

AVALIAÇÃO CINEMÁTICA COMPARATIVA DA MARCHA HUMANA POR MEIO DE UNIDADE INERCIAL E SISTEMA DE VIDEO

Willian V. Leite*, Heitor M. Couto*, Francisco J. L. Liberal* e Marcelino M. Andrade*

*Universidade de Brasília - UnB, Brasília, Brasil

e-mail: vilarino.unb@hotmail.com, heitor.mcouto@gmail.com

fjlimal@gmail.com, andrade@unb.br

Resumo: O estudo da biomecânica do movimento humano possui inúmeras aplicações importantes relacionadas à saúde, onde a assinatura da marcha de um indivíduo é capaz, por exemplo, de revelar possíveis anomalias posturais. A identificação do padrão cinemático do movimento humano é regularmente realizada em laboratório por meio de sistemas baseados em visão, executando o processamento de vídeo dos sujeitos instrumentados com marcadores reflexivos, o que exige requisitos técnicos e um ambiente fechado. Nesse sentido, o presente trabalho buscou utilizar uma Unidade de Medida Inercial (IMU) como alternativa não visual para extrair parâmetros cinemáticos da marcha humana, trajetória, velocidade e comparar com a solução de vídeo. Os resultados mostraram efetiva correlação entre as duas abordagens, indicando avanços reais da tecnologia *microelectromechanical systems* (MEMS) de sensores inerciais de baixo custo aplicados à biomecânica. Para concluir o desafio de utilizar a IMU para fazer cinemática destaca-se a necessidade de aprimoramento da técnica adotada a fim de corrigir o *drift* causado pela integração dados obtidos pela IMU e enriquecer a análise das soluções. O estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde/UnB cujo CAAE é 16303013.0.0000.0030.

Palavras-chave: Biomecânica, análise de marcha humana, análise baseada em visão, Unidade de Medida Inercial.

Abstract: *The study of the human motion biomechanics has several important applications related to health, where the individual's gait signature is able to reveal possible postural anomalies for example. The recognition of the kinematical pattern of the human motion is regularly extracted in labors through video processing systems where individuals under evaluation are equipped with reflective markers. However, the video approach requires technical requirements that limit its application outside the laboratories, showing that other technologies could offer better responses in outdoor environments. In this sense, this work aimed to compare objectively kinematic parameters of the human gait, trajectory and speed, extracted from an inertial measurement unit (IMU) with a video solution. The results showed effective correlation between both approaches, thus indicating real advances in the low cost inertial sensors manufactured with microelectromechanical systems (MEMS) technology*

applied to biomechanics. To conclude the challenge of using IMU's to kinematic analysis, it is necessary to improve the technics used to reduce the drift effect due the inertial sensors data integration. The study was submitted to the and approved by the Ethics and Research Committee from the Faculty of Health Sciences/UnB whose CAAE is 16303013.0.0000.0030.

Keywords: *Biomechanics, human gait tracking, visual based analysis, Inertial Measurement Unit.*

Introdução

Entender a cinemática do movimento humano é importante para várias áreas do conhecimento como, por exemplo, a medicina e a biologia. Medir o movimento possibilita avaliar o desempenho funcional dos membros em condições normais e anormais [1]. Por exemplo, conhecer aspectos cinemáticos é importante para um diagnóstico correto e um plano de intervenção adequado no caso de uma intervenção cirúrgica ortopédica e design de uma prótese com o objetivo de restaurar uma função.

Recentemente, o rastreamento de movimento humano vem sendo utilizado para algumas aplicações médicas, tais como a recuperação e reabilitação de deficiências e telemonitoramento via sistemas ambulatoriais. Estes sistemas podem ser classificados de acordo com as posições dos sensores e fontes, ou de acordo com técnicas de rastreamento do movimento, por exemplo, detectores eletromagnéticos, acústicos, mecânicos e eletrostáticos de orientação e posição, bem como sistemas de rastreamento eletro-ópticos e por vídeo [2].

A marcha humana apresenta um padrão obedecido por todos os participantes, porém cada pessoa tem seu modo particular de caminhar com características distintas relacionadas à magnitude e a dependência temporal das variáveis biomecânicas [3]. A tarefa de quantificar padrões de movimento envolve medições, armazenamento, recuperação, processamento, análise e apresentação do resultado. Medições cinéticas e cinemáticas possibilitaram definir padrões de normalidade e diversas variáveis chave que são atualmente vistas como características da marcha [4].

