



2º Exame/1º Teste/2º Teste de Computação Gráfica

LEIC/LESIM

Prof. Mário Rui Gomes

23 de Julho de 2002

Nº _____ Nome: _____

Responda às questões seguintes justificando adequadamente todas as respostas. O Teste tem uma duração máxima, incluindo tolerância, de 1h30m. O Exame tem uma duração máxima, incluindo tolerância, de 2h30m.

Ao 1º teste pertencem todas as perguntas dos grupos I a IV . Ao 2º teste pertencem todas as perguntas dos grupos V a IX. Ao 2º Exame pertencem todas as perguntas menos as assinaladas como [Teste] .

1º Parte (1º Teste)

I - Introdução e Conceitos Básicos

1. Na taxionomia das Aplicações Gráficas um dos critérios usados é o do tipo de “Tipos de Interação com o Utilizador”. Descreva, sucintamente, 4 desses tipos, dando um exemplo para cada um deles.

Quanto aos tipos de interação com o utilizador temos vários níveis de sofisticação, dos quais devem ser escolhidos 4, quer na perspectiva das ferramentas que o utilizador manipula, quer das capacidades dos próprios objectos virtuais:

1. Na Representação Passiva (offline) existe uma descrição dos objectos a visualizar limitando-se o utilizador a mandar desenhar as imagens, quer se trate de uma ferramenta de visualização num ecrã, da impressão num plotter ou da sensibilização de um filme de 35mm, recorrendo a um equipamento apropriado ligado ao computador. Estas representações podem ter sido criadas, por exemplo, por outras pessoas e enviadas como parte de uma comunicação pessoa – pessoa assíncrona.

2. Na Representação Interactiva o utilizador manipula os objectos, construindo a cena de modo incremental, grava toda a cena, incluindo a sua iluminação, posição das câmaras e, sempre que entender, obtém uma imagem no suporte mais apropriado.

3. Nos Sistemas de Navegação a cena está pré-definida podendo o utilizador controlar não só o modo de iluminar a cena mas também definir e controlar várias câmaras virtuais e navegar num espaço, normalmente, tridimensional. Estes sistemas denominam-se de Tempo Real, sendo uma das ferramentas mais populares os navegadores VRML. Considerando o facto da cena ser estática existem algoritmos optimizados que permitem a visualização da cena com elevado grau de realismo (algoritmos baseados no conceito de radiosidade).

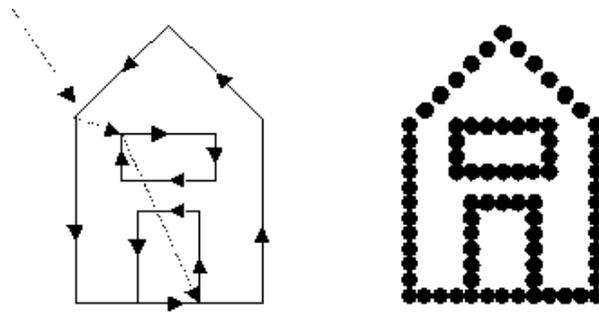
4. Nos Ambiente de Realidade Virtual, também de Tempo Real, é possível não só navegar mas também alterar a cena, incluindo a geometria e restantes atributos dos objectos. Os navegadores VRML suportam também esta funcionalidade.

5. Até agora considerar-mos que os objectos eram representações gráficas de objectos inanimados. No entanto, com a crescente importância dos Agentes Autónomos, em particular nos jogos de computador, devemos considerar um novo tipo de interacção pessoa máquina na qual a máquina detém características que convencionamos chamar humanas, tais como inteligência (dita artificial), autonomia, personalidade, emoções e muitas outras.

6. Existe ainda uma classe de aplicações ditas de cooperação suportada em Avatars, em que os objectos gráficos são representações complexas de outra pessoa com a qual o utilizador está a interactuar. Esta classe de aplicações aparece nos sistemas de comunicação pessoa – pessoa, síncrona, através de canais de comunicação de baixo débito. Em primeiro lugar envia-se a geometria do avatar e informação sobre os elementos a parametrizar. Durante a comunicação, basta enviar os parâmetros que variam em função do tempo (sorrir, erguer o sobrolho).

