Transformări

Mihai-Sorin Stupariu

Sem. I, 2022 - 2023

Motivație

- Cum desenăm primitive atunci când vârfurile au coordonatele în afara intervalului $[-1, 1] \times [-1, 1]$?

Motivație

- Cum desenăm primitive atunci când vârfurile au coordonatele în afara intervalului $[-1, 1] \times [-1, 1]$?
- Cum procedăm pentru a "deplasa" primitivele în scenă?

În OpenGL "vechi" - codul sursă 03_01_animatie_old.cpp

```
void init(void)
{
    glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 0.0);
    gluOrtho2D(0.0, 800.0, 0.0, 600.0);
}
```

Coordonata x intre 0 si 800, coordonata y intre 0 si 600 ("dreptunghi decupat")

```
// dreptunghiul rosu
glTranslated(i, 200.0, 0.0);
glPushMatrix();
glRotated(j, 0.0, 0.0, 1.0);
glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);
glRecti(-5, 30, 5, 40);
```

Functii specifice pentru deplasare (translatie, rotatie) - atentie la ordinea in care sunt aplicate!

În OpenGL "nou" - codul sursă 03_02_animatie_new.cpp

```
resizeMatrix = glm::ortho(-width, width, -height, height); // scalam, "a
matrTransl = glm::translate(glm::mat4(1.0f), glm::vec3(i, 0.0, 0.0)); //
matrDepl = glm::translate(glm::mat4(1.0f), glm::vec3(0, 80.0, 0.0)); //
matrScale1 = glm::scale(glm::mat4(1.0f), glm::vec3(1.1, 0.3, 0.0)); // f
matrScale2 = glm::scale(glm::mat4(1.0f), glm::vec3(0.25, 0.25, 0.0)); //
matrRot = glm::rotate(glm::mat4(1.0f), angle, glm::vec3(0.0, 0.0, 1.0));
```

```
// Matricea pentru dreptunghiul albastru
myMatrix = resizeMatrix * matrTransl * matrScale1;
// Creare shader + transmitere variabile uniforme
CreateShaders();
myMatrixLocation = glGetUniformLocation(ProgramId, "myMatrix");
glUniformMatrix4fv(myMatrixLocation, 1, GL_FALSE, &myMatrix[0][0]);
codCol = 1;
codColLocation = glGetUniformLocation(ProgramId, "codCuloare");
glUniform1i(codColLocation, codCol);
// Apelare DrawArrays
glDrawArrays(GL_POLYGON, 4, 4);
```

In programul principal

```
out vec4 gl_Position;
out vec4 ex_Color;
uniform mat4 myMatrix;

void main(void)
{
    gl_Position = myMatrix*in_Position;
    ex_Color = in_Color;
}
```

In *vertex shader*

Funcții pentru transformări în OpenGL

- `glTranslate*(t); // glm::translate` Translația T_t de vector $t = (t_1, t_2, t_3)$

Funcții pentru transformări în OpenGL

- `glTranslate*(t); // glm::translate` Translația T_t de vector $t = (t_1, t_2, t_3)$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{T_t}{\mapsto} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix}.$$

Funcții pentru transformări în OpenGL

- `glTranslate*(t); // glm::translate` Translația T_t de vector $t = (t_1, t_2, t_3)$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{T_t}{\mapsto} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix}.$$

- `glScale*(s); // glm::scale` Scalarea σ_s de factor $s = (s_1, s_2, s_3)$ (de-a lungul celor trei axe, centrul scalării fiind în origine - punct fix al transformării)

Funcții pentru transformări în OpenGL

- `glTranslate*(t); // glm::translate` Translația T_t de vector $t = (t_1, t_2, t_3)$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{T_t}{\mapsto} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix}.$$

- `glScale*(s); // glm::scale` Scalarea σ_s de factor $s = (s_1, s_2, s_3)$ (de-a lungul celor trei axe, centrul scalării fiind în origine - punct fix al transformării)

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{\sigma_s}{\mapsto} \begin{pmatrix} s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}.$$

Funcții pentru transformări în OpenGL

- `glTranslate*(t); // glm::translate` Translația T_t de vector $t = (t_1, t_2, t_3)$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{T_t}{\mapsto} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix}.$$

- `glScale*(s); // glm::scale` Scalarea σ_s de factor $s = (s_1, s_2, s_3)$ (de-a lungul celor trei axe, centrul scalării fiind în origine - punct fix al transformării)

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{\sigma_s}{\mapsto} \begin{pmatrix} s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}.$$

