OpenGL

Fiksna funkcionalnost

Čas 1

Šta je OpenGL?

OpenGL je softverski interfejs prema grafičkom hardveru.

Interfejs (u verziji 4.5) čini preko 500 komandi

omogućujući specificiranje objekata i operacija za kreiranje interaktivnih 3D aplikacija.

Započet razvoj: 1992.

Verzija 1.1 (1996.god., Impl.1997.god.)

Tekuća verzija: 4.6 (2017.god.)

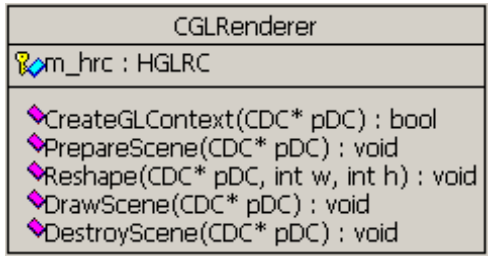
Verzija	Datum objavljivanja	Važna novina
OpenGL 1.0	1. jul 1992.	Iris GL
OpenGL 1.1	1996/97.	*Vertex Array*, *Texture Objects*, ...
OpenGL 1.2	16. mart 1998.	*3D Texturing*, BGRA *Pixel Formats*, ...
OpenGL 1.2.1	14. oktobar 1998.	Uvode se ARB ekstenzije i *multitexture*
OpenGL 1.3	14. avgust 2001.	*Compressed Textures*, *Cube Map Textures*, *Multisample*, *Multitexture* …
OpenGL 1.4	24. jul 2002.	*Depth Textures and Shadows*, *Fog Coordinate*, *Multiple Draw Arrays*, ... usvojena nova ekstenzija ***ARB vertex program*** (najava novog doba)
OpenGL 1.5	29. jul 2003.	*Buffer Objects*, *Shadow Functions*, ..., i nove ekstenzije ***ARB shader objects***, ***ARB vertex shader*** i ***ARB fragment shader***
OpenGL 2.0	7. septembar 2004.	***OpenGL Shading Language*** (verzije 1.10 i novije), teksture ne moraju biti dimenzija 2^N, *Point Sprites*,...
OpenGL 2.1	30. jul 2006.	OpenGL *Shading Language* verzija 1.20, nekvadratne matrice, *Pixel Buffer Object*…
OpenGL 3.0	11. avgust 2008.	OpenGL *Shading Language* verzija 1.30, uslovni rendering, novi *rendering context*…
OpenGL 3.1	24. mart 2009.	OpenGL *Shading Language* verzija 1.40, raskidanje kompatibilnosti sa prethodnim verzijama…
OpenGL 3.2	3. avgust 2009.	OpenGL *Shading Language* verzija 1.50, geometry shader, blokovi parametara, profili…

Šta je potrebno da bi se koristio OpenGL pod Windowsom?

- skup biblioteka (***opengl32.lib***, ***glu32.lib***, a poželjno je i ***glaux.lib*** i ***glut.lib***),
- zaglavlja (***gl.h***, ***glu.h***, ***glaux.h***, ***glut.h***),
- *run-time* biblioteka (***OpenGL32.dll***) – mora biti iste verzije kao i biblioteke, ili novija, i
- klijentski drajver (***Installable Client Driver - IDC***) – dolazi uz drajver grafičke kartice i omogućuje hardversku akceleraciju i dodatne funkcije

Priprema Visual C++ projekta za rad sa OpenGL-om

Sve funkcije vezane za OpenGL grupisaćemo u jednu klasu, nazvanu **CGLRenderer**:



- atributi
  - HGLRC **m_hrc** – *OpenGL Rendering Context* (OpenGL server koji vrši iscrtavanje)
- metode
  - *bool* **CreateGLContext**(CDC* *pDC*) – kreira *OpenGL Rendering Context*,
  - *void* **PrepareScene**(CDC* *pDC*) – inicijalizuje scenu,
  - *void* **DestroyScene**(CDC* *pDC*) – oslobađa resurse alocirane u drugim funkcijama ove klase,
  - *void* **Reshape**(CDC* *pDC*, int *w*, int *h*) – kod koji treba da se izvrši svaki put kada se promeni veličina prozora ili pogleda i
  - *void* **DrawScene**(CDC* *pDC*) – iscrtava scenu

bool CGLRenderer::CreateGLContext(CDC* pDC)

```
bool CGLRenderer::CreateGLContext(CDC* pDC)
{
        PIXELFORMATDESCRIPTOR pfd ;
        memset(&pfd, 0, sizeof(PIXELFORMATDESCRIPTOR));
        pfd.nSize  = sizeof(PIXELFORMATDESCRIPTOR);
        pfd.nVersion   = 1;
        pfd.dwFlags    = PFD_DOUBLEBUFFER | PFD_SUPPORT_OPENGL | PFD_DRAW_TO_WINDOW;
        pfd.iPixelType = PFD_TYPE_RGBA;
        pfd.cColorBits = 32;
        pfd.cDepthBits = 32;
        pfd.iLayerType = PFD_MAIN_PLANE;

        int nPixelFormat = ChoosePixelFormat(pDC->m_hDC, &pfd);

        if (nPixelFormat == 0) return false;

        BOOL bResult = SetPixelFormat (pDC->m_hDC, nPixelFormat, &pfd);

        if (!bResult) return false;

        m_hrc = wglCreateContext(pDC->m_hDC);

        if (!m_hrc) return false;

        return true;
}
```

Korišćene funkcije

int ChoosePixelFormat(HDC hdc, CONST PIXELFORMATDESCRIPTOR * ppfd)
hdc – handle DC-a u kome se traži format piksela najpribližniji zadatom *ppfd* – pokazivač na strukturu koja opisuje željeni format piksela Funkcija vraća indeks formata piksela najpribližniji zatatom formatu. Ukoliko ne uspe, funkcija vraća 0.
BOOL SetPixelFormat(HDC hdc, int iPixelFormat, CONST PIXELFORMATDESCRIPTOR * ppfd)
hdc – handle DC-a čiji se format piksela postavlja *iPixelFormat* – indeks koji određuje format piksela koji se postavlja *ppfd* – pokazivač na strukturu koja opisuje format piksela (uglavnom nema nikakvu ulogu pri ovom pozivu) Funkcija vraća TRUE, ukoliko postavljanje formata piksela uspe. U protivnom, vraća FALSE.

Korišćene funkcije

HGLRC wglCreateContext(HDC hdc)
hdc – handle DC-a za koji se kreira odgovarajući OpenGL *rendering context* Funkcija kreira OpenGL *rendering context* pogodan za iscrtavanje na uređaju čiji je DC prosleđen kao parametar. OpenGL *rendering context* ima isti format piksela kao i prosleđeni DC. Ako funkcija uspe, vraća *handle* kreiranog OpenGL *rendering context*-a . U protivnom, vraća NULL.
BOOL wglDeleteContext(HGLRC hglrc)
hglrc - *handle* OpenGL *rendering context* koji funkcija briše Funkcija briše OpenGL *rendering context* čiji je *handle* prosleđen. Ako uspe, funkcija vraća TRUE. U suprotnom vraća FALSE.

