

USO DE DISPOSITIVO MICROCONTROLADOR PARA COLETAR E TRANSMITIR DADOS DE MOVIMENTOS DO CORPO HUMANO EM TEMPO REAL

Alexandre Peiter Ferraz (PIBITI/CNPq)¹, Wu Feng Chung^{1,2}, Leandro Augusto Ensina^{1,3}, Huei Diana Lee (Orientadora)¹

Laboratório de Bioinformática (LABI)/Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)¹, Faculdade de Ciências Médicas (FCM)/Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)², Universidade Federal do Paraná (UFPR)³

{alexandre.ferraz, huei.lee}@unioeste.br

Objetivos

Desenvolver e avaliar solução via microcontrolador para coletar e transmitir dados de movimentos corporais com integração em um sistema *web* de telemedicina.

Métodos e Procedimentos

A telemedicina tem exercido, nos últimos anos, papel fundamental na prestação de serviços de saúde com benefício em diferentes especialidades das ciências médicas, como a fisioterapia. Neste cenário, o Sistema de Monitoramento de Movimentos e Análise Remota em Telemedicina (SMMAR-T) [1] permite aos profissionais da saúde o monitoramento remoto, em tempo real, da execução de atividades corporais de indivíduos. Para isso, o indivíduo posiciona o *smartphone* na região do corpo pré-definida pelo especialista e, enquanto realiza uma atividade, o SMMAR-T coleta dados provenientes do sensor inercial acelerômetro do aparelho e os transmite para que os especialistas possam analisá-los. No entanto, diversos aspectos, como a dimensão e a massa do aparelho, são capazes de dificultar o posicionamento do *smartphone* em determinadas partes do corpo, e, com isso, influenciar negativamente a execução de movimentos. Sob este aspecto, foi proposta a substituição do *smartphone* por um microcontrolador (MC) para realizar a coleta e a

transmissão de dados no SMMAR-T. O MC foi programado em linguagem C++ e contempla as funcionalidades fundamentais e necessárias para coleta e transmissão de dados. A avaliação experimental constituiu-se na análise do tempo de atraso para a transmissão de dados em tempo real por meio da seguinte configuração:

- **Transmissor 1:** Samsung Galaxy A12, 4GB de memória RAM, sistema operacional (SO) Android 13 e navegador Chrome v116.0.5845;
- **Transmissor 2:** microcontrolador ESP32 com Wi-Fi integrado, 512 KB de memória RAM e sensor de movimento MPU6050;
- **Servidor e Receptor:** notebook com processador AMD Ryzen 7 5700u, 8GB de memória RAM, SO Windows 11.

Foram realizadas 10 transmissões de um minuto com taxa de amostragem de 10 Hz para cada dispositivo transmissor, utilizando o protocolo *WebSocket*. O tempo total de atraso de cada mensagem foi calculado considerando o tempo de ida, transmissor para receptor, e de retorno, receptor para transmissor. A comunicação entre os equipamentos ocorreu por rede Wi-Fi, no qual o servidor/receptor foi utilizado como ponto de acesso. Os resultados foram analisados pelas estatísticas descritiva e analítica com intervalo de confiança de 95%.

Resultados

As funcionalidades do MC incluem coletar dados de sensor externos, se conectar e transmitir os

dados ao servidor do SMMAR-T. Neste contexto, a principal vantagem de utilizar MCs é a possibilidade de adicionar ou remover sensores quando necessário, enquanto no *smartphone*, tais sensores estão fixos conforme o fabricante. Na Tabela 1 estão retratados as médias e, entre parênteses, os desvios padrão dos tempos de atraso, além da massa e das dimensões de cada transmissor.

Tabela 1: Tempo de atraso (desvios padrão), massa e dimensões de cada transmissor

Transmissor	Tempo de atraso (ms)	Massa (g)	Dimensões (cm)
ESP32	26,41 (17,61)	27	11,5 x 2,8
Smartphone	153,25 (60,07)	205	16,4 x 7,5

Os dados não apresentaram distribuição Gaussiana (teste D'Agostino-Pearson) e, em seguida, aplicou-se o teste Mann-Whitney, que demonstrou diferença estatisticamente significativa entre os transmissores (p -valor $<0,0001$). Logo, constatou-se que o MC obteve desempenho superior comparado ao *smartphone* com tempo de atraso médio inferior a 400 ms, de acordo com o limite recomendável [2]. Cabe destacar que esse tempo de atraso inclui as atividades de rotina do SMMAR-T, como a exibição dos dados em gráficos. Apesar de possuir hardware com menor capacidade de processamento e armazenamento, o MC apresenta operação dedicada à coleta de dados e ao envio de mensagens, ou seja, não há concorrência de recursos com outros processos paralelos, demonstrando assim, melhor desempenho. Vale ressaltar que, mesmo em um ambiente controlado, ambos os dispositivos apresentaram elevados coeficientes de variação, sendo 66,65% para MC e 39,19% para o *smartphone*. Este aspecto pode estar relacionado ao modo como o protocolo TCP, usado pelo *WebSocket*, é implementado, pois utiliza janela de congestionamento e partida lenta. Ainda, durante os experimentos, foram identificadas perdas de pacotes detectadas pelo WireShark, as quais também influenciaram no atraso das mensagens. Outra vantagem do MC usado neste trabalho são as massas e as dimensões do aparato, as quais são menores em relação aos *smartphones* (Tabela 1). Com isso, a utilização pelos profissionais e indivíduos

pode ser facilitada. Apesar de ambos os transmissores estarem configurados para enviar mensagens a cada 100 ms, algumas foram enviadas, no *smartphone*, em um tempo diferente do previsto (Figura 1). Esse comportamento pode prejudicar a qualidade dos dados analisados, uma vez que não representam corretamente a amostragem esperada [3]. Por outro lado, o comportamento de envios de mensagens pelo MC demonstrou uniformidade superior, respeitando a configuração estabelecida.

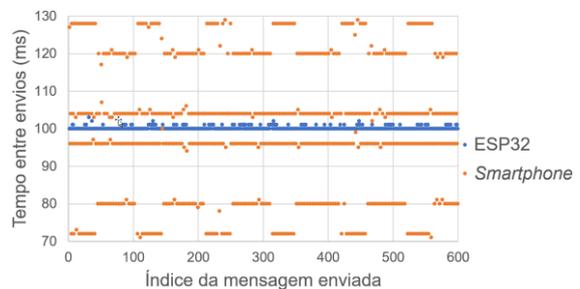


Figura 1: Tempo entre o envio de cada mensagem para uma transmissão no ESP32 e *smartphone*.

Conclusões

Os resultados demonstram que a solução é funcional e atende ao objetivo proposto. A avaliação experimental revelou desempenho superior do MC comparado ao *smartphone*, evidenciando a efetividade para a coleta e o envio de dados de movimentos corpóreos.

Agradecimentos

CNPq Bolsa PIBITI 003-2022/PRPPG (Processo 155129/2022-8) e Prof. Weber Takaki.

Referências

- [1] Ensina, L.A., Lee, H.D., Maciel, M., Spolaôr, N., Takaki, W.S.R., Coy, C.S.R., Wu, F.C. (2020). Sistema Computacional Web para o Monitoramento de Movimentos em Tempo Real. *Journal of Health Informatics* **12**, 189-195.
- [2] ITU. (2003). ITU-T Recommendation G.114, Geneva, Switzerland.
- [3] Zeng, H. & Zhao, Y. (2011). Sensing movement: Microsensors for body motion measurement. *Molecular Diversity Preservation International* **11**, 638-660.