

Grafica pe calculator. Preliminarii

Mihai-Sorin Stupariu

Sem. I, 2024 - 2025

Motivație

Aspecte introductive

Despre OpenGL

Exemple de programe

De ce un curs de grafică? / Aplicații?

► Filme.

De ce un curs de grafică? / Aplicații?

- ▶ Filme.
- ▶ Dezvoltarea de jocuri.

De ce un curs de grafică? / Aplicații?

- ▶ Filme.
- ▶ Dezvoltarea de jocuri.
- ▶ Imagistică medicală.

Ce înseamnă un curs de grafică?

- ▶ **Abordări posibile:**

Ce înseamnă un curs de grafică?

► Abordări posibile:

- background + dezvoltare “low level” (de exemplu *OpenGL*)

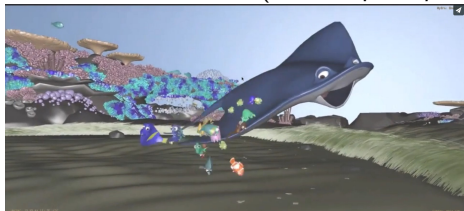


Figura: Sursa: <https://www.iamag.co/real-time-graphics-in-pixar-film-production/>

Ce înseamnă un curs de grafică?

► Abordări posibile:

- background + dezvoltare “low level” (de exemplu *OpenGL*)

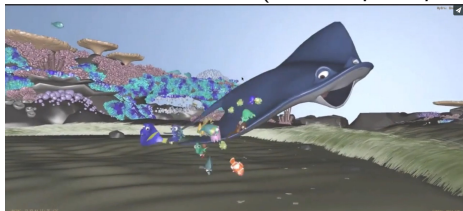


Figura: Sursa: <https://www.iamag.co/real-time-graphics-in-pixar-film-production/>

- tehnologii dedicate (de exemplu *Unity*)

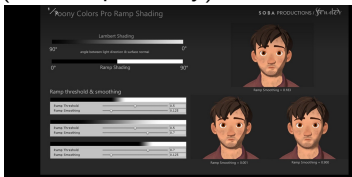


Figura: Sursa: <https://unity.com/madewith/sonder>

Cunoștințe necesare?

- ▶ cunoștințe elementare de programare în C++ (inclusiv utilizarea unui mediu de dezvoltare integrat) - vom folosi [Microsoft Visual Studio](#);
- ▶ elemente de bază de Algebră liniară și Geometrie analitică.

Ce teme vom aborda la curs+laborator? Care ar fi obiectivul?

- Primitive grafice

Ce teme vom aborda la curs+laborator? Care ar fi obiectivul?

- Primitive grafice
- Transformări

Ce teme vom aborda la curs+laborator? Care ar fi obiectivul?

- Primitive grafice
- Transformări
- Texturare

Ce teme vom aborda la curs+laborator? Care ar fi obiectivul?

- Primitive grafice
- Transformări
- Texturare
- Reprezentarea scenelor 3D

Ce teme vom aborda la curs+laborator? Care ar fi obiectivul?

- Primitive grafice
- Transformări
- Texturare
- Reprezentarea scenelor 3D
- Iluminare

Ce teme vom aborda la curs+laborator? Care ar fi obiectivul?

- Primitive grafice
- Transformări
- Texturare
- Reprezentarea scenelor 3D
- Iluminare
- Efecte vizuale

Ce teme vom aborda la curs+laborator? Care ar fi obiectivul?