- `glRotate*(θ, u); // glm::rotate` Rotația $\mathbb{R}_{u,\theta}$ de unghi θ și axă dată de versorul u //Rotația 2D $\mathbb{R}_{3,\theta}$ de axă Ox_3 (adică $u = (0, 0, 1)$ și unghi θ (centrul rotației fiind în origine - punct fix al transformării) este dată de

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{\mathbb{R}_{Ox_3,\theta}}{\mapsto} \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}.$$

Funcții pentru transformări în OpenGL

- `glTranslate*(t); // glm::translate` Translația T_t de vector $t = (t_1, t_2, t_3)$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{T_t}{\mapsto} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{pmatrix}.$$

- `glScale*(s); // glm::scale` Scalarea σ_s de factor $s = (s_1, s_2, s_3)$ (de-a lungul celor trei axe, centrul scalării fiind în origine - punct fix al transformării)

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{\sigma_s}{\mapsto} \begin{pmatrix} s_1 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}.$$

- `glRotate*(θ, u); // glm::rotate` Rotația $\mathbb{R}_{u,\theta}$ de unghi θ și axă dată de versorul u //Rotația 2D $\mathbb{R}_{3,\theta}$ de axă Ox_3 (adică $u = (0, 0, 1)$ și unghi θ (centrul rotației fiind în origine - punct fix al transformării) este dată de

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \overset{\mathbb{R}_{Ox_3,\theta}}{\mapsto} \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}.$$

- Scalările și rotațiile au centrul în $O = (0, 0, 0)$, acesta este punct fix!

Aspecte teoretice

- **Motivație:** Transformările pot fi modelate cu ajutorul matricelor, **dar** este necesar un cadru în care transformările să fie reprezentate în mod uniform și compunerea lor să fie ușor de descris: **folosind "coordonate omogene" și considerând 4 coordonate**.

Aspecte teoretice

- **Motivație:** Transformările pot fi modelate cu ajutorul matricelor, **dar** este necesar un cadru în care transformările să fie reprezentate în mod uniform și compunerea lor să fie ușor de descris: **folosind "coordonate omogene" și considerând 4 coordonate**.
- **De reținut!**
  (i) orice vârf are 4 coordonate
  (ii) orice transformare este reprezentată (intern) folosind o matrice 4×4
  (iii) compunerea transformărilor $\leftrightarrow$ înmulțirea matricelor (în particular, ordinea contează!)

Din punctul de vedere al implementării...

- În OpenGL "vechi": apelarea unor funcții specifice (deprecated) duce la generarea internă a matricelor corespunzătoare transformărilor, realizarea operațiilor cu acestea și aplicarea asupra vârfurilor, rezultând efectul de deplasare dorit

Din punctul de vedere al implementării...

- În OpenGL "vechi": apelarea unor funcții specifice (deprecated) duce la generarea internă a matricelor corespunzătoare transformărilor, realizarea operațiilor cu acestea și aplicarea asupra vârfurilor, rezultând efectul de deplasare dorit
- În OpenGL "nou": **nu există funcții specifice, ci trebuie manevrate în mod explicit matricele.** Se poate folosi biblioteca glm (OpenGL Mathematics)

Din punctul de vedere al implementării...

- În OpenGL "vechi": apelarea unor funcții specifice (deprecated) duce la generarea internă a matricelor corespunzătoare transformărilor, realizarea operațiilor cu acestea și aplicarea asupra vârfurilor, rezultând efectul de deplasare dorit
- În OpenGL "nou": **nu există funcții specifice, ci trebuie manevrate în mod explicit matricele.** Se poate folosi biblioteca glm (OpenGL Mathematics)

  Q: unde/cum indicăm matricele pentru transformări?

Din punctul de vedere al implementării...

- În OpenGL "vechi": apelarea unor funcții specifice (deprecated) duce la generarea internă a matricelor corespunzătoare transformărilor, realizarea operațiilor cu acestea și aplicarea asupra vârfurilor, rezultând efectul de deplasare dorit
- În OpenGL "nou": **nu există funcții specifice, ci trebuie manevrate în mod explicit matricele.** Se poate folosi biblioteca glm (OpenGL Mathematics)

  Q: unde/cum indicăm matricele pentru transformări?
  unde/cum efectuăm operațiile?

Din punctul de vedere al implementării...

- În OpenGL "vechi": apelarea unor funcții specifice (deprecated) duce la generarea internă a matricelor corespunzătoare transformărilor, realizarea operațiilor cu acestea și aplicarea asupra vârfurilor, rezultând efectul de deplasare dorit
- În OpenGL "nou": **nu există funcții specifice, ci trebuie manevrate în mod explicit matricele.** Se poate folosi biblioteca glm (OpenGL Mathematics)

  Q: unde/cum indicăm matricele pentru transformări?
  unde/cum efectuăm operațiile?

