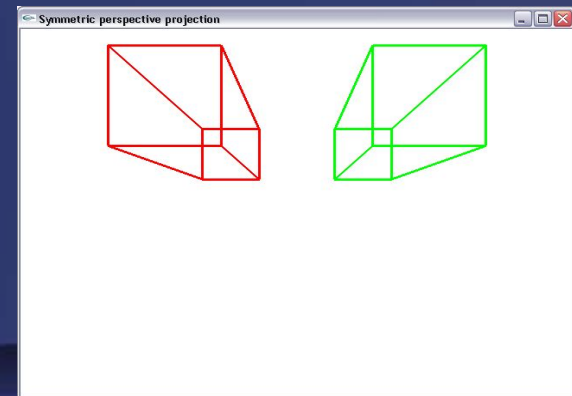
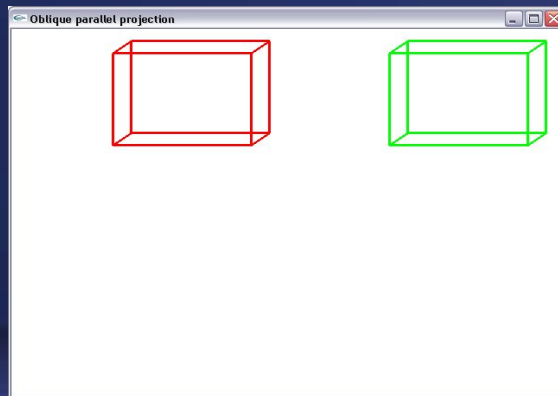
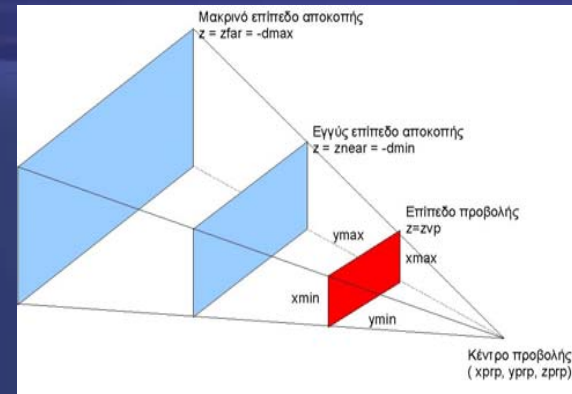
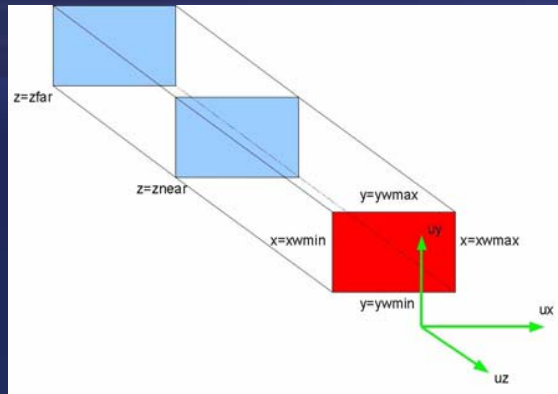


Προβολές



Περιεχόμενα ενότητας

- Μετασχηματισμός αλλαγής οπτικής γωνίας
- Επίπεδο προβολής - Μητρώο προβολής
- Παράλληλη προβολή
- Πλάγια παράλληλη προβολή
- Προοπτική προβολή
- Πλάγια προοπτική προβολή
- Μετασχηματισμός παρατήρησης στις 3 διαστάσεις
- Ενοποιημένο διάγραμμα μετασχηματισμού συντεταγμένων

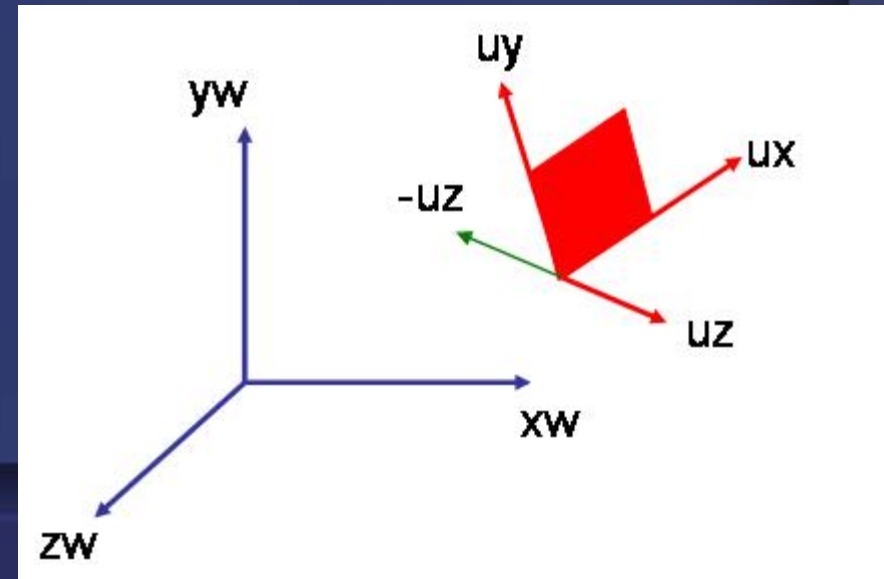
Μετασχηματισμός αλλαγής οπτικής γωνίας

- Στις απεικονίσεις διδιάστατων σκηνικών, το επίπεδο που απεικονίζαμε ταυτιζόταν με το επίπεδο XY του συστήματος συντεταγμένων σκηνής.
- Σε τρισδιάστατες σκηνές, η παραπάνω ταύτιση δεν είναι υποχρεωτική
- Μπορούμε να αλλάξουμε την οπτική γωνία από την οποία παρατηρούμε τη σκηνή.
- Επισκόπηση της σκηνής από πολλαπλές θέσεις (χρήσιμη για τη δημιουργία κατόψεων και πλαγίων όψεων σε εφαρμογές CAD)

Σύστημα συντεταγμένων παρατηρητή

Η θέση αυτού του συστήματος συντεταγμένων καθορίζεται από δύο παράγοντες: τη θέση του παρατηρητή την κατεύθυνση παρατήρησης.

- Η θέση παρατήρησης ταυτίζεται με την αρχή των αξόνων u_x, u_y, u_z
- Η κατεύθυνση παρατήρησης ταυτίζεται με τον αρνητικό ημιάξονα $-u_z$
- Το επίπεδο παρατήρησης έχει τον προσανατολισμό ορίζουν οι άξονες u_x και u_y .