2. O que se entende por Computação Gráfica Vectorial e Computação Gráfica *Raster*? Dê um exemplo de um tipo de aplicação e de um dispositivo de saída de dados que seja mais adequada a utilização de cada um desses tipos de Computação Gráfica.

A diferença fundamental está relacionada com o modo como é criada a imagem, se através do desenho de vectores se através de quadrículas (raster) tal como pode observar-se na figura.



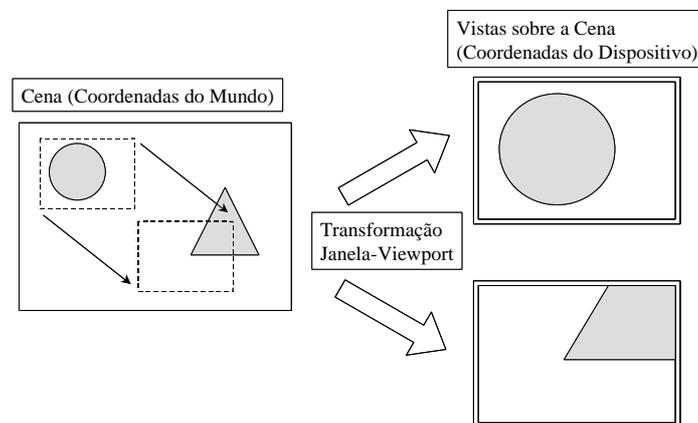
Enquanto que no projecto de engenharia a geometria tem um papel central, pelo que a representação vectorial afigura-se como a mais correcta, quando é necessário criar representações da Natureza, por exemplo a partir de imagens obtidas por satélite, a representação em quadrícula é a mais correcta.

Uma representação vectorial é facilmente criada com um plotter de caneta. Uma representação raster é facilmente criada num ecrã gráfico, no qual é definida a cor de cada ponto do ecrã.

3. O que se entende por *panning*, *viewport* e *janela*? Desenhe um exemplo de uma operação de *panning* não esquecendo de indicar os Sistemas de Coordenadas utilizados.

*Na transformação de um Modelo para uma sua Vista são utilizados dois sistemas de coordenadas, do Mundo e do Dispositivo. No primeiro é definida a **janela** através da qual se visualizará o Modelo. No segundo o **viewport**, isto é a área do ecrã na qual vai ser desenhada a vista.*

*O **panning** é uma operação que consiste na deslocação da janela sobre o Mundo, tal como se mostra na figura.*



4. **[Teste]** O que é o GKS? Dê exemplo 4 exemplos de primitivas gráficas suportadas pelo GKS.

O GKS, Graphic Kernel System, é uma norma internacional (ISO) que permite o cálculo de vistas de primitivas gráficas tais como Linhas Poligonais, Polígonos, Marcas, Texto e, apesar de se tratar de uma norma vectorial, mapas de quadrículas.

II - Transformações/Projecções

1. Determine as coordenadas homogêneas do ponto [-10; 22] do espaço 2D quando $w=3$.

Ao ponto do espaço 2D de coordenadas [-10; 22] corresponde o ponto [-10; 22 ;1] do espaço homogêneo. Quando $w=3$ ter-se-á então [-30; 66; 3].

2. **[Teste]** Indique as transformações elementares realizadas pela matriz seguinte e a ordem pela qual elas são realizadas:

$$\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Existem várias soluções possíveis.

III - VRML

1. Considere a seguinte porção de código, definindo um conjunto de transformações aplicadas a um cubo:

```
Transform {
  rotation 0 1 0 3.14
  scale 1 2 1
  translation 10 0 0
  children Shape { geometry Box {} }
}
```

- a) Qual é a ordem de aplicação das transformações pelo VRML? Qual seria, neste exemplo específico, a sequência de transformações?

A ordem de aplicações das transformações é: (1) escalamento, (2) rotação e (3) translação. Dentro de um mesmo nó Transform, esta sequência é independente da ordem pela qual estas transformações surgem no código.

- b) Explique como alterar a ordem de aplicação das transformações. Reescreva o código de forma a garantir que a translação seja aplicada em primeiro lugar, o escalamento a seguir, e finalmente a rotação.

