμε τα αντικείμενα από διαφορετικές οπτικές γωνίες και να αποκτήσουμε καλύτερη κατανόηση της δομής τους στο χώρο.



Σχήμα 1: Τα σύρματα του αντικειμένου μας

### 3 Προοπτική προβολή και μετασχηματισμοί θέασης

Στη παρούσα εργασία έχουμε υλοποιήσει την προοπτική προβολή και τους μετασχηματισμούς θέασης. Ο κώδικας επιτρέπει στον χρήστη να πραγματοποιεί διάφορες αλλαγές στην προοπτική προβολή και να διαμορφώνει το αντικείμενο που απεικονίζεται.

Αρχικά, ορίζουμε παραμέτρους της προοπτικής προβολής, όπως το Πεδίο Όρασης σε μοίρες (field of view)( $\theta$ ), το κατακόρυφο και οριζόντιο πλάτος της προοπτικής προβολής (aspect), καθώς και τις αποστάσεις κοντινής αποκοπής (n) και μακρινής (f) αποκοπής (clipping). Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάζει αυτές τις παραμέτρους κατά την εκτέλεση του προγράμματος, καθώς και να μετακινεί και να κλιμακώνει το αντικείμενο που απεικονίζεται και να περιστρέφει την κάμερα γύρω του, χρησιμοποιώντας μητρώα για την αναπαράσταση των μετασχηματισμών, όπως είναι τα μητρώα μετατόπισης, κλιμάκωσης και περιστροφής. Με τη χρήση των εντολών σχεδίασης αρχηγόνων της OpenGL μπορούμε να απεικονίσουμε τα αντικείμενα σε ένα δισδιάστατο περιβάλλον. Οι κύριοι πίνακες που χρησιμοποιήσαμε είναι οι εξής:

Scaling matrix (SH):

Translation matrix (T):

Rotation matrix (R):

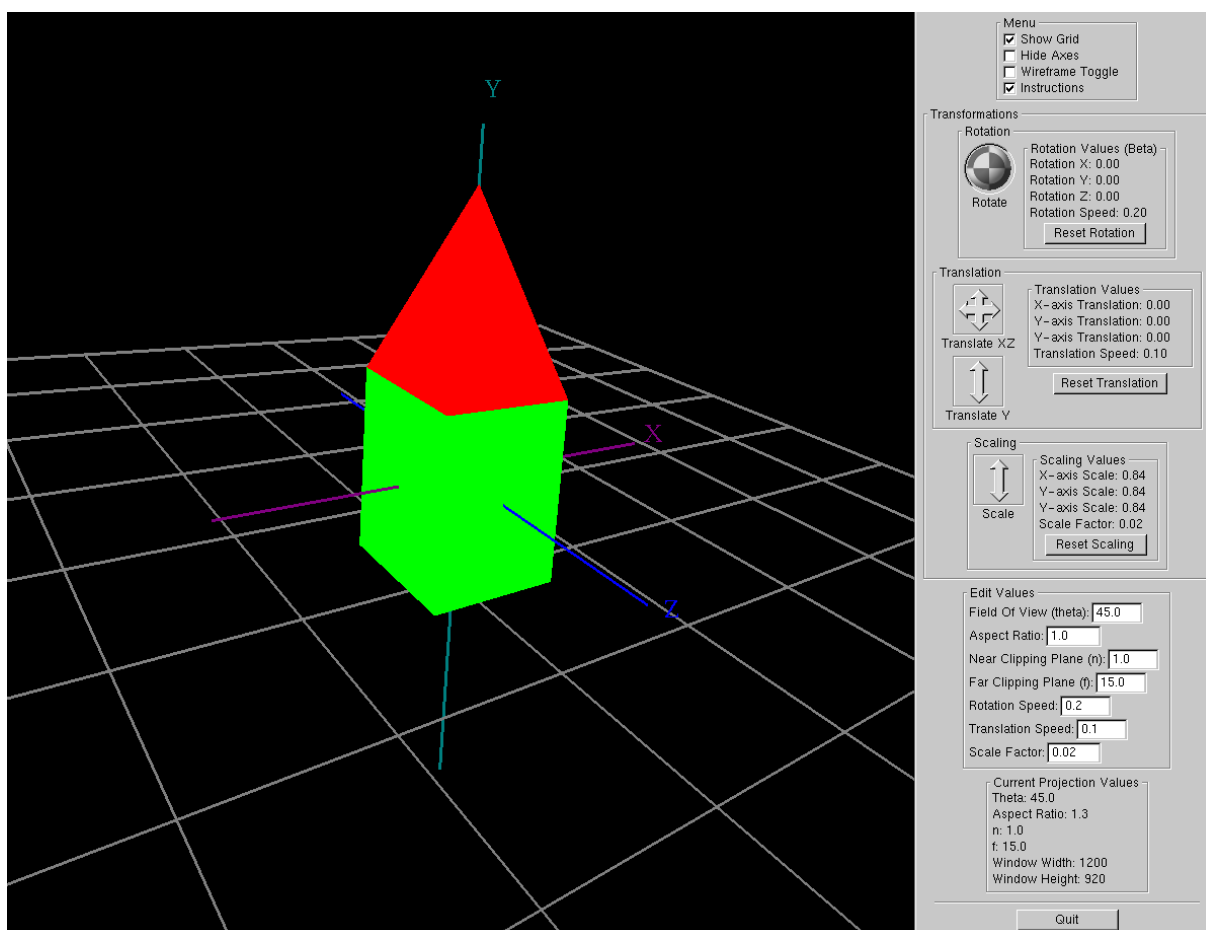
$$SH = \begin{bmatrix} sx & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & sy & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & sz & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 & tx \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & ty \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 & tz \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & 0.0 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & 0.0 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