  A: pot fi utilizate programul principal, shader-ele sau o combinație

Din punctul de vedere al implementării...

- În OpenGL "vechi": apelarea unor funcții specifice (deprecated) duce la generarea internă a matricelor corespunzătoare transformărilor, realizarea operațiilor cu acestea și aplicarea asupra vârfurilor, rezultând efectul de deplasare dorit
- În OpenGL "nou": **nu există funcții specifice, ci trebuie manevrate în mod explicit matricele.** Se poate folosi biblioteca glm (OpenGL Mathematics)

  Q: unde/cum indicăm matricele pentru transformări?
  unde/cum efectuăm operațiile?

  A: pot fi utilizate programul principal, shader-ele sau o combinație
  pot fi utilizate mai multe shader-e

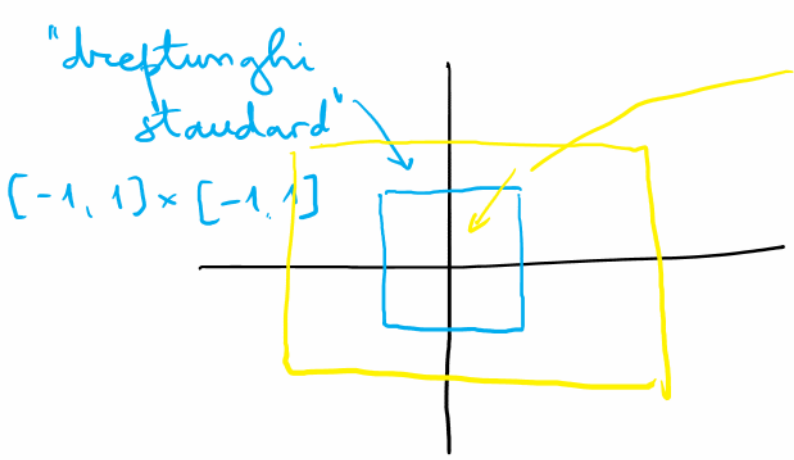
Despre `glm::ortho` - cerința (i) L3. Codul sursă `03_03_resize.cpp`

- Dorim să desenăm o scenă 2D cu vârfuri având coordonata x între *xmin* și *xmax* și coordonata y între *ymin* și *ymax*. Se aplică funcția `glm::ortho(xmin, xmax, ymin, ymax)`. În codul sursă: $xmin = -400, xmax = 500, ymin = -200, ymax = 400$. Efectul funcției este transformarea dreptunghiului "decupat" $[xmin, xmax] \times [ymin, ymax]$ în dreptunghiul "standard" $[-1, 1] \times [-1, 1]$.

Despre `glm::ortho` - cerința (i) L3. Codul sursă `03_03_resize.cpp`

- Dorim să desenăm o scenă 2D cu vârfuri având coordonata x între *xmin* și *xmax* și coordonata y între *ymin* și *ymax*. Se aplică funcția `glm::ortho(xmin, xmax, ymin, ymax)`. În codul sursă: $xmin = -400, xmax = 500, ymin = -200, ymax = 400$. Efectul funcției este transformarea dreptunghiului "decupat" $[xmin, xmax] \times [ymin, ymax]$ în dreptunghiul "standard" $[-1, 1] \times [-1, 1]$.
- Funcția `glm::ortho` este dată de compunerea dintre o translație și o scalare. **Atenție la ordine!**

Despre `glm::ortho` - cerința (i) L3. Codul sursă `03_03_resize.cpp`



"dreptunghi decupat"

(x_c, y_c) → centrul dreptunghiului

$x_c = \frac{x_{min} + x_{max}}{2}$ $\quad y_c = \frac{y_{min} + y_{max}}{2}$

- "recentrăm": $T(-x_c, -y_c) \Rightarrow M_T$

(⇒ dreptunghi cu centrul în origine)

- "scalăm": S cu factori $\frac{2}{\Delta x}, \frac{2}{\Delta y}$ $\Rightarrow M_S$

$\Rightarrow$ matricea $M_S * M_T$

Obs. importantă: Rotațiile și scalările au originea punct fix. Dacă dorim să aplicăm o rotație sau o scalare cu centru oarecare, avem de realizat o compunere:

fie C centrul rotației

- aplicăm translația de vector $\overrightarrow{OC}$: $T_{\overrightarrow{OC}}(M_1)$
- aplicăm rotația / scalarea (M_2)
- aplicăm translația de vector $\overrightarrow{OC}$: $T_{\overrightarrow{OC}}(M_3)$

$\Longrightarrow$ matricea $M_3 \cdot M_2 \cdot M_1$