Para inverter a ordem de aplicação das transformações, deverá utilizar nós Transform encadeados. Neste caso, uma solução possível seria:

```
Transform {
  scale 1 2 1
  rotation 0 1 0 3.14
  children Transform {
    translation 10 0 0
    children Shape { geometry Box {} }
  }
}
```

2. O nó TimeSensor é um sensor diferente dos restantes oferecidos pelo VRML no sentido em que não gera eventos baseados na interação com o utilizador. Qual a utilidade deste nó? Descreva 3 possíveis aplicações do nó. Dê um exemplo da sua utilização no contexto das aulas de laboratório.

O nó TimeSensor gera eventos à medida que o tempo passa. Entre as várias utilizações possíveis destacam-se: controlo de simulações e animações; controlo de actividades periódicas; lançamento de eventos únicos a determinado momento. O nó TimeSensor é frequentemente utilizado conjuntamente com interpoladores.

Durante as aulas de laboratório, o nó TimeSensor foi indispensável ao controlo do movimento de um veículo, e era activado quando o utilizador seleccionava o veículo. Após ser activado, alimentava interpoladores de posição e orientação que controlavam o movimento do veículo e da câmara.

3. **[Teste]** Considere os seguintes dois nós Material: MaterialA e MaterialB. Se tivesse apenas estes dois nós para simular duas superfícies - uma metálica, outra plástica – qual dos nós escolheria para cada superfície? Justifique.

```
DEF MaterialA Material {
  ambientIntensity .2
  emissiveColor 0 .1 0
  diffuseColor 0 1 0
  specularColor 1 1 1
  shininess .1
}

DEF MaterialB Material {
  ambientIntensity .1
  emissiveColor .2 0 0
  diffuseColor 1 0 0
  specularColor .5 .5 .5
  shininess .2
}
```

Utilizaria o nó Material A para simular a superfície plástica e o nó MaterialB para simular a superfície metálica. A escolha deve-se aos valores presentes nos campos specularColor e shininess que definem o brilho do material: baixos valores em shininess produzem brilhos suaves enquanto valores altos produzem highlight mais intensos e pequenos; valores mais altos

em specularColor implicam alterações mais pronunciadas quando o ângulo de incidência da luz em relação à superfície é próximo do ângulo do ponto de vista relativamente à superfície.

IV - Modelação

1. Enumere, descreva e justifique 2 das propriedades que qualquer Esquema de Representação de Modelos Tridimensionais deve satisfazer, na perspectiva do Utilizador.

*Os processos de criação interactiva de representações dos modelos geométricos de sólidos devem ainda ser tais que tornem **difícil a criação de representações inválidas** e, por outro lado, seja **fácil criar representações válidas**. No fundo, o que se exige é que os processos de criação de representações apresentem menores probabilidades de ocorrência de erros. Este requisito tem igualmente a ver com a necessidade de que as representações criadas continuem a ser válidas mesmo depois de quaisquer transformações que lhes sejam aplicadas.*

*O processamento de representações dos modelos geométricos de sólidos requer ainda que estas sejam **compactas** para que os processamentos sejam rápidos e que estes possam igualmente ser realizados através de **algoritmos eficientes**.*

2. Um dos Esquemas de Representação é designado por “Varrimento” (*Sweep*). Descreva este Esquema de Representação, dando um exemplo da sua aplicação. Descreva, justificando, um exemplo em que o esquema não deve ser usado.

A representação de sólidos tridimensionais por varrimento ("sweep") tem por base a descrição do volume gerado quando um objecto é deslocado segundo uma dada trajectória e varre um dado volume. O exemplo mais simples é o de um círculo deslocado segundo uma trajectória linear perpendicular ao círculo. O volume varrido resultante é um cilindro obtido por translação. Um processo de fabrico em que um material plástico é obrigado a passar por um crivo com um orifício circular produz um resultado idêntico. O material toma a forma de um cilindro à saída do crivo e o volume descrito resulta de um varrimento por extrusão.

O cálculo das propriedades de volumes varridos torna-se bastante mais difícil nos chamados volumes varridos gerais. Nestes, a secção bidimensional que varre os volumes pode variar de ponto para ponto da trajectória, normalmente de forma contínua. O volume pode também ser varrido por um objecto tridimensional. A representação da modelação torna-se então complexa bem como o cálculo das propriedades geométricas do volume varrido, nomeadamente o cálculo do seu volume.

