

Acompanhamento e Monitoramento de Movimentos de Indivíduos por Avatar 3D em Tempo Real em um Sistema *Web* de Telemedicina

Matheus Maciel¹, Huei D. Lee¹, Leandro A. Ensina^{1,2}, Weber S. R. Takaki¹, Alexandre P. Ferraz¹, Wu F. Chung^{1,3}

¹Laboratório de Bioinformática (LABI), Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – Foz do Iguaçu, PR – Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Toledo, PR – Brasil

³Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Campinas, SP – Brasil

{matheus.maciel, huei.lee, alexandre.ferraz, wu.chung}@unioeste.br, leandroa@utfpr.edu.br, webertakaki@gmail.com

***Abstract.** The Movement Monitoring and Remote Analysis System in Telemedicine is a web application to monitor and analyze the movement of individuals with data collected by inertial sensors. Currently, the application is limited to data representation through line charts, making it difficult to analyze the respective activity in detail. Thus, this paper aims to develop and present the functionality for motion-tracking by a three-dimension avatar in real-time and evaluate it by measuring the delay time in data transmission. The result showed satisfactory quantitative performance with a delay of less than 304 milliseconds, including technical validation with domain experts.*

***Resumo.** O Sistema de Monitoramento de Movimentos e Análise Remota em Telemedicina é uma aplicação web para monitorar e analisar o movimento de indivíduos com dados coletados de sensores inerciais. Atualmente, a aplicação limita-se a representação dos dados por meio de gráficos de linhas, dificultando a análise pormenorizada da respectiva atividade. Assim, o objetivo desse trabalho foi desenvolver e apresentar uma função de acompanhamento de movimentos por avatar em três dimensões em tempo real e avaliá-la pela mensuração do tempo de atraso no envio de dados. Os resultados demonstraram desempenho quantitativo satisfatório com delay inferior a 304 milissegundos, incluindo a validação técnica com especialistas do domínio.*

1. Introdução

O Sistema de Monitoramento de Movimentos e Análise Remota em Telemedicina (SMMAR-T) é um sistema *web* que automatiza o método desenvolvido por Wu et al. (2019). Este método original permite o monitoramento e a análise ampla da mobilidade de articulações e de partes do corpo por meio de dados coletados de sensores inerciais para cada eixo do sistema ortogonal de coordenadas [Ensina et al. 2021]. O SMMAR-T, dentre as suas funcionalidades, permite que especialistas da área da saúde proponham planos de atividades para pacientes, e acompanhem-nos de maneira remota e em tempo real, além de prover suporte para a construção de curvas padrão de movimentos saudáveis

ou com lesão, individualmente para cada sujeito ou representativo para um grupo de indivíduos.

Na literatura, há obras que também empregam avatar em três dimensões (3D) para a avaliação de movimentos [Lee and Tang 2021; Zhao et al. 2021]. A utilidade dessa técnica está na possibilidade da criação de representações mais fidedignas de partes do corpo e de seus deslocamentos, auxiliando diretamente na análise dessas estruturas. Entretanto, essas obras apresentam interações limitadas, não permitindo realizar *zoom* no membro específico movimentado e rotacionar o avatar livremente, tampouco visualizar o deslocamento do corpo no avatar e em gráficos auxiliares simultaneamente.

Atualmente, o SMMAR-T possibilita acompanhar a atividade de seres humanos em tempo real por meio de gráficos de linhas. Portanto, a representação do movimento do indivíduo por avatar 3D pode potencializar a função já existente na referida aplicação, auxiliando especialistas e contribuindo no monitoramento e na análise do deslocamento de partes do corpo, de modo mais preciso e acurado. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver e apresentar uma funcionalidade de acompanhamento de movimentos de indivíduos por avatar 3D em tempo real no SMMAR-T [Coy et al. 2022], bem como avaliá-la pela mensuração do tempo de atraso no envio de dados.

