



Análise de Medidas para Recuperação de Séries Temporais de Movimentos do Corpo

Ana Paula Merencia¹, Hwei Diana Lee¹, Weber Takaki¹, Matheus Maciel¹, Wu Feng Chung^{1,2}

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

²Faculdade de Ciências Médicas (FCM), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP

ana.merencia@unioeste.br, hwei.lee@unioeste.br, webertakaki@gmail.com,
macielmaatheuss@gmail.com, wu.chung@unioeste.br

Resumo. Trabalhos sobre análise de movimentos do corpo humano, em sua maioria, não consideram as peculiaridades da resposta mecânica motora dos movimentos em cada plano anatômico. Nesse contexto, a partir de sensores inerciais triaxiais é possível realizar análise pormenorizada dos movimentos de articulações e partes do corpo. Assim, este trabalho teve como objetivo pesquisar e analisar três medidas para a comparação de curvas provenientes do corpo: Dynamic Time Warping (DTW), Coeficiente de Determinação (R^2) e Coeficiente de Correlação de Pearson (R) para uso em um sistema original de telemedicina. Uma curva de referência foi extraída de uma base com dados de atividades de indivíduos, coletados pelo sensor acelerômetro. Esse padrão foi comparado por meio de uma janela deslizante sobre todas as amostras do movimento de caminhada e as três medidas foram aplicadas sob diferentes cenários: dados brutos, apenas normalização, apenas ajuste de curva e normalização seguido de ajuste de curva. Os resultados indicaram que o DTW apresentou melhor desempenho na recuperação de curvas apenas nas abordagens sem ajuste de curva e que teve maior custo computacional, enquanto o R e o R^2 apresentaram desempenhos competitivos em todos os cenários para a recuperação das três curvas mais similares e com menor custo computacional.

Abstract. Most of the literature on the analysis of human body movements does not consider the peculiarities of the mechanical motor response of movements in each anatomical plane. In this context, triaxial inertial sensors enable detailed analysis of the movements of joints and parts of the body. Thus, this work aimed to research and analyze three measures for the comparison of curves from the body: Dynamic Time Warping (DTW), Coefficient of Determination (R^2), and Pearson Correlation Coefficient (R) for use in an original telemedicine system. A reference curve was extracted from a database of activity data from individuals collected by the accelerometer sensor. This pattern was compared using a sliding window over all samples of the walking motion. The three measures were applied under different scenarios: raw data, with normalization, with curve fitting, and normalization followed by curve fitting. The results indicated that DTW presented a better performance in the recovery of curves only in the approaches without curve fitting and had a higher computational cost. In contrast, R and R^2 showed competitive performances in all scenarios for recovering the three most similar curves and with lower computational cost.

Palavras-chave: biomecânica de movimentos; aceleração; time series.

1. INTRODUÇÃO

As diferentes abordagens para acompanhamento e reconhecimento de movimentos do corpo humano encontradas na literatura não consideram particularidades da resposta mecânica dos movimentos em cada plano anatômico ao longo do tempo. Ainda, não permitem analisar padrões e ou identificar parâmetros entre indivíduos saudáveis e lesionados (1).

Nesse cenário, o Laboratório de Bioinformática da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, propôs

um método para monitorar e analisar movimentos do corpo humano (1), o qual foi automatizado por meio do Sistema de Monitoramento de Movimentos e Análise Remota em Telemedicina (SMMAR-T) (2). Esse sistema *web* de telemedicina possibilita, entre as suas funcionalidades, a criação de curvas padrão de movimentos do corpo humano, sem ou com lesão, e pode ser aplicado no acompanhamento do processo de reabilitação e fisioterapia (3).



A análise e a comparação de curvas padrão é realizada atualmente no SMMAR-T com o Coeficiente de Determinação (R^2). Essa medida permite calcular a similaridade de curvas representativas de um movimento padrão previamente armazenado com movimentos realizados pelo mesmo ou outro indivíduo (4). No entanto, a principal desvantagem do R^2 é a limitação de que a quantidade de dados das sequências comparadas deve ser a mesma, tornando-o inflexível em relação ao alinhamento dos dados (5).

Existem outras medidas na literatura que não apresentam essa desvantagem como o algoritmo *Dyna-mic Time Warping* (DTW) (6). Contudo, o DTW demanda alta carga computacional para encontrar o caminho de alinhamento de tempo ideal (7).

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi analisar outras duas medidas, além do R^2 para comparar de curvas de movimentos do corpo: DTW e Coeficiente de Correlação de Pearson (R) (8).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os seguintes materiais:

- Computador com sistema operacional Windows 10, processador Intel i5, 8 GB de memória RAM, disco rígido com 1 TB;
- Linguagem de programação Python (9);
- Ambiente de desenvolvimento integrado Spyder (10);
- Base de dados pública de séries temporais *Activity Recognition from Single Chest-Mounted Accelerometer* (11) contendo dados de 15 indivíduos para sete movimentos, coletados a partir do sensor acelerômetro posicionado no tórax dos indivíduos (frequência de amostragem de 52Hz). Neste trabalho foi considerado apenas um destes movimentos: a caminhada.

Uma curva de referência, equivalente ao movimento de dois passos dados pelo indivíduo, contendo 60 amostras (pontos) da curva total de caminhada de um único indivíduo foi extraída. Essa curva de referência foi comparada, usando as medidas de similaridade (DTW, R^2 e R), com as

curvas completas de caminhada dos 15 indivíduos (357.064 amostras) a fim de encontrar as 10 sequências mais similares.

A curva de referência foi comparada usando uma janela deslizante de tamanho 60 e avanço de um em um ponto sobre a curva de 357.064 amostras dos indivíduos. Adicionalmente, foi coletado o tempo de execução de cada algoritmo para a recuperação de cada curva. Vale ressaltar que todos os programas não essenciais para a execução do experimento, como o antivírus, foram desabilitados.

Esse processo foi analisado sob quatro cenários distintos - **E1**: sem normalização de dados (ND) e sem ajuste de curva (AC); **E2**: com ND pela técnica min-max e sem AC; **E3**: sem ND e com AC (modelo polinomial de grau cinco); **E4**: com ND e com AC.

Ao fim dos experimentos, foram aplicados testes estatísticos descritivos e analíticos adequados para comparar o tempo de execução de cada métrica.

3. RESULTADOS

Na Figura 1 está apresentada a curva de referência utilizada nos experimentos.

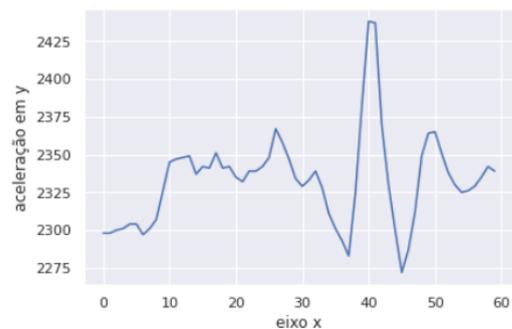


Figura 1. Curva de referência do movimento de caminhada

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados (identificação da curva (**Id**) e valor de cada medida de similaridade) de **E1** para a recuperação das dez curvas mais similares ao movimento de referência. R^2 varia de 0 a 1, e R de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo o valor de 1, maior é a similaridade entre as curvas comparadas. Para fins de legibilidade e comparação dos resultados, os valores de DTW foram convertidos para os valores de 0 a 1 por meio do resultado da subtração da distância máxima encontrada pela atual dividido