

5

Conclusão e Trabalhos Futuros

Nosso trabalho cumpriu com sucesso os objetivos propostos. Os resultados da Seção anterior comprovam que fomos capazes de simular de forma natural um conjunto de objetos apresentando propriedades variadas de deformação e fratura. Nossas simulações atingiram nossas expectativas com relação ao desempenho (tempo real para modelos mais simples) e a qualidade esperada das fraturas obtidas.

Os resultados das segmentações encontradas através do algoritmo de Attene *et. al* (1) foram bons, produzindo segmentações naturais de forma confiável. Encontramos na configuração do conjunto de primitivas a serem usadas pela segmentação uma ferramenta interessante para obter segmentos mais naturais da forma do objeto. As limitações desse algoritmo apenas ficam evidentes quando tenta-se segmentar objetos que apresentam espessura. Um vaso, por exemplo, para o qual seja modelado um conjunto de vértices para seu interior diferente dos vértices do seu exterior, pode apresentar problemas quando sofrer fraturas. A natureza desses problemas reside no fato de que a segmentação pode determinar que o lado de dentro e o lado de fora de um modelo constituem diferentes partes, o que resulta em uma fratura incoerente. Para os modelos utilizados, contudo, essa situação não ocorre.

Os agrupamentos encontrados a partir desse algoritmo subdividem a malha em seus triângulos. Em função disso, as partes dos objetos fraturáveis tendem a refletir a topologia de seu modelo 3D. Esse aspecto da implementação é tanto positivo como negativo: pode-se beneficiar de uma malha construída especialmente para que suas partes reflitam naturalmente as partes que resultam da fratura do objeto desejado, assim como o contrário. Uma potencial direção a qual pode-se seguir em trabalhos futuros é a de uma implementação de técnicas de tratamento de borda dos agrupamentos, para garantir que elas se assemelhem aos padrões de fratura do material do objeto simulado. Trabalhos como (16) empregam com sucesso para tratamento de borda de fraturas operadores de ruído, como o *Perlin Noise*, o que nos leva a crer que poderíamos incluir um passo no pré-processamento, posterior ao cálculo dos segmentos, o qual pode inserir ruídos ou até mesmo suavizar a borda, caso seja necessário.

A implementação utiliza-se de um artifício para que os objetos simulados apresentem uma consistência estrutural interna através do coeficiente de distribuição global dos pesos δ , apresentado na Seção 2.2.3, responsável por modular os cálculos de influência global. Essa técnica se mostrou suficiente e

adequada para simular objetos de rigidez variada, capaz de simular objetos duros como os modelos “Jarro” e “Vaso” e também objetos deformáveis como o modelo “Bexiga” e a “Janela” em sua versão deformável. Um objeto planar dividido em agrupamentos suficientemente pequenos, se parametrizado com $\delta = 0$, teoricamente seria capaz de ser utilizado para simulações de tecido e expandir a área de atuação da implementação. Esse parâmetro, contudo, atualmente dilui os pesos dos vértices para todos os agrupamentos do objeto, desconsiderando a forma do objeto, da qual já se possui informação hierárquica de suas partes. Essa informação poderia ser extraída da segmentação resultante do método de HFC, de forma que o parâmetro δ diluísse os pesos de cada vértice v de forma restrita aos agrupamentos os quais, em níveis mais altos da hierarquia de segmentos, compartilham o vértice v . Essa técnica se apresenta como uma generalização da implementação atual (a implementação atual pode ser vista como se sempre se restringisse ao agrupamento mais alto de toda a hierarquia, ou seja, todo o objeto), e pode potencialmente melhorar o desempenho do sistema, pois diminui o compartilhamento de vértices entre os agrupamentos. A distribuição global dos pesos poderia também ser melhorada através do uso de alguma heurística, mesmo que imprecisa, para distância geodésica, como a apresentada em (19). Saber calcular mais precisamente a distância entre vértices sobre a malha pode causar um grande ganho na qualidade da distribuição dos pesos.

A técnica utilizada por nós para detectar quando ocorre a separação dos agrupamentos na Seção 3.1 se mostrou capaz de detectar as circunstâncias nas quais as partes de um objeto rompem-se, e o coeficiente de ruptura σ suficiente para modular objetos com que não se rompem frente a diferentes deformações. O modelo “Janela” ilustra bem os efeitos de sua variação em suas versões rígida e elástica. Objetos que possuam agrupamentos que se estendam por grande parte da malha podem precisar de diferentes técnicas de detecção, pois a utilização da distância linear entre seus centros de massa como uma heurística de aproximação da tensão entre os agrupamentos pode não ser adequada. Em nossas experiências, contudo, não foi necessário, frequentemente pois desejava-se simular objetos com agrupamentos pequenos com relação à superfície da malha. A atual implementação, entretanto, não contempla a detecção de rupturas entre agrupamentos causadas por torções: uma possível extensão da técnica pode inferir coeficientes de flexão no eixo de uma conexão K entre agrupamentos a partir de suas matrizes de rotação \mathbf{R} .

Atualmente, nada na implementação impede que objetos compostos sejam utilizados. Por objetos compostos entende-se objetos que possuem componentes que são outros objetos. A frente de um carro, por exemplo, poderia

ser simulada como um objeto composto de sua lataria, de seu parachoque, e dos dois vidros dos faróis, cada um deles objetos com suas próprias configurações de deformação e fratura. A técnica de segmentação deve segmentar cada um individualmente, e a informação de posição relativa entre eles deve fazer parte da entrada da simulação, assim como quaisquer conexões K entre agrupamentos de diferentes componentes do objeto. Essas conexões devem ser tratadas como conexões especiais, pois ao se romperem, não separam vértices (pois unem essencialmente dois objetos diferentes, os quais não compartilham vértices).

Com relação a estabilidade de nosso *motor físico*, fomos capazes de garantir que nossas simulações se apresentassem estáveis em todos os casos. O caráter absolutamente plano do objeto “Janela” ocasionou em uma dificuldade numérica oriunda do método. A equação que determina a matriz de rotação \mathbf{R} de cada agrupamento de vértices de um objeto é

$$\mathbf{R} = \mathbf{A}_{\mathbf{pq}}\mathbf{S}^{-1} = \mathbf{A}_{\mathbf{pq}}(\sqrt{\mathbf{A}_{\mathbf{pq}}^T \mathbf{A}_{\mathbf{pq}}})^{-1}. \quad (5-1)$$

Caso a matriz $\sqrt{\mathbf{A}_{\mathbf{pq}}^T \mathbf{A}_{\mathbf{pq}}}$ seja singular, o cálculo de \mathbf{R} fica impossibilitado. Para evitar esse tipo de situação, inserimos um ruído imperceptível nos vetores os quais são usados para gerar a matriz $\mathbf{A}_{\mathbf{pq}}$, de forma a garantir que ela seja não singular. O simplicíssimo motor físico criado apresentou-se suficiente em suas interações com os objetos fraturáveis simulados. A técnica de relaxação utilizada descrita em 2.4.5 mostrou-se necessária para que as respostas às colisões dos objetos fossem realistas e estáveis. Nosso motor físico não simula autointerseção, o que apresenta uma interessante e importante melhoria para a qual nosso trabalho pode futuramente ser levado.