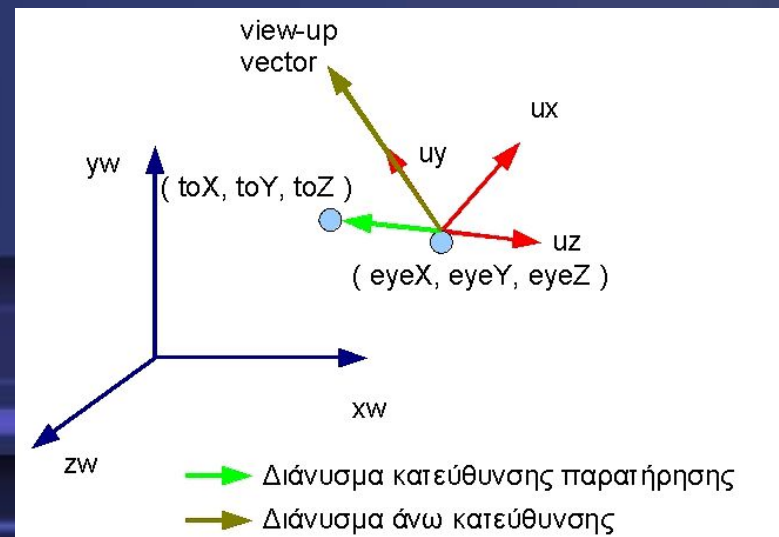


Ορισμός συστήματος συντεταγμένων παρατηρητή

Το σύστημα συντεταγμένων παρατηρητή προσδιορίζεται καθορίζοντας τρεις παραμέτρους:

- θέση παρατήρησης ($eyeX, eyeY, eyeZ$)
- κατεύθυνση παρατήρησης ($eyeX, eyeY, eyeZ$) $\longrightarrow$ (toX, toY, toZ)
- άνω κατεύθυνση του επιπέδου του παρατηρητή (view-up vector)

Εάν το view-up vector δεν είναι κάθετο στο διάνυσμα κατεύθυνσης παρατήρησης, λαμβάνεται υπόψη μόνο η κάθετη συνιστώσα του.



Μετασχηματισμός οπτικής γωνίας

- Αναπαριστούμε τη σκηνή ως προς το σύστημα συντεταγμένων παρατηρητή.

- Αναγάγουμε την περιγραφή της σκηνής σε ένα σύστημα συντεταγμένων που:

- α) η αρχή των αξόνων του ταυτίζεται με τη θέση της κάμερας
- β) ο αρνητικός ημιάξονας z δηλώνει την κατεύθυνση παρατήρησης
- γ) ο θετικός ημιάξονας Oy έχει τον ίδιο προσανατολισμό με το διάνυσμα άνω κατεύθυνσης.

Βήματα μετασχηματισμού οπτικής γωνίας

A) μετατοπίζουμε την αρχή των αξόνων του ΣΣ σκηνής στη θέση παρατήρησης

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -eyeX \\ 0 & 1 & 0 & -eyeY \\ 0 & 0 & 1 & -eyeZ \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

B) Περιστρέφουμε το ΣΣ, ούτως ώστε να συμπέσει με το σύστημα συντεταγμένων παρατήρησης.

$$R = \begin{bmatrix} u_{x1} & u_{x2} & u_{x3} & 0 \\ u_{y1} & u_{y2} & u_{y3} & 0 \\ u_{z1} & u_{z2} & u_{z3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Μετασχηματισμός αλλαγής οπτικής γωνίας

$$\begin{bmatrix} x_{eye} \\ y_{eye} \\ z_{eye} \\ 1 \end{bmatrix} = R \cdot T \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Μετασχηματισμός αλλαγής οπτικής γωνίας στην OpenGL

Ο μετασχηματισμός αλλαγής οπτικής γωνίας εκτελείται με την εντολή *gluLookAt*

```
gluLookAt(GLdouble eyeX, GLdouble eyeY, GLdouble eyeZ, GLdouble toX,  
GLdouble toY, GLdouble toZ, GLdouble upX, GLdouble upY, GLdouble upZ);
```

(*eyeX, eyeY, eyeZ*): η θέση του παρατηρητή στο σύστημα συντεταγμένων σκηνής

(*toX, toY, toZ*): το πέρας του διανύσματος κατεύθυνσης παρατηρητή

(*upX, upY, upZ*): οι συνιστώσες του view-up vector

Με την εντολή *gluLookAt*, ο προγραμματιστής μπορεί να καθορίσει με ευκολία τη θέση και τον προσανατολισμό παρατήρησης αποφεύγοντας τον ορισμό περίπλοκων μετασχηματισμών

Επισημάνσεις για την gluLookAt

η gluLookAt επιδρά στο μητρώο μετασχηματισμού μοντέλου, οπότε πρέπει να μεταβούμε στην κατάσταση τροποποίησής του πριν την εκτέλεσή της

glMatrixMode(GL_MODELVIEW);

•Ο μετασχηματισμός οπτικής γωνίας επιδρά τελευταίος, επομένως πρέπει να δηλωθεί πρώτος κατά τη σύνθεση του μητρώου μετασχηματισμού μοντέλου. (**μετά** την αρχικοποίηση του μητρώου μετασχηματισμού μοντέλου και **πριν** από τον ορισμό του μετασχηματισμού μοντέλου)

```
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
```

```
glLoadIdentity();
```

```
gluLookAt(.....);
```

```
//Εντολές σύνθεσης μετασχηματισμού μοντέλου (glTranslate*, glRotate*  
κλπ.)
```

Η έννοια της προβολής

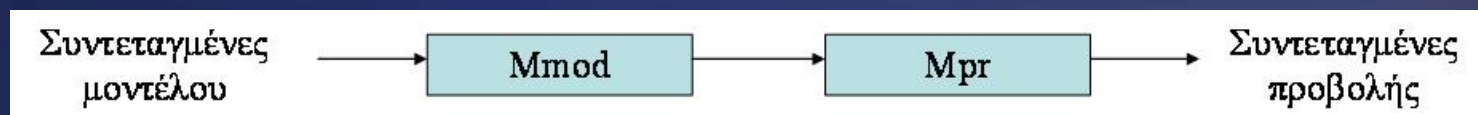
- Προβολή: Μετασχηματισμός που αντιστοιχίζει συντεταγμένες σκηνής, σε συντεταγμένες πάνω στο επίπεδο του παρατηρητή
- Ο μετασχηματισμός προβολής επιδρά στις **συντεταγμένες παρατήρησης**, (αμέσως μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού μοντέλου)
- Συντεταγμένες προβολής: οι συντεταγμένες της προβολής κάθε σημείου της σκηνής στο επίπεδο παρατήρησης (**= επίπεδο προβολής**)
- Μεταβάλλοντας τον κανόνα αντιστοίχισης της προβολής μεταβάλλουμε και τα προβαλλόμενα σημεία.
- Μπορούμε να αναπαραστήσουμε την ίδια σκηνή με διαφορετικούς τρόπους στο επίπεδο προβολής (διαφορετικοί τύποι προβολής).

Μητρώο προβολής

Ο μαθηματικός μετασχηματισμός της προβολής αποθηκεύεται στο **μητρώο προβολής**.

Η μηχανή κατάστασης της OpenGL χρησιμοποιεί μητρώο προβολής με διαστάσεις 4x4 και αρχική τιμή I4.

