



Sistema Computacional Web para o Monitoramento de Movimentos em Tempo Real

Computational Web System for Monitoring Movements in Real-time

Sistema Computacional Web para Monitorar los Movimientos en Tiempo Real

Leandro Augusto Ensina¹, Hwei Diana Lee², Matheus Maciel³, Newton Spolaôr⁴, Weber Shoity Resende Takaki⁴, Claudio Saddy Rodrigues Coy⁵, Feng Chung Wu^{6,7}

RESUMO

Descritores: Fenômenos Biomecânicos; Procedimentos Ortopédicos; Corpo Humano

Objetivos: Apresentar o Sistema de Monitoramento de Movimentos e Análise Remota em Telemedicina e avaliar a funcionalidade da proposta por meio da mensuração do tempo de atraso no envio de dados do transmissor para dispositivos móveis. **Métodos:** O programa foi desenvolvido por nosso grupo de pesquisa visando automatizar um método inovador para a supervisão e a análise da movimentação de articulações e partes do corpo. **Resultados:** O sistema contribuiu para que especialistas: (1) criem planos de atividades que podem ser realizados por pacientes, via dispositivo móvel, em qualquer lugar, (2) acompanhem a execução desses planos, remotamente e em tempo real e (3) analisem padrões associados aos movimentos destes pacientes. Os tempos de *delay* mensurados atenderam as recomendações para que aplicações interativas não excedam 400 ms de atraso. **Conclusão:** Os resultados indicaram que a solução é funcional e que o *notebook* obteve o melhor desempenho experimental.

ABSTRACT

Keywords: Biomechanical Phenomena; Orthopedic Procedures; Human Body

Objectives: To present the Movement Monitoring and Remote Analysis System in Telemedicine and evaluate the proposal's functionality by measuring the delay in sending data from the transmitter to mobile devices. **Methods:** Our research group developed the program to automate an innovative method to supervise and analyze joints and body parts' movement. **Results:** This system supports experts to: (1) create activity plans that can be carried out by patients, via a mobile device, anywhere, (2) monitor the execution of these plans, remotely and in real-time, and (3) analyze patterns associated with the patients' movements. The measured delay times met the recommendations suggesting that interactive applications do not exceed a 400 ms delay. **Conclusion:** The results showed that the solution is functional, and the laptop obtained the best experimental performance.

RESUMEN

Descriptores: Fenómenos Biomecânicos; Procedimentos Ortopédicos; Cuerpo Humano

Objetivos: Presentar el Sistema de Monitoreo y Análisis Remoto del Movimiento en Telemedicina y evaluar la funcionalidad de la propuesta midiendo el retraso en el envío de datos desde el transmisor a los dispositivos portátiles. **Métodos:** El programa fue desarrollado por nuestro grupo de investigación para automatizar un método innovador para la supervisión y análisis del movimiento de articulaciones y partes del cuerpo. **Resultados:** Este sistema contribuye para que expertos: (1) creen planes de actividades que los pacientes pueden realizar, vía dispositivo móvil, en cualquier lugar, (2) monitoreen la ejecución de estos planes, remotamente y en tiempo real, y (3) analicen patrones asociados con los movimientos de estos pacientes. Los tiempos de retardo medidos cumplieron con las recomendaciones para que las aplicaciones interactivas no superen los 400 ms de retraso. **Conclusión:** Los resultados indicaron que la solución es funcional y el ordenador portátil obtuvo el mejor rendimiento experimental.

¹ Mestre, Laboratório de Bioinformática, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - LABI/UNIOESTE, Foz do Iguaçu (PR), Brasil.

² Professora Associada III Doutora do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Laboratório de Bioinformática, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - LABI/UNIOESTE, Foz do Iguaçu (PR), Brasil.

³ Graduando em Ciência da Computação, Laboratório de Bioinformática, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - LABI/UNIOESTE, Foz do Iguaçu (PR), Brasil.

⁴ Doutor, Laboratório de Bioinformática, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - LABI/UNIOESTE, Foz do Iguaçu (PR), Brasil.

⁵ Professor Titular Doutor da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas - FCM/UNICAMP, Campinas (SP), Brasil.

