

FASHION DESK: UM SISTEMA CAD 3D EM AMBIENTE COOPERATIVO PARA AUXÍLIO AO ESTILISMO E MODELISMO NAS CONFECCÕES TÊXTEIS +

José Miguel de Oliveira Monteiro Salles Dias *, **

José Manuel Rebordão ***

António Carlos C. M. Almeida *, **

Alexandre Ribeiro ****

Ana Paula Sanz **

Joaquim Lourenço Esmerado *, **

*Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, ISCTE

** Associação para o Desenvolvimento das Telecomunicações e Técnicas de Informática, ADETTI
Av. das Forças Armadas 1600 Lisboa
Telf. 7935300, Fax. 7964710, e-mail: jmd@iscte.pt

*** ICAT, Instituto de Ciência Aplicada e Tecnologia da Faculdade de Ciências de Lisboa
Campo Grande, Edifício C1, Piso 1 1700 Lisboa, Fax: 759 61 48

**** CPRM, Companhia Portuguesa Radio Marconi
Av. Duque de Loulé, 97, 1000 Lisboa
Telf. 3526629 , Fax. 521675, e-mail: aribeiro@marconi.cprm.pt

Sumário

Neste artigo apresentam-se os desenvolvimentos teóricos e resultados de implementação no domínio do desenvolvimento de um sistema CAD 3D em ambiente de Trabalho Cooperativo para Estilismo e Modelismo na Indústria das Confeccões Têxteis, o sistema FASHION-DESK. A arquitectura deste sistema inovador de CAD tridimensional é apresentada, realçando-se a sua integração no processo tradicional de criação e fabrico dessa indústria. Uma ênfase especial é dada aos resultados obtidos na área dos Modelos Computacionais para Simulação de Tecidos e no desenvolvimento de plataformas de software para suporte ao Desenho Cooperativo. Por fim traçam-se linhas de evolução do sistema.

Categorias "Computing Reviews Classification Tree" da ACM e descritores de assunto: I.3.5 [Computer Graphics]: Computational Geometry and Object Modeling (Curve and Surface Representations); I.3.7 [Computer Graphics]: Three-Dimensional Graphics and Realism (Animation); I.6.3 [Simulation and Modeling] Applications; G.1.6 [Mathematics of Computing]: Optimization (Gradient methods); G.1.6 [Mathematics of Computing]: Ordinary Differential Equations (Convergence and Stability, Single Step methods); B.2.4 [Computer-Communication Networks]: Distributed Systems (Distributed applications)

+ Este projecto é financiado parcialmente pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, (projecto PMC/C/TIT/427/90) e pela Comissão das Comunidades Europeias, ao abrigo do programa de Investigação ESPRIT, área de CIME (projecto 6534 3D-FASHION)

1. Introdução

O desenvolvimento do sistema FASHION DESK surge com o objectivo de demonstrar e testar a possibilidade de criação de novos serviços na indústria das confecções, apoiados em meios computacionais avançados, que proporcionem a produção de peças de vestuário personalizadas num ambiente de colaboração entre estilistas e modelistas e outros actores no processo de criação. Para tanto o sistema inclui ferramentas de Desenho Cooperativo Assistido por Computador para auxílio à concepção 3D de peças de vestuário, através de uma modelização física e geométrica das propriedades dos materiais deformáveis e de uma conceptualização das acções de colaboração entre estilistas e modelistas. Essas ferramentas são compatíveis com sistemas de CAD 2D já existentes e aderem aos conceitos e arquitecturas de sistemas abertos e a "standards" internacionais (ISO e "de facto"). Ressaltam-se alguns dos aspectos chave do ponto de vista tecnológico:

- A captura e modelação das actividades de colaboração dos estilistas e modelistas, no contexto da disponibilização de novas capacidades técnicas de auxílio ao desenho e à criação de confecção, avaliando riscos tecnológicos e o impacto envolvidos.
- A simplificação dos modelos mecânicos estáticos e dinâmicos respeitantes aos materiais deformáveis que constituem os tecidos.
- A criação de modelos de vincos e costuras em peças de vestuário virtuais.
- A criação de ferramentas de software de suporte à edição em grupo de manequins geométricos e antropométricos "vestidos" com superfícies deformáveis (que capturem o comportamento de um tecido específico, com uma determinada geometria estrutural), no contexto de trabalho cooperativo.

Como objectivos estratégicos: a colaboração com parceiros industriais e de I&D Europeus, tendo em vista as alterações tecnológicas importantes no sector, estratégico para Portugal, das confecções têxteis e o acompanhamento dos trabalhos nestes domínios, em curso nos EUA e Japão.

2. Arquitectura para o Sistema

Na Fig. 1 a arquitectura do sistema FASHION DESK é examinada, realçando-se a funcionalidade básica e o fluxo de dados entre cada um dos sub-sistemas componentes.

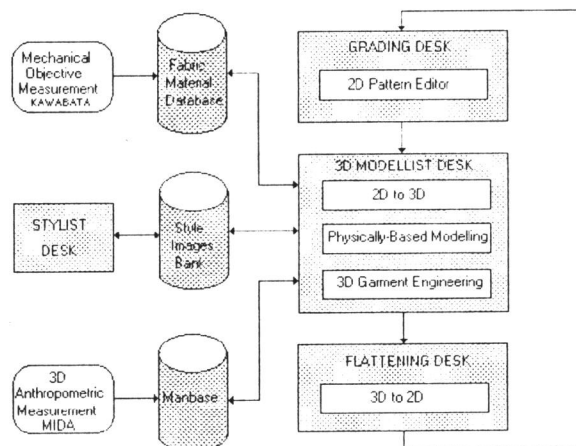


Fig. 1 Arquitectura do sistema FASHION DESK

Uma imagem de estilo criada num sistema de desenho e pintura 2D tradicional, STYLIST DESK, pode ser armazenada na base de dados IMAGESBANK e igualmente enviada, via uma rede de dados para o sub-sistema 3D MODELLIST DESK. Nesta estação de modelação, a imagem de estilo inicial é convertida num modelo 3D utilizando-se técnicas de engenharia e modelagem Têxteis. Este processo compreende: (1) a entrada de um conjunto de moldes têxteis 2D correspondentes à peça de vestuário em causa; (2) a entrada de um manequim rígido e articulado da base de dados de manequins geométricos, MANBASE e (3) a entrada de propriedades materiais e geométricas de tecidos têxteis de uma outra base de dados: MATERIALBASE.

