

Uma Aplicação Adaptativa, Realista e Interativa em Realidade Virtual para Incisão e Sutura Cirúrgica

Herleson Paiva Pontes^{1,2}, Maria Andréia Formico Rodrigues¹

¹Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada
Universidade de Fortaleza (UNIFOR) – Fortaleza – CE – Brazil

²Faculdades Nordeste (Fanor DeVry) – Fortaleza – CE – Brazil

{herleson, andreia.formico}@gmail.com

Abstract. *We present a work in progress, on a prototype of an adaptive, realistic and interactive virtual reality application for incision and suture of tissues, muscles and blood vessels, which, in real-time, allows the modification of their own rules according to the expertise of the user. The goal is to training health professionals with different profiles and skill levels, through interaction using haptic devices with virtual deformable bodies, represented by layers of tissue. The organs behavior is governed by Dynamics and the system follows a heterogeneous programming model on CPU-GPU.*

Resumo. *Apresentamos um trabalho em andamento, relativo a um protótipo de uma aplicação adaptativa, realista e interativa em realidade virtual para incisão e sutura cirúrgica de tecidos, músculos e vasos sanguíneos, o qual, em tempo-real, permite a modificação de suas próprias regras, de acordo com a expertise do usuário. O objetivo é o treinamento de profissionais da saúde com diferentes perfis e níveis de habilidades, através da interação usando dispositivos hápticos com órgãos deformáveis virtuais, representados por camadas de tecidos. O comportamento dos órgãos é regido por Dinâmica e o sistema segue um modelo de programação heterogêneo em CPU-GPU.*

1. Introdução

A Realidade Virtual, usada na simulação de procedimentos e modelagem de ambientes gráficos aplicados à Saúde humana, tem motivado pesquisadores a proporem soluções inovadoras e impactantes, as quais têm contribuído para o avanço do estado da arte, tanto na Computação, quanto na Saúde. Dentre as principais motivações, podemos citar a necessidade de visualizar e manipular virtualmente ambientes orgânicos (os quais são altamente complexos, microscópicos, de comportamento deformável do tipo não-linear e pouco acessíveis), em sessões de treinamento, sem que haja a exposição direta dos pacientes e dos profissionais, aos riscos associados ao procedimento conduzido no mundo real. Sistemas adaptativos do gênero oferecem ainda a vantagem de poderem ser usados em qualquer momento, quantas vezes for necessário, com a opção de se ajustarem de acordo com o nível de habilidade e experiência dos usuários. Modelos adaptativos têm se mostrado muito úteis em sistemas de treinamento, pois ao contrário dos modelos tradicionais onde um conjunto rígido de regras é estabelecido previamente, permitem, em tempo-real, a modificação de suas próprias regras. Por outro lado, enquanto estimulam o interesse do usuário na resolução de problemas, exigem atenção constante do mesmo [Bauer *et al.* 2013].

Atualmente, vários trabalhos são apresentados também na forma de simuladores e aplicações gráficas realistas e interativas, com alto grau de imersão, baseando-se na simulação de corpos deformáveis, interação com dispositivos hápticos e processamento

em nível de GPU [Esteban *et al.* 2014, Fan *et al.* 2014, Sanders e Kandrot 2010]. A simulação de corpos deformáveis possibilita a modelagem e a simulação de aplicações virtuais para representar características visuais e comportamentais de corpos e de suas interações no mundo real. Por exemplo, Zhang *et al.* [Zhang *et al.* 2010] e Kim *et al.* [Kim *et al.* 2012] apresentam simuladores de tecidos, ossos e órgãos humanos com suporte a deformações ocorridas a partir da interação entre os mesmos, estimuladas por controles de eventos, via usuário. Já o aumento da imersão do usuário ao interagir com ambientes virtuais voltados à área de Saúde é facilitado pelo uso de dispositivos hápticos, os quais possibilitam a geração de forças de retorno, em resposta a eventos ocorridos no ambiente virtual durante interações com o usuário [Zhang *et al.* 2010, Rhienmora *et al.* 2010, Wang *et al.* 2012, Gaudina *et al.* 2013]. Por sua vez, o processamento heterogêneo visa o paralelismo na execução de cálculos envolvendo um volume massivo de dados, através do seu envio e realização de operações em nível de GPU [Brodtkorb *et al.* 2013]. Com isso, modelos 3D mais complexos, interativos e realistas são possíveis de serem representados em realidade virtual.