⁶ Professor Associado III Doutor do Centro de Educação, Letras e Saúde, Laboratório de Bioinformática, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - LABI/UNIOESTE, Foz do Iguaçu (PR), Brasil.

⁷ Professor Doutor da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas - FCM/UNICAMP, Campinas (SP), Brasil.

Autor Correspondente: Hwei Diana Lee
e-mail: hwei.lee@unioeste.br

INTRODUÇÃO

Atualmente, o reconhecimento e o monitoramento de atividades humanas são importantes para diversas finalidades, motivando pesquisa, desenvolvimento e inovação para resolver problemas da vida cotidiana. Esses processos especificamente têm possibilitado aplicações como detecção de queda de idosos, acompanhamento de atividades esportivas, de reabilitação e de exames físicos de pacientes⁽¹⁻²⁾.

Em particular, os exames físicos para a investigação de articulações e partes do corpo humano são realizados por meio de diferentes técnicas. Os especialistas da saúde geralmente efetuam essas avaliações de modo manual com apoio de instrumentos de aferição, como goniômetros e eletrogoniômetros, além de técnicas de imagem como radiografias, tomografias computadorizadas e ressonâncias magnéticas⁽³⁻⁵⁾.

Contudo, o diagnóstico e a avaliação do desempenho da mobilidade por meio de goniômetros ou eletrogoniômetros, por exemplo, é prejudicada devido ao fato desses instrumentos determinarem inclinações em apenas um plano anatômico⁽⁶⁾, enquanto muitas articulações e partes do corpo são capazes de se deslocar em mais de um plano⁽⁷⁾. Ainda, observa-se que pessoas com lesões ou com alterações morfofuncionais do sistema osteomusculoarticular podem apresentar a Amplitude de Movimento (ADM) dentro do comportamento normal, mas com velocidade e aceleração da locomoção alteradas quando comparadas às de sujeitos saudáveis⁽⁸⁾.

Nesse cenário, destacam-se tecnologias alternativas encontradas na literatura que empregam Sensores Inerciais (SI) para coletar dados relativos à movimentação do corpo humano⁽⁹⁻¹¹⁾. No entanto, essas ferramentas não consideram peculiaridades dos deslocamentos em cada plano no decorrer do tempo, além de serem incapazes de analisar e de identificar padrões e parâmetros para sujeitos hígidos ou lesionados.

Diante disso, o método para supervisionar e investigar mobilidade de articulações e partes do corpo, proposto por Wu et al.⁽⁸⁾, visa solucionar o problema técnico da identificação de padrões e da análise de movimentos. Essa invenção considera sinais coletados por SI durante a realização de exercícios por um indivíduo. A partir de curvas em três eixos do sistema ortogonal de coordenadas que representam os dados adquiridos ao longo do tempo, a proposta prevê também a extração de medidas com significado físico-mecânico, como área e comprimento.

O Sistema de Monitoramento de Movimentos e Análise Remota em Telemedicina (SMMAR-T) foi desenvolvido de modo a automatizar os procedimentos e as etapas desse método⁽¹²⁻¹³⁾. Assim sendo, o programa permite a criação de curvas padrão de movimentos do corpo humano, seja sem ou com lesão. Por sua vez, essas curvas padrão podem ser utilizadas pelos especialistas para diferentes finalidades, como pesquisa, diagnóstico e acompanhamento do processo de reabilitação. O SMMAR-T também permite a criação e a disponibilização de um plano de atividades para um indivíduo, o qual pode, com supervisão remota e em

tempo real por um especialista, efetuar os exercícios planejados em qualquer lugar.

O objetivo deste trabalho é apresentar o sistema e avaliar a funcionalidade do monitoramento de movimentos em tempo real do SMMAR-T por meio da mensuração do retardo (*delay*) na transmissão de dados. Esse recurso é uma das principais funcionalidades, visto que permite que profissionais possam acompanhar, remotamente e em tempo real, a realização de atividades de pacientes. A análise realizada é útil por estimar o tempo necessário para que os sinais obtidos no dispositivo móvel do paciente sejam enviados e apresentados graficamente no equipamento receptor do especialista que o acompanha. A avaliação foi realizada por meio de três aparelhos receptores: *notebook*, *tablet* e *smartphone*. Cada dispositivo foi examinado por meio de 10 transferências de um minuto cada, com o envio de mensagens a uma taxa de 5 Hz. Os desempenhos dos aparelhos foram submetidos a testes estatísticos para verificar a existência de diferença estatisticamente significativa entre eles.