3. Descreva a representação por “Árvore de Octantes”. Descreva, justificando, uma vantagem deste tipo de representação.

A representação por árvore de octantes é um esquema de Representação por Partição do Espaço que emprega a estratégia de dividir para conquistar, dividindo o espaço em oito octantes pelo plano médio segundo cada direcção do espaço. Cada octante assim obtido é sucessivamente subdividido em sub-octantes até que estes se encontrem todos ocupados ou todos livres, ou ainda se atinja o nível máximo de subdivisão permitido. Depois de uma subdivisão, se os octantes resultantes forem homogéneos (todos ocupados ou todos livres), os octantes são substituídos pelo octante que lhes deu origem e o processo de subdivisão termina para esse octante. Este processo de subdivisão sucessiva gera uma árvore de octantes em que, em cada nível, existem oito ramos possíveis. Em geral, os ramos desta árvore terminam em volumes que, ou estão livres, ou estão ocupados.

A representação de sólidos por árvore de octantes (octree) tem por objectivo eliminar a desvantagem principal da representação por enumeração da ocupação do espaço. Esta desvantagem consiste no elevado número de células em que o espaço tem que ser subdividido, para que se obtenha uma discriminação suficientemente fina que permita a definição precisa dos objectos a representar e das suas fronteiras. O número elevado de células traduz-se numa representação pouco compacta, com grupos de inúmeras células idênticas contíguas, e requer um consumo exagerado de memória. Na verdade, obter-se-iam representações muito mais compactas se cada grupo de células idênticas contíguas pudesse ser representado por uma única célula.

2º Parte (2º Teste)

V - Pipeline de Visualização e Recorte

1. Que tipos de transformações têm lugar quando se transforma uma cena do sistema de coordenadas do mundo para o sistema de coordenadas uvn (câmara)? Indique a ordem pela qual essas transformações são realizadas.

O objectivo é fazer coincidir o referencial da câmara com o do Mundo. Considerando que VRP é a origem do referencial da câmara, v é o versor de vuv e n é o versor de vpn , $u = n \times v$. Assim realiza-se em primeiro lugar uma translação de $T[-VRPx, -VRPy, -VRPz]$ e depois uma rotação que vale:

$$: R_{\text{rot}} = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & 0 \\ v_x & v_y & v_z & 0 \\ n_x & n_y & n_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2. Descreva o Algoritmo de Cohen-Sutherland aplicado a objectos definidos no espaço 3D. A que tipo de objectos se aplica?

O algoritmo Cohen-Sutherland aplica-se ao recorte de segmentos de recta e baseia-se na subdivisão do espaço em 27 regiões e na atribuição de um código com 6 bits a cada um dos vértices do segmento de recta, os Outcodes. Quando ambos os códigos são iguais a 0 a totalidade do segmento de recta está no interior do cubo canónico, pelo que é trivialmente aceite. Quando a operação de “e lógico” bit a bit resulta num valor diferente de 0, o segmento é trivialmente rejeitado. Quando este resultado é igual a 0, é necessário calcular a intersecção com o plano sobre o qual existe um dos lados do volume, subdividir o segmento de recta, calcular o código do ponto de intersecção e voltar a executar o algoritmo para cada um dos dois subsegmentos.

3. **[Teste]** Considere o modelo “Câmara Virtual Simples”. Indique quais as transformações necessárias para transformar um volume de visualização perspectivo genérico no volume canónico perspectivo.

São necessárias duas transformações de escala para converter o volume de visualização genérico no volume canónico perspectivo. Primeiro a escala que faz com que a inclinação dos planos laterais do frustum genérico tenham um declive unitário, e depois uma outra escala que faça com que o plano de recorte posterior, localizado em $z=F$, passe para $z=1$.

Poder-se-á ainda especificar a Transformação Perspectiva de modo a converter o volume canónico perspectivo num volume canónico ortogonal com o objectivo de simplificar as operações de visibilidade.

