

pesquisa
visgraf
impa

pesquisa@visgrafimpa

introdução

O Laboratório VISGRAF foi criado no IMPA com o objetivo de promover a pesquisa, desenvolvimento e ensino na área de Computação Gráfica.

A Computação Gráfica, na concepção do grupo se constitui na área da matemática aplicada ao processamento de objetos gráficos em seu sentido mais amplo, tais como modelos geométricos, imagens e dados volumétricos.

Desse ponto de vista, a Computação Gráfica, como disciplina, engloba as sub-áreas de Animação, Modelagem Geométrica, Síntese, Análise e Processamento de Imagens.

As pesquisas do grupo, portanto, visam a criação de modelos matemáticos para descrever objetos gráficos, de técnicas para manipulá-los, e de algoritmos para visualizá-los.

abordagem metodológica

Como em outras áreas da Matemática Aplicada Computacional, o problema mais geral que se coloca é o de formular modelos, passíveis de uma representação e de uma implementação no computador. Nesse sentido, os modelos em multi-escala e as estruturas hierárquicas tem se mostrado uma das estratégias mais efetivas para se chegar a soluções eficientes do problema.

O trabalho de pesquisa do Laboratório VISGRAF em Computação Gráfica tem focalizado na investigação de modelos multi-escala específicos para os diversos

problemas da área. Além disso, existe grande interesse no desenvolvimento de métodos para a simulação de fenômenos naturais.

linhas de pesquisa

As principais linhas de pesquisa do Laboratório são: i) Modelagem Processamento e Análise de Imagens; ii) Animação (Síntese, Análise e Processamento de movimentos); iii) Visualização; iv) Realidade Virtual; v) Sistemas de Informações Geográficas e; vi) Multimídia.

Atualmente existem diversos projetos sendo desenvolvidos no Laboratório VISGRAF. Esses projetos envolvem a participação de alunos de mestrado, doutorado, bolsistas técnicos, e pesquisadores do IMPA, bem como colaboradores de outras instituições no Brasil e no exterior.

No seu conjunto os projetos em andamento no VISGRAF abordam alguns dos temas mais relevantes para o estado-da-arte em Visão e Computação Gráfica. Os resultados já obtidos e as perspectivas de desenvolvimento futuro colocam o Laboratório na frente da pesquisa na área.

É importante ressaltar que os projetos são fortemente inter-relacionados, tanto em termos de métodos e tecnologias, quanto em termos de complementaridade, abrangência e escopo. Isso possibilita maior produtividade da equipe, com uma sinergia agregadora, além de uma continuidade natural das pesquisas.

Em Visão e Computação Gráfica, estamos trabalhando em projetos de Vídeo de Quarta Geração, Fotografia 3D, e Realidade Aumentada.

Em Modelagem Geométrica, estamos pesquisando Superfícies de Subdivisão, Modelos Implícitos, Estruturas Geométricas e Topológicas, Geometria Diferencial Discreta e Modelagem com Pontos.

Em Visualização e Síntese de Imagens, temos projetos sobre Panoramas Virtuais, Processamento em Tempo-Real de Dados Gráficos e Visualização Interativa de Terreno.

Em Animação, estamos pesquisando a Recriação de Expressões Faciais e Fala, Análise de Movimento de Cabeça, Animação 2D com Iluminação 3D, Sistemas de Stop-Motion e Rastreamento com Marcadores.

No que se segue, são descritos em maior detalhe essas linhas de pesquisa e alguns projetos que se encontram em um estágio maduro de desenvolvimento.

processamento de imagens e vídeo

O VISGRAF tem realizado pesquisas relevantes na área de processamento de imagens e vídeo. Dentre as linhas de pesquisa podemos destacar:

- Quantização de imagens;
- Impressão digital de imagens (“dithering”);
- Bancos de dados de imagens;
- Processamento e análise em multi-escala;
- Pintura digital e visualização ilustrativa;
- Imagens médicas.

Na área de impressão digital o laboratório possui duas patentes nos Estados Unidos. Na área de pintura digital, as pesquisas estão ligadas à representação de imagens em multiresolução usando wavelets. O Laboratório tem contribuições significativas nas áreas de imagens médicas e análise em multi-escala.

impressão digital

A impressão digital integra técnicas de computação gráfica com a finalidade de reproduzir textos, desenhos e imagens em dispositivos de impressão. Dentre as várias técnicas para impressão digital, uma das mais importantes é o meio-tom

digital, que permite a reprodução em equipamentos de saída gráfica, tais como impressoras laser e fotocompositoras. O método de meio-tom digital produz uma imagem digital reticulada que substitui a retícula analógica e permite a reprodução da imagem em dispositivos de dois níveis, em particular no processo offset utilizada na indústria de impressão.

As pesquisas nessa área tem grande relevância prática por suas aplicações na indústria de editoração eletrônica. O foco de estudo se concentra em técnicas de meio-tom digital utilizando curvas de preenchimento de espaço, que evita os problemas inerentes aos métodos de dithering tradicionais. O objetivo é tornar possível a reprodução de imagens com alta qualidade gráfica.

Essa linha de pesquisa tem se mostrado uma fonte muito rica de idéias. Os trabalhos publicados pelo VISGRAF contribuíram decisivamente para reabrir toda uma área de pesquisas em reprodução de imagens. Os resultados obtidos vieram ao encontro de uma demanda criada pela indústria gráfica com o aparecimento de fotocompositoras e outros dispositivos de alta resolução.

meio-tom digital com curvas fractais

Na área de Impressão Digital foram obtidos bons resultados tanto em pesquisas como em desenvolvimento. A pesquisa sobre meio-tom digital resultou em vários trabalhos publicados em conferências no Brasil e no exterior. Dentre eles, destacam-se os artigos publicados na revista *Computer Graphics* da ACM, uma das mais importantes da área. Ainda na área impressão digital, foram depositadas duas patentes nos Estados Unidos, relativas ao método de meio-tom digital com curvas fractais. Outro desdobramento dessa pesquisa foi o intercâmbio com o grupo de Tecnologia de Impressão dos Laboratórios da Hewlett Packard em Palo Alto, EUA, que é um dos mais renomados nessa área.

Essa pesquisa introduziu na literatura um método de meio tom digital que integra de forma flexível os métodos baseados em dispersão e os métodos baseados em aglomeração, permitindo a variação no tamanho do aglomerado dependendo das características de frequência da imagem (ver Figura 1). Esse é o único método existente na literatura com essa capacidade. A relevância desse trabalho vai além dos resultados obtidos porque ele foi o primeiro trabalho de um grupo da América Latina na SIGGRAPH, a conferência mais importante

de Computação Gráfica. Este fato ajudou a tornar o Laboratório VISGRAF reconhecido internacionalmente nessa área.

Posteriormente estendemos o método de retícula fractal para impressão a cores. Ambos os métodos foram patenteados nos Estados Unidos o que comprova o ineditismo da tecnologia desenvolvida.

Várias extensões do método são possíveis, dentre elas podemos mencionar sua utilização para imprimir num espaço de cores de dimensão 7 (Hi-Fi Color) sem utilizar sobreposição de cor.

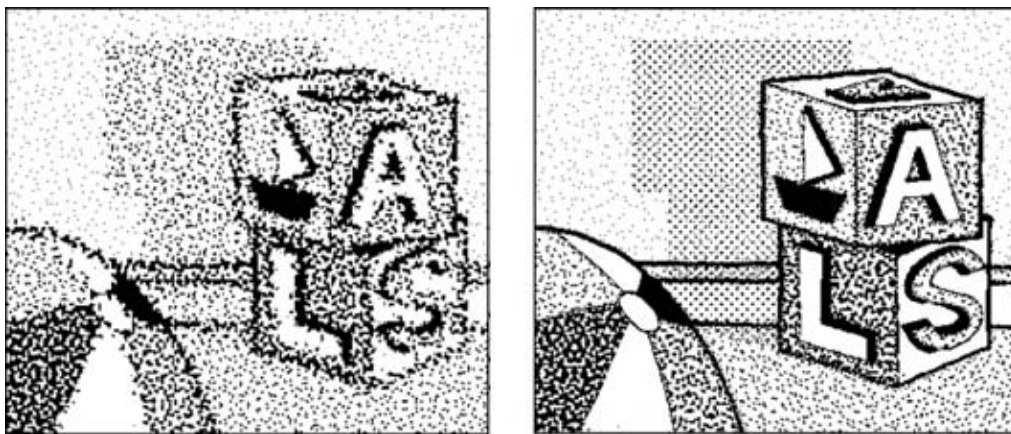


Figura 1: Reticula de Meio-Tom Digital com Ponto Fixo e Variável.

pintura digital

Na área de processamento de Imagens, a pesquisa sobre sistemas da pintura digital busca o estabelecimento de um paradigma independente de resolução para a representação e o processamento de imagens. A base desse trabalho é uma descrição procedural em multiresolução baseada em wavelets B-Spline.

pintura procedural em multiresolução

Desenvolvemos um sistema de pintura em multiresolução baseado na representação de wavelets B-Spline. Para isso, desenvolvemos um algoritmo de composição de imagens em multiresolução. Estendemos o sistema de pintura com wavelets incluindo ferramentas de pintura multiresolução. Mais especificamente, desenvolvemos pincéis procedurais e texturas em multi-escala. Esses resultados, fruto da colaboração com Ken Perlin, estão publicados em dois artigos na revista *Computer Graphics* da ACM, uma das mais importantes da área.

O sistema desenvolvido tem as seguintes características:

- Pintura e composição digital de imagens independente de resolução;
- Representação hierárquica em multiresolução baseada em wavelets BSpline.

Esse sistema permite a unificação de elementos gráficos vetoriais e matriciais em um mesmo contexto computacional. Além disso, ele inclui técnicas procedurais para a geração de texturas.

Diversos recursos que podem ser incorporados no sistema de pintura com wavelets. Eles são decorrentes de uma investigação de técnicas de extrapolação que preservam certas propriedades perceptuais da imagem e também no estudo de métodos para a síntese automática de texturas com base em amostras.

Uma outra área indicada para empreender pesquisas é na utilização de técnicas de pintura em vídeo digital. O uso de uma estrutura de dados adequada para vídeo digital permite o desenvolvimento de técnicas de pintura com variação temporal. Duas vertentes de pesquisa são possíveis nessa direção

- Pintura segmentada, onde determinados segmentos de frames do vídeo são pintados e a pintura se propaga ao longo do tempo de forma automática com a utilização de técnicas de rastreamento.
- Pintura procedural, onde técnicas de pintura procedural são parametrizadas com o tempo permitindo a obtenção de uma pintura em um segmento de vídeo.

Na Figura 2, abaixo, mostramos uma seqüência de imagens com a aplicação progressiva de uma textura fractal desenhada com pincéis procedurais no sistema de pintura independente de resolução.

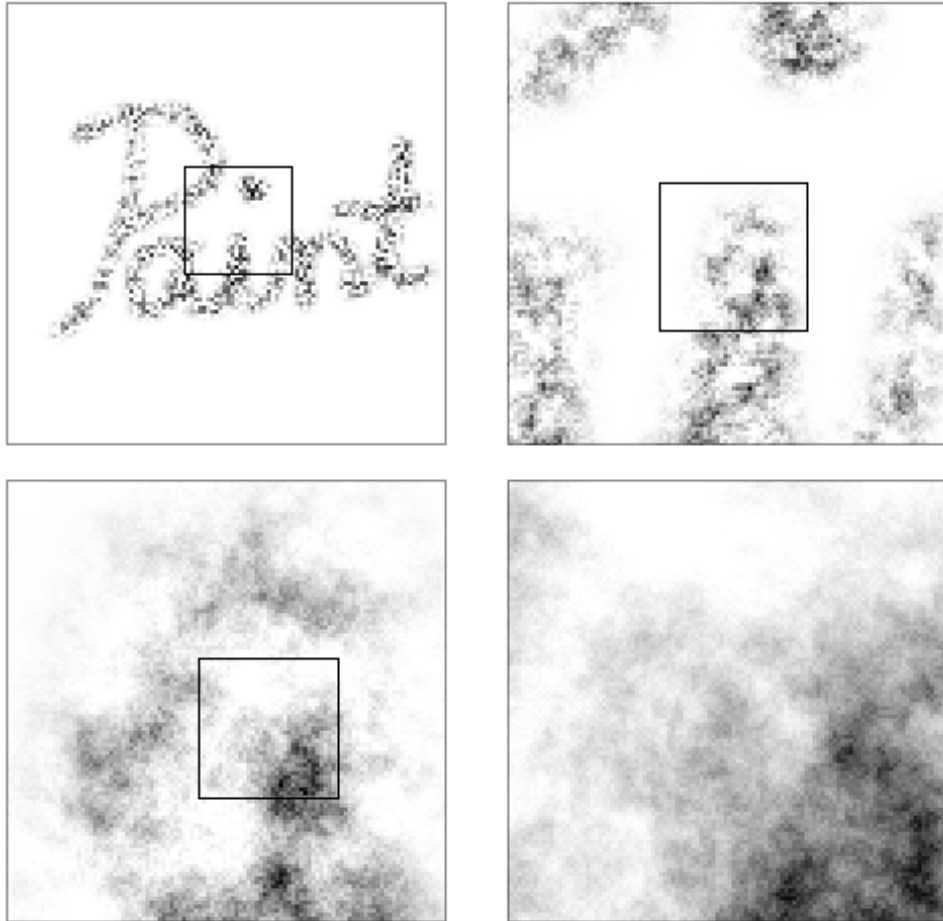


Figura 2: Pintura em Multiresolução

imagens médicas e volumétricas

Desde a descoberta dos raios-X em 1895, utiliza-se imagens como forma de aquisição de informações sobre o estado de saúde de pacientes. Em 1917 J. Radón fez a descoberta de teorias matemáticas que permitem a reconstrução tomográfica de imagens.

Com a criação das primeiras máquinas de tomografia por G. N. Hounsfield a partir de 1967, que lhe valeram inclusive um Prêmio Nobel na área de Medicina, o uso de imagens foi ainda mais intensificado. Hoje em dia, utilizam-se diversas modalidades de imageamento na área médica, entre elas a ultra-sonografia (US), a tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética (RM).

Estas formas de imageamento possuem a grande vantagem de serem não invasivas, ou seja, não há penetração de instrumentos no corpo do paciente. Além disto, é indubitável a qualidade das imagens geradas por tais equipamentos, beneficiando aplicações médicas tais como diagnóstico, planejamento de cirurgia e tele medicina.

Estas imagens possuem alto grau de conteúdo médico, pois possuem informações relevantes para o exercício de diversas especialidades: oncologia, ginecologia, radiologia e cardiologia, para citar algumas. Entretanto, para o aproveitamento máximo deste conteúdo médico existente em imagens tomográficas, faz-se necessário o uso do computador por parte dos profissionais desta área.

Neste projeto desenvolvemos ferramentas computacionais que automatizam na interpretação destes dados, como por exemplo o auxílio à detecção de câncer em estado prematuro e de micro-calcificações em imagens de mamografia. Neste caso é indispensável a criação de algoritmos robustos para segmentação de imagens, onde pode-se então fazer realce de regiões específicas das imagens (afim de que sejam usadas em algoritmos de visualização), além de extração de atributos (que são usados em morfometria).

segmentação de imagens médicas

Uma melhoria significativa no grau de relevância médica pode ser alcançada fazendo-se a segmentação dos dados, ou seja, atribuição dos valores encontrados nos dados à estruturas médicas, como órgãos, veias e tumores.

Entretanto, um problema que atinge a segmentação de imagens médicas é a ausência de definição entre as diversas estruturas. Isto significa que um mesmo valor numérico pode ser atribuído a diversos órgãos, prejudicando assim a eficiência e robustez dos algoritmos.

Deve-se buscar a extração de atributos de mais alto nível para servir de parâmetro de separação das diversas estruturas médicas. Como exemplos destes atributos pode-se citar análise de textura e descritores de Fourier, dentre outros. Estes atributos poderão ser genéricos ou específicos para uma certa modalidade de imageamento, e testes terão de ser efetuados para comprovar a eficiência destes como formas de segmentação das estruturas médicas.

Deve-se notar que a pura visualização dos dados médicos, apesar de importante e de já fornecer informação que possa ser usada pela classe médica, não é suficiente para todas as aplicações possíveis. Como exemplo pode-se citar a confecção de próteses ortopédicas, que exige a extração de dados geométricos das imagens para posterior envio à máquinas de controle numérico.

Uma vez que os dados médicos estejam segmentados, ou seja, a cada elemento dos dados esteja associado uma estrutura médica, pode-se realizar uma análise morfométrica em cada uma destas estruturas. Isto significa que pode-se extrair atributos como área, volume, e densidade média, que são usados para classificação entre estruturas saudáveis e não-saudáveis, por exemplo.

Aplicações de algoritmos de morfometria pode-se dar no acompanhamento de pacientes em tratamento, controle de dados pré- e pós-operatório, análise de câncer maligno e benigno, dentre outros.

Nesse projeto, utilizamos técnicas de segmentação de imagens no planejamento de cirurgias pulmonares para o tratamento de enfisema pulmonar. A Figura 3, abaixo, mostra a segmentação automática de tecidos pulmonares e a reconstrução de partes do pulmão.