Trabalhos Relacionados

Diversas tecnologias são descritas na literatura para monitorar e avaliar movimentos do corpo humano⁽¹⁻²⁾. Esse aspecto representa uma crescente utilização da informática na área da saúde, auxiliando especialistas na tomada de decisão⁽¹⁴⁾. Nesse cenário, destacam-se os sistemas baseados em sensores inerciais acoplados ao corpo para a coleta dos dados provenientes de uma ação realizada pelo usuário⁽¹⁵⁾.

Em Ishigaki et al.⁽¹⁶⁾ foi desenvolvido um sistema de acompanhamento em tempo real baseado em SI para supervisionar o movimento da pélvis de idosos durante uma caminhada. Esses indivíduos utilizam um dispositivo contendo um acelerômetro e um giroscópio para obter dados dos deslocamentos da região sob supervisão. Adicionalmente, o que foi adquirido é enviado em tempo real para o *notebook* de um profissional da saúde, sendo possível visualizar graficamente informações sobre aceleração, ângulo e velocidade angular provenientes dos sensores.

Em Silva⁽⁹⁾ foram propostos equipamentos e um programa para monitorar presencialmente movimentos do corpo humano, visando auxiliar profissionais no acompanhamento de enfermos. As informações derivadas de sensores, como acelerômetros, giroscópios ou magnetômetros, dispostos em pelo menos um equipamento emissor mantido junto ao indivíduo, são transmitidas a um computador. Desse modo, torna-se possível apresentar conteúdo pertinente ao especialista. O *software* proporciona ainda funcionalidades de cadastro de pacientes e profissionais, além da representação de gráficos do ângulo de inclinação da articulação *vs.* tempo para os três eixos do espaço cartesiano. Em complemento, é possível (1) apresentar a inclinação máxima, a diferença de amplitude de mobilidade, a duração do exercício, a aceleração e a velocidade, e (2) armazenar as medidas obtidas, as quais podem ser comparadas com novos registros.

Em Chen et al.⁽¹⁰⁾ foi proposta uma solução

computacional para mensurar a ADM da flexão e da extensão do joelho, de modo a permitir um melhor entendimento e avaliação do progresso da recuperação de enfermos. Os autores posicionam dois *kits* de sensores inerciais nas pessoas com enfermidade: um na região anterior da coxa e outro na região anterior da canela. Desse modo, a medição é realizada a partir (1) dos valores lidos do acelerômetro e do giroscópio, ambos presentes em cada *kit*, e (2) do uso de uma matriz de rotação, a qual é aplicada para ajustar os eixos dos sensores.

Phoophuangpairoj⁽¹⁷⁾ desenvolveu um aplicativo para mensurar a ADM de exercícios abdominais. O dispositivo móvel, dotado com um acelerômetro, é posicionado na máquina de ginástica para aferir os sinais da aceleração durante a execução da atividade. Em seguida, esses dados coletados são utilizados para calcular valores dos ângulos e da quantidade de repetições realizadas do movimento, sendo apresentados em tempo real ao indivíduo pela interface do programa.

Os principais aspectos inovadores do método implementado no sistema apresentado neste trabalho, em relação aos trabalhos previamente descritos, estão na Seção Resultados e Discussão.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema computacional SMMAR-T consiste em uma solução para o acompanhamento, o monitoramento e a análise de movimentos do corpo humano, sendo utilizado o sensor inercial acelerômetro tipicamente presente em um *smartphone* para a coleta dos dados relativos ao deslocamento realizado⁽¹²⁻¹³⁾.

Assim sendo, os requisitos funcionais e não funcionais desse programa foram definidos e refinados a partir de reuniões com especialistas dos domínios da saúde e da computação, os quais são resumidos na Seção Resultados e Discussão.