Οι παραπάνω πίνακες στην OpenGL απεικονίζονται με τις γραμμές κάθε μητρώου να αναγνωρίζονται ως στήλες του πίνακα. Αυτό σημαίνει ότι το πρώτο στοιχείο της κάθε γραμμής αντιστοιχεί στο πρώτο στοιχείο της αντίστοιχης στήλης, το δεύτερο στοιχείο αντιστοιχεί στο δεύτερο στοιχείο της στήλης, και ούτω καθεξής [Παπαμάρκος, 2013]. Αυτή η διάταξη είναι συμβατή με τον τρόπο που η OpenGL χειρίζεται τις μετασχηματικές πινακίδες και τις εφαρμόζει στα αντικείμενα [Whitrow, 2008]. Στην υλοποίηση αυτής της εργασίας για την περιστροφή, χρησιμοποιήσαμε τρεις πίνακες μετασχηματισμού, έναν για κάθε άξονα, προς δική μας διευκόλυνση και ομαλότερο αποτέλεσμα κατά την περιστροφή του αντικειμένου. Εκτός από τους παραπάνω, χρειάστηκε ένας μοναδιαίος πίνακας `identityMatrix`, στον οποίο εφαρμόζονται οι περιστροφές [SiliconGraphics, 2006], και ένας ίδιος μοναδιαίος πίνακας `defaultIdentity`, στον οποίο επιστρέφουμε μετά το reset και μας οδηγεί στην αρχική κατάσταση και τοποθεσία του αντικειμένου. Τέλος, έχουμε τον πίνακα μετατόπισης `pyramidOnTop` για να βρίσκεται η πυραμίδα πάντα πάνω στον κύβο.