Dentre as diversas técnicas utilizadas para se realizar uma análise de marcha existem duas que serão abordadas neste trabalho. Uma é o rastreamento baseado em visão, onde são fixados marcadores esféricos em um indivíduo, grava-se os seus movimentos utilizando uma

câmera, depois realiza-se a identificação dos marcadores por computador, caracterizando os movimentos nos pontos de interesse. A alternativa é o rastreamento não baseado em visão, que utilizará uma Unidade de Medida Inercial (IMU, *Inertial Measurement Unit*), também fixada no corpo, a fim de monitorar os movimentos através da análise dos dados inerciais fornecidos pelo dispositivo.

Uma IMU de 6 graus de liberdade possui um conjunto de acelerômetros giroscópios, dispostos de tal forma que é possibilitando medir, nos três eixos coordenados, a aceleração e a velocidade angular, respectivamente. O que permitiu que estes dispositivos, que antes eram muito grandes, fossem utilizados em análise de marcha foram os avanços da tecnologia MEMs, reduzindo o seu tamanho físico e custo, porém também diminuiu-se consideravelmente sua acurácia.

O objetivo principal deste trabalho é criar uma solução funcional capaz de realizar o monitoramento dos movimentos de uma pessoa e extrair parâmetros cinemáticos úteis, trajetória e velocidade, para uma análise de marcha utilizando IMU. Simultaneamente, será realizado o rastreamento baseado em visão utilizando marcadores a fim realizar a validação comparativa dos resultados obtidos.

Materiais e métodos

O estudo foi aplicado em quatro sujeitos, instrumentados com IMU e uma esfera refletora. Considerando as características antropométricas dos participantes, tem-se idade média de 32 anos, altura de 1,76 metros e peso de 85,8 Kg. Todos os dados foram coletados no Laboratório de Instrumentação e Processamento de Sinais (LIPIS), com equipamentos desenvolvidos no próprio laboratório.

Conforme a Figura 1-a, o instrumento construído para solução com IMU é formado por dois módulos conectados por um cabo de alimentação e dados. Um dos módulos contém a placa Arduino Pro Mini 328, com microcontrolador ATmega328 de 16 MHz, um módulo *Crius Bluetooth* para transmitir os dados à 57600 bps e uma bateria de 9V para alimentar os dispositivos. Esse módulo é fixado à cintura do participante e segue um fio para o módulo sensor menor com a unidade contendo acelerômetro, giroscópio e magnetômetro triaxiais.

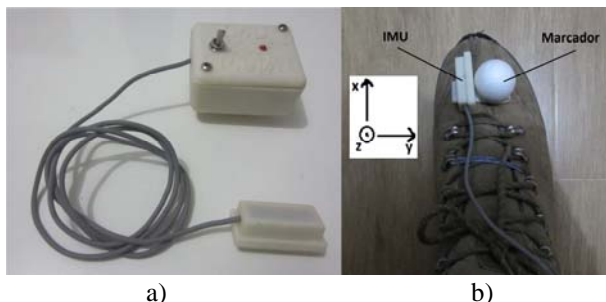


Figura 1: a) unidades de aquisição e transmissão de sinais. b) posicionamento do marcador e sensor IMU no pé direito do participante.

A extração dos parâmetros cinemáticos do vídeo foi desenvolvida com o aplicativo MATLAB versão R2013A, para a identificação automática da posição e velocidade do marcador durante a análise de marcha. Na rotina, o vídeo é decomposto em *frames* e, apresentando o primeiro *frame* na tela, solicita-se que o usuário clique sobre o marcador. Então, no próximo *frame*, utilizando um objeto circular sintético com diâmetro aproximadamente igual ao do marcador, realiza-se uma varredura nas adjacências da coordenada *xy* anterior. Ao encontrar o ponto que apresenta o maior índice de correlação, a coordenada é armazenada e servirá de referência para análise do próximo *frame*.