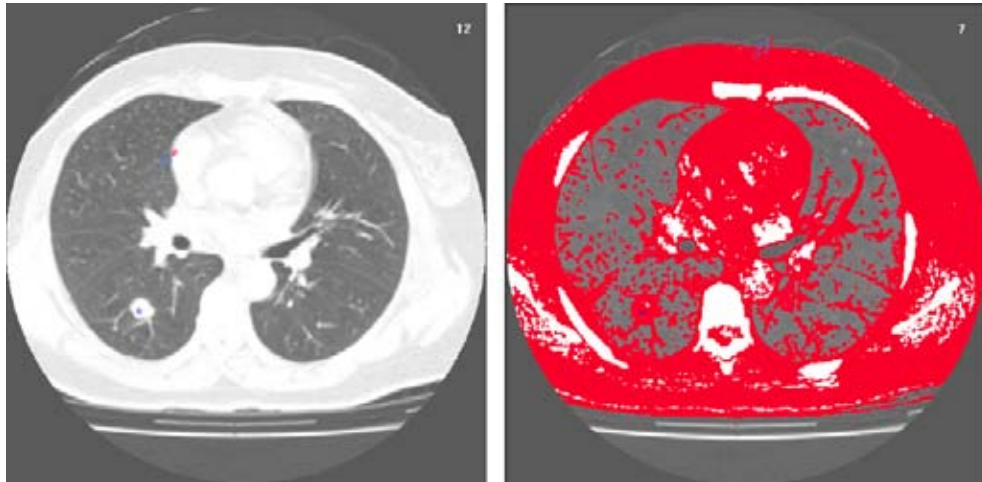


Figura 3 – Segmentação de Tecido Pulmonar

banco de dados visuais

Em ambientes médicos, dada a enorme quantidade de dados de cada exame de imageamento, tem-se o problema de acesso a estes dados de maneira intuitiva. Armazenar estes dados em um esquema de diretórios e arquivos talvez seja suficiente para poucos paciente e/ou poucos exames, mas à medida em que a quantidade de paciente e de exames por paciente for aumentando, este esquema torna-se rapidamente inviável.

Necessita-se neste caso de tecnologia de banco de dados, e em especial de bancos de dados visuais, também conhecidos pela sigla *Picture Archive and Communication System* (PACS). Em determinadas situações deve-se acessar estes dados pelo nome do paciente, ou outra chave de acesso qualquer. A maneira de como e onde os dados estão armazenados não devem interferir na interface ao usuário médico, que além de tudo não tem por função ser um especialista em computação.

Em outras situações, é necessário o acesso aos dados armazenados por outro tipo de chave, por exemplo o conteúdo médico. Isto significa que não somente as imagens terão que ser armazenadas, mas também as informações médicas terão que ser armazenadas de maneira explícita no banco de dados.

Deve-se notar que para se atingir este objetivo é necessário uma fase prévia de segmentação dos dados.

Para aplicações onde seja necessária a comparação de dados, como por exemplo em diagnóstico, o uso de banco de dados acessíveis por conteúdo torna-se fundamental para o bom exercício da profissão médica. Assim sendo, a inspeção de uma imagem pode ser realizada por comparação com todas as outras imagens do banco de dados que também possuam certa estrutura médica ou que tenham uma mesma patologia.

A principal fonte de pesquisa nesta linha se dá na escolha das estruturas de dados para representação do conteúdo das imagens, algoritmos eficientes de busca das imagens que possuam determinados atributos visuais e formas de compactação dos dados, dentre outras. Os sistemas PACS incorporam a tecnologia fundamental para o uso do prontuário digital do paciente.

O VISGRAF desenvolveu um projeto de cooperação com o Image Science Institute do Hospital da Universidade de Utrecht (Holanda), com o objetivo de criar um banco de dados de imagens pulmonares bidimensionais (Raio-X) que permita uma busca por conteúdo ("Search by Image Content"). Esse banco de dados tem aplicações em diagnóstico de tuberculose e em ensino. A Figura 4, abaixo, mostra a interface de visualização de bancos de dados de imagens médicas no formato DICOM.

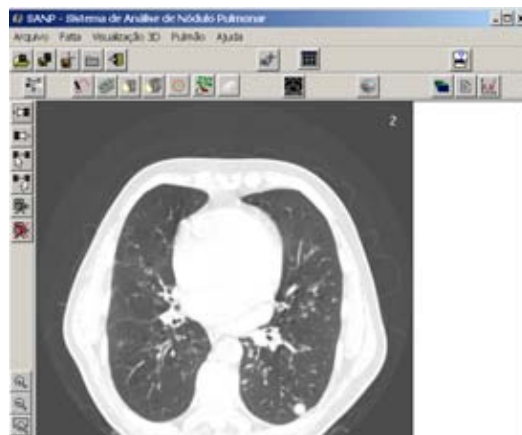


Figura 4: Visualização de Dados Médicos

análise e processamento de dados sísmicos

É importante salientar que as diversas técnicas de análise e processamento de dados volumétricos utilizados na área de imagens médicas se aplicam igualmente bem na análise e processamento de dados sísmicos, provenientes de prospecções geológicas. Essencialmente dois fatores distinguem o processamento de dados sísmicos do processamento e análise de dados médicos:

- Os dados sísmicos ocupam bem mais espaço de armazenamento;
- Não temos modelos a priori dos objetos representados pelos dados, como no caso do corpo humano.

A análise e processamento de dados sísmicos é de grande importância na indústria do petróleo. O Laboratório VISGRAF participou de projetos nessa área com a Petrobras. Essa pesquisa envolve duas teses de mestrado, juntamente com duas teses de doutorado.

vídeo omnidirecional

Imagens omnidirecionais capturam informações visuais de uma cena 3D provenientes de todas as direções num ponto do espaço. Essas imagens podem ser modeladas pela parametrização da superfície panorâmica esférica que coleta todos os raios do campo de iluminação incidentes no seu centro de projeção.

A área de visão omnidirecional computacional tem recebido grande atenção nos últimos anos por suas aplicações em sensoriamento, efeitos especiais de cinema, sistemas de segurança e panoramas virtuais. Ela se destaca da visão computacional clássica por captar informações globais do espaço ambiente e ser fundamentada em princípios de geometria projetiva não-linear.

O Laboratório VISGRAF tem realizado pesquisas em processamento de imagens panorâmicas e mais recentemente na área de vídeo omnidirecional. Acreditamos que tais pesquisas tem grande potencial para abrir novas

possibilidades para aplicações de multimídia e realidade virtual. Nessa linha de pesquisa desenvolvemos técnicas para a segmentação de vídeo e captura de imagens com alta definição tonal (High Dynamic Range). Estamos também implementando sistemas de projeção imersiva com campo visual aumentado.

vídeo HDR

Os sensores das câmeras de fotografia e vídeo digital operam numa faixa limitada de resposta à radiância da cena e portanto não são capazes de registrar toda a variação de iluminação num ambiente real. Esse problema se torna especialmente grave no caso de imagens omnidirecionais que em geral capturam tanto as fontes de luz quanto pontos de sombra numa cena (ver Figura 5).

Desenvolvemos um novo método para o calculo de imagens com alta definição tonal (HDR) usando uma seqüência de vídeo e os histogramas das imagens. Esse método tem aplicações em realidade virtual e efeitos de iluminação baseados em imagens. A Figura 5 mostra o resultado do processamento HDR de vídeo omnidirecional com a aplicação de mapeamento de tons pelo algoritmo de Reinhart.



Figura 5 – Processamento HDR em Vídeo Omnidirecional.

segmentação com iluminação ativa

A segmentação de imagens é uma técnica importante para análise de imagens. A partir da segmentação podemos separar objetos ativos do resto da cena – isto é a chamada decomposição figura/fundo. No caso de imagens omnidirecionais, a segmentação em figura/fundo viabiliza a estruturação de vídeos omnidirecionais codificando de forma independente elementos dinâmicos e o fundo estático. Esse tipo de estruturação tem aplicações em compressão de vídeo e em narrativas interativas não-seqüenciais.

Desenvolvemos algoritmos de segmentação usando iluminação ativa que separam bastante bem objetos próximos da câmera e o fundo distante da cena (ver Figura 6). Esses algoritmos exploram a técnica de graph-cuts para segmentar a imagem.



Figura 6 - Segmentação de vídeo usando iluminação ativa.

modelagem geométrica

A Modelagem Geométrica concerne a construção e representação da forma de objetos gráficos. A modelagem é um dos problemas básicos da Computação Gráfica, com implicações em praticamente todas as áreas de atuação dessa disciplina. Os problemas da área englobam vários aspectos relacionados com a geometria e topologia dos objetos. Além disso, a formulação dos problemas depende fortemente do tipo de descrição dos modelos. Assim, sua solução deve ser equacionada em diversos níveis de abstração, que incluem: i) a escolha de um modelo matemático apropriado para o estudo da classe dos objetos de interesse; ii) o estabelecimento de um esquema de representação geométrica baseada no modelo; e iii) a formulação de estruturas de dados e rotinas para implementar a representação no computador. Além disso, um sistema de modelagem deve suportar uma vasta gama de recursos computacionais para a manipulação de objetos 3D. Dentre estes, os mais importantes dizem respeito à criação, modificação, visualização, simulação e armazenamento de dados.

Atualmente, concentramos nossas pesquisas em modelos paramétricos descritos por malhas poligonais e em modelos implícitos descritos por dados volumétricos. Esses tipos de modelo são originados naturalmente em processos de simulação e sensoriamento, tais com a Fotografia 3D. As linhas de pesquisa em andamento enfocam a compressão de malhas; cálculo de geodésicas e triangulação de superfícies.

O Laboratório VISGRAF possui grande tradição em pesquisas em Modelagem Geométrica. Dentre as diversas linhas de pesquisas nessa área temos:

- Modelagem com Objetos Implícitos;
- Superfícies de Subdivisão;
- Modelagem de Terrenos;
- Representação e Estruturação de Modelos;

- Modelagem com Geodésicas;
- Malhas Adaptadas;
- Estruturas de Multiresolução;
- Reconstrução Tridimensional e Fotografia 3D.

Na área de modelagem com objetos implícitas foram desenvolvidos métodos em multi-escala para a criação e representação de modelos. A parte teórica desse projeto forneceu os fundamentos para a formulação de varias técnicas computacionais. Nesse sentido, o interesse é desenvolver aplicações que explorem o potencial de modelos em múltiplas escalas.

Na área de malhas de multiresolução, trabalhamos em estruturas adaptadas de resolução variável, que podem ser construídas usando métodos de simplificação e refinamento. Tais esquemas estão intrinsecamente relacionados com wavelets e com superfícies de subdivisão. Essas pesquisas propiciaram resultados extremamente relevantes com repercussões em outras áreas além da Modelagem, como Processamento de Imagens e Visualização. Isto porque esses métodos permitem criar uma representação hierárquica de funções definidas em superfícies, por meio de malhas simpliciais, multiresolução e progressivas. Tal representação pode ser usada com vantagens em várias aplicações, e pode também ser generalizada para dimensões maiores.

Investigamos também a construção de Superfícies de Subdivisão utilizando partições com 4 direções. Dentro dessa linha de trabalho, descobrimos uma nova superfície de subdivisão, do tipo 4-8, que estende Box Splines de ordem 6 para variedades bidimensionais com topologia arbitrária. Parte dessa pesquisa foi realizada com Denis Zorin do Courant Institute of Mathematical Sciences da NYU.

Nessa seção vamos descrever em mais detalhes alguns projetos de pesquisa em Modelagem Geométrica.

modelos implícitos

Modelos implícitos constituem um poderoso mecanismo para a criação e manipulação de formas geométricas. Nesse contexto, um objeto implícito é definido por uma função escalar $F(x,y,z)$ no espaço ambiente. A superfície implícita é uma superfície de nível da função F , definida pela equação $F(x,y,z) = c$.

As funções escalares em três variáveis $F(x,y,z)$ representam descrições analíticas de objetos gráficos volumétricos e as superfícies implícitas $F(x,y,z) = c$ representam superfícies onde a densidade do objeto volumétrico é constante.

Nessa área, nossas pesquisas se concentram principalmente no estudo das superfícies implícitas em multi-escala. Esse trabalho inclui a utilização da teoria de wavelets para a representação em multi-escala de dados volumétricos, bem como o uso de métodos físicos para a construção de modelos.

Dentre as aplicações computacionais desses resultados, destaca-se a conversão aproximada entre modelos implícitos e paramétricos. A importância das pesquisas realizadas nessa área pode ser atestada pelo grande número de trabalhos publicados.

Na área de modelagem e visualização de objetos implícitos, desenvolvemos representações multi-escala e desenvolvemos operações de deformação baseadas em esqueletos, associadas a métodos eficientes de visualização e mapeamento de textura. Implementamos um sistema de modelagem para instrumentalizar nossos experimentos de pesquisa. Esse sistema tem uma arquitetura flexível, baseada em componentes e, complementarmente, incorpora técnicas de visão computacional para a construção de modelos.

Nesse contexto, desenvolvemos diversos métodos relacionados com a descrição por partes de objetos geométricos. Em particular, estamos entre os primeiros a empregar técnicas de simulação pseudo-física para resolver essa classe de problemas.

Dentre os projetos realizados em Modelagem de Objetos Implícitos podemos citar:

modelagem interativa de objetos implícitos deformáveis

Sistema de modelagem interativo para objetos implícitos definidos por esqueletos pontuais. O sistema toma partido de uma decomposição celular do espaço ambiente para possibilitar mudanças locais no modelo em tempo real.

Geração De Malhas Para Objetos Implícitos

Técnicas de simulação pseudo-físicas para construir estruturas geométricas adaptadas ao modelo. Mostramos que é possível obter uma malha estável em conformidade com uma vizinhança tubular da superfície implícita, a partir da simulação de um sistema mola-massa sob a ação de um campo de forças induzido pelo gradiente da função implícita.

amostragem e estruturação de objetos implícitos

Métodos pseudo-físicos para produzir aproximações poligonais de uma superfície implícita. Um dos métodos, utiliza sistemas mola-massa. Nele obtemos a poligonização construindo o complexo celular dual da malha mola-massa.

poligonização de objetos implícitos

Poligonização adaptativa de superfícies implícitas baseado na decomposição simplicial recursiva do espaço ambiente. A coerência estrutural entre os diversos níveis da subdivisão é mantida através da colocação de restrições nas faces da decomposição.

construção de objetos implícitos por bordo

Método para construir o modelo implícito de um sólido a partir de sua função característica. O processo se dá em duas etapas: na primeira é feita uma análise multi-escala do bordo do sólido; e na segunda esses dados são utilizados para sintetizar uma função implícita com variação controlada numa vizinhança tubular da superfície implícita.

modelos implícitos em multi-escala

Uma descrição multi-escala para objetos implícitos usando funções de escala BSpline associadas a uma decomposição de wavelets. Essa representação é dada por uma estrutura hierárquica que tem boas propriedades computacionais para aplicações da Computação Gráfica.

mapeamento de textura para superfícies implícitas

A ausência de um sistema de coordenadas natural numa superfície implícita dificulta a aplicação de texturas bidimensionais nessas superfícies. Desenvolvemos um método de mapeamento usando sistemas físicos de partículas. Esse método é ilustrado na Figura 7, abaixo.



Figura 7 – Textura para Superfícies Implícitas.

superfícies de subdivisão

Uma grande variedade dos objetos reais é representada por superfícies e, portanto, métodos de descrição e representação de superfícies são extremamente importantes.

Existem basicamente duas descrições funcionais de superfícies: a descrição implícita e a paramétrica. A descrição paramétrica é muito conveniente do ponto de vista computacional, no entanto ela é muito limitada para representar

objetos com uma topologia complexa. Para resolver esse problema em geral subdividimos a superfície em retalhos de modo a obter uma descrição paramétrica de cada retalho (Splines, Bezier, NURBS etc.). Esse método apresenta diversas restrições, uma delas é o problema da classe de diferenciabilidade da superfície na junção dos diferentes retalhos.

Um outro método de descrever superfícies é por subdivisão. Nesse método, uma superfície é descrita a partir de uma malha poligonal inicial que possui a topologia da superfície desejada. A essa malha associamos um esquema de subdivisão que é aplicado recursivamente. O esquema de subdivisão permite refinar a malha inicial gerando uma superfície limite que é chamada de superfície de subdivisão. As superfícies de subdivisão possuem várias propriedades interessantes, dentre as quais podemos salientar:

- Superfícies com topologia complexa podem ser representadas globalmente utilizando uma única descrição, evitando desse modo o problema de colagem acima mencionado;
- As superfícies obtidas possuem boa classe de diferenciabilidade.

Em suma, esquemas de Subdivisão oferecem uma descrição poderosa para superfícies em um sistema de modelagem. Essa classe de modelos generaliza as superfícies definidas por retalhos polinomiais (Splines, Bezier, NURBS, etc).

Os problemas relevantes na área de superfícies de subdivisão são:

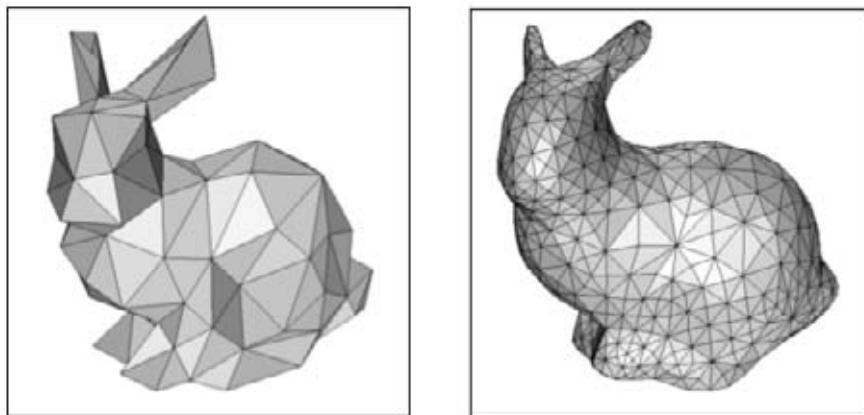
1. Definição de novos esquemas de subdivisão adequados à modelagem.
2. Estudo das propriedades de um esquema de subdivisão, tais como convergência, etc.
3. Desenvolvimento de algoritmos eficientes para computação com essas superfícies.
4. Uso desses esquemas em modelos de multiresolução.

