

DESENVOLVIMENTO DE JOGOS APLICADOS A REABILITAÇÃO DO MEMBRO SUPERIOR HUMANO

L. A. O. Rodrigues*, R. S. Gonçalves*

* Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, Brasil.
e-mail: rsgoncalves@mecanica.ufu.br

Resumo: A ciência da reabilitação mostra que movimentos repetidos dos membros humanos podem ajudar na recuperação/habilitação dos movimentos do paciente. Desta forma, este trabalho apresenta o desenvolvimento de jogos aplicados à reabilitação do membro superior, assistido por uma estrutura robótica paralela atuada por cabo desenvolvida para o mesmo propósito.

Palavras-chave: Reabilitação, controle Wii, games, robôs.

Abstract: *The science of rehabilitation shows that repeated movements of human limbs can help the patient regain function in the injured limb. Thus, this paper describes the development of games to help in the rehabilitation process of the upper limb, assisted by a cable-based parallel robot developed for the same purpose.*

Keywords: *Rehabilitation, Wii remote, games, robots.*

Introdução

Os avanços nas tecnologias aplicadas à robótica são crescentes e suas aplicações nos setores médicos crescem proporcionalmente. Como consequência, os robôs são agora uma ferramenta útil na reabilitação dos membros superiores e inferiores [1]. Este fato estimula o desenvolvimento de novas estruturas e métodos para esta área, que também é o objetivo principal deste trabalho. Estas estruturas robóticas podem ser agrupadas em robôs seriais e robôs paralelos.

Os robôs seriais possuem vários propósitos para reabilitação do membro superior. Os mais comuns são o de auxílio de força, recuperação de músculos atrofiados, reabilitação e exercícios em geral para o membro superior. A maioria é atuada por servomotores ou motores DC, sendo que algumas utilizam atuadores pneumáticos como em [2], utilizada para auxílio muscular. A estrutura denominada “iPAM” [3], e o exoesqueleto para reabilitação de todas as articulações do braço humano, desenvolvido por [4] exemplificam os mecanismos atuados por motores DC com o propósito de terapia. Contudo os sistemas seriais podem ser pesados e requerem maiores cuidados com a segurança durante a operação. As estruturas paralelas, em comparação com os exoesqueletos seriais, são menos aplicadas à reabilitação do membro superior de uma forma geral. Entretanto, as estruturas paralelas geralmente são mais leves e possuem um

posicionamento mais exato, pontos que auxiliam na segurança do equipamento durante a operação. Os manipuladores paralelos atuam sobre o paciente de forma indireta (através da movimentação da plataforma móvel). Porém, o uso destes implica num controle mais sofisticado sobre a trajetória a se seguir, o que pode dificultar o uso correto do equipamento sem o devido treinamento prévio. Um exemplo deste tipo de mecanismo é a estrutura proposta por [5], que corresponde uma estrutura paralela com atuadores pneumáticos. O deslocamento dos cilindros possibilita a movimentação do apoio central (centro da plataforma móvel), de forma a realizar os movimentos básicos do punho.

Neste trabalho será abordado um breve estudo acerca das tecnologias aplicadas à reabilitação e apresentada uma nova aplicação utilizando-se do *Wii remote* para uma estrutura robótica paralela. Finalmente serão apresentados resultados práticos dos jogos desenvolvidos.

A estrutura robótica utilizada

Os jogos desenvolvidos neste trabalho serão utilizados juntamente com a estrutura para reabilitação proposta por [6]. Esta estrutura paralela é atuada por quatro cabos sobre o paciente, Fig. 1. Os cabos são acionados por motores DC acoplados a encoders e o controle é realizado a partir de células de carga.

A estrutura opera segundo o modelo “*Learning by Demonstration*”, onde o operador aciona o modo de ensino e realiza o movimento na estrutura de forma manual, da mesma forma na qual o movimento deve ser executado pela estrutura. Os pontos gerados pelo movimento serão salvos e o modo de execução poderá ser ativado, onde o movimento ensinado pelo operador será replicado pelo equipamento [6].

Com o desenvolvimento dos jogos apresentados neste trabalho, acoplados a esta estrutura robótica, será possível auxiliar o paciente a realizar os movimentos de reabilitação, enquanto estes estiverem interagindo com os jogos. Também será possível ao profissional da saúde avaliar as melhorias dos pacientes através da pontuação e da dificuldade dos jogos.



Figura 1: Protótipo da estrutura robótica.

Jogos desenvolvidos aplicados à reabilitação

O uso de jogos no processo de reabilitação para diversos casos é um tópico frequente nas pesquisas atuais. Os tratamentos mais aplicados consistem na recuperação de pacientes que tiveram um acidente vascular cerebral, pois é notável a perda parcial da capacidade de movimentação de pelo menos um membro em 66% dos sobreviventes de derrame [6].