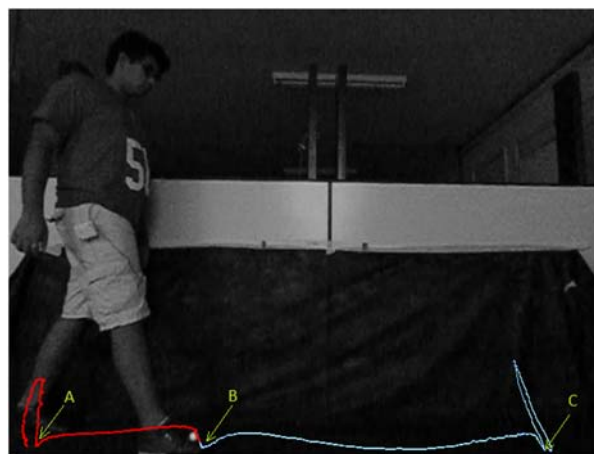


Figura 2: a) Solução de varredura para localização das coordenadas *xy*, b) trajetória típica extraída pela solução de vídeo.

Os vídeos foram gravados a uma taxa de 120 fps para evitar distorções no trajeto dos marcadores de cada *frame* e problemas na identificação automática. Para calcular os comprimentos, identificou-se a relação entre o diâmetro real do marcador e a quantidade de pixels correspondente na imagem.

O protocolo experimental inicia com a calibração dos sensores da IMU para compensar o *offset* característico dos sensores inerciais. Depois, conectou-se o conjunto IMU/marcador no pé direito do voluntário, como mostrado na Figura 1-b, onde é possível ver também a direção e o sentido dos eixos de referência. Após estes ajustes iniciais executaram-se os seguintes procedimentos experimentais: o voluntário posiciona-se no início do percurso, que é o extremo esquerdo (Figura 2); inicia-se a aquisição dos dados da IMU e a gravação do vídeo; o voluntário levanta o pé direito para marcação de início da atividade; realização da marcha até o fim do percurso; O sujeito levanta novamente o pé direito para marcação de fim da atividade; interrompe-se o vídeo e aquisição dos dados. O objetivo de levantar o pé no início e no fim da marcha é criar condições que facilitem a visualização e sincronização dos resultados utilizando as soluções de vídeo e IMU.

Existem diversos algoritmos de fusão de dados sensoriais disponíveis na literatura e para este trabalho

utilizou-se o filtro de fusão de dados de Madgwick [7], o qual faz uso dos cálculos de atitude apresentados por Mahony [8] para calibrar e integrar os sinais a fim de obter as coordenadas de Euler. A Figura 3 apresenta o diagrama do filtro utilizado para o cálculo da orientação do dispositivo utilizando quaterniões e que será utilizado para calcular a velocidade e a trajetória para posterior avaliação de similaridade entre as soluções propostas.

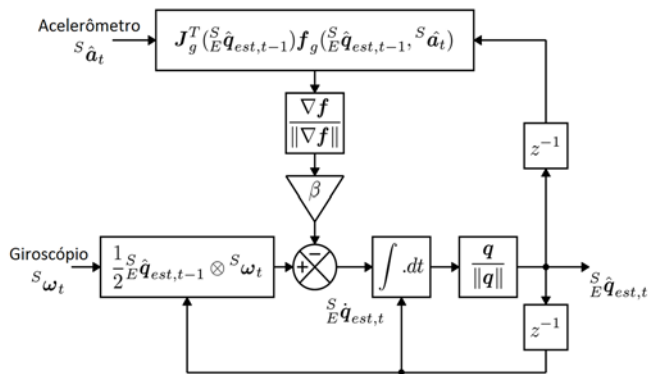


Figura 3: Diagrama de blocos do filtro para o cálculo da orientação [7].

Através do filtro os sinais são processados utilizando quaterniões, que é uma representação vetorial quadridimensional formada por uma parte real e uma complexa. A conversão é realizada para evitar o problema de se perder um grau de liberdade quando se realiza rotações baseadas nos ângulos de Euler. Posteriormente, lineariza-se os dados do acelerômetro para obter a velocidade e somar o deslocamento angular do giroscópio. Finalmente, os ângulos são convertidos para a notação dos ângulos de Euler.

Resultados

Após os procedimentos descritos anteriormente obteve-se, basicamente, dois arquivos: um vídeo para análise baseada em visão e um arquivo de texto com as informações recolhidas pelos sensores inerciais para análise utilizando a IMU.

Na Figura 4 são apresentados os resultados das trajetórias para os quatro sinais extraídos pela solução de vídeo e as quatro extraída pelo algoritmo de Madgwick [7]. O índice de correlação também foi identificado para uma avaliação comparativa entre as duas soluções.

