

NeuroR - Realidade virtual aplicada à reabilitação de pacientes neurovasculares

Gilda Aparecida de Assis¹, Cicero José Nunes Vaz²,
Marcelo K. Zuffo¹ e Roseli de Deus Lopes¹

¹Laboratório de Sistemas Integráveis - Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP)
Av. Prof. Luciano Gualberto, 158 - trav.3 - CEP - 05508-900
São Paulo SP - Brasil - (0xx11) 3091 5661

²Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo - Brasil
{gilda, mkzuffo, roseli}@lsi.usp.br, cicerov@usp.br

Resumo

Este artigo apresenta uma proposta de utilização da realidade virtual imersiva de multi-projeção no tratamento de reabilitação de pacientes com danos neurológicos, vítimas de problemas neurovasculares. Os experimentos em realidade virtual propostos pretendem estimular a neuroplasticidade dos pacientes. A fundamentação do trabalho está em resultados positivos obtidos com tratamentos em pacientes graves utilizando robótica. Nestes experimentos observou-se que o uso do robô proporcionou a modulação sináptica nas primeiras fases da reabilitação dos pacientes. São apresentados os principais requisitos para o ambiente virtual bem como cenários e mecanismos de interação adequados ao processo de reabilitação.

Palavras-chave

Realidade virtual, reabilitação, medicina física

Abstract

This paper presents a proposal of the use of multi-projection immersive environments in the rehabilitation treatment of patients with neurological impairment, victims of neurovascular problems. The experiments in virtual reality intend to stimulate the neuroplasticity of the patients. The basis of the work is in positive results obtained with treatments of serious patients using robotic. In these experiments it was observed that the use of the robot provided the synaptic modulation in the first phases of the rehabilitation of the patients. The main requirements for the virtual environment as well as scenes and adequate mechanisms of interaction to the rehabilitation process are presented.

Keywords

Virtual reality, rehabilitation, physical medicine

Introdução

O processo de reabilitação de pacientes que tiveram um dano neurológico (causado por derrame, trauma) é possível dentro de certos limites. É a neuroplasticidade ou plasticidade cerebral que provê flexibilidade ao cérebro de forma que o sistema nervoso possa se modificar e responder aos estímulos. Ela possibilita o surgimento de modificações funcionais nas conexões entre dois ou mais centros nervosos, reforçando ou atenuando as informações transmitidas entre eles. Existem técnicas mais eficientes do que outras para realizar esse trabalho. Atualmente, se pensa em reabilitação não só de doenças recorrentes de lesões agudas, de derrames, mas de lesões crônicas como as que ocorrem nas demências ou na doença de Alzheimer [Varela, 2005]. Entretanto, o processo de reabilitação é lento e, particularmente, no tratamento de pacientes no estágio grave, os resultados iniciais são ainda difíceis de se obter.

No Brasil existe uma grande demanda por tratamentos em reabilitação. O objetivo do tratamento é promover a modulação sináptica (imagem motora), de forma que outra região do cérebro possa assumir as funções da região danificada. A modulação sináptica busca modificar ou reestruturar as conexões entre os neurônios (sinapses).

Existem relatos de resultados clínicos positivos em reabilitação utilizando o robô desenvolvido pelo *Newman Laboratory for Biomechanics and Human Rehabilitation* do MIT. Os estudos mostraram que pacientes que receberam a terapia assistida por robô tiveram uma reabilitação mais rápida que pacientes que não utilizaram o robô [MIT, 1998]. O tratamento com o robô foi utilizado em pacientes no estágio grave. Eles eram submetidos a seções de 4 a 5 horas com o braço robótico, em que os pacientes eram incumbidos de realizar uma tarefa, como mover um objeto na tela. Quando os bio-sensores não registravam qualquer sinal do cérebro, o robô realizava o movimento para o paciente. Após algumas seções, observou-se que os pacientes se tornaram capazes de realizar o movimento, ou seja, desenvolveram alguma modulação sináptica no cérebro para a execução da ação (Figura 1).



Figura 1 - Robô [MIT, 1998]

[Riva et al, 2004], afirma que a realidade virtual oferece um conjunto de atributos atrativos para a reabilitação e o mais explorado deve ser a habilidade de criar simulações 3D da realidade que podem ser exploradas por pacientes sob a supervisão de um terapeuta. [Riva et al, 2004] sugere ainda que é possível utilizar realidade virtual em aplicações de

reabilitação focadas em uma estratégia denominada de transformação de fluxo. [Csikszentmihalyi, 1990], define fluxo como um estado ótimo de consciência caracterizado por um nível de concentração tão alto que equivale à absorção absoluta em uma atividade.