2. Materiais e Métodos

As linguagens utilizadas para a implementação da função de representação de atividades de indivíduos em avatar 3D foram *HyperText Markup Language* (HTML), *Cascading Style Sheets* (CSS) e JavaScript na construção das páginas *web* do sistema e Java para a implementação da lógica de aplicação (servidor). Adicionalmente, foram empregadas as bibliotecas Chart.js para elaboração de gráficos e Three.js para gerar e animar o avatar 3D. Também foram aplicados os protocolos *HyperText Transfer Protocol Secure* (HTTPS) para criptografar a troca de mensagens entre o cliente e o servidor, e o WebSocket para a troca de dados em tempo real. A construção de páginas *web* responsivas foi realizada por meio do *framework* ZURB Foundation.

Com relação a geração e a movimentação do avatar, como mencionado, foi utilizada a biblioteca Three.js, a qual emprega dados no formato de ângulos em radianos para animar o personagem. Entretanto, os dados coletados pelo SMMAR-T correspondem a unidade de medida da aceleração, uma vez que são provenientes do sensor acelerômetro do *smartphone* do indivíduo. Frente a isso, as Equações (1), (2) e (3) foram empregadas para converter os dados de aceleração para ângulo [Tuck 2007, Fisher 2010].

$$\rho = \arctan\left(\frac{Ax}{\sqrt{Ay^2 + Az^2}}\right) \quad \Phi = \arctan\left(\frac{Ay}{\sqrt{Ax^2 + Az^2}}\right) \quad \theta = \arctan\left(\frac{\sqrt{Ax^2 + Ay^2}}{Az}\right)$$

(1)
(2)
(3)

sendo Ax , Ay e Az as acelerações nos eixos X, Y e Z, respectivamente, “ ρ ” e “ Φ ” as rotações nos eixos X e Y em relação à superfície, respectivamente, e “ θ ” a rotação do eixo Z em relação à gravidade.

Cabe destacar que a movimentação do avatar é efetuada por meio da inclinação do *smartphone*, acoplado a uma parte do corpo do paciente previamente estabelecida pelo especialista, conforme Figura 1. O processo inicia com o paciente, conectado ao SMMAR-T por meio do seu *smartphone*, acessando o plano de atividades proposto

previamente pelo especialista (Etapa 1), o qual contém informações como o movimento a ser realizado e a quantidade de repetições. Na sequência, ocorre a coleta da aceleração ao longo de toda a realização da atividade para os eixos X, Y e Z do acelerômetro no celular do paciente, posicionado na região do corpo indicada pelo profissional (Etapa 2). Estes dados (i.e., acelerações tridimensionais) são enviados para o dispositivo receptor do especialista (Etapa 3), o qual pode ser um *notebook*, *tablet* ou *smartphone*. Os valores da aceleração são convertidos em ângulos usando as Equações (1), (2) e (3) (Etapa 4) para realizar a animação do avatar, o qual pode ser visualizado em tempo real e remotamente pelo profissional (Etapa 5).

Em relação a avaliação experimental, neste trabalho o foco foi avaliar o tempo de atraso na funcionalidade de acompanhamento de atividades em tempo real por avatar 3D, considerando desde a coleta de dados no transmissor até o recebimento no receptor. Os equipamentos utilizados foram: **Servidor remoto** (computador com processador de dois núcleos Intel Xeon, 2GB de memória RAM e Sistema Operacional (SO) Ubuntu Linux 16.4); **Transmissor** (*smartphone* Samsung Galaxy J5 Prime, processador de quatro núcleos, 2GB de memória RAM e SO Android 8); **Receptor** (*notebook* Lenovo G40, processador Intel core i7 5005U, 8GB de memória RAM e SO Windows 10).

Nessa avaliação foram considerados o tempo de ida (Transmissor → Receptor) e de volta (Receptor → Transmissor) para cada mensagem de dados contendo o seguinte conteúdo: **ida** – aceleração para cada um dos três eixos do sistema ortogonal de coordenadas e um marcador de tempo; **volta** – marcador de tempo. Logo, o tempo total de atraso foi calculado a partir da subtração entre os tempos de ida e de volta no dispositivo transmissor. Ao todo, dez simulações de transmissão de dados de um minuto cada foram realizadas com taxa de amostragem de 10 Hz. Vale ressaltar que antes do início dos experimentos todos os aplicativos não essenciais para o funcionamento dos aparelhos, como o antivírus, foram desativados.

