



1º Teste / 2º Teste / 2º Exame

Computação Gráfica

Licenciatura em Engenharia Informática e de Computadores

Prof. responsável – Joaquim Jorge

24 de Julho de 2001

Nº _____ Nome: _____

Responda às questões seguintes justificando adequadamente todas as respostas. Se necessário utilize o verso da respectiva folha. Assinale CLARAMENTE nesta folha se a SUA prova corresponde ao primeiro teste, segundo teste ou segundo exame ANTES de entregar.

Ao 1º teste pertencem todas as perguntas da 1ª Parte. Ao 2º Teste pertencem todas as perguntas da 2ª Parte. Ao 1º Exame pertencem todas as perguntas, menos as assinaladas como [Teste].

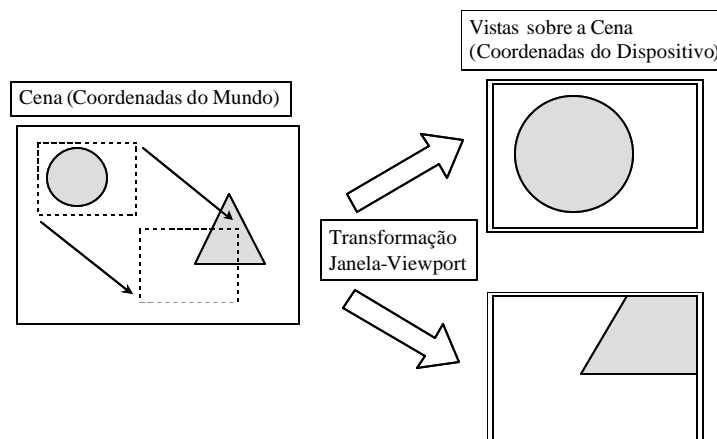
1ª Parte (1º Teste)

I

1. Uma das operações específicas de Câmara Virtual designa-se por *panning*. Descreva o conceito e o modo como poderia efectuar a operação em 2D recorrendo à transformação Janela – viewport.

A operação consiste na deslocação da janela sobre o Mundo. Basta alterar a componente translação da transformação janela-viewport para obter o resultado desejado.

O modo como a operação pode ser efectuada encontra-se ilustrado na figura seguinte:



2. Nas arquitecturas de aplicações gráficas interactivas é utilizado o conceito de acontecimento (*event*). Descreva sucintamente a arquitectura destas aplicações, o seu funcionamento e o

modo como o utilizador termina a execução de uma aplicação gráfica, utilizando acontecimentos.

A arquitectura lógica de uma aplicação gráfica interactiva baseia-se no conceito de acontecimentos, definido como uma ocorrência na vida da aplicação e no conceito de subscrição de um serviço a ser efectuado pela aplicação.

Assim a aplicação quando é executada mostra, em primeiro lugar toda a sua interface gráfica (botões, menus, ícones, etc.) assim como uma Vista inicial do Modelo.

Seguidamente efectua-se a subscrição dos serviços disponíveis (criar círculo, alterar atributo, agrupar objectos, etc.). O mecanismo de subscrição consiste em associar um ou mais tipos de eventos (premir uma tecla, escolher uma opção de um menu, etc.) a um serviço.

O denominado ciclo principal de uma aplicação gráfica interactiva consiste numa espera activa de ocorrência de eventos. Quando ocorre um evento é analisado o seu tipo e é executado o respectivo serviço, sendo redesenhada a Vista sobre o Modelo que poderá ter sido editado.

Normalmente existe um tipo de evento que está associado ao serviço de “sair”, o qual armazena o Modelo e termina a execução do processo.

3. **[Teste]** O professor Andries van Dam da Brown University, e o Dr. Sam Matsu, da IBM, criaram em 1967 o SIGGRAPH. O que é o SIGGRAPH e qual a sua importância actual para a área da Computação Gráfica?

O SIGGRAPH, Special Interest Group on Computer Graphics é o grupo de interesse em Computação Gráfica da Associação Americana de Informática, ACM.

Entre muitas outras iniciativas organiza anualmente a principal conferência e exposição dessa área, o SIGGRAPH na qual participam várias dezenas de milhares de congressistas.

II

1. No pipeline de visualização 3D usando uma projecção perspectiva se o volume de visualização não for limitado podem surgir problemas que podem afectar a qualidade da imagem obtida. Descreva, justificando, dois desses potenciais problemas. Como podem ser resolvidos?

