Федеральное агентство связи

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Кафедра прикладной математики и кибернетики (ПМ и К)

Курсовая работа

по дисциплине «Программирование для мобильных устройств»

Выполнил:
студент
факультета
ИВТ, группы
ИП - 712
Алексеев С.В.

Проверил:
Доцент
кафедры
ПмиК
Нечта И.В.

Новосибирск 2020

Содержание

Постановка задачи

Написать программу, в которой нарисован стол на OpenGL ES 2.0.

На столе лежат различные фрукты/овощи, стакан с напитком.

Теоретические сведения

OpenGL
(Open Graphics Library) — спецификация, определяющая независимый от языка программирования платформонезависимый программный интерфейс для написания приложений, использующих двумерную и трёхмерную компьютерную графику.

OpenGL ES 2.0
Был публично выпущен в марте 2007 года. Он примерно основан на OpenGL 2.0, но устраняет большую часть конвейера рендеринга с фиксированными функциями в пользу программируемого, аналогично переходу с OpenGL 3.0 на 3.1. Поток управления в шейдерах обычно ограничивается прямым ветвлением и циклами, где максимальное количество итераций может быть легко определено во время компиляции. Почти все функции рендеринга на этапе преобразования и освещения, такие как спецификация материалов и параметров освещения, ранее задававшаяся API фиксированных функций, заменены шейдерами, написанными графическим программистом.

Blender
Профессиональное свободное и открытое программное обеспечение для создания трёхмерной компьютерной графики, включающее в себя средства моделирования, скульптинга, анимации, симуляции, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, компоновки с помощью «узлов» (Node Compositing), а также создания 2D-анимаций.

OBJ
Это простой текстовый формат данных, который представляет только

3D геометрические объекты.

Экспорт моделей в OpenGL

Представление OBJ содержит геометрические данные для 3D-модели на основе вершин. Эти данные разделены на следующие категории:

Вершина (v): положение вершины в пространстве XYZ.

Координаты текстуры (vt): тексель (элемент текстуры) для выборки в UVпространстве. Вы можете думать об этом как о способе сопоставить каждую вершину с позицией на текстуре, откуда она должна получать значение цвета. Эти значения варьируются от (0, 0) (нижний левый угол текстуры) до (1, 1) (верхний правый угол текстуры).

Нормали (vn): нормаль к поверхности вершинной плоскости (треугольника) в пространстве XYZ. Вы можете думать об этом как о векторе, который указывает «прямо» из передней части плоскости в вершину. Это значение необходимо для обеспечения правильного освещения.

Грани (f): плоский треугольник, определяемый тремя вершинами, координатами текстуры и нормалями.

Карта глубины

Карта глубины (или «теневая карта», «карта теней») — это текстура глубины, визуализируемая с точки зрения света, которую мы будем использовать для теста теней.

Тень — это отсутствие света. Если лучи от источника света не попадают на объект, так как поглощаются другим объектом, то первый объект находится в тени. Тени добавляют реализма к изображению и дают увидеть взаимное расположение объектов. Благодаря ним сцена приобретает "глубину".

Описание основных функций.

MainActivity.java - главный класс программы. В нём мы объявляем нашу

область для рисования (SurfaceView)

Space.java - класс для отрисовки плоскости. Метод render аналогичен

методу в классе Objects. Местоположение вершин, нормалей и цвет

определены заранее.

Objects.java - Класс, отвечающий за хранение объекта и его отрисовку. В

конструктор получает цвет объекта и название файла типа obj, в котором

хранятся данные о нём. Также имеет метод render, который принимает на вход местоположение в шейдере атрибута позиции, нормали и цвета. Также принимает булеву переменную onlyPosition, которое отвечает за то, куда происходит отрисовка – на сцену или же в буфер глубины (в буфер глубины нам нужно только местоположение)

MyRender.java - класс, предназначенный для создания, инициализации и загрузки шейдеров в программу. На вход принимает две строки (либо два ID ресурса), одна из которых является кодом вершинного шейдера, а другая – кодом фрагментного шейдера. Позже с помощью get метода можно получить готовую программу

MyGl20Renderer.java - главный класс для отрисовки наших объектов:

MainActivity mShadowsActivity – главный класс программы. Необходим для того, чтобы изменять отрисовку, в зависимости от выбранного пункта в меню.

MyRender mSimpleShadowProgram – программа для отрисовку простых теней private MyRender mDepthMapProgram - программа для заполнения буфера глубины