Os jogos foram desenvolvidos para a estrutura apresentada na Fig. 1, com o objetivo de serem operados utilizando um *Wii Remote*. Este sistema foi escolhido devido ao seu baixo custo e facilidade de se trabalhar.

Os jogos foram desenvolvidos no software Gamemaker 8.1, para a estrutura com o objetivo de serem operados utilizando o *Wii Remote* interfaceado com um computador utilizando o software glovePIE IDE. Os jogos deverão ser operados facilmente usando apenas o controle, e que sejam um ambiente de fácil aprendizagem, para que pessoas de diversas idades possam interagir com os mesmos. Utilizando este software, foi possível desenvolver os jogos orientando-os a comandos no teclado e mouse e, posteriormente, associando tais comandos aos acelerômetros do controle, fazendo uma analogia aos movimentos de um helicóptero (Rolagem, arfagem e guinada). O movimento de arfagem, *pitch* do inglês, se dá em torno do eixo X, o de rolagem, em inglês *roll*, em torno do eixo Y e a guinada, chamada *Yaw*, em torno do eixo Z. A Figura 2 ilustra estes movimentos.

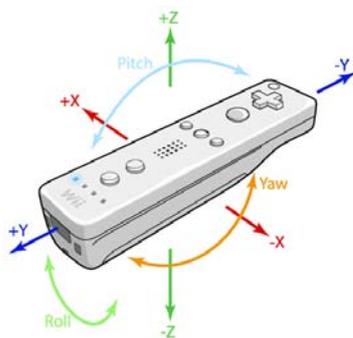


Figura 2: Movimentos do controle Nintendo Wii.

O primeiro jogo foi desenvolvido para trabalhar a movimentação do punho. Neste jogo, o antebraço do paciente deverá estar apoiado sobre um suporte, enquanto a mão estará fixada a base utilizada para os movimentos do punho juntamente com o controle. O jogo possui um tema espacial, onde o objetivo é destruir os asteroides que vem na direção do jogador antes que a nave seja destruída. A nave dispõe de um canhão controlado pelo jogador para se defender. O jogador irá posicionar o canhão movimentando o pulso e irá atirar utilizando o botão “A” do controle, que deverá estar posicionado abaixo de seu dedo indicador. A mira do canhão está inicialmente no centro da tela do jogo e os asteroides aparecem em posições aleatórias da tela, o que estimula o jogador a mover o canhão ao longo de toda a tela, conseqüentemente movimentando a articulação do punho globalmente para atingir os locais desejados.

O segundo jogo atua sobre a articulação do ombro. O paciente deverá estar utilizando uma órtese para imobilização do membro superior, de forma que somente o ombro esteja com a movimentação livre. O *Wii Remote* estará acoplado a órtese próximo à mão, perpendicular ao eixo do antebraço. O jogo possui uma área onde o jogador controla um avião que deverá desviar dos balões que aparecem no seu caminho a fim de não causar um acidente. O controle do jogo é feito através da posição do braço, onde o avião sobe e desce de acordo a altura em que o braço se encontra, e se desloca para frente e para trás conforme o paciente gira o membro superior. A Figura 3 ilustra o jogo.

O terceiro jogo desenvolvido visa trabalhar o movimento de supinação-pronação do cotovelo. Para a operação correta deste jogo, o paciente deverá estar com o braço apoiado sobre o suporte e segurando o *Wii Remote* com a mão, de forma que o cotovelo esteja com sua movimentação livre. O tema do jogo é um arcade que lembra os jogos clássicos da década de 80, similar aos famosos *Pinball* e *Tetris*. O objetivo do jogador é lançar as bolas que entram no cenário na sua devida saída, controlando a direção da gravidade na sala. As bolas deverão ser separadas de acordo com a sua cor. Todas as bolas entram no cenário em um mesmo ponto, e as saídas estão opostas nas laterais da sala. Na Figura 4 é mostrado o jogo.

O controle sobre a gravidade no jogo é o que gera o entretenimento do jogo. A gravidade pode ser direcionada para as laterais, executando uma rolagem sobre o controle. Ou para cima e para baixo, pressionando o botão “B” do *Wii Remote*. Neste jogo, o eixo Y do controle coincide com o a posição anatômica do cotovelo para a supinação-pronação. Desta forma, todos os movimentos laterais do jogo são diretamente proporcionais às rotações do cotovelo.