A proposta do projeto NeuroR é utilizar a RV imersiva de multi-projeção na reabilitação de pacientes graves vítimas de problemas neurovasculares. Os experimentos com a terapia assistida por robô mostraram resultados positivos nos estágios iniciais do tratamento de pacientes graves, quando os pacientes não emitiam qualquer sinal neurológico. Da mesma forma, acredita-se que o uso da RV em experimentos em que o paciente sem emitir qualquer sinal neurológico realiza a tarefa proposta no ambiente virtual pode proporcionar resultados tão positivos quanto os obtidos com a terapia robótica.

Este artigo apresenta um sistema de realidade virtual para a reabilitação de pacientes neurovasculares e está estruturado da seguinte forma: Na seção 2 são apresentados alguns trabalhos correlatos. Na seção 3 é descrita a metodologia adotada para o projeto. Na seção 4 são apresentados os resultados do projeto até o momento. Por fim, na seção 5 tem-se as principais conclusões do trabalho e propostas de desdobramentos futuros.

1. Trabalhos correlatos

O uso da RV tem sido explorado em muitas áreas da reabilitação física e mental. Muitos trabalhos sobre reabilitação e RV foram publicados em 2004. [Kenyon, 2004], descreve uma proposta de tele-reabilitação em que uma rede de alta velocidade e baixa latência conecta um centro de reabilitação e uma clínica remota. Na Figura 2 o terapeuta (esquerda) manipula um dispositivo háptico com realimentação de força (*force feedback*) enquanto visualiza a paciente remota em display auto-stereo. A paciente (direita), por sua vez, visualiza o terapeuta com alta resolução de áudio e vídeo, em um monitor de plasma orientado verticalmente.



Figura 2 Tele-reabilitação. [Kenyon, 2004]

[Sparto, 2004], apresenta uma justificativa teórica para o uso de um *display* com um campo de visão grande (Cave) em sistemas RV para a reabilitação vestibular. A reabilitação vestibular tem como objetivo eliminar distúrbios do equilíbrio corporal. [Sparto, 2004] identificou, através de experimentos, que para o fluxo óptico anterior-posterior, o campo de visão é um fator importante na percepção do próprio movimento.

Em [Adamovich et al, 2004], são apresentados resultados que indicam melhorias com o uso de um sistema RV para reabilitação da mão, o qual utiliza luvas com sensores de

movimento em cada dedo para monitorar o dedo, a palma e o pulso e também luvas hápticas, com *feedback* de força (Figura 3). Observou-se nos testes clínicos que ocorreram melhorias no componente garra mas não no componente de transporte do movimento. Também notou-se um aumento na faixa de movimento dos dedos em pacientes com severa espasticidade (condição na qual certos músculos são continuamente contraídos) e reduções significativas nos tempos para completar as tarefas. Os resultados positivos deste sistema de exercícios de RV aplicada à reabilitação de pacientes com disfunção da mão causada por danos neurológicos motivaram o desenvolvimento do sistema NeuroR.

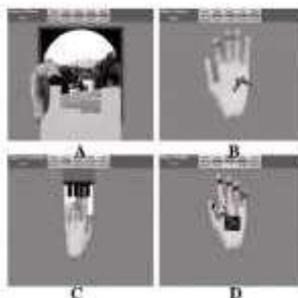


Figura 3 - Telas de exercícios RV para faixa de movimento (A), velocidade do movimento (B), fracionamento dos dedos e (D) força dos dedos [Adamovich et al, 2004]

2. Metodologia

A metodologia de trabalho adotada para o estudo da realidade virtual aplicada à reabilitação de pacientes neurovasculares graves consiste em:

1. Reuniões com especialistas em medicina física para definição dos requisitos e cenários de uso do sistema. Este projeto contou com o apoio do Dr. Cícero, membro do Centro de Reabilitação do Hospital Albert Einstein em São Paulo.
2. Visitas a centros de reabilitação para identificação dos recursos utilizados atualmente nos tratamentos convencionais. Dentre eles cita-se: Esteiras elétricas.; Monitor de batimentos cardíacos; Aparelhos diversos para membros superiores e inferiores; Sala de *biofeedback*; Barras paralelas; Espaço para atividades do cotidiano: Cozinha, supermercado, trabalhos manuais; Pista para marcha (caminhada); Hidroterapia; Salas de terapia em grupo; Veículo.
3. Análise e modelagem do sistema que será desenvolvido.
4. Desenvolvimento participativo do sistema, com o apoio da equipe de especialistas em medicina física.
5. Testes intermediários com protótipos parciais junto com grupo representativo do público-alvo.
6. Seleção de um grupo de controle de pacientes para tratamento de reabilitação com o uso de RV, com a orientação e controle de uma equipe médica.
7. Registro e análise dos resultados obtidos com o tratamento.
8. Comparação entre os resultados obtidos com o grupo de controle e resultados obtidos com tratamento convencional, sem RV. Se possível, comparar resultados com tratamento utilizando o robô. Neste último caso torna-se necessário efetuar primeiramente um levantamento dos dados coletados no tratamento utilizando o robô.

