

Laboratório de Aplicações com Interface Gráfica
Aulas Práticas

MIEIC – 2017/2018

Trabalho 1 – Desenvolvimento de um Motor Gráfico em WebGL

Pretende-se, com este trabalho, constituir uma aplicação dotada de um pequeno motor gráfico 3D. A aplicação deve ser capaz de produzir imagens de qualquer cena, sendo esta especificada através de um ficheiro de texto a ser lido pela aplicação (ver secção 2 deste documento).

O ficheiro de texto deve respeitar uma "linguagem" própria, a que chamaremos LSX - *Language of Scenes in XML*, especificada na secção 2 deste documento, que obedece a um conceito muito vulgar em computação gráfica: o Grafo de Cena (*Scene Graph*). A sintaxe obedece ao formato de *tags* do XML.

A aplicação deve efectuar a leitura de um ficheiro com extensão ".xml" que descreve a cena no formato LSX, construindo simultaneamente a estrutura de dados correspondente ao grafo de cena. Só depois deve efectuar a afixação da imagem respectiva. As fontes de luz devem iniciar-se (*on/off*) de acordo com o especificado no ficheiro .lsx e devem poder ser alteradas por meio de controlos na interface gráfica 2D.

Componentes do Trabalho:

1. Preparar uma cena especificada num ficheiro .xml em formato LSX original, de acordo com as instruções das secções seguintes do presente documento. Todos os ficheiros serão posteriormente divulgados e partilhados, constituindo-se assim um acervo de cenas de teste.
2. Implementar a componente de leitura e interpretação do ficheiro .lsx (*parsing*), por recurso à biblioteca WebCGF (instruções e um exemplo estão disponíveis juntamente com este enunciado).
3. Implementar uma estrutura de dados, que passa pelo grafo de cena apresentado na secção 1 deste documento.
4. Implementar um conjunto de funcionalidades que efectue a visita do grafo anterior e construa a imagem correspondente usando a tecnologia WebGL e com recurso à biblioteca [WebCGF](#).

Notas sobre a avaliação do trabalho:

Composição dos Grupos : Os trabalhos devem ser efetuados em grupos de dois estudantes. Em caso de impossibilidade (p.ex. por falta de paridade numa turma), deve ser discutida com o docente a melhor alternativa.

Avaliação do Trabalho de Grupo : O código resultante do trabalho de grupo deverá ser sujeito a uma bateria de testes, com origem em várias cenas representadas por ficheiros LSX/.xml. A classificação será atribuída após apresentação pelos autores ao docente que terá em atenção os tópicos de avaliação definidos abaixo, neste texto.

Avaliação Individual : Na prova de avaliação individual, serão pedidas várias funcionalidades adicionais, a

implementar sobre o código original desenvolvido em trabalho de grupo. Cada alínea será avaliada, à semelhança do trabalho de grupo, pelas respostas dadas pelo software a uma bateria de testes.

Avaliação do Trabalho : Média aritmética das duas avaliações anteriores.

De acordo com a formulação constante na ficha de disciplina, a avaliação deste trabalho conta para a classificação final com um peso de:

$$80\% * 30\% = 24\%.$$

Plano de trabalhos sugerido:

- **Semana de 25/09:** Início do trabalho; criação e carregamento da estrutura de dados
- **Semana de 02/10:** Desenho de primitivas base; travessia do grafo de cena com transformações; criação da cena de teste
- **Semana de 09/10:** Submissão da cena de teste; Aplicação de materiais e texturas; garantia de herança; iluminação
- **Semana de 16/10:** Patches; verificações finais

Entrega e avaliação:

- Data limite de entrega do ficheiro .xml: 09/10/2017
- Data limite de entrega do trabalho completo: 23/10/2017
 - Por via eletrónica/moodle (instruções a divulgar proximamente).
- Avaliação do trabalho em aulas: semana com início em 23/10/2017
- Prova de avaliação individual: 25/10/2017

Critérios de avaliação:

- | | |
|---|-------------|
| • Estruturação e Documentação do código | 2 valores |
| • Primitivas e Geometria | 4 valores |
| • Transf.Geométricas - descrição e herança | 4 valores |
| • Materiais - descrição e herança | 3.5 valores |
| • Texturas - descrição, dimensões e herança | 3.5 valores |
| • Patches/NURBS | 3 valores |

1. Grafo de Cena

Um grafo de cena pode ser visitado como uma árvore que especifica, de forma hierárquica, uma cena 3D. Cada nó corresponde a um objecto, simples (folha) ou composto (nó intermédio).