Depois da definição dos principais requisitos, o programa computacional foi projetado e implementado com apoio do modelo de desenvolvimento incremental e o padrão de arquitetura *Model-View-Controller*, além da abordagem *responsive web design* para a elaboração de páginas *web* que se ajustam à tela dos clientes.

As linguagens Java, JavaScript, *Cascading Style Sheets* e *HyperText Markup Language* foram utilizadas para o desenvolvimento do SMMAR-T. Também foram

empregados os *frameworks* *JavaServer Faces* v2.3 e ZURB Foundation v6.5.1, as bibliotecas PrimeFaces v7.0 e Chart.js v0.7.0, o sistema gerenciador de banco de dados MySQL v5.1.30, os protocolos WebSocket e *HyperText Transfer Protocol Secure* (HTTPS), o ambiente Eclipse v4.13.0 e o servidor de aplicação Tomcat v9.0.2.

Avaliação Experimental

A arquitetura da avaliação experimental e a representação dos papéis (perfis) do paciente e dos especialistas em um caso real estão ilustrados na Figura 1. Cabe destacar que nenhum paciente ou profissional participou durante os experimentos, não havendo, portanto, a necessidade de aprovação por um Comitê de Ética.

A análise do programa desenvolvido contemplou os retardos registrados durante uma simulação da transmissão de dados em tempo real. O conteúdo enviado consiste em mensagens contendo: (1) valores da aceleração, obtidos no dispositivo emissor para os três eixos do espaço cartesiano, e um marcador de tempo (*timestamp*) – transmissor para receptor; ou (2) apenas o *timestamp* – receptor para transmissor. O retardo total foi estimado a partir da subtração entre os marcadores de tempo obtidos para envio (transmissor à receptor) e recebimento (receptor à transmissor) de cada mensagem, ambos os tempos registrados no dispositivo transmissor. Ao todo, 10 repetições de uma transferência com um minuto de duração e taxa de amostragem de 5 Hz foram realizadas.

Os dispositivos utilizados para os experimentos e suas respectivas funções foram:

- **Servidor:** *notebook* Dell Latitude 3440, processador Intel Core i7 4ª geração, 8 GB de memória, Sistema Operacional (SO) Windows 7;
- **Transmissor:** *smartphone* Motorola Moto G4 Plus, processador Qualcomm Snapdragon 617, 2 GB de memória, SO Android Nougat 7.0;
- **Receptores:**
 - o *Notebook* Philco 15A, processador Intel Core i7 2ª geração, 6 GB de memória, SO Windows 7;
 - o *Tablet* Samsung Galaxy Tab S3, processador Qualcomm Snapdragon 820, 6 GB de memória, SO Android Oreo 8.0.0;
 - o *Smartphone* Motorola Moto G5, processador Qualcomm Snapdragon 430, 2 GB de memória, SO Android Oreo 8.1.

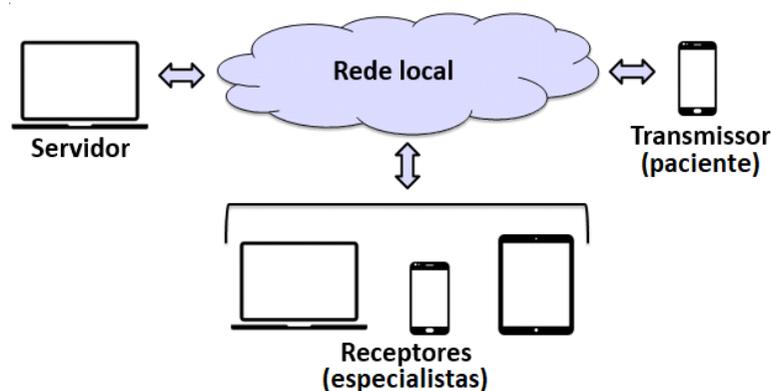


Figura 1 – Arquitetura usada para a avaliação experimental do SMMAR-T

É digno de nota que todos os aparelhos receptores e o transmissor foram utilizados pelo modo de segurança, assim como todos os programas não essenciais foram desativados em todos os elementos arquiteturais. A única exceção foi o *software* Wireshark, adotado no servidor para analisar o fluxo da rede local sem fio, permitindo identificar eventuais perdas de pacotes durante as simulações. Foi também garantido que apenas os aparelhos necessários para os experimentos estivessem conectados na rede.