Ο μετασχηματισμός προβολής έπεται του μετασχηματισμού μοντέλου (το μητρώο προβολής **Mpr** επιδρά μετά το μητρώο μετασχηματισμού μοντέλου **Mmod**)



Αρχικά πρέπει να μεταβούμε στην κατάσταση επεξεργασίας του μητρώου προβολής, δίνοντας την εντολή
`glMatrixMode( GL_PROJECTION );`

Είδη προβολής

Δύο είδη προβολής:

- 1) Παράλληλη (ή ορθογραφική) προβολή (parallel (orthographic) projection)
- 2) Προοπτική προβολή (perspective projection)

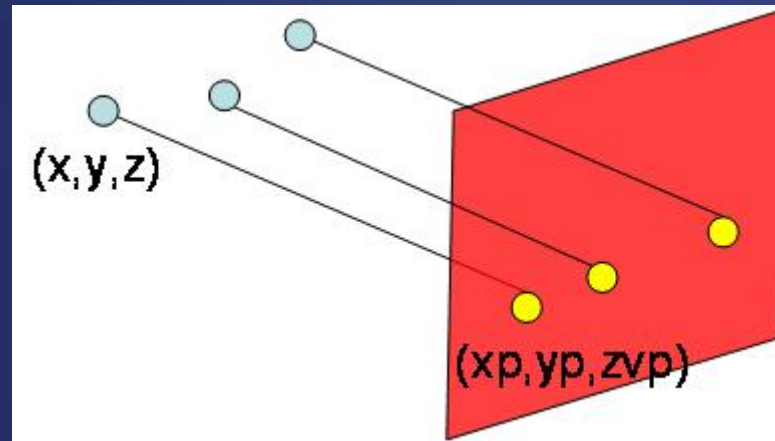
• Η επιλογή του τύπου προβολής εξαρτάται από τη φύση της εφαρμογής.

Τεχνικά σχέδια και εφαρμογές CAD: Διατηρούμε τις αναλογίες στις διαστάσεις των αντικειμένων (παράλληλη προβολή)

Σύνθεση ρεαλιστικών σκηνών: προσωμοιώνουμε αρχές της Οπτικής (προοπτική προβολή)

Παράλληλη προβολή

Τα σημεία της σκηνής προβάλλονται στο επίπεδο προβολής ακολουθώντας δέσμες παράλληλες μεταξύ τους και κάθετες προς το επίπεδο προβολής



$$x_p = x$$

$$y_p = y$$

$$M_{ortho} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

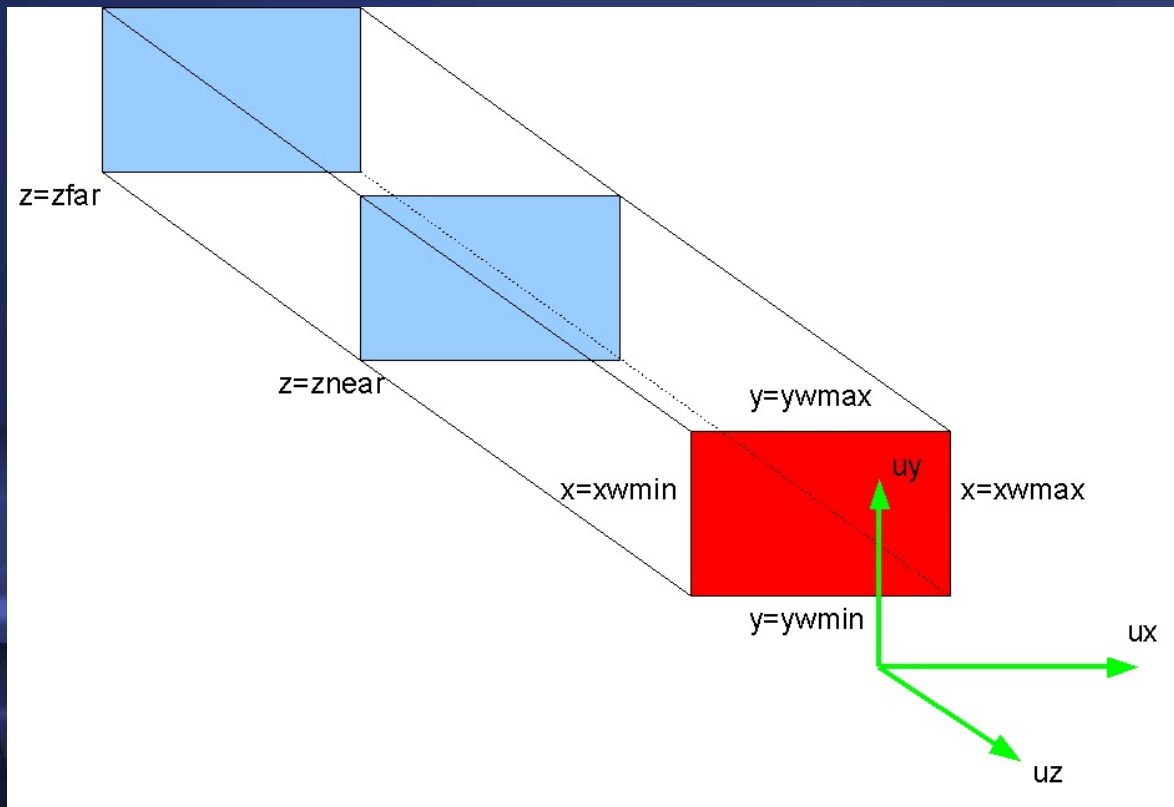
Η παράλληλη προβολή είναι ο αρχικά ισχύων τύπος προβολής στη μηχανή της OpenGL.

Προβολή και αποκοπή

Στην OpenGL, οι διαδικασίες της παράλληλης προβολής και της αποκοπής ενοποιούνται

Στις τρεις διαστάσεις, αντί για ευθείες, ορίζουμε **επίπεδα αποκοπής**

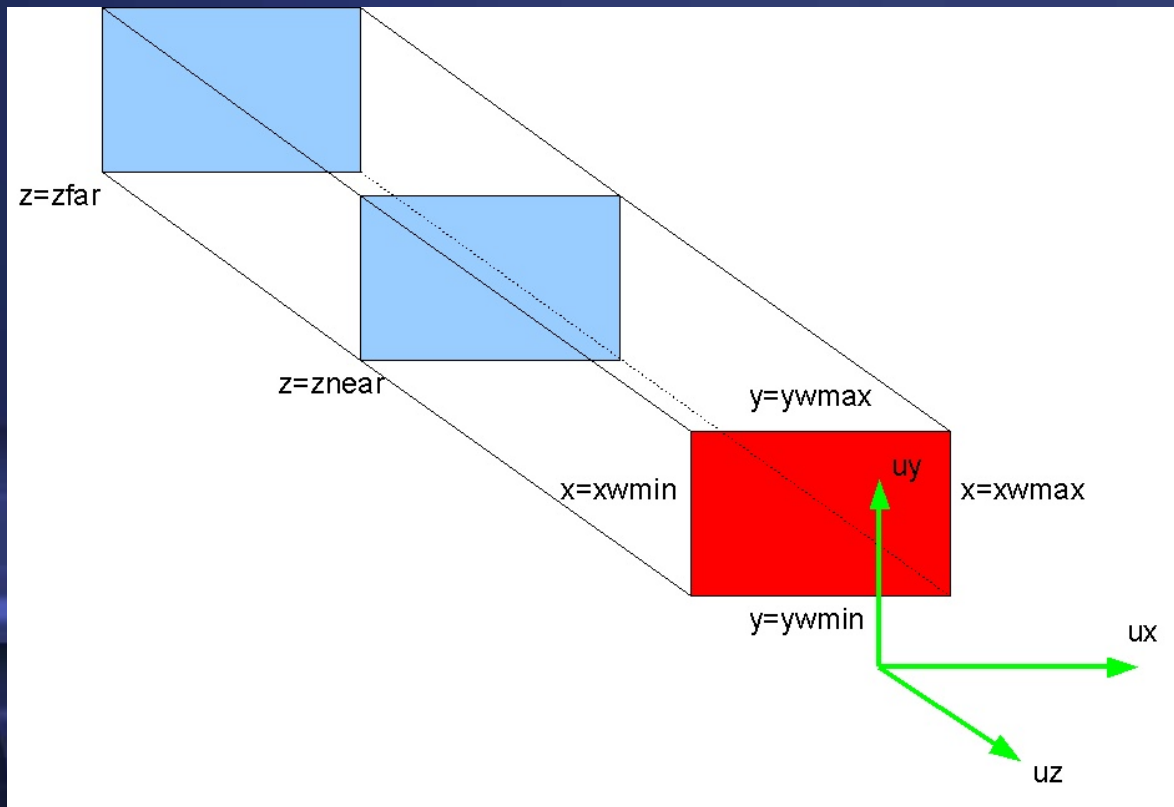
Στην παράλληλη προβολή με τον προσδιορισμό των επιπέδων αποκοπής, ορίζουμε στο χώρο ένα ορθογώνιο **παράλληλεπίπεδο**