## 4 Υλοποίηση του προγράμματος σε C++, χρήση βιβλιοθήκων OpenGL

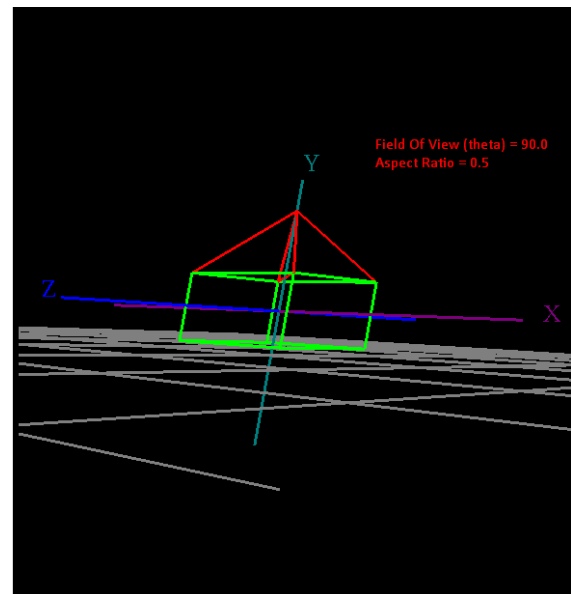
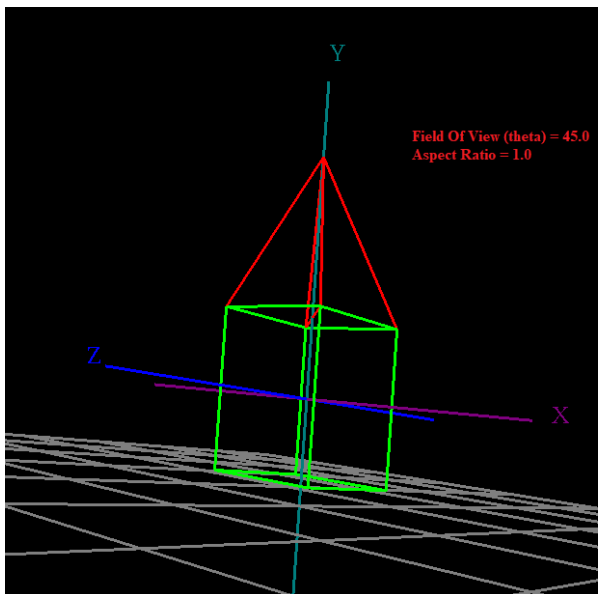
Στην υλοποίησή μας έχουμε επιτύχει δυναμική αποθήκευση για όλες τις τιμές και παραμέτρους, καθώς και τη δυνατότητα να τις αλλάξουμε μέσω του γραφικού περιβάλλοντος GLUT [Rademacher, 2008]. Αρχικά, ορίσαμε αρχικές τιμές για το πεδίο θέασης ( $\theta$ ) με τιμή 45.0, το aspect ratio με τιμή 1.0, την απόσταση κοντινής αποκοπής ( $n$ ) με τιμή 1, την απόσταση μακρινής αποκοπής  $f$  με τιμή 15, την ταχύτητα περιστροφής με τιμή 2, την ταχύτητα μετάφρασης με τιμή 0.1 και τον παράγοντα κλιμάκωσης με τιμή 0.02, θεωρώντας πως αυτές οι τιμές είναι οι ιδανικότερες για την ομαλότερη μετακίνηση, περιστροφή ή κλιμάκωση του αντικειμένου μας [Yan, 2018] [Sneftel, 2014].



Σχήμα 2: Στιγμιότυπο του προγράμματος τη στιγμή που εκτελείται

Πιο συγκεκριμένα, οι παρακάτω ενέργειες μπορούν να εκτελεστούν:

- Χρήσει των πλήκτρων W, A, S, D για να μετακινηθεί το αντικείμενο οριζόντια (άξονας x και άξονας z).
- Χρήσει των πλήκτρων Arrow Up και Arrow Down για να μετακινηθεί το αντικείμενο πάνω και κάτω.
- Σύροντας το ποντίκι με το αριστερό κλικ πατημένο οριζόντια για περιστροφή γύρω από τον άξονα y και κατακόρυφα για περιστροφή γύρω από τον άξονα x (αυτό προσομοιάζει επίσης μια περιστροφή γύρω από τον άξονα z).
- Σύροντας το ποντίκι με το δεξί κλικ πατημένο οριζόντια για περιστροφή γύρω από τον άξονα z.
- Χρήσει της ροδέλας κύλισης προς τα πάνω για να αυξηθεί το μέγεθος του αντικειμένου και προς τα κάτω για να μειωθεί το μέγεθος του αντικειμένου.
- Χρήσει του μεσαίου κλικ του ποντικιού (ροδέλας) για επαναφορά όλων των μετασχηματισμών.



Σχήμα 3: Προβολή του αντικειμένου μας, αλλάζοντας τις παραμέτρους  $\theta$  και aspect ratio

## 5 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, πραγματοποιήθηκε η περιγραφή και η υλοποίηση του Μετασχηματισμού Θέας σε ένα περιβάλλον C++ με OpenGL. Ο χρήστης μπορεί να εξερευνήσει τον μετασχηματισμό θέας ενός τρισδιάστατου αντικειμένου χρησιμοποιώντας προοπτική προβολή. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να πειραματιστεί με τις παραμέτρους  $\theta$ ,  $\text{aspect}$ ,  $n$  και  $f$  της προοπτικής προβολής, καθώς και να εκτελέσει μετακινήσεις, κλιμακώσεις και περιστροφές του αντικειμένου. Με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης GLUI, δημιουργήσαμε μια γραφική διεπαφή χρήστη που επιτρέπει τη διαδραστική αλληλεπίδραση με το πρόγραμμα. Ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τις παραμέτρους θέας και να εκτελέσει μετασχηματισμούς μέσω των πλήκτρων, του ποντικιού, αλλά και των γραφικών GLUI. Κατά την ανάπτυξη του προγράμματος, χρησιμοποιήθηκαν μόνο μητρώα για τους μετασχηματισμούς και εντολές σχεδίασης αρχεγόνων της OpenGL για τη δημιουργία του αντικειμένου. Αυτό διασφάλισε ότι ο κώδικας μας παρέμεινε απλός και αποδοτικός, επιτρέποντάς μας να επικεντρωθούμε στη λειτουργικότητα του προγράμματος.

## 6 Επίλογος

Η ανάπτυξη αυτής της εργασίας μάς επέτρεψε να εξοικειωθούμε περαιτέρω με τη χρήση των βιβλιοθηκών της OpenGL και την εφαρμογή των μετασχηματισμών σε τρισδιάστατα αντικείμενα χρησιμοποιώντας πίνακες. Κατανοήσαμε επίσης τη σημασία των παραμέτρων  $\theta$ ,  $\text{aspect}$ ,  $n$  και  $f$  της προοπτικής προβολής και πώς αυτές επηρεάζουν την απεικόνιση του αντικειμένου στον χώρο.

Πέρα από την τεχνική πτυχή, η παρούσα εργασία έδωσε την ευκαιρία ανάπτυξης δεξιοτήτων συνεργασίας και προγραμματισμού, καθώς εργαστήκαμε ως ομάδα για την επίτευξη των κοινών μας στόχων. Είμαστε πολύ ικανοποιημένοι από τα αποτελέσματα που επιτύχαμε και ελπίζουμε ότι αυτή η εργασία θα προσφέρει μια βάση για περαιτέρω έρευνα και εξερεύνηση στον τομέα της γραφικής υπολογιστών.