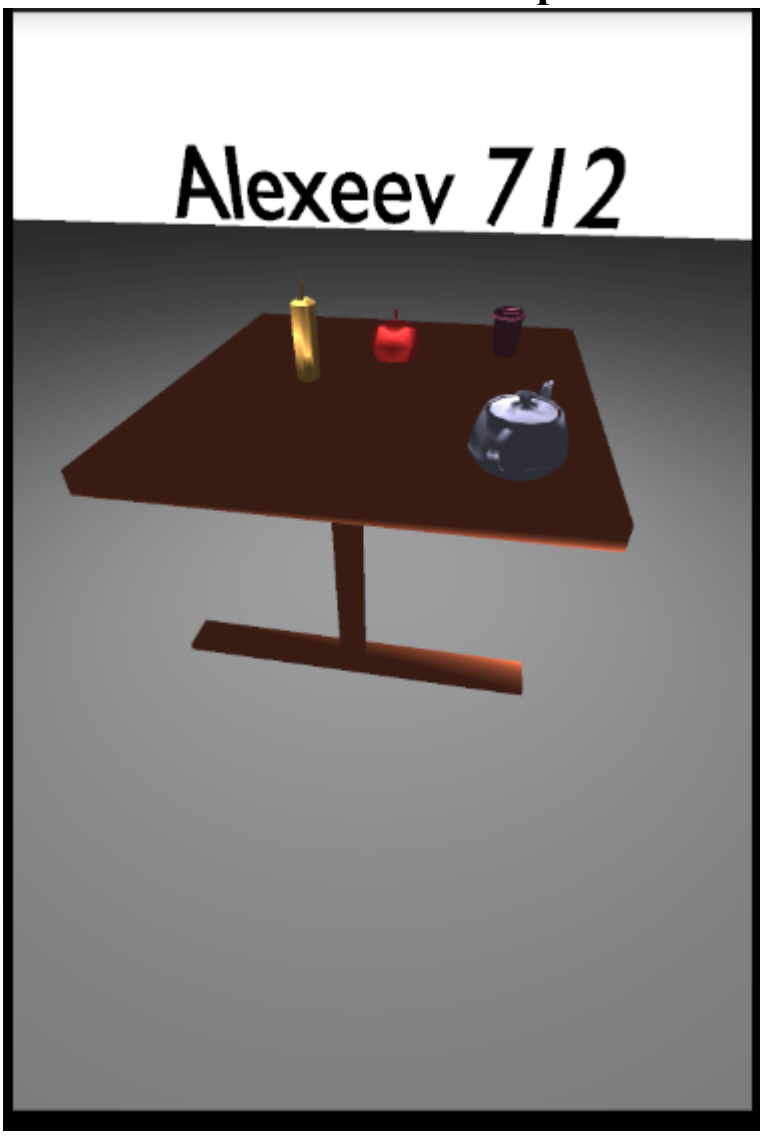
Объекты, для отрисовки:

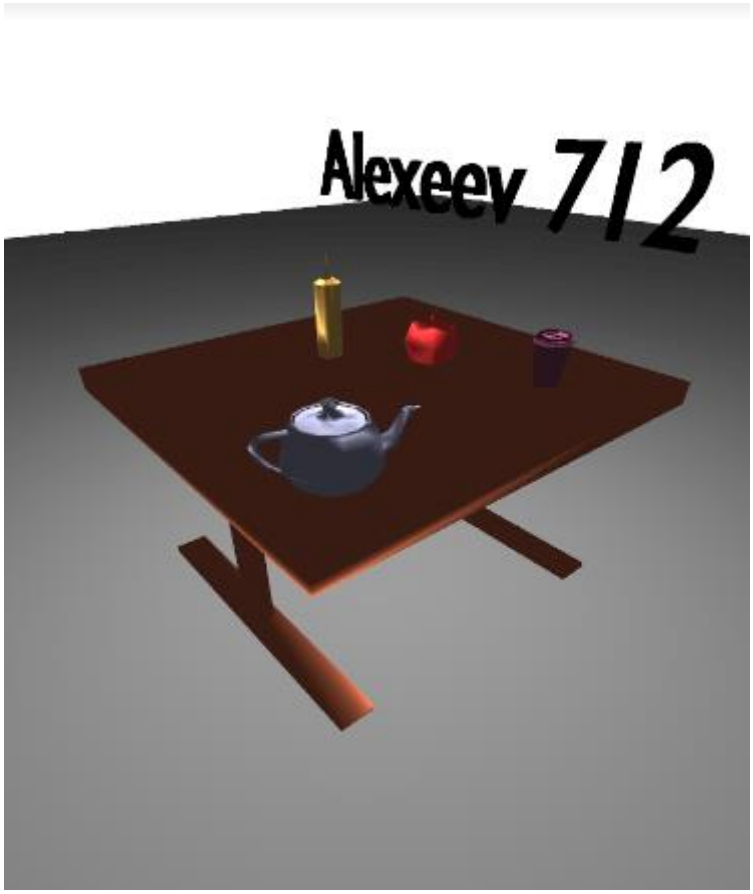
private Objects Table;
private Space mSpace;
private Objects Teapot;
private Objects Apple;
private Objects Bottle;
private Objects Title;
private Objects Stakan;