A avaliação estatística descritiva foi aplicada nesse estudo, por meio da identificação do nível de correlação dos resultados promovidos pela técnica de vídeo e IMU. A solução baseada em imagem representa o padrão de referência para a abordagem comparativa com a IMU.

Na Tabela 1 estão apresentados os índices de correlação entre as curvas obtidas nas duas soluções nas dimensões x e y .

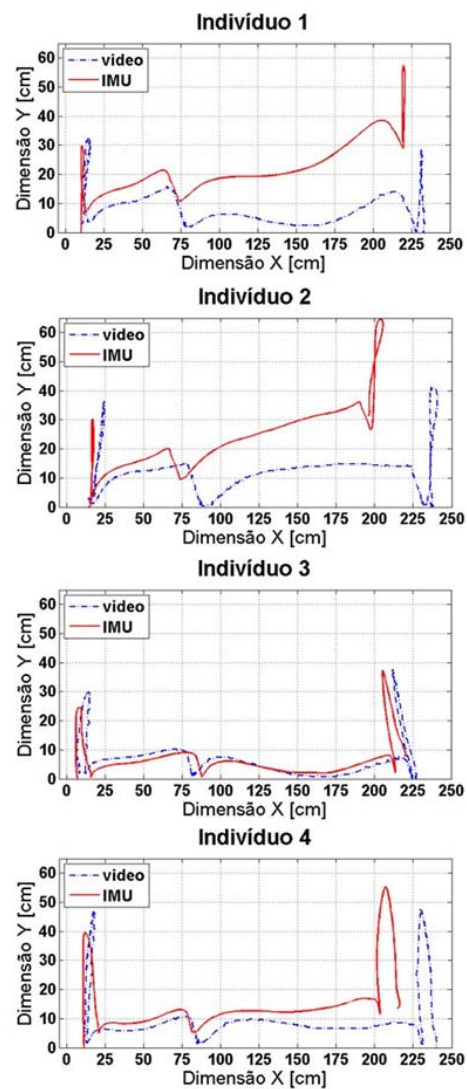


Figura 4: Gráficos das trajetórias extraídas para os quatro sujeitos. Linha contínua trajetória a partir da IMU e linha tracejada a trajetória extraída a partir do vídeo.

Tabela 1 – Índices de correlação entre as curvas obtidas pelo sistema de vídeo e IMU.

Participante	Correlação ($X(t)_{IMU}, X(t)_{vídeo}$)	Correlação ($Y(t)_{IMU}, Y(t)_{vídeo}$)
1	0,99718	0,61461
2	0,99158	0,68732
3	0,98205	0,72289
4	0,99237	0,8392

Discussão

Escolheu-se a técnica baseada em visão como referência pois, dentre os diversos métodos de análise de marcha, esse é o mais antigo e consolidado [9]. O método que utiliza a IMU possibilita que os dados sejam coletados à distância, permitindo que a avaliação

da marcha não se restrinja ao ambiente laboratorial ou limite os movimentos do participante. A instrumentação implementada possibilitou a efetiva aquisição dos sinais desejados, com as características típicas de cada solução. Deve-se observar que a IMU possibilitou rastrear o marcador em 3D, já na solução com câmera apresentada existe a restrição da análise em 2D. Assim, para uma comparação adequada entre as duas soluções foi necessário desconsiderar um grau de liberdade da IMU, considerando-se apenas as coordenadas x e z .

Observando as representações gráficas das trajetórias, na Figura 4, em conjunto com a correlação verificou-se que os parâmetros da análise de marcha obtidos nas duas soluções possuem valores próximo, porém, ainda existe um *drift* característico percebido na solução utilizando IMU. Este desvio ocorre devido as integrações realizadas para calcular a posição com base na aceleração e velocidade.

O índice de correlação indicou elevada similaridade entre às respostas do vídeo e da IMU. Contudo, é notória a distorção promovido pelo *drift* e a correlação foi pouco sensível a esse efeito. Assim, novas técnicas para avaliar a similaridades devem ser aplicadas, assim como, melhorias no algoritmos de rastreamento por IMU.

Conclusão

Em virtude do apresentado, percebemos o potencial do método apresentado para a análise de marcha humano. Como os resultados da correlação entre a técnica de processamento de vídeo e a técnica com a utilização da IMU indicaram graus entre forte e muito forte, é possