
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

IA725
Computação Gráfica

Notas de Aula do Primeiro Semestre de 2003

Autora: Profa. Wu, Shin - Ting

Fevereiro de 2003

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Imagens	2
1.2	Tipos de Imagens	3
1.3	Percepção Visual de Imagens	4
1.4	Modelos de Imagens	5
1.5	Aquisição e Exibição de Imagens	6
2	Matemática em Sistemas Gráficos	9
2.1	Pontos	9
2.2	Vetores	11
2.3	Funções	14
2.4	Matrizes e Transformações	16
2.5	Números Complexos	19
2.6	Transformada de Fourier	21
2.7	Processamento de Amostras	22
2.8	Métodos Numéricos	24
2.8.1	Método de Eliminação de Gauss	25
2.8.2	Método de Newton-Rapson	26
2.8.3	Diferenças Finitas	26
2.8.4	Interpolação	27
2.8.5	Técnica de Mínimos Quadrados	27
3	Modelagem Geométrica	29
3.1	Vértices e Vetores Normais	29
3.2	Representações Analíticas de Curvas e Superfícies	30
3.2.1	Curvas e Superfícies de Bézier	34
3.2.2	Curvas e Superfícies de B-Splines	35
3.3	Geometria Construtiva	37
3.4	Classificação do Espaço Particionado	38

Capítulo 1

Introdução

Entendemos por **informações gráficas** as informações contidas em figuras ou imagens geradas sinteticamente ou capturadas pelos equipamentos sensíveis a sinais eletromagnéticos (telescópios, microscópios, tomógrafos) ou acústicos (microscópios acústicos) que operam de forma similar à visão humana, com o objetivo de transmitir uma idéia (concepção) ou registrar um fato real.

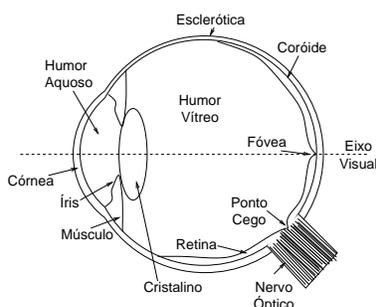
Desde os anos 60 o processamento e a síntese de imagens tem sido objetos de **pesquisa** nas áreas de Computação Gráfica (focada na geração de imagens sintéticas. De acordo com a ISO, compreende “um conjunto de métodos e técnicas de converter dados para um dispositivo gráfico, via computador”), de Processamento de Imagens (centrada no realce e no filtro dos dados contidos nas imagens para facilitar a sua interpretação/compreensão ou simplesmente para melhorar a sua qualidade) e de Visão Computacional (procura emular os efeitos da visão humana – percepção, interpretação e reconstrução 3D – por meio de máquinas autônomas, ou seja, preocupa-se com a análise de imagens). Essas áreas, por sua vez, fazem uso de métodos e tecnologia desenvolvidas por outras áreas de conhecimento como Modelagem Geométrica, Morfologia Matemática, Fotometria e Robótica.

As imagens encontram aplicações em praticamente todas as atividades, tais como: projetos de engenharia sintetizados em desenhos técnicos/plantas; divulgação de produtos/serviços por cartazes ou filmes; desenhos animados ou filmes de ficção científica; realce e retoque das imagens capturadas pelos satélites (a primeira aplicação foi o retoque das imagens (digitalizadas) de jornais recebidas via cabo entre Londres e Nova Iorque); realce das imagens de transmissão como as imagens médicas para diagnóstico de disfunções; reconhecimento de assinaturas e impressões digitais; e previsão de tempo

através da interpretação das imagens aéreas ou de satélites).