Todo e qualquer nó deve ter um identificador numérico único, assim como manter o identificador do tipo *string* que lhe corresponde no ficheiro .lsx. Um nó pode ser instanciado várias vezes, ou seja, referenciado por vários nós seus ascendentes; por exemplo, um nó pode representar a roda de um automóvel e, por isso, ser referenciado quatro vezes diferentes.

1.1. Nós tipo Folha

Cada folha refere-se exclusivamente a um objecto simples, cuja geometria é directamente interpretada e

desenhada por instruções WebGL. Deve por isso conter todos os parâmetros exigidos pela instrução WebGL.

1.2. Nós Intermédios

Subindo na hierarquia, um nó intermédio da árvore possui um ou mais nós como seus descendentes directos, sendo que estes poderão ser folhas ou outros nós intermédios. Está reservada a nós intermédios a declaração de eventuais:

- Propriedades de aspecto (materiais, etc.);
- Transformações geométricas.

Um nó recebe do seu antecessor uma matriz de transformações geométricas ***Ma***. Sendo um nó intermédio, possui as suas próprias transformações geométricas, representadas por uma matriz única ***Mp***. A matriz a aplicar ao objecto, assim como a passar aos seus eventuais descendentes, é calculada pela expressão ***M=Ma*Mp***.

Cada nó recebe propriedades de aspeto do seu antecessor (devem ser definidos valores de "default" para o nó raiz) e pode ter definidas as suas próprias propriedades de aspeto. As regras de desambiguação a usar neste caso são definidas na especificação da linguagem LSX, na secção 2 deste documento.

1.3. Outras Entidades

Além de objectos, a linguagem pressupõe a existência de outras entidades, como sejam as fontes de luz, as texturas e os materiais. As entidades de iluminação e de visualização, tais como as fontes de luz, interferem com todo o grafo e, por isso, não devem ser ligadas a qualquer dos nós do grafo. Por isso, a linguagem exige a sua declaração na parte inicial do ficheiro XML. As texturas e os materiais servem para utilização nos nós intermédios, pelo que também é previsto prepararem-se no início do ficheiro. Ao declarar-se uma textura esta deve ser lida, para memória, a partir do ficheiro .jpg ou .png correspondente (atenção: o comprimento e a largura de cada textura devem ser potências de 2).

A figura 1 apresenta um exemplo de um grafo de cena, com os nós intermédios representados por retângulos, e as folhas ("leaves") por círculos.