Desenvolvemos diversos esquemas de subdivisão utilizando partições com quatro direções (reticulados do tipo Quincunx). Em particular, descobrimos uma

nova superfície de subdivisão, do tipo 4-8, que estende Box Splines de ordem 6 para variedades bidimensionais com topologia arbitrária.

Desenvolvemos também um método de subdivisão quasi-estacionária para malhas de quatro direções com os resultados excelentes. Esses esquemas de subdivisão têm propriedades de adaptação que podem ser exploradas em representações com resolução variável. Podemos explorar de varias formas a capacidade de adaptação desses esquemas de subdivisão. Estamos também desenvolvendo estruturas de dados topológicas para malhas semi-regulares com estrutura de multiresolução.

A Figura 8 (b) abaixo mostra um coelho obtido por subdivisão da malha inicial mostrada na Figura 8 (a) utilizando a subdivisão quase-estacionária. Observamos que a malha de representação resultante é bastante suave. Devemos observar que o coelho é representado utilizando apenas uma superfície de subdivisão, o que seria bastante difícil de obter utilizando um método de representação com retalhos paramétricos.



(a)

(b)

Figura 8 – Superfície de Subdivisão.

modelagem de terrenos

A disponibilidade crescente de informações digitais a respeito da superfície terrestre tem provocado um grande interesse na modelagem geométrica e na visualização de superfícies de terreno. As características destas superfícies (diferentes escalas de irregularidade, grande quantidade de dados) exigem o desenvolvimento de técnicas específicas de modelagem e visualização, diferentes das empregadas, por exemplo, para sólidos manufaturáveis.

Devido à sua irregularidade, superfícies de terreno são tipicamente aproximadas por superfícies poliedrais, sendo o caso mais comum aquele em que são utilizadas superfícies de faces triangulares (malhas triangulares). Um problema fundamental é o de obter uma boa superfície poliedral interpolante (de faces triangulares) a partir de amostras esparsas e não estruturadas.

Uma vez resolvido o problema de obter uma boa aproximação poliedral do terreno, um outro aspecto a ser levado em conta é a quantidade e o nível de redundância dos pontos amostrais e da superfície poliedral obtida. Nas regiões em que o terreno é mais acidentado é necessário que se tenha uma grande densidade de pontos amostrais. Nas regiões menos acidentadas, pode-se obter boas aproximações com um número menor de pontos. Um tópico relevante de pesquisa é o de obter métodos de decimação e refinamento de malhas. A decimação permite reduzir o número de triângulos em uma triangulação mantendo o nível de erro cometido por esta simplificação em limiares aceitáveis. O refinamento aumenta o número de elementos na malha possibilitando a representação em escalas menores. Tais técnicas podem ser aplicadas para obter representações em multiresolução de um terreno. Também é possível utilizar representações em multiresolução baseadas em grades regulares. Embora tais representações deixem de aproveitar a adaptabilidade ao terreno para diminuir a quantidade de dados, têm a vantagem de permitirem algoritmos mais simples de manipulação e visualização.

Uma questão relacionada diz respeito à obtenção de modelos em multiresolução para curvas. Várias aplicações lidam com modelos geométricos definidos por curvas planas contendo milhares de vértices ou pontos de controle. O principal exemplo são Sistemas de Informações Geográficas, ou mais geralmente, quaisquer sistemas que usam dados geográficos reais (e.g., cartografia,

modelagem de terrenos, planejamento de estradas). Embora seja possível reduzir a massa de dados para um tamanho bem menor, isso não é desejável: várias dessas aplicações necessitam a precisão total pois trabalham numa ampla faixa de escala. Portanto, é necessário representar eficientemente esses modelos de modo a permitir não só a sua visualização interativa como também a solução eficiente de problemas difíceis como localização de pontos e interseção de curvas.

Modelos de terreno muitas vezes ocorrem em sistemas híbridos de modelagem, em que aparecem combinados com outros modelos geométricos, como de edificações e vias de acesso. O desenvolvimento de tais sistemas dá origem a problemas especiais de modelagem e visualização.

As pesquisas nesta área já resultaram em diversas teses de mestrado, trabalhos científicos e produtos de software. Destacamos abaixo alguns destes trabalhos

simplificação de modelos de representação de terrenos

Em uma tese de mestrado, foi feito um estudo comparativo de métodos de simplificação e refinamento de triangulações, procurando avaliar seu desempenho em terrenos de características diversas. Foi proposto um novo método de simplificação, levando em conta a variabilidade local do terreno, que fornece resultados superiores aos métodos mais empregados de simplificação. A Figura 9, abaixo ilustra estes resultados, mostrando que, com o mesmo número de triângulos, o método proposto (à direita) consegue capturar melhor a geometria do terreno.

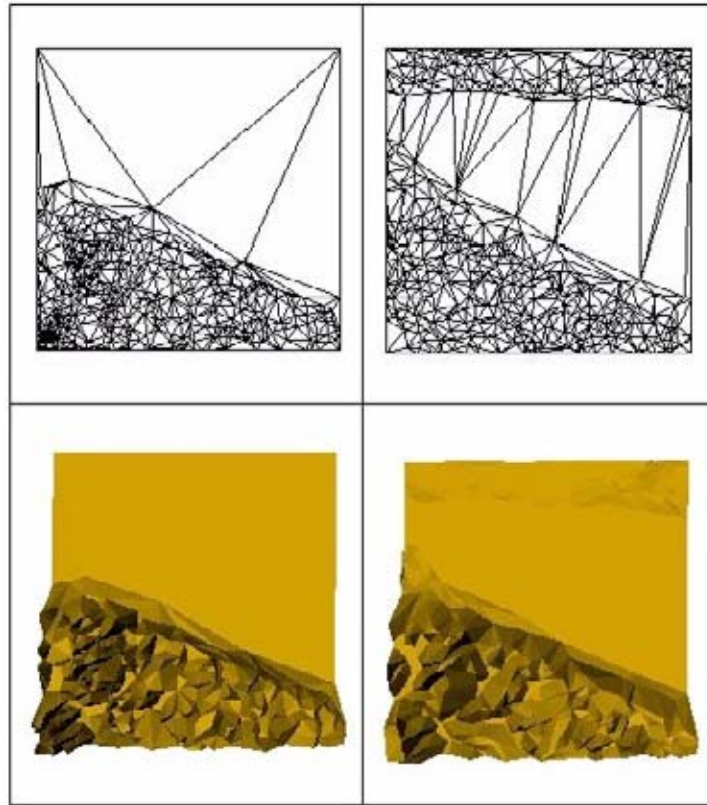


Figura 9 – Simplificação de Terreno.

modelagem e visualização de terrenos com objetos

O problema de um sistema de modelagem híbrido, combinando terrenos e edificações foi abordado em duas teses de mestrado, das quais resultaram trabalhos publicados em congressos científicos. Uma dessas teses se concentrou no problema de modelagem e representação, enquanto o outro enfocou aspectos de visualização eficiente.

modelos de terreno para projeto de vias

Os problemas geométricos associados ao projeto de vias foi abordado em uma outra tese de mestrado. O lançamento de uma via impõe a interação entre dois modelos: o do terreno e o da estrada, que pode ser vista como uma superfície. A posição relativa da superfície e do terreno determinam o processo construtivo (existência de aterro ou corte e geometria da plataforma da estrada). Desta tese resultou o sistema RODPROW, em que tais interações entre terreno e estrada serão executadas automaticamente.

representação em multi-resolução para curvas paramétricas

O objetivo deste trabalho foi conduzir uma avaliação prática de tais esquemas, tais como strip tree e arc tree, principalmente para curvas poligonais. A avaliação foi feita usando modelos geométricos construídos com dados reais (e.g., o mapa completo de todos os municípios do Brasil). Do trabalho resultou uma tese de mestrado.

modelos de elevação a partir de curvas de nível

Há grande demanda por modelos digitais de terreno baseados em elevação (DEM, Digital Elevation Methods) e portanto é importante a conversão de outros modelos de terreno para DEM. Um grande volume de dados de terreno está disponível na forma de curvas de nível, principalmente os obtidos manualmente a partir de fotos aéreas. O objetivo desse trabalho é estudar algoritmos de conversão de dados de terreno em curva de nível para DEM. Uma técnica muito usada é amostrar as curvas de nível, triangular os pontos amostrais, obtendo uma aproximação linear por partes do terreno, que é então amostrada numa grade regular, gerando um DEM. O principal problema com essa técnica é que as duas amostragens efetuadas introduzem erros - como resultado, nem sempre é possível capturar todas as feições importantes do terreno. Propomos estudar o desempenho de algoritmos de interpolação de DEM diretamente a partir das curvas de nível. Em particular, focamos em algoritmos "naturais", baseados em evolução geométrica (usando morfologia matemática) ou pseudo-física (usando equações diferenciais parciais).

visualização de terrenos em tempo real

O problema aqui abordado é o de visualizar terrenos de grande porte em tempo real sem a necessidade de estações gráficas especializadas. É considerado que dados de terreno, de grandes proporções, estão disponíveis em diversos servidores e devem ser visualizados por programas clientes em uma rede local ou não. Os dados nos servidores devem estar disponíveis em diversas resoluções, de modo que os clientes possam selecionar a resolução adequada para visualização. Aspectos tais como comunicação em rede, estratégias de pré-armazenagem e métodos eficientes de visualização são também considerados. Mais detalhes sobre essas pesquisas na seção sobre visualização desse documento.

segmentação e compressão de modelos geométricos

A estruturação e representação de modelos geométricos é de fundamental importância para o desenvolvimento de algoritmos em sistemas de modelagem. Nesse contexto, o Laboratório VISGRAF tem pesquisado métodos de segmentação de superfícies, decomposição volumétrica e compressão de malhas.

segmentação de superfícies

Algoritmos de segmentação de superfícies tem como finalidade decompor o suporte geométrico em partes significativas. Desse modo, a segmentação produz uma estrutura de regiões que pode ser usada para compressão, extração de esqueletos, metamorfose, análise de formas e animação. Realizamos pesquisas com métodos de segmentação de malhas poligonais baseados em análise espectral de grafos e em auto-funções do operador discreto de Laplace-Beltrami. Os resultados obtidos são bastante satisfatórios (ver Figura 10). Pretendemos aplicá-los em animação de modelos articulados (Ver Figura 11).

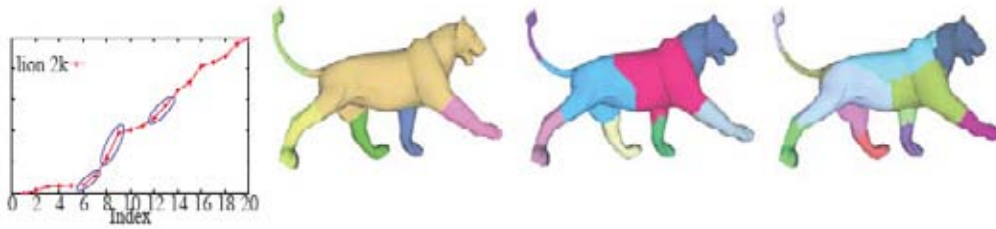


Figura 10 - Segmentação de malhas por análise espectral de grafos.

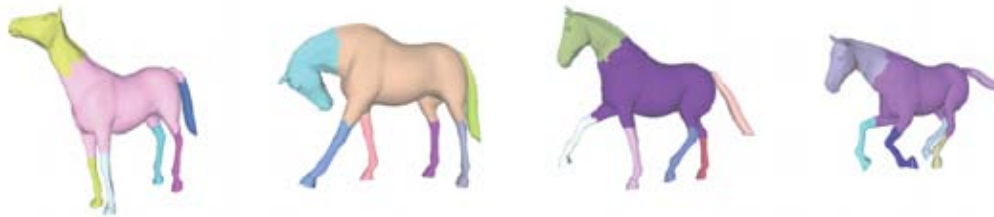


Figura 11 - Animação de modelos articulados.

decomposição volumétrica

Dados volumétricos são empregados em imagens médicas, simulações de fluidos, modelos geofísicos e em muitos outros campos da ciência. Esses dados geralmente definem campos escalares, vetoriais e tensoriais resultantes de sensoriamento ou simulações. A estruturação de dados volumétricos é feita pela decomposição do espaço em múltiplas regiões onde os dados são homogêneos. A geometria do problema é especificada pela fronteira entre essas regiões e corresponde ao conjunto de pontos de maior variação dos dados. Assim, malhas volumétricas devem se adaptar à interface entre regiões (ver Figura 12). Para resolver esse problema, desenvolvemos métodos de adaptação de malhas de tetraedros usando sistemas do tipo massa-mola.



Figura 12 - Malha volumétrica ajustada à fronteira de múltiplas regiões.

compressão de malhas

Modelos geométricos complexos, quando representados por malhas poligonais, são em geral, muito grandes devido a exigência de uma discretização refinada da sua forma para que detalhes geométricos sejam fielmente capturados. A isso soma-se a estrutura de conectividade da malha que ocupa espaço proporcional ao número de elementos geométricos. Em particular, modelos digitalizados pelo processo de Fotografia 3D podem resultar em malhas com milhões de pontos. Por esse motivo, se faz necessário o uso de métodos de compressão de dados para o armazenamento e transmissão de malhas poligonais. Os métodos clássicos de compressão de malhas privilegiam a codificação eficiente da topologia. Nossa pesquisa nessa área vai no sentido de complementar esses métodos com uma compressão efetiva da geometria. Para isso, desenvolvemos um método geral para compressão de malhas de dimensão arbitrária, no qual o conhecimento de propriedades geométricas e topológicas é usado explicitamente na codificação (ver Figura 10). A continuação dessa pesquisa envolve a aplicação do método em contextos específicos de modelagem.

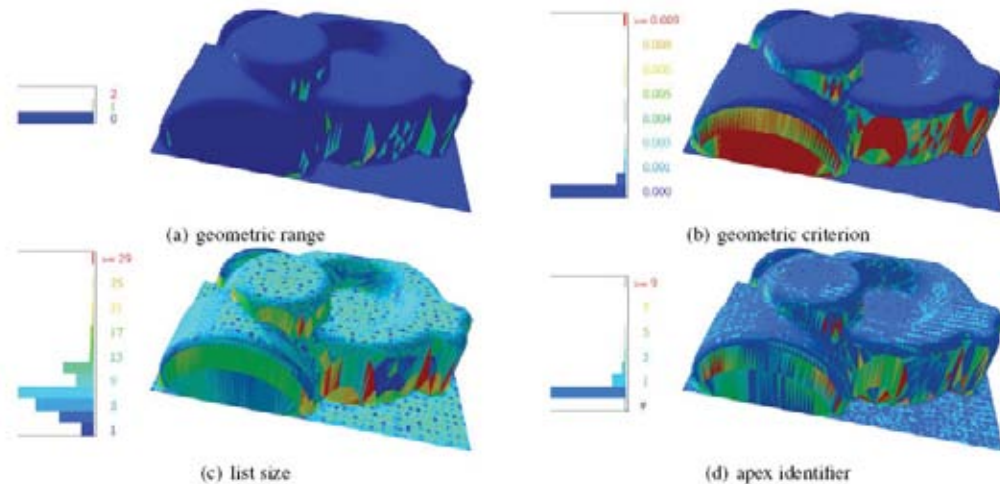


Figura 13 - Compressão de modelos geométricos pelo método GEncode.

modelagem com geodésicas

Curvas são elementos básicos para a modelagem geométrica. Elas desempenham um papel instrumental tanto na estruturação de modelos, quanto em aplicações de análise e simulação. Para utilizar curvas em algoritmos computacionais é necessário calcular versões discretas com boas propriedades.

Curvas geodésicas constituem a opção natural para a modelagem geométrica em superfícies. Elas desempenham um papel instrumental tanto na estruturação de modelos, quanto em aplicações de análise e simulação.

geodésicas discretas

Para utilizar geodésicas em algoritmos computacionais é necessário calcular versões discretas de curvas geodésicas que preservem suas propriedades contínuas. O ponto de partida de nossas pesquisas nessa área foi o desenvolvimento de um método incremental para a construção de caminhos geodésicos em malhas de triângulos baseado em funções de distância sobre variedades combinatórias e na teoria de geodésicas discretas. Esse método parte de uma aproximação inicial sobre as arestas da malha que é iterativamente modificada para minimizar seu comprimento total (ver Figura 14).

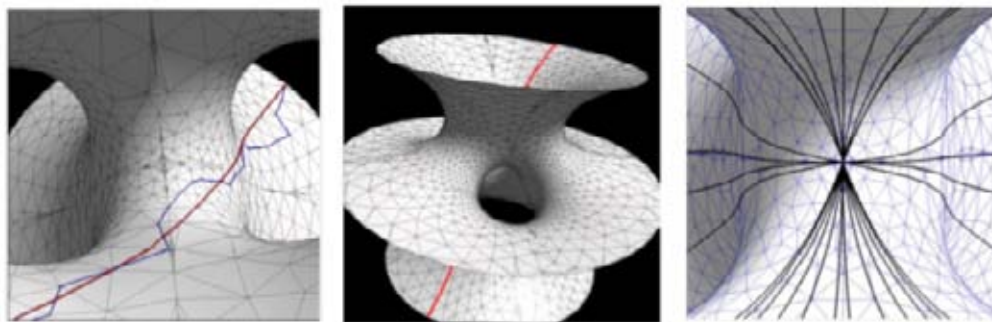


Figura 14 - Geodésicas Discretas em variedades combinatórias (superfície de Costa).

curvas de subdivisão

Uma das aplicações de geodésicas em modelagem é a geração de curvas de subdivisão sobre malhas poligonais. Com base no método incremental de construção de geodésicas desenvolvemos algoritmos para construção de curvas de subdivisão formadas pelo refinamento de segmentos geodésicos definidos por um polígono de controle. Nesse contexto, estendemos os vários esquemas de subdivisão para variedades combinatórias. Por exemplo, a generalização do algoritmo de Casteljau permite construir curvas de Bézier sobre malhas poligonais (ver Figura 15).