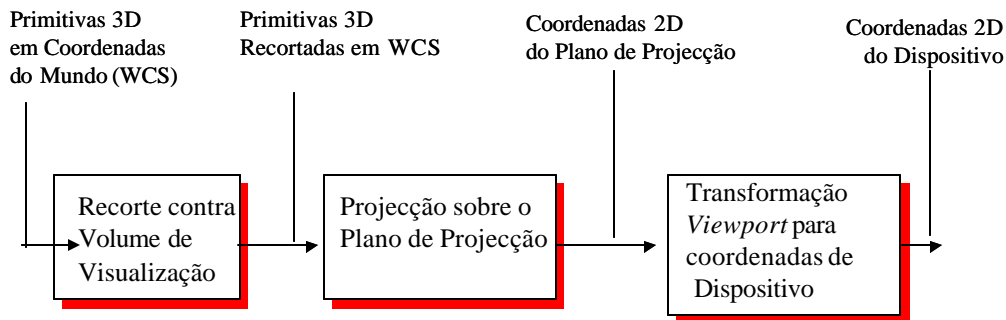
Os objectos muito afastados, depois de transformados ponto por ponto, podem reduzir-se a um pequeno “borrão” na superfície de visualização do dispositivo, o que corresponde a um desperdício em tempo de computação.

As projecções de objectos demasiado próximos, podem gerar um resultado gráfico caótico.

Para resolver estes potenciais problemas basta definir-se os planos de recorte posterior e anterior paralelo ao plano de projecção.

2. Desenhe e descreva o Pipeline de Visualização Genérico (3 andares). No início de cada andar descreva o tipo de informação que é enviado para esse andar e qual o Sistema de Coordenadas que é utilizado. O que deverá ser efectuado para otimizar o funcionamento do pipeline?

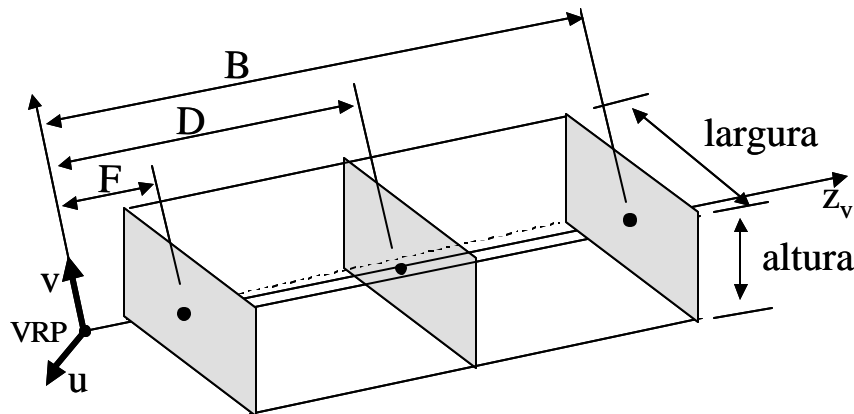
O Pipeline de Visualização Genérico é composto por:



Considerando que a operação de recorte é computacionalmente pesada deverá ser efectuada uma transformação para um Volume Canónico tal que essa operação seja facilmente efectuada.

3. [Teste] Considere o Volume de Visualização que se obtém através da aplicação de uma transformação ortogonal.
- Qual a geometria desse volume e quais as suas dimensões?

O Volume Ortogonal tem a forma de um paralelepípedo:



- Qual a sequência de transformações que têm que ser efectuadas para transformar um Volume Ortogonal genérico num Volume Ortogonal Canónico? Escreva as matrizes respectivas

A transformação para um Volume Canónico tem a vantagem de facilitar a operação de recorte, isto é, de determinação dos objectos ou parte de objectos que se encontram dentro do volume de visualização.

Para efectuar a transformação para o Volume Canónico terão que ser efectuadas as seguintes transformações:

-Translação do paralelepípedo em z de modo a que o plano anterior se localize na origem: $T_{ort} = T [0 \ 0 \ -F]$:

$$T_{ort} = \begin{bmatrix} ? & 1 & 0 & 0 & ? \\ ? & 0 & 1 & 0 & ? \\ ? & 0 & 0 & 1 & ? \\ ? & 0 & 0 & 0 & ? \\ ? & 0 & 0 & 0 & ? \end{bmatrix}$$

-Escalar de modo a que tanto x como y se encontrem entre -1 e 1 e z entre 0 e 1:

$$S_{ort} = \begin{pmatrix} 1/\text{largura} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\text{altura} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/B & F \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

.....

