UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
2015.2

Desenvolvimento de método de simulação de fluido MPS aprimorado e otimizado por GPU

PROPOSTA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aluno: André Luiz Buarque Vieira e Silva (albvs@cin.ufpe.br)
Orientadora: Veronica Teichrieb (vt@cin.ufpe.br)
Coorientador: Mozart William Santos Almeida (mwsa@cin.ufpe.br)

Recife, Setembro de 2015.

1. Introdução

Alguns dos problemas comuns em hidrodinâmica naval envolvem estudos de fluxos internos e externos. Métodos clássicos, como Métodos de Elementos Finitos (MEF), são relativamente ineficientes quando precisam lidar com certas características como deformações muito elevadas e fragmentações na fronteira líquido/ar dado que a construção e reconstrução constante de malhas (*grids*) torna o processo muito custoso computacionalmente [1]. Por isso, há métodos que usam malhas e elementos discretos (partículas), como o *Particle Finite Elements Method* (PFEM) [5], sendo um híbrido entre os métodos clássicos e as técnicas livres de malhas.

Alternativamente, existem as técnicas inteiramente livres de malha (*meshless*), como o *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH) [2] e o método *Moving Particles Semi-Implicit* (MPS) [3]. Pela sua característica sem malha, permitem principalmente que fluxos de superfície livre sejam discretizados espacialmente e resolvidos através das equações de movimento de Navier-Stokes sem a utilização de uma malha, conseguindo assim um alto grau de flexibilidade nos casos onde os métodos tradicionais se tornam muito complexos [4].

Como é sabido, o grande problema de métodos de partículas, como são chamados, em geral é na modelagem da interação entre contornos sólidos, o fluxo do fluido e, no caso específico do método MPS, a oscilação espúria das pressões das partículas [6][7]. Com isso, várias soluções têm sido propostas na literatura sobre os métodos de partículas, tais como resolução variável, refinamento local das partículas ou formulações corrigidas (como novos modelos de discretização de operadores contínuos) [8][9][10][11], para que dessa forma se consiga atingir uma melhor precisão e coerência física na simulação [4][6].

Uma desvantagem de modelos de simulação de fluidos que prezam pela precisão numérica é o gasto de tempo na execução do programa, mais especificamente na geração da simulação, principalmente quando se deseja gerar simulações em 3D (três dimensões) [12][13]. Para lidar com isso, é possível acelerar essa geração utilizando plataformas de computação paralela que oferecem *Application Programming Interfaces* (APIs) que tornam possível tirar proveito dos vários núcleos de processamento da unidade de processamento gráfico (GPU).

Além disso, as perspectivas de ganho computacional tornam os métodos de partículas cada vez mais atrativos no que diz respeito ao estudo de embarcações e sua dinâmica.

2. Objetivos

Este trabalho de graduação visa estudar o método de partículas com foco em problemas hidrodinâmicos. Mais especificamente, será estudada a técnica de simulação de fluidos sem malha MPS. Uma vez compreendida, esta técnica será implementada de maneira sequencial utilizando processamento de uso geral (CPU) juntamente com aprimoramentos recentemente propostos [8][9][10][11] a fim de deixar o método robusto e fisicamente mais coerente. Após isso, uma versão paralela e otimizada utilizando processamento de propósito geral em processador gráfico (GPU) será desenvolvida mantendo o mesmo nível de precisão numérica da versão anterior.

Os objetivos específicos a serem alcançados no trabalho são:

- Estudo do método de partículas com foco em problemas hidrodinâmicos;
- Estudo da técnica MPS, com foco em fluidos incompressíveis;

- Implementação da técnica e suas melhorias a fim de obter uma simulação fisicamente coerente e realista;
- Estudo da ferramenta CUDA da NVIDIA
- Desenvolvimento de uma versão otimizada em GPU a fim de gerar a simulação mais rapidamente;
- Geração de resultados numéricos a fim de comparar com as técnicas e otimizações existentes na literatura.

3. Metodologia

Este trabalho de graduação será realizado em três etapas principais: pesquisa, desenvolvimento e validação.

Na fase de pesquisa, serão realizados estudos mais aprofundados do método de partículas MPS e outros métodos baseados em partículas e em malhas, assim como suas variações, para fins de comparação na fase de validação. Além disso, o estudo de algumas técnicas relativas ao desenvolvimento do software também será contemplado nessa fase.

A fase de desenvolvimento será composta de duas subfases: A implementação da técnica MPS aprimorada chamada CMPS-HS-HL-ECS [14], a ser executada em processador de propósito geral (CPU) e, em seguida, o desenvolvimento de uma versão a ser executada em processador gráfico, utilizando programação de propósito geral (GPU).

O objetivo do protótipo em CPU (sequencial) é, primeiramente, validar de forma rápida o método sob o ponto de vista de corretude. Além disto, pretende-se com ele obter métricas de avaliação do ganho de desempenho da versão que executará em paralelo em relação à sequencial.