bool CGLRenderer::PrepareScene(CDC* pDC)

```
void CGLRenderer::PrepareScene(CDC *pDC)
{
        wglMakeCurrent(pDC->m_hDC, m_hrc);
        //--------------------------------
        glClearColor (1.0, 1.0, 1.0, 0.0);
        //--------------------------------
        wglMakeCurrent(NULL, NULL);
}
```

bool CGLRenderer::Reshape(CDC* pDC)

```
void CGLRenderer::Reshape(CDC *pDC, int w, int h)
{
        wglMakeCurrent(pDC->m_hDC, m_hrc);
        //--------------------------------
        glViewport (0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
        glMatrixMode (GL_PROJECTION);
        glLoadIdentity ();
        gluPerspective(40,(double)w/(double)h,1,100);
        glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
        //--------------------------------
        wglMakeCurrent(NULL, NULL);
}
```

bool CGLRenderer::DrawScene(CDC* pDC)

```
void CGLRenderer::DrawScene(CDC *pDC)
{
        wglMakeCurrent(pDC->m_hDC, m_hrc);
        //--------------------------------
        glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT);
        glLoadIdentity ();
        glBegin(GL_TRIANGLES);
                glColor3f(1.0, 0.0, 0.0); glVertex3f(-1.0, -1.0, -5.0);
                glColor3f(0.0, 1.0, 0.0); glVertex3f( 1.0, -1.0, -5.0);
                glColor3f(0.0, 0.0, 1.0); glVertex3f( 1.0,  1.0, -5.0);
        glEnd();
        glFlush ();
        //--------------------------------
        SwapBuffers(pDC->m_hDC);
        wglMakeCurrent(NULL, NULL);
}
```

bool CGLRenderer::DestroyScene(CDC* pDC)

```
void CGLRenderer::DestroyScene(CDC *pDC)
{
        wglMakeCurrent(pDC->m_hDC, m_hrc);
        // ...
        wglMakeCurrent(NULL,NULL);
        if(m_hrc)
        {
                wglDeleteContext(m_hrc);
                m_hrc = NULL;
        }
}
```

Korišćene funkcije

BOOL wglMakeCurrent(HDC hdc, HGLRC hglrc)
hdc – handle DC-a uređaja na kome će OpenGL funkcije koje slede vršiti iscrtavanje *hglrc - handle* OpenGL *rendering context*-a koji postaje tekući za nit koja je pozvala ovu funkciju Funkcija postavlja tekući OpenGL *rendering context* za nit koja je pozvala. Ako je ***hglrc*** NULL, funkcija oslobađa DC koji je do tada koristio OpenGL *rendering context*, i nakon toga deselektuje tekući *rendering context*.
BOOL SwapBuffers(HDC hdc)
hdc – handle DC-a čiji se baferi menjaju Funkcija zamenjuje prednji (*front*) i zadnji (*back*) bafer prozora, ako format piksela uključuje *back*-bafer. Funkcija vraća TRUE, ako uspe. U protivnom, vraća FALSE.

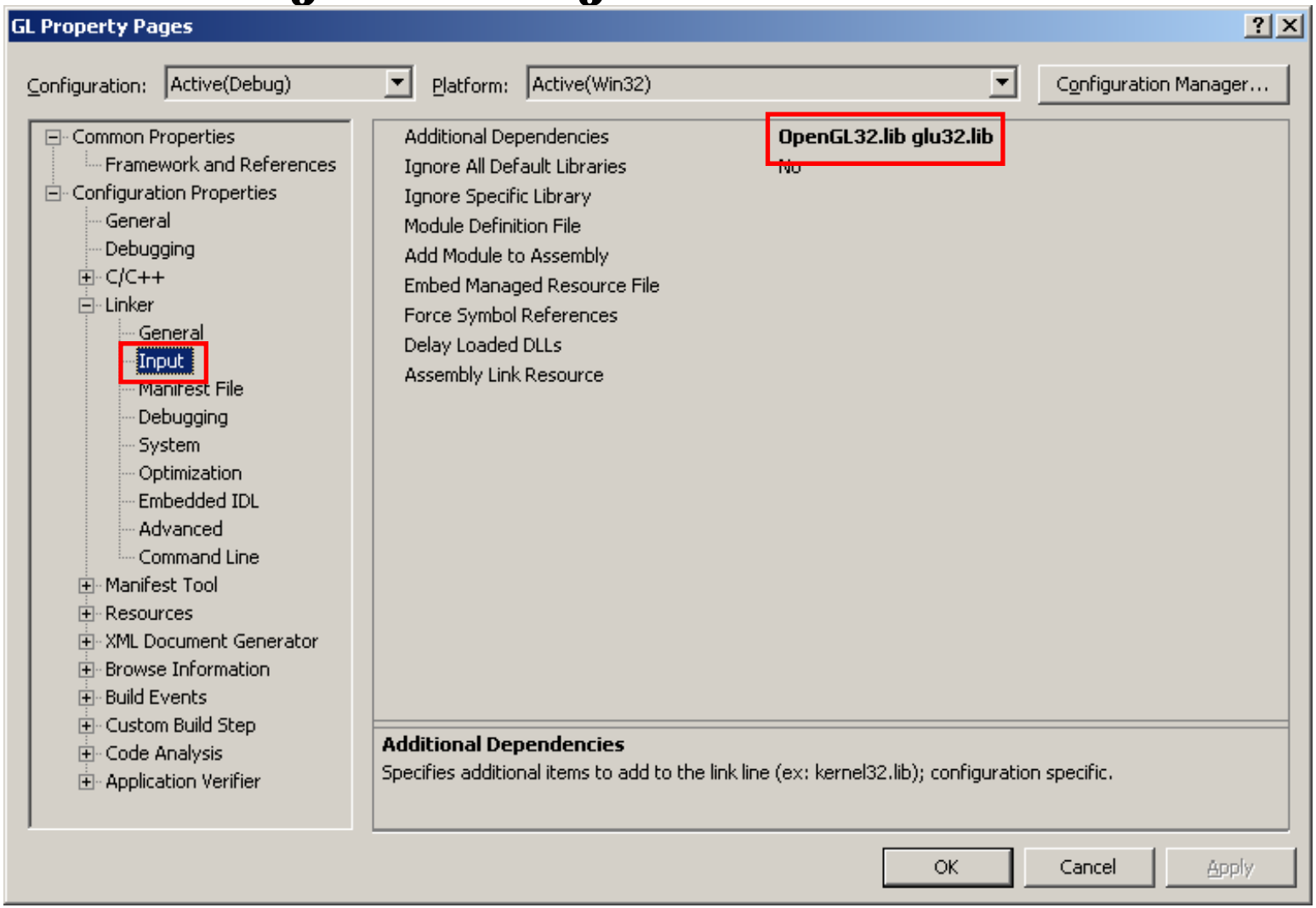
Deklaracije i linkovanje

- Deklaracije svih OpenGL funkcija nalaze se u dve datoteke: **gl.h** i **glu.h**.

- Dodati sledeća dva reda na početak **GLRenderer.cpp** datoteke:

```
#include <GL\gl.h>
#include <GL\glu.h>
```

Uključivanje biblioteka



Programsko linkovanje

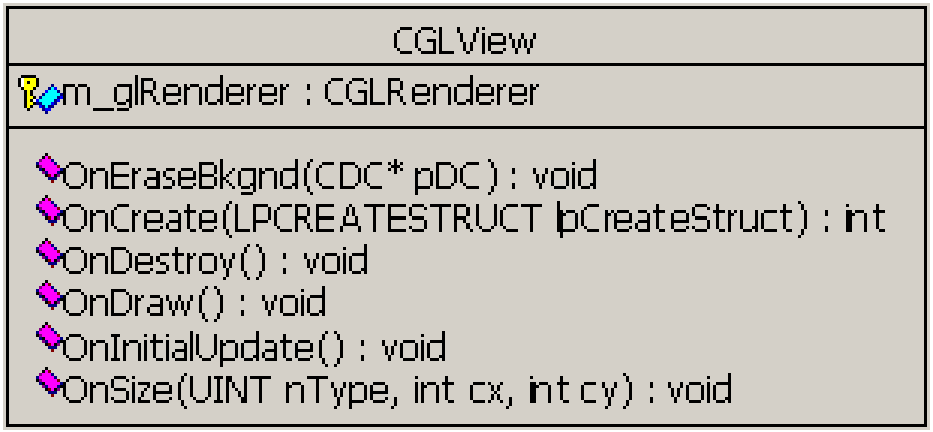
Drugi način je programsko uključivanje statičkih biblioteka pomoću direktive **#pragma**.
Na primer, za dodavanje podrške za OpenGL u datoteci **StdAfx.h** treba dodati sledeće linije koda:

```
#pragma comment (lib, "OpenGL32.lib")
#pragma comment (lib, "glu32.lib")
```