VI – Rasterização

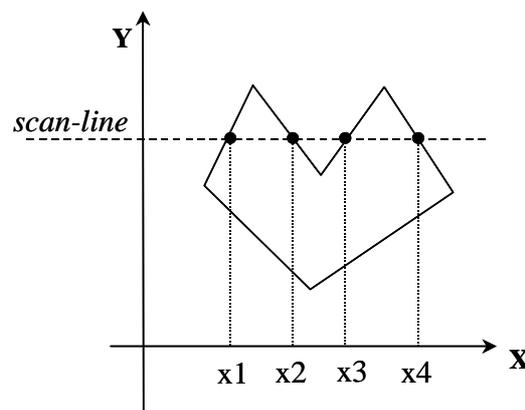
1. Qual a diferença fundamental entre as abordagens ao problema da discretização seguidas pelo Algoritmo Incremental Básico e pelo Algoritmo de Bresenham? Qual a diferença de desempenho dos dois algoritmos?

No Algoritmo Incremental Básico calcula o valor de Y , para um dado valor inteiro de X , e arredonda-o para o valor inteiro mais próximo e, desse modo, as coordenadas da quadrícula a desenhar. Neste caso, a complexidade do algoritmo pode ser expressa pelo arredondamento de uma soma do valor anterior de Y e do declive, isto é, $Y_{i+1} = \text{Round}(Y_i + m)$, implicando a realização de operações com valores reais.

No Algoritmo de Bresenham o problema resume-se a identificar qual de duas quadrículas é que vai ser preenchida. Assim basta saber se para um dado valor inteiro de X o ponto se encontra abaixo ou acima da recta bissectriz das quais quadrículas. Neste caso a complexidade do algoritmo pode ser expressa por um teste e por uma soma de valores inteiros cujo processamento é mais rápido.

2. Como efectuar o preenchimento de um polígono concavo com fronteira composta por segmentos de recta, recorrendo à coerência espacial em linha de varrimento? Dê um exemplo

Como se pode observar no exemplo:



Para cada linha de varrimento calculava as coordenadas das intersecções com a fronteira do polígono. Ordenava os pontos de intersecção por abscissa crescente ($x_1 < x_2 < x_3 < x_4$). Seguidamente delimitava as regiões interiores ao polígono (x_1 a x_2 : in; x_2 a x_3 : out; x_3 a x_4 :

in;) e preencha as cadeias de quadrículas (“spans”) entre pares de pontos. No caso dos vértices, tem que se ter o cuidado de eliminar as arestas que terminem em vértices na linha de varrimento anterior de modo a garantir sempre a existência de pares de intersecções.

VII – Remoção

1. No algoritmo de Ordenação em Profundidade podem existir situações de ambiguidade as quais é necessário resolver. Descreva todas essas situações e o modo como as ambiguidades são resolvidas. Pode utilizar imagens para ilustrar as várias situações.

As situações ambíguas ocorrem nos casos em que os intervalos de ocupação dos polígonos segundo zz' se sobrepõem, pelo que não é possível a sua ordenação.

Sendo os polígono P e Q , o processo de resolução de ambiguidades tem por objectivo provar que P não obstrui a visibilidade de Q . Basta que uma das 5 condições seguintes se verifique: (por ordem crescente de complexidade)

- 1) Os intervalos de ocupação de P e Q , segundo xx' , não se sobrepõem.*
- 2) Os intervalos de ocupação de P e Q , segundo yy' , não se sobrepõem.*
- 3) P encontra-se totalmente contido no semi-espaço definido pelo plano de Q , oposto àquele em que se encontra o ponto de observação da cena.*
- 4) Q encontra-se totalmente contido no mesmo semi-espaço, definido pelo plano de P , em que se encontra o ponto de observação da cena*
- 5) As projecções de P e Q no plano (x, y) não se sobrepõem.*

Se P passar no teste de não obstrução com todos os polígonos Q , pode ser discretizado e o próximo polígono da lista passa a ser o novo polígono P . Se o teste falhar com um dos polígonos Q , o polígono P deve ser fragmentado segundo um plano de corte co-planar com Q , descartar-se o polígono original, inserir-se na lista os fragmentos resultantes por ordem crescente de Z_{min} , e repetir o algoritmo.