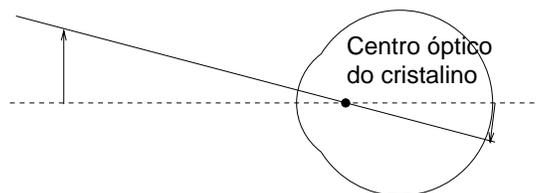
1.1 Imagens

A visão é um dos cinco sentidos mais utilizados pelos homens para perceber e entender o mundo que os rodeia. Esta percepção se dá através da formação de imagens intrinsecamente bidimensionais na retina da parte interna do olho por meio do cristalino (lente biconvexa). A retina é uma camada muito fina, sensível à luz, formada pela ramificação do nervo ótico que transmite as sensações luminosas ao cérebro. Portanto, podemos dizer que a percepção visual decorre da distinção da brilhância (ou luminância) dos objetos de interesse.

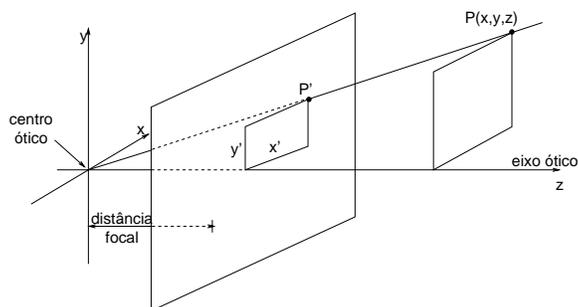


Observação 1.1 *Distinguem-se na retina dois tipos de células sensíveis à luz: os cones e os bastonetes. A região de máxima sensibilidade à luz só contém cones. Os bastonetes são destinados à visão com pouca luz, sendo insensíveis às diferenças de cor.*

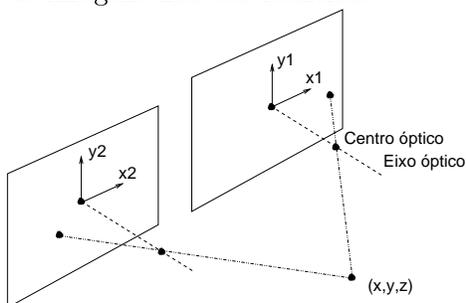
A imagem que se forma na retina é real, invertida e menor do que o objeto. Entretanto, “vemos” os objetos em posição correta graças a uma “educação” do cérebro, pois relacionamos as nossas impressões não com a imagem mas com a extremidade do raio visual, onde se encontra o próprio objeto.



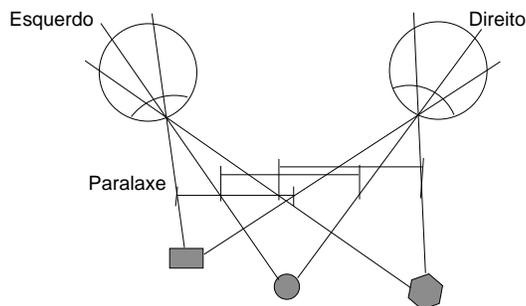
O modelo mais comum para emular a formação de imagens na retina de um olho humano é o modelo de câmera escura (*pin-hole camera*).



A nossa visão é de fato estéreo. Quando olhamos para um objeto, são formadas duas imagens retinianas, uma em cada olho. Devido ao afastamento entre os dois olhos, as imagens não são idênticas.



A observação simultânea dessas duas imagens ligeiramente diferentes força movimentos musculares dos olhos para a paralaxe na distância entre dois pontos de diferentes alturas. Estes movimentos permitem que o cérebro diferencie a distância entre tais pontos, dando a sensação de relevo/profundidade.



1.2 Tipos de Imagens

De acordo com a maneira como a brilhância em cada ponto da imagem é obtida, distinguem-se quatro classes de imagens:

1. Imagens sintéticas: a brilhância em cada ponto da imagem é determinada a partir dos modelos sintéticos ou das imagens existentes. O uso das imagens existentes tem sido um recurso eficaz para aumentar o realismo das imagens sintéticas.
2. Imagens convencionais ou fotos: a brilhância em cada ponto da imagem é uma função da intensidade da fonte luminosa e da posição e da orientação deste ponto em relação à(s) fonte(s).
3. Imagens de transmissão: a intensidade e a orientação da fonte luminosa é homogênea para todos os pontos da imagem. A brilhância em cada ponto depende das propriedades radiométricas dos pontos de interesse.
4. Imagens de profundidade: o valor em cada ponto é, ao invés da brilhância, a profundidade do ponto em relação ao dispositivo de captura.