Ukoliko postoje različite verzije biblioteka (*release* i *debug*) uključivanje se obavlja na sledeći način:

```
#pragma message("Automatsko povezivanje biblioteke")
#ifndef _DEBUG
#pragma comment( lib, "lib_release.lib")
#else
#pragma comment( lib, "lib_debug.lib")
#endif
```

Povezivanjem sa klasom pogleda

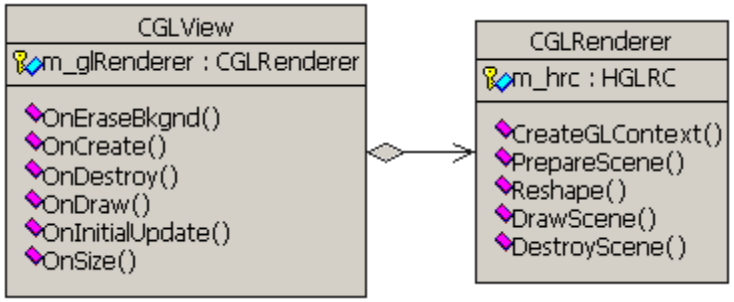


U zaglavlju klase CGLView dodati

```
protected:
        CGLRenderer m_glRenderer;
```

a ispred deklaracije klase CGLView

```
#include "GLRenderer.h"
```



Dodavanje metoda klase pogleda

- Potrebno je dodati rukovaoce za odgovarajuće Windows poruke (*message handlers*), i to:
  - **WM_CREATE**,
  - **WM_ERASEBKGND**,
  - **WM_SIZE** i
  - **WM_DESTROY**,
- i jednu predefinisanu funkciju okvira
  - **OnInitialUpdate**

int CGLView::OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct)

```
int COGLView::OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct)
{
        if (CView::OnCreate(lpCreateStruct) == -1)
                return -1;

        CDC* pDC = GetDC();
        m_glRenderer.CreateGLContext(pDC);
        ReleaseDC(pDC);

        return 0;
}
```

void CGLView::OnSize(UINT nType, int cx, int cy)

```
void CGLView::OnSize(UINT nType, int cx, int cy)
{
        CView::OnSize(nType, cx, cy);

        CDC* pDC = GetDC();
        m_glRenderer.Reshape(pDC, cx, cy);
        ReleaseDC(pDC);

}
```

void CGLView::OnDestroy( )

```
void CGLView::OnDestroy()
{
        CView::OnDestroy();

        CDC* pDC = GetDC();
        m_glRenderer.DestroyScene(pDC);
        ReleaseDC(pDC);

}
```

void CGLView::OnInitialUpdate( )

```
void CGLView::OnInitialUpdate()
{
        CView::OnInitialUpdate();

        CDC* pDC = GetDC();
        m_glRenderer.PrepareScene(pDC);
        ReleaseDC(pDC);

}
```

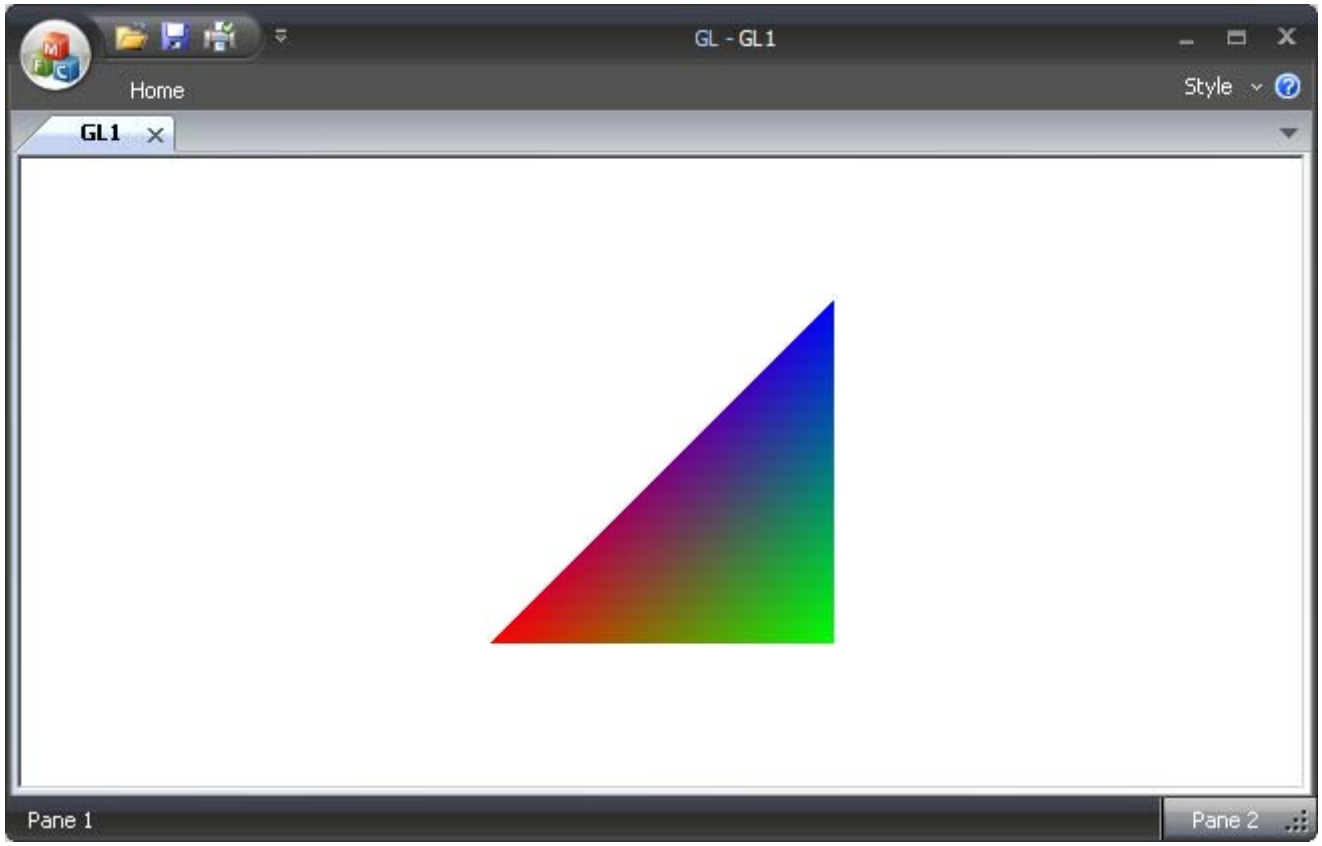
void CGLView::OnDraw(CDC* pDC)

```
void CGLView::OnDraw(CDC* pDC)
{
        CGLDoc* pDoc = GetDocument();
        ASSERT_VALID(pDoc);

        m_glRenderer.DrawScene(pDC);
}
```

void CGLView::OnEraseBkgnd(CDC* pDC)

```
BOOL CGLView::OnEraseBkgnd(CDC* pDC)
{
        return TRUE;
}
```

Prva aplikacija



Sintaksa OpenGL-a

Imena svih predefinisanih konstanti podležu sledećim pravilima:

- ispisane su isključivo velikim slovima,
- reči su povezane crticama za podvlačenje i
- imaju prefiks GL_.

GL_TRIANGLE_STRIP

Imena funkcija sastoje se od:

- prefiksa (gl – za funkcije iz jezgra OpenGL-a i glu – za funkcije iz *Utility Library*)
- smislenog naziva funkcije, pri čemu svaka reč počinje velikim slovom i
- sufiksa, koji se sastoji od:
  - broja parametara,
  - tipa parametara i
  - indikatora vektora.

glColor3f(red, green, blue);
glColor3fv(vec);

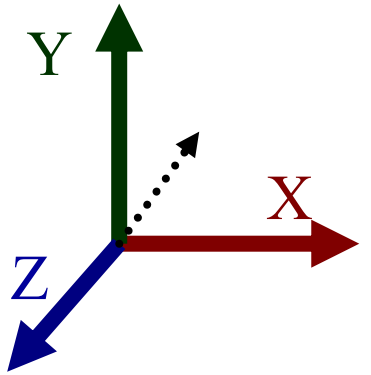
Tip argumenata funkcije

Slovo u sufiksu	Dužina podatka [b]	Tip u jeziku C	Tip u OpenGL-u
b	8	char	GLbyte
s	16	short	GLshort
i	32	int/long	GLint, GLsizei
f	32	float	GLfloat, GLclampf
d	64	double	GLdouble, GLclampd
ub	8	unsigned char	GLubyte, GLboolean
us	16	unsigned short	GLushort
ui	32	unsigned int/long	GLuint, GLenum, GLbitfield

```
void glColor3b( GLbyte red, GLbyte green, GLbyte blue );
void glColor3d( GLdouble red, GLdouble green, GLdouble blue );
void glColor3f( GLfloat red, GLfloat green, GLfloat blue );
void glColor3i( GLint red, GLint green, GLint blue );
void glColor3s( GLshort red, GLshort green, GLshort blue );
void glColor4f( GLfloat red, GLfloat green, GLfloat blue, GLfloat alpha );
void glColor4fv( const GLfloat *v );
```

Koordinatni sistem

- OpenGL koristi desni koordinatni sistem
  - X raste udesno
  - Y raste naviše
  - Z raste prema posmatraču

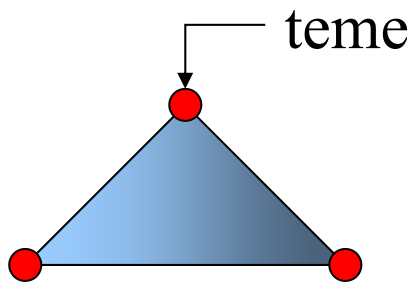


- Inicijalno posmatrač je u koordinatnom početku i gleda u pravcu negativne Z-ose

Temena

- Sve primitive definisane su preko temena
- Svako teme ima svoje prostorne koordinate (primarni atributi)
- Prostorne koordinate definišu se funkcijom **glVertex*()**

```
glVertex3f(-1.0, -2.0, -5.0);
```

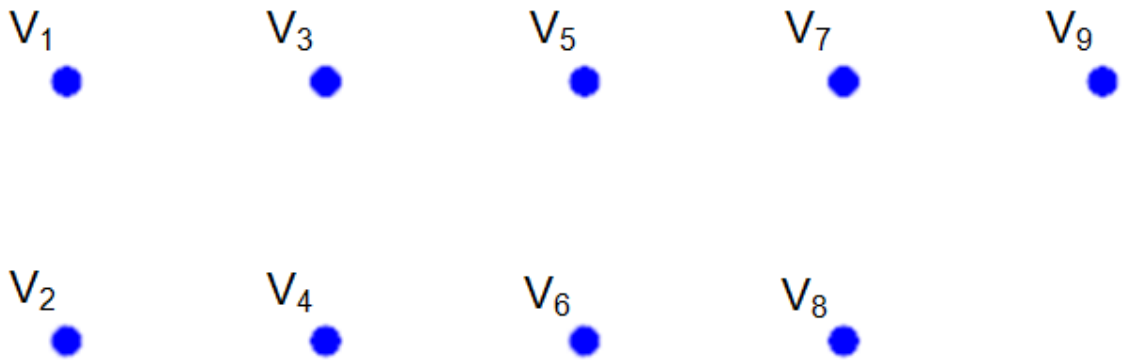


Tipovi primitiva

Parametar	Tip primitive
GL_POINTS	Pojedinačne tačke
GL_LINES	Pojedinačne duži, definisane sa po dve tačke
GL_LINE_STRIP	Serija međusobno povezanih duži
GL_LINE_LOOP	Serija međusobno povezanih duži, pri čemu su povezane i prva i poslednja, tako da formiraju petlju
GL_TRIANGLES	Pojedinačni trouglovi, definisani grupama od po 3 temena
GL_TRIANGLE_STRIP	Traka sačinjena od trouglova koji dele po jednu stranicu
GL_TRIANGLE_FAN	Lepeza sačinjena od trouglova
GL_QUADS	Pojedinačni četvorouglovi
GL_QUAD_STRIP	Traka sačinjena od četvorouglova
GL_POLIGON	Jednostavan konveksan poligon (višeugao)

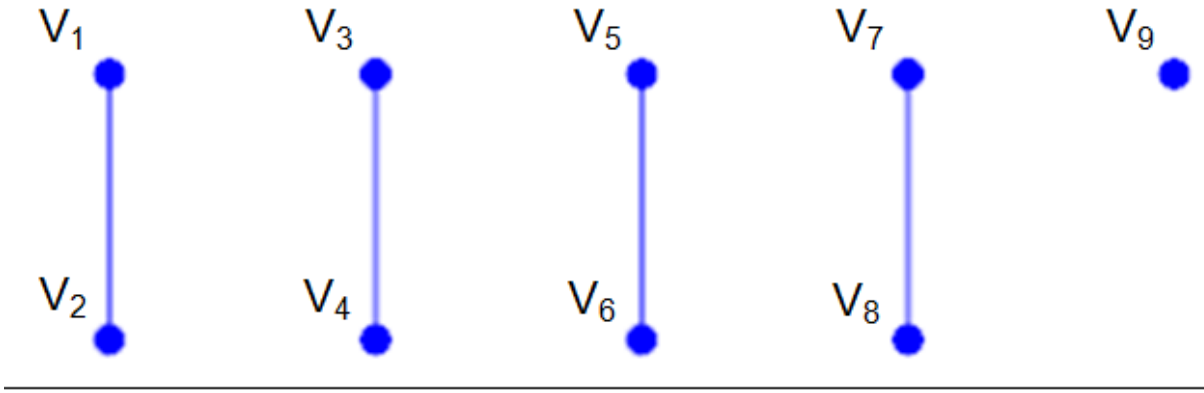
Pojedinačne tačke

```
glLineWidth(2.0);
glPointSize(10);
glBegin(GL_POINTS);
        glColor3f(0.5, 0.5, 1.0);
        glVertex2f(-2.0, 1.0); // V1
        glVertex2f(-2.0, 0.0); // V2
        glVertex2f(-1.0, 1.0); // V3
        glVertex2f(-1.0, 0.0); // V4
        glVertex2f( 0.0, 1.0); // V5
        glVertex2f( 0.0, 0.0); // V6
        glVertex2f( 1.0, 1.0); // V7
        glVertex2f( 1.0, 0.0); // V8
        glVertex2f( 2.0, 1.0); // V9
glEnd();
```



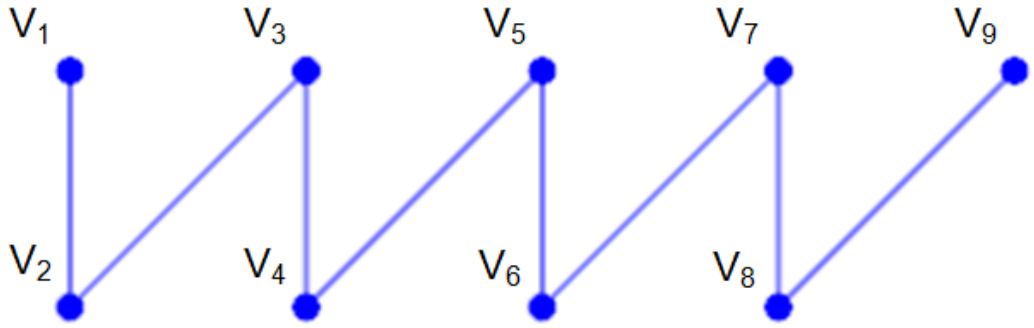
Duži

```
glLineWidth(2.0);
glPointSize(10);
glBegin(GL_LINES);
        glColor3f(0.5, 0.5, 1.0);
        glVertex2f(-2.0, 1.0); // V1
        glVertex2f(-2.0, 0.0); // V2
        glVertex2f(-1.0, 1.0); // V3
        glVertex2f(-1.0, 0.0); // V4
        glVertex2f( 0.0, 1.0); // V5
        glVertex2f( 0.0, 0.0); // V6
        glVertex2f( 1.0, 1.0); // V7
        glVertex2f( 1.0, 0.0); // V8
        glVertex2f( 2.0, 1.0); // V9
glEnd();
```