3. Resultados e Discussão

A visualização de movimentos apenas por gráficos não permite a percepção espacial explícita da localização do membro do paciente, bem como a sua trajetória durante a realização da atividade, o que pode impactar diretamente na realização correta de um determinado movimento e conseqüentemente na sua análise. Assim, embora a aceleração do movimento possa estar dentro da normalidade, o movimento pode apresentar algum aspecto a ser ajustado. Esse problema pode ser atenuado por meio da utilização de avatar, o qual permite representar de maneira mais acurada e precisa o deslocamento realizado, garantindo uma aferição mais completa.

Deste modo, a implementação da funcionalidade de representação da atividade do indivíduo em avatar 3D constituiu uma evolução da função de acompanhamento de movimentos de seres humanos em tempo real já existente no SMMAR-T. Esse tipo de representação de movimentos pode beneficiar o diagnóstico de lesões, o monitoramento do processo de reabilitação e o acompanhamento da regularidade da execução de atividades, assim como o diagnóstico de limitações, pois possibilita verificar se a execução do exercício está correta e o momento exato no qual ocorreu alguma anormalidade ou erro. Ainda, é possível que o paciente possa corrigir seu próprio movimento ao utilizar um avatar como referência e acompanhar sua evolução por meio da comparação da sua atividade atual com as antecessoras no personagem. Logo, diversas

especialidades médicas podem ser favorecidas pelo SMMAR-T com essa tecnologia, como ortopedia, fisioterapia e medicina esportiva.

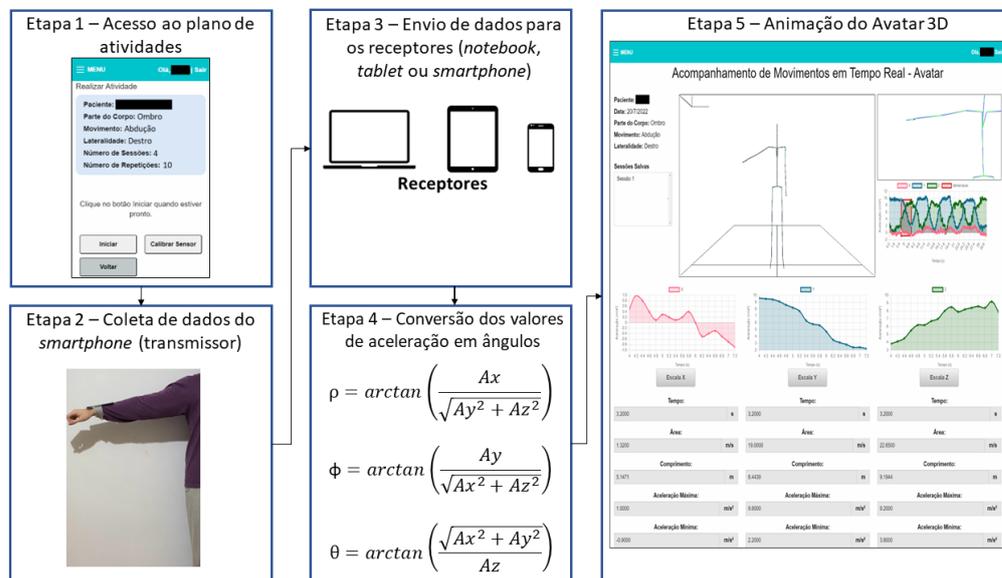


Figura 1. Método para representar movimentos de indivíduos em avatar 3D.

Na Figura 2 está representada a funcionalidade de acompanhamento de movimentos em tempo real. A reprodução de movimentos de indivíduo em um avatar 3D (Figura 2-A) auxilia na visualização do movimento, não somente do ponto de vista do paciente, mas também do especialista, já que ele pode observar e analisar o deslocamento da atividade em uma representação fidedigna do sujeito. Dessa maneira, torna-se mais fácil e preciso constatar normalidade ou não no exercício realizado, o que seria mais complexo apenas por meio dos gráficos de linhas (Figuras 2-C e 2-D).