Figura 15– Curvas de Bézier em malhas poligonais.

Essas curvas geodésicas de subdivisão podem ser usadas para diversas operações na definição de características, criação de regiões, segmentação, recorte e etc. A Figura 16 ilustra a operação de segmentação de malha com uma curva de subdivisão. Varias aplicações de modelagem interativa estão sendo desenvolvidas com essas ferramentas.

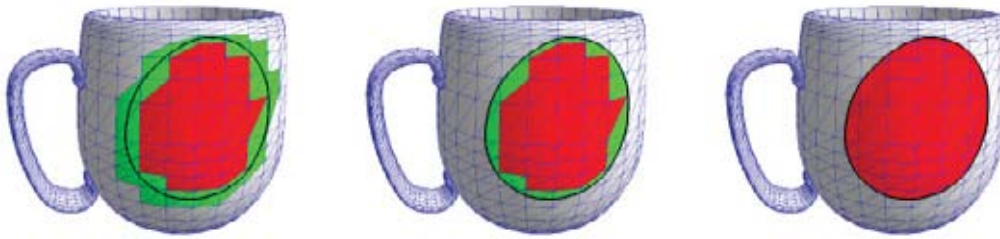


Figura 16 - Segmentação de Regiões usando Curvas de Subdivisão.

parametrização geodésica

A associação de métodos de segmentação com técnicas de construção de curvas geodésicas por subdivisão forma uma poderosa combinação. Em particular, essa combinação torna possível a construção de parametrizações geodésicas com estrutura hierárquica. Uma das grandes vantagens desse tipo de parametrização é que ela pode ser usada para análise de deformações por suas propriedades de invariância isométrica (Ver Figura 17).

Estamos investigando algoritmos para a construção de parametrizações geodésicas e estruturas de variedades baseado nos resultados dessas pesquisas.

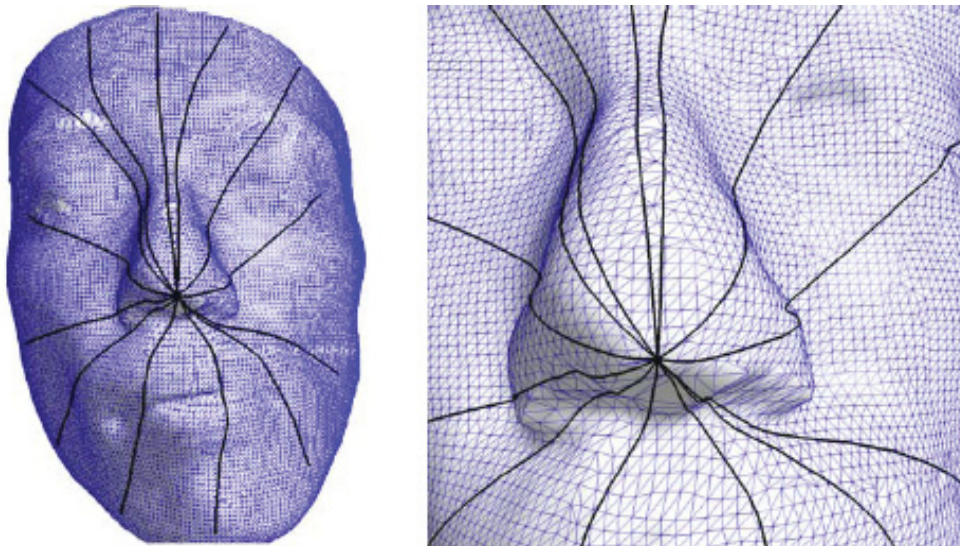


Figura 17 – Parametrizações Geodésicas.

malhas adaptadas

Malhas poligonais tem grande importância por constituírem uma das representações mais utilizadas na modelagem geométrica e em simulações numéricas. Assim, existe uma demanda por métodos de geração de malhas de triângulos com boas propriedades. Elas devem aproximar a fielmente a geometria da superfície com um número mínimo de polígonos tendo boa razão de aspecto.

Além disso, as estruturas de malhas formam o domínio computacional para os diversos algoritmos de processamento geométrico em modelagem e computação gráfica. Conseqüentemente, para que esses algoritmos sejam eficientes e produzam resultados satisfatórios é desejável que as malhas forneçam uma estruturação adaptada do domínio. Os critérios de adaptação em geral dependem de características do modelo e do processamento geométrico a ser realizado.

Nossas pesquisas sobre estruturas de malhas adaptadas tem sido motivadas por aplicações em simulação, animação e análise de formas. Para isso, investigamos algoritmos adaptativos de construção de malhas, representação de malhas dinâmicas para modelos deformáveis, métodos de segmentação de superfícies em partes e decomposição de dados volumétricos em regiões.

triangulação por avanço de frentes

Um método eficaz para a geração de malhas emprega o algoritmo de triangulação por avanço de frentes. Essa estratégia constrói a malha a partir do crescimento de fronteiras que permitem captar a topologia da superfície ao mesmo tempo que se adaptam à sua geometria (ver Figura 18). Desenvolvemos uma metodologia geral para triangulação por avanço de frente que combina o uso de funções de distância, curvas geodésicas e a codificação por compressão, resultados esses decorrentes de pesquisas correlatas do Laboratório VISGRAF.

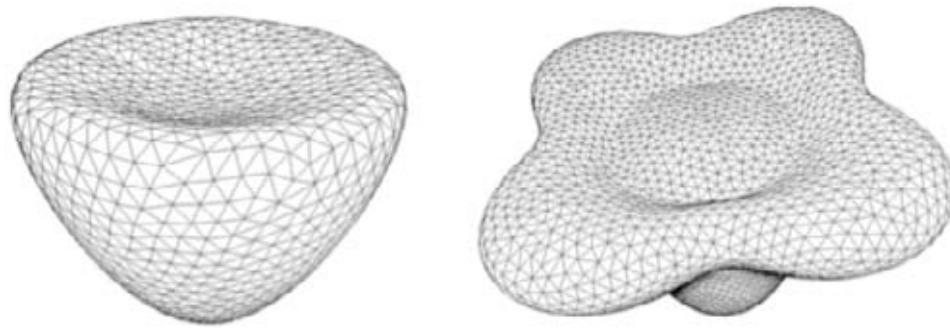


Figura 18 - Triangulação uniforme de variedades homeomorfas à esfera.

malhas para modelos deformáveis

Modelos deformáveis aparecem em um grande numero de aplicações de simulação física e animação. Nessas aplicações a geometria das superfícies varia com o tempo e, portanto, métodos de adaptação convencionais para modelos estáticos não se aplicam. Para resolver efetivamente o problema se faz necessário métodos de análise conjunta nas dimensões espacial e temporal. Desenvolvemos novas representações de malhas dinâmicas adaptadas para superfícies deformáveis usando estruturas semi-regulares do tipo 4-8. Essa formulação permite equacionar o problema para superfícies genéricas independente do processo de simulação tendo como vantagem uma maior aplicabilidade e facilidade de implementação.

A Figura 19 mostra o processo de adaptação da malha dinâmica.

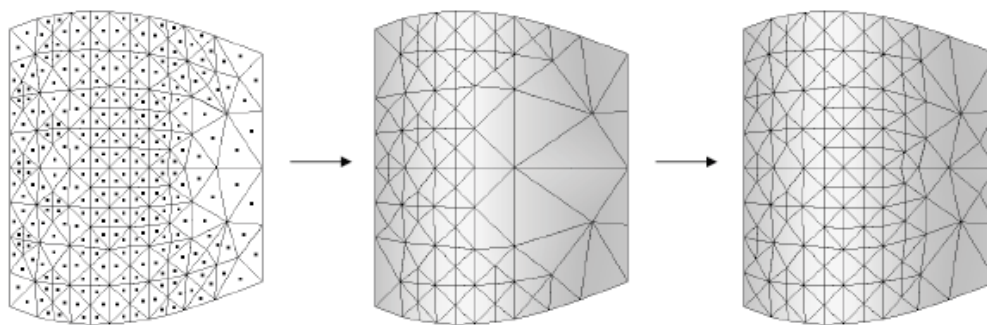


Figura 19 – Adaptação da Malha.

A Figura 20 mostra a malha dinâmica adaptada a um modelo deformável.

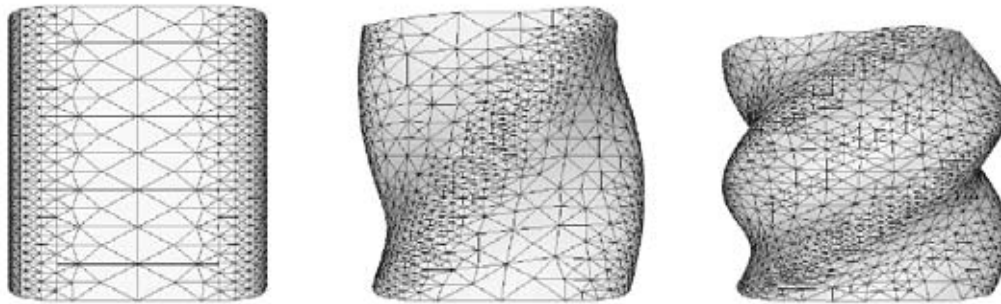


Figura 20 – Malha em Modelo Deformável.

reconstrução tridimensional e fotografia 3D

A reconstrução tridimensional consiste num conjunto de técnicas para a aquisição de modelos de objetos reais 3D a partir de imagens. Tais modelos incluem a geometria bem como atributos visuais dos objetos. Essa área explora a interseção da Visão Computacional com a Modelagem Geométrica e a Computação Gráfica para atingir seus objetivos. A Fotografia 3D vem se configurando como uma área de pesquisa importante devido a avanços tecnológicos para captação de dados e suas inúmeras aplicações.

As pesquisas do Laboratório VISGRAF em Fotografia 3D se iniciaram em 2002 e tem como objetivo estratégico, além do desenvolvimento de novas técnicas na área, obter dados de objetos reais para análise e processamento.

Nossas pesquisas na área incluem o desenvolvimento de metodologias para captura e reconstrução 3D usando estéreo ativo com luz estruturada, bem como algoritmos de varredura do espaço.

Estamos trabalhando também nas seguintes linhas de pesquisa: a representação de modelos usando atlas projetivos; métodos para alinhamento automático de geometria; e técnicas de análise para aumentar a resolução geométrica dos modelos.

fotografia 3D

Avanços recentes, tanto na indústria de equipamentos gráficos, quanto no estado da arte em modelagem geométrica, tornaram possível a digitalização tridimensional de objetos reais com alto grau de fidelidade. Essa forma de aquisição de dados gráficos vem sendo chamada de Fotografia 3D. O processo envolve duas etapas: aquisição de dados e construção do modelo. Na etapa de aquisição de dados é feita a captura das informações geométricas e fotométricas, através de uma câmera especial. Na etapa de construção do modelo, essas informações são processadas para gerar um modelo digital do objeto.

A Fotografia 3D tem grande importância para a Computação Gráfica devido às suas inúmeras aplicações práticas. Ela permite recriar no computador o modelo de um objeto 3D real – uma possibilidade que abre novas perspectivas nos vários campos de aplicação onde objetos do mundo físico são utilizados, tais como Engenharia (sistemas de CAD/CAM), Entretenimento (efeitos especiais), Internet (comércio eletrônico), Educação (sistemas de multimídia), e Arte (museus virtuais).

Uma aplicação especialmente interessante da Fotografia 3D é a digitalização de esculturas que, por suas características, reúne grandes desafios técnicos e um alto potencial de utilização. Esculturas digitais têm um valor intrínseco tanto do ponto de vista cultural quanto comercial.

A digitalização de esculturas tem sido motivo de intensas pesquisas recentes. Em particular, dois projetos foram iniciados nos últimos anos: o Digital Michelangelo e o Projeto Pietà. O projeto Digital Michelangelo desenvolvido pela Stanford University digitalizou várias estátuas do artista, dentre as quais o famoso Davi. O projeto Pietà está conduzido pelo IBM T.J. Watson Research Center, construiu um modelo da Pietà florentina de Michelangelo para estudos pelo historiador Jack Wasserman.

Desenvolvemos uma plataforma de hardware e software para modelagem de objetos tridimensionais por Fotografia 3D. Essa plataforma abrange todas as fases do processo de modelagem e combina um subsistema para a aquisição de objetos 3D com um subsistema para o processamento de modelos geométricos tridimensionais.

Realizamos também experimentos com uma aplicação concreta: a modelagem de artefatos 3D. A digitalização desses objetos permitiu testar a plataforma de modelagem e forneceu elementos para demonstrar suas diversas possibilidades de aplicação.

Para criar a nossa plataforma de modelagem para fotografia 3D optamos por utilizar técnicas de captura de geometria baseadas em imagens, por terem uma melhor relação de custo-benefício e permitirem capturar propriedades fotométricas de forma integrada no mesmo equipamento. Projetamos três sistemas de captura que utilizam princípios diferentes e complementares. Essa decisão permite comparar tecnologias de captura com características diferentes para avaliar sua efetividade em aplicações específicas. Vale ressaltar que cada sistema consiste de uma configuração que inclui equipamentos e programas distintos.

Os três sistemas desenvolvidos são: 1) sistema de captura por luz estruturada; 2) sistema de captura por silhueta e 3) sistema de captura por foto-consistência. O primeiro emprega técnicas de estéreo ativo e os dois últimos, técnicas de estéreo passivo.

Realizamos testes com esses sistemas e comparações entre os resultados produzidos por cada sistema. Desenvolvemos também uma metodologia para a digitalização de objetos tridimensionais reais.

Outra linha de pesquisa é a integração de dados fotométricos (textura) nos modelos geométricos digitalizados, o que resulta em um maior realismo visual.

Para demonstrar o potencial da nossa plataforma digitalizamos uma coleção de obras de arte popular brasileira. Esse trabalho contou com uma equipe multidisciplinar e com especialistas do Museu do Folclore. O material gerado nesse experimento tem sido utilizado na produção de vários tipos de bens culturais. Alguns dos produtos que foram produzidos são:

- Exposições Virtuais: modelos simplificados das estátuas digitais são visualizados e manipulados no computador e utilizados em sites na Internet.
- CD-ROM Multimídia: imagens e modelos das estátuas digitais integram um livro eletrônico de conteúdo didático.

- Réplicas em Miniatura: os modelos digitais servem como matriz para a fabricação de estátuas em tamanho reduzido.

Na Figura 21, abaixo mostramos o exemplo de um vaso de cerâmica digitalizado com o sistema de fotografia 3D.



Figura 21 – Reconstrução de vaso por fotografia 3D.

alinhamento automático

O processo de Fotografia 3D começa com a aquisição de imagens com informação de profundidade (também chamadas de “range images” ou “depth images”). Essas imagens correspondem aos dados brutos capturados pelo equipamento de digitalização tridimensional e representam a parte da geometria do objeto segundo diferentes pontos de vista. Cada um desses retalhos da superfície está representado no sistema de coordenadas local da câmera e precisa ser integrado em um sistema de coordenadas global do objeto para permitir a reconstrução da superfície. Portanto, passo inicial para a reconstrução consiste no alinhamento e registro desses dados.

Para permitir a construção efetiva de modelos geométricos no contexto de aplicações é desejável o uso de métodos de alinhamento automático dos dados brutos. Estamos desenvolvendo uma metodologia para construção automática de modelos geométricos explorando de forma integrada o alinhamento local de retalhos com técnicas globais de reconstrução geométrica. O alinhamento é feito usando a análise da geometria local por descritores do tipo “spin image”

que permitem estabelecer correspondências entre pontos da superfície em diferentes retalhos e calcular o registro global com a superfície parcialmente reconstruída (Ver Figura 22).

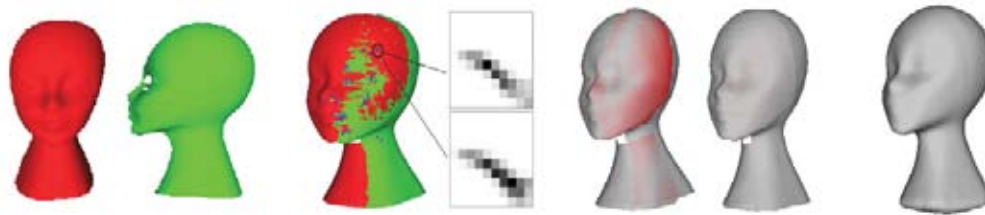


Figura 22 - Alinhamento automático: correspondência por spin images.

A Figura 23 mostra o registro automático do modelo do Stanford Bunny.

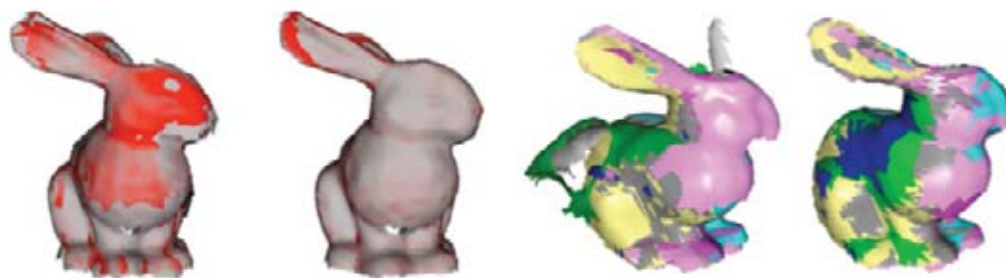


Figura 23 – Registro Automático de Retalhos.

atlas projetivo

Um dos problemas centrais em Fotografia 3D é a representação dos dados do modelo. Esses dados compreendem a geometria do objeto e outras propriedades da sua superfície, tais como atributos de textura e material. Nesse sentido, a estrutura de atlas projetivo se revela uma representação natural e eficaz, uma vez que permite explorar a parametrização natural da câmera. Estamos desenvolvendo métodos eficientes para a construção de atlas projetivos ótimos, os quais pretendemos utilizar em aplicações de visualização e edição dos modelos.