Προβολή και αποκοπή

Επισημαίνουμε ότι τα επίπεδα αποκοπής ορίζονται ως προς το σύστημα συντεταγμένων του παρατηρητή.

Το εγγύς και μακρινό επίπεδο αποκοπής, δεδομένης της θέσης τους ως προς την αρχή των αξόνων, έχουν αρνητικές τιμές βάθους ($z_{far} < z_{near} < 0$)



Ορισμός παράλληλης προβολής στην OpenGL

Ο ορισμός της παράλληλης προβολής στις τρεις διαστάσεις συνδυάζεται με την δήλωση των επιπέδων αποκοπής χρησιμοποιώντας την εντολή *glOrtho*

```
void glOrtho(GLdouble xwmin, GLdouble xwmax, GLdouble ywmin, GLdouble ywmax, GLdouble dnear, GLdouble dfar);
```

xwmin, *xwmax*, *ywmin*, *ywmax*: αριστερό, δεξιό, κάτω και άνω επίπεδο αποκοπής

dnear, *dfar*: εγγύς και μακρινό επίπεδο αποκοπής (δίνονται ως θετικοί αριθμοί)

dnear = - *znear*

dfar = - *zfar*

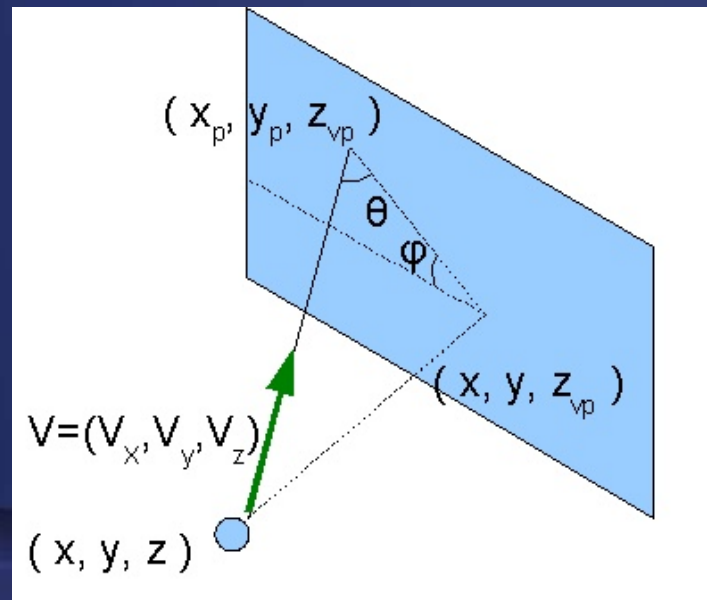
Μετασχηματισμός κανονικοποίησης στις 3Δ

- Το εύρος των συντεταγμένων x, y, z του αποκοπόμενου παραλληλεπιπέδου κανονικοποιείται στο εύρος $[-1,1]$.
- Οι κανονικοποιημένες συντεταγμένες περικλείονται εντός του κύβου που ορίζεται από τα επίπεδα $x=+-1, y=+-1$ και $z=+-1$

$$M_{ortho,norm} = \begin{bmatrix} \frac{2}{xw_{\max} - xw_{\min}} & 0 & 0 & -\frac{xw_{\max} + xw_{\min}}{xw_{\max} - xw_{\min}} \\ 0 & \frac{2}{yw_{\max} - yw_{\min}} & 0 & -\frac{yw_{\max} + yw_{\min}}{yw_{\max} - yw_{\min}} \\ 0 & 0 & \frac{-2}{z_{\text{near}} - z_{\text{far}}} & \frac{z_{\text{near}} + z_{\text{far}}}{z_{\text{near}} - z_{\text{far}}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Πλάγια παράλληλη προβολή

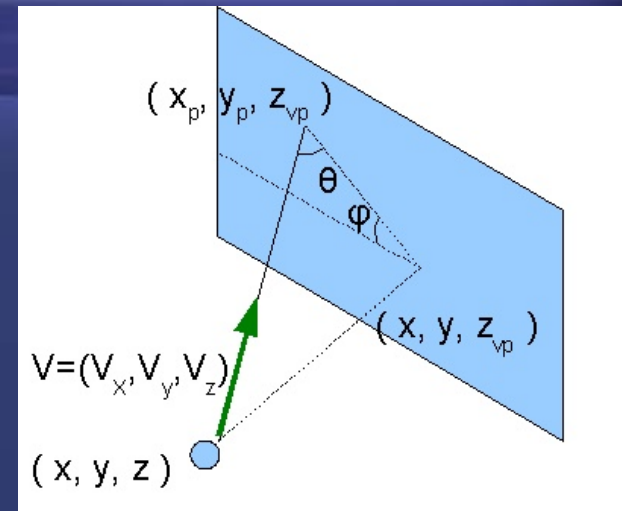
Τα σημεία της σκηνής ακολουθούν δέσμες που προσπίπτουν πλάγια στο επίπεδο προβολής



Πλάγια παράλληλη προβολή

Ισχύουν οι σχέσεις αναλογίας

$$\frac{x_p - x}{z_{vp} - z} = \frac{V_x}{V_z}$$
$$\frac{y_p - y}{z_{vp} - z} = \frac{V_y}{V_z}$$