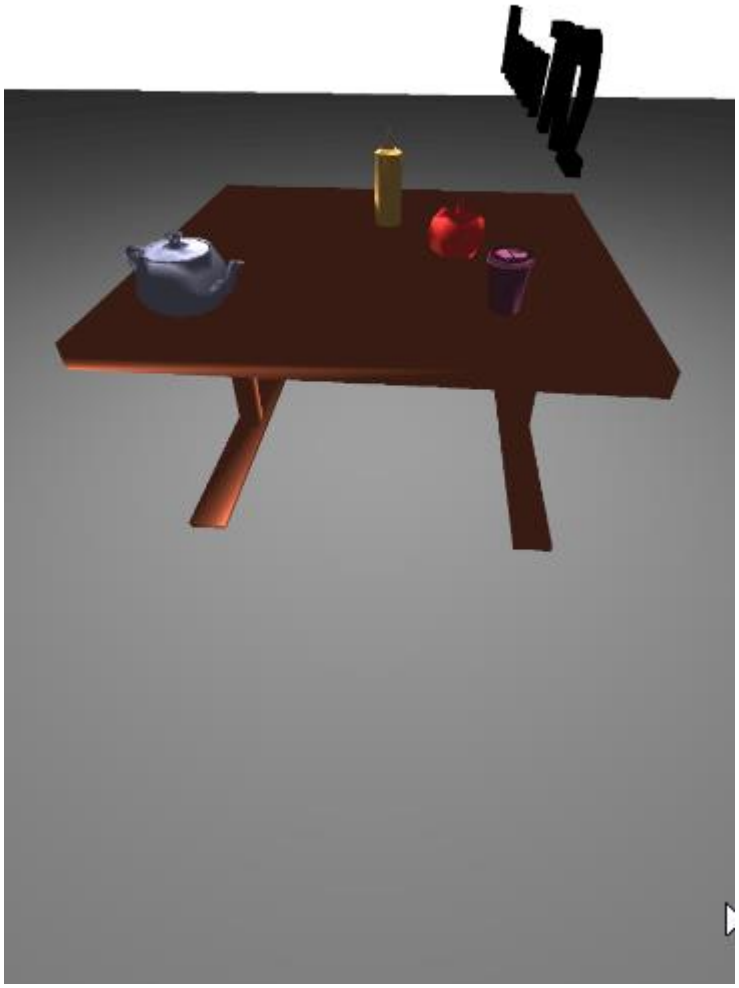
public void onSurfaceCreated(GL10 unused, EGLConfig config) - Метод, вызываемый при создании пространства для отрисовки. В нём мы инициализируем все объекты и программы.

public void onSurfaceChanged(GL10 unused, int width, int height) - создание GLSurface. Будет вызываться например при смене ориентации экрана и первоначальной загрузки. Нужные параметры - int width, int height, ширина(x) и высота(y) соответственно. public void onDrawFrame(GL10 unused) - Вызывается для отрисовки каждого кадра. В нём мы отрисовываем карту теней и сцену. private void renderShadowMap() - Метод, который генерирует карту теней. private void renderScene() - Метод для отрисовки всех объектов с учётом карты теней.

Скриншоты




Alexeev 712



Листинг кода

MainActivity.java:

```java
package com.example.user.newcurswork;

import android.app.Activity;
import android.opengl.GLSurfaceView;
import android.os.Bundle;
import android.view.Menu;
import android.view.MenuInflater;
import android.view.MenuItem;
import android.widget.Toast;

public class MainActivity extends Activity {

    @Override
    public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);

        GLSurfaceView mGLSurfaceView = new GLSurfaceView(this);

        mGLSurfaceView.setEGLContextClientVersion(2);

        ShadowsRenderer renderer = new ShadowsRenderer(this, this);
        mGLSurfaceView.setRenderer(renderer);

        setContentView(mGLSurfaceView);
    }
}
```