3. Desenvolvimento do NeuroR

Foram levantados alguns requisitos para o sistema junto aos especialistas. Entre eles:

- * O principal desafio em reabilitação é a recuperação do movimento dos membros superiores. Assim, optou-se por elaborar experimentos para estimular a imagem motora nos ombros, braços, antebraços e mãos.
- * Abordagem inicial distal (dedos, mais funcional) ao invés da abordagem proximal (ombro, menos funcional). O robô desenvolvido inicialmente no *Newman Laboratory for Biomechanics and Human Rehabilitation* do MIT era um robô proximal. Atualmente está sendo desenvolvido um robô distal (*grasping*) no laboratório do MIT. Entretanto, a nossa proposta é iniciar com experimentos distais, pois os movimentos distais são mais funcionais.
- * Alto grau de realismo. Como é provável que os pacientes tenham problemas cognitivos, é importante desenvolver cenários virtuais muito próximos da realidade, para evitar o agravamento das deficiências cognitivas.
- * A representação do paciente no cenário deve ser contínua. É adequado representar todo o braço do paciente no mundo virtual, ao invés de representar apenas a mão.

Também foram definidos alguns cenários virtuais para o tratamento de reabilitação (Tabela 1).

Tabela 1 - Cenários de reabilitação propostos

<i>Com déficit Cognitivo</i>	<i>Sem déficit cognitivo</i>
Cenário de alcance e meta Monoarticular: Agarrar bola (só a mão agarra)	Genius Monoarticular
Cenário de alcance e meta Poliarticular: Agarrar bola (mover o braço, agarra e volta)	Genius Poliarticular

3.1. Implementação

Foram desenvolvidos dois cenários no sistema, que são apresentados a seguir.

3.1.1. Cenário de trânsito sem curvas e sem ruído

Este cenário será utilizado para atividades de marcha em linha reta. Ele compreende ruas, calçadas, faixas de pedestre, edificações e veículos (Figura 4). O modelo foi desenvolvido no Blender¹ (programa de criação 3D open source) e exportado para X3D para visualização na Caverna Digital utilizando o visualizador Jinx. Caverna Digital é a primeira

¹ <http://blender.org/cms/Home.2.0.html>

CAVE construída na América Latina e ela é composta de 5 lados, com dimensões de 3mx3mx3m, suportada por aglomerados de computadores. O Jinx pode ser usado como um visualizador ou como uma biblioteca de gerenciamento de outras aplicações para ambientes imersivos de multi-projeção, baseados em aglomerados de computadores. Jinx permite alguns níveis da manipulação e da interação com os modelos apresentados. O usuário pode, usando diferentes tipos de interfaces (como joysticks, sistemas de rastreamento, mouse e teclado) fazer movimentos como: rotacionar, mover e selecionar [Zuffo, 2004].



Figura 4 - Cenário 1 - Trânsito

3.1.2. Cenário Genius 3D

Trata-se de um jogo de memória visual e sonora. Quando o paciente se aproxima do tabuleiro do jogo é apresentada uma seqüência de luzes e sons que deve ser seguida pelo paciente. O modelo foi desenvolvido no Blender e consiste em 6 caixas (Figura 5). Algumas das caixas “mudam” de cor e emitem sons em uma seqüência aleatória.

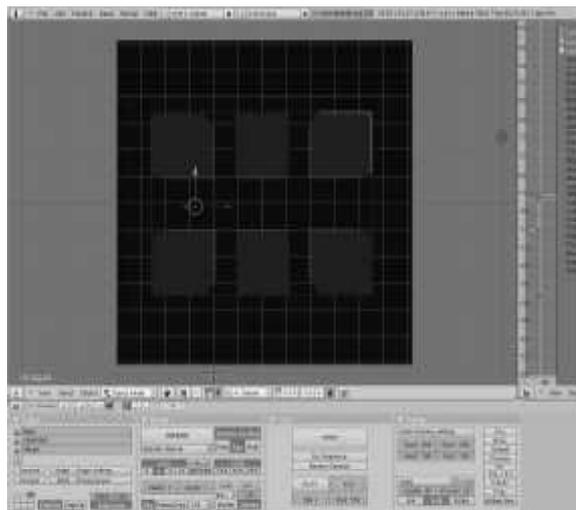


Figura 5 - Cenário 2 - Genius 3D

3.2. Interface

A interface homem-máquina é um elemento imprescindível para a aceitação de um sistema interativo pelo usuário. Estudos mostram que o usuário, muitas vezes, prefere um sistema com uma interface “agradável” a um que ofereça maior funcionalidade ou desempenho às custas de uma interface mais pobre, uma vez que a eficiência do usuário é influenciada pela interface [Queiroz et al, 1998].