Nesta disciplina estaremos interessados na geração de imagens sintéticas com base em modelos geométricos e imagens.

1.3 Percepção Visual de Imagens

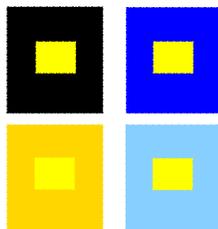
A habilidade da visão humana para distinguir os níveis de brilhância numa imagem é essencial na interpretação e compreensão de uma imagem. Esta habilidade é um fenômeno psicofísico, variando com a sensibilidade de cada indivíduo. Algumas características da percepção humana são:

- **acuidade:** é a capacidade para distinguir os detalhes. A visão humana é menos sensível às variações lentas ou bruscas de brilhância numa imagem.

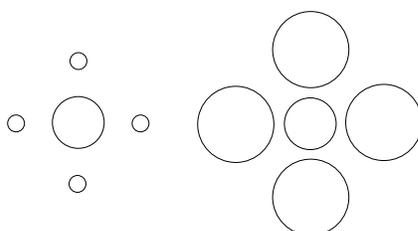
(Ver Fig. 16.17 do livro-texto de Foley.)

Observação 1.2 *Esta característica da percepção humana agrava o fenômeno conhecido como **Bandas de Mach**, quando quantizamos a luminância/brilhância de uma imagem.*

- **contraste:** é a razão entre a brilhância média do objeto de interesse e a brilhância do fundo. A brilhância percebida depende do contraste.



- ilusão de borda: a disposição geométrica dos contornos pode induzir percepções diferenciadas de uma mesma figura. A ilusão de Ebbinghaus é um exemplo bem conhecido.



- cor: sob condições luminosas normais, o olho humano é mais sensível a cor do que a luminância. Particularmente, o olho humano é mais sensível a cores próximas à faixa espectral correspondente a cor verde-amarelada.

1.4 Modelos de Imagens

Modelos matemáticos são frequentemente utilizados para descrever e processar as imagens. Uma imagem planar (bidimensional) pode ser tratada como uma função f que depende de duas variáveis (coordenadas x e y de um plano) ou de três variáveis (quando ela varia com o tempo, uma terceira variável t é adicionada). O valor da função pode ser um valor escalar ou um vetor de valores reais, dependendo das informações contidas em cada imagem. O valor de uma **imagem monocromática** pode ser um valor (escalar) da luminância (*luminance*), enquanto numa imagem **a cores** ou **multiespectral** o valor da função pode ser um vetor de n valores reais, cada qual corresponde a uma cor espectral (brilhância – *brightness*).

Observação 1.3 *Luminância ou brilhância é a razão entre a intensidade luminosa do objeto na direção considerada e a área da projeção do objeto sobre um plano perpendicular a esta direção. Na literatura de sistemas de informações gráficas pode encontrar a distinção no uso dos dois termos:*

luminância para imagens monocromáticas (em tons de cinza) e brilhância para imagens a cores.

Considerando uma imagem como uma função, podemos classificá-la em:

- imagem contínua: se o domínio e o contra-domínio da função são contínuos,
- imagem discreta: se o domínio da função é discreto, e
- imagem digital: se o domínio e o contra-domínio da função são discretos.

A discretização do domínio de coordenadas (x, y) é conhecida como **amostragem** e a discretização do contra-domínio, ou seja dos valores ou da amplitude de f , é chamada **quantização**. Particularmente, quando a função f só assume dois valores, dizemos que a imagem é *binária*.

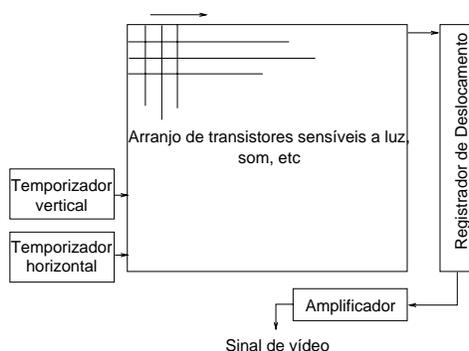
Nesta disciplina nós nos restringiremos a trabalhar com as imagens digitais, processáveis pelos computadores.