Objects.java

```java
package com.example.user.newcurswork;

import java.io.IOException;
import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.ByteOrder;
import java.nio.FloatBuffer;
import java.nio.ShortBuffer;
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
import java.util.Scanner;

import android.content.Context;
import android.opengl.GLES20;

class Objects {
    private FloatBuffer colorBuffer;

    private FloatBuffer verticesBuffer;
    private FloatBuffer normalBuffer;
```

```
    private ShortBuffer facesVertexBuffer;
    private ShortBuffer facesNormalBuffer;

    private List<String> facesList;

    Objects(Context c, float[] color, String ObjName) {
        List<String> verticesList = new ArrayList<>();
        facesList = new ArrayList<>();
        List<String> normalList = new ArrayList<>();
        try {
            Scanner scanner = new Scanner(c.getAssets().open(ObjName));
            while (scanner.hasNextLine()) {
                String line = scanner.nextLine();
                if (line.startsWith("v ")) {
                    verticesList.add(line);
                } else if (line.startsWith("f ")) {
                    facesList.add(line);
                } else if (line.startsWith("vn ")) {
                    normalList.add(line);
                } else if (line.startsWith("vt ")) {
                    continue;
                }
            }
            ByteBuffer buffer1 = ByteBuffer.allocateDirect(verticesList.size() * 3 *
4);
            buffer1.order(ByteOrder.nativeOrder());
            verticesBuffer = buffer1.asFloatBuffer();

            ByteBuffer buffer2 = ByteBuffer.allocateDirect(normalList.size() * 3 *
4);
            buffer2.order(ByteOrder.nativeOrder());
            normalBuffer = buffer2.asFloatBuffer();

            ByteBuffer buffer3 = ByteBuffer.allocateDirect(facesList.size() * 3 *
2);
            buffer3.order(ByteOrder.nativeOrder());
            facesVertexBuffer = buffer3.asShortBuffer();

            ByteBuffer buffer4 = ByteBuffer.allocateDirect(facesList.size() * 3 *
2);
            buffer4.order(ByteOrder.nativeOrder());
            facesNormalBuffer = buffer4.asShortBuffer();

            for (String vertex : verticesList) {
                String coords[] = vertex.split(" ");
                float x = Float.parseFloat(coords[1]);
                float y = Float.parseFloat(coords[2]);
                float z = Float.parseFloat(coords[3]);
                verticesBuffer.put(x);
                verticesBuffer.put(y);
                verticesBuffer.put(z);
            }
            verticesBuffer.position(0);

            for (String vertex : normalList) {
                String coords[] = vertex.split(" ");
                float x = Float.parseFloat(coords[1]);
```

```
                float y = Float.parseFloat(coords[2]);
                float z = Float.parseFloat(coords[3]);
                normalBuffer.put(x);
                normalBuffer.put(y);
                normalBuffer.put(z);
            }
            normalBuffer.position(0);

            for (String face : facesList) {
                String vertexIndices[] = face.split(" ");
                String coord1[] = vertexIndices[1].split("//");
                String coord2[] = vertexIndices[2].split("//");
                String coord3[] = vertexIndices[3].split("//");

                short vertex1 = Short.parseShort(coord1[0]);
                short vertex2 = Short.parseShort(coord2[0]);
                short vertex3 = Short.parseShort(coord3[0]);
                facesVertexBuffer.put((short) (vertex1 - 1));
                facesVertexBuffer.put((short) (vertex2 - 1));
                facesVertexBuffer.put((short) (vertex3 - 1));

                vertex1 = Short.parseShort(coord1[1]);
                vertex2 = Short.parseShort(coord2[1]);
                vertex3 = Short.parseShort(coord3[1]);
                facesNormalBuffer.put((short) (vertex1 - 1));
                facesNormalBuffer.put((short) (vertex2 - 1));
                facesNormalBuffer.put((short) (vertex3 - 1));
            }
            facesVertexBuffer.position(0);
            facesNormalBuffer.position(0);

            verticesList.clear();
            normalList.clear();

            scanner.close();
        } catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }

        float[] colorData = new float[facesList.size() * 4];
        for (int v = 0; v < facesList.size(); v++) {
            colorData[4 * v] = color[0];
            colorData[4 * v + 1] = color[1];
            colorData[4 * v + 2] = color[2];
            colorData[4 * v + 3] = color[3];
        }

        ByteBuffer bColor = ByteBuffer.allocateDirect(colorData.length * 4);
        bColor.order(ByteOrder.nativeOrder());
        colorBuffer = bColor.asFloatBuffer();
        colorBuffer.put(colorData).position(0);
    }

    void render(int positionAttribute, int normalAttribute, int colorAttribute,
boolean onlyPosition) {
        facesVertexBuffer.position(0);
        facesNormalBuffer.position(0);
        verticesBuffer.position(0);
```

```
        normalBuffer.position(0);
        colorBuffer.position(0);

        GLES20.glVertexAttribPointer(positionAttribute, 3, GLES20.GL_FLOAT, false,
                0, verticesBuffer);
        GLES20.glEnableVertexAttribArray(positionAttribute);

        if (!onlyPosition) {
            GLES20.glVertexAttribPointer(normalAttribute, 3, GLES20.GL_FLOAT, false,
                    0, normalBuffer);
            GLES20.glEnableVertexAttribArray(normalAttribute);

            GLES20.glVertexAttribPointer(colorAttribute, 4, GLES20.GL_FLOAT, false,
                    0, colorBuffer);
            GLES20.glEnableVertexAttribArray(colorAttribute);
        }

        GLES20.glDrawElements(GLES20.GL_TRIANGLES, facesList.size() * 3,
                GLES20.GL_UNSIGNED_SHORT, facesVertexBuffer);
    }
}
```

Plane.java

```
package com.example.user.newcurswork;

import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.ByteOrder;
import java.nio.FloatBuffer;

import android.opengl.GLES20;

public class Plane {
    private final FloatBuffer planePosition;
    private final FloatBuffer planeNormal;
    private final FloatBuffer planeColor;

    Plane() {
        float[] planePositionData = {
                -25.0f, -0.0f, -25.0f,
                -25.0f, -0.0f, 25.0f,
                25.0f, -0.0f, -25.0f,
                -25.0f, -0.0f, 25.0f,
                25.0f, -0.0f, 25.0f,
                25.0f, -0.0f, -25.0f
        };
        ByteBuffer bPos = ByteBuffer.allocateDirect(planePositionData.length * 4);
        bPos.order(ByteOrder.nativeOrder());
        planePosition = bPos.asFloatBuffer();

        float[] planeNormalData = {
                0.0f, 1.0f, 0.0f,
                0.0f, 1.0f, 0.0f,
                0.0f, 1.0f, 0.0f,
                0.0f, 1.0f, 0.0f,
                0.0f, 1.0f, 0.0f,
                0.0f, 1.0f, 0.0f
        };
        ByteBuffer bNormal = ByteBuffer.allocateDirect(planeNormalData.length * 4);
        bNormal.order(ByteOrder.nativeOrder());
```

```
        planeNormal = bNormal.asFloatBuffer();

        float[] planeColorData = {
                0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f,
                0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f,
                0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f,
                0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f,
                0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f,
                0.3f, 0.3f, 0.3f, 1.0f
        };
        ByteBuffer bColor = ByteBuffer.allocateDirect(planeColorData.length * 4);
        bColor.order(ByteOrder.nativeOrder());
        planeColor = bColor.asFloatBuffer();

        planePosition.put(planePositionData).position(0);
        planeNormal.put(planeNormalData).position(0);
        planeColor.put(planeColorData).position(0);
    }

    void render(int positionAttribute, int normalAttribute, int colorAttribute,
boolean onlyPosition) {
        planePosition.position(0);
        planeNormal.position(0);
        planeColor.position(0);

        GLES20.glVertexAttribPointer(positionAttribute, 3, GLES20.GL_FLOAT, false,
                0, planePosition);
        GLES20.glEnableVertexAttribArray(positionAttribute);

        if (!onlyPosition) {
            GLES20.glVertexAttribPointer(normalAttribute, 3, GLES20.GL_FLOAT,
false,
                    0, planeNormal);
            GLES20.glEnableVertexAttribArray(normalAttribute);
            GLES20.glVertexAttribPointer(colorAttribute, 4, GLES20.GL_FLOAT, false,
                    0, planeColor);
            GLES20.glEnableVertexAttribArray(colorAttribute);
        }

        GLES20.glDrawArrays(GLES20.GL_TRIANGLES, 0, 6);
    }
}
```