Na estação 3D MODELLIST DESK, o modelista utiliza ferramentas computacionais para auxílio às seguintes operações:

- Deformação geométrica de 2D para 3D dos moldes, com erro mínimo na deformação métrica, tendo em conta: (1) a operação topológica de "costura" entre 2 ou mais moldes e (2) o posicionamento correcto de tais moldes deformados e costurados em 3D, na vizinhança do manequim geométrico de modo a constituírem uma "armadura" envolvente do mesmo. Nesta fase deve-se garantir que todas as linhas de ligação entre moldes estão posicionadas no espaço 3D. Nessa situação será então necessário que se active o modelo físico das superfícies dos moldes, iniciando-se um processo de relaxação que visa minimizar a energia potencial do sistema e satisfazer as restrições geométricas impostas pela anatomia do manequim, conduzindo a uma configuração final do conjunto de moldes ligados entre si, com aparência realista.

- Modelação com Restrições Físicas de superfícies deformáveis que capturam as propriedades físicas e geométricas dos tecidos, tendo em conta ainda um modelo de interacção com um manequim geométrico rígido (incluindo a detecção e resposta a colisões entre superfícies deformáveis e objectos rígidos), permitindo simular situações de deformação livre de tecidos a cair sobre partes do manequim.
- Síntese de uma imagem de estilo (utilizando-se técnicas de "ray-tracing" [Kolb88]), correspondente à simulação do manequim virtual "vestido" com as superfícies de tecido costuradas. Depois de calculada, a imagem de estilo pode ser enviada para uma estação de Estilismo 2D, STYLIST DESK, para uma análise comparativa com o desenho de estilo inicial.
- Depois da visualização do efeito final das superfícies deformáveis, costuradas e vestidas num manequim virtual, estas podem ser planificadas (sub-sistema FLATTENING DESK), e os moldes 2D correspondentes enviadas para sub-sistemas de Gradação, Colocação e Corte (GRADING DESK).

Estas ferramentas de manipulação interactiva em 2D e 3D são suportadas num ambiente avançado de trabalho em grupo, no contexto de uma rede local. Utiliza-se uma plataforma de suporte ao desenho e visualização cooperativo, possibilitando discussões em torno da criação e visualização de estilos e coleções, tanto em 2D como em 3D, entre estilistas, modelistas, directores de produção, marketing, vendas e outros técnicos.

No que se refere às ligações exteriores do sistema FASHION DESK, salientam-se:

- Ligação com um sistema de medição objectiva de propriedades mecânicas dos tecidos [Kawabata 80] ou FAST, que permite (1) a obtenção de dados empíricos que serão introduzidos no modelo computacional dos tecidos e (2) inicializar uma base de dados de materiais tecidos, MATERIALBASE.
- Ligação com um sistema de obtenção de medidas antropométricas (MIDA, um sistema Italiano da firma de estilismo CAD MODELLING), que possibilita não só a criação de uma base de dados de manequins geométricos (MANBASE) mas também a identificação de um manequim 3D, dessa base de dados, que mais se aproxima das medições reais de um dado indivíduo, com vista à produção de uma peça de vestuário personalizada.

3. Deformação 2D -> 3D

O Modelo matemático original desta operação geométrica de costura, encontra-se descrito em [Rebordão 91] e baseia-se na classificação de segmentos de curva 2D (delimitados por picas) dos bordos de moldes adjacentes que vão ser costurados e que podem ser dos seguintes tipos : (A) segmentos de comprimentos e curvatura iguais; (B) segmentos de comprimento igual mas de curvatura diferente; (C) segmentos de comprimento e curvatura aproximadamente iguais (com efeito de embebimento na costura); (D) segmentos de comprimento aproximadamente igual mas de curvatura diferente (com efeito de embebimento na costura). O embebimento ("overfeeding") corresponde a uma operação realizada durante a costura, que introduz compressões infinitésimas distribuídas uniformemente ao longo do segmento de curva de maior comprimento de uma costura da classe C, ou D. O embebimento permite de maneira, por um lado igualar os comprimentos dos segmentos de curva costurados e por outro, criar na vizinhança da linha de costura um campo de curvatura 3D, compatível com a curvatura local de um manequim humano, de maneira a que peça de vestuário não apresente enrodilhamento ("puckering"), quando vestida.

A deformação matemática é conseguida através de uma expressão analítica [Rebordão 91], baseada em grandezas de geometria diferencial [Carmo 76], assentando nas seguintes conjecturas ainda não completamente demonstradas teoricamente mas, observadas experimentalmente: as ligações do tipo A e C conduzem a linhas planas no espaço 3D; as ligações do tipo B e D, conduzem a linhas não planares, mas reduzem-se ao caso A e C, se considerarmos uma linha fictícia intermédia de costura planar. O modelo pressupõe ainda que, na vizinhança da linha de costura σ , os pontos de um dado molde podem ser inicialmente obtidos, assumindo que a superfície é regrada e admite como base σ e directriz n , a normal a σ no plano do molde. Em pontos do interior do molde, o modelo mecânico do tecido e a interacção da superfície do molde com o manequim, controlam a respectiva deformação livre.

4. Modelos Computacionais para Tecidos

4.1. O problema Mecânico dos Tecidos Têxteis

Um tecido, mesmo de debuxo com geometria ortotrópica simples como o tafetá, é constituído por uma estrutura hierárquica complexa:

- fibras torcidas que produzem fios
- fios entrelaçados segundo um padrão de debuxo produzindo tecidos

Por seu lado uma peça de vestuário é eventualmente constituída por varias camadas de tecidos coladas e/ou costuradas. Assim o comportamento mecânico das peças de vestuário, quando estão vestidas e drapegadas num manequim, sujeitas ao seu próprio peso e a forças de contacto e atrito com a superfície do mesmo, dependem. em última análise da estrutura fina referida e bem assim dos comportamentos mecânicos de fibras, fios, tecidos e costuras. Essa estrutura é responsável pelas propriedades que se observam nos tecidos têxteis reais, tais como, tensão e compressão planares, curvatura normal e dupla, resistência ao corte, enrodilhamento e instabilidade dimensional, resposta ao rasgo e à abrasão, fricção superficial, e propriedades de transferência (calor, água, ar). Genericamente estas propriedades são não-lineares e admitem histerese.