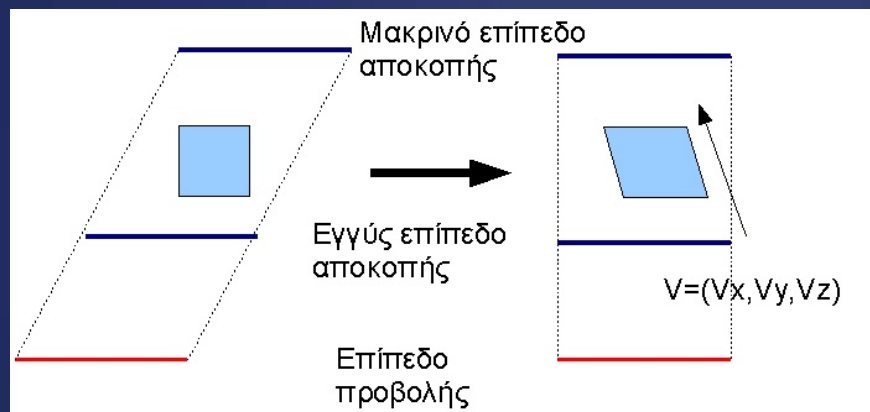


$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{V_x}{V_z} & z_{vp} \cdot \frac{V_x}{V_z} \\ 0 & 1 & -\frac{V_y}{V_z} & z_{vp} \cdot \frac{V_y}{V_z} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ισοδύναμο πλάγιας παράλληλης προβολής: μετασχηματισμός κλίσης στις συντεταγμένες παρατήρησης και εφαρμογή παράλληλης προβολής

Αποκοπή στην πλάγια παράλληλη προβολή

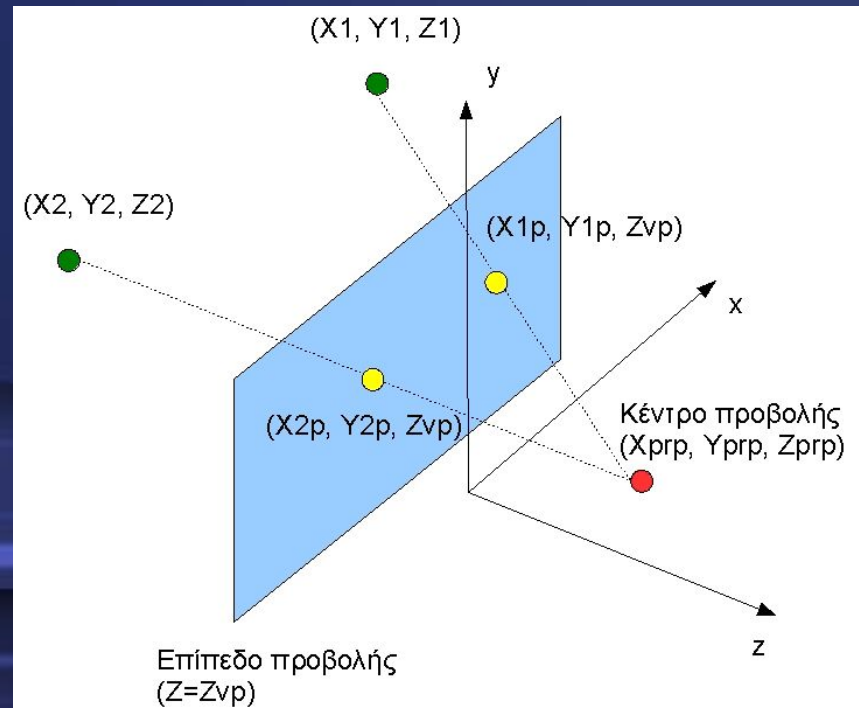
Το τμήμα της σκηνής που απομονώνουμε που περικλείεται μέσα σε ένα πλάγιο παραλληλεπίπεδο



Στην OpenGL, για να ορίσουμε ένα μητρώο πλάγιας παράλληλης προβολής χρησιμοποιούμε τις εντολές *glLoadMatrix* ή *glMultMatrix* στο μητρώο προβολής.

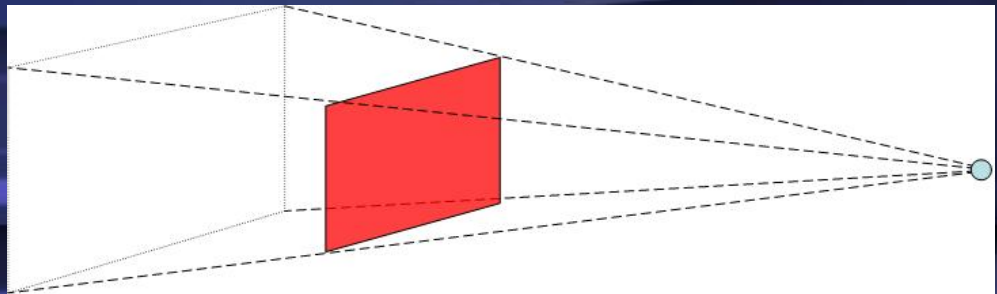
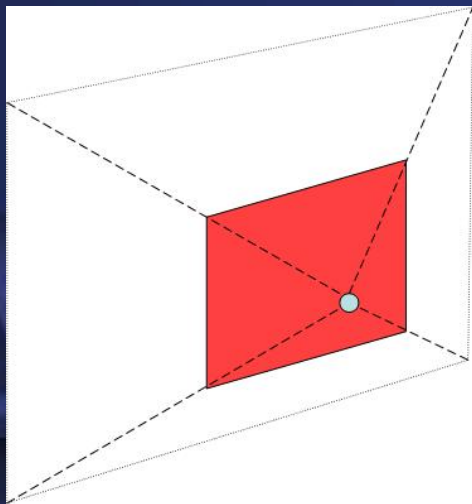
Προοπτική προβολή

- Τα σημεία της σκηνής ακολουθούν δέσμες που συγκλίνουν σε ένα κοινό σημείο, το κέντρο προβολής
- Η προοπτική προβολή προσωμοιώνει τις αρχές στις οποίες βασίζεται ο σχηματισμός του ειδώλου σε κάμερες και στο ανθρώπινο μάτι
- Αντικείμενα που βρίσκονται μακρινότερα από τον παρατηρητή φαίνονται μικρότερα



Εστιακή απόσταση

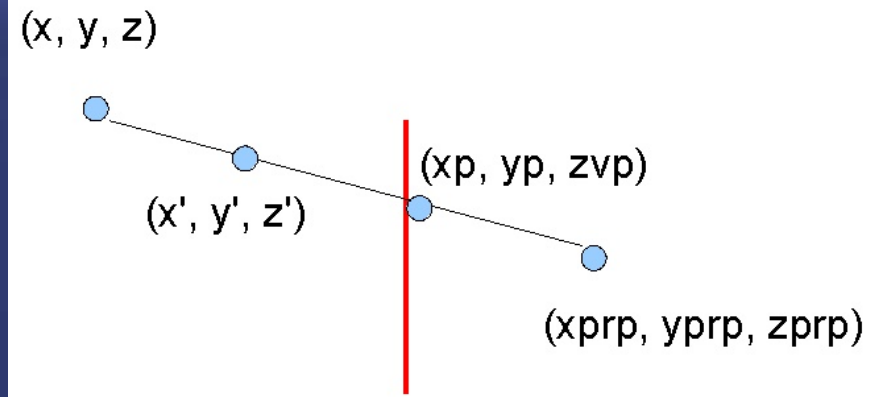
- Εστιακή απόσταση: απόσταση του κέντρου προβολής από το επίπεδο προβολής
- Μικρή εστιακή απόσταση συνεπάγεται μεγάλη γωνία κάλυψης – Προσωμοίωση ευρυγώνιων φακών (αριστερό σχήμα)
- Μεγάλη εστιακή απόσταση συνεπάγεται μικρή γωνία κάλυψης – Προσωμοίωση οξυγώνιων φακών (δεξιό σχήμα)
- Για άπειρη εστιακή απόσταση προκύπτει η παράλληλη προβολή.



Εξισώσεις προοπτικής προβολής

$$\begin{aligned}x' &= x - (x - x_{prp}) \cdot u \\y' &= y - (y - y_{prp}) \cdot u \quad 0 \leq u \leq 1 \\z' &= z - (z - x_{prp}) \cdot u\end{aligned}$$

$$u_p = \frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z}$$



$$\begin{aligned}x_p &= x \cdot \left(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z} \right) + x_{prp} \cdot \left(\frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z} \right) \\y_p &= y \cdot \left(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z} \right) + y_{prp} \cdot \left(\frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z} \right)\end{aligned}$$

Μητρώο προοπτικής προβολής

$$\begin{aligned}x_p &= x \cdot \left(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z} \right) + x_{prp} \cdot \left(\frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z} \right) \\y_p &= y \cdot \left(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z} \right) + y_{prp} \cdot \left(\frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z} \right)\end{aligned}$$

αδύνατη περιγραφή των σχέσεων σε μορφή μητρώου, (η συντεταγμένη z του σημείου της σκηνής εμφανίζεται στον παρονομαστή των συντελεστών)

Εκμεταλλευόμαστε την αναπαράσταση σε μορφή ομογενών συντεταγμένων

$$x_{vp} = \frac{x_h}{h}$$

$$y_{vp} = \frac{y_h}{h}$$

$$h = z_{prp} - z$$

$$\begin{aligned}x_h &= x \cdot (z_{prp} - z_{vp}) + x_{prp} \cdot (z_{vp} - z) \\y_h &= y \cdot (z_{prp} - z_{vp}) + y_{prp} \cdot (z_{vp} - z)\end{aligned}$$



$$\begin{bmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \\ h \end{bmatrix} = M_{pers} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Εξάγουμε για κάθε σημείο τις συντεταγμένες x_h και y_h που του αντιστοιχούν και κατόπιν για να εξάγουμε τις συντεταγμένες προβολής x_p, y_p διαιρούμε με την τιμή h (διαφορετική για κάθε σημείο)

Μητρώο προοπτικής προβολής

$$M_{pers} = \begin{bmatrix} z_{prp} - z_{vp} & 0 & -x_{prp} & x_{prp} \cdot z_{vp} \\ 0 & z_{prp} - z_{vp} & -y_{prp} & y_{prp} \cdot z_{vp} \\ 0 & 0 & s_z & t_z \\ 0 & 0 & -1 & z_{prp} \end{bmatrix}$$

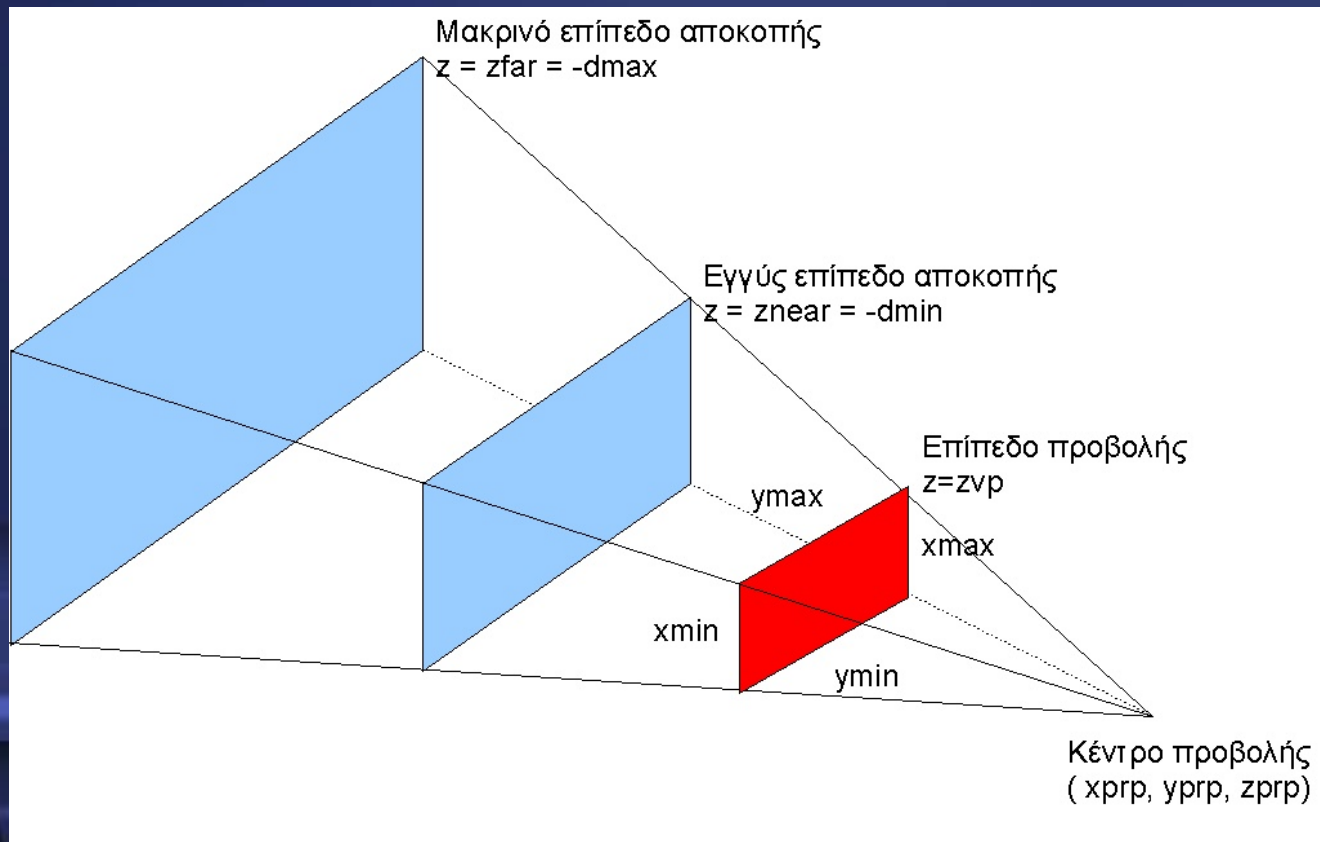
- s_z, t_z : λειτουργούν ως συντελεστές κλιμάκωσης και μετατόπισης των συντεταγμένων βάθους. Εισάγονται ώστε το μητρώο μετασχηματισμού να μην προκαλέσει αλλοίωση στις τιμές βάθους των σημείων της σκηνής.
- Οι ακριβείς τιμές των συντελεστών s_z και t_z εξαρτώνται από τα όρια κανονικοποίησης που επιλέγουμε. (Επιλέγουμε το εύρος τιμών $[-1,1]$).
- Στην πράξη ενοποιούμε τους μετασχηματισμούς προβολής και κανονικοποίησης σε ένα μτρώο $M_{normpers}$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \rightarrow M_{norm,pers} \rightarrow \begin{bmatrix} x_{h,norm} \\ y_{h,norm} \\ z_{h,norm} \\ h \end{bmatrix} \rightarrow \times \frac{1}{h} \rightarrow \begin{bmatrix} x_{norm} \\ y_{norm} \\ z_{norm} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Αποκοπή στην προοπτική προβολή

ο χώρος αποκοπής προσδιορίζεται από τα όρια μιας κόλουρου πυραμίδας (frustum).

