

C.C. Alvarenga*

R.N.Melo**

Resumo:

Este trabalho aborda as técnicas de Mapeamento de Textura como uma alternativa na síntese de imagens realistas. Inicialmente apresenta um histórico das várias técnicas propostas na literatura, depois estabelece critérios de comparação e finalmente apresenta um quadro comparativo sugerindo uma classificação.

Abstract:

This paper approaches Texture Mapping Techniques as an alternative in realistic image synthesis. At first it presents historically the many techniques available in literature, later it defines comparison criteria between these techniques. Last, it presents a comparison table which suggests a classification of these techniques.

* M.Sc 1984 Depto. Inf. PUC/RJ, Analista de Sistemas TV Globo, áreas de interesse: Computação Gráfica, Banco de Dados

** D.Sc 1976 ITA, Prof. Associado Depto. Inf. PUC/RJ, área de interesse: Computação Gráfica, Banco de Dados e Engenharia de Software.

INTRODUÇÃO

Um dos objetivos da aplicação de técnicas de Computação Gráfica Raster em várias áreas é a geração de imagens sintéticas de objetos 3D que se confundam com imagens de objetos reais. As técnicas de Mapeamento de Textura simulam a textura das superfícies reais. A partir do trabalho de Edwin Catmull, que em 1974 introduziu esta idéia, várias técnicas de Mapeamento de Textura tem sido propostas.

O presente trabalho faz um estudo comparativo das técnicas de Mapeamento de Textura disponíveis na literatura visando conhecer as semelhanças, diferenças ou relações entre elas. Para isso são identificados os critérios para a comparação das técnicas e com base neles elas são comparadas e classificadas.

O MAPEAMENTO DE TEXTURA

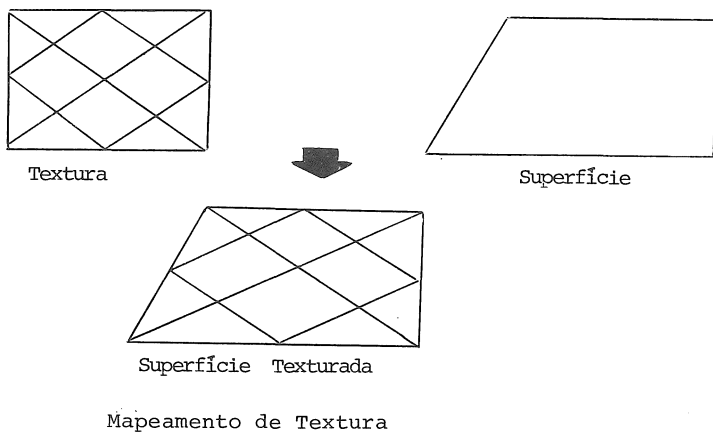
A pesquisa na área de Computação Gráfica orientada para a geração de imagens realistas está em andamento desde meados da década de 60, e tem produzido imagens bastante impressionantes. O objetivo dessa pesquisa tem sido produzir imagens tão realistas que um observador confunda a imagem de um objeto sintético definido apenas pelo seu modelo matemático, com a imagem de um objeto real. Esse é um objetivo importante em áreas como Simulação, Projeto e Entretenimento.

Dada uma coleção de superfícies 3D, que representam as faces de objetos de uma cena com posições e orientações definidas no espaço, e dada a localização do observador e a direção de visualização desejada, pode-se gerar uma imagem da cena. A geração de imagens realistas requer também a consideração das propriedades das superfícies e da iluminação que as atinge. As propriedades da superfície podem incluir a sua cor, transparência, brilho, entre outras. Nos sistemas de geração de imagens mais simples essas propriedades são constantes para um mesmo elemento de superfície. A intensidade luminosa de um ponto numa superfície é determinada geralmente pela soma das componentes de reflexão da luz ambiente e da luz de fontes pontuais considerando os coeficientes de reflexão por difusão e especular. Técnicas mais elaboradas, entre elas as de Mapeamento de Textura, permitem que essas

propriedades variem nesses elementos básicos, aprimorando o realismo da imagem obtida.