O quadro (A) seguinte sintetiza o problema mecânico dos tecidos têxteis, de acordo com a unidade elementar escolhida na aproximação, o tipo de deformação geométrica, o tipo de modelos matemáticos que caracterizam a resposta tensão-deformação, a dimensão paramétrica considerada para modelar os tecidos (que influencia o número de variáveis independentes do problema) e finalmente o tipo de geometria da estrutura (debuxo) considerado.

PROBLEMAS DE MECÂNICA TEXTIL DEFORMAÇÃO LIVRE DE TECIDOS				
Unid. Element.	Tipo de Deformação	Tensão-Deform.	Dim. Param.	Debuxo
Continua ou Discreta	Peq. Tensões, Peq. Deformações ou Peq Tensões, Grand. Deformações ou Peq./Grand Tensões, Grand Deformações	Linear ou Não Linear	2D: Superfície ideal ou 3D: Superf. espessa	Tafetá ou Outro

Quadro A

4.2. Modelos Computacionais

O objectivo do desenvolvimento destes modelos é o de simular comportamentos aproximados dos existentes em materiais deformáveis com aplicação industrial, tais como

os tecidos têxteis. Foram desenvolvidos diversos modelos para representar características e comportamentos físicos de superfícies deformáveis, que utilizam princípios básicos da Mecânica Clássica Newtoniana e da Teoria da Elasticidade Clássica.

MODELOS INICIAIS PARA TECIDOS				
Unid. Element.	Tipo de Deformação	Tensão-Deform.	Dim. Param.	Debuxo
M1. Contínuo	Peq. Tensões, Grand. Deformações	Linear	2D: Superfície ideal	Tafetá
M2. Discreto	Peq. Tensões, Grand. Deformações	Linear	2D: Superfície ideal	Tafetá

Quadro B

No quadro (B) definem-se os dois modelos alternativos (modelo **M1. Contínuo** e modelo **M2. Discreto** ou **Estrutural**) considerados tendo em conta o enunciado do problema, no quadro A. O desenvolvimento dos dois métodos, permite a sua análise comparativa tendo em atenção a precisão da modelação, eficiência computacional, facilidade de interacção com o utilizador e validação experimental com dados e medidas obtidas em laboratório textil.

Genericamente os modelos assumem que as superfícies deformáveis, que modelizam tecidos tafetá possuem:

- massa
- uma geometria ortotrópica com duas direcções privilegiadas: a teia e a trama

e exibem os seguintes modos de deformação livre:

- distensão e compressão elásticas planares
- curvatura simples e dupla
- resistência ao corte, no plano

As superfícies deformáveis existem num micro-mundo onde estão sujeitas à acção da gravidade e de outras forças, tais como a força de vento e forças de interacção com objectos rígidos (provenientes da detecção e resposta a colisões).

A variação da geometria com o tempo é obtida utilizando-se o principio da **Minimização da Energia Potencial** (M2) num sistema conservativo, ou por utilização do **Princípio clássico dos Deslocamentos Virtuais** (M1) da Mecânica dos Sólidos ou ainda por resolução numérica no tempo, das equações diferenciais resultantes das condições de equilíbrio do sistema mecânico (**Simulação Dinâmica**, M2). Neste último caso, simula-se o movimento dinâmico das superfícies e obtém-se animação realista das mesmas.

4.2.1. Simulação de tecidos utilizando o Método dos Elementos Finitos

Neste método (modelo **M1. Contínuo** do quadro **B**), cujos pormenores teóricos saem do âmbito deste artigo, promove-se a simulação estática da superfície deformável por aplicação no domínio contínuo do **Princípio clássico dos Deslocamentos Virtuais**. O problema é depois discretizado, utilizando-se o **Método dos Elementos Finitos** [Zienkiewicz 91]. Neste método, consideram-se elementos de superfície triangulares com 12 graus de liberdade. A solução para a formulação inicial [Dias 93b], correspondente a um problema de pequenas tensões e pequenas deformações, foi submetida a vários testes e ao "benchmark" NAFEMS, Test LE3 [NAFEMS 90], tendo-se obtido um erro relativo de apenas 8%. A evolução desta formulação para o caso (têxtil) de pequenas tensões e grandes deslocamentos e flexões, foi igualmente desenvolvida e está correntemente a ser testada.

4.2.2. Simulação de tecidos utilizando o Modelo de Estrutura

Este modelo (**M2. Discreto**, do quadro **B**) admite que cada ponto discreto da superfície modela a um nível intermédio, entre o nível macroscópico e o nível das fibras e dos fios, as interações (incluindo fenómenos de tracção, curvatura e resistência ao corte) que ocorrem nos pontos de intersecção dos fios da teia com os da trama, na estrutura de debuxo do tecido.

Modelo Geométrico de uma Superfície Discreta Deformável

Neste modelo, um tecido tafetá é descrito como uma superfície ideal discreta **M**, constituindo uma grelha 2D de pontos no espaço 3D.

Na Fig. 2 observa-se a vizinhança mais próxima dum ponto $P_{i,j}$ da superfície **M**. Denomina-se essa vizinhança, a 8 vizinhança ou vizinhança de 1ª ordem do ponto $P_{i,j}$. Na grelha 2D define-se então uma célula estrutural unitária, composta por um ponto e a sua 8 vizinhança. É ao nível desta célula que as interações ocorrem (entre cada ponto e a sua vizinhança imediata), sendo modeladas por energias potenciais que "querem" ser minimizadas numa situação de equilíbrio.