Os resultados, em termos dos tempos de atraso, foram analisados por meio de testes estatísticos apropriados para a verificação da normalidade das amostras e a comparação entre os desempenhos dos receptores avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O SMMAR-T utiliza a arquitetura cliente-servidor, a qual centraliza os dados coletados e as políticas de acesso a eles em um único elemento arquitetural, trazendo benefícios para a segurança. Desse modo, o servidor pode exercer controle para que somente clientes autorizados alcancem os recursos hospedados. Em complemento, por ser uma aplicação *web* responsiva, o programa pode ser acessado por qualquer dispositivo computacional com tela, seja móvel ou não.

As funcionalidades desta proposta estão organizadas conforme o perfil (Figura 1): **Profissional** – autenticação, cadastro de profissional, cadastro de paciente, cadastro de consulta médica, criação de plano de atividade para um sujeito, acompanhamento do exercício do indivíduo em tempo real, segmentação e análise de regiões específicas das curvas obtidas da atividade; **Paciente** – autenticação, consulta do plano de atividades e realização de exercício.

Duas características de segurança do SMMAR-T devem ser destacadas: autenticação e perfis de usuário. O primeiro permite que apenas pessoas devidamente autorizadas tenham acesso às informações armazenadas. O segundo suporta a criação de diferentes papéis, possibilitando que funcionalidades sejam disponibilizadas exclusivamente para cada um deles. Cabe destacar ainda o uso do protocolo HTTPS, o qual garante autenticidade, confidencialidade, integridade e confiabilidade ao *software*.

Vale ressaltar que as duas características estão presentes no manual de certificação para Sistemas de Registro Eletrônico em Saúde⁽¹⁸⁾. Esse documento contém requisitos de segurança necessários para garantir a privacidade de informações médicas em programas de computador e as qualidades previamente associadas ao HTTPS.

Uma das principais funcionalidades do SMMAR-T é a criação do plano de atividades para um paciente.



Figura 2 – Tela de acompanhamento de movimento em tempo real (acesso via receptor *notebook*). O trecho demarcado na porção superior da figura origina as demais curvas ilustradas

Consequentemente, o indivíduo pode conduzir um conjunto pré-determinado de exercícios, como flexão e abdução, em uma clínica, em sua própria casa ou em qualquer outro lugar. Em sendo a solução *web*, um usuário pode ainda usar qualquer dispositivo móvel dotado com acelerômetro para acessar seu plano, posicionando o equipamento, durante a realização dos exercícios, na região do corpo pré-determinada pelo especialista.

Ainda, o *software* permite que o profissional possa acompanhar e monitorar, em tempo real, a execução das atividades por um sujeito. Em particular, o especialista recebe essas informações na forma de curvas dos movimentos, as quais podem ser segmentadas, para os três eixos do espaço cartesiano, como ilustrado na Figura 2, na qual um paciente fictício é apresentado. A partir das regiões demarcadas, o sistema calcula e apresenta uma série de medidas para cada eixo, como área, comprimento e duração da realização da atividade. Os segmentos podem, por exemplo, caracterizar períodos relevantes em um exercício, os quais são comparáveis aos trechos equivalentes em outras execuções (sessões) desse plano.

É digno de nota que as características de permitir o monitoramento remoto e em tempo real, juntamente com a construção de padrões para cada paciente e conjuntos de pacientes, além da análise simultânea dos dados para os três eixos do sistema de coordenadas, são as principais contribuições do sistema apresentado neste trabalho.

Em especial, a opção do especialista segmentar e analisar regiões específicas das curvas sobre movimentação é exclusiva desta proposta, em relação aos trabalhos relacionados, assim como a possibilidade do profissional da saúde acompanhar remotamente as atividades realizadas pelo paciente. Além disso, as sessões conduzidas são armazenadas no servidor, gerando um histórico que pode ser acessado a qualquer momento pelo profissional. Assim, pode-se verificar, por exemplo, quantas vezes ao dia cada sessão foi realizada, bem como o instante de início e de fim de cada uma.