RenderProgram.java

```
package com.example.user.newcurswork;

import java.io.BufferedReader;
import java.io.InputStream;
import java.io.InputStreamReader;

import android.content.Context;
import android.opengl.GLES20;
import android.util.Log;

class RenderProgram {
```

```
   private int mProgram;

   private String mVertexS, mFragmentS;

   RenderProgram(int vID, int fID, Context context) {
      StringBuilder vs = new StringBuilder();
      StringBuilder fs = new StringBuilder();

      try {
         InputStream inputStream = context.getResources().openRawResource(vID);
         BufferedReader in = new BufferedReader(new
InputStreamReader(inputStream));

         String read = in.readLine();
         while (read != null) {
            vs.append(read).append("\n");
            read = in.readLine();
         }

         vs.deleteCharAt(vs.length() - 1);

         inputStream = context.getResources().openRawResource(fID);
         in = new BufferedReader(new InputStreamReader(inputStream));

         read = in.readLine();
         while (read != null) {
            fs.append(read).append("\n");
            read = in.readLine();
         }

         fs.deleteCharAt(fs.length() - 1);
      } catch (Exception e) {
         Log.d("RenderProgram", "Could not read shader: " +
e.getLocalizedMessage());
      }
      setup(vs.toString(), fs.toString());
   }

   private void setup(String vs, String fs) {
      this.mVertexS = vs;
      this.mFragmentS = fs;

      if (createProgram() != 1) {
         throw new RuntimeException("Error at creating shaders");
      };
   }

   private int createProgram() {
      int mVertexShader = loadShader(GLES20.GL_VERTEX_SHADER, mVertexS);
      if (mVertexShader == 0) {
         return 0;
      }

      int mPixelShader = loadShader(GLES20.GL_FRAGMENT_SHADER, mFragmentS);
      if (mPixelShader == 0) {
         return 0;
      }
```

```
        mProgram = GLES20.glCreateProgram();
        if (mProgram != 0) {
            GLES20.glAttachShader(mProgram, mVertexShader);
            GLES20.glAttachShader(mProgram, mPixelShader);
            GLES20.glLinkProgram(mProgram);
            int[] linkStatus = new int[1];
            GLES20.glGetProgramiv(mProgram, GLES20.GL_LINK_STATUS, linkStatus, 0);
            if (linkStatus[0] != GLES20.GL_TRUE) {
                Log.e("RenderProgram", "Could not link _program: ");
                Log.e("RenderProgram", GLES20.glGetProgramInfoLog(mProgram));
                GLES20.glDeleteProgram(mProgram);
                mProgram = 0;
                return 0;
            }
        }
        else
            Log.d("CreateProgram", "Could not create program");

        return 1;
    }

    private int loadShader(int shaderType, String source) {
        int shader = GLES20.glCreateShader(shaderType);
        if (shader != 0) {
            GLES20.glShaderSource(shader, source);
            GLES20.glCompileShader(shader);
            int[] compiled = new int[1];
            GLES20.glGetShaderiv(shader, GLES20.GL_COMPILE_STATUS, compiled, 0);
            if (compiled[0] == 0) {
                Log.e("RenderProgram", "Could not compile shader " + shaderType + ":");
                Log.e("RenderProgram", GLES20.glGetShaderInfoLog(shader));
                GLES20.glDeleteShader(shader);
                shader = 0;
            }
        }
        return shader;
    }

    int getProgram() {
        return mProgram;
    }
}
```