Uma crítica frequente às tentativas iniciais de síntese de imagens matizadas realistas era relacionada à aparência das superfícies geradas. Inicialmente as superfícies pareciam foscas e nubladas, depois elas adquiriram brilho e transparência com técnicas mais elaboradas. Entretanto, as superfícies reais tem variações locais altamente complexas conhecidas como textura. Essas variações são de difícil modelamento pelos meios convencionais pois requerem muitos vértices ou pontos de controle para reproduzir precisamente a superfície. O Mapeamento de Textura aumenta consideravelmente o realismo e o conteúdo de informação dessas imagens e possibilita a produção de imagens de grande complexidade sem o consequente aumento de complexidade correspondente na descrição geométrica dos objetos.

As técnicas de Mapeamento de Textura simulam as irregularidades das superfícies reais em vez de descrevê-las com um modelo geométrico. A textura é armazenada como uma imagem digital e cada ponto é acessado por um par de índices. As intensidades em torno de cada ponto da textura são mapeadas no ponto correspondente da superfície como é ilustrado abaixo:



A descrição de uma cena é contínua, e geralmente fornecida em termos de certas primitivas geométricas, como linhas, polígonos, - "patches" (elementos curvos de superfície), etc. A imagem produzida nos dispositivos raster consiste, então, de uma matriz de amostras da função contínua desejada. Essa amostragem acarreta numa grande variedade de efeitos visuais indesejados.

Um intervalo de amostragem inadequado na síntese de imagens digitais gera problemas de "aliasing". Infelizmente, os limites tecnológicos e a padronização dos equipamentos nos impedem de escolher o intervalo de amostragem. Mesmo que isso fosse possível, alguns problemas ainda permaneceriam. O pós-processamento da imagem também não resolve todos os problemas (CROW81, CROW83).

A solução para esse problema é filtrar a imagem contínua espacialmente para eliminar informação de alta frequência, antes de amostrar a imagem. Visualmente o efeito é nublificar a imagem; matematicamente isto significa que a intensidade de um pixel não deve ser apenas a intensidade do ponto correspondente no espaço imagem e sim uma média ponderada das intensidades que circundam este ponto.

Quando uma textura é mapeada numa superfície ela deve ser esticada e cumprida em alguns locais de modo a se ajustar à forma da superfície. A perspectiva também distorce as texturas mapeadas numa superfície. Assim, a menos que a textura seja bastante suave, os efeitos de "aliasing" se tornam um problema importante a resolver.

HISTÓRICO DAS TÉCNICAS DE TEXTURAMENTO

Em 1974, Edwin Catmull introduziu a idéia de simular as irregularidades das superfícies reais (CATM74). Ele concebeu e implementou o primeiro sistema a usar imagens de texturas aplicadas a superfícies para dar o efeito de uma textura real (CROW84).

Dando continuidade ao trabalho de Catmull, Blinn e Newman propuseram um método que faz um mapeamento inverso do pixel a ser texturizado na textura propriamente dita (BLIN76). Ele utiliza um filtro de "antialiasing" melhor que a amostragem por área, usada por Catmull, e que não requer memória adicional.

Analogamente à técnica de Blinn, Feibush et al transforma do espaço imagem no espaço de definição da textura cada pixel de um polígono a ser exibido compensando a distorção da perspectiva / (FEIB80). Esta técnica facilita a comparação entre vários filtros, porque as funções de ponderação que definem a forma dos filtros são pré-computadas e armazenadas em tabelas de consulta.

Num enfoque um pouco diferente, Dungan et al obtém a aparência texturada de um objeto modelado por polígonos através da repetição sobre a superfície, de azulejos de textura em perspectiva pe la superfície (DUNG78). Para diminuir o tempo de computação devido aos problemas de "aliasing". Neste método, a textura é pré-filtrada gerando imagens com diferentes resoluções, ou níveis de detalhe.