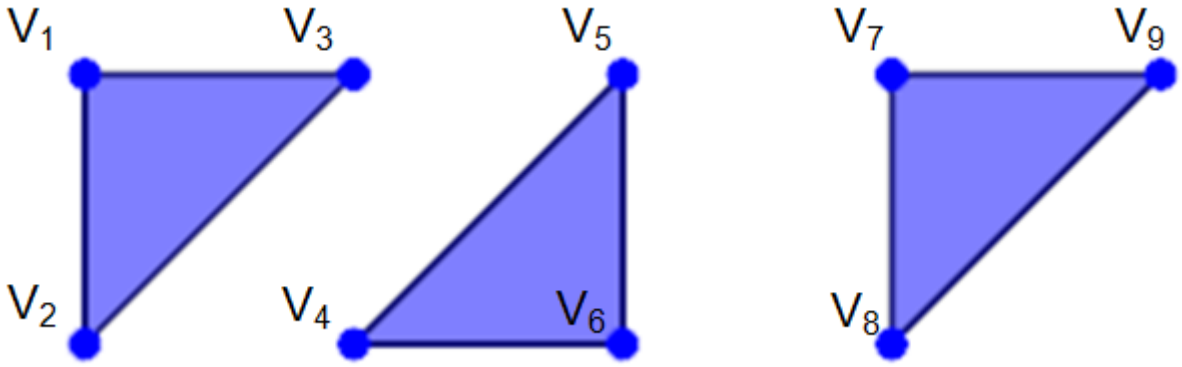
Polilinije

```
glLineWidth(2.0);
glPointSize(10);
glBegin(GL_LINE_STRIP);
        glColor3f(0.5, 0.5, 1.0);
        glVertex2f(-2.0, 1.0); // V1
        glVertex2f(-2.0, 0.0); // V2
        glVertex2f(-1.0, 1.0); // V3
        glVertex2f(-1.0, 0.0); // V4
        glVertex2f( 0.0, 1.0); // V5
        glVertex2f( 0.0, 0.0); // V6
        glVertex2f( 1.0, 1.0); // V7
        glVertex2f( 1.0, 0.0); // V8
        glVertex2f( 2.0, 1.0); // V9
glEnd();
```



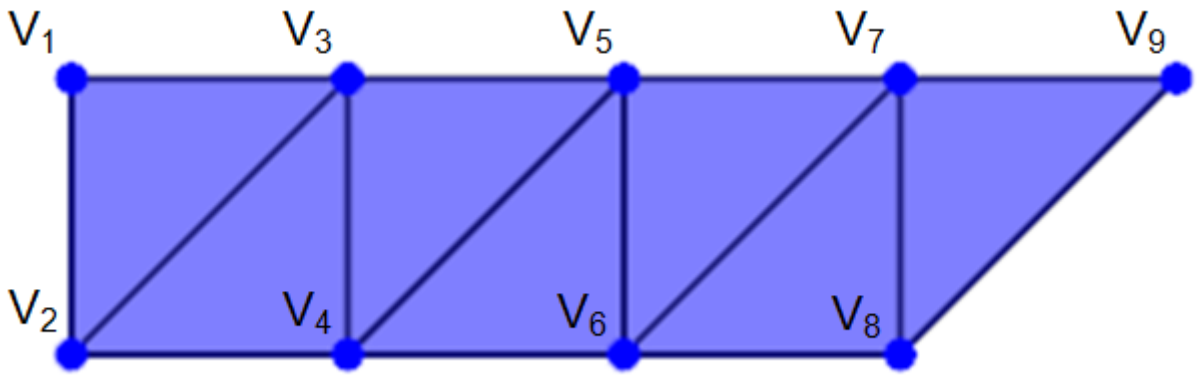
Trouglovi

```
glLineWidth(2.0);
glPointSize(10);
glBegin(GL_TRIANGLES);
        glColor3f(0.5, 0.5, 1.0);
        glVertex2f(-2.0, 1.0); // V1
        glVertex2f(-2.0, 0.0); // V2
        glVertex2f(-1.0, 1.0); // V3
        glVertex2f(-1.0, 0.0); // V4
        glVertex2f( 0.0, 1.0); // V5
        glVertex2f( 0.0, 0.0); // V6
        glVertex2f( 1.0, 1.0); // V7
        glVertex2f( 1.0, 0.0); // V8
        glVertex2f( 2.0, 1.0); // V9
glEnd();
```



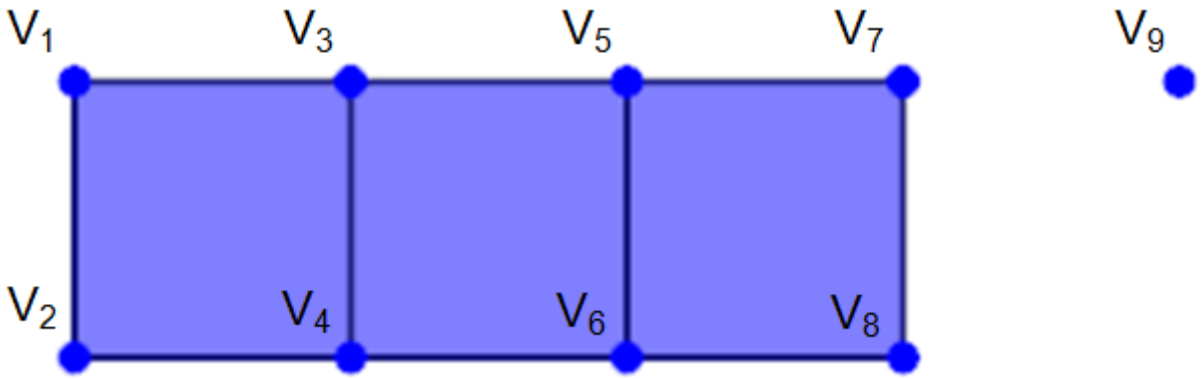
Trake trouglova

```
glLineWidth(2.0);
glPointSize(10);
glBegin(GL_TRIANGLE_STRIP);
      glColor3f(0.5, 0.5, 1.0);
      glVertex2f(-2.0, 1.0); // V1
      glVertex2f(-2.0, 0.0); // V2
      glVertex2f(-1.0, 1.0); // V3
      glVertex2f(-1.0, 0.0); // V4
      glVertex2f( 0.0, 1.0); // V5
      glVertex2f( 0.0, 0.0); // V6
      glVertex2f( 1.0, 1.0); // V7
      glVertex2f( 1.0, 0.0); // V8
      glVertex2f( 2.0, 1.0); // V9
glEnd();
```