III

1. Considere o seguinte fragmento de código VRML97:

```
transform {
  rotation 0 0 1 3,1415926536
  translation 10 0 20
  children [ ... ]
}
```

Escreva a matriz de transformação correspondente. Justifique sucintamente.

As transformações em VRML são especificadas na ordem, escala, rotação e translação. Logo a matriz correspondente será:

$$M = M_T \cdot M_r = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 10 \cos \theta / 2 & \sin \theta / 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \sin \theta / 2 & \cos \theta / 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 20 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 10 \cos \theta / 2 & \sin \theta / 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \sin \theta / 2 & \cos \theta / 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 20 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2. Escreva o código VRML que gera um cilindro de cor vermelha pura, de raio 10 e altura 20, visível mesmo na ausência de fontes luminosas.

```
Shape {
  Appearance Appearance {
    Material Material {
      emissiveColor 1 0 0
    }
  }
  geometry Cylinder {
    height 20
    radius 10
  }
}
```

}

3. [Teste] Qual é o maior número de pontos de fuga que podem existir numa transformação de projecção perspectiva? Porquê?

Três. Um ponto de fuga corresponde a uma intersecção de um eixo coordenado pelo plano de projecção.

IV

1. Enuncie sucintamente duas vantagens de uma representação de superfícies na forma paramétrica sobre a representação por malha de polígonos. Qual a vantagem (se alguma) da utilização desta última ?

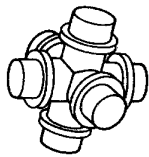
Vantagens da representação paramétrica de superfícies:

1 A abordagem paramétrica permite uma representação analítica exacta

2 É uma representação mais compacta

3 Permite edição global de superfícies em 3D

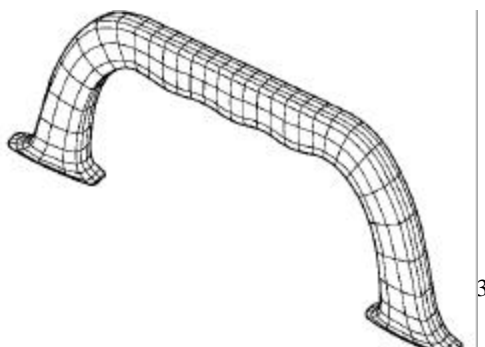
Vantagem da malha poligonal – consiste numa representação mais simples, facilitando cálculos de intersecção, sombreamento e RSO.



2. Suponha que deseja modelar a peça indicada na figura a partir de primitivas simples. Qual dos diferentes tipos de modelação utilizaria? Porquê?

A representação por geometria construtiva de sólidos (CSG) é a mais apropriada neste caso, dado que permite construir modelos complexos a partir de primitivas simples de uma forma hierárquica através de operações booleanas. Se for considerada a simples visualização da peça então também é adequado a utilização da instanciação de primitivas tal como foi efectuado nas aulas de laboratório.

3. [Teste] Suponha que tinha que modelar o objecto representado na figura interactivamente. a) Qual a representação que escolheria e porquê? a) Qual a representação que utilizaria para salvaguardar a informação supondo que o seu objectivo é produzir um molde para fabricação da peça ?



A **representação por varrimento** é a mais simples de criar do ponto de vista de interface utilizador, logo será a mais indicada para criação e edição interactivas. A representação por **superfícies paramétricas** será a mais adequada para produzir um ficheiro de comando numérico para maquinar o molde.

V

1. Proponha uma extensão para 3D do algoritmo de Cohen-Sutherland, incluindo o cálculo dos códigos e das intersecções.

Usaria um Outcode de 6 bits calculados do seguinte modo sobre o volume canónico de visualização:

bit 1: ponto acima volume de visualização ($y > 1$)

bit 2: ponto abaixo VV ($y < -1$)

bit 3: ponto à direita VV ($x > 1$)

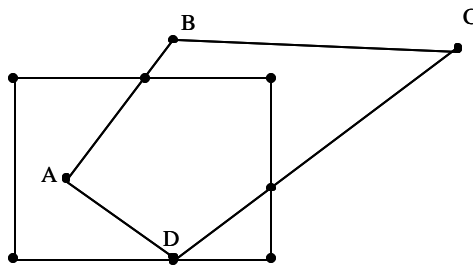
bit 4: ponto à esquerda VV ($x < -1$)

bit 5: ponto atrás VV ($z < 0$)