Apesar de Silva⁽⁹⁾ apresentar ao usuário outros parâmetros além do ângulo, ele realiza a análise apenas para um eixo do sistema de coordenadas por vez, não permitindo a análise simultânea para os três eixos como é realizado pelo sistema proposto. Adicionalmente, o método automatizado pelo SMMAR-T exige um único sensor (acelerômetro) presente em um dispositivo móvel⁽⁸⁾, não necessitando de equipamentos especiais para a coleta de dados, como ocorre para trabalhos previamente

citados^(9-10,16).

Na Tabela 1 estão apresentadas as médias dos tempos de atraso obtidos durante as transmissões de dados em tempo real na avaliação do SMMAR-T, junto com os respectivos desvios padrão entre parênteses. Adicionalmente, a última linha representa a média calculada a partir dos retardos médios das 10 repetições.

Após realizar o teste de normalidade D'Agostino & Pearson (p-valor < 0,05) para cada aparelho, foi aplicado o teste de hipótese Kruskal-Wallis com intervalo de confiança de 95%. Desse modo, foi constatado p-valor < 0,0001, ou seja, detectou-se diferença estatisticamente significativa entre os desempenhos dos receptores avaliados.

A partir do pós-teste de Dunn observou-se o desempenho superior do *notebook* em relação ao *tablet* e ao *smartphone*, bem como a superioridade do *tablet* comparado ao *smartphone*. Esse comportamento é esperado, visto que o *hardware* do *notebook* é o mais potente e, portanto, deveria apresentar a um *delay* significativamente menor.

Outro aspecto a ser considerado é que o processamento de gráficos pode influenciar no tempo de atraso. Logo, analisou-se também a interferência no *delay* causada pela atualização do gráfico exibido pelo receptor em tempo real. Para tanto, foram realizados experimentos complementares em que os dados enviados ao receptor deixaram de ser exibidos graficamente (Tabela 2).

Neste trabalho, a influência citada foi observada por meio dos resultados obtidos para as médias gerais. Em particular, para o *notebook*, o *delay* sem a exibição do gráfico caiu de 25,9783 (10,6595) ms (Tabela 1) para 10,0940 (3,3568) ms (Tabela 2). Para o *tablet*, os valores caíram de 61,3087 (31,6603) ms para 25,9653 (17,8288) ms e para o *smartphone* de 118,8900 (78,4189) ms para 23,3370 (28,1906) ms.

Embora os experimentos tenham sido realizados com o máximo de controle acessível, é possível que algum processo do SO ainda tenha interferido nos retardos durante as transmissões. Exemplos são a máquina virtual Java, o Wireshark e processos do próprio SO, como os responsáveis pelo monitoramento da rede e dos periféricos.

Além dos processos do SO, o tratamento da perda de informação durante a transmissão, oferecido pelo sistema, pode também ter influenciado nos resultados. De fato, se um pacote de dados for perdido durante o

Tabela 1 – Tempos médios e desvios padrão (entre parênteses) de atraso por dispositivo, em milissegundos

| | Notebook | Tablet | Smartphone |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Repetição 1 | 27,5967 (13,4655) | 58,0600 (31,0619) | 115,7067 (73,6263) |
| Repetição 2 | 26,3000 (8,1082) | 58,5800 (31,3415) | 118,0067 (75,4942) |
| Repetição 3 | 26,3433 (11,8857) | 58,8133 (28,6022) | 121,2900 (78,9841) |
| Repetição 4 | 24,3867 (9,8179) | 60,6733 (31,0790) | 131,8933 (104,4562) |
| Repetição 5 | 25,5500 (11,9111) | 59,2467 (31,7993) | 115,2333 (73,9964) |
| Repetição 6 | 27,2400 (10,1281) | 64,3433 (32,9758) | 116,1500 (68,7747) |
| Repetição 7 | 25,2600 (8,5719) | 67,2567 (33,5115) | 114,7567 (71,2713) |
| Repetição 8 | 26,0600 (10,7875) | 62,3133 (31,6414) | 113,0900 (74,1627) |
| Repetição 9 | 25,5700 (8,3353) | 62,4967 (32,0901) | 118,5467 (78,8184) |
| Repetição 10 | 25,4767 (11,9596) | 61,3033 (31,5290) | 124,2267 (78,2699) |
| Média geral | 25,9783 (10,6595) | 61,3087 (31,6603) | 118,8900 (78,4189) |