A interação com um mundo virtual em um ambiente imersivo é um fator crítico para o sucesso das aplicações. Embora o crescimento nesta área seja sensível nos últimos anos, ainda há muito o que avançar para que o usuário interaja com naturalidade e eficiência [Góes, 2003]. E como no sistema NeuroR também se pretende utilizar dispositivos de entrada e saída não convencionais com usuários que apresentam deficiências cognitivas, o projeto de uma interface de qualidade torna-se ainda mais desafiador.

Nesta seção será apresentado o projeto de uma tarefa interativa no cenário Genius 3D do NeuroR. Existem várias técnicas possíveis para modelar tarefas como GOMS, TAGS e UAN. Entretanto, nenhum dos modelos estudados até o momento possui peculiaridades dos sistemas imersivos como os tipos de ações possíveis (seleção, manipulação e navegação) e as categorias de tarefas interativas (interação direta, interação com controles físicos, interação com controles virtuais). Uma proposta é utilizar alguns diagramas UML (*Unified Modeling Language*) como diagramas de atividades e casos de uso para essa modelagem de tarefas. Um caso de uso descreve as possíveis seqüências de interações entre o sistema e um ou mais atores em resposta a algum estímulo inicial de um dos atores. Uma atividade, por sua vez, é uma operação dentro de um estado que leva um certo tempo para completar. A atividade pode ser interrompida por um evento, que causa uma transição de estado [Rumbaugh, 1996]. A ferramenta utilizada na modelagem dos diagramas foi o *Umbrello Modeller para Linux*. A Figura 6 apresenta o diagrama de atividades para a tarefa interativa desenvolvida no Genius 3D pelo paciente. Primeiramente, o terapeuta determina a quantidade máxima de movimentos para a sessão com o paciente (n), podendo definir inclusive a quantidade de repetições que o paciente deve executar para cada número de movimentos. A seguir, são geradas aleatoriamente seqüências de 1 a n cubos. Para cada cubo são produzidas duas animações. A primeira compreende um movimento de luz (de forma a iluminar o objeto); um movimento do cubo (como pressionar um botão) e a emissão de um som. A segunda animação é o inverso da primeira, ou seja, é um retorno à situação inicial. Essas animações são calculadas e incorporadas ao arquivo X3D. Após a execução de uma seqüência de animação, o usuário deve informar se deseja revê-la ou se já está pronto para repeti-la. Se o usuário optar por executar a seqüência de movimentos, o sistema registrará em um arquivo os movimentos realizados. Estes movimentos bem como a seqüência original poderão ser analisados posteriormente pelo terapeuta. O sistema não emite qualquer consideração sobre os "acertos" ou "erros" do usuário. Assim, a atividade Exibir resultado apenas informa que a quantidade de movimentos da seqüência já foi atingida. Após a quantidade de movimentos ser realizada pelo usuário, a próxima seqüência do arquivo X3D tem início.