À luz da relevância da Realidade Virtual aplicada à área da Saúde humana, neste trabalho, propomos uma aplicação adaptativa, realista e interativa em realidade virtual para treinamento de incisão e sutura cirúrgica de tecidos, músculos e vasos sanguíneos, a qual, em tempo-real, permite a modificação de suas próprias regras, de acordo com o *expertise* do usuário, incluindo modelagem e simulação de corpos deformáveis regidos por Dinâmica, controlados por meio de dispositivos hápticos e processados em nível de CPU-GPU. Apesar da existência de sistemas de Realidade Virtual que simulam procedimentos de incisão, até onde os autores têm conhecimento, é praticamente inexistente uma solução simultaneamente realista, interativa e adaptativa que trate do fechamento de feridas e/ou cortes cirúrgicos. A validação da aplicação deverá ser realizada em parceria estabelecida com colaboradores da pós-graduação da Saúde (cursos de Medicina e Odontologia) da própria instituição. Além da validação, pretendemos analisar se o uso da aplicação para este tipo de treinamento tem potencial para a redução dos riscos inerentes em uma cirurgia, bem como para o aumento da segurança do profissional da saúde, durante a manipulação dos instrumentos cirúrgicos.

2. Visão Geral da Aplicação

Em cirurgias, é comum o uso de dois instrumentos especializados de forma simultânea, como ocorre durante a sutura de pontos, procedimento no qual o profissional da saúde usa uma agulha e uma pinça; ou ainda, a combinação de um instrumento e a mão do profissional, por exemplo, durante a realização de uma incisão com um bisturi, enquanto a mão prende/estica o tecido a ser cortado.

2.1 Arquitetura

De acordo com os requisitos pré-definidos e as tecnologias envolvidas neste trabalho, a arquitetura integra o sistema de simulação de corpos deformáveis, os dispositivos hápticos e o processamento em nível de GPU através do uso de controladores responsáveis pela comunicação entre a aplicação e seus componentes, tomando-se como padrão o *Modelo-Visão-Controle (MVC)*, como mostra a Figura 1.

2.2 Dispositivos Hápticos

A versão inicial do protótipo suporta a operação simultânea de dois dispositivos hápticos, *Falcon* [NovInt 2015] e *Phantom Omni* [Geomagic 2015], como interfaces de controle para a operação de instrumentos da área de saúde específicos, durante a

intervenção em alguns órgãos humanos virtuais. Na aplicação, esses dispositivos permitem ao usuário realizar dois eventos: deslocamento do cursor que representa o instrumento cirúrgico ativo e interação com o órgão exibido na tela da aplicação, reproduzindo a sensação de contato entre o instrumento e o órgão deformável, através da aplicação de forças no cursor do dispositivo. O *Falcon* é usado para a representação de instrumentos de menor precisão e o *Phantom* para os de alta precisão. O *Falcon* também pode representar a mão do médico, de forma combinada ao *Phantom*, como dispositivo de suporte durante o uso de instrumentos de alta precisão.

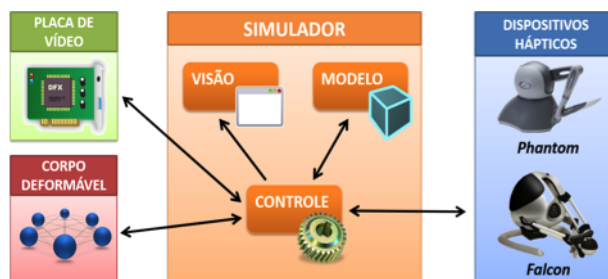


Figura 1. Arquitetura e seus componentes.

2.3 Modelo Adaptativo

Durante a realização da incisão e da sutura, o simulador exibe os sinais vitais do paciente, tanto na interface, quanto na própria aplicação virtual: temperatura, pulso, respiração e pressão arterial, os quais devem ser mantidos estáveis pelo usuário. Em caso de imperícia, esses parâmetros sofrem alterações que podem levar ao óbito do paciente, exigindo a rápida intervenção do usuário no contorno ao problema. Adicionalmente, em tempo de execução, o simulador deve ajustar a precisão dos sinais vitais de acordo com o nível de habilidade do usuário, aumentando ou diminuindo o nível de realismo e a dificuldade da intervenção, à medida que o profissional demonstra, respectivamente, perícia ou pouca habilidade no manuseio dos instrumentos.