A Figura 23 ilustra o processo de construção de um atlas projetivo.

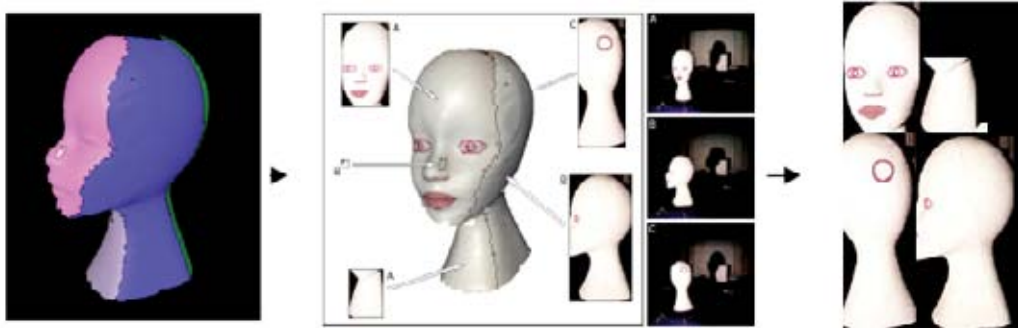


Figura 24 - Estrutura de Atlas Projetivo: segmentação; cartas locais e imagens; textura.

A Figura 24 mostra um atlas projetivo com textura.

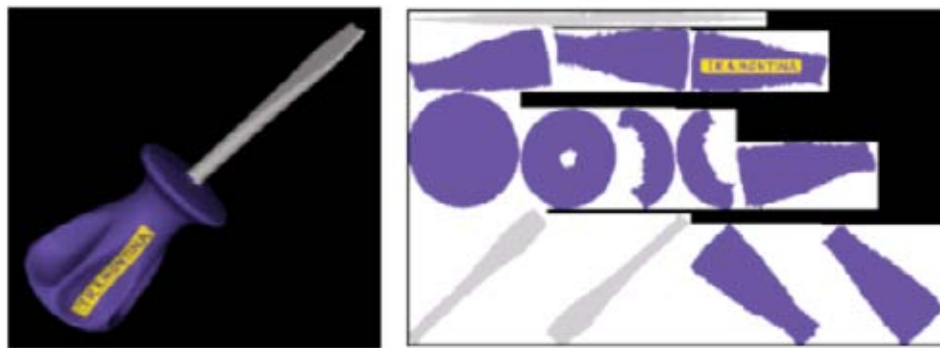


Figura 25 –Textura e Atlas Projetivo.

modelos em multi-resolução

Os objetos gráficos possuem características distintas em várias escalas. Por esse motivo se torna importante analisar os objetos em níveis diferentes de detalhe. Tal análise permite extrair informações relevantes para aplicações como compressão de dados, visualização progressiva, computação escalonada, etc. A análise em múltiplas escalas, em geral, é representada de forma discreta por estruturas que organizam os dados em níveis de detalhe para o processamento

em aplicações. Essas estruturas em multiresolução podem também ser usadas para construir malhas adaptadas com níveis de detalhe variável sobre o domínio.

A teoria clássica de espaços de escala trata principalmente de funções escalares no espaço Euclidiano. No caso de variedades arbitrárias é necessário estudar aspectos intrínsecos da análise de escala, bem como considerar estruturas de multiresolução do ponto de vista geométrico e topológico.

Estamos desenvolvendo pesquisas sobre novos métodos de representação em multiresolução usando estruturas simpliciais com controle da geometria e topologia. Esses métodos tem aplicações em modelagem, visualização e compressão.

difeomorfismos simpliciais

Decomposições de regiões do espaço ambiente por meio de estruturas simpliciais são bastante poderosas por possuírem boas propriedades matemáticas e computacionais. Em particular, decomposições simpliciais permitem subdivisões arbitrárias em resolução variável. Nosso trabalho nessa área explora as Multitriangulações Binárias que possuem uma estrutura semi-regular subjacente.

Usando essas estruturas estamos desenvolvendo métodos de compressão para isosuperfícies. Além disso, estamos estudando difeomorfismos simpliciais de modo a definir a geometria de superfícies curvas modeladas por deformações espaciais (ver Figura 26). Essas superfícies herdaram a estrutura de adaptação e resolução variável das multi-triangulações.

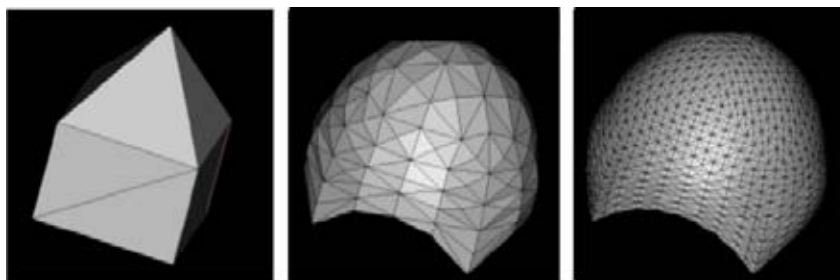


Figura 26 - Superfícies em multiresolução definidas por difeomorfismos simpliciais.

topologia sólida

Até recentemente, os trabalhos sobre estruturas de multiresolução abordavam principalmente os aspectos geométricos, sem considerar as mudanças na topologia. Nossas pesquisas atuais envolvem a definição de estruturas de multiresolução geométrica e topológica baseadas em operadores estelares e de alça [18]. Desse modo temos o controle completo de aproximações de objetos sólidos ndimensionais (ver Figura 13).

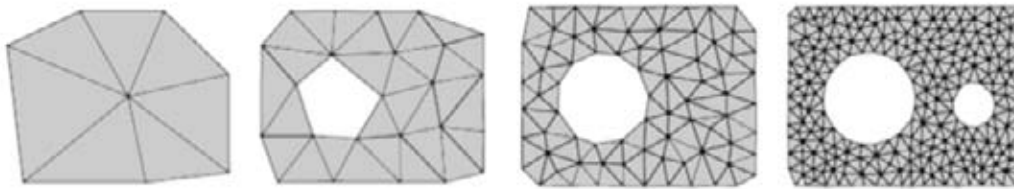


Figura 27 - Multiresolução geométrica e topológica de regiões do plano.

super-resolução geométrica

Os equipamentos de digitalização tridimensional tem limitações em termos do limite de resolução em que eles podem capturar detalhes da superfície de um objeto. Nesse sentido, métodos de análise dos dados podem ajudar a aumentar a precisão geométrica do processo de aquisição usando outras informações além da geometria pura e simples proveniente da aquisição direta.

Um método bastante eficaz é o uso de técnicas de estéreo fotométrico que possibilitam estimar as normais da superfície pelo controle da iluminação. Desta forma, uma geometria mais precisa pode ser reconstruída integrando o campo de normais.

Outro método que consideramos promissor é baseado na extrapolação da geometria pela análise de detalhes característicos. O princípio desse método envolve a estimação de detalhes locais da geometria em vários pontos do objeto. A estimação pode ser feita na medida em que mais dados do objeto são adquiridos ou usando conhecimento prévio da classe de modelos a qual o objeto pertence. Uma vez estimados os detalhes a extrapolação pode explorar técnicas

de multiresolução com wavelets e a reconstrução pode ser feita por integração de diferenças dos campos de normais em cada nível de resolução (Ver Figura 3).

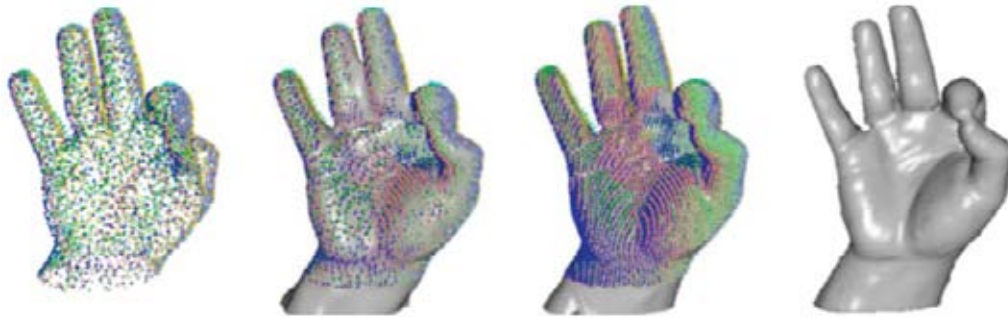


Figura 28 – Reconstrução em Multiresolução.

síntese de imagens

A síntese de imagens é um dos processos fundamentais da Computação Gráfica. Ela não somente se define como uma área de pesquisa independente, com problemas e motivações específicas, mas também se configura como parte integrante de outras áreas, as quais usam técnicas de visualização para interação com o usuário e observação de dados.

Dentre os modalidades de visualização, podemos destacar: o foto-realismo e a ilustração. O visualização foto-realista busca simular o processo físico da câmera fotográfica e a interação da iluminação com materiais dos objetos de uma cena tridimensional. Já a visualização expressiva leva em conta aspectos da percepção humana para produzir uma representação visual mais efetiva do ponto de vista cognitivo.

Com a evolução das técnicas de visualização e dos equipamentos gráficos está se tornando possível visualizar cenas complexas com alto grau de realismo em tempo-real. Dentre os nossos trabalhos recentes nesse sentido podemos citar a visualização de ondas, síntese de textura para a aparência visual de superfícies e a visualização interativa de modelos CSG.

Na área de visualização para realidade virtual, desenvolvemos um sistema para a visualização em tempo-real de panoramas digitais. As técnicas investigadas estão na fronteira do estado da arte em visualização baseada em imagens. Elas envolvem a representação de panoramas em multiresolução e mecanismos preditivos de "cache". Essa pesquisa tem aplicações em várias áreas da Computação Gráfica, tais como, Simulação Visual e Sistemas de Informação Geográfica (GIS).

Na área de síntese e mapeamento de texturas, temos um projeto de pesquisa para o mapeamento de texturas bidimensionais em superfícies definidas implicitamente. Este projeto conta com diversas publicações em congressos no Brasil e no exterior. A boa repercussão dos resultados obtidos motivaram pesquisadores de outras instituições a utilizarem essas técnicas. Em decorrência

disso, realizamos um programa de pesquisas sobre visualização de superfícies implícitas em conjunto com o grupo da University of Calgary, Canada.

Nossas pesquisas na área de visualização também se englobam a simulação visual usando modelos físicos e explorando os recursos dos processadores gráficos – GPU (Graphics Processing Unit).

Nessa seção apresentamos em mais detalhes alguns projetos nas as seguintes linhas de pesquisa em visualização.

visualização de ondas

Um dos grandes desafios para a visualização de cenários naturais é a simulação dos efeitos de iluminação na água. Particular interesse se concentra na superfície de oceanos, lagos e rios, que compõem a paisagem da maioria das cenas externas do nosso ambiente. A iluminação da superfície de líquidos, como a água, deve levar em conta os fenômenos de reflexão, refração e dispersão. Além disso, nesse caso a simulação se torna ainda mais complexa, pois a geometria da superfície varia com o tempo. Para abordar esse problema desenvolvemos algoritmos de iluminação realista usando texturas dinâmicas e processamento na GPU. Nosso modelo de iluminação simula corretamente os efeitos de Fresnel para reflexão e refração. Essa pesquisa foi utilizada em aplicações de jogos por computador (ver Figura 29). Como trabalhos futuros estamos interessados na visualização de fluidos.



Figura 29 - Visualização foto-realista de ondas em tempo-real.

visualização de modelos csg

A visualização de modelos CSG (Constructive Solid Geometry), em geral, é feita usando o algoritmo de traçado de raios devido a dificuldade de se rasterizar diretamente a superfície resultante das operações CSG de união, interseção, e subtração. Por isso, até recentemente, não era possível a visualização interativa de modelos CSG – fato esse que dificultava aplicações de modelagem CSG, muito usadas na indústria.

Com as novas arquiteturas de placas gráficas se tornou possível calcular o traçado de raios com primitivos implícitos na GPU, abrindo a possibilidade da visualização de modelos complexos em tempo real. Entretanto, no caso de modelos CSG restava o problema de avaliar localmente a expressão CSG com primitivos implícitos.

Em nossa pesquisa, resolvemos esse problema através de uma subdivisão espacial adaptativa cujas células contem pedaços da superfície suficientemente simples para serem visualizados por traçado de raios na GPU. Com isso, nosso algoritmo é capaz de processar modelos CSG formados por milhões de primitivos (ver Figura 30). Atualmente estamos adaptando esses métodos também para a visualização com pontos.

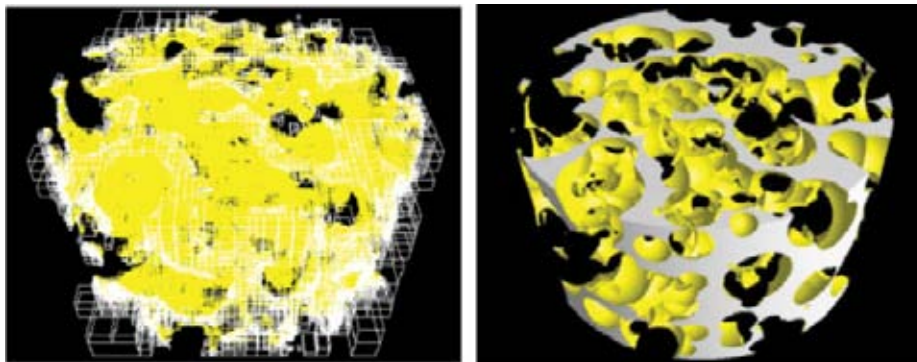


Figura 30 - Visualização de modelos CSG usando GPU.

síntese de textura em superfícies

Para visualizar de modo realista objetos naturais, animais e personagens virtuais se faz necessário, além da sua geometria e de estruturas articuladas como o esqueleto, uma descrição dos materiais e suas propriedades de reflexão. Uma parte significativa desses objetos são constituídos por materiais heterogêneos que formam padrões na superfície do modelo. Em geral, esses padrões resultam de processos de evolução biológica e são difíceis de reproduzir. Uma abordagem efetiva para gerar padrões consiste em utilizar algoritmos de síntese de textura sobre superfícies. Porém, os métodos tradicionais de síntese de textura se limitam a padrões regulares que não são apropriados para texturas naturais. Nossas pesquisas nessa área levaram ao desenvolvimento de algoritmos de síntese de texturas que variam progressivamente sobre a superfície dos objetos. Essas texturas são geradas a partir de exemplos e tem propriedades estatísticas quasi-estacionárias (ver Figura 31). Atualmente, estamos estendendo esses algoritmos para sintetizar texturas geométricas.



Figura 31 - Geração de texturas em superfícies.

visualização progressiva por pontos

Modelos de objetos construídos pelo processo de Fotografia 3D, em geral, tem um elevado nível de detalhe e portanto são constituídos por um grande numero de pontos. Além disso, esses modelos possuem outros atributos, tais como textura e material da superfície.

A visualização de modelos de Fotografia 3D pode ser realizada de maneira eficiente se for explorada uma representação por pontos em multiresolução. Essa representação permite a interatividade pelo uso de técnicas de exibição progressiva e também a visualização remota por transmissão "streaming".

Para visualizar modelos de superfícies tridimensionais com pontos desenvolvemos um método que explora a representação de atlas projetivo e níveis de detalhe. O método parte da representação de atlas projetivo e constrói para cada carta do atlas uma decomposição adaptativa em multiresolução por pontos. Essa estrutura permite grande compressão de dados e visualização eficiente (Ver Figura 32).



Figura 32 - Visualização Progressiva em 4 Níveis.

animação

Animação é a área de controle de movimento. Ela apresenta grande importância nas diversas aplicações da computação gráfica, onde o processo varia ao longo do tempo. Essa área é tradicionalmente conhecida como “animação por computador”. Existem duas técnicas básicas de animação: animação por quadros-chave e animação procedural.

A área de animação é extremamente vasta e diversificada e abrange desde o movimento de corpos rígidos até a dinâmica de fluidos. Dentre as várias técnicas utilizadas se incluem a animação por interpolação, procedural, simulação física e comportamental.

Nossas pesquisas em animação se concentram em animação procedural, movimento capturado, em animação comportamental de personagens virtuais e também em novos métodos de visualização para animação. Mais especificamente estamos investigando expressões faciais e movimento dos olhos de humanos virtuais, além de técnicas de renderização para cartoons animados. Na área de Movimento Capturado estudamos o controle do movimento de modelos articulados.

Alem disso, na área de animação temos as seguintes linhas de pesquisa:

- Animação de objetos articulados;
- Análise, representação e processamento de movimentos;
- Deformação e metamorfose de objetos gráficos;
- Animação usando métodos da física;
- Detecção de colisão.

movimento capturado

Uma técnica que vem ganhando espaço nas aplicações em tempos recentes, é a técnica de captura de movimento (MC). Essa técnica consiste em utilizar sensores para fazer uma amostragem do movimento de um objeto em movimento.

A técnica de MC foi utilizada até hoje apenas para reproduzir movimentos tal qual foram capturados ou então para mapear movimentos pré-definidos do animador (por exemplo, das mãos), em movimentos de um objeto sintético. Desta forma, só é realmente utilizada a expressividade do ator, pois não há nenhum tipo de processamento dos dados capturados pelo computador. Portanto, o potencial da técnica de MC não têm sido aproveitados de uma maneira mais abrangente para a geração de animações, possivelmente combinada com técnicas convencionais, justamente pelas limitações impostas por estas restrições de uso.

