

11

Conclusões e trabalhos futuros

A maior contribuição dessa tese é a definição de um modelo numérico, o GPBM, que é capaz de simular materiais granulares cimentados. Foi mostrado que o método GPBM é eficaz em diferentes cenários. Em particular, o GPBM obteve um resultado superior a métodos que são considerados o estado da arte em simulação de fratura em rocha, conseguindo uma excelente aproximação para o comportamento de uma rocha em laboratório.

A modelagem aplicando o contato geométrico com um número reduzido de parâmetros gerou dois pontos positivos: O primeiro ponto foi a definição de uma metodologia para calibrar o modelo. O segundo foi a não necessidade da modelagem de torques, pois no GPBM os torques são calculados de forma direta.

O aumento da complexidade computacional foi compensado pela definição de uma estrutura de dados eficiente, que serve para determinar os candidatos a vizinho de uma partícula. Essa estrutura foi comparada com outras estruturas de dados na literatura, em geral a estrutura proposta mostrou-se mais eficaz, em termos de velocidade.

A implementação do método GPBM foi feita em ANSI-C++, sem nenhuma biblioteca adicional. Essa implementação permite que o código dessa tese seja executado nas mais diversas plataformas (basta a plataforma possuir um compilador ANSI-C++). E também, esse código pode ser utilizado como um laboratório experimental para os trabalhos futuros.

Foram apresentados diversos resultados da modelagem, e o método conseguiu se adaptar bem mesmo em exemplos que possuíam materiais muito diferentes, em uma das aplicações combinamos materiais rígidos com materiais elásticos e materiais granulares. Isso mostra que mesmo com um número reduzido de parâmetros a física está bem representada.

Com o auxílio das Thin Plate Splines, mostramos que o GPBM se torna uma ferramenta de modelagem de deformação, e pode ser utilizado na computação gráfica para produzir animações de objetos que se deformam ao serem submetidos a forças externas. Em particular, é fácil modelar heterogeneidades no modelo.

Para finalizar a tese, podemos dizer que existem trabalhos futuros a serem feitos baseados nesse novo método. São listados a seguir alguns que pretendemos realizar em breve:

1. Implementação em paralelo e em GPU

A implementação em paralelo do método é de grande importância, principalmente devido à popularização de processadores com múltiplos núcleos. Essa extensão deve ser relativamente fácil, pois a parte mais complicada de se implementar é a estrutura de busca de vizinhos. Mas a que foi definida no curso da tese pode ser acessada em paralelo sem grandes mudanças. Uma implementação em GPU seria um trabalho bem interessante para a sua aplicação na indústria de jogos, porém nesse caso o ponto mais delicado também é a passagem da estrutura de dados para funcionar na placa de vídeo.

2. Interação com fluidos

Nesse assunto, o interesse está em diversos comportamentos que poderiam ser simulados, em particular no efeito de erosão em que o fluido poderia causar no material modelado com o GBPM. Em outro cenário, poderia se modelar um material granular humedecido, nesse caso a física do problema é muito complicada, e poucos métodos são capazes de tratar esse caso. Seria também interessante estudar uma maneira de ligar o GBPM ao método dos elementos finitos e ao Smooth Particle Hydrodynamics.

3. Deformação em 3D

Na modelagem de deformações, o ponto seria encontrar uma forma de utilizar a modelagem que foi realizada em duas dimensões para o caso tridimensional.

4. Modelagem de processos de envelhecimento em 3D, causados por intemperie climática

Nessa modelagem, o foco seria em simular processos que desgastassem o material, como por exemplo a ferrugem. O GBPM pode ser modificado para levar em conta esse tipo de efeito.

5. Determinação e visualização de falhas

Como o GBPM mapeia de forma direta as micro-fraturas (contatos geométricos quebrados), seria importante estabelecer um critério de quando um conjunto de micro-fraturas se torna de fato uma falha, e nesse caso determinar a geometria da falha.

6. Estudar a variação da pressão na resposta do teste uniaxial

Um problema que é apontado na literatura para os modelos que utilizam partículas circulares, é que eles não conseguem modelar a mudança de comportamento que ocorre no teste uniaxial ao se alterar a pressão atuando no material. Já fizemos alguns avanços nessa direção e percebemos que podemos

modelar com base no ângulo que o contato geométrico faz com a reta que passa pelo centro de duas partículas. A ideia seria de mudar a constante do contato geométrico conforme a variação desse ângulo.

7. Modelagem de Sal

Ultimamente, a modelagem de rochas formadas de sal se tornou um assunto de grande importância econômica, devido a localização de depósitos de hidrocarbonetos encontrados sob essas rochas. O método GBPM pode ser um bom candidato para a modelagem desse tipo de material.

8. Visualização e análise de campos de estresse

O campo de estresse possui em cada ponto seis escalares associados, nesse trabalho, o desafio é de definir alguma ferramenta de visualização e análise para esse tipo de campo.

tokenfim