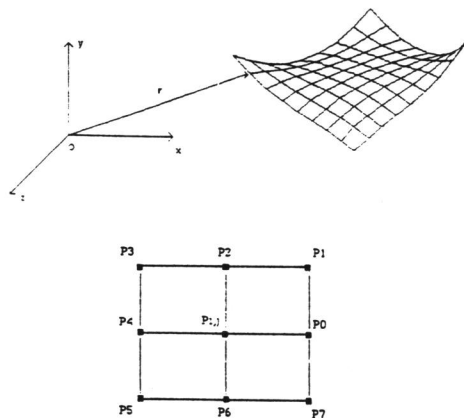


Fig. 2 Sistemas de Coordenadas e Célula Unitária

Modelos Físicos

Consideraram-se três modelos estruturais, baseados nas leis elementares da física Newtoniana no domínio discreto, a saber, dois modelos alternativos, o Modelo de Energia (**ME**) e o Modelo Dinâmico Discreto (**MDD**) e um terceiro modelo que integra os dois anteriores, o Modelo Discreto Híbrido (**MDH**).

Os modelos utilizam a mesma descrição geométrica para as superfícies deformáveis e assumem a existência de um micro-mundo onde estas se inserem, com as seguintes características:

- presença do campo gravítico e de outros campos externos (tais como um campo que simula uma força de vento)
- especificação de pontos imóveis nas superfícies (o que permite a simulação de situações em que esta fica suspensa nesses pontos, sob a acção da gravidade)
- detecção e resposta a colisões com objectos rígidos (nomeadamente partes de um manequim articulado)

O Modelo de Energia. ME

O primeiro modelo, **ME**, segue a metodologia de [Feynman 86] e baseia-se no princípio estático da minimização da energia potencial, em sistemas mecânicos puramente conservativos. A energia potencial global associada à geometria da superfície (com componentes gravítica, elástica, de curvatura e de resistência ao corte) é determinada, garantindo o método algorítmico (optimização em três dimensões), [Dias 91] uma evolução do sistema mecânico para uma configuração geométrica próxima de um mínimo (local ou global) da energia potencial.

A Energia potencial da superfície (ou malha), é a combinação linear de cinco componentes independentes:

$$E_{Potencial}(M) = E_{Grav}(M) + E_{Elast}(M) + E_{Curv}(M) + E_{Shear}(M) \quad (1)$$

As componentes energéticas determinam o grau com que a superfície se dobra (E_{Curv}); se distende e comprime no seu plano ($E_{Tensile}$); cai sobre o efeito da gravidade (E_{Grav}); e resiste ao corte segundo uma deformação no seu plano (E_{Shear}). Variando o peso relativo destas grandezas, obtêm-se superfícies deformáveis que apresentam características físicas distintas

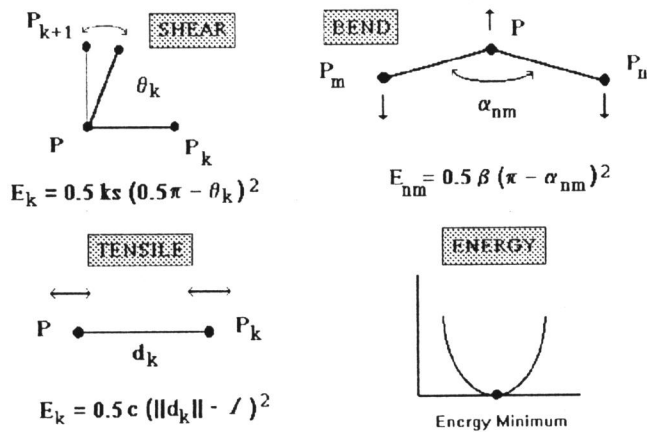


Fig 3. Modelos de Energia

Na figura anterior observamos as expressões para os termos energéticos, assumindo como aproximação modelos lineares. *E_{Tensile}* considera a existência de 4 molas ideais de Hooke, nas direcções da teia e da trama entre cada ponto de cruzamento da célula unitária e os seus 4 vizinhos, sendo *l* a distância de equilíbrio das molas. *E_{Curv}* possui 4 molas ideais angulares, nas direcções da teia, trama e diagonais, representando variações angulares fora do plano da célula estrutural, com o ângulo de equilíbrio igual a π . Finalmente *E_{Shear}* inclui igualmente 4 molas ideais angulares, modelando deformações angulares no plano da célula, agora com a distância de equilíbrio igual a $\pi/2$.

O Modelo Discreto Dinâmico, MDD

O modelo MDD [Kass 91] [Dias 93] parte da aplicação da 2ª Lei de Newton da Mecânica Clássica, para resolver as leis do movimento dos *N* pontos discretos da superfície, a partir de uma configuração inicial. Este modelo considera a elasticidade da superfície, a sua densidade de massa e diversos tipos de forças em presença, nomeadamente gravítica, elásticas interna, de amortecimento, derivada de um campo externo (força de vento) e forças de colisão entre objectos. Para todos os *N* pontos, a equação de equilíbrio resultante (uma equação diferencial ordinária, obtida pela aplicação da 2ª Lei de Newton, no domínio discreto) é sucessivamente integrada duas vezes no tempo, ao longo de um conjunto discreto de passos temporais, por utilização de métodos numéricos (Runge-Kutta com passo adaptativo, [Press 88]), determinando-se para cada passo o novo estado (velocidade, posição) de cada ponto. Simula-se assim o comportamento dinâmico da superfície no micro-mundo. Este método quando aplicado a superfícies deformáveis de complexidade geométrica pequena, permite a visualização com animação em tempo real, do movimento das mesmas.

O Modelo Discreto Híbrido, MDH

O modelo MDH [Breen 92] pode ser encarado como uma extensão dinâmica do modelo ME, ou ainda uma integração dos modelos ME e MDD. Neste modelo, cada passo temporal é sub-dividido em dois, tal que no primeiro sub-passo implementa-se uma simulação dinâmica em "queda livre": apenas se consideram em presença forças externas, *Anais do SIBGRAPI VI, outubro de 1993*

tais como a gravítica, de amortecimento e de colisão entre objectos desprezando-se as interações no elemento estrutural. Neste sub-passo, a resolução numérica da 2ª Lei de Newton para todos os *N* pontos da superfície tem em conta somente os efeitos proporcionados por tais forças externas. No segundo sub-passo têm-se em consideração as restrições estruturais intrínsecas à superfície, modeladas pela sua energia potencial interna (com os termos elástico, de curvatura e de resistência ao corte). Nesta fase faz-se evoluir a configuração geométrica da superfície para um mínimo da sua energia potencial interna, utilizando-se o processo do modelo ME, antes de se continuar para o próximo passo temporal.