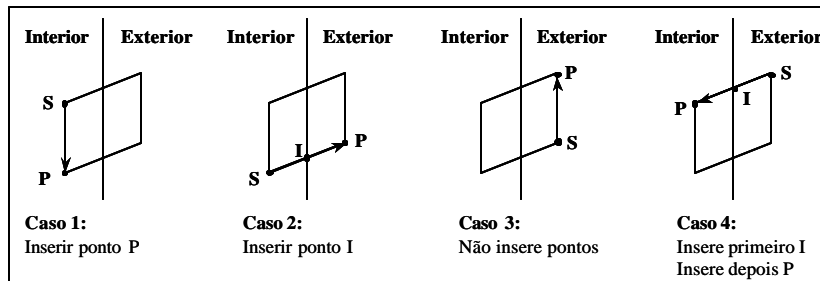
bit 6: ponto em frente VV ($z > 1$)

Nos critérios de selecção e rejeição usaria os mesmos: Aceitação trivial: $OC1 = OC2 = 0$; Rejeição trivial: $OC1 \& OC2 \neq 0$. No cálculo das intersecções usaria a representação paramétrica de segmento de recta e efectuaria os cálculos de intersecção segmento de recta – plano.

2. Descreva o algoritmo de Sutherland – Hodgman e aplique-o ao polígono da figura, definido segundo o sentido contrário aos ponteiros do relógio.



O algoritmo baseia-se na estratégia de dividir para conquistar: Assim é fornecido um primeiro conjunto de vértices e faz-se o recorte contra uma aresta infinita como indicado abaixo. Após o recorte será obtido um novo conjunto de vértices que são obtidos através das regras que se apresentam na figura.



Considera-se, em primeiro lugar a recta de cima. Das intersecções obtém-se dois novos pontos B' (da intersecção com AB) e C' da intersecção com CD . Sendo o novo polígono $AB'C'D$.

No passo seguinte escolhe-se a recta da direita e obtém-se dois novos vértices, o vértice B'' (vértice superior direito do rectângulo de recorte) que resulta da intersecção com $B'C'$ e o vértice C'' que resulta da intersecção com o $C'D'$. Resulta deste passo o polígono $AB'B''C''D$.

Por análise dos códigos dos vértices verifica-se que estão todos no interior do polígono de recorte pelo que o processo termina.

3. [Teste] Descreva, sucintamente, o algoritmo de recorte Força Bruta e descreva, justificando, uma das suas fraquezas.

Primeiro testam-se os vértices do segmento com rectângulo de recorte e aceitam-se os casos triviais de inclusão total. Nos casos não triviais usa-se a equação paramétrica do segmento de recta para calcular as intersecções com os lados do rectângulo de recorte,

Resolver equações simultâneas para segmento de recta e cada um dos 4 lados do rectângulo, usando também a respectiva equação paramétrica. Existe intersecção se ambos os valores dos parâmetros que resultam da resolução do sistema de duas equações tiverem um valor superior ou igual a 0 e inferior ou igual a 1.

Sendo a operação de calculo de intersecções computacionalmente pesada deverá só ser efectuada quando for mesmo necessária. Neste algoritmo tal não acontece.

2ª Parte (2º Teste)

VI

1. **Ordene** os seguintes métodos de geração de imagens do mais rápido para o mais lento em termos do tempo de cálculo de imagem: A) Sombreamento de Phong B) Sombreamento plano C) Modelo de Arames D) Sombreamento de Gouraud. Para cada um dos modelos indique qual a interpolação usada (normais, intensidades ou ambas)

A ordem correcta é C – B – D – A

C e B – não usa interpolação

D – Interpola intensidades

A – Interpola normais

2. Quais as principais limitações do algoritmo convencional de discretização (*rasterização*) conhecido por DDA face ao algoritmo de Bresenham ?

O algoritmo DDA utiliza o inverso do declive $m = dx / dy$ dos segmentos de recta a discretizar para calcular o incremento na coordenada x para cada unidade de y . Isto requer que m seja armazenado em virgula flutuante e obriga o algoritmo a efectuar contas em virgula flutuante convertendo o resultado para coordenadas inteiras em cada iteração. O algoritmo de Bresenham utiliza apenas valores inteiros. Por outro lado a precisão limitada da representação em virgula flutuante leva ao acumular de erros por iteração.