2. Considere os algoritmos de Ordenação em Profundidade e Z-Buffer aplicados a duas cenas, ambas com objectos de dimensões médias e semelhantes. Considere que uma cena tem um número pequeno de objectos e que a outra tem um número grande de objectos. Indique, justificando, qual seria a relação de desempenho da aplicação dos 2 algoritmos às duas cenas.

Devido a ser um algoritmo que trabalha no Espaço Imagem, o Algoritmo de Z-buffer tem um desempenho $N \times P$. Uma vez que P (numero de pixels por polígono) é o mesmo nas 2 cenas, o

Algoritmo de Z-Buffer depende apenas de N, pelo que teria um bom comportamento na cena de elevada complexidade e um mau comportamento na cena de baixa complexidade. As diferenças entre os dois tempos de execução seriam significativas. Já no que respeita ao espaço de memória, em ambas as cenas ele seria o mesmo.

Devido a ser um algoritmo que trabalha no Espaço Objecto, o Algoritmo de Ordenação em Profundidade tem um desempenho $N \times N$, pelo que teria um melhor comportamento na cena de baixa complexidade e um mau comportamento relativo na cena de elevada complexidade. As diferenças entre os dois tempos de execução seriam muito significativas.

3. **[Teste]** Como se determina geometricamente se uma determinada face é *back-face* e em que referencial é efectuado esse cálculo?

*Calcula-se o produto interno entre a normal à face e o vector de visualização. Se este produto for positivo, é *back-face*, se negativo é face visível. Este cálculo é realizado, tipicamente, no referencial da câmara.*

VIII – Cor, Sombreamento e Formatos

1. Descreva as bases físicas que conduziram à definição do Modelo CMY e relacione-o com o Modelo RGB. Podemos definir o CMY como um modelo aditivo de cor?

O modelo CMY é um modelo de cor baseado nas cores complementares: ciano, magenta e amarelo. A sigla CMY provém da junção da primeira letra dos nomes destas cores em língua inglesa: Cyanide, Magenta e Yellow.

O modelo CMY tem por base os fenómenos que se verificam quando a luz incide em superfícies. Estas podem absorver, reflectir ou refractar a luz de forma desigual consoante o comprimento de onda. Quando uma luz branca incide sobre uma superfície, existem gamas de comprimento de onda em que a luz é absorvida pela superfície. A luz correspondente às gamas de comprimento de onda não absorvidas é, em geral, reflectida. A nossa percepção visual da cor da superfície é dada pela cor dessa luz reflectida. Assim, quando a luz natural incide numa superfície que absorve os comprimentos de onda na zona do vermelho, a luz reflectida não terá quaisquer componentes nessa gama e será constituída por apenas verdes e azuis, ou seja, o olho humano detectará a superfície como sendo da cor ciano. De igual modo, o olho humano perceberá uma superfície como sendo de cor vermelha se esta absorver comprimentos de onda situados na zona do verde e do azul.

Esta subtracção (por absorção) da luz em determinados comprimentos de onda é a razão pela qual o modelo CMY é também designado por modelo subtractivo da cor, em oposição ao modelo

RGB que é designado por modelo aditivo da cor. As cores ciano, magenta e amarelo são designadas por cores primárias complementares ou cores primárias substractivas dada a forma como resultam da subtracção do, respectivamente, vermelho, verde e azul à cor branca.

O espaço CMY pode ser construído da mesma forma que é construído o espaço RGB. As coordenadas do espaço CMY passam a ser as cores primárias substractivas e, tal como para o espaço RGB, as intensidades de cada componente estão normalizadas num intervalo entre 0 (ausência da componente) e 1 (componente na sua intensidade máxima). As cores ficarão então localizadas dentro de um sub espaço com a forma de um cubo, o cubo CMY.

2. O que é um Modelo de Iluminação e um Modelo de Reflexão? O que se entende por componente especular e por componente Difusa? Em que contexto aparecem estes conceitos?

O Modelo de Reflexão descreve a forma como a luz interage com a superfície dos objectos, função das propriedades dessas superfícies e da natureza da luz incidente enquanto que o Modelo de Iluminação descreve a natureza e a distribuição de intensidade da luz emanada pelas fontes luminosas presentes na cena que se pretende representar. Definidos estes modelos e conhecidas as posições e orientações relativas dos objectos e das fontes de luz, é possível proceder ao Cálculo de Sombreamento das superfícies desses objectos (“Shading”).