Considerando os problemas de "aliasing" na animação, ou seja, considerando que as dificuldades de amostragem inerentes ao processo de Mapeamento de Textura podem se agravar à medida que a vista da superfície muda, William propôs a criação de um conjunto de imagens fonte pré-filtradas representadas numa estrutura de dados piramidal paramétrica (WILL83). Essa estrutura minimiza os efeitos de "aliasing" e assegura a continuidade dentro e entre imagens. Porém, a filtragem é simétrica porque cada nível pré-filtrado é filtrado igualmente em X e Y.

Crow generalizou a técnica de Williams fornecendo uma aproximação melhor para a intensidade da textura permitindo que sejam utilizadas regiões retangulares da textura e não apenas regiões quadradas, usadas por Williams, o que implica numa compressão igual em X e Y, ou seja, uma filtragem simétrica (CROW84). Na técnica de Crow é utilizada uma tabela de áreas somadas, a partir da qual uma extensão virtualmente contínua de densidade de textura pode ser selecionada.

O objetivo do presente trabalho é fazer um estudo comparativo das técnicas de Mapeamento de Textura disponível na literatura procurando identificar os seus tópicos principais visando o melhor entendimento do problema e a orientação na seleção da técnica adequada a um dado ambiente. Na próxima seção, os critérios para essa comparação são identifi-ados e em seguida um quadro comparativo é apresentado. No final, o trabalho sugere uma classificação das técnicas.

As técnicas de Mapeamento de Textura são utilizadas na geração de imagens realistas ou artísticas em diversas áreas. A produção de imagens complexas por computador requer geralmente a interação de vários programas diferentes que modelam os objetos e implementam a sin tetização de suas imagens. Portanto, para estabelecer os critérios de comparação, além de considerar o que são essas técnicas deve-se também considerar outros tópicos de natureza computacional e de realismo de cena complementares no processo todo.

A técnica de Mapeamento de Textura é uma técnica de matização que procura ajustar uma imagem digital (a textura) na superfície de um objeto 3D que é projetado num plano para visualização. Quando uma textura é mapeada numa superfície ela deve ser esticada e compr imida em alguns locais de modo a se ajustar à forma da superfície. / Assim, os efeitos de "aliasing" logo aparecem como um problema impor tante a resolver. Por isso todas as técnicas estudadas apresentam um esquema de fil tragem para a solução desses problemas, associado ou não à uma compensação da distorção produzida pela perspectiva. Além disso, a maioria das técnicas requer memória adicional de forma a tornar a filtragem mais eficiente.

Os tópicos acima considerados podem servir de critérios para a comparação das técnicas analisadas. Mais especificamente esses critérios são:

Filtragem - É a principal característica que distingue as técnicas, sendo analisada quanto ao tipo de filtro empregado, quanto ao instan te de sua aplicação e quanto ao sobrecusto de memória. O tipo identifica o filtro empregado. O instante de aplicação especifica se o processo de filtragem consiste de uma filtragem prévia da textura e um esquema de indexação das estruturas intermediárias geradas ou se esse processo envolve a filtragem imediata dos elementos da textura que contribuem para a intensidade de cada pixel do elemento de super fície considerado. O sobrecusto de memória se refere à necessidade ou não do gasto de memória adicional para a implementação da filtra gem.

Compensação da perspectiva - Este tópico identifica se foi utilizado ou não algum esquema para compensar a distorção introduzida pela projeção perspectiva necessária para a visualização realista de objetos 3D.

Por serem específicos do processo de texturamento esses tópicos acima foram classificados no quadro comparativo como tópicos específicos. Os tópicos a seguir foram classificados como complementares pois embora sejam imprescindíveis eles complementam os tópicos acima no processo de texturamento.

Modelo geométrico - Especifica o modelo geométrico dos elementos de superfície dos objetos a serem texturados.

Algoritmo para remoção das superfícies escondidas - Especifica o algoritmo utilizado no processo de síntese para a remoção das superfícies escondidas.