- Primitive grafice
- Transformări
- Texturare
- Reprezentarea scenelor 3D
- Iluminare
- Efecte vizuale
- **Ideal: la finalul cursului să puteți dezvolta o aplicație complexă 3D**

Resurse

- Site-ul oficial OpenGL

Resurse

► Site-ul oficial OpenGL

► Cărți:

- D. Hearn, M. Baker, W. Carithers, *Computer Graphics with OpenGL* (4th edition), Pearson Education, 2015.
- J. Kessenich, G. Sellers, D. Shreiner, *The Official Guide to Learning OpenGL, Version 4.5 with SPIR-V* (9th edition), Addison Wesley, 2016.
- D. Shreiner, G. Sellers, J. Kessenich, B. Licea-Kane [OpenGL Programming Guide](#) (9th edition), Addison Wesley, 2016.
- G. Sellers, R. S. Wright Jr., N. Haemel, [OpenGL: SuperBible. Comprehensive Tutorial and Reference](#) (7th ed.), Addison-Wesley, 2015.
- V. Scott Gordon, J. Clevenger, *Computer Graphics Programming in OpenGL* (3rd edition), Mercury Learning and Information, 2024.

Resurse

► Site-ul oficial OpenGL


► Cărți:

- D. Hearn, M. Baker, W. Carithers, *Computer Graphics with OpenGL* (4th edition), Pearson Education, 2015.
- J. Kessenich, G. Sellers, D. Shreiner, *The Official Guide to Learning OpenGL, Version 4.5 with SPIR-V* (9th edition), Addison Wesley, 2016.
- D. Shreiner, G. Sellers, J. Kessenich, B. Licea-Kane *OpenGL Programming Guide* (9th edition), Addison Wesley, 2016.
- G. Sellers, R. S. Wright Jr., N. Haemel, *OpenGL: SuperBible. Comprehensive Tutorial and Reference* (7th ed.), Addison-Wesley, 2015.
- V. Scott Gordon, J. Clevenger, *Computer Graphics Programming in OpenGL* (3rd edition), Mercury Learning and Information, 2024.

► Cărți / tutoriale online:

- <http://learnopengl.com/>
- <http://www.opengl-tutorial.org/>
- D. Eck, *Introduction to Computer Graphics*
- <http://nehe.gamedev.net/>
- A. Gerdalan - *OpenGL 4 tutorials*;
- etc.



Visual Studio | 



Mediu de dezvoltare /
limbaj de programare

API grafica - biblioteci / unelte



Placa grafica

Elemente generale

- ▶ OpenGL este o interfață de programare (Application Programming Interface API).

Elemente generale

- ▶ OpenGL este o interfață de programare (Application Programming Interface API).
- ▶ OpenGL **nu** este un limbaj de programare (există GLSL - limbaj pentru unitățile programabile de tip *shader*).

Elemente generale

- ▶ OpenGL este o interfață de programare (Application Programming Interface API).
- ▶ OpenGL **nu** este un limbaj de programare (există GLSL - limbaj pentru unitățile programabile de tip *shader*).
- ▶ OpenGL generează un buffer de cadru (*frame buffer*), apoi este realizat transferul conținutului buffer-ului pe ecran. Pentru a funcționa are nevoie de o serie de biblioteci (exemple: *GLUT*, **freeglut**, *GLFW*) - gestionarea ferestrelor. Este necesară și o bibliotecă pentru gestionarea noilor funcționalități - *extension library* (exemple: **GLEW**, *GL3W*, *GLAD*).

Elemente generale

- ▶ OpenGL este o interfață de programare (Application Programming Interface API).
- ▶ OpenGL **nu** este un limbaj de programare (există GLSL - limbaj pentru unitățile programabile de tip *shader*).
- ▶ OpenGL generează un buffer de cadru (*frame buffer*), apoi este realizat transferul conținutului buffer-ului pe ecran. Pentru a funcționa are nevoie de o serie de biblioteci (exemple: *GLUT*, **freeglut**, *GLFW*) - gestionarea ferestrelor. Este necesară și o bibliotecă pentru gestionarea noilor funcționalități - *extension library* (exemple: **GLEW**, *GL3W*, *GLAD*).
- ▶ Alte biblioteci: funcții matematice (**glm**) și texturi (**SOIL**).