Acoplada ao uso de avatar 3D, foi implementada a função de *zoom* (Figura 2-B), a qual possibilita observar o membro específico que está sendo deslocado de maneira mais individualizada, apoiando na análise da atividade e na constatação de se a trajetória da parte do corpo movimentada está correta ou não.

Já a funcionalidade representada na Figura 2-C possibilita observar o movimento do indivíduo em um gráfico de aceleração *vs.* tempo para os eixos X, Y e Z, complementando a representação por avatar 3D. Mais detalhes em relação às funcionalidades da Figura 2-C e 2-D podem ser encontrados em Ensina et al. (2021). Vale ressaltar que a representação simultânea da atividade por meio de gráficos e de avatar, a visualização individualizada do membro em interesse além do avatar completo e a utilização de apenas um sensor inercial, é exclusiva desse trabalho em relação ao estado da arte [Lee and Tang 2021; Zhao et al. 2021]. Adicionalmente, outro diferencial relevante do SMMAR-T frente aos trabalhos relacionados é a possibilidade de rotacionar o avatar livremente junto a visualização individualizada do membro que está realizando o deslocamento. Assim sendo, este trabalho apresenta uma solução de baixo custo para monitorar e analisar movimentos do corpo humano, os quais podem ser visualizados em diferentes ângulos no personagem virtual e em gráficos auxiliares. Desse modo, essas funções importantes garantem uma aferição mais precisa e acurada de deslocamento de articulações e demais partes do corpo.

Em relação a avaliação experimental, a escolha da taxa de amostragem de 10 Hz foi baseada na literatura, na qual é descrito que valores próximos ao utilizado são adequados para representar movimentos do corpo humano. Caso a frequência seja muito alta, haverá maior ruído na coleta de dados, enquanto uma frequência muito baixa impossibilita coletar informações suficientes que representem o movimento corretamente [Zeng 2011; Khusainov 2013].

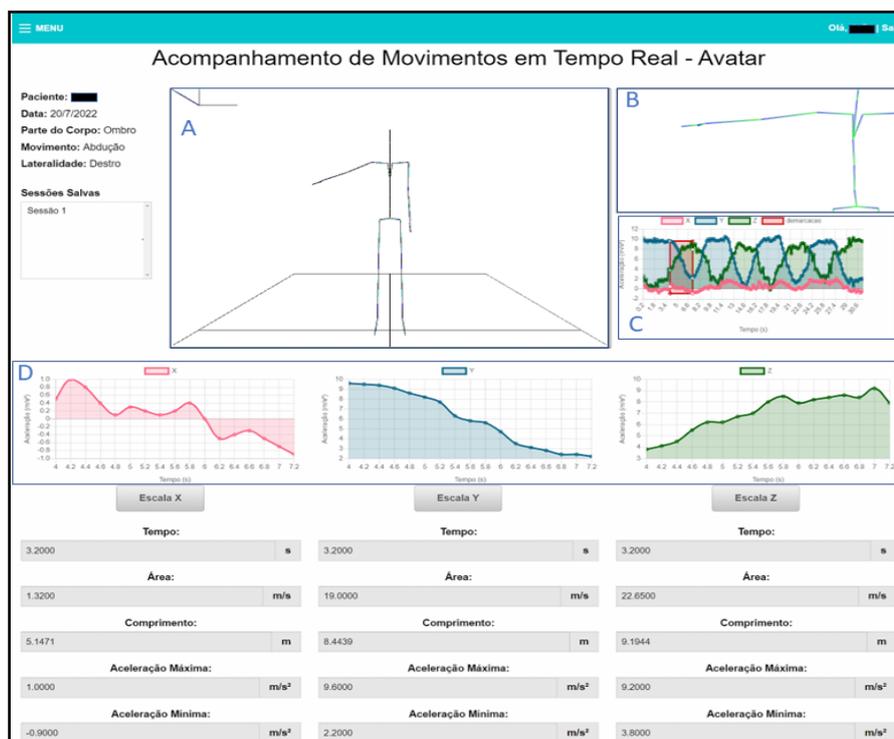


Figura 2. Página para o acompanhamento de movimentos por avatar 3D.