2.4 Corpos Deformáveis

Os órgãos humanos são modelados como corpos volumétricos deformáveis regidos por Dinâmica, gerados a partir de modelos 3D, os quais são representados por malhas de vértices. A representação desses objetos na aplicação baseia-se em uma técnica simples, porém eficaz, na qual uma malha fechada descrita através de um sistema massa-mola adquire formas volumétricas quando sujeita à aplicação de pressão, nos vértices da estrutura [Matyka e Ollila 2003]. Na primeira versão do protótipo, o uso do modelo de pressão tem gerado instabilidades à medida que a complexidade do objeto volumétrico aumenta, demandando estudos adicionais para simplificar, sem perda de detalhamento, tanto a malha de vértices, quando o modelo de deformação sendo aplicado.

2.5 Programação em Nível de GPU

Apesar do poder de processamento disponível nos computadores atuais, a simulação de corpos deformáveis apresenta-se como uma atividade de alto custo computacional. Como as integrações envolvendo corpos volumétricos baseiam-se na execução de uma mesma instrução em um grande conjunto de dados (*SIMD*), é possível transferir todos os eventos desse tipo para a GPU, tornando o processamento paralelo. A integração de todos os vértices do objeto 3D é realizada pela GPU, através da transferência dos dados que descrevem o corpo para a memória da placa de vídeo e a conversão das instruções

que compõem a integração em *threads*, a serem processadas pela GPU, através da linguagem CUDA [Sanders e Kandrot 2010].

3. Conclusões Preliminares e Trabalhos Futuros

Concluimos que este tipo de aplicação constitui-se uma ferramenta alternativa bastante dinâmica e motivadora para treinamento de profissionais da Saúde. Devido ao grande volume de dados transferido entre a CPU e a GPU durante a integração, os ganhos no processamento heterogêneo ainda não são notáveis. A avaliação de estruturas de dados alternativas para a representação do corpo deformável na GPU e a redução da transferência de dados entre GPU e CPU através do envio direto destes para o *pipeline* de renderização podem ser alternativas aceleradoras do desempenho do simulador. Os desafios, contudo, são muitos e vão desde do conhecimento das tecnologias de ponta envolvidas, até a validação da aplicação. Apesar do estágio ainda inicial e em andamento do protótipo sendo implementado, podemos antever diversas possibilidades de trabalhos futuros. Por exemplo, pretendemos verificar a integração da aplicação com sensores de movimento e realizar testes qualitativos para validar a aplicação.

Referências

- Bauer, A., Cooper, S., Popovic, Z. (2013). Automated Redesign of Local Playspace Properties. FGD, p. 190-197.
- Brodtkorb, A. R., Hagen, T. R., e Sætra, M. L. (2013). Graphics processing unit (GPU) programming strategies and trends in GPU computing. *JPDC*, 73(1):4–13.
- Esteban, G., Fernández, C., Conde, M., e García-Peñalvo, F. (2014). Playing with SHULE: Surgical haptic learning environment. In *Proc. of TEEM'14*, p. 247–253, NY, USA.
- Fan, Y., Litven, J., and Pai, D. K. (2014). Active volumetric musculoskeletal systems. *ACM TOG*, 33(4):152:1–152:9.
- Gaudina, M., Zappi, V., Bellanti, E., e Vercelli, G. (2013). Elaparo4d: A step towards a physical training space for virtual video laparoscopic surgery. In *CISIS'13*, p. 611–616, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Geomagic (2015). Phantom Omni. <http://geomagic.com/en/products/phantom-omni/>.
- Kim, M., Chen, G., and Hansen, C. (2012). Dynamic particle system for mesh extraction on the GPU. In *Proc. of the GPPGPU'2012*, p. 38–46. ACM Press.
- Matyka, M. and Ollila, M. (2003). Pressure model of soft body simulation. In *Proc. of the SIGRAD'2003*, UMEA, p. 29–34.
- NovInt (2015). Novint Falcon. <http://www.novint.com/index.php/novintfalcon>.
- Rhienmora, P., Gajananan, K., Haddawy, P., Dailey, M. N., and Suebnukarn, S. (2010). Augmented reality haptics system for dental surgical skills training. In *Proc. of the ACM VRST'2010*, p. 97–98. ACM Press.
- Sanders, J., and Kandrot, E. (2010) *CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming*, Addison-Wesley.
- Wang, D., Zhang, Y., Hou, J., Wang, Y., Lv, P., Chen, Y., and Zhao, H. (2012). Idental: A haptic-based dental simulator and its preliminary user evaluation. *IEEE Trans. Haptics*, 5(4):332–343.
- Zhang, J.-S., Chen, H., Wu, W., and Heng, P.-A. (2010). An interactive high-fidelity haptic needle simulator with GPU acceleration. In *Proc. of the ACM VRCAI'2010*, p. 347–352.