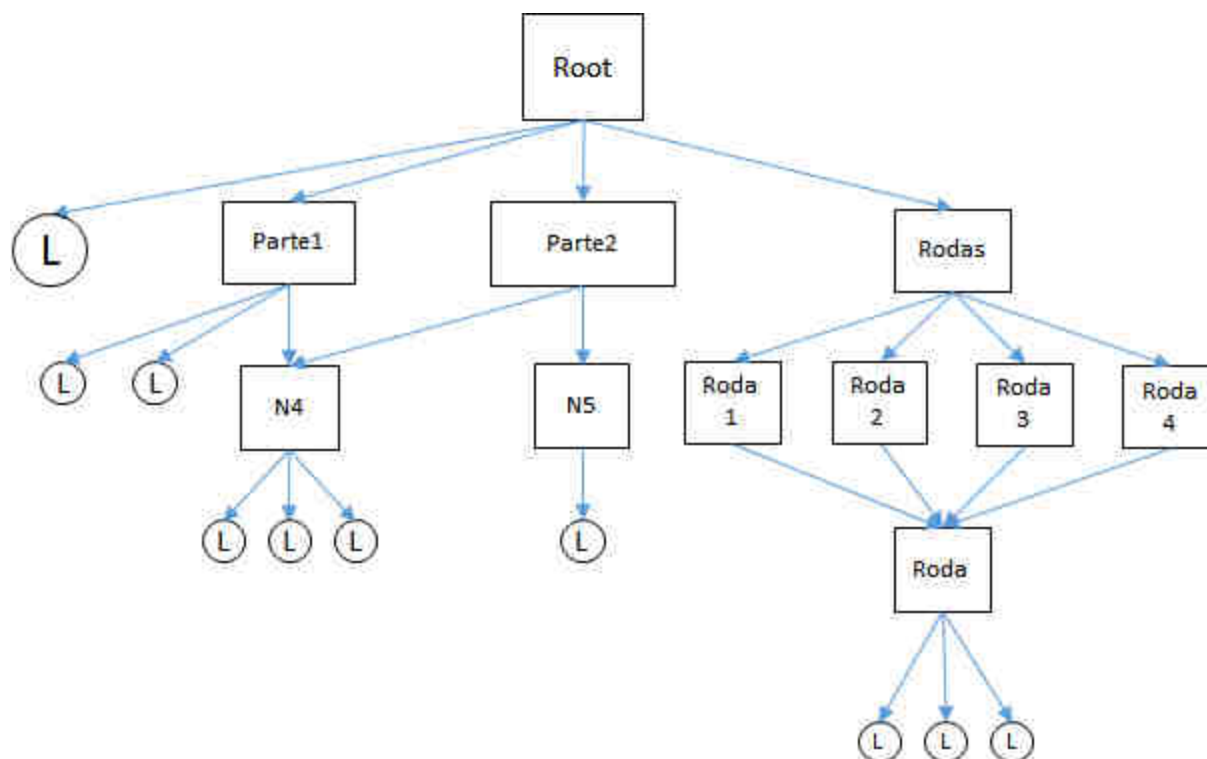


Figura 1 - Exemplo de um grafo de cena

Note-se que o número de descendentes directos de um nó intermédio é indeterminado, mas tem de existir pelo menos um descendente. Todo e qualquer nó deve ter um identificador, que é fornecido no ficheiro XML.

Cada nó intermédio pode ser instanciado várias vezes, ou seja, pode ser referenciado por mais do que um nó ascendente. Por exemplo, um nó pode representar a roda de um veículo e, por isso, ser referenciado quatro vezes diferentes como se vê na figura 1: o objecto "Roda" tem a sua subárvore e tem as suas transformações geométricas particulares. No entanto, para que as quatro rodas tenham distintas posições no espaço, é necessário que possuam diferentes transformações geométricas. Assim, são criados os nós intermédios de instanciação *Roda1*, *Roda2*, *Roda3* e *Roda4*, todos referindo serem compostos pelo nó *Roda*, mas cada um dos quatro com transformações geométricas diferentes.

2. Objetos do tipo patch

Os objetos do tipo patch serão modelados através da representação Non-Uniform rational basis spline (NURBS). Crie uma classe Patch, extensão de CGFobject, de forma a gerar, utilizando NURBS, uma superfície de grau 1,2 ou 3 nas duas direções U e V. Considere a representação do elemento patch na linguagem LSX.

3. Linguagem LSX

A linguagem LSX - *Language of Scenes* constitui uma forma de especificar cenas 3D de uma forma muito simples e fácil de interpretar. Um documento em linguagem LSX pode ser escrito em qualquer editor de texto

e obedece a regras de XML, baseadas em *tags*.

Ao ser lido e interpretado por uma aplicação gráfica, um ficheiro .xml em formato LSX deve ser verificado em termos de sintaxe, devendo a aplicação gerar algumas mensagens de erro, eventualmente identificando os eventuais erros encontrados.

Cada comando representa-se por um ou mais *tags*, contendo os parâmetros respectivos (se existirem). Um grupo de caracteres ou mesmo linhas limitado por `<!--` e `-->` é considerado um comentário.