De acordo com a quantidade de elementos no domínio e no contra-domínio, é possível caracterizar o “grau de detalhamento” de uma imagem digital em termos de **resolução**. Distinguem-se quatro tipos de resolução:

- resolução espacial (amostragem): define a proximidade entre as amostras de uma imagem discreta/digital (a disposição espacial das amostras no plano forma um reticulado quadrado ou hexagonal).
- resolução espectral (quantização): define a quantidade de cores espectrais existentes na imagem.
- resolução radiométrica (quantização): define a quantidade de níveis de intensidade (luminância) distinguíveis.
- resolução temporal (amostragem): define o intervalo entre duas amostras de imagens. É útil para caracterizar imagens dinâmicas.

1.5 Aquisição e Exibição de Imagens

Emulando a visão humana, as câmeras e os escaneadores são os mais conhecidos dispositivos para captura de imagens. O princípio de funcionamento destes dispositivos se baseia na fotosensibilidade de alguns materiais químicos cujas propriedades podem ser alteradas pela luz emitida pelos objetos de interesse. Tais alterações podem ser traduzidas em sinais de vídeo.



Essencialmente, existem duas classes de dispositivos para exibição de imagens:

1. *vetoriais* (década 60 a década 80): para imagens contínuas cujo conteúdo é representado pelos vetores. No caso de tecnologia de tubos catódicos (CRT), o controlador de vídeo governa o movimento (aleatório) dos canhões de raios catódicos e a intensidade destes raios de acordo com as instruções existentes na memória (de desenho).

(Ver Fig. 1.1 do livro-texto de Foley.)

(Ver Figs. 4.12 – 4.14 do livro-texto de Foley.)

2. *digitais (raster)*: para imagens digitais. No caso de tecnologia de tubos catódicos, o movimento dos canhões é sempre o mesmo (varredura horizontal e retraço) e a função do controlador se limita a monitorar a intensidade dos raios catódicos de acordo com os atributos de cada pixel (*picture element*). Para aumentar a eficiência do sistema é comum armazenar os atributos de cada pixel numa memória em separado chamado *frame buffer*.

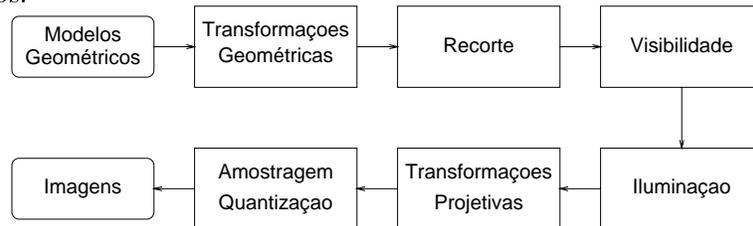
(Ver Fig. 1.2 do livro-texto de Foley.)

(Ver Figs. 4.18 – 4.22 do livro-texto de Foley.)

Os algoritmos de síntese de imagens são intimamente relacionados com a tecnologia de exibição das imagens. Os dispositivos de saída são hoje predominantemente digitais; portanto, como já mencionamos, nós nos concentraremos nesta disciplina nos métodos de síntese de imagens digitais.

A síntese de imagens consiste, essencialmente, numa sequência de transformações de saída dos modelos geométricos e termina em um conjunto de imagens. Uma possível sequência seria compor uma cena com os modelos geométricos definidos em seus sistemas de referência próprios através das **transformações geométricas**, **recortar** as partes que não estejam dentro

do volume de visão, selecionar porções **visíveis**, analisar a interação dos objetos visíveis com as **fontes luminosas**, **projetar**, **amostrar** e **quantizar** os dados.



Vale ressaltar aqui que a ordem de recorte, análise de visibilidade e iluminação pode mudar de ordem nesta sequência de acordo com o realismo desejado para a imagem final.