3. [Teste] Indique uma razão plausível para combinar o algoritmo de *scan-line* com o algoritmo de Z-buffer (i.e. reinicializando o Z-buffer para cada linha de varrimento).

Poupar memória, dado que seria apenas necessário armazenar a informação para cada linha de varrimento.

VII

1. A remoção de elementos ocultos pode ser efectuada no Espaço Objecto ou no Espaço Imagem. Compare as duas famílias de algoritmos quanto à precisão, complexidade do algoritmo e à complexidade das operações individuais que são efectuadas.

No Espaço Imagem: a precisão depende da resolução do dispositivo de visualização sendo a visibilidade determinada em cada quadrícula; para n objectos e p quadrículas a complexidade é do tipo $n \times p$; as operações individuais são elementares e de baixa carga computacional.

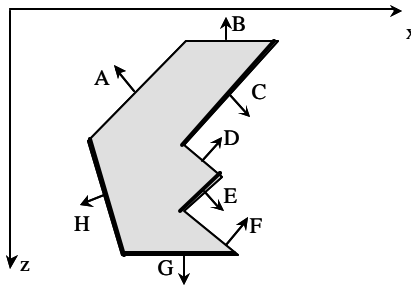
No Espaço Objecto: a precisão é virtualmente infinita; para n objectos presentes na cena temos uma carga computacional proporcional a n^2 ; as operações individuais são tipicamente complexas e de elevada carga computacional.

2. Considere a remoção de faces posteriores de um poliedro sólido côncavo. O que se entende por um poliedro sólido côncavo? Descreva, sucintamente, o funcionamento de um algoritmo que suporte essa remoção. O que seria necessário para completar a remoção de elementos ocultos? Dê um exemplo.

Um poliedro ser sólido tem uma fronteira que separa o seu interior do seu exterior. Os poliedros côncavos possuem ângulos internos entre faces superiores a 180° .

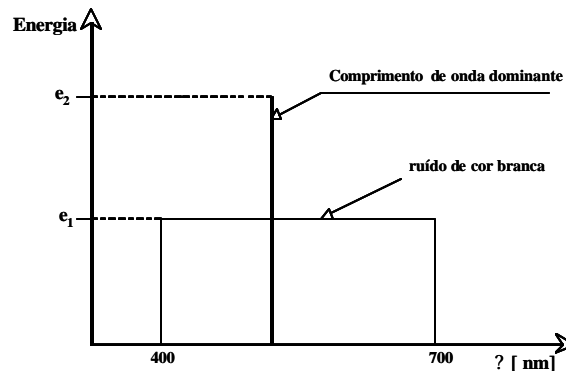
Para remover as faces traseiras tem, em primeiro lugar, que calcular-se a normal a cada faceta que compõem a fronteira do poliedro (assume-se que a fronteira é composta por uma malha de facetes). Seguidamente calcula-se o produto interno entre as normais às faces e o vector de visualização com origem no centro da projecção e terminando em qualquer ponto do polígono. Caso o valor for superior a 0 teremos uma faceta traseira a qual pode ser eliminada.

No caso em que o poliedro é côncavo é necessário ainda, como se pode observar na figura, as facetes que estão completamente ocultas como a E ou recortar parte das facetes que estão parcialmente ocultas, como a faceta C.



3. Na Modelação de Cor são, normalmente utilizados 3 parâmetros. Quais são os respectivos nomes e significados. Utilize um gráfico energia / comprimento de onda no suporte à explicação.

Os parâmetros são: Cor, Saturação e Luminância. Como se pode observar na figura a cor corresponde ao comprimento da onda dominante (de maior energia). A Saturação corresponde à pureza cromática da cor, isto é à relação entre a energia do comprimento de onda dominante e do ruído de cor branca, $(e_2 - e_1) / e_2$. A Luminância corresponde à intensidade total da energia luminosa.



4. [Teste] Caracterize os algoritmos de Depth Sort, Scan-Line e Z-Buffer quanto ao modo como é efectuada a ordenação dos polígonos. Considere duas situações a primeira em que a cena é composta por um pequeno número de objectos e uma segunda em que é composta por um muito elevado número de objectos. Qual será o algoritmo mais eficaz em cada caso? Justifique.

Nos algoritmos do tipo Depth-Sort é efectuada primeiro uma ordenação em Z à qual se segue uma ordenação em X e em Y.