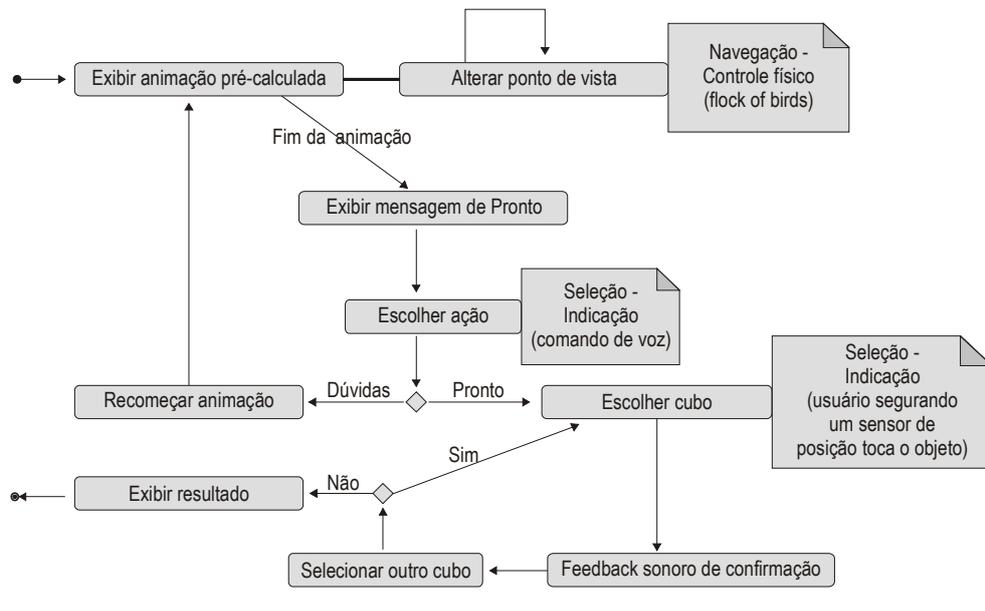


Figura 6 - Tarefa interativa no Genius 3D

4. Conclusão e trabalhos futuros

Neste artigo apresentamos um levantamento de requisitos e cenários para um sistema RV imersivo de multi-projeção para a reabilitação de pacientes graves, vítimas de problemas neurovasculares. Nós acreditamos que com a realidade virtual as funções motoras podem ser recuperadas mais rapidamente.

O projeto está em desenvolvimento. Como continuidade pretende-se capturar movimentos harmônicos no Laboratório de Análise do Movimento e incorporá-los ao avatar (modelo virtual representativo do usuário no sistema). Esta decisão foi motivada pelos experimentos com o robô do MIT mostraram que é melhor exibir o movimento do modelo virtual como de uma pessoa normal. Também serão inseridas as animações nos modelos X3D. O exportador para formato X3D disponível no software Blender não exporta as animações desenvolvidas no modelo. Essas animações devem ser inseridas no documento X3D como uma combinação de elementos do tipo *route*, *timesensor*, *positioninterpolator* e *time*. Também serão implementados mecanismos de interação com os elementos do cenário dentro da Caverna Digital.

Bibliografia

- [Adamovich et al, 2004] Adamovich, S. V.; Merians, A. S.; Boian, R.; Tremaine, M.; Burdea, G. S.; Recce, M.; Poizner, H. **A Virtual Reality Based Exercise System for Hand Rehabilitation Post-Stroke: Transfer to Function**. In: Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS. San Francisco, USA. September 1-5, 2004.
- [Csikszentmihalyi, 1990] Csikszentmihalyi, M. **Flow: The psychology of optimal experience**. New York, HarperCollins, 1990.
- [Góes, 2003] Góes, Vicente Pimentel de Sampaio. **Fadas: um sistema de autoria para criação e manipulação de mundos virtuais em ambientes imersivos**. [Dissertação]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2003.
- [Varella, 2005] Varella, Drauzio. Neuroplasticidade e reabilitação. http://www.drauziovarella.com.br/entrevistas/plasticidade_neuronal6.asp, acessado em dezembro de 2005.
- [MIT 1998] MIT. MIT robot is promising tool for rehabilitation of stroke victims. <http://web.mit.edu/newsoffice/2005/stroke-robot.html>, acessado em dezembro de 2005.
- [Riva et al, 2004] Riva, Giuseppe; Mantovani, Fabrizia; Gaggioli, Andrea. **Presence and rehabilitation: toward second-generation virtual reality applications in neuropsychology**. In: Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2004.
- [Rumbaugh, 1996] RUMBAUGH, JAMES. **OMT Insights: perspectives on modeling from the Journal of Object-Oriented Programming**. New York: SIGS Books, 1996, 390p.
- [Kenyon, 2004] Kenyon, Robert V.; Leigh, Jason. **Networked Virtual Environments and Rehabilitation**. In: Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS. San Francisco, USA. September 1-5, 2004.
- [Queiroz et al, 1998] QUEIROZ, L. R., BERGERMAN, M., MACHADO, R. C., BUENO, S. S., ELFES, A. Educação a Distância em Robótica e Visão Computacional. Disponível em <<http://www.inf.ufsc.br/sbc-ie/revista/nr3/Queiroz03.htm>>. Acesso em 10 maio 2005.
- [Sparto, 2004] Sparto, P. J.; Furman, J. M. ; Whitney, L. S.; Rodges, L. F.; Redfern, M. S. **Vestibular Rehabilitation Using a Wide Field of View Virtual Environment**. In: Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS. San Francisco, USA. September 1-5, 2004.
- [Zuffo, 2004] ZUFFO. M. K. et al. JINX: "An X3D Browser for VR Immersive Simulation Based on Clusters of Commodity Computers" . Web3D 2004 Symposium, Monterrey, 2004.