Elemente generale

- ▶ OpenGL este o interfață de programare (Application Programming Interface API).
- ▶ OpenGL **nu** este un limbaj de programare (există GLSL - limbaj pentru unitățile programabile de tip *shader*).
- ▶ OpenGL generează un buffer de cadru (*frame buffer*), apoi este realizat transferul conținutului buffer-ului pe ecran. Pentru a funcționa are nevoie de o serie de biblioteci (exemple: *GLUT*, **freeglut**, *GLFW*) - gestionarea ferestrelor. Este necesară și o bibliotecă pentru gestionarea noilor funcționalități - *extension library* (exemple: **GLEW**, *GL3W*, *GLAD*).
- ▶ Alte biblioteci: funcții matematice (**glm**) și texturi (**SOIL**).
- ▶ Laborator: [template](#) care are integrate aceste biblioteci.

Elemente generale

- ▶ OpenGL este o interfață de programare (Application Programming Interface API).
- ▶ OpenGL **nu** este un limbaj de programare (există GLSL - limbaj pentru unitățile programabile de tip *shader*).
- ▶ OpenGL generează un buffer de cadru (*frame buffer*), apoi este realizat transferul conținutului buffer-ului pe ecran. Pentru a funcționa are nevoie de o serie de biblioteci (exemple: *GLUT*, **freeglut**, *GLFW*) - gestionarea ferestrelor. Este necesară și o bibliotecă pentru gestionarea noilor funcționalități - *extension library* (exemple: **GLEW**, *GL3W*, *GLAD*).
- ▶ Alte biblioteci: funcții matematice (**glm**) și texturi (**SOIL**).
- ▶ Laborator: [template](#) care are integrate aceste biblioteci.
- ▶ Arhitectura de tip *client-server* (CPU-GPU) - element cheie: “comunicarea” dintre cele două componente *hardware*.

Elemente generale

- ▶ OpenGL este o interfață de programare (Application Programming Interface API).
- ▶ OpenGL **nu** este un limbaj de programare (există GLSL - limbaj pentru unitățile programabile de tip *shader*).
- ▶ OpenGL generează un buffer de cadru (*frame buffer*), apoi este realizat transferul conținutului buffer-ului pe ecran. Pentru a funcționa are nevoie de o serie de biblioteci (exemple: *GLUT*, **freeglut**, *GLFW*) - gestionarea ferestrelor. Este necesară și o bibliotecă pentru gestionarea noilor funcționalități - *extension library* (exemple: **GLEW**, *GL3W*, *GLAD*).
- ▶ Alte biblioteci: funcții matematice (**glm**) și texturi (**SOIL**).
- ▶ Laborator: [template](#) care are integrate aceste biblioteci.
- ▶ Arhitectura de tip *client-server* (CPU-GPU) - element cheie: “comunicarea” dintre cele două componente *hardware*.
- ▶ Versiunea suportată depinde de placa grafică a calculatorului - se poate folosi codul sursă `01_00_test_version.cpp`.

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”
- ▶ 1992: OpenGL Architecture Review Board (elaborarea specificațiilor)

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”
- ▶ 1992: OpenGL Architecture Review Board (elaborarea specificațiilor)
- ▶ 1997: versiunea 1.1

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”
- ▶ 1992: OpenGL Architecture Review Board (elaborarea specificațiilor)
- ▶ 1997: versiunea 1.1
- ▶ 2002/2003: versiunile 1.4, 1.5; GLSL (GL Shading Language) apare ca o extensie a funcționalității de bază

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”
- ▶ 1992: OpenGL Architecture Review Board (elaborarea specificațiilor)
- ▶ 1997: versiunea 1.1
- ▶ 2002/2003: versiunile 1.4, 1.5; GLSL (GL Shading Language) apare ca o extensie a funcționalității de bază
- ▶ 2004: **OpenGL 2.0; GLSL 1.10.59 inclus în “core”**