QUADRO COMPARATIVO

O quadro comparativo mostrado na figura 1 foi construído baseado nos critérios estabelecidos na seção anterior. Nesse quadro, as técnicas foram também organizadas cronologicamente.

TÓPICOS TÉCNICAS	ESPECÍFICOS			COMPLEMENTARES		
	FILTRAGEM			COMPENSAÇÃO PERSPECTIVA	MODELO GEOMÉTRICO	ALGORITMO PARA REMOÇÃO DAS SU- PERFÍCIES
	TIPO	INSTANTE DE APLICAÇÃO	SOBRECUSTO DE MEMÓRIA			
CATH74	Fourier	Imediata	Pouco	Não	"Patch"	Buffer-z
BLIN76	Pirâmide	Imediata	Não	Sim	"Patch"	Linha de Exploração
DUNG78 (1)	Fourier	Prévia	Muito	Sim	Polígonos	"?" (2)
	Pirâmide	Imediata				
FEIB80	Qualquer	Imediata	Pouco	Sim	Polígonos	Subdivisão de polígonos
WILL83	Qualquer	Prévia	Muito	Sim	"?" (2)	Linha de exploração
CROW84	Fourier	Prévia	Muito	Sim	"?" (2)	Linha de exploração

Figura 1 - Quadro comparativo das técnicas de mapeamento de textura

- (1) - A técnica de Dungan et al subdivide cada pixel em "subpixels" e os processa individualmente aplicando uma filtragem de janela de Fourier prévia da textura para definir os seus valores de intensidade. Além disso, as intensidades desses "subpixels" são integradas através de uma filtragem por uma função pirâmide para a determinação do valor final. Por isso esta técnica contém duas especificações de filtragem.
- (2) - Os "?" indicam que não foi possível concluir de forma precisa a partir das referências bibliográficas.

ANÁLISE DAS TÉCNICAS

As técnicas de Mapeamento de Textura se aplicam tanto à geração de sequências animadas como também à produção de imagens isoladas, realistas ou artísticas. Como a qualidade da filtragem é proporcional ao tempo de processamento, a qualidade das imagens de sequências animadas pode ser comprometida já que são necessárias, em média, 30 imagens por segundo de animação. Assim, embora todas

as técnicas procurem gerar boas imagens de forma eficiente, algumas dão mais ênfase à qualidade da filtragem enquanto que outras à eficiência do processo de texturamento, visando a animação dessas imagens. Portanto, inicialmente, serão abordadas cada uma dessas duas classes de técnicas isoladamente. Em seguida, através de uma análise de cada tópico, essas técnicas serão comparadas em conjunto. Finalmente, serão comentados aspectos gerais relevantes que não foram abordados nas análises anteriores.

Qualidade da filtragem x Eficiência do processo

As técnicas de Catmull (CATM74), Blinn e Newell (BLIN76) e Feibush et al (FEIB80) são indicadas para a geração de imagens de alta qualidade já que podem utilizar filtros mais sofisticados aplicados imediatamente. A técnica de Catmull, pioneira, não considera nenhuma compensação para a distorção perspectiva, gerando imagens de menor qualidade que as outras. A grande vantagem da técnica de Feibush et al é a flexibilidade na utilização dos filtros já que a memória adicional requerida é uma tabela de consulta que armazena coeficientes que definem a forma do filtro desejado. Entretanto, esta e a técnica de Blinn (BLIN76) são bastante caras em tempo de processamento (CROW84).

Dungan et al (DUNG78), Williams (WILL83) e Crow (CROW84) criaram técnicas orientadas para a geração de sequências animadas uma vez que utilizam filtros simples aplicados previamente. Visando melhorar a qualidade da imagem, Dungan et al aplicam também uma filtragem imediata além da prévia. Williams utiliza um filtro janela de Fourier simples na filtragem de cada nível da textura, mas qualquer filtro mais sofisticado pode ser utilizado. Essa flexibilidade é perdida na técnica de Crow, que não requer que a compressão seja simétrica como Williams, já que pode recuperar áreas retangulares, associadas a cada pixel dos elementos de superfície, da sua tabela de áreas somadas. Entretanto, geralmente, a técnica de Crow é mais eficiente (CROW84).