4.2.3. Experiências em Laboratório Têxtil

Os modelos referem-se a materiais e estruturas "abstractas" ou virtuais. No entanto procedeu-se à introdução, nos referidos modelos de valores característicos de materiais reais, medidos em laboratório Têxtil. São eles o peso específico e o comportamento à tração, para o caso de pequenas tensões (menores que 100g/cm). Foram as seguintes as condições laboratoriais:

- Equipamento - INSTRON - Modelo 6021
- Normalização - NP 181 (ISO 5081)
- Condições ambientais - Temperatura - $20^{\circ} \text{C} \pm 2$, Humidade Relativa - $65 \% \pm 2$
- Caracterização do ensaio
 - Teste uniaxial
 - Força máxima : 0,5 Kg
 - Velocidade das garras : 1,667 E⁻¹ mm/seg
- Caracterização do provetes
 - Dimensões : 20 cm x 5 cm
 - Direcção de corte : Teia, Trama e Diagonais (sentidos "Z" e "S")
 - Debuxo : Tafetá
 - Composição : 100 % Lã
 - Densidade de Teia : 26 fios / cm
 - Densidade de Trama : 24 fios / cm
 - Gramagem : 155 g/m²
- Resultados
 - Gráficos " Força / Alongamento " com características não lineares, donde, após regressão linear, se retiraram parâmetros para os modelos físicos computacionais
 - Energia correspondente à deformação no ponto máximo da força.

As medições dos comportamentos à flexão e de resistência ao corte serão efectuados utilizando-se instrumentação de controlo de qualidade para materiais têxteis apropriada [Kawabata 80] já existente em Portugal, nomeadamente nos

Departamentos de Engenharia Têxtil das Universidades do Minho e da Beira Interior.

4.2.4 Colisões

O problema da detecção e resposta à colisão entre superfícies deformáveis (tecidos) e sólidos rígidos (manequins 3D hierárquicos desenvolvidos por digitalização 3D de manequins reais), foi abordado e resolvido:

- As superfícies deformáveis e as superfícies externas dos sólidos são modeladas como "grelhas" de pontos unidos de maneira a formar triângulos (malhas de triângulos).
- As colisões são detectadas, testando a eventual penetração de cada ponto móvel de uma superfície deformável através do plano de qualquer triângulo de um sólido rígido que não inclua esse ponto.
- Para efectuar a detecção admite-se que as superfícies se encontram inicialmente separadas.

Durante uma simulação com detecção de colisões (utilizando por exemplo os modelos MDD ou MDII) e por cada intervalo de tempo, tomam-se as posições inicial (antes da simulação) e final (depois) de cada um dos pontos, o que define uma recta, e verifica-se se a mesma atravessou algum triângulo durante esse intervalo de tempo.

Na versão corrente, considerou-se a detecção de colisões entre pontos móveis e superfícies triangularizadas fixas no espaço, cujo algoritmo é também rapidamente aplicável à detecção de intersecções entre arestas fixas e triângulos fixos.

O algoritmo já realizado baseia-se na solução da equação:

$$P + (P' - P)t = P_0 + (P_1 - P_0)u + (P_2 - P_0)v \quad (2)$$

sendo **P** e **P'** as posições inicial e final do ponto móvel relativas ao intervalo de tempo considerado, e **P₀**, **P₁** e **P₂** vértices de um triângulo (imóvel) usado no teste em curso, onde *t* representa uma variável temporal, *u* e *v* são parâmetros do plano onde está assente o triângulo.

A partir daquela equação pode-se obter um sistema de equações da forma **Ax = B**, de dimensão 3, que neste caso foi resolvido através de decomposição LU. Considera-se que existiu intersecção (colisão) caso a solução obtida apresente $0 \leq t \leq 1$, $u \geq 0$, $v \geq 0$, com $(u+v) \leq 1$.

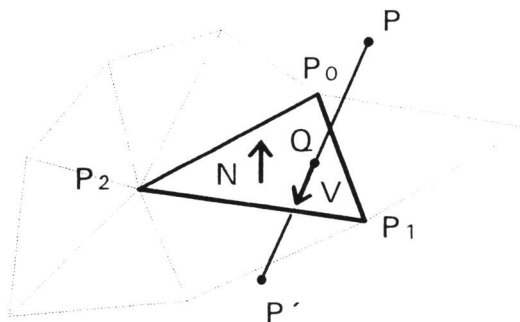


Fig. 4 Detecção e Resposta a Colisões

Depois de detectada a colisão, determina-se o ponto **Q** no triângulo, onde ela ocorre, a normal **N** à superfície do triângulo, e a velocidade **V** do ponto **Q** ($V = V_N + V_T$), Fig. 3. Seguidamente simula-se uma resposta elástica amortecida: a componente V_N é revertida, mantendo-se V_T . A simulação dinâmica amortece o movimento já que introduz uma força de oposição à velocidade.

Como optimizações conduzindo a cálculos mais eficientes na detecção de colisões implementaram-se técnicas de divisão espacial baseadas em "octrees" [Moore 88]. Correntemente, desenvolve-se um algoritmo de colisões entre superfícies móveis e pontos móveis, incluindo o aspecto da auto-colisão em superfícies, simulando-se uma resposta à colisão puramente inelástica.

4.2.5. Exemplos de Simulação

Os exemplos foram realizados com o protótipo do programa interactivo 3D MODELLIST DESK, que possibilita a simulação e teste de superfícies deformáveis utilizando os modelos referidos nas secções 3. 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.4..