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”
- ▶ 1992: OpenGL Architecture Review Board (elaborarea specificațiilor)
- ▶ 1997: versiunea 1.1
- ▶ 2002/2003: versiunile 1.4, 1.5; GLSL (GL Shading Language) apare ca o extensie a funcționalității de bază
- ▶ 2004: **OpenGL 2.0; GLSL 1.10.59 inclus în “core”**
- ▶ 2008: OpenGL 3.0: conceptul de “funcționalități depreciate”, legate de modul de redare imediat; mecanismul de depreciere a fost implementat / extins în 2009, când au fost lansate versiunile 3.1 și 3.2

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”
- ▶ 1992: OpenGL Architecture Review Board (elaborarea specificațiilor)
- ▶ 1997: versiunea 1.1
- ▶ 2002/2003: versiunile 1.4, 1.5; GLSL (GL Shading Language) apare ca o extensie a funcționalității de bază
- ▶ 2004: **OpenGL 2.0; GLSL 1.10.59 inclus în “core”**
- ▶ 2008: OpenGL 3.0: conceptul de “funcționalități depreciate”, legate de modul de redare imediat; mecanismul de depreciere a fost implementat / extins în 2009, când au fost lansate versiunile 3.1 și 3.2
- ▶ 2010: OpenGL 3.3 (hardware care suportă Direct3D 10); OpenGL 4.0 (hardware care suportă Direct3D 11); numerotarea versiunilor de GLSL este “sincronizată” (GLSL v. 3.30.6, respectiv v. 4.00.9)

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”
- ▶ 1992: OpenGL Architecture Review Board (elaborarea specificațiilor)
- ▶ 1997: versiunea 1.1
- ▶ 2002/2003: versiunile 1.4, 1.5; GLSL (GL Shading Language) apare ca o extensie a funcționalității de bază
- ▶ 2004: **OpenGL 2.0; GLSL 1.10.59 inclus în “core”**
- ▶ 2008: OpenGL 3.0: conceptul de “funcționalități depreciate”, legate de modul de redare imediat; mecanismul de depreciere a fost implementat / extins în 2009, când au fost lansate versiunile 3.1 și 3.2
- ▶ 2010: OpenGL 3.3 (hardware care suportă Direct3D 10); OpenGL 4.0 (hardware care suportă Direct3D 11); numerotarea versiunilor de GLSL este “sincronizată” (GLSL v. 3.30.6, respectiv v. 4.00.9)
- ▶ 2014 OpenGL 4.5 (respectiv GLSL 4.50)

Scurt istoric

- ▶ 1992: versiunea 1.0 a OpenGL (derivat din IRIS GL), lansat de SGI; “open standard”
- ▶ 1992: OpenGL Architecture Review Board (elaborarea specificațiilor)
- ▶ 1997: versiunea 1.1
- ▶ 2002/2003: versiunile 1.4, 1.5; GLSL (GL Shading Language) apare ca o extensie a funcționalității de bază
- ▶ 2004: **OpenGL 2.0; GLSL 1.10.59 inclus în “core”**
- ▶ 2008: OpenGL 3.0: conceptul de “funcționalități depreciate”, legate de modul de redare imediat; mecanismul de depreciere a fost implementat / extins în 2009, când au fost lansate versiunile 3.1 și 3.2
- ▶ 2010: OpenGL 3.3 (hardware care suportă Direct3D 10); OpenGL 4.0 (hardware care suportă Direct3D 11); numerotarea versiunilor de GLSL este “sincronizată” (GLSL v. 3.30.6, respectiv v. 4.00.9)
- ▶ 2014 OpenGL 4.5 (respectiv GLSL 4.50)
- ▶ 2017 OpenGL 4.6 (respectiv GLSL 4.60)

Biblioteci utilizate de OpenGL/freeglut și funcții asociate

- ▶ bibliotecă fundamentală (core library): este independentă de platforma pe care se lucrează; funcțiile corespunzătoare au prefixul `gl`. De exemplu: (i) `glClearColor ()`; `glFlush ()`; – comune;
(ii) `glVertex ()`; `glColor ()`; `glBegin ()` – depreciate;
(iii) `glGenVertexArrays ()`; `glDrawArrays ()` – OpenGL nou.