Análise dos tópicos

- a) Filtragem - Como já foi observado, a aplicação da filtragem identifica se o objetivo da técnica é qualidade ou eficiência.

Uma das técnicas (DUNG78), visa a eficiência, mas também aplica uma filtragem imediata. Uma prática comum, observada das referências, que independe do objetivo, é a filtragem prévia das texturas que contenham muitas componentes de alta frequência. A filtragem através de uma janela de Fourier, embora simples, é bastante utilizada.

Apenas a técnica de Blinn (BLIN76) não requer memória adicional. A palavra de memória adicional por pixel requerida por Catmull (CATM74) especificando a área que os fragmentos de "patch" cobrem, representa, sem dúvida, um sobrecusto razoável de memória. A tabela de consulta de Feibush et al (FEIB80) é um sobrecusto de memória pequeno, pois contém apenas os coeficientes que definem a forma do filtro. As estruturas de Dungan et al (DUNG78), Williams (WILL83) e Crow (CROW84) contém intensidades que armazenam a imagem em diferentes resoluções e representam um sobrecusto de memória bastante grande.

- b) Compensação perspectiva - Apenas a primeira técnica publicada (CATM74) não considerou a distorção da perspectiva. Podemos concluir que, atualmente, todo algoritmo de Mapeamento de Textura deve incluir o tratamento desse tópico. Além disso, observa-se que em função da eficiência do processo as técnicas que visam a geração de sequências animadas simplificam a definição dos elementos da textura que contribuem para a intensidade de cada pixel considerado comprometendo a qualidade da imagem.
- c) Modelo geométrico - Em geral as técnicas publicadas para o mapeamento de texturas em superfícies usam modelos de polígonos ou "patches".
- d) Algoritmo para remoção das superfícies escondidas - Geralmente, a matização é processada junto com a remoção das superfícies escondidas. Uma vantagem decorrente da separação desses processos, proposta por Feibush et al (FEIB80) é o processamento sequencial dos arquivos de textura, importante quando existem várias texturas diferentes numa mesma imagem.

Uma análise cronológica das técnicas indica que uma preocupação atual é a pesquisa de técnicas que dem mais eficiência ao processo. Em 1980, num enfoque bastante diferente, Catmull e / Smith (CATM80) apresentaram uma técnica que transforma a imagem digital como uma imagem 2D que se ajusta à projeção de um polígono colocado arbitrariamente no espaço 3D. A grande vantagem apresentada é que a transformação 2D pode ser decomposta em duas transformações simples, uma na ordem de exploração de linha vertical e a outra na horizontal. O processamento de pixels na ordem de exploração de linha tanto na geração da imagem transformada quanto na exploração da imagem original, viabiliza a implantação dessa técnica também em hardware.

CONCLUSÕES

A partir do trabalho de Edwin Catmull, que em 1974 introduziu esta idéia de simular as texturas das superfícies reais, várias técnicas de Mapeamento de Textura tem sido propostas. Estudos das técnicas de Mapeamento de Textura disponíveis na literatura permitem a identificação de tópicos diferenciadores que dão uma orientação na seleção da técnica adequada a um dado ambiente.

Identificados os tópicos que servem de critérios para a comparação das técnicas e, considerando a integração do processo de texturamento com a síntese de imagens realistas, pode-se classificar esses critérios como: complementares ao texturamento e específicos do processo. Os critérios considerados específicos foram : filtragem e compensação perspectiva. Os complementares são: modelo geométrico e algoritmo para remoção das superfícies escondidas.