As aplicações do projeto são as mais diversas. Dentre elas podemos destacar o uso de um sistema de captura, análise e controle de movimento para a produção de animações por computador. Essa é uma área extremamente rica em problemas interessantes e na qual existe um grande número de empresas fazendo grandes investimentos. As aplicações das técnicas dessa área abrangem desde a indústria do entretenimento, até aplicações de interesse na área médica e no esporte. Nesse último caso podemos citar o uso de métodos de captura de movimento para correção de movimento dos atletas.

Na Figura 33 abaixo mostramos uma seqüência de poses capturadas de um ator andando e visualizadas com o programa experimental que desenvolvemos.

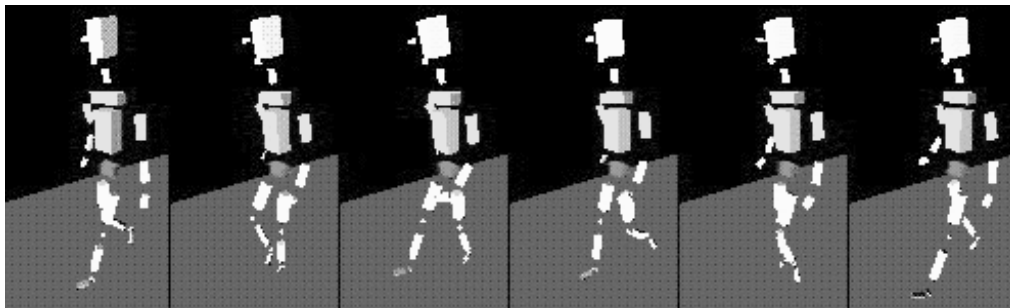


Figura 33 – Movimento capturado.

Desenvolvemos um sistema de animação específico para movimento capturado de objetos articulados. O sistema trabalha com estruturas articuladas genéricas e implementa diversas operações com movimentos capturados. As classes de operações básicas do sistema são:

- Filtragem;
- Warping;
- Concatenação; e
- Combinação.

Além disso, a concepção da interface com o usuário permite uma interação natural voltada para o problema. Investigamos os seguintes tópicos relacionados com animação por movimento capturado: i) Análise do movimento - visando à extração de características inerentes a cada tipo de movimento; ii) Análise com posterior modificação - possibilitando a modificação baseada em características extraídas previamente.

Com base nessa investigação, desenvolvemos um novo sistema para animação por movimento capturado, incorporando modelos determinísticos e estocásticos.

animação baseada em física

Uma das aplicações mais tradicionais da Computação Gráfica é a geração de seqüências de animação. As formas mais básicas de obter tais seqüências são aquelas na qual o animador determina, com auxílio de sua intuição, a posição de cada objeto em cada quadro ou estabelece as leis cinemáticas do movimento desejado, com as posições dos objetos em cada cena sendo calculadas a partir de tais leis.

Uma alternativa mais complexa consiste em estudar o movimento dos corpos a partir dos agentes (forças e torques) causadores deste movimento. Nesta abordagem, são estabelecidas e resolvidas (em geral, numericamente) as

equações diferenciais que descrevem a relação entre tais agentes e as posições dos corpos. A situação mais fácil é aquela em que o problema resultante é um problema de valor inicial. Neste caso, o movimento dos corpos pode ser obtido através da aplicação das Leis de Newton. Os principais tópicos de pesquisa neste tipo de problema dizem respeito à detecção e tratamento das colisões e contatos dos corpos envolvidos.

Problemas mais difíceis resultam quando se deseja determinar que forças são necessárias para a geração de um determinado movimento. Essas técnicas são importantes na área de animação comportamental ("*behaviorial animation*"). Neste caso, tem-se um problema de controle, para cuja solução são tipicamente utilizados métodos variacionais. O uso de redes neurais tem sido também proposto para alguns problemas desta classe.

Um outro aspecto de Modelagem Baseada em Física, também explorado no VISGRAF, é a utilização de modelos físicos não para a descrição realista de um movimento, mas como ferramenta de Modelagem Geométrica, na amostragem de pontos pertencentes a curvas ou superfícies definidas implicitamente. Para tal, considera-se que as equações implícitas de uma curva ou superfície determinam um potencial, de modo que partículas sujeitas à ação deste potencial convirjam para posições pertencentes à curva ou superfície em questão.

Na área de modelagem realista do movimento procurou-se fazer uma revisão aprofundada da bibliografia na simulação dinâmica de corpos rígidos, com ênfase na detecção e tratamento de colisões. Investigamos também o uso de modelos em multiresolução em Modelagem Física. A idéia central da pesquisa é utilizar tais modelos para simular interações complexas entre objetos, incluindo efeitos de atrito e rugosidade.

personagens virtuais

A modelagem e animação de personagens virtuais apresenta inúmeros desafios, incluindo a análise de face, o movimento dos personagens entre outros problemas.

análise de faces

A análise de expressões faciais tem inúmeras aplicações em animação, especialmente devido ao significado da face na comunicação humana. Nesse contexto, a análise de expressões pode ser usada para inferência, aprendizado e síntese da animação facial de personagens virtuais.

Desenvolvemos uma metodologia para a análise de expressões a partir de vídeos e modelos deformáveis 3D. O nosso sistema engloba as etapas de captura, aprendizagem, criação do banco de dados, edição e síntese de expressões. Os dados de expressões faciais são capturados usando vídeo 3D que permite construir modelos deformáveis da face (ver Figura 17). As expressões são representadas como uma variedade não-linear no espaço de deformações. Para edição e síntese essas deformações são combinadas de acordo com um modelo padrão normalizado.

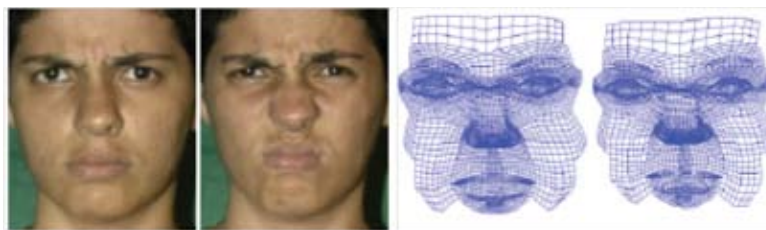


Figura 34 - Análise de expressões faciais a partir de vídeo 3D.

movimento de personagens virtuais

A expressividade de um personagem virtual se reflete em grande parte pelo movimento dos olhos. A direção do olhar indica o foco da atenção do personagem e suas interações com outros agentes e com a câmera. Dessa forma, o realismo da animação facial é determinado pela naturalidade do movimento dos olhos.

O movimento dos olhos pode ser dividido em dois componentes: movimento sacádico e atencional. O movimento sacádico é involuntário e corresponde à varredura do campo visual. O movimento atencional é voluntário e dirigido ao centro de interesse do personagem. Entretanto, esses dois movimentos são influenciados pelo estado emocional do agente.

Investigamos modelos de animação dos olhos de personagens que integram movimentos voluntários e involuntários sob influência das emoções. Para isso,

criamos um modelo estatístico do movimento sacádico que é correlacionado com o papel do personagem numa animação (por exemplo, se ele está falando ou ouvindo). Nossa pesquisa corrente envolve a avaliação do modelo e a produção de filmes e jogos por computador (ver Figura 35).



Figura 35 - Movimento expressivo de olhos em personagens virtuais.

animação cartoon

As técnicas tradicionais de animação se originam de desenhos bidimensionais feitos a mão livre, que depois são fotografados quadro-a-quadro por uma câmera de cinema. Esse tipo de animação também é chamado de animação “cartoon” ou animação 2D, a qual é baseada em um conjunto de técnicas diferentes da animação tridimensional. Com o advento da animação por computador, os animadores tradicionais passaram a dispor de ferramentas automáticas para a criação de animações. Esses sistemas de animação 2D implementam as várias etapas do processo que é constituído por: desenho dos contornos; interpolação de quadros chave e colorização. Dessas etapas, a colorização é a que demanda mais tempo do animador e portanto se beneficia da possibilidade de automatização.

Implementamos um sistema de animação 2D voltado para o animador tradicional. O sistema tem como entrada os desenhos de contorno dos personagens para todos os quadros da animação. Esses desenhos podem ser digitalizados ou feitos em um programa de pintura. O processamento consiste em determinar as regiões a serem colorizadas e aplicar técnicas de sombreado usando um campo de normais que é estimado a partir das contornos (ver Figura 19). Atualmente estamos desenvolvendo novas técnicas de sombreado NPR (não-foto realistas).



Figura 36 - Colorização para animação bidimensional.

realidade virtual

O objetivo da área de realidade virtual é criar ambientes sintéticos que possam ser navegados com imersibilidade. A imersibilidade depende de diversos fatores dentre os quais podemos mencionar: i) Dispositivos táteis de interface; ii) Realismo gráfico; iii) Processamento em tempo real.

Essas três metas são difíceis de atingir utilizando os métodos tradicionais de visualização baseados em modelos geométricos.

Por esse motivo, estamos investigando a técnica de visualização baseada em imagens (“image based rendering”) para obter imersibilidade em um sistema de panoramas virtuais.

Nessa área os interesses de pesquisa do Laboratório VISGRAF são:

- Deformação e metamorfose;
- Visualização de panoramas com imersibilidade;
- Cenografia virtual;
- Ensino à distância.

projeto visorama

O Visorama é um dispositivo para a visualização de imagens panorâmicas. Estas imagens podem ser naturais ou sintéticas. Imagens naturais são geradas a partir de fotografias, digitalizadas e processadas para formar uma única imagem panorâmica. Imagens sintéticas são geradas diretamente por um programa de síntese de imagens no formato panorâmico. Em ambos casos, tais imagens depois de codificadas e armazenadas no dispositivo, podem ser observadas em um visor estereoscópico. O visor possui uma base de suporte com uma unidade de controle que está ligada a um sistema de geração de imagens.

O projeto tem recebido a atenção da imprensa por suas inúmeras possibilidades de aplicação. O Visorama foi noticiado na revista Veja, na Veja Rio e em alguns jornais do Rio de Janeiro. Fomos convidados a mostrar o projeto no Primeiro Workshop sobre Image Based Rendering, realizado em Stanford, em Março de 1998. Além disso, o Visorama foi um dos destaques da II Mostra Petrobrás de Realidade Virtual, em 1999, da qual participamos com uma instalação e um workshop.

O projeto do Visorama inclui desenvolvimento de software e hardware específicos. O software se compõe de um conjunto de programas que serve para a produção e a exibição das obras do dispositivo Visorama.

Os programas de produção, são utilizados na fase de criação da obra e realizam as seguintes funções: auxiliar no processamento das imagens capturadas; fazer a montagem da imagem panorâmica a partir das imagens processadas; e possibilitar a autoria de rotas de navegação temporais e espaciais.

O programa de exibição interage de um lado com o usuário, recebendo seus comandos, e do outro com o computador, executando os procedimentos desejados. Esse programa realiza as seguintes funções: interface com o usuário; geração de imagem; e reprodução de áudio.

Construímos um protótipo do dispositivo Visorama e desenvolvemos o programa de exibição. Esse programa permite a visualização de panoramas virtuais em tempo real com alta qualidade gráfica.

Nesse projeto também investigamos os seguintes tópicos:

- Métodos para a construção e visualização de panoramas estereoscópicas.
- Mecanismos de transição entre panoramas (fusão, cortina, etc.)
- Esquemas de resolução múltipla para panoramas.
- Uso de som na exibição de panoramas.

Estamos considerando também a incorporação de projeção de 180 graus em telas curvas e com múltiplos projetores. Isso apresenta novos desafios na área de visão computacional.

A Figura 37 abaixo mostra a concepção do dispositivo Visorama com projeção 180 °.



Figura 37 – Visorama.

O projeto Visorama foi objeto de uma transferência de tecnologia para a indústria.

deformação e metamorfose

A deformação de um objeto gráfico ocorre quando transformações não-rígidas do espaço são aplicadas ao objeto alterando suas relações métricas intrínsecas. A metamorfose é uma família de deformações que transforma um objeto gráfico em outro.

A deformação e metamorfose de objetos gráficos encontra aplicações em diferentes áreas, dentre as quais podemos citar: desde a área de efeitos especiais na indústria de cinema e televisão; área de entretenimento; área de imagens médicas, e área de sistemas geográficos de informações. Na área médica, a deformação de objetos gráficos desempenha um papel importante no problema de alinhamento de objetos capturados em ocasiões distintas, ou por equipamentos distintos.

Pesquisas na área de deformação e metamorfose de objetos gráficos são desenvolvidas no Laboratório VISGRAF desde 1994. Diversos resultados foram obtidos nessa linha de pesquisa. Uma grande contribuição do VISGRAF na área consistiu em introduzir o conceito de um objeto gráfico de forma a ter uma visão unificada do problema de metamorfose entre objetos gráficos de dimensões diferentes (curvas, superfícies, imagens, dados volumétricos etc.).

Diversos livros e trabalhos de pesquisa foram publicados sobre o nosso trabalho nessa área. A Morgan-Kaufmann, prestigiosa editora na área de computação, publicou nos Estados Unidos o livro "Warping and Morphing of Graphical Objects" de autoria de Jonas Gomes, Luiz Velho, Lucia Darsa e Bruno Costa. Desenvolvemos um sistema completo para fazer deformação e metamorfose de objetos gráficos. Esse sistema acompanha o livro num CD-ROM multimídia contendo farto material sobre deformação e metamorfose.

O Laboratório mantém um site na internet sobre *warping and morphing*. O endereço desse site é <http://www.visgraf.impa.br/morph/>. Nesse site mantemos uma bibliografia on-line atualizada sobre a área.

Temos grande interesse em desenvolver técnicas para deformação de superfícies paramétricas do espaço (objetos gráficos bidimensionais parametrizados), e também para metamorfose de som (objetos gráficos unidimensionais).

visão computacional

O problema fundamental em Visão Computacional é o de recuperar modelos a partir de imagens. Diferentes versões deste problema básico são obtidas de acordo com o número e as condições de obtenção das imagens e do nível semântico do modelo a ser obtido (que pode variar desde a recuperação parcial de sua geometria até o reconhecimento de objetos complexos e de seus atributos).

As técnicas de visão computacional tem sido utilizadas recentemente em combinação com os processos de modelagem geométrica e visualização para criar várias aplicações. De fato, a integração dessas disciplinas configura novas áreas de pesquisa que estão sendo chamadas respectivamente de “modelagem baseada em imagens” (image-based modeling) e “visualização baseada em imagens” (image-based rendering).

Dentre as técnicas básicas de visão computacional que são empregadas para modelagem e visualização baseadas em imagens destacam-se os métodos para calibração de câmera e estruturação 3D a partir de vídeo. Esses métodos são fundamentados em conceitos da geometria projetiva e relacionam objetos tridimensionais do mundo real com suas projeções bidimensionais no plano da imagem de uma câmera. Por isso, eles servem tanto para a reconstrução 3D quanto para a re-projeção usando de imagens capturadas.

Uma classe de problemas de visão computacional que tem merecido atenção no Laboratório VISGRAF se refere à recuperação de informações relativas à câmera a partir de imagens. Tal passo é fundamental tanto para a extração de modelos tridimensionais dessas imagens quanto para a geração de elementos sintéticos (cenários virtuais, por exemplo). Esta técnica foi utilizada para gerar cenas sintéticas para jogos de futebol a partir de imagens.

Nossas pesquisas em visão computacional tem dado uma grande ênfase no estudo da geometria projetiva e seu uso em métodos de calibração de câmera e vídeo. Além disso, exploramos algoritmos de otimização para estimar os parâmetros associados aos modelos projetivos de câmera, bem como para a reconstrução 3D associada a estruturação por movimento e múltiplas vistas.

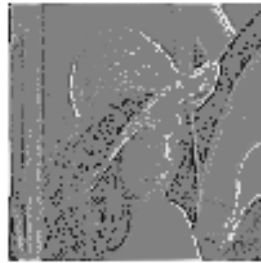
espaços de escala

O uso de métodos de regularização propiciados pelos espaços de escala propiciam a utilização de ferramentas da geometria diferencial e topologia diferencial no processamento e análise de imagens. Diversos filtros não-lineares baseados em operadores da geometria diferencial podem ser definidos. Alguns desses filtros se relacionam com propriedades da visão humana e, apesar da não-linearidade, permitem reconstrução exata. Esses filtros podem ser utilizados para compressão de sinais e para análise de imagens ou seqüências de imagens (vídeo). A Figura 38 ilustra o processo. As figuras (b), (c) e (d) abaixo mostram três filtragens não-lineares da imagem em (a). Esses operadores utilizam a curvatura gaussiana e média da superfície de Monge definida pela imagem. Na figura (e) mostramos a imagem reconstruída a partir da imagem (d).

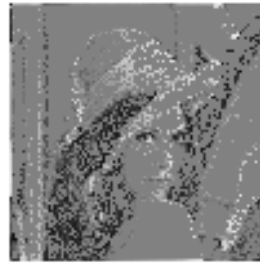
Por outro lado, técnicas da teoria de singularidades de aplicações diferenciáveis (em particular da Teoria de Morse) fornecem informações relevantes para entender a estrutura de imagens ou outros objetos gráficos.



(a) Original



(b) 1D



(c) 2D



(d) 1D + 2D



(e) Reconstruction

Figura 38 – Filtragem e Espaços de Escala.

calibração

Os métodos de calibração visam recuperar os parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmera a partir de imagens de uma cena capturadas pela câmera. Essas imagens podem conter padrões conhecidos ou não.

calibração de câmera

Com a finalidade de dar subsídio a nossas pesquisas sobre métodos de calibração desenvolvemos uma plataforma de software para a prototipagem de sistemas de calibração de câmeras e outros dispositivos tais como projetores. Essa plataforma usa uma arquitetura do tipo "data flow" e permite construir sistemas de calibração através de uma interface gráfica interativa onde módulos de processamento são combinados conectando suas entradas e saídas de dados (ver Figura 39). Com esse sistema realizamos diversos experimentos de calibração de câmeras e projetores para serem utilizados em aplicações de visão computacional.