Na Fig. 4 observa-se uma sequência de simulações estáticas de uma superfície isotrópica discretizada numa malha de 9 x 9 pontos, suspensa em três cantos. Em (a) a superfície possui uma determinada elasticidade *c*, resistência à curvatura *b*, densidade de massa *m* e resistência ao corte *ks* (caraterísticas físicas: [*c*, *b*, *m*, *ks*]). Em (b) a superfície é mais elástica (caraterísticas : [*c*/5, *b*, *m*, *ks*]); em (c) a superfície apresenta uma menor resistência à curvatura (caraterísticas: [*c*, *b*/50, *m*, *ks*]); finalmente em (d) a superfície é mais pesada ((caraterísticas : [*c*, *b*, 10*m*, *ks*]).

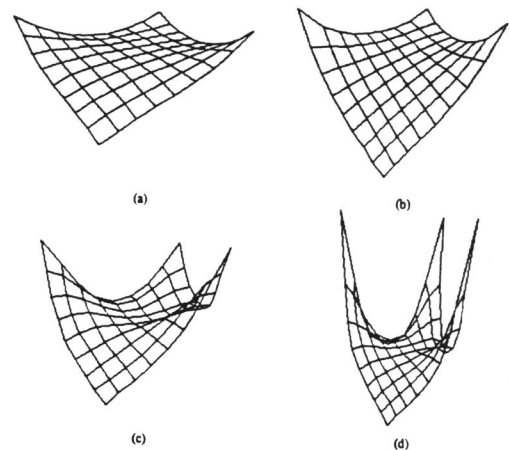


Fig. 5 Exemplos de Simulação

4. Desenho Cooperativo em 3D

4.1 Introdução

Nesta secção apresentam-se os resultados do desenvolvimento de uma arquitectura de suporte ao desenho e visualização

cooperativo de estilos e coleções, tanto em 2D como em 3D, à manipulação distribuída e interactiva de superfícies deformáveis interagindo, num mundo físico simulado, com objectos rígidos do tipo manequim. Esta arquitectura aplica-se ao caso da indústria das Confecções Têxteis, no contexto do sistema FASHION-DESK, sendo igualmente uma plataforma genérica para o desenvolvimento de aplicações distribuídas.

Estes domínios de aplicação caracterizam-se, nomeadamente, pela necessidade de utilização de ferramentas computacionais que suportem o desempenho de tarefas por grupos de pessoas (estilistas, modelistas técnicos de vendas, de marketing, alunos, professores, etc.) fisicamente dispersas.

A área de CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) surgiu como resposta a esses requisitos [Greif 87]. Esta área ocupa-se do suporte tecnológico necessário a esta nova classe de sistemas e também dos aspectos sociais e organizativos que emergem da sua utilização. Os sistemas CSCW permitem o trabalho cooperativo de um conjunto de pessoas dedicadas a uma tarefa comum, através duma interface para um ambiente partilhado e de mecanismos de comunicação adequados à comunicação de grupo. Assim, as aplicações utilizadas em ambientes CSCW designam-se por aplicações de grupo. Neste tipo de aplicações o modelo de comunicação é estendido ao paradigma de comunicação de grupo, com mensagens trocadas entre uma fonte e um conjunto de receptores. A comunicação de grupo é também designada comunicação multiponto.

Por outro lado, neste tipo de aplicações, onde um conjunto de pessoas desempenha uma tarefa comum, é necessário dotar o sistema distribuído de mecanismos de coordenação que permitam a manutenção de contexto entre todos os utilizadores. Nas aplicações tradicionais, em que um único utilizador intervém para produzir alterações nas estruturas de dados, o problema da coordenação de sessão não se colocava, porque o acesso aos recursos era controlado localmente. Mesmo que cada utilizador personalize a sua aplicação por forma a produzir uma visão própria dos dados durante a sessão, o contexto da aplicação tem que ser idêntico ao contexto que os outros utilizadores observam, dado que as decisões do grupo baseiam-se nesse mesmo contexto. Por exemplo, numa aplicação CAD distribuída, os utilizadores podem personalizar as suas aplicações locais por forma a visualizar os objectos segundo uma determinada perspectiva. No entanto, os mecanismos de coordenação em conjunto com os serviços de comunicação multiponto terão que garantir que as alterações efectuadas pelos utilizadores nos objectos, sejam propagadas ao grupo de forma coordenada. Para manter a congruência no grupo, essas alterações terão que ser transmitidas a todos os membros respeitando a ordem em que são produzidas.

4.2. Arquitectura do Sistema

Existem essencialmente dois tipos de arquitecturas para os sistemas distribuídos, em rede local ou não, para suporte de trabalho cooperativo [Crowley 90]. Por um lado, a arquitectura centralizada, com uma única aplicação a ser executada num servidor e com vários utilizadores produzindo eventos de entrada e observando, nas suas

estações de trabalho, a evolução da sessão. Por outro lado, a arquitectura replicada, com várias cópias da mesma aplicação que são executadas localmente por cada utilizador. As aplicações executadas localmente são actualizadas de forma coordenada sempre que alguém produz alterações. Os mecanismos de coordenação garantem que o estado de todas as cópias permanece idêntico durante toda a sessão.

A arquitectura seleccionada para o sistema é a replicada, isto é, em cada local da sessão existe uma réplica de um conjunto de elementos que realizam determinadas tarefas. Esta arquitectura comporta vantagens relativamente à optimização da banda requerida porque as mensagens trocadas entre os membros do grupo dizem respeito apenas a comandos de aplicação produzidos por eles. O tempo de resposta do sistema é igualmente minimizado e o sistema é robusto a falhas, dado que a imagem da sessão está distribuída pelo grupo. Além disso, com esta arquitectura é possível que os utilizadores personalizem as suas aplicações e inclusivé tenham acesso a aplicações locais paralelas à sessão sem interferir no trabalho do grupo.

Um dos elementos replicados em cada local é a aplicação CAD que está a ser manipulada. Outros elementos promovem acções de distribuição de eventos (comunicação multiponto ou de grupo) ou de coordenação de sessão. A seguir descreve-se a estrutura local da arquitectura no que respeita às entidades envolvidas e as respectivas funcionalidades. Essa estrutura é visualizada na fig. 5.1. As entidades envolvidas designam-se por Gestor de Sessão (GS), Comunicação de Grupo (CG) e Interface de Utilizador (IU). Não serão abordados, mas apenas referidos, os elementos que compõem a Interface de Aplicação, Sistema de Janelas e mecanismos do Sistema Operativo utilizados.