Tabela 2 – Tempos médios e desvios padrão (entre parênteses) de atraso por dispositivo, em milissegundos, sem exibição dos gráficos

| | Notebook | Tablet | Smartphone |
|--------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Repetição 1 | 10,0500 (2,5942) | 26,0700 (22,0857) | 25,5133 (31,1750) |
| Repetição 2 | 10,6633 (3,3427) | 24,3833 (10,1627) | 22,2500 (24,6131) |
| Repetição 3 | 9,7300 (2,9483) | 27,3467 (21,0604) | 22,8300 (24,1530) |
| Repetição 4 | 9,9067 (4,6980) | 26,5500 (18,4086) | 25,0733 (35,0880) |
| Repetição 5 | 11,4900 (3,9313) | 26,2033 (13,6331) | 25,8200 (35,2916) |
| Repetição 6 | 9,8867 (2,9569) | 25,3900 (18,2144) | 22,1100 (26,6035) |
| Repetição 7 | 9,9267 (3,4420) | 24,1367 (10,9054) | 24,1200 (20,2925) |
| Repetição 8 | 9,9467 (3,2690) | 26,5100 (20,4571) | 20,7933 (18,1159) |
| Repetição 9 | 9,8967 (2,6157) | 27,1867 (21,9913) | 24,8333 (35,5169) |
| Repetição 10 | 9,4433 (2,7880) | 25,8767 (16,3028) | 20,0267 (24,2255) |
| Média geral | 10,0940 (3,3568) | 25,9653 (17,8288) | 23,3370 (28,1906) |

envio, a tecnologia WebSocket utilizada neste trabalho assegura que esse pacote seja recuperado no transmissor e reenviado ao receptor. Vale ressaltar que a ausência desse tipo de recurso poderia acarretar na representação errônea do movimento realizado para o especialista.

Em todo caso, os tempos de atraso observados são considerados satisfatórios. Apesar dos elevados valores dos desvios padrão, o *software* se encaixa nas recomendações da *International Telecommunication Union* que estabelece que aplicações interativas não devam exceder 400 ms de atraso⁽¹⁹⁾.

A partir dos registros de atividades dos pacientes armazenados no servidor, o especialista pode criar curvas padrão de movimentos de articulações e partes do corpo para os três eixos do espaço cartesiano, seja a partir de um único indivíduo ou um conjunto de indivíduos⁽¹²⁻¹³⁾. Desse modo, a curva padrão obtida pode representar um movimento saudável ou com alterações morfofuncionais, permitindo que seja utilizado como referência para comparações com novos ciclos de movimentos ou, inclusive, com outras curvas padrões.

Assim sendo, o SMMAR-T pode servir como uma ferramenta precisa e acurada para o monitoramento e a análise da movimentação de pacientes. Os especialistas da saúde podem utilizá-lo para diferentes aplicações, como

diagnóstico, acompanhamento do processo de reabilitação de enfermos, prevenção e estudo de lesões.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pela avaliação experimental e por meio de reuniões com especialistas das áreas da saúde e da computação confirmaram que o sistema desenvolvido é funcional e, portanto, atende ao objetivo proposto. Nesse contexto, o *notebook* obteve o melhor desempenho entre os dispositivos receptores avaliados, seguido pelo *tablet* e pelo *smartphone*, respectivamente.

Trabalhos futuros incluem (1) a implementação de relatórios dinâmicos das informações geradas pelo programa, (2) a calibração do sensor utilizado para a obtenção dos dados e (3) a análise da usabilidade para todas as funcionalidades do SMMAR-T.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES – Código de Financiamento 001, Fundação Araucária (bolsa Produtividade em Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico 028/2019) e CNPq (processo 118196/2020-0).