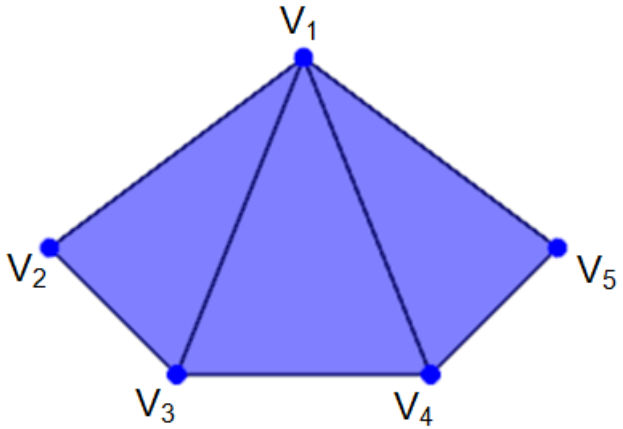


Trake četvorouglova

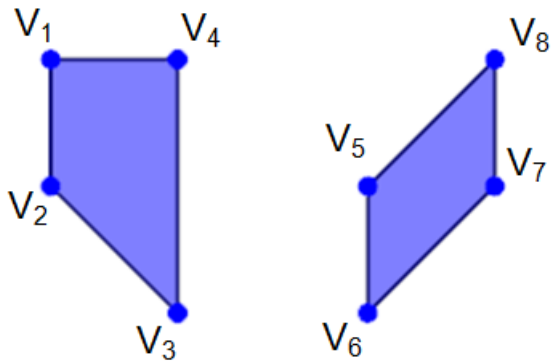
```
glLineWidth(2.0);
glPointSize(10);
glBegin(GL_QUAD_STRIP);
        glColor3f(0.5, 0.5, 1.0);
        glVertex2f(-2.0, 1.0); // V1
        glVertex2f(-2.0, 0.0); // V2
        glVertex2f(-1.0, 1.0); // V3
        glVertex2f(-1.0, 0.0); // V4
        glVertex2f( 0.0, 1.0); // V5
        glVertex2f( 0.0, 0.0); // V6
        glVertex2f( 1.0, 1.0); // V7
        glVertex2f( 1.0, 0.0); // V8
        glVertex2f( 2.0, 1.0); // V9
glEnd();
```



Ostale primitive

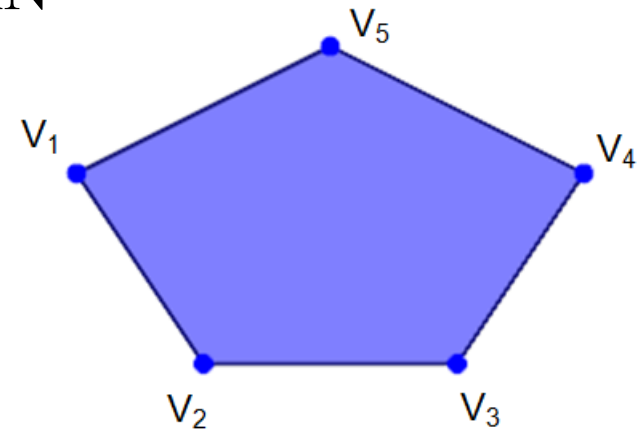


GL_TRIANGLE_FAN

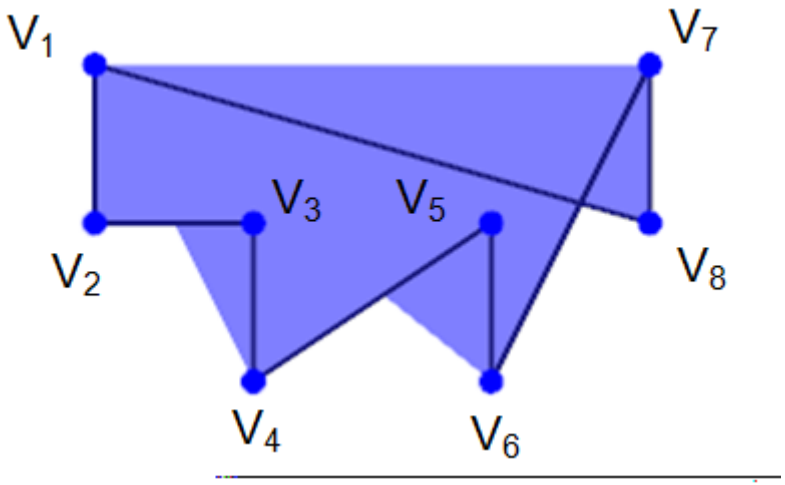


GL_QUADS

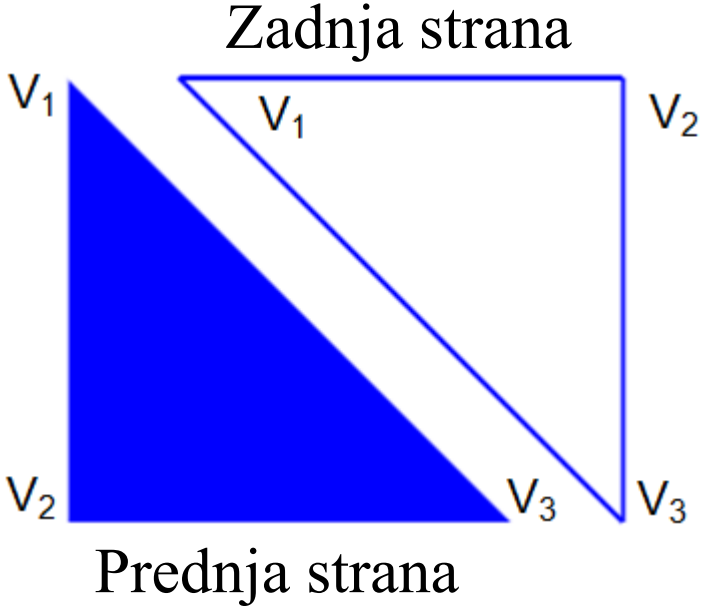
GL_POLYGON



Dodatne napomene



Nekonveksne figure
ne iscrtavaju se pravilno



Strana je određena redosledom
zadavanja temena

Način senčenja

```
glShadeModel(GL_SMOOTH);
glBegin(GL_TRIANGLES);
        glColor3f (1.0, 0.0, 0.0);
        glVertex3f (0.0,-1.0, 0.0);
        glColor3f (0.0, 1.0, 0.0);
        glVertex3f (2.0,-1.0, 0.0);
        glColor3f (0.0, 0.0, 1.0);
        glVertex3f (0.0, 1.0, 0.0);
glEnd();
```

GL_SMOOTH **GL_FLAT**

Primer crtanja kocke

```
void CGLRenderer::DrawCube(double a)
{
        glBegin(GL_QUADS);

                // Prednja stranica
                glVertex3d(-a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2, a/2, a/2);

                // Desna stranica
                glVertex3d( a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2,-a/2);
                glVertex3d( a/2, a/2,-a/2);

                // Zadnja stranica
                glVertex3d( a/2, a/2,-a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2,-a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2,-a/2);
                glVertex3d(-a/2, a/2,-a/2);

                // Leva stranica
                glVertex3d(-a/2, a/2,-a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2,-a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2, a/2);
                glVertex3d(-a/2, a/2, a/2);

                // Gornja stranica
                glVertex3d(-a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2, a/2,-a/2);
                glVertex3d(-a/2, a/2,-a/2);

                // Donja stranica
                glVertex3d(-a/2,-a/2,-a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2,-a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2, a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2, a/2);

        glEnd();
}
```

Primer crtanja kocke 2

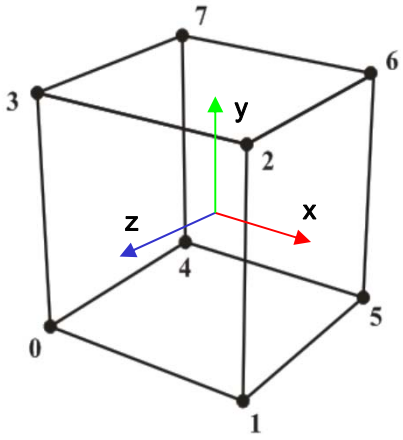
```
void CGLRenderer::DrawCube(double dSize)
{
        double a = dSize;
        glBegin(GL_QUAD_STRIP);

                // Prednja leva vertikalna ivica
                glVertex3d(-a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2, a/2);

                // Prednja desna vertikalna ivica
                glVertex3d( a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2, a/2);

                // Zadnja desna vertikalna ivica
                glVertex3d( a/2, a/2,-a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2,-a/2);

                // Zadnja leva vertikalna ivica
                glVertex3d(-a/2, a/2,-a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2,-a/2);

                // Prednja leva vertikalna ivica
                glVertex3d(-a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2, a/2);

        glEnd();

        glBegin(GL_QUADS);

                // Gornja stranica
                glVertex3d(-a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2, a/2, a/2);
                glVertex3d( a/2, a/2,-a/2);
                glVertex3d(-a/2, a/2,-a/2);

                // Donja stranica
                glVertex3d(-a/2,-a/2,-a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2,-a/2);
                glVertex3d( a/2,-a/2, a/2);
                glVertex3d(-a/2,-a/2, a/2);

        glEnd();

}
```