Nos algoritmos de Scan-Line é efectuada uma ordenação em Y, em seguida em X e uma procura em Z.

No Z-Buffer não existe qualquer tipo de ordenação.

No caso em que o número de objectos é pequeno o algoritmo de Scan-Line ao ordenar os objectos e ao ser pouco provável a necessidade de os subdividir deve conduzir ao melhor resultado.

No caso em que o número de objectos é muito elevado o Z-Buffer, ao ser quase independente desse número deverá conduzir aos melhores resultados.

VIII

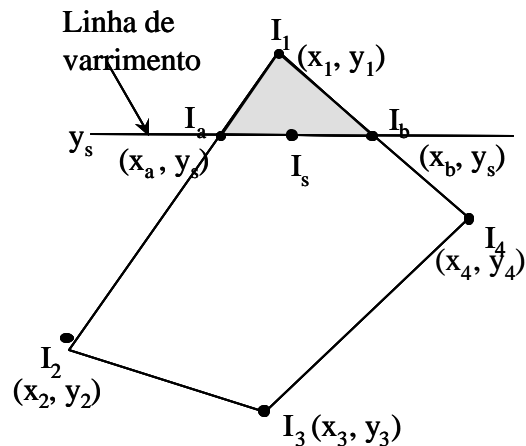
1. O que se entende por Modelo de Reflexão e por Modelo de Iluminação? Como se aplicam esses Modelos no cálculo do sombreamento de superfícies de objectos?

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.

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.

2. No trabalho de laboratório aplicou o sombreado de Gouraud a um modelo composto por triângulos. Descreva sucintamente os cálculos efectuados. Justifique a existência de brilho, por exemplo, no corpo do bule de chá (*teapot*).

Na leitura do ficheiro obtinham-se não só as coordenadas dos vértices de cada triângulo mas também a respectiva cor a qual, supostamente, deveria ter sido obtida através da aplicação do Modelo de Iluminação de Phong à normal ao vértice (obtida através da interpolação das normais a cada uma das facetas que partilham esse mesmo vértice).



Na realidade o modelo de sombreado de Gouraud não conduz à obtenção do que se designa por brilho, no entanto, o facto dos triângulos terem uma dimensão muito pequena conduziu a que o factor preponderante fosse a interpolação de normais, como já descrito. Assim estamos na situação em que quase não está a ser usada uma técnica incremental de sombreado.

3. Considere a fórmula $I = I_a \cdot K_a + I_d \cdot K_d (L \cdot N) + K_s (N \cdot H)^n$ $/ (r + K)$. Com o auxílio de um esquema e de texto descreva, justificando o significado de cada uma das variáveis. Qual o nome do investigador que introduziu essa fórmula?

A fórmula é a da equação da iluminação de Phong com a alteração proposta por Blinn em que:

I – Intensidade Luminosa

I_a – Intensidade da Luz Ambiente

K_a – Coeficiente de reflexão da Luz Ambiente

I_d – Intensidade da Luz Difusa

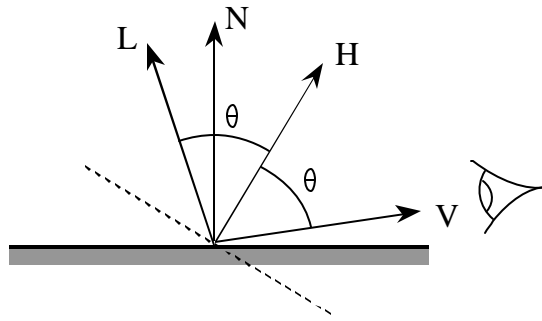
K_d – Coeficiente de Difusão

N – Normal à Superfície

K_s - Coeficiente de Especularidade

d – Dimensão da área especular

r – Distância entre o Objecto e o ponto de observação



Em que N é o vector normal à superfície, V é o vector de visualização, L é o vector de incidência do raio luminoso e H é um vector introduzido por Blinn o qual é a bissetriz entre o vector L e o vector V .

O vector H é normal a uma faceta hipotética, reflectora pura, que reflecte segundo V .

4. [Teste] O que se entende por Depth Cueing? Escreva a equação de iluminação de Phong contemplando o efeito do Depth Cueing.

Depth Cueing pretende representar, de modo empírico a menor intensidade da energia luminosa reflectida pelos objectos que se encontrem mais afastados do ponto de observação.