A média geral do tempo de atraso, calculado a partir das 10 simulações, foi de 303,15 milissegundos (ms) com o desvio padrão de 46,24 ms. O *delay* observado pode ser considerado adequado, pois atende às recomendações da *International Telecommunication Union* (ITU) para o atraso em aplicações interativas com tolerância para até 400 ms [ITU 2003]. Ainda, uma avaliação preliminar com especialistas das áreas da saúde e da computação constatou que este *delay* não prejudica a percepção de tempo real da aplicação. Todavia, nosso grupo de pesquisa pretende realizar uma avaliação qualitativa ampla no sistema para fortalecer tal apuração, de modo que profissionais da saúde, como fisioterapeutas e educadores físicos, possam avaliar esta funcionalidade. É digno de nota que o estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa com seres humano da UNIOESTE, protocolo 65280422.0.0000.0107.

Vale ressaltar que o experimento foi realizado em um servidor remoto e, portanto, sofreu a influência da *Internet*, o que pode ser um fator para aumentar o tempo de atraso, uma vez que há uma correlação entre o *delay* e a distância do transmissor ao servidor [Ding et al. 2017]. Apesar do experimento ter sido realizado com o máximo de controle possível, processos do próprio SO podem ter interferido no resultado. Além disso, acreditamos que a perda de pacotes também influenciou no tempo de atraso, conforme observada pela ferramenta Wireshark, visto que essas mensagens precisaram ser retransmitidas para o receptor, o que gera um aumento no retardo.

4. Conclusão

As reuniões com especialistas da saúde e da computação, em conjunto com a avaliação quantitativa, confirmaram que as novas funcionalidades implementadas são funcionais e atendem ao objetivo proposto. Trabalhos futuros incluem a avaliação do *delay* em cenários distintos, como diferentes receptores e com dados móveis, além da avaliação qualitativa e da adição de funções na página do avatar, em especial a opção para reproduzir o movimento do indivíduo novamente a partir de um momento específico.

5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

- Coy, C. S. R., Lee, H. D., Takaki, W. S. R., Ensina, L. A., Wu, F. C., Fagundes, J. J., and Rodrigues, M. A. (2022). Método, aparato e sistema de captura e análise de movimentos corporais com representação gráfica por avatar, com registro de eventos de dor, e orientação visual e sonora de movimentos. Patente em desenvolvimento.
- Ding, S., Luo, X., Dengpan, Y., and Liu, F. (2017). Delay-Distance correlation study for ip geolocations. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 22:157-164.
- Ensina, L. A., Lee, H. D., Maciel, M., Spolaôr, N., Takaki, W. S. R., Coy, C. S. R., and Wu, F. C. (2021). Sistema computacional web para o monitoramento de movimentos em tempo real. *Journal of Health Informatics* 12:189-195.
- Fisher, C. J. (2010). Using accelerometer for inclination sensing. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/app-notes/an-1057.pdf>. Acessado em: 20-02-2023.
- ITU (2003). G.114: One-way transmission line. <https://tinyurl.com/mr8f9xat>. Acessado em: 20-02-2023.
- Khusainov, R., Azzi, D., Achumba, I. E., and Bersch, S. D. (2013). Real-time human ambulation, activity, and physiological monitoring: taxonomy of issues, techniques, applications, challenges and limitations. *Sensors* 13:12852-12902.
- Lee, K., and Tang, W. (2021). A fully wireless wearable motion tracking system with 3d human model for gait analysis. *Sensors* 21(12):4051.
- Tuck, K. (2007). Tilt sensing using linear accelerometers. Technical report, Freescale Semiconductor.
- Wu, F. C., Coy, C. S. R., Lee, H. D., Maciejewski, N. A. R., Ensina, L. A., Takaki, W. S. R., and Vicenzi, G. (2019). Método para monitorar e analisar movimentos de articulações e de partes do corpo. Patente BR 1020190152907. Instituto nacional da propriedade industrial.
- Zeng, H., and Zhao, Y. (2011). Sensing movement: microsensors for body motion measurement. *Sensors* 11:638–660.
- Zhao, W., Yang, S., and Luo, X. (2021). Towards rehabilitation at home after total knee replacement. *Tsinghua Science and Technology* 26(6):791–799.