Figura 39 - Sistema de calibração de câmeras e projetores.

calibração de vídeo e estrutura por movimento

Uma seqüência de vídeo contém informações suficientes para a estimação dos parâmetros da câmera e de pontos da cena. Este problema é conhecido em visão computacional como auto-calibração e estruturação por movimento. Com as informações provenientes dessa calibração se torna possível inserir objetos

sintéticos em cenas reais. Dentre as aplicações principais da calibração de vídeo podemos citar a Realidade Aumentada e Efeitos Especiais em cinema.

Desenvolvemos um sistema robusto para calibração de vídeo com algoritmos de visão computacional e otimização. O sistema identifica pontos característicos da cena, os quais são rastreados ao longo do vídeo estabelecendo correspondências entre posições diferentes da câmera. Dessas correspondências são estimados os parâmetros extrínsecos da câmera. Atualmente estamos usando esse sistema em experimentos de realidade aumentada (ver Figura 40).



Figura 40 - Calibração de vídeo para realidade aumentada.

vídeo tridimensional e de quarta geração

Imagens de vídeo contém uma grande quantidade de informações estruturadas, que podem ser utilizadas para diversas finalidades. Entre elas, a análise e recuperação de dados tridimensionais, bem como a identificação de objetos numa cena.

vídeo tridimensional

Algoritmos de visão estereoscópica permitem reconstruir a geometria de uma cena 3D usando duas câmeras previamente calibradas. Os métodos mais efetivos para esse fim empregam o princípio do estéreo ativo, no qual uma das câmeras é substituída por um projetor que ilumina a cena com um padrão conhecido.

Desenvolvemos um sistema de vídeo tridimensional baseado em estéreo ativo e um conjunto de câmera-projetor sincronizados. Esse sistema captura imagens

com informações de cor e profundidade numa taxa de 30 quadros por segundo. Atualmente estamos usando o sistema de vídeo tridimensional para reconstrução e análise de cenas 3D (ver Figura 41). Entre outras pesquisas, implementamos métodos de rastreamento de componentes conexas os quais formam a base para a segmentação e reconhecimento de objetos.



Figura 41 - Captura e análise de vídeo tridimensional.

vídeo de quarta geração

O vídeo digital passou por diversas etapas no seu desenvolvimento. A primeira geração focalizou no problema da conversão analógico-digital. O vídeo era, então, capturado em estado bruto e com baixa resolução. A segunda geração se caracterizou pelo estabelecimento dos métodos de compressão, que possibilitaram o armazenamento e processamento de forma eficiente – viabilizando, entre outras coisas, as aplicações de edição não-linear. A terceira geração definiu a padronização dos formatos de vídeo digital, tornando possível a montagem dos canais de distribuição e abrindo a perspectiva de transição da televisão analógica para a TV digital. Esse é o estágio atual da tecnologia. O futuro aponta para a quarta geração do vídeo digital, na qual os grandes desafios envolvem a estruturação em alto nível da informação visual, isto é: o vídeo baseado em objetos.

Nossa pesquisa nessa área investiga métodos matemáticos e técnicas de visão computacional para projetar sistemas de vídeo digital de quarta geração. O objeto de nosso estudo é o vídeo tridimensional, que consiste numa seqüência de imagens em movimento, dada pela função $f(x, y, t) = \{(r, g, b), z\}$, a qual para cada ponto (x, y) do quadro e para cada instante de tempo t , retorna propriedades

fotométricas e geométricas da cena, isto é a cor, (r, g, b), e a distância, z, do objeto focalizado. As informações contidas no vídeo 3D facilitam a extração da estrutura existente na cena, pela segmentação de objetos e separação de texturas e superfícies.

A Figura 42 abaixo mostra a imagem capturada pelo sistema de vídeo 3D, e a reconstrução da cena tridimensional correspondente. Os dados são atualizados na taxa de 30 quadros por segundo.

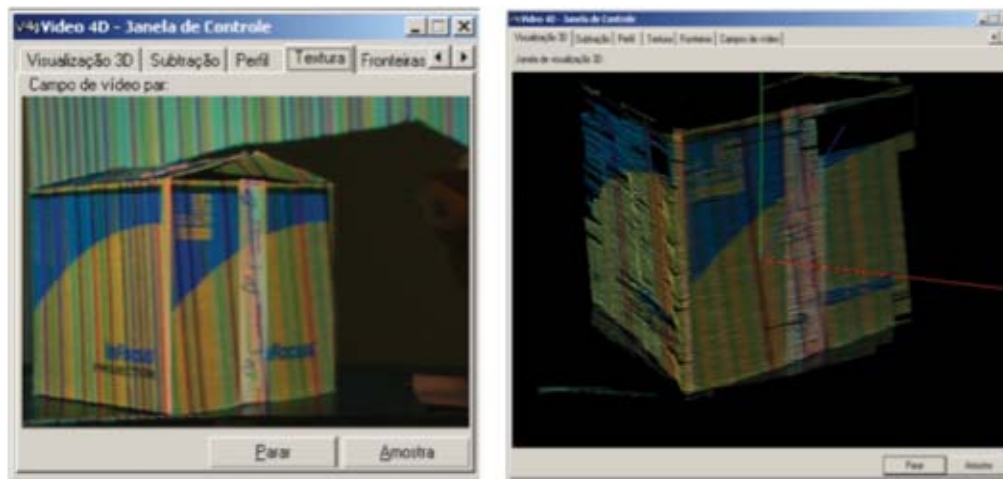


Figura 42 – Vídeio de 4a geração.

análise de modelos dinâmicos

Os objetos em uma cena 3D variam com o tempo e podem ser deformáveis. Para trabalhar com esses modelos precisamos de métodos de captura e análise adequados. Essa linha de pesquisa estende naturalmente os nossos resultados em Vídeio e Fotografia 3D.

Técnicas de Fotografia 3D permitem reconstruir a geometria de uma cena 3D usando duas câmeras previamente calibradas. As técnicas mais efetivas para esse fim empregam o princípio do estéreo ativo, no qual uma das câmeras é substituída por um projetor que ilumina a cena com um padrão conhecido. Entretanto, para capturar e analisar modelos dinâmicos é necessário o uso de

um sistema que capture e processe os dados em tempo-real, ou seja, um sistema de vídeo 3D.

As linhas de pesquisa em captura de modelos deformáveis, reconstrução dinâmica e análise de expressões faciais tem sido desenvolvidas em varias colaborações acadêmicas.

vídeo tridimensional e reconstrução dinâmica

Estamos usando o sistema de vídeo tridimensional para reconstrução e análise de cenas 3D (ver Figura 43). Entre outras pesquisas, implementamos métodos de rastreamento de componentes conexas os quais formam a base para a segmentação e reconhecimento de objetos.



Figura 43 - Reconstrução Dinâmica com Vídeo 3D.

captura de deformações

As variações dinâmicas de uma superfície deformável podem ser estimadas a partir da evolução temporal de pontos sobre a superfície. Dessa forma, capturamos deformações fazendo o rastreamento de pontos característicos nos quadros do vídeo tridimensional. Para isso, adaptamos o algoritmo KTL, de Kanade, Lucas e Tomasi (Ver Figura 44).

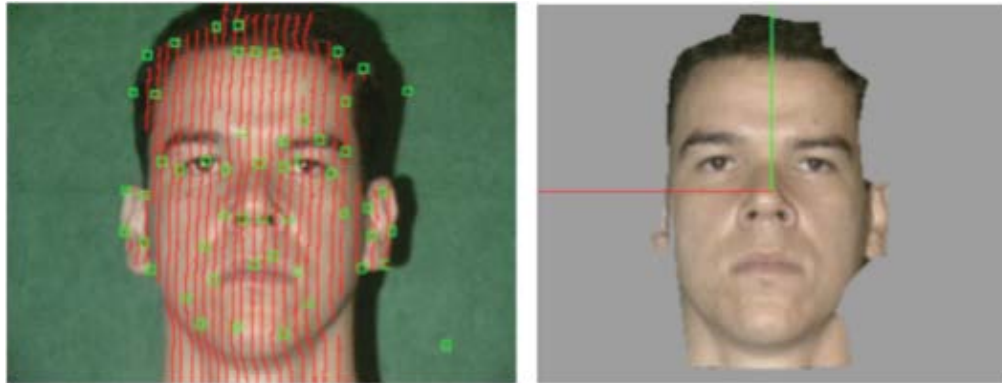


Figura 44 - Rastreamento de Pontos para Captura de Deformações.

análise de faces

A análise de expressões faciais tem inúmeras aplicações em animação, especialmente devido ao significado da face na comunicação humana. Nesse contexto, a análise de expressões pode ser usada para inferência, aprendizado e síntese de animação facial de personagens virtuais.

Estamos desenvolvendo uma metodologia para a análise de expressões a partir de vídeos e modelos deformáveis 3D. O nosso sistema engloba as etapas de captura, aprendizagem, criação do banco de dados, edição e síntese de expressões. Os dados de expressões faciais são capturados usando vídeo 3D que permite construir modelos deformáveis da face (ver Figura 45). As expressões são representadas como uma variedade não-linear no espaço de deformações. Para edição e síntese essas deformações são combinadas de acordo com um modelo padrão normalizado.



Figura 45 - Malha Deformável Adaptada com Modelo Facial.

métodos computacionais e sistemas

Na área de métodos computacionais e arquitetura de sistemas temos as seguintes linhas de pesquisa:

- Aritmética afim em computação gráfica;
- Processamento paralelo em computação gráfica;
- Sistemas de modelagem
- Sistemas de informação geográfica.

aritmética afim em computação gráfica

Depois de praticamente esquecida por quase duas décadas, a aritmética intervalar (AI) voltou a atrair a atenção de pesquisadores em várias áreas aplicadas, como computação gráfica e otimização não-linear. AI tem se revelado uma ferramenta preciosa no novo campo da matemática experimental. Um exemplo disso é seu papel essencial na resolução da conjectura da bolha dupla, um problema clássico da teoria de superfícies mínimas.

Uma razão para o ressurgimento de interesse em AI é que ela pode ser utilizada com modelos matemáticos bastante gerais, incluindo modelos altamente não-lineares e/ou descontínuos. Modelos desse tipo são a norma nessas aplicações, e tornam inviável a análise convencional de erros e convergência dos métodos numéricos.

Além disso, a aritmética intervalar permite analisar mecanicamente (e confiavelmente) o comportamento de uma função numa infinidade de pontos, a um custo poucas vezes maior do que seu cálculo num único ponto. Esta

propriedade é essencial em otimização não-linear e na aceleração de métodos de enumeração espacial.

Apesar de suas virtudes e de seus sucessos, a aritmética intervalar clássica tem o defeito de ser às vezes excessivamente conservadora nas suas estimativas. Ou seja, o intervalo calculado para uma fórmula pode ser excessivamente amplo, às vezes ao ponto de não dar nenhuma informação útil sobre o valor exato da mesma.

Para resolver esta dificuldade, foram propostas várias extensões ao modelo clássico de AI, que procuram capturar as correlações entre as variáveis, e utilizar essa informação para obter estimativas mais precisas do intervalo de variação das fórmulas. A principal variante é a aritmética afim (AA), proposta por Comba e Stolfi em 1993.

Por ser uma técnica recente, é necessário fazer uma avaliação cuidadosa do desempenho de AA em problemas práticos. Por um lado, AA pode substituir AI transparentemente, e geralmente fornece estimativas muito melhores. Por outro lado, as operações elementares em AA são mais lentas do que em AI, mas como as estimativas de AA são melhores, os algoritmos podem se tornar globalmente mais rápidos. O principal objetivo desta linha de pesquisa é descobrir quais algoritmos podem ser acelerados pelo uso de AA no lugar de AI.

A avaliação do desempenho de aritmética afim em algoritmos que originalmente usam aritmética de intervalo foi iniciada em dois dos trabalhos recentes: um sobre enumeração adaptativa de objetos implícitos (publicado em Computer Graphics Forum), e outro sobre interseção de superfícies paramétricas (publicado em Proceedings of Graphics Interface'96). Nestes dois trabalhos, verificamos que o uso de AA no lugar de AI produz algoritmos globalmente mais rápidos. Mais recentemente, estudamos o desempenho de AA em síntese de imagens de superfícies implícitas por traçado de raios, também com bons resultados.

Continuamos a avaliação do desempenho de aritmética afim estudando soluções para os seguintes problemas:

- traçados de raios em modelos CSG
- bissetores de curvas e superfícies (diagramas de Voronoi generalizados)

- simulação de sistemas dinâmicos discretos
- atratores de sistemas dinâmicos discretos por mapeamento de células
- otimização global sem e com restrições.

Métodos intervalares também serão utilizados no projeto de modelagem por decomposição espacial.

processamento em tempo-real de dados gráficos

Para estudar um determinado fenômeno do mundo real através de processos computacionais é necessário alimentar o sistema com dados provenientes desse fenômeno. Em geral, quanto maior for a quantidade das amostras adquiridas, maior será a precisão dos resultados retornados pelo sistema.

Existem várias aplicações em computação gráfica que são desenvolvidas para permitir a visualização desses dados em tempo real, como por exemplo, visualização de panoramas e imagens de satélite. Um sistema de visualização em tempo-real deve assegurar uma taxa mínima e constante de 30 quadros por segundo. A dificuldade de se realizar esta tarefa está intimamente relacionada com a quantidade de dados que se deseja visualizar. Primeiro, porque no processo de visualização é necessário que os dados sejam carregados em memórias de alta velocidade das placas gráficas que possuem um pequeno poder de armazenamento. Segundo, porque é necessário efetuar cálculos geométricos e de iluminação num grande volume de dados para a visualização do objeto. O tempo destinado a realizar esses cálculos é bastante reduzido (i.e. menor que 1/30 de segundo).

Os sistemas computacionais são formados por uma hierarquia de unidades de armazenamento de dados e processamento. Cada nó dessa hierarquia é chamado de estágio. Devido a limitações físicas, quanto mais alto for o estágio, menor é a sua capacidade de armazenamento. O problema ocorre quando a quantidade de dados que se deseja processar não pode ser completamente armazenada no estágio correspondente.

Para resolver o problema do volume de dados, é necessário desenvolver um sistema de gerenciamento de memória. O problema relacionado com a limitação do tempo de processamento é resolvido reduzindo a quantidade de dados que deve ser processada. Essa redução pode ser feita com técnicas de representação em multiresolução.

Este projeto desenvolveu um sistema de gerenciamento de memória baseado no modelo de memória virtual e representação de objetos gráficos em multiresolução. O sistema possui as seguintes características:

- Arquitetura baseada no modelo de memória virtual: Cria um nível abstrato de acesso à memória, separando o nível de memória lógica do nível de memória física. Esse modelo de abstração permite ao sistema gerenciar diversos tipos de unidades de armazenamento, como memória de vídeo, RAM, discos locais e remotos, etc.
- Estrutura composta por interface, estágios de armazenamento e sistemas de paginação: A interface e as operações de transferência de dados entre os estágios não estão relacionadas com nenhum tipo específico de dado. Desta forma, essa parte do sistema é completamente independente da aplicação ou do tipo de objeto gráfico. Os sistemas de paginação podem ser implementados considerando o grau de dependência com a aplicação e com o objeto gráfico.
- A arquitetura do sistema permite que qualquer tipo de dispositivo de armazenamento seja inserido no sistema. Os dispositivos são organizados seqüencialmente em estágios. O sistema reserva um espaço de memória em cada dispositivo e gerencia esse espaço de forma otimizada.
- O sistema permite acoplar um módulo que implementa mecanismos de predição para pré-carregamento de dados. No caso de visualização, o sistema explora a coerência espacial e temporal para carregar dados que muito provavelmente serão necessários num futuro próximo.
- O cálculo dos parâmetros futuros da câmera é realizado a partir de equações de segunda ordem. O algoritmo de carregamento explora as informações sobre a taxa de transferência para determinar o nível de resolução a ser carregado.

- A consistência entre as operações de liberação e carregamento de dados é assegurada a partir de um conjunto de regras. Essas regras exploram a representação em multi resolução para determinar um conjunto de dependências para efetuar o carregamento ou a liberação de uma página de dados.

O sistema desenvolvido foi utilizado em aplicações de visualização de panoramas virtuais e de imagens de satélite. O mecanismo de gerenciamento de memória viabilizou a visualização em tempo-real de imagens com mais de um 1 gigabyte. O estágio de rede baseado na arquitetura cliente-servidor permitiu o acesso remoto dessas imagens.

Na próxima etapa do projeto, o sistema de gerenciamento de memória será utilizado em aplicações de visualização interativa de terrenos e realidade virtual. Posteriormente, o sistema será estendido para manipular objetos gráficos vetoriais e modelos dinâmicos, tais como animações, vídeo e vídeo panorâmico.

A Figura abaixo mostra a interface do programa de visualização de imagens de satélite.

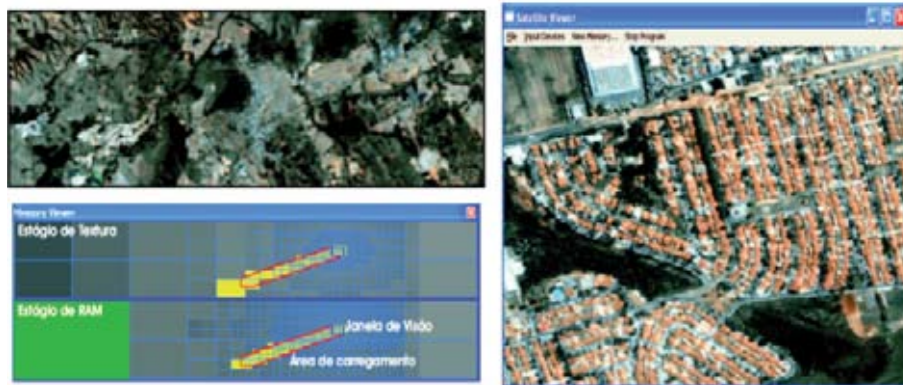


Figura 46 – Visualização de Grandes Bancos de Dados Gráficos.

visualização interativa de terrenos

A visualização em tempo-real de dados de terreno tem aplicações em diversas áreas do conhecimento humano, tais como sistemas de informações geográficas

(GIS), simulações militares, planejamento de cidades, jogos, estudos de impacto ambiental e sistemas de informações turísticas.