A linguagem assume os seguintes valores por omissão (*defaults*) que, por isso, a aplicação deve inicializar:

```
front face = CCW
depth func = LEQUAL, enable
cull face  = back, enable
lighting   = enable
shading    = Gouraud
polygon mode = fill
```

Um documento LSX divide-se em blocos, cada um iniciando-se com um termo identificador de bloco, escrito entre "`< >`" (por exemplo `<LIGHTS>`) e terminando com o mesmo termo antecedido de uma barra de divisão (no mesmo exemplo, `</LIGHTS>`). A sequência de blocos é a seguinte:

```
INITIALS      <!--global values -->
ILLUMINATION  <!--illumination parameters -->
LIGHTS        <!--specification of all lights -->
TEXTURES      <!--specification of all textures -->
MATERIALS     <!-- specification of all materials -->
NODES         <!--specification of all combined objects -->
```

Os últimos cinco blocos anteriores contêm definições de entidades do tipo correspondente (várias luzes, várias texturas, etc...). Cada uma dessas entidades contém um identificador do tipo *string*. Cada identificador deve ser único dentro de cada bloco (por exemplo, não podem existir duas fontes de luz com o mesmo identificador).

Segue-se uma listagem representativa da sintaxe pretendida.

In the following, these symbols have the significance:

```
ii: integer value
ff: float value
ss: string value
cc: character "x" or "y" or "z"
tt: "0" or "1" with Boolean significance false/true, respectively
```

<SCENE>

<INITIALS>

```
<frustum near="ff" far="ff"/>                                <!-- frustum planes-->

<!-- All the following transformations are mandatory; neutral values may be used -->
<translate x="ff" y="ff" z="ff" />                            <!-- initial translate -->
<rotation axis="cc" angle="ff" />                            <!-- initial rotation 3 -->
<rotation axis="cc" angle="ff" />                            <!-- initial rotation 2 -->
<rotation axis="cc" angle="ff" />                            <!-- initial rotation 1 -->
<scale sx="ff" sy="ff" sz="ff" />                            <!-- initial scaling -->
<reference length="ff" />                                     <!-- axis length; "0" means no axis-->
```

</INITIALS>

<ILLUMINATION>

```
<ambient r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                    <!-- global ambient -->
<doubleside value="tt" />                                  <!-- double or single side illum. -->
< background r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                <!-- background color -->
```

</ILLUMINATION>

<LIGHTS>

```
<LIGHT id="ss">                                            <!-- light identifier -->
  <enable value ="tt" />                                  <!-- enable/disable -->
  <position x="ff" y="ff" z="ff" w="ff" />
    <!-- light position; w=1: point light; w=0: directional light -->

  <ambient r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                  <!-- ambient component -->
  <diffuse r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                  <!-- diffuse component -->
  <specular r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                  <!-- specular component -->
</LIGHT>
```

<!-- NOTE: this block "LIGHT" must be repeated as necessary with
different "id". At least one light should be present.

-->

</LIGHTS>

<TEXTURES>

```
<TEXTURE id="ss">
  <file path="ss" />                                       <!-- path to file -->
  <amplif_factor afs="ff" aft="ff" />                     <!-- dx/afs, dy/aft -->
</TEXTURE>
```

<!-- NOTE: this block "TEXTURE" must be repeated as necessary with different "id" -->

</TEXTURES>

<MATERIALS>

```
<MATERIAL id="ss">
  <shininess value="ff" />
  <specular r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                <!-- specular reflection -->
  <diffuse r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                <!-- diffuse reflection -->
  <ambient r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                <!-- ambient reflection -->
  <emission r="ff" g="ff" b="ff" a="ff" />                <!-- emission component -->
</MATERIAL>
```

<!-- NOTE: the "MATERIAL" block may be repeated as required. Each defined material
requires a distinct "id". At least one material should be present. -->