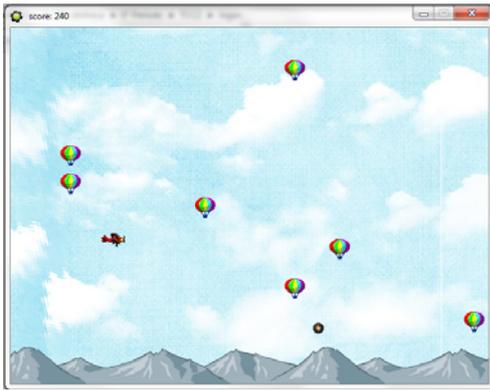


Figura 3: Cenário do jogo desenvolvido para a reabilitação do ombro.

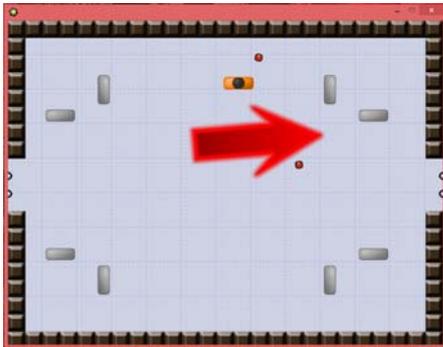


Figura 4: Cenário jogo intitulado “Gravity balls”.

Deve-se destacar que estes jogos devem ser utilizados com a supervisão de um profissional da saúde que irá configurar os parâmetros do jogo em função da deficiência do paciente. O profissional da saúde poderá escolher entre diferentes fases em função das lesões e dificuldades dos pacientes permitindo aumentar gradativamente a dificuldade do jogo ou diminuí-la.

Resultados

Uma vez concluídos os jogos propostos neste trabalho, iniciou-se o processo de testes dos mesmos em duas fases. A primeira fase de testes, intitulada fase “Alfa”, foi conduzida pelos autores do trabalho. O objetivo desta fase era localizar possíveis “bugs” nos jogos, dimensionar adequadamente a dificuldade dos jogos, a sensibilidade dos controles, o design dos recursos utilizados e os esforços físicos e mentais necessários para cada jogo. Esta fase de testes durou cerca de seis meses e acarretou várias melhorias na programação dos jogos e da interface com o controle, através de melhorias orientadas a testes.

Após o término da fase “Alfa”, os níveis de dificuldade e interação dos jogos encontraram-se ajustados. Iniciou-se então a segunda fase de testes, intitulada fase “Beta 1.0”. Durante esta etapa, realizaram-se testes dos jogos com o auxílio de 10 voluntários. Esta fase objetiva determinar os indicadores a serem referenciados para avaliação das melhorias dos pacientes ao longo do tempo.

O principal indicador monitorado é a pontuação. Em todos os jogos desenvolvidos, a pontuação está diretamente ligada à destreza do paciente com os movimentos de cada articulação. Assim, todos os voluntários jogaram os jogos repetidas vezes para que se determinasse a pontuação média de uma pessoa sem limitações de movimento do membro superior. A tabela 1 mostra os resultados obtidos.

Tabela 1: Relação de pontuação normal dos jogos.

Média de pontuação por jogos	
Jogo	pontuação normal
Space Shooter	Acima de 800 pontos
Balões à Vista!	Acima de 1500 pontos
Gravity Balls	Acima de 80 pontos

Após os testes, os voluntários também foram questionados quanto à sua opinião do jogo, considerando todos os aspectos de forma geral. Estes deveriam avaliar os jogos em níveis de 1 a 5, onde 1 é a pior nota e 5 a melhor nota. Com base nestes dados, é possível também perceber a aceitação média dos jogos pelos voluntários. A Figura 5 apresenta o gráfico com os resultados obtidos.

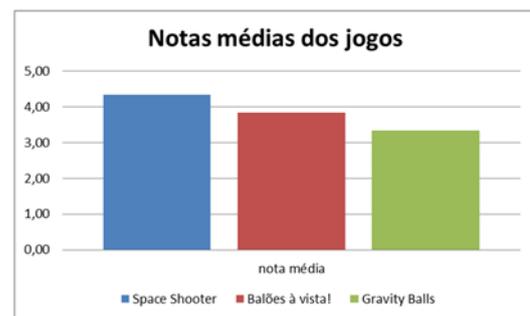


Figura 5: Gráfico com as notas médias dos jogos.