Modelo de Reflexão de Phong considera a existência de Reflexão Ambiente, Reflexão Difusa e Reflexão Especular

*A componente **especular** modela a reflexão da energia luminosa numa única direcção (ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência)*

*A componente **difusa** modela reflexão da energia luminosa em todas as direcções e é responsável pela cor do objecto (parte da luz incidente é selectivamente absorvida pelo próprio objecto).*

3. No trabalho de laboratório aplicou o sombreamento de Gouraud a polígonos convexos com fronteira formada por segmentos de recta. O que teria que fazer para aplicar o sombreamento de Phong? Descreva esse algoritmo de sombreamento. O que se entende por operação de *picking*?

Para aplicar o sombreamento de Phong teria que ter informação sobre as normais a cada polígono, o que seria facilmente calculado uma vez que os polígonos eram facetas. Mas necessitava ainda de saber a normal aos vértices e para tal necessitaria de obter a adjacência entre polígonos. Um método possível, mas pouco eficiente, seria para cada vértice de cada polígono definir uma pequena caixa de detecção e aplicar um algoritmo de identificação dos

polígonos que intersectam essa caixa (operação de picking). Desse modo, conseguiria identificar os vértices que são partilhados pelos polígonos e poderia usar uma estrutura para armazenar a topologia do objecto.

Tendo efectuado essa operação de levantamento da topologia do objecto, efectuaría o cálculo da normal a cada vértice do objecto, por interpolação das normais das facetas que o partilham. Seguidamente efectuaría a interpolação das normais em cada aresta e em cada linha de varrimento. Para cada quadrícula aplicaria o Modelo de Iluminação do mesmo Autor ou outro algoritmo mais sofisticado.

4. **[Teste]** Apresente 2 soluções alternativas que permitam otimizar o cálculo de um sombreamento recorrendo aos algoritmos de Phong e Gouraud?

Por combinação dos métodos de Phong e Gouraud:

- *Aplicação do método de Phong no cálculo da intensidade luminosa em quadrículas alternadas, recorrendo ao cálculo de uma média simples para as quadrículas intermédias.*
- *Aplicação do método de Gouraud para calcular a componente de reflexão difusa em toda a superfície do objecto. Adicionar a parcela de reflexão especular, calculada através do método de Phong, apenas para os polígonos total ou parcialmente cobertos por áreas “brilho” (testes preliminares, entre as normais aos vértices e o vector de máxima reflexão H , para selecção desses polígonos).*

IX – Ray-Tracing e Radiosidade

1. No método de Ray-Tracing, após cada cálculo de intersecção, é necessário calcular a intensidade luminosa proveniente do ponto de intersecção que é propagada na direcção do centro de projecção, isto é, na direcção contrária à da direcção do raio. Essa luz é resultado de várias contribuições. Descreva-as não esquecendo que o método suporta o cálculo da imagem de objectos que não são só opacos e de sombras.

Esta luz é o resultado das contribuições de várias origens que atingem o ponto de intersecção. Uma das componentes é devida à reflexão da luz proveniente das fontes de luz existentes na cena e que iluminam directamente o objecto no ponto de intersecção. Neste caso, é necessário determinar se cada uma das fontes de luz da cena ilumina realmente o ponto de intersecção ou se existe um outro objecto que se interpõe entre os dois e faz com que o ponto se encontre na sombra em relação a essa fonte. O ponto de intersecção pode também ser iluminado pela luz reflectida por outros objectos.

Finalmente, se o objecto intersectado é transparente ou translúcido, existe uma outra componente para a sua iluminação devida à transmissão (com refração na superfície do objecto) da luz através do objecto. Assim, e em resumo, existem três componentes que contribuem para a iluminação:

- a) luz proveniente de outros objectos, onde foi reflectida na direcção do objecto cuja iluminação se pretende determinar;*
- b) luz refractada transmitida através do objecto e que ilumina o ponto;*
- c) luz proveniente directamente das fontes de luz e que é reflectida pelo objecto.*

A determinação de cada uma destas componentes requer cálculos próprios, por meio dos chamados raios secundários, traçados em sentido inverso ao da propagação da luz correspondente a cada uma das componentes. Uma vez que cada um destes raios secundários tem objectivos diferentes e o seu cálculo é também diferente, convém então separá-los em três tipos:

- raios reflectidos;*
- raios refractados;*
- raios de iluminação directa ou de sombra (“shadow feelers”).*

2. O que se entende por Factor de Forma? Qual o seu significado geométrico? Qual a aplicabilidade do cálculo de Factores de Forma quando ocorre emissão e reflexão de energia especular?