ShadowRenderer.java

```
package com.example.user.newcurswork;

import javax.microedition.khronos.egl.EGLConfig;
import javax.microedition.khronos.opengles.GL10;

import android.content.Context;
import android.opengl.GLES20;
import android.opengl.GLSurfaceView;
import android.opengl.Matrix;
```

```
import android.util.Log;

public class ShadowsRenderer implements GLSurfaceView.Renderer {

    private final MainActivity mShadowsActivity;

    private RenderProgram mSimpleShadowProgram;

    private RenderProgram mDepthMapProgram;

    private int mActiveProgram;

    private final float[] mMVPMatrix = new float[16];
    private final float[] mMVMatrix = new float[16];
    private final float[] mNormalMatrix = new float[16];
    private final float[] mProjectionMatrix = new float[16];
    private final float[] mViewMatrix = new float[16];
    private final float[] mModelMatrix = new float[16];

    private final float[] mLightMvpMatrix = new float[16];

    private final float[] mLightProjectionMatrix = new float[16];

    private final float[] mLightViewMatrix = new float[16];

    private final float[] mLightPosInEyeSpace = new float[16];

    private final float[] mLightPosModel = new float[]
            {0.1f, 10.0f, 0.1f, 1.0f};
    private float[] mActualLightPosition = new float[4];

    private int mDisplayWidth;
    private int mDisplayHeight;
    private float s = 0;

    private int mShadowMapWidth;
    private int mShadowMapHeight;

    private int[] fboId;
    private int[] renderTextureId;

    private int scene_mvpMatrixUniform;
    private int scene_mvMatrixUniform;
    private int scene_normalMatrixUniform;
    private int scene_lightPosUniform;
    private int scene_shadowProjMatrixUniform;
    private int scene_textureUniform;
    private int scene_mapStepXUniform;
    private int scene_mapStepYUniform;

    private int shadow_mvpMatrixUniform;

    private int scene_positionAttribute;
    private int scene_normalAttribute;
    private int scene_colorAttribute;

    private int shadow_positionAttribute;
```

```
    private Objects Table;

    private Context c;

    private Plane mPlane;
    private Objects Teapot;
    private Objects Torch;
    private Objects Apple;
    private Objects Cup;
    private Objects Ufo;
    private Objects Mug;
    private Objects Title;
    private Objects Mug2;
    private Objects blackChess;
    private Objects whiteChess;

    ShadowsRenderer(final MainActivity shadowsActivity, Context c) {
        mShadowsActivity = shadowsActivity;
        this.c = c;
    }

    @Override
    public void onSurfaceCreated(GL10 unused, EGLConfig config) {
        GLES20.glClearColor(1.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f);

        GLES20.glEnable(GLES20.GL_DEPTH_TEST);

        GLES20.glEnable(GLES20.GL_CULL_FACE);

       /* Table = new Objects(c, new float[]{0.6f, 0.3f, 0.2f, 1.0f},
"sasha_table.obj");
        Teapot = new Objects(c, new float[]{0.5f, 0.5f, 0.6f, 1.0f},
"sasha_tarelka.obj");
        Torch = new Objects(c, new float[]{0.8f, 0.6f, 0.3f, 1.0f},
"sasha_candle.obj");
        Apple = new Objects(c, new float[]{0.9f, 0.2f, 0.2f, 1.0f},
"sasha_apple.obj");
        Cup = new Objects(c, new float[]{0.0f, 0.5f, 0.0f, 1.0f},
"sasha_bottle.obj");
        Title = new Objects(c, new float[]{0f, 0f, 0f, 1.0f}, "sasha_name.obj");*/


        Table = new Objects(c, new float[]{0.6f, 0.3f, 0.2f, 1.0f}, "Table.obj");
        Teapot = new Objects(c, new float[]{0.5f, 0.5f, 0.6f, 1.0f}, "teapot.obj");
        Torch = new Objects(c, new float[]{0.8f, 0.6f, 0.3f, 1.0f}, "torch.obj");
        Apple = new Objects(c, new float[]{0.9f, 0.2f, 0.2f, 1.0f}, "apple.obj");
        Cup = new Objects(c, new float[]{0.4f, 0.2f, 0.3f, 1.0f}, "cup.obj");
        Title = new Objects(c, new float[]{0f, 0f, 0f, 1.0f}, "Title.obj");

        mPlane = new Plane();

        mSimpleShadowProgram = new RenderProgram(R.raw.depth_tex_v_with_shadow,
R.raw.depth_tex_f_with_simple_shadow, mShadowsActivity);
        mDepthMapProgram = new RenderProgram(R.raw.depth_tex_v_depth_map,
R.raw.depth_tex_f_depth_map, mShadowsActivity);
        mActiveProgram = mSimpleShadowProgram.getProgram();
    }
```

```
    private void generateShadowFBO() {
        mShadowMapWidth = Math.round(mDisplayWidth);
        mShadowMapHeight = Math.round(mDisplayHeight);