Uma vez comprovada a funcionalidade dos jogos pelos voluntários na fase “Beta 1.0”, iniciou-se o processo de teste dos jogos com o auxílio da estrutura robótica. Para tornar isto possível, a estrutura foi configurada para trabalhar em um modo similar ao de ensino. A estrutura foi então calibrada de forma a manter uma tensão constante nos cabos, o que faz com que a trajetória da mesma acompanhe de forma suave a movimentação do membro superior. Isto é possível, pois as células de cargas são configuradas para manter uma tensão constante. Logo, as movimentações do membro superior do jogador, por mínimas que sejam, podem ser detectadas e estas acionarão os motores a fazer o movimento em direção solidária à desejada pelo jogador.

Em outras palavras, sempre que os cabos são afrouxados, os motores trazem o braço do paciente para cima, e sempre que tensionados, trazem o braço para baixo, de forma similar ao modo de ensino. A função do uso da estrutura robótica é dar uma melhor sustentação ao membro superior lesionado suportando o peso do

mesmo e permitindo adquirir os dados dos movimentos realizados. A Figura 6 mostra uma foto do teste experimental realizado.

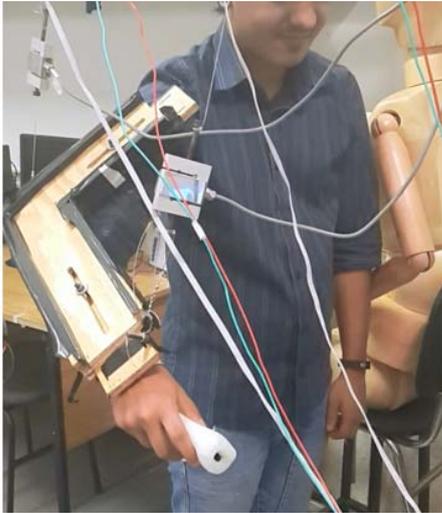


Figura 6: Teste do jogo utilizando a estrutura robótica.

Conclusões

Os dois primeiros jogos se mostraram eficientes e com uma boa resposta aos comandos dos jogadores, além da dificuldade ajustável através da sensibilidade do controle ser bastante útil para a progressão dos pacientes.

Uma vez dimensionados os jogos adequadamente e executados os testes em fase “Beta 1.0”, observou-se a real capacidade dos jogos de induzir os movimentos adequados para a realização dos exercícios necessários para auxiliar o processo de recuperação dos movimentos plenos do membro superior.

Embora os jogos aqui desenvolvidos possuam uma simplicidade visual quando comparados às produções recentes, elaboradas pelas grandes produtoras de jogos, estes cumprem o seu propósito de entretenimento casual durante um exercício de fisioterapia. Tal fato pode ser observado pela distribuição de notas dos voluntários.

Como trabalhos futuros serão acrescentados os resultados de desempenho em função de protocolos expandidos (leituras dos sensores em função de trajetórias pré-definidas).

Os dados obtidos neste trabalho favorecem a fase final de testes “Beta 2.0”, a qual deverá ser conduzida por pacientes voluntários em processo de reabilitação, com e sem o auxílio da estrutura robótica.

Por fim, destaca-se que a utilização de jogos constitui uma ferramenta moderna e de baixo custo que pode ser utilizada além do entretenimento para reabilitação dos movimentos do corpo humano.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FEMEC/UFU, FAPEMIG e ao CNPq pelo auxílio parcial para execução deste projeto.

Referências

- [1] Gonçalves, RS., Carvalho, JCM. Robot Modeling for Physical Rehabilitation. Service Robots and Robotics Design and Application. IGI Global, 2012, p. 154-175.
- [2] Tsagarakis, NG., Caldwell, DC. Development and Control of a ‘Soft-Actuated’ Exoskeleton for Use in Physiotherapy and Training. J. Autonomous Robots, vol. 15, p. 21-33, 2003.
- [3] Kemna S., Culmer, PR. Developing a User Interface for the iPAM Stroke Rehabilitation System. IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics. Kyoto, Japan, 2009.
- [4] Ren, Y., Park, HS., Zhang LQ. Developing a whole-arm exoskeleton robot with hand opening and closing mechanism for upper limb stroke rehabilitation. 2009 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics, Kyoto, Japan, 2009.
- [5] Takaiwa, M., Noritsugu, T. Development of Wrist Rehabilitation Equipment Using Pneumatic Parallel Manipulator. IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, 2005.
- [6] Nunes, WM., Rodrigues, LAO., Oliveira, LP., Ribeiro, J.F., Carvalho, JCM.; Gonçalves, RS. Cable-based parallel manipulator for rehabilitation of shoulder and elbow movements. In: International Conference on Rehabilitation Robotics - ICORR 2011, Zurich, 2011.
- [7] Burke, JW., McNeill, MDJ., Charles, DK., Morrow P. J. Serious Games for Upper Limb Rehabilitation Following Stroke, Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 2009.