Biblioteci utilizate de OpenGL/freeglut și funcții asociate

- ▶ bibliotecă fundamentală (core library): este independentă de platforma pe care se lucrează; funcțiile corespunzătoare au prefixul `gl`. De exemplu: (i) `glClearColor ()`; `glFlush ()`; – comune;
(ii) `glVertex ()`; `glColor ()`; `glBegin ()` – depreciate;
(iii) `glGenVertexArrays ()`; `glDrawArrays ()` – OpenGL nou.
- ▶ GLU (OpenGL Utility): conține mai ales proceduri / funcții legate de proiecție, precum și funcții pentru conice și quadrice; funcțiile asociate au prefixul `glu`

Biblioteci utilizate de OpenGL/freeglut și funcții asociate

- ▶ bibliotecă fundamentală (core library): este independentă de platforma pe care se lucrează; funcțiile corespunzătoare au prefixul `gl`. De exemplu: (i) `glClearColor ()`; `glFlush ()`; – comune; (ii) `glVertex ()`; `glColor ()`; `glBegin ()` – depreciate; (iii) `glGenVertexArrays ()`; `glDrawArrays ()` – OpenGL nou.
- ▶ GLU (OpenGL Utility): conține mai ales proceduri / funcții legate de proiecție, precum și funcții pentru conice și quadrice; funcțiile asociate au prefixul `glu`
- ▶ GLUT (OpenGL Utility Toolkit) / freeglut: bibliotecă *dependentă de sistem*, utilizată pentru a realiza fereastra de vizualizare; poate interacționa cu sisteme de operare bazate pe ferestre de vizualizare; funcțiile specifice au prefixul `glut`. Există și alte biblioteci / pachete, cum ar fi GLFW.

Exemplu de program care utilizează OpenGL “vechi”

Codul sursă 01_01_varfuri_triunghi_OLD.cpp

// Directive preprocesare

Exemplu de program care utilizează OpenGL “vechi”

Codul sursă 01_01_varfuri_triunghi_OLD.cpp

```
// Directive preprocesare
```

```
// Procedură inițializare — init
```

Exemplu de program care utilizează OpenGL “vechi”

Codul sursă 01_01_varfuri_triunghi_OLD.cpp

```
// Directive preprocesare  
// Procedură inițializare — init  
// Procedură desen — desen
```

Exemplu de program care utilizează OpenGL “vechi”

Codul sursă 01_01_varfuri_triunghi_OLD.cpp

```
// Directive preprocesare  
// Procedură inițializare — init  
// Procedură desen — desen  
// Main
```

Exemplu de program care utilizează OpenGL “vechi”

Codul sursă 01_01_varfuri_triunghi_OLD.cpp

```
// Directive preprocesare
// Procedură inițializare — init
// Procedură desen — desen
// Main
    // Inițializări GLUT
    // Generare fereastră
    // Apelare procedură inițializare
    // Apelare procedură desen
    // Apelare glutMainLoop
```

Exemplu de program care utilizează OpenGL “nou”

Codul sursă 01_02_varfuri_triunghi.cpp

// Directive preprocesare

Exemplu de program care utilizează OpenGL “nou”

Codul sursă 01_02_varfuri_triunghi.cpp

// Directive preprocesare

// Shader-e, date (coordonate, culori)

Exemplu de program care utilizează OpenGL “nou”

Codul sursă 01_02_varfuri_triunghi.cpp

```
// Directive preprocesare  
// Shader-e, date (coordonate, culori)  
// Proceduri (inițializare, desen)
```