REFERÊNCIAS

- Lara OD, Labrador MA. A survey on human activity recognition using wearable sensors. *IEEE Commun Surv Tutor*. 2013;15(3):1192-209.
- Nweke HF, Teh YW, Mujtaba G, Al-garadi MA. Data fusion and multiple classifier systems for human activity detection and health monitoring: review and open research directions. *Inf Fusion*. 2019;46:147-70.
- Terwee CB, Winter AF, Scholten RJ, Jans MP, Devillé W, Schaardenburg D, et al. Interobserver reproducibility of the visual estimation of range of motion of the shoulder. *Arch Phys Med and Rehabil*. 2005;86(7):1356-61.
- Kim YS, Yoo YS, Jang SW, Nair AV, Jin H, Song HS. In vivo analysis of acromioclavicular joint motion after hook plate fixation using three-dimensional computed tomography. *J Shoulder Elbow Surg*. 2015;24(7):1106-11.
- Cuesta-Vargas AI, Roldán-Jiménez C. Validity and reliability of arm abduction angle measured on smartphone: a cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:1-8.
- Marques AP. Manual de goniometria. 2a ed. Barueri: Manole; 2003.
- Vicenzi G. Análise biomecânico-computacional de movimentos do ombro por meio do uso de acelerômetro [dissertação]. Francisco Beltrão (PR): Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2019.
- Wu FC, Coy CSR, Lee HD, Maciejewski NAR, Ensina LA, Takaki WSR, Vicenzi G, Flauzino RA, Fagundes JJ, Ayrizono MLS, Spolaôr N, inventores. Método para monitorar e analisar movimentos de articulações e de partes do corpo. Brasil patente BR 10 2019 015290 7. 2019.
- Silva LR, inventor. Sistema e equipamentos de leitura e análise de movimentos humanos monitorados durante treinamento cinesiológico. Brasil patente BR PI 1100469-0 A2. 2013.
- Chen K, Tseng W, Liu K, Chan C. Using gyroscopes and accelerometers as a practical rehabilitation monitor system after total knee arthroplasty. *Proceedings of the IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications*; 2015 Sep 21-23; Taipei, Taiwan. Piscataway: IEEE; 2015. p. 58-9.
- Allseits E, Kim KJ, Bennett C, Gailey R, Gaunaud I,

- Agrawal V. A novel method for estimating knee angle using two leg-mounted gyroscopes for continuous monitoring with mobile health devices. *Sensors*. 2018;18(9):1-17.
12. Ensina LA. SMMAR-T: sistema de monitoramento de movimentos e análise remota em telemedicina [dissertação]. Foz do Iguaçu (PR): Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2020.
 13. Lee HD, Wu FC, Spolaôr N, Ensina LA, Takaki WSR, Coy CSR, Rodrigues MA, inventores. SMMAR-T – sistema de monitoramento de movimentos e análise remota em telemedicina. Brasil registro de programa de computador BR512020000583-7. 2020.
 14. Lopes JE, Heimann C. Uso das tecnologias da informação e comunicação nas ações médicas à distância: um caminho promissor a ser investido na saúde pública. *J Health Inform*. 2016;8(1):26-30.
 15. Mukhopadhyay SC. Wearable sensors for human activity monitoring: a review. *IEEE Sensors J*. 2015;15(3):1321-30.
 16. Ishigaki N, Kimura T, Usui Y, Aoki K, Narita N, Shimizu M, et al. Analysis of pelvic movement in the elderly during walking using a posture monitoring system equipped with a triaxial accelerometer and a gyroscope. *J Biomech*. 2011;44(9):1788-92.
 17. Phoophuangpaioj R. Developing a mobile application for an abdominal exercise machine using an accelerometer. *Proceedings of the 23rd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*; 2019 Oct 30-Nov 1; Phuket, Thailand. Piscataway: IEEE; 2019. p. 154-7.
 18. Silva ML, Virginio Junior LA. Manual de certificação para sistemas de registro eletrônico em saúde: versão 4.2 [Internet]. Sociedade Brasileira de Informática em Saúde - Conselho Federal de Medicina; 2016 [citado 2020 Set 22]. Disponível em: http://www.sbis.org.br/certificacao/Manual_Certificacao_SBIS-CFM_2016_v4-2.pdf.
 19. International Telecommunication Union. G.114: One-way transmission line [Internet]. International Telecommunication Union; 2003 [cited 2020 Sep 22]. Available from: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/en>.