4.2.1 Gestor de Sessão

As funções desta entidade prendem-se com a coordenação de sessão, incluindo manutenção do contexto e consistência da aplicação durante a sessão de trabalho de grupo. Para implementar essa função existe um protocolo distribuído de gestão entre todas as réplicas da entidade GS. Esse protocolo especifica que em determinado momento só um utilizador pode efectuar alterações na aplicação, sendo estas distribuídas para os restantes locais. A permissão para os utilizadores efectuarem alterações pode transitar de utilizador para utilizador, seguindo diversos métodos. Um desses métodos exige que um utilizador que queira fazer alterações na aplicação requirite explicitamente a permissão (*token*), que tem que ser concedida pelo possuidor actual. Este método é de todos o mais rígido e menos transparente para o utilizador, sendo no entanto o de mais fácil de implementação e o que promove maior controlo entre os utilizadores.

Quando um utilizador não tem permissão para actuar na aplicação (visualizando apenas as alterações produzidas por outros), existe um conjunto de eventos (os que seriam distribuídos) que são inibidos ou ignorados pelo sistema. No entanto, o utilizador pode produzir sempre eventos locais, que devido à sua natureza nunca são transmitidos aos restantes membros.

A entidade GS realiza igualmente outras funções durante a sessão. Estas prendem-se com a admissão ou com a desistência de utilizadores ou membros do grupo. A admissão de novos membros exige não só a criação da estrutura local do sistema e de uma réplica da aplicação CAD mas também a actualização do contexto desta última réplica. Uma das soluções para essa actualização reside no registo num ficheiro do historial de eventos distribuídos produzidos durante toda a sessão, que poderão ser enviados sequencialmente para a entidade CAD.

4.2.2. Comunicação de Grupo

A entidade de Comunicação de Grupo tem a função de distribuir e receber mensagens para um número arbitrário de outras réplicas de entidade CG. Normalmente, o serviço de distribuição de mensagens é requerido pelo Gestor de Sessão sendo este quem identifica a fonte e o(s) destinatário(s) das mesmas. Cada sessão multiponto é vista como um conjunto de sessões ponto-a-ponto correlacionadas. Isto significa que a entrega de diversas mensagens a vários elementos do grupo tem que ser controlada por forma a que todos os elementos recebam a mesma sequência e livre de erros. Esta entidade esconde a configuração multiponto da comunicação das entidades GS a IU.

As mensagens tocadas entre diferentes instâncias das entidades (segundo a notação OSI uma "Interface Data Unit", IDU), contêm "Service Data Units" (SDUs), com informação semântica, "Protocol Control Information" (PCI), de maneira a suportar o protocolo multiponto e "Interface Control Information" (ICI), com informação de interface com outra entidade. Em cada nível, existem primitivas para se construírem IDUs, SDUs, PCIs e ICIs e para se enviarem e obterem IDUs entre níveis correspondentes.

Funcionalmente, tomando como referência o modelo OSI, o controlo de comunicação situar-se-ia no nível 5 ou nível de sessão, com a diferença de promover o controlo de comunicações multiponto em vez de comunicações ponto-a-ponto. Refira-se que apenas o controlo de sessão ponto-a-ponto se encontra normalizado [CCITT 88].

4.2.3. Interface de Utilizador

Os eventos físicos produzidos pelo utilizador são capturados pela Interface de Utilizador, IU, traduzidos para eventos lógicos e redireccionados para o Gestor de Sessão (eventos distribuídos) ou directamente para a Aplicação (eventos locais), tendo em conta o tipo do evento e o facto de se possuir ou não permissão (*token*). Se o *token* é remoto os eventos distribuídos são inibidos pela IU. Em caso contrário, são passados para o GS para distribuição e igualmente enviados para a Aplicação local. A IU é também responsável pela apresentação à aplicação de eventos remotos distribuídos, mantendo, ainda uma fila de espera desse tipo de eventos.

Os eventos distribuídos referem-se a actividades de edição tais como identificação de objectos, (TELEPICK) 2D (imagens de estilo) ou 3D (superfícies deformáveis ou

manequins), cursores remotos, (TELECURSOR), mensagens textuais remotas (TELETEXT), ou alterações do ambiente de edição: inicialização das superfícies deformáveis, manipulação/modificação de atributos geométricos, gráficos e/ou físicos das mesmas e do sistema mecânico, e simulação desse sistema (utilizando os modelos ME, MDD ou MDII). Os eventos locais correspondem a acções tais como a manipulação da câmara virtual e outras operações de visualização, que não alteram o contexto da edição interactiva das superfícies deformáveis.

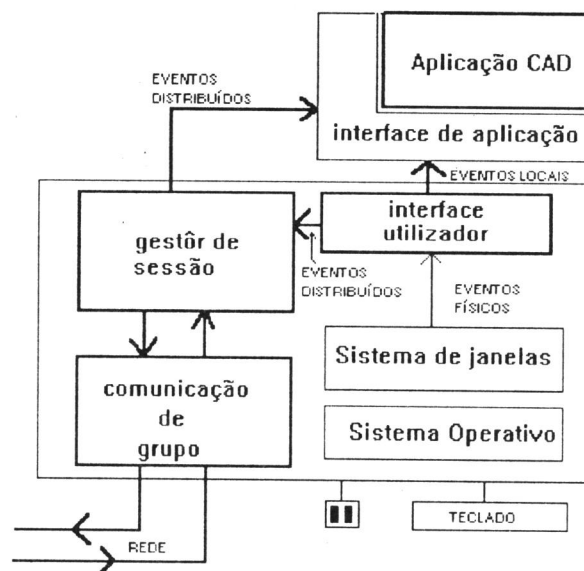


Fig. 6 - Estrutura local do sistema

5. Conclusões e Direcções Futuras

O ambiente de desenvolvimento do sistema FASHION DESK, ainda em evolução, corresponde a uma plataforma de *software* (sistema gráfico X Window, linguagem C e sistema operativo Unix), e de *hardware* (estação gráfica sem hardware gráfico 3D específico), que garantem a sua transportabilidade para uma multiplicidade de ambientes informáticos gráficos. Por outro lado o seu desenvolvimento tem tido em consideração as expectativas próprias das várias aplicações, de modo a facilitar, num futuro próximo, a geração de ambientes aplicativos de interesse didáctico ou industrial que suportem o trabalho em grupo. Os resultados apresentados são representativos de imagens sintetizadas, estáticas ou animadas. Os modelos utilizam ainda alguns parâmetros "abstractos", mas as equações de equilíbrio são as de Newton. Procurou-se identificar com pormenor:

- as características e comportamentos essenciais das superfícies deformáveis;
- a modelação dessas características avaliando a riqueza de modelos estruturais alternativos e a facilidade com que se implementam algoritmos que os representam;
- as leis físicas envolvidas e o modo como as respectivas equações são discretizadas;
- o modo como se eriam forças de interacção entre objectos deformáveis e rígidos e se modeliza o seu alcance;

- as especificidades de *hardware* e *software* actuais e a sua influência sobre a operacionalidade deste tipo de simuladores, permitindo, na prática e mesmo sem *hardware* gráfico 3D dedicado, soluções em tempo real;
- os recursos computacionais que devem existir a jusante deste sistema (no que se refere a síntese de imagem realista e integração em ambientes de animação pré-definida) para otimizar a comunicação visual e reforçar os vários níveis de realimentação quer com alunos, quer com técnicos industriais;
- uma arquitectura para suporte de trabalho cooperativo em aplicações distribuídas que foi definida e implementada
- a inicialização de uma base de dados de manequins geométricos e antropométricos

Como direcções futuras do desenvolvimento do sistema FASHION DESK, referem-se:

- o enriquecimento dos modelos computacionais para tecidos, nomeadamente do modelo que utiliza o método do Elementos Finitos
- o desenvolvimento da base de dados MATERIAL BASE com propriedades materiais obtidas para tecidos têxteis específicos a partir da medição objectiva de tais propriedades em laboratório Têxtil
- o desenvolvimento completo da base de dados MANBASE que se encontra apenas inicializada com alguns manequins antropométricos 3D de teste
- o desenvolvimento do sub-sistema FLATTENING DESK com a implementação da operação de planificação 3D-2D de superfícies deformáveis
- o enriquecimento da arquitectura de suporte ao trabalho cooperativo descrita pelo provimento de uma sessão áudio paralela suportada nos meios de comunicação locais, com vista a melhorar os mecanismos de desenho 3D cooperativo. Com esse objectivo, encara-se ainda o desenvolvimento e a integração na arquitectura de um sistema completo de vídeo-conferência multimedia.

Referências

- [Carmo 76] Carmo, M., *Differential Geometry of Lines and Surfaces*, 1976, Prentice Hall
- [CCITT 88] Rec. X215, "Session Service Definition", Rec. X225, "Session Protocol Specification"
- [Crowley 90] Crowley, Terrence et al., "MMConf: An Infrastructure for Building Shared Multimedia Applications", CSCW '90 Proceedings, ACM SIGCHI & SIGOIS, L.A. Oct/90
- [Breen 92] Breen, D. E., et al., "A Physically-Based Particle Model of Woven Cloth", SIGGRAPH'92 Course Notes 16, pp 5-10, 5-35
- [Dias 91] Dias, J. M. S., Rebordão, J. M., "Um Modelo Energético para Simulação de Superfícies Deformáveis", Actas do 4º Encontro Português de Computação Gráfica, Lisboa, Novembro 1991
- [Dias 93a] Dias, J. M. S., Rebordão, J. M., Almeida, A. "Simulação e Animação de Superfícies Deformáveis", Actas do 5º Encontro Português de Computação Gráfica, Aveiro, Fevereiro 1993
- [Dias 93b] Dias, J. M. S., Rebordão, J. M., Zucchini, A., Orsi, A., Lesca, L., Sanz, A., Esmerado, J., ESPRIT

6534 WP2 Report, Technical Report ADET014.1, Lisboa 1993

[Feynman 86] Feynman, R., "Modeling the Appearance of Cloth", Msc Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT, Cambridge 1986

[Greif 87] Greif, Irene; Sarin, Sunil, "Data Sharing in Group Work" ACM Trans. Off. Inf. Systems, Vol.5, No. 2, April/87

[Kass 91] Kass, M., "Introduction to Continuum Dynamics for Computer Graphics", Apple Computer, ACM SIGGRAPH, Course 23 Notes, 1991, F1 - F14

[Kawabata 80] Kawabata, S., "Examination of effect of basic mechanical properties on fabric hand", in *Mechanics of Flexible Fibre Assemblies*, J. W. S. Hearle et al., ed. Netherlands, 1980

[Kolb 88] Kolb, C. Rayshade, a Public Domain Raytracer, 1988

[Moore 88] Moore M., Wilhelms J., "Collision Detection and Response for Computer Animation", ACM SIGGRAPH, Vol 22, N. 4, August 1988

[NAFEMS90] "The Standard NAFEMS Benchmarks", NAFEMS, TNSB Rev.3, 1990

[NAFEMS90] "The Standard NAFEMS Benchmarks", NAFEMS, TNSB Rev.3, 1990

[Press 88] Press, W., et al., *Numerical Recipes in C the Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988

[Rebordão 91] Rebordão, J. M., Dias, J. M. S., "Modelação de Curvatura Induzida por ligação entre Moldes", Actas do 4º Encontro Português de Computação Gráfica, Lisboa, Novembro 1991

[Terzopoulos 88] Terzopoulos, Fleicher, K., "Deformable Models", Schlumberger Palo Alto Research, The Visual Computer, Springer Verlag, 1988, 306 - 331.

[Zienkiewicz 91] Zienkiewicz, O. C., *The Finite Element Method*, 4th Ed., McGraw-Hill Book Co., 1991