Para realizar o desenvolvimento do programa que executará a simulação em paralelo será utilizada a tecnologia CUDA da NVIDIA [15], que fornece ferramentas e interfaces de programação para realizar o desenvolvimento de aplicações executáveis em processadores gráficos de forma similar às executadas em processadores de propósito geral. O ambiente a ser utilizado para o desenvolvimento de ambos protótipos será o Microsoft Visual Studio 2013 e a linguagem de programação C/C++.

A fase de validação ocorrerá mediante a obtenção de resultados satisfatórios com o desenvolvimento do método. Estudos comparativos serão realizados conforme a seguir:

- Desempenho entre a versão sequencial desenvolvida e a versão em paralelo;
- Desempenho entre os resultados obtidos de outras técnicas e os da técnica desenvolvida;
- Precisão entre a versão executando sequencialmente e em paralelo e, após garantir a equivalência entre as versões, comparar com trabalhos relacionados.

Ao final do trabalho de graduação espera-se que haverá evidências suficientes para atestar a viabilidade de utilização de métodos de partículas nos cenários mais comuns presentes na literatura. Além disso, uma ferramenta de simulação de partículas executando de forma paralela em dispositivo gráfico estará finalizada.

4. Cronograma

A seguir é apresentado o cronograma de atividades a ser realizado durante o trabalho de graduação.

Atividade	Agosto 2015				Setembro 2015				Outubro 2015				Novembro 2015				Dezembro 2015				Janeiro 2016			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pesquisa Bibliográfica																								
Implementação do algoritmo CMPS-HS-HL-ECS																								
Pesquisa e estudo de CUDA																								
Desenvolvimento de versão em GPU (CUDA) do algoritmo																								
Elaboração de testes e Validação do algoritmo e da otimização																								
Escrita da monografia																								
Defesa																								

5. Referências

[1] A. Colagrossi e G. Colicchio, “SPH Method Applied to Naval-Hydrodynamic Problems”, Communications to SIMAI Congress, v. 1, 2007.

[2] J. Monaghan, “Simulating Free Surface Flows with SPH”, Journal of Computational Physics, v. 110, pp. 399-406, 1994.

[3] S. Koshizuka e Y. Oka, “Moving-particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid”, Nuclear Science and engineering, v. 123, pp. 421-434, 1996.

[4] B. Rogers, R. Dalrymple, M. Gesteira e O. Knio, “Smoothed Particle Hydrodynamics for Naval Hydrodynamics”, Proceedings of 18th Int Workshop on Water Waves and Floating Bodies, v. 1, pp 2003.

[5] E. Oñate, S. Idelsohn, F. Del Pin e R. Aubry, “The particle finite element method - an overview”, International Journal of Computational Methods, v. 1, n. 2, pp. 267-307, 2004.

[6] A. Khayyer e H. Gotoh, “Modified moving particle semi-implicit methods for the prediction of 2D wave impact pressure”, Coast Engineering Journal, v. 56, n. 4, pp. 419-440, 2009.

[7] Y. L. Ng, K. C. Ng e M. Z. Yusoff, “The study of pressure source term in moving particle semi-implicit (MPS)”, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 16, n. 1, p. 012152, 2013.

[8] A. Khayyer e H. Gotoh, “Development of CMPS method for accurate water-surface tracking in breaking waves”, Coastal Engineering Journal, v. 50, n. 2, pp. 179-207, 2008.

[9] A. Khayyer e H. Gotoh, “A higher order laplacian model for enhancement and stabilization of pressure calculation by the MPS method”, Appl. Ocean Res., v. 32, n. 1, pp. 124-131, 2010.

[10] A. Khayyer e H. Gotoh, “Enhancement of stability and accuracy of the moving particle semi-implicit method”, J. Comput. Phys., v. 230, pp. 3093-3118, 2011.

[11] A. Khayyer e H. Gotoh, “A 3D higher order laplacian model for enhancement and Stabilization of pressure calculation in 3D MPS-based simulations”, Appl. Ocean Res., v. 37, pp. 120-126, 2012.

[12] E. Rustico, G. Bilotta, G. Gallo, A. Hérault, C. Del Negro e R. A. Dalrymple, “A journey from single-GPU to optimized multi-GPU SPH with CUDA”, Proceedings of 7th SPHERIC Workshop, 2012.

[13] X. Zhu, L. Cheng, L. Lu e B. Teng, “Implementation of the moving particle semi-implicit method on GPU”, SCIENCE CHINA Physics, Mechanics & Astronomy, v. 54, n. 3, pp. 523-532, 2011.

[14] H. Gotoh, “Advanced particle methods for accurate and stable computation of fluid flows”, Frontiers of Discontinuous Numerical Methods and Practical Simulations in Engineering and Disaster Prevention, p. 113, 2013.

[15] NVIDIA CUDA, “Nvidia Developer Zone”, website: https://developer.nvidia.com/cuda-zone. Visitado em Setembro de 2015.

6. Assinaturas

_____

André Luiz Buarque Vieira e Silva
Aluno

_____

Veronica Teichrieb
Orientadora

_____

Mozart William Santos Almeida
Coorientador