</MATERIALS>

<NODES>

```
<ROOT id="ss" />      <!-- identifier of root node of the scene graph; this node must -->
                        must be defined in one of the following NODE declarations -->

<NODE id="ss">         <!-- defines one intermediate node; may be repeated as necessary -->

    <!-- next two lines are mandatory -->
    <MATERIAL id="ss" />      <!-- this superimposes the material received from parent node
                              id="null" maintains material from parent node -->
    <TEXTURE id="ss" />      <!-- declared texture superimposes the texture received from parent node
                              id="null" maintains texture from parent node
                              id="clear" clears texture declaration received from parent node -->

    <!-- geom. transf. are optional and may be repeated, in any order, as necessary: -->
    <TRANSLATION x="ff" y="ff" z="ff" />
    <ROTATION axis="cc" angle="ff" />
    <SCALE sx="ff" sy="ff" sz="ff" />

    <!-- declaring descendants, at least one node or one leaf must be present
          descendants may be mixed, nodes and leafs -->
    <DESCENDANTS>
        <NODEREF id="ss" />  <!-- "ss" is the identifier of a node or of leaf; -->
                              <!-- may be repeated as necessary. It can refer an -->
                              <!-- identifier of another node, before or later defined in the file. -->

        <!-- next lines define nodes of type leaf; may be repeated, in any order, as necessary -->
        <LEAF type="rectangle" args="ff ff  ff ff" />
            <!-- 2D coordinates for left-top and right-bottom vertices. -->

        <LEAF type="cylinder" args="ff ff ff ii ii tt tt" />
            <!-- height, bottom radius, top radius, sections along height (stacks), parts per
                  section (slices), top cap(0 or 1), bottom cap (0 or 1) -->

        <LEAF type="sphere" args="ff ii ii" />
            <!-- radius, sections along radius, parts per section -->

        <LEAF type="triangle" args="ff ff ff  ff ff ff  ff ff ff" />
            <!-- coordinates of each vertex -->

        <LEAF type="patch" args="ff ff" >
            <!-- Non-Uniform rational basis spline (NURBS), divisions across U and across V-->

            <CPLINE>          <!-- a controlpoint line declaration;
                              use as many CPLINE elements as required to characterize the U dimension -->
                <CPOINT xx="ff" yy="ff" zz="ff" ww="ff" />      <!-- a controlpoint declaration;
                                                                      use as many CPOINT as required to
                                                                      characterize the V dimension -->

            </CPLINE>

        </LEAF>

    </DESCENDANTS>
</NODE>
</NODES>

</SCENE>
```

Notas adicionais:

- As fontes de luz podem, em *runtime*, ser ligadas/desligadas através da interface.
- Tags devem respeitar a capitalização das letras, tal como especificadas acima
- Os "amplification factor" (afs e aft) das texturas só se aplicam às primitivas básicas - retângulo e

triângulo. A forma de aplicação está ilustrada nos documentos Moodle

- <https://moodle.up.pt/mod/resource/view.php?id=26729>
- <https://moodle.up.pt/mod/resource/view.php?id=26730>

- A ordem pela qual os nós são declarados é arbitrária. Como tal, um nó pode referir como descendente um outro nó que seja declarado mais cedo ou mais tarde. Caso haja referência a nós que não existem, o programa deve assinalar o erro com uma mensagem.
- Sobre as folhas "leaf":
 - Folha "rectangle":
 - é desenhada no plano XY
 - Folha "cylinder":
 - é desenhado com o eixo coincidente com eixo dos ZZ; a base com "bottom radius" fica no plano XY; a base com "top radius" fica algures no eixo positivo ZZ; o cilindro tem "tampas"
 - possui dois novos parâmetros no atributo *args*. Estes parâmetros, do tipo de dados booleano, representam a necessidade de desenho dos círculos superior e inferior de um cilindro. Para o valor 0, o círculo deve ser omitido e para o valor 1 o círculo deve ser desenhado.
 - Folha "sphere":
 - tem pólos norte e sul respetivamente nos lados positivo e negativo do eixo ZZ; o centro está na origem das coordenadas.
 - Folha Patch:
 - Nas coordenadas de CPOINT, o valor de "ww" controla o "poder de atração" do ponto sobre a curva; usualmente tem valor 1.