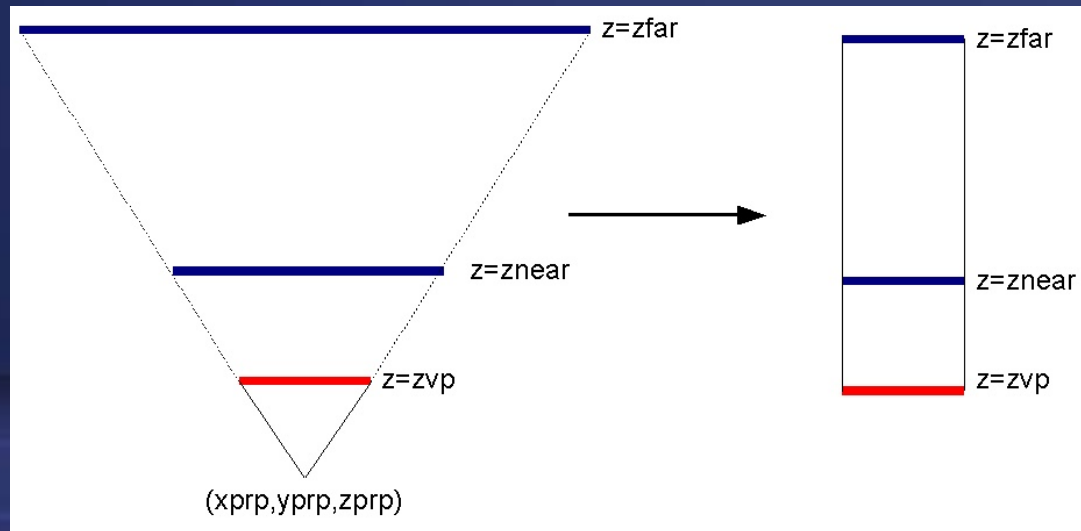
Η νοητή κορυφή της πυραμίδας ταυτίζεται με το κέντρο προβολής
οι έδρες της πυραμίδας ταυτίζονται με το εγγύς και το μακρινό επίπεδο αποκοπής



Μετασχηματισμός συντεταγμένων στην προοπτική προβολή

Οι τιμές των συντεταγμένων προβολής περικλείονται από ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο

Μετασχηματισμός προβολής: μετασχηματισμός που αντιστοιχίζει τα περιεχόμενα μιας πυραμίδας στο εσωτερικό ενός ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου

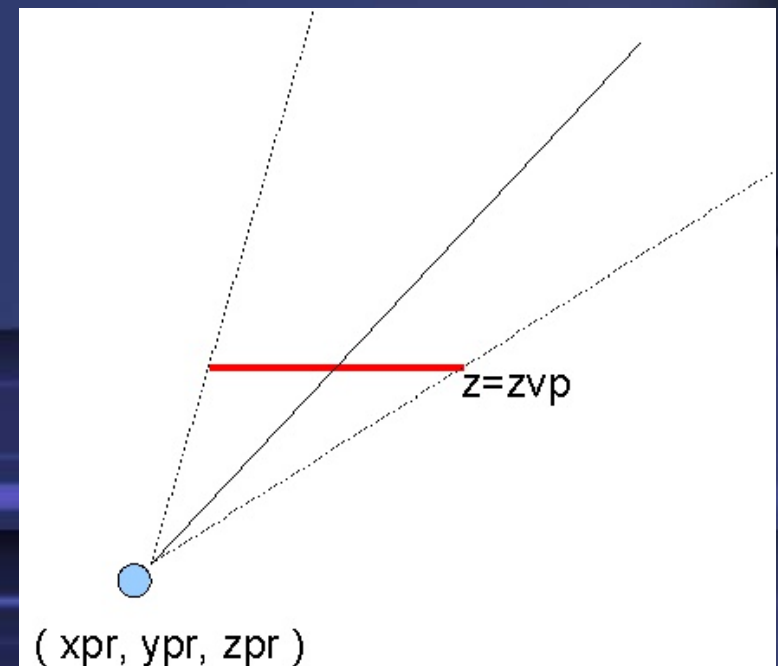
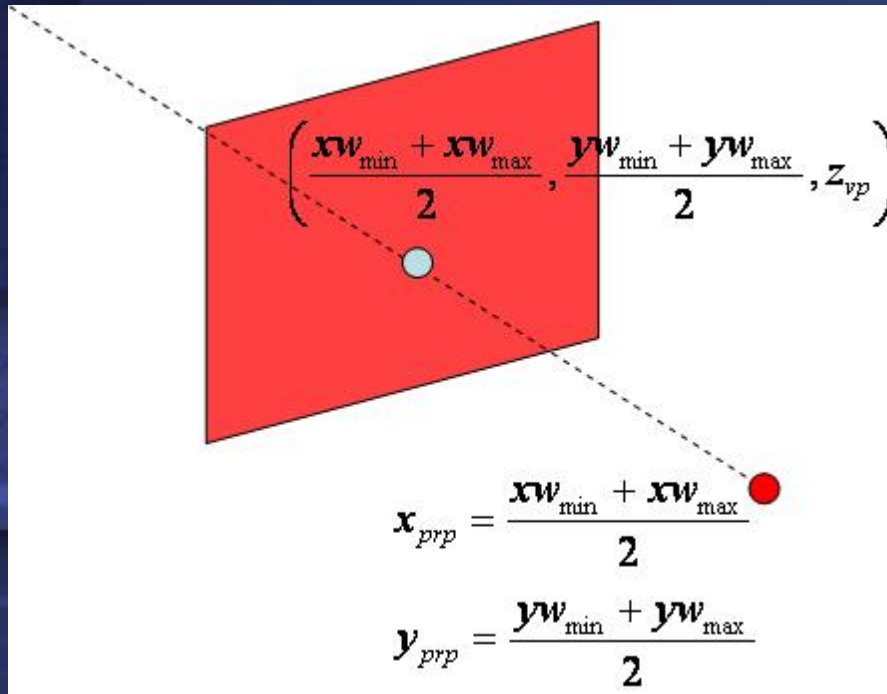


Συμμετρική και πλάγια προοπτική προβολή

Οπτικός άξονας: η ευθεία που συνδέει το κέντρο προβολής με το κέντρο του επιπέδου προβολής

Συμμετρική προοπτική προβολή. ο οπτικός άξονας της προοπτικής προβολής είναι κάθετος στο επίπεδο προβολής. (αριστερό σχήμα)

Πλάγια προοπτική προβολή ο οπτικός άξονας της προβολής δεν είναι κάθετος στο επίπεδο προβολής (δεξιό σχήμα)



Παραδοχές προοπτικής προβολής στην OpenGL

Παραδοχές

α) Θέτουν το κέντρο προβολής στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων παρατηρητή.