Polja temena

- Ubrzavaju iscrtavanje
- Koraci
  1. Popunjavanje polja podacima
  2. Definisanje pokazivača na polja (**glVertexPointer()/glColorPointer()**/...)
  3. Aktiviranje polja (**glEnableClientState()**)
  4. Crtanje geometrije (glElementArray(), glDrawArrays(), **glDrawElements()**,...)
  5. Deaktiviranje polja (**glDisableClientState()**)

Definisanje polja temena

```
void CGLRenderer::PrepareVACube(float a)
{
        vert[0] = -a/2; vert[1] = -a/2; vert[2] =  a/2; // vert0
        vert[3] =  a/2; vert[4] = -a/2; vert[5] =  a/2; // vert1
        vert[6] =  a/2; vert[7] =  a/2; vert[8] =  a/2; // vert2
        vert[9] = -a/2; vert[10]=  a/2; vert[11]=  a/2; // vert3
        vert[12]= -a/2; vert[13]= -a/2; vert[14]= -a/2; // vert4
        vert[15]=  a/2; vert[16]= -a/2; vert[17]= -a/2; // vert5
        vert[18]=  a/2; vert[19]=  a/2; vert[20]= -a/2; // vert6
        vert[21]= -a/2; vert[22]=  a/2; vert[23]= -a/2; // vert7

        col[0] = 0.0; col[1] = 0.0; col[2] = 0.0; // col0
        col[3] = 1.0; col[4] = 0.0; col[5] = 0.0; // col1
        col[6] = 1.0; col[7] = 1.0; col[8] = 0.0; // col2
        col[9] = 1.0; col[10]= 1.0; col[11]= 1.0; // col3
        col[12]= 0.0; col[13]= 1.0; col[14]= 0.0; // col4
        col[15]= 0.0; col[16]= 1.0; col[17]= 1.0; // col5
        col[18]= 0.0; col[19]= 0.0; col[20]= 1.0; // col6
        col[21]= 0.0; col[22]= 0.0; col[23]= 0.0; // col7

        // Ideksi
        ind[0] = 0; ind[1] = 1; ind[2] = 2; ind[3] = 3; // quad0
        ind[4] = 1; ind[5] = 5; ind[6] = 6; ind[7] = 2; // quad1
        ind[8] = 7; ind[9] = 6; ind[10]= 5; ind[11]= 4; // quad2
        ind[12]= 0; ind[13]= 3; ind[14]= 7; ind[15]= 4; // quad3
        ind[16]= 7; ind[17]= 3; ind[18]= 2; ind[19]= 6; // quad4
        ind[20]= 0; ind[21]= 4; ind[22]= 5; ind[23]= 1; // quad5
}
```



Definisanje pokazivača na polja

- void **glVertexPointer**(GLint size, GLenum type, GLsizei stride, const GLvoid *pointer);
  - *size* definiše broj koordinata po jednom temenu (**2**, **3** ili **4**)
  - *type* definiše tip podataka (**GL_SHORT**, **GL_INT**, **GL_FLOAT**, ili **GL_DOUBLE**),
  - *stride* rastojanje u bajtovima između dva sukcesivna temena. (*stride = 0* - gusto pakovana, tj. da nema mešanja tipova atributa u okviru istog polja).
- void **glColorPointer**(GLint size, GLenum type, GLsizei stride,const GLvoid *pointer);
- void **glNormalPointer**(GLenum type, GLsizei stride,const GLvoid *pointer); - nema size jer se podrazumeva 3.
- void **glTexCoordPointer**(GLint size, GLenum type, GLsizei stride,const GLvoid *pointer);

Aktiviranje/Deaktiviranje polja

- void **glEnableClientState**(GLenum array);
  - kao parametar navodi se:
    - GL_VERTEX_ARRAY – ako želimo aktivirati polje koordinata,
    - GL_COLOR_ARRAY – ako želimo aktivirati boje,
    - GL_NORMAL_ARRAY – normale,
    - GL_TEXTURE_COORD_ARRAY – teksturne koordinate,
    - GL_INDEX_ARRAY – indeksi,
    - itd.
- void **glDisableClientState**(GLenum array)

Crtanje

- **glArrayElement()** – proizvoljno “skakanje” po polju,
- **glDrawArrays()** – sekvencijalni pristup elementima u polju,
- **glDrawElements()** – metodično skakanje po polju na osnovu polja indeksa

- void **glDrawElements**(GLenum *mode*, GLsizei *count*, GLenum *type*, const GLvoid **indices*);
  - *mode* – tip primitive koja se crta (GL_POINTS, GL_LINE_STRIP, GL_LINE_LOOP, GL_LINES, GL_TRIANGLE_STRIP, GL_TRIANGLE_FAN, GL_TRIANGLES, GL_QUAD_STRIP, GL_QUADS, ili GL_POLYGON)
  - *count* – broj indeksa u polju indeksa
  - *type* - tip polja indeksa(GL_UNSIGNED_BYTE, GL_UNSIGNED_SHORT ili GL_UNSIGNED_INT)
  - *indices* – pokazivač na polje indeksa

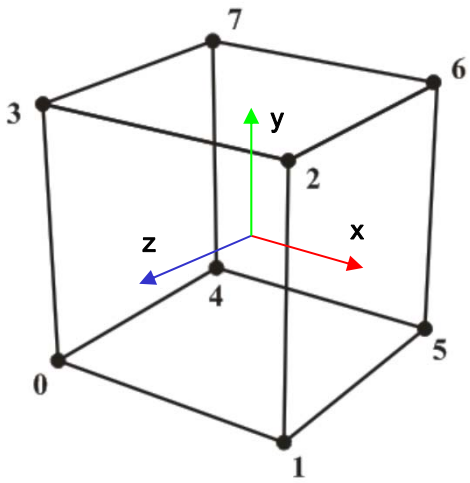
Crtanje kocke funkcijom glDrawElements

```
void CGLRenderer::DrawVACube()
{
        glVertexPointer(3, GL_FLOAT, 0, vert);
        glColorPointer(3, GL_FLOAT, 0, col);
        glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
        glEnableClientState(GL_COLOR_ARRAY);

        glDrawElements(GL_QUADS, 24, GL_UNSIGNED_BYTE, ind);

        glDisableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
        glDisableClientState(GL_COLOR_ARRAY);
}
```

*Zašto 24 indeksa? 6 strana * 4 temena = 24*
Koliko indeksa treba ako se za iscrtavanje koriste GL_TRIANGLES?