Bancos de dados digitais de terreno são definidos a partir de informações de elevação e fotografias aéreas obtidas por aviões ou satélites. O modelo matemático mais utilizado para descrever o terreno é uma superfície de altura dada por uma função paramétrica que associa a cada ponto do domínio informações de elevação e cor.

A arquitetura natural para sistemas de visualização interativa de terrenos usa o esquema cliente-servidor, ou seja, os dados são armazenados em um ou mais servidores que respondem aos pedidos realizados por programas cliente executados na máquina do usuário, os quais são responsáveis pela visualização e interação.

Terrenos digitais em geral constituem um conjunto de dados extremamente grande (Very Large Data Bases), e por isso, a implementação de um visualizador interativo de terrenos tridimensionais compõe um problema desafiador e complexo que envolve diversos aspectos fundamentais de computação e matemática aplicada, se constituindo, portanto em tópico relevante de pesquisa.

Técnicas de multiresolução, mapeamento de texturas, resolução variável, adaptação, cache preditivo, otimização, métricas de erro, além de uma modelagem adequada de estruturas e processos são algumas das questões relevantes a serem consideradas no desenvolvimento de um sistema de visualização de terrenos.

O objetivo do projeto é desenvolver um visualizador interativo de terrenos que incorpore técnicas avançadas de computação gráfica e processamento de imagens para atingir um novo patamar na área de sistemas de dados geográficos (GIS).

O sistema de visualização de terrenos emprega uma estrutura semi-regular 4-8, em dois níveis, combinando características de malhas irregulares (TIN) com mapas regulares de elevação, textura e atributos. Isso permite o armazenamento em grandes bancos de dados e transmissão progressiva de maneira eficiente. O processamento gráfico se realiza em malhas dinâmicas, adaptadas em multiresolução.

Nas próximas etapas do projeto, serão investigados diversos métodos de adaptação e serão implementados modos alternativos de visualização interativa e progressiva. Além disso, o sistema vai ser integrado com a biblioteca TerraLib e o banco de dados do INPE.

A Figura 47 abaixo mostra o primeiro protótipo do sistema, com a malha adaptada ao frustrum de visão, visualização da geometria do terreno e imagem completa com textura.



Figura 47 – Visualização de Terreno.

visualização científica

visualização de imagens médicas

Os equipamentos de imageamento, especialmente os tomográficos, fornecem uma grande quantidade de medições, que devem ser visualizadas de forma adequada para o seu uso pelos médicos.

Uma quantidade típica de medição feita em apenas 1 exame pode chegar a 100 imagens de 512 x 512 amostras, totalizando 25 MB de dados. Esta quantidade deve ser apresentada ao médico não em sua forma "bruta", numérica, mas sim em uma forma mais "suave", em forma de imagem.

Existem diversas formas para se visualizar estes dados. A classificação mais global divide estas técnicas em 2D e 3D. A vantagem das técnicas 2D é que são computacionalmente menos caras para que as imagens sejam apresentadas, mas em compensação não oferecem uma integração maior entre as diversas imagens, exigindo portanto uma maior interação do usuário com os dados. Para obter-se o máximo destas imagens, realçando desta forma o seu conteúdo médico, faz-se necessário o uso de algoritmos de visualização 3-dimensional.

Normalmente, os dados obtidos nos equipamentos de imageamento estão em sua forma bruta, exigindo pois uma seqüência de operações no computador, dentre elas filtragem, realce, re-amostragem e segmentação.

A filtragem consiste em se eliminar amostras estranhas e sem conteúdo para a aplicação, como por exemplo ruído. A técnica de realce consiste em enfatizar certas amostras de interesse, como aumentar o valor da opacidade dos ossos em aplicações de ortopedia, por exemplo. A re-amostragem é útil em processos onde necessitamos trabalhar com modelos em espaços não discretizados. Por último, segmentação é um conjunto de técnicas para particionar as diversas médicas de uma imagem. Por exemplo, quando o médico quer "visualizar um

possível tumor”, como é o caso em aplicações de oncologia, é necessário isolar o tumor dos outros tecidos.

Para que estes dados tridimensionais sejam exibidos para o médico, utilizam-se algoritmos de visualização advindos da área de CG, especialmente visualização científica. Os algoritmos mais conhecidos são os chamados algoritmos de *splatting* e o *raycasting*. Estes algoritmos são extremamente custosos do ponto de vista computacional, dada a alta quantidade de processamento necessária para se visitar todas as amostras do volume de dados. Em contrapartida, as imagens retratam de forma realista o organismo do paciente.

Dentro deste compromisso, deve-se desenvolver um algoritmo de visualização que forneça imagens não somente em tempo hábil como também com uma quantidade aceitável de informação médica, para que a imagem gerada possa ser utilizada em diagnóstico, terapias ou simulação de cirurgias.

Outra técnica que se usa para aumentar o grau de análise de imagens tomográficas é a animação, ou seja, a exibição de diversos quadros (normalmente em torno de 30) por segundo. Um pré-requisito para se atingir a produção desta quantidade de imagens em um espaço tão curto de tempo, é a utilização de técnicas sofisticadas para acelerar a visualização, através por exemplo de coerência de dados, compressão do volume de dados e processamento de imagens.

Pontos secundários nesta linha de pesquisa incluem a visualização integrada de múltiplas modalidades, por exemplo TC para visualização dos ossos, RM para os músculos e angiografia para a rede vascular, além da visualização integrada de dados do paciente e dados simulados (como instrumentos cirúrgicos), a serem usadas em uma simulação de cirurgia, ou superfícies de equi-densidade numa aplicação de radioterapia.

Visualizacao e Provas de Teoremas em Sistemas Dinamicos

Estamos utilizando computadores para provar propriedades de sistemas não lineares. Métodos intervalares são as principais ferramentas. Um resultado dessa pesquisa é uma prova auxiliada por computador de que a folheação de Jouanolou de grau baixo não admite conjuntos minimais não triviais. Mais

recentemente, temos trabalhado em algoritmos adaptativos para gerar imagens garantidas de conjuntos de Julia e bacias de atração fractais para o método de Newton.

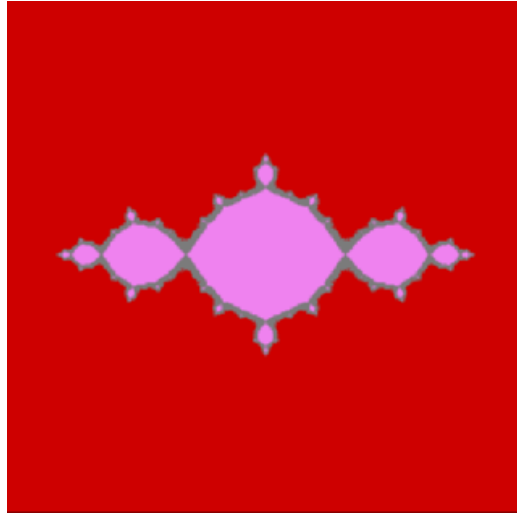


Figura 48 – Conjunto de Julia.

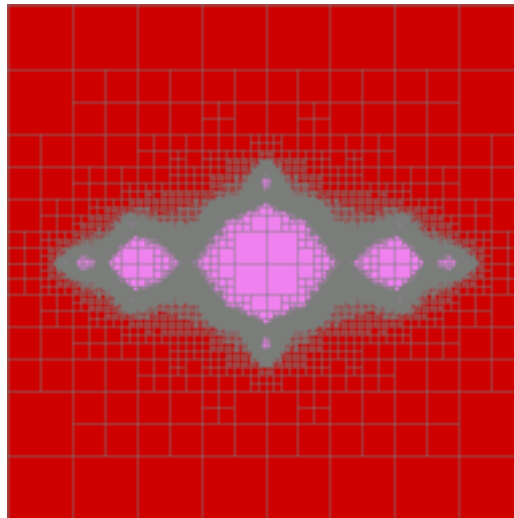


Figura 49 – Intervalos adaptados.

Visualização de soluções de equações diferenciais

As soluções de uma EDO (equação diferencial ordinária) da forma

$$\dot{x} = P(x,y) \quad \dot{y} = Q(x,y)$$

onde $P(x,y)$ e $Q(x,y)$ são polinômios com coeficientes reais, são curvas reais em \mathbb{R}^2 . Para visualizá-las, podemos aproximá-las por curvas poligonais, que são facilmente representadas computacionalmente. Quando esta EDO é considerada em \mathbb{C}^2 , com $P(x,y)$ e $Q(x,y)$ tendo coeficientes complexos, suas soluções são curvas complexas, que têm dimensão real igual a 2. Usando técnicas de avanço de frentes podemos aproximar estas soluções por malhas de triângulos. Para visualizar uma malha que representa uma solução de uma EDO complexa consideramos \mathbb{C}^2 como o espaço real \mathbb{R}^4 e projetamos a malha, ortogonalmente, sobre um subespaço real tridimensional de \mathbb{C}^2 e acrescentamos uma quarta coordenada de cor à malha projetada.

A visualização das soluções de uma EDO, auxilia o estudo dos ciclos limites e dos conjuntos limites das folheações em \mathbb{C}^2 induzidas por EDO's polinomiais. As figuras 50, 51, 52 e 53 ilustram alguns exemplos.

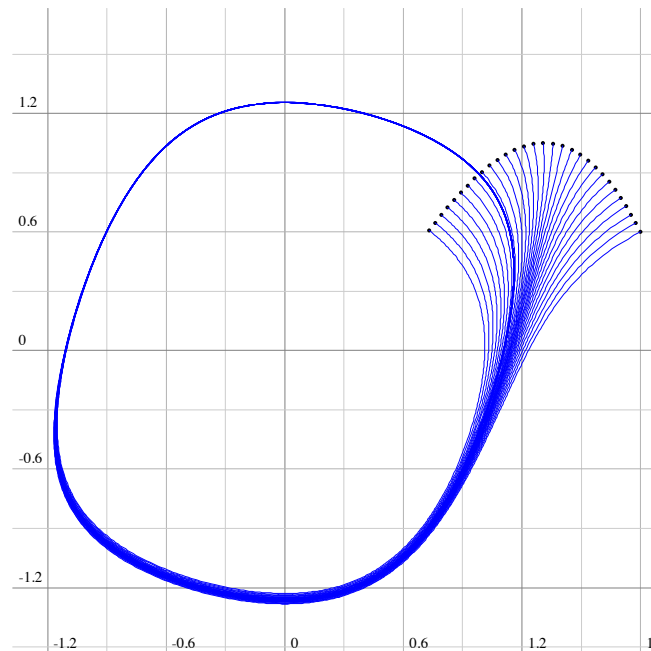


Figura 50 – Soluções reais da equação de Van der Pol.

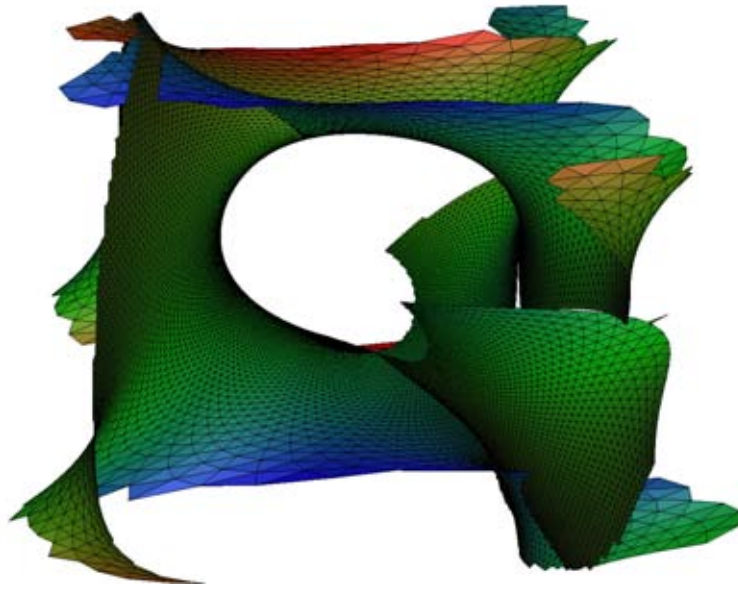


Figura 51 – Uma solução complexa da equação de Van der Pol.

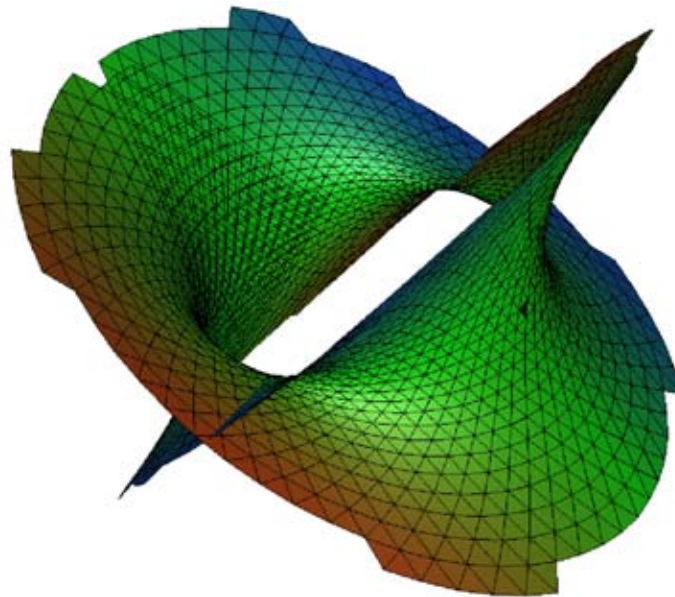


Figura 52 – Corte da curva complexa $x^2 + y^2 = 1$.

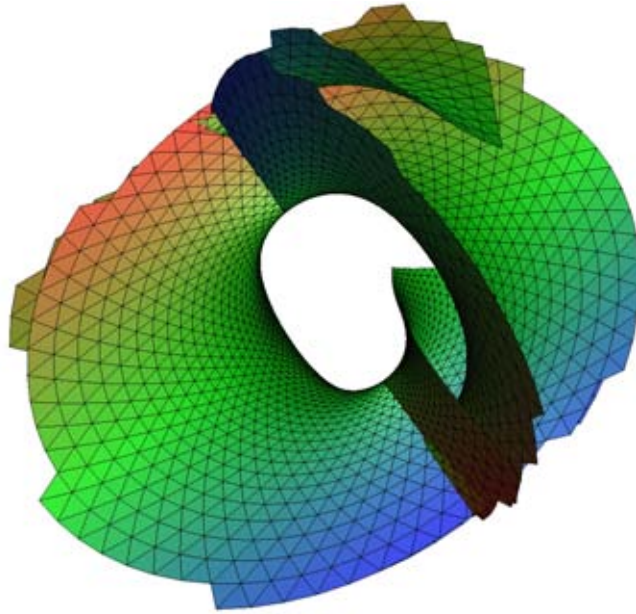


Figura 53 – Solução de uma EDO próximo a uma singularidade hiperbólica

som, música

morphing de som

Esse projeto tem por objetivo estudar e desenvolver novas técnicas para a metamorfose de sons. A metamorfose de sons é vastamente utilizada na indústria cinematográfica para criação de efeitos sonoros que variam desde ruídos de animais (como no filme "Jurassic Park") a até vozes que não existem na realidade (como no filme "Farinelli"). Esses efeitos são obtidos através de um processo de metamorfose entre sons conhecidos. Devemos ressaltar que esse processo vai muito além de uma simples mixagem dos sons existentes. A metamorfose de som também um assunto de estudo na área de Música Computacional, que aborda a síntese de novos instrumentos musicais.

Em geral, as técnicas existentes de metamorfose de tratam o problema de forma restrita, considerando sinais de apenas uma classe (voz, por exemplo) e utilizando características típicas existentes apenas desta classe.

Um dos objetivos do projeto é encontrar uma técnica conceitual unificada que trate dos sinais de forma genérica, independentemente da classe a qual ele pertença. Em um segundo estágio eventualmente serão incorporadas técnicas específicas a cada classe para uma eventual melhora de performance.

No momento estamos trabalhando para obter técnicas de metamorfose de som no domínio da frequência. Essas técnicas efetuam uma transformada do sinal para obter um mapa "tempo x frequência", como o espectrograma (oriundo da "short-time fourier transform") ou o escalograma (obtido com uma transformada de wavelets). Para isso, desenvolvemos um sistema baseado na transformada do cosseno com janelas. Ver Figura 48.

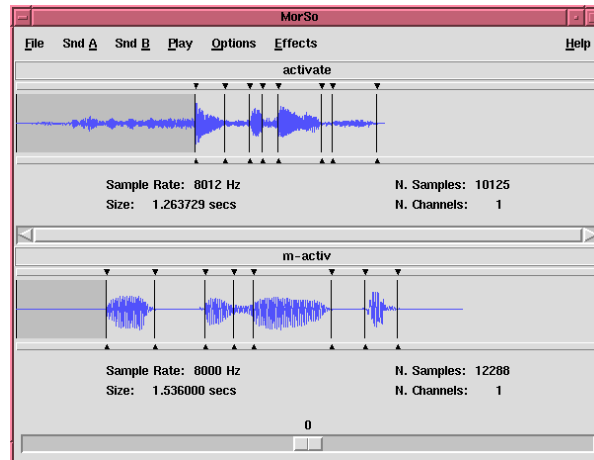


Figura 48 – Morphing de Áudio.