Exemplu de program care utilizează OpenGL “nou”

Codul sursă 01_02_varfuri_triunghi.cpp

```
// Directive preprocesare  
// Shader-e, date (coordonate, culori)  
// Proceduri (inițializare, desen)  
// Main
```


Exemplu de program care utilizează OpenGL “nou”

Codul sursă 01_02_varfuri_triunghi.cpp

```
// Directive preprocesare
// Shader-e, date (coordonate, culori)
// Proceduri (inițializare, desen)
// Main
    // Inițializări GLUT
    // Generare fereastră
    // Apelare procedură inițializare
        // Creare VBO / VAO
        // Creare / Apelare shader-e
```

Exemplu de program care utilizează OpenGL “nou”

Codul sursă 01_02_varfuri_triunghi.cpp

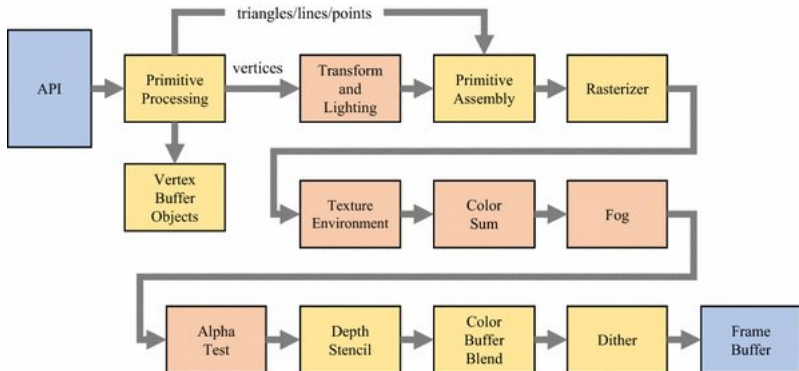
```
// Directive preprocesare
// Shader-e, date (coordonate, culori)
// Proceduri (inițializare, desen)
// Main
    // Inițializări GLUT
    // Generare fereastră
    // Apelare procedură inițializare
        // Creare VBO / VAO
        // Creare / Apelare shader-e
    // Apelare procedură desen
```

Exemplu de program care utilizează OpenGL “nou”

Codul sursă 01_02_varfuri_triunghi.cpp

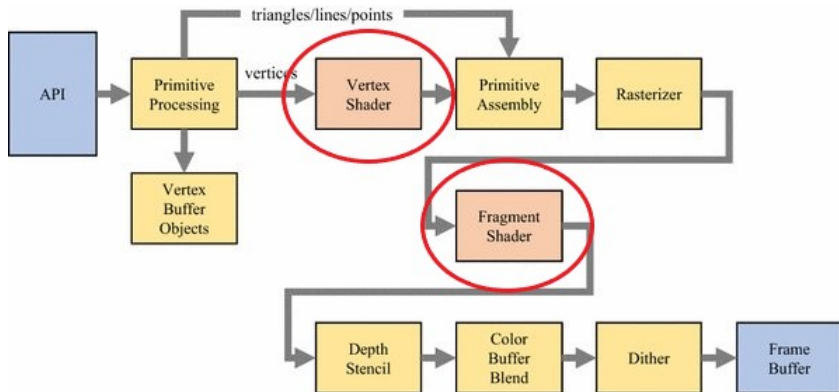
```
// Directive preprocesare
// Shader-e, date (coordonate, culori)
// Proceduri (inițializare, desen)
// Main
    // Inițializări GLUT
    // Generare fereastră
    // Apelare procedură inițializare
        // Creare VBO / VAO
        // Creare / Apelare shader-e
    // Apelare procedură desen
    // Ștergere Shader-e, VBO / VAO
    // Apelare glutMainLoop
```

“Fixed *versus* programmable pipeline”



Sursa: Baek and Kim, 2019

“Fixed *versus* programmable pipeline”



Sursa: Baek and Kim, 2019