Rigorosamente, o factor de forma corresponde à fracção do horizonte de uma superfície que é ocupada por outra superfície. O factor de forma representa a fracção da radiosidade total que abandona uma superfície j e atinge uma superfície i . Como estamos a tratar de superfícies com reflexão e emissão difusas, proveniente de uma tal superfície é uniforme e, como tal, é independente da direcção de propagação da luz.

Os factores de forma assumem um significado geométrico preciso correspondente à forma como cada superfície “vê” outra superfície. Isto corresponde ainda ao ângulo sólido do campo de visão da superfície que “vê” ocupado pela superfície que é “vista”. Os factores de forma dependem unicamente da geometria das superfícies e da sua disposição espacial relativa.

Como foi dito o cálculo dos Factores de Forma só se aplicam a situações em que ocorre reflexão e emissão difusa e não especular.

3. **[Teste]** Descreva sucintamente as seguintes Estratégias de Optimização do algoritmo de Ray-Tracing: “Transformação da cena segundo o raio”; “Emprego de volumes

envolventes”. Justifique a importância de estratégias de optimização com o cálculo do número máximo de intersecções que é necessário efectuar para calcular uma imagem com 100 objectos e com uma resolução de 1024x1024 quadrículas.

A carga computacional da geração de imagens pelo algoritmo de ray tracing é bastante pesada devido ao cálculo das intersecções dos raios com os objectos da cena. Uma imagem de 1024 x 1024 quadrículas de uma cena que contém 100 objectos implica, no pior dos casos, a determinação de 104 857 600 intersecções. Este número é demasiado elevado e, portanto, deverão ser empregues estratégias que permitam reduzir esta carga computacional. Para atingir este objectivo podem ser usadas as seguintes estratégias de optimização:

Transformação da cena segundo o raio: *A localização espacial das intersecções de um raio com os objectos de uma cena só é conhecida depois de essas intersecções terem sido calculadas e, portanto, nada se pode afirmar à partida sobre a sua posição. Porém, se o raio coincidir com o eixo dos ZZ da cena, sabemos que todas as intersecções corresponderão a pontos para os quais $X = 0$ e $Y = 0$. Poderemos, então, fazer uso deste conhecimento, não procurando intersecções do raio com todos os objectos que não possuam pontos com valor nulo das coordenadas X e Y.*

Emprego de volumes envolventes: *Em vez de realizar o teste de intersecção com um objecto cuja descrição é complexa, podemos testar a existência de intersecção entre o raio e o volume envolvente do objecto cuja intersecção com o raio é mais fácil e rapidamente determinada. Se o resultado for afirmativo, existe grande probabilidade de intersecção entre o raio e o objecto e, então, deverão ser realizados cálculos mais detalhados de intersecção, agora com os elementos descritores do objecto. Caso contrário, poderemos passar ao objecto seguinte da lista de objectos da cena e teremos poupado cálculos demorados que iriam contribuir para tornar o processamento da imagem muito mais demorado.*

Cotação do 2º Exame

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Total
1.	1	1	1,5	1	1	1,5	1	1	1	
2.	1		1	1	1	0,5	1	1	1	
3.	0,5			1				1		
Total	2,5	1	2,5	3	2	2	2	3	2	20 Valores

Cotação do 1º Teste

	I	II	III	IV	Total
1.	2	2	1,5	2	
2.	1,5	2	1,5	2	
3.	1,5		1	2	
4.	1				
Total	6	4	4	6	20 Valores

Cotação do 2º Teste

	V	VI	VII	VIII	IX	Total
1.	1	2	1,5	1,5	1	
2.	1,5	1	1,5	1	1,5	
3.	1,5		1	1,5	1,5	
4.				1		
Total	4	3	4	5	4	20 Valores