Kombinovanje atributa u jednom vektoru

```
void CGLRenderer::PrepareVACube(float a)
{
        // Zajednicko polje
        buf[0] = 0.0; buf[1] = 0.0; buf[2] = 0.0; // col0
        buf[3] =-a/2; buf[4] =-a/2; buf[5] = a/2; // ver0
        buf[6] = 1.0; buf[7] = 0.0; buf[8] = 0.0; // col1
        buf[9] = a/2; buf[10]=-a/2; buf[11]= a/2; // ver1
        buf[12]= 1.0; buf[13]= 1.0; buf[14]= 0.0; // col2
        buf[15]= a/2; buf[16]= a/2; buf[17]= a/2; // ver2
        buf[18]= 1.0; buf[19]= 1.0; buf[20]= 1.0; // col3
        buf[21]=-a/2; buf[22]= a/2; buf[23]= a/2; // ver3
        buf[24]= 0.0; buf[25]= 1.0; buf[26]= 0.0; // col4
        buf[27]=-a/2; buf[28]=-a/2; buf[29]=-a/2; // ver4
        buf[30]= 0.0; buf[31]= 1.0; buf[32]= 1.0; // col5
        buf[33]= a/2; buf[34]=-a/2; buf[35]=-a/2; // ver5
        buf[36]= 0.0; buf[37]= 0.0; buf[38]= 1.0; // col6
        buf[39]= a/2; buf[40]= a/2; buf[41]=-a/2; // ver6
        buf[42]= 0.0; buf[43]= 0.0; buf[44]= 0.0; // col7
        buf[45]=-a/2; buf[46]= a/2; buf[47]=-a/2; // ver7

        // Ideksi
        ind[0] = 0; ind[1] = 1; ind[2] = 2; ind[3] = 3; // quad0
        ind[4] = 1; ind[5] = 5; ind[6] = 6; ind[7] = 2; // quad1
        ind[8] = 7; ind[9] = 6; ind[10]= 5; ind[11]= 4; // quad2
        ind[12]= 0; ind[13]= 3; ind[14]= 7; ind[15]= 4; // quad3
        ind[16]= 7; ind[17]= 3; ind[18]= 2; ind[19]= 6; // quad4
        ind[20]= 0; ind[21]= 4; ind[22]= 5; ind[23]= 1; // quad5
}
```

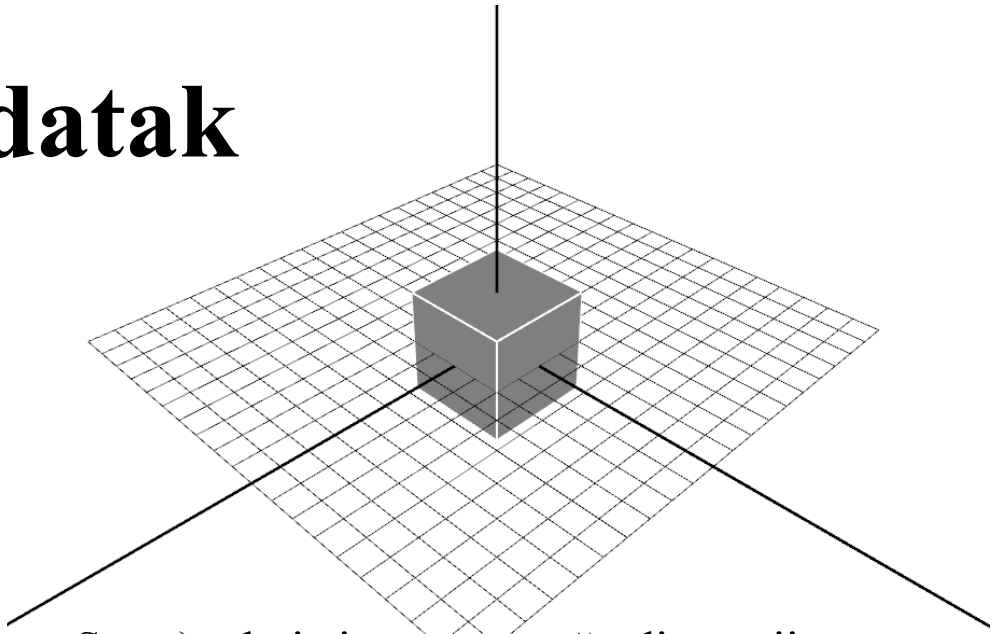


Crtanje kocke funkcijom glDrawElements

```
buf[0] = 0.0; buf[1] = 0.0; buf[2] = 0.0; // col0
buf[3] =-a/2; buf[4] =-a/2; buf[5] = a/2; // ver0
```

```
void CGLRenderer::DrawVACube()
{
        glVertexPointer(3, GL_FLOAT, 6*sizeof(float), &buf[3]);
        glColorPointer( 3, GL_FLOAT, 6*sizeof(float), &buf[0]);

        glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
        glEnableClientState(GL_COLOR_ARRAY);

        glDrawElements(GL_QUADS, 24, GL_UNSIGNED_BYTE, ind);

        glDisableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
        glDisableClientState(GL_COLOR_ARRAY);
}
```

Zadatak



- Napisati sledeće funkcije:
  - void **DrawGrid**(double dSize, int nSteps) – koja iscrtava mrežu dimenzija *dSize x dSize* oko koordinatnog početka, u XZ-ravni sa *nSteps* koraka,
  - void **DrawCube**(double dSize) – koja iscrtava kocku stranice *dSize* sa centrom u koordinatnom početku i
  - void **DrawAxes**(double len) – koja iscrtava koordinatne ose dužine *len*.
- U okviru funkcije **CGLRenderer::DrawScene()** formirati scenu koja se sastoji od:
  - mreže dimenzija 5x5, sa 20 koraka po svakoj osi, crne boje i debljine 1 piksel,
  - kocke dimenzija 1x1x1 sive bije sa ivicama bele boje debljine 2 piksela i
  - koordinatnih osa dužina 10, crne boje i debljine 3 piksela.

VBO

- Ubrzava iscrtavanje prenošenjem bafera na stranu grafičke kartice
- Iscrtavanje je isto kao kod VA, ali se umesto pointera navode offset-i u okviru trenutno selektovanog bafera
- Potrebno je:
  - Alocirati identifikatore bafera – glGenBuffers
  - Selektovati bafer i odgovarajući tip – glBindBuffer
  - Zadati podatke i način korišćenja – glBufferData

Podrška za VBO

Nije podržan u verziji 1.1, pa je potrebno:

- Uključiti glext.h (opciono wglext.h)

```
#include "GL\glext.h"
#include "GL\wglext.h"
```

- Definisati pokazivače na funkcije koje se koriste

```
PFNGLGENBUFFERSPROC glGenBuffers = NULL;
PFNGLBINDBUFFERPROC glBindBuffer = NULL;
PFNGLBUFFERDATAPROC glBufferData = NULL;
PFNGLDELETEBUFFERSPROC glDeleteBuffers = NULL;
```

Kreiranje i brisanje

```
void CGLRenderer::PrepareVBO()
{
    glGenBuffers = (PFNGLGENBUFFERSPROC)wglGetProcAddress("glGenBuffers");
    glBindBuffer = (PFNGLBINDBUFFERPROC)wglGetProcAddress("glBindBuffer");
    glBufferData = (PFNGLBUFFERDATAPROC)wglGetProcAddress("glBufferData");
    glDeleteBuffers = (PFNGLDELETEBUFFERSPROC)wglGetProcAddress("glDeleteBuffers");

    glGenBuffers(2, m_vbo);

    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, m_vbo[0]);
    glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(buf), buf, GL_STATIC_DRAW);

    glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, m_vbo[1]);
    glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, sizeof(ind), ind, GL_STATIC_DRAW);

    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
    glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, 0);
}

void CGLRenderer::DestroyVBO()
{
    glDeleteBuffers(2, m_vbo);
}
```

```
float buf[48];
unsigned char ind[24];
unsigned int m_vbo[2];
```

Crtanje

```
void CGLRenderer::DrawVBOCube()
{
    // povezati VBO za atribute i indekse
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, m_vbo[0]);            // selektovati bafer atributa temena
    glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, m_vbo[1]);    // selektovati bafer indeksa

    // definicija pointera, poslednji parametri su offset, a ne pointeri
    glVertexPointer(3, GL_FLOAT, 6*sizeof(float), (void*)(3*sizeof(float)));
    glColorPointer( 3, GL_FLOAT, 6*sizeof(float), (void*)0);

    glEnableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);             // aktivirati polje koordinata temena
    glEnableClientState(GL_COLOR_ARRAY);             // aktivirati polje boja

    // poslednji parametar je offset u indeks-polju
    glDrawElements(GL_QUADS, 24, GL_UNSIGNED_BYTE, 0);

    // deaktivirati polja
    glDisableClientState(GL_VERTEX_ARRAY);
    glDisableClientState(GL_COLOR_ARRAY);

    // deaktiviranje VBO i vracanje na VA i prave pointere
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
    glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, 0);
}
```