        fboId = new int[1];
        int[] depthTextureId = new int[1];
        renderTextureId = new int[1];

        GLES20.glGenFramebuffers(1, fboId, 0);

        GLES20.glGenRenderbuffers(1, depthTextureId, 0);
        GLES20.glBindRenderbuffer(GLES20.GL_RENDERBUFFER, depthTextureId[0]);
        GLES20.glRenderbufferStorage(GLES20.GL_RENDERBUFFER,
GLES20.GL_DEPTH_COMPONENT16, mShadowMapWidth, mShadowMapHeight);

        GLES20.glGenTextures(1, renderTextureId, 0);
        GLES20.glBindTexture(GLES20.GL_TEXTURE_2D, renderTextureId[0]);

        GLES20.glTexParameteri(GLES20.GL_TEXTURE_2D, GLES20.GL_TEXTURE_MIN_FILTER,
GLES20.GL_NEAREST);
        GLES20.glTexParameteri(GLES20.GL_TEXTURE_2D, GLES20.GL_TEXTURE_MAG_FILTER,
GLES20.GL_NEAREST);
        GLES20.glTexParameteri(GLES20.GL_TEXTURE_2D, GLES20.GL_TEXTURE_WRAP_S,
GLES20.GL_CLAMP_TO_EDGE);
        GLES20.glTexParameteri(GLES20.GL_TEXTURE_2D, GLES20.GL_TEXTURE_WRAP_T,
GLES20.GL_CLAMP_TO_EDGE);

        GLES20.glBindFramebuffer(GLES20.GL_FRAMEBUFFER, fboId[0]);

        GLES20.glTexImage2D(GLES20.GL_TEXTURE_2D, 0, GLES20.GL_DEPTH_COMPONENT,
mShadowMapWidth, mShadowMapHeight, 0, GLES20.GL_DEPTH_COMPONENT,
GLES20.GL_UNSIGNED_INT, null);
        GLES20.glFramebufferTexture2D(GLES20.GL_FRAMEBUFFER,
GLES20.GL_DEPTH_ATTACHMENT, GLES20.GL_TEXTURE_2D, renderTextureId[0], 0);


    }

    @Override
    public void onSurfaceChanged(GL10 unused, int width, int height) {
        mDisplayWidth = width;
        mDisplayHeight = height;
        GLES20.glViewport(0, 0, mDisplayWidth, mDisplayHeight);

        generateShadowFBO();

        float ratio = (float) mDisplayWidth / mDisplayHeight;
        float bottom = -1.0f;
        float top = 1.0f;
        float near = 1.0f;
        float far = 100.0f;

        Matrix.frustumM(mProjectionMatrix, 0, -ratio, ratio, bottom, top, near,
far);
        Matrix.frustumM(mLightProjectionMatrix, 0, -1.1f * ratio, 1.1f * ratio,
1.1f * bottom, 1.1f * top, near, far);
    }
```

```
    @Override
    public void onDrawFrame(GL10 unused) {
        mActiveProgram = mSimpleShadowProgram.getProgram();

        Matrix.setLookAtM(mViewMatrix, 0,
                5, 4, 0,
                0, 0, 0,
                -1,0,0);

        scene_mvpMatrixUniform = GLES20.glGetUniformLocation(mActiveProgram,
"uMVPMatrix");
        scene_mvMatrixUniform = GLES20.glGetUniformLocation(mActiveProgram,
"uMVMatrix");
        scene_normalMatrixUniform = GLES20.glGetUniformLocation(mActiveProgram,
"uNormalMatrix");
        scene_lightPosUniform = GLES20.glGetUniformLocation(mActiveProgram,
"uLightPos");
        scene_shadowProjMatrixUniform = GLES20.glGetUniformLocation(mActiveProgram,
"uShadowProjMatrix");
        scene_textureUniform = GLES20.glGetUniformLocation(mActiveProgram,
"uShadowTexture");
        scene_positionAttribute = GLES20.glGetAttribLocation(mActiveProgram,
"aPosition");
        scene_normalAttribute = GLES20.glGetAttribLocation(mActiveProgram,
"aNormal");
        scene_colorAttribute = GLES20.glGetAttribLocation(mActiveProgram,
"aColor");
        scene_mapStepXUniform = GLES20.glGetUniformLocation(mActiveProgram,
"uxPixelOffset");
        scene_mapStepYUniform = GLES20.glGetUniformLocation(mActiveProgram,
"uyPixelOffset");

        int shadowMapProgram = mDepthMapProgram.getProgram();
        shadow_mvpMatrixUniform = GLES20.glGetUniformLocation(shadowMapProgram,
"uMVPMatrix");
        shadow_positionAttribute = GLES20.glGetAttribLocation(shadowMapProgram,
"aShadowPosition");

        float[] basicMatrix = new float[16];

        Matrix.setIdentityM(basicMatrix, 0);
        Matrix.multiplyMV(mActualLightPosition, 0, basicMatrix, 0, mLightPosModel,
0);

        Matrix.setIdentityM(mModelMatrix, 0);

        Matrix.setLookAtM(mLightViewMatrix, 0,
                mActualLightPosition[0], mActualLightPosition[1],
mActualLightPosition[2],
                mActualLightPosition[0], -mActualLightPosition[1],
mActualLightPosition[2],
                -mActualLightPosition[0], 0, -mActualLightPosition[2]);

        GLES20.glCullFace(GLES20.GL_FRONT);

        s+=0.3f;
        if (s >= 360) s-=360;
        Matrix.rotateM(mModelMatrix, 0, s, 0,1,0);
```

```
        renderShadowMap();

        GLES20.glCullFace(GLES20.GL_BACK);

        renderScene();
    }

    private void renderShadowMap() {