## Ευρετήριο Όρων

**aspect ratio** Ο λόγος διαστάσεων (aspect ratio) είναι η αναλογία μεταξύ πλάτους και ύψους μιας εικόνας ή οθόνης. Επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο το τρισδιάστατο αντικείμενο εμφανίζεται σε μια δισδιάστατη οθόνη, εξασφαλίζοντας ακριβή και ευχάριστη οπτική αναπαράσταση [Foley, 1996]. 1, 2, 8

**field of view** Το πεδίο όρασης (FoV) καθορίζει την έκταση της ορατής σκηνής που καταγράφεται από κάμερα ή εικονική οπτική γωνία. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση της καθηλωτικής εμπειρίας και της οπτικής αναπαράστασης τρισδιάστατων γραφικών, εικονικής πραγματικότητας και εικόνων που δημιουργούνται από υπολογιστή. Η προσαρμογή της παραμέτρου FoV επιτρέπει ένα ευέλικτο εύρος προοπτικών, προσφέροντας ευελιξία στην έμφαση σε ορισμένα στοιχεία [Gordon and Clevenger, 2018]. 2, 7

**OpenGL** Η OpenGL (Open Graphics Library) είναι μια προγραμματιστική διεπαφή γραφικών που χρησιμοποιείται ευρέως για την απεικόνιση 2Δ και 3Δ γραφικών σε εφαρμογές λογισμικού. Αρχικά αναπτύχθηκε από την εταιρεία Silicon Graphics Inc. [Hearn et al., 2014]. 1, 2, 4, 7, 10

**wireframe** Το wireframe είναι μια απλουστευμένη αναπαράσταση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου με γραμμές και σημεία, χωρίς χρώματα ή αναλυτικές λεπτομέρειες. Χρησιμοποιείται για να απεικονίσει τη δομή και τη διάταξη του αντικειμένου πριν από την απεικόνιση της επιφάνειας ή της απόχρωσης [Hearn et al., 2014]. 5

**μοναδιαίος πίνακας** Ο ταυτοτικός πίνακας (Identity Matrix) είναι ένας τετραγωνικός πίνακας όπου όλες οι διαγώνιες και μηδενικές τιμές είναι 1. Χρησιμοποιείται σε γραμμικές αλγεβρικές μετατροπές και πράξεις για την αναπαράσταση της μονάδας και της αναγνώρισης μοτίβων. 7

## Αναφορές - Βιβλιογραφία

- [Foley, 1996] Foley, J. (1996). *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison-Wesley systems programming series. Addison-Wesley.
- [Gordon and Clevenger, 2018] Gordon, V. and Clevenger, J. (2018). *Computer Graphics Programming in OpenGL with C++ [OP]*. Mercury Learning and Information.
- [Hearn et al., 2014] Hearn, D., Baker, P., and Carithers, W. (2014). *Computer Graphics with OpenGL*. PEARSON, 4th edition.
- [Rademacher, 2008] Rademacher, P. (2008). Glui window template.
- [Sabry, 2022] Sabry, F. (2022). *Computer Generated Imagery: How Computer-generated Imagery Is Used in Movies and Animation*. Emerging Technologies in Entertainment. One Billion Knowledgeable.
- [SiliconGraphics, 2006] SiliconGraphics, I. (2006). glloadidentity.
- [SiliconGraphics, 2014] SiliconGraphics, I. (2014). glpolygonmode.
- [Sneftel, 2014] Sneftel, S. (2014). Opengl: What does glrotatef rotate?
- [Whitrow, 2008] Whitrow, R. (2008). *OpenGL Graphics Through Applications*. Springer London.
- [Yan, 2018] Yan, S. (2018). How to use gltranslatef, glscalef, glrotatef in opengl.
- [Δρακόπουλος, 2023] Δρακόπουλος, B. (2023). Ηλεκτρονική Τάξη Μαθήματος Γραφικής Υπολογιστών.
- [Παπαμάρκος, 2013] Παπαμάρκος, N. (2013). *Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας*. ΑΦΟΙ Παπαμάρκου Ο.Ε., 3rd edition.
- [Πρώης, Σ., 2022] Πρώης, Σ. (2022). Η ιστορία των Πολυέδρων και σχεδιασμός διδακτικής αξιοποίησης της.