No modelo de Phong para considerar o efeito da atenuação atmosférica sobre a intensidade da luz que parte dos objectos e atinge o ponto de observação introduzem-se duas variáveis:

r é a distância entre o objecto e o ponto de observação

K uma constante a qual permite controlar, de modo empírico a diminuição da intensidade da energia luminosa.

$$I = I_a \cdot K_a + I_i \cdot K_d (L \cdot N) + K_s (R \cdot V)^n / (r + K)$$

IX

1. Uma característica da geração de imagens por ray tracing é a recursividade. Em que consiste a recursividade, o que a origina e quais são as suas consequências?

A recursividade no ray-tracing ocorre quando pretendemos calcular o percurso de raios secundários, reflectidos ou refractados por objectos pertencentes à cena, permitindo-nos modelar fenómenos ópticos com grande realismo. Por outro lado em cenas com elevado número de superfícies reflectoras/refractoras a explosão combinatória de raios secundários pode aumentar proibitivamente os tempos de cálculo, razão pela qual se limita a invocação recursiva do algoritmo.

2. Considere a cena apresentada na figura. Na imagem da esfera assim gerada existe uma área sombreada e uma zona muito brilhante. A que se deve esta zona? Qual o nível de recursividade **mínimo** necessário para calcular a imagem apresentada? Porquê?

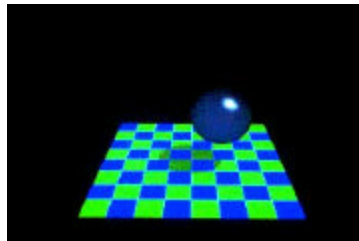
A zona brilhante deve-se à reflexão especular de uma fonte luminosa. O nível de recursividade mínimo é de 1, para permitir o cálculo de raios secundários responsáveis pela reflexão e sombras.

3. Apresente duas vantagens significativas da geração de imagens pelo método da radiosidade sobre o método de ray tracing. Quais são as duas desvantagens mais significativas ?

A radiosidade permite o cálculo de iluminação através de trocas energéticas entre superfícies. Os cálculos efectuados são **independentes do ponto de vista**. Outras vantagens consistem no **cálculo de sombras suaves, reflexão difusa múltipla** e um **cálculo correcto das trocas energéticas** entre superfícies. Como principais desvantagens avultam a **complexidade elevada dos cálculos** e a **incapacidade de modelar fenómenos especulares**. É necessário calcular e armazenar os n^2 coeficientes da matriz dos factores de forma. O tempo de cálculo é proporcional ao **quadrado do número de áreas**, sendo necessário **pré-processar descrições poligonais** da cena.

4. [Teste] Uma das vantagens dos algoritmos de ray-tracing com sobre-amostragem (*supersampling*) estocástico consiste na melhoria da qualidade das imagens face às abordagens sem *supersampling*. Qual o fenómeno que este método pretende mitigar ? Porque razão a superamostragem estocástica é mais vantajosa que a superamostragem segundo uma grelha regular ?

A sobre-amostragem permite minimizar os efeitos do fenómeno conhecido por **aliasing**



decorrente de se amostrar objectos num ecrã de resolução limitada. O *supersampling* consiste num método de pré-filtragem que dispara vários raios correspondentes a uma resolução superior à de um pixel. No entanto se esta abordagem mitiga o fenómeno de discretização, não o resolve completamente especialmente se os raios são disparados a intervalos regulares, gerando um tipo de ruído que é perceptível à vista. Para obviar este problema, a sobre-amostragem estocástica dispara raios em posições aleatórias produzindo um tipo de ruído melhor tolerado pela vista.

Cotação do 1º Teste

	I	II	III	IV	V	Total
1.	1.5	1.5	1.5	1	2	
2.	1	1.5	1.5	1.5	1	
3.	1.5	1	1	1.5	1	
Total	4	4	4	4	4	20 Valores

Cotação do 2º Teste

	VI	VII	VIII	IX	Total
1.	1	2	1.5	1	
2.	1.5	1.5	1.5	2	
3.	1.5	1	1	1.5	
4.		1	1	1	
Total	4	5.5	5	5.5	20 Valores

Cotação do 1º Exame

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Total
1.	1.5	1	1	0.5	1.5	0.5	1.5	1	0.5	
2.	0.5	1	1	1	1	1.5	1	1	1	
3.							0.5	0.5	1	
Total	2	2	2	1.5	2.5	2	3	2.5	2.5	20 Valores