Considerando que as técnicas de Mapeamento de Textura procuram ajustar uma imagem digital na superfície de um objeto 3D cuja projeção num plano de visualização é amostrada para a geração da imagem final. Este trabalho também identificou o tratamento da filtragem como a principal característica que distingue as técnicas. A análise destas técnicas à luz dos critérios específicos, de acordo com o quadro comparativo construído, levou à classificação das técnicas em duas classes, em função do objetivo dessas técnicas. Elas enfatizam ou a qualidade da imagem ou o tempo do

processo de texturamento, visando a geração de sequências animadas de imagens. As primeiras utilizam filtros mais sofisticados aplicados imediatamente, e procuram soluções mais exatas à compensação da distorção perspectiva. As técnicas mais preocupadas com a eficiência, mais atuais devido provavelmente à maior propagação de aplicações que requerem animação, se utilizam de filtros mais simples aplicados previamente e em função do tempo de processamento comprometem a precisão na compensação da perspectiva. Ambas as classes se utilizam de memória adicional para agilizar o processo.

Esse trabalho está integrado a linha de pesquisa de Computação Gráfica e PAC (Projeto Assistido por Computação) do Departamento de Informática da PUC/RJ, especialmente na aplicação de Tecnologia Raster na geração de imagens realistas em diversas áreas tais como Engenharia, Arquitetura e Artes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLIN76 Blinn, J. F. e Newell, M. E., "Texture and Reflection on Computer Generated Images", Communications of the ACM, 19(10), out 1976, pp 542-547.
- BLIN78 Blinn, J. F., "Computer Display of Curved Surfaces", Ph.D. Thesis, University of Utah, Dept. of Computer Science, dez 1978.
- CATM74 Catmull, E., "A Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces", Ph.D. Thesis, University of Utah, Dept. of Computer Science, dez 1974.
- CATM80 Catmull, E. e Smith, A. R., "3-D Transformation of Images in Scanline Order", Computer Graphics (Proc. Siggraph '80), jul 1980, pp 279-285.
- CROW76 Crow, F. C., "The Aliasing Problem in Computer Synthesized Shaded Images", Ph.D. Thesis University of Utah, Dept. of Computer Science, mar 1976.

- CROW81 Crow, F. C., "A Comparison of Antialiasing Techniques", IEEE Computer Graphics and Applications, 1(1), jan 1981, pp 40-48.
- CROW83 Crow, F. C., "Computational Issues in Rendering Antialiased Detail", Notas do Seminário "Advanced Image Synthesis" de Siggraph '83, jul 1983.
- CROW84 Crow, F. C., "Summed-Aerea Tables for Texture Mapping", Computer Graphics (Proc. Siggraph '84), 18(3), jul 1984, pp 207-212.
- DUNG78 Dungan Jr, W., Stenger, A. e Suttty, G., "Texture Tile Considerations for Raster Graphics", Computer Graphics, 12(3), ago 1978, pp 130-134.
- FEIB80 Feibush, E. A., Levoy, M., e Cook, R. L., "Synthetic Texturing Using Digital Filters", Computer Graphics (Proc. Siggraph '80), 14(3), jul 1980, pp 294-301.
- FOLE82 Foley, J. D., e Van Dam, A., "Fundamentals of Interactive Computer Graphics", Addison-Wesley, Reading, MA, 1982.
- GREE83 Greenberg, D. P., "Tutorial: Introduction to Raster Graphics", notas do Seminário "Introduction to Raster Graphics" de Siggraph '83, jul 83.
- NEWM79 Newman, W. M. e Sproull, R. F., "Principles of Interactive Computer Graphics", McGraw-Hill, New York, 1979.
- SUTH74 Sutherland, I. E., Sproull, R. F. e Schumacker, R. A., "A Characterization of Ten Hidden Surface Algorithms", ACM Computing Surveys, 6(1), mai 1974, pp 1-55.
- WILL83 Williams, L. "Pyramidal Parametrics", Computer Graphics (Proc. Siggraph '83), 17(3), jul 1983, pp 1-11.
- WHIT82 Whitted, T., "Processing Requirements for Hidden Surface Elimination and Realistic Shading", Notas do Seminário "Advanced Image Synthesis" de Siggraph '82, jul 1982.