$(x_{prp}, y_{prp}, z_{prp}) = (0, 0, 0)$

β) Το επίπεδο προβολής ταυτίζεται με το εγγύς επίπεδο αποκοπής.

$(z_{vp} = z_{near})$

Μητρώο συμμετρικής ή πλάγιας προοπτικής προβολής

$$M_{norm,pers} = \begin{bmatrix} \frac{-2 \cdot z_{near}}{xw_{max} - xw_{min}} & 0 & \frac{xw_{max} + xw_{min}}{xw_{max} - xw_{min}} & 0 \\ 0 & -\frac{2 \cdot z_{near}}{yw_{max} - yw_{min}} & \frac{yw_{max} + yw_{min}}{yw_{max} - yw_{min}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{z_{near} + z_{far}}{z_{near} - z_{far}} & \frac{2 \cdot z_{near} \cdot z_{far}}{z_{near} - z_{far}} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \rightarrow M_{norm,pers} \rightarrow \begin{bmatrix} x_{h,norm} \\ y_{h,norm} \\ z_{h,norm} \\ h \end{bmatrix} \rightarrow \times \frac{1}{h} \rightarrow \begin{bmatrix} x_{norm} \\ y_{norm} \\ z_{norm} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ορισμός συμμετρικής ή πλάγιας προοπτικής προβολής στην OpenGL

Με την εντολή *glFrustum*, ο προγραμματιστής μπορεί να ορίσει μια συμμετρική ή πλάγια προοπτική προβολή

```
void glFrustum(GLdouble xwmin, GLdouble xwmax, GLdouble ywmin, GLdouble ywmax, GLdouble dnear, GLdouble dfar );
```

xwmin, xwmax, ywmin, ywmax: το αριστερό, δεξιό, κάτω και άνω επίπεδο αποκοπής.

dnear: το εγγύς επίπεδο αποκοπής

dfar: το μακρινό επίπεδο αποκοπής.

dnear = -*znear*

dfar = - *zfar*

Μητρώο συμμετρικής προοπτικής προβολής

Οι συντελεστές του μητρώου προβολής και κανονικοποίησης ορίζονται συναρτήσει:

- της κατακόρυφης γωνίας κάλυψης θ ,
- της αναλογίας πλάτους προς ύψος *aspectRatio* του επιπέδου προβολής,
- του εγγύς και μακρινού επιπέδου αποκοπής

$$M_{norm, symm, pers} = \begin{bmatrix} \frac{\cot\left(\frac{\theta}{2}\right)}{aspectRatio} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cot\left(\frac{\theta}{2}\right) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{z_{near} + z_{far}}{z_{near} - z_{far}} & -\frac{2 \cdot z_{near} \cdot z_{far}}{z_{near} - z_{far}} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Ορισμός συμμετρικής προβολής στην OpenGL

Με την εντολή *gluPerspective* ορίζουμε μία **συμμετρική** προοπτική προβολή:

```
void gluPerspective(GLdouble angle, GLdouble aspectRatio, GLdouble  
dnear, GLdouble dfar);
```

angle: η κατακόρυφη γωνία παρατήρησης σε μοίρες,

aspectRatio: ο λόγος πλάτους προς ύψος του επιπέδου προβολής

dnear, *dfar*: θετικές τιμές που καθορίζουν το εγγύς και μακρινό επίπεδο αποκοπής

Μετασχηματισμός παρατήρησης στις 3Δ

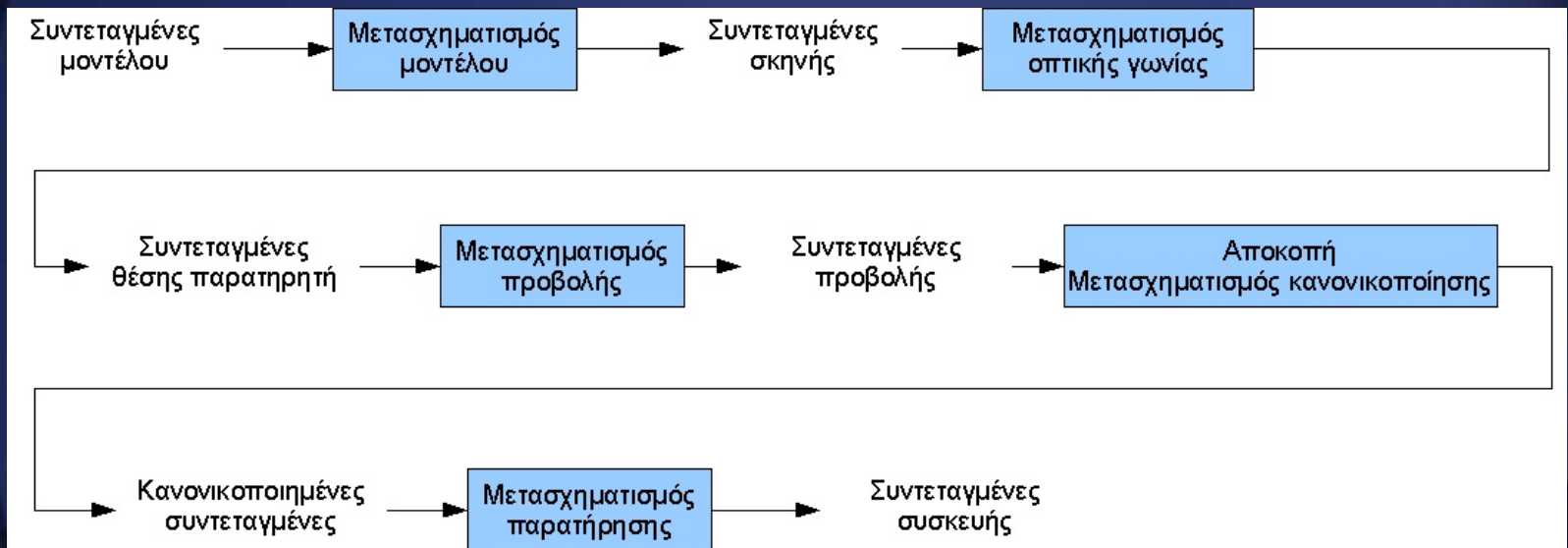
Μετά το μετασχηματισμό παράλληλης ή προοπτικής προβολής και τη διαδικασία κανονικοποίησης, έπεται η διαδικασία μετασχηματισμού παρατήρησης

Η OpenGL μετασχηματίζει τις κανονικοποιημένες τιμές βάθους από το εύρος τιμών $[-1,1]$ σε ένα σταθερό εύρος τιμών $[0,1]$

$$M_{norm,view} = \begin{bmatrix} \frac{xu_{max} - xu_{min}}{2} & 0 & 0 & \frac{xu_{max} + xu_{min}}{2} \\ 0 & \frac{yu_{max} - yu_{min}}{2} & 0 & \frac{yu_{max} + yu_{min}}{2} \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Οι τιμές βάθους αξιοποιούνται στην **καταστολή κρυμμένων επιφανειών**, όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Το ενοποιημένο διάγραμμα μετασχηματισμού συντεταγμένων



Τέλος ενότητας!