        GLES20.glBindFramebuffer(GLES20.GL_FRAMEBUFFER, fboId[0]);

        GLES20.glViewport(0, 0, mShadowMapWidth, mShadowMapHeight);

        GLES20.glClearColor(1f, 1f, 1f, 1.0f);
        GLES20.glClear(GLES20.GL_DEPTH_BUFFER_BIT | GLES20.GL_COLOR_BUFFER_BIT);

        GLES20.glUseProgram(mDepthMapProgram.getProgram());

        float[] tempResultMatrix = new float[16];

        Matrix.multiplyMM(mLightMvpMatrix, 0, mLightViewMatrix, 0, mModelMatrix,
0);

        Matrix.multiplyMM(tempResultMatrix, 0, mLightProjectionMatrix, 0,
mLightMvpMatrix, 0);
        System.arraycopy(tempResultMatrix, 0, mLightMvpMatrix, 0, 16);

        GLES20.glUniformMatrix4fv(shadow_mvpMatrixUniform, 1, false,
mLightMvpMatrix, 0);
        Table.render(shadow_positionAttribute, 0, 0, true);
        Teapot.render(shadow_positionAttribute, 0, 0, true);
        Cup.render(shadow_positionAttribute, 0, 0, true);
        Torch.render(shadow_positionAttribute, 0, 0, true);
        Apple.render(shadow_positionAttribute, 0, 0, true);
        Title.render(shadow_positionAttribute, 0, 0, true);

    }

    private void renderScene() {
        GLES20.glBindFramebuffer(GLES20.GL_FRAMEBUFFER, 0);

        GLES20.glClear(GLES20.GL_COLOR_BUFFER_BIT | GLES20.GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

        GLES20.glUseProgram(mActiveProgram);

        GLES20.glViewport(0, 0, mDisplayWidth, mDisplayHeight);

        GLES20.glUniform1f(scene_mapStepXUniform, (float) (1.0 / mShadowMapWidth));
        GLES20.glUniform1f(scene_mapStepYUniform, (float) (1.0 /
mShadowMapHeight));

        float[] tempResultMatrix = new float[16];

        float bias[] = new float[]{
                0.5f, 0.0f, 0.0f, 0.0f,
                0.0f, 0.5f, 0.0f, 0.0f,
                0.0f, 0.0f, 0.5f, 0.0f,
                0.5f, 0.5f, 0.5f, 1.0f};
```

```
        float[] depthBiasMVP = new float[16];

        Matrix.multiplyMM(tempResultMatrix, 0, mViewMatrix, 0, mModelMatrix, 0);
        System.arraycopy(tempResultMatrix, 0, mMVMatrix, 0, 16);

        GLES20.glUniformMatrix4fv(scene_mvMatrixUniform, 1, false, mMVMatrix, 0);

        Matrix.invertM(tempResultMatrix, 0, mMVMatrix, 0);
        Matrix.transposeM(mNormalMatrix, 0, tempResultMatrix, 0);

        GLES20.glUniformMatrix4fv(scene_normalMatrixUniform, 1, false,
mNormalMatrix, 0);

        Matrix.multiplyMM(tempResultMatrix, 0, mProjectionMatrix, 0, mMVMatrix, 0);
        System.arraycopy(tempResultMatrix, 0, mMVPMatrix, 0, 16);

        GLES20.glUniformMatrix4fv(scene_mvpMatrixUniform, 1, false, mMVPMatrix, 0);

        Matrix.multiplyMV(mLightPosInEyeSpace, 0, mViewMatrix, 0,
mActualLightPosition, 0);

        GLES20.glUniform3f(scene_lightPosUniform, mLightPosInEyeSpace[0],
mLightPosInEyeSpace[1], mLightPosInEyeSpace[2]);

        Matrix.multiplyMM(depthBiasMVP, 0, bias, 0, mLightMvpMatrix, 0);
        System.arraycopy(depthBiasMVP, 0, mLightMvpMatrix, 0, 16);

        GLES20.glUniformMatrix4fv(scene_shadowProjMatrixUniform, 1, false,
mLightMvpMatrix, 0);

        Table.render(scene_positionAttribute, scene_normalAttribute,
scene_colorAttribute,  false);
        Teapot.render(scene_positionAttribute, scene_normalAttribute,
scene_colorAttribute,  false);
        Cup.render(scene_positionAttribute, scene_normalAttribute,
scene_colorAttribute,  false);
        Apple.render(scene_positionAttribute, scene_normalAttribute,
scene_colorAttribute,  false);
        Torch.render(scene_positionAttribute, scene_normalAttribute,
scene_colorAttribute,  false);
        Title.render(scene_positionAttribute, scene_normalAttribute,
scene_colorAttribute,  false);
        Apple.render(scene_positionAttribute, scene_normalAttribute,
scene_colorAttribute,  false);

        mPlane.render(scene_positionAttribute, scene_normalAttribute,
scene_colorAttribute, false);
    }
}
```

Список используемой литературы

1) OPENGL. ТРЕХМЕРНАЯ ГРАФИКА И ЯЗЫК

ПРОГРАММИРОВАНИЯ ШЕЙДЕРОВ [Электронный ресурс] (01.12.2020) URL: https://www.opengl.org.ru/opengl-trekhmernayagrafika-i-yazyk-programmirovaniya-sheiderov/opengl-trekhmernayagrafika-i-yazyk-programmirovaniya-sheiderov-page-0.html

2) OpenGL Red Book (русская версия) [Электронный ресурс] (05.12.2020) URL: https://www.hardforum.ru/download/RedBook.pdf
3) Основы Blender 2.8+[Электронный ресурс] (03.12.2020) URL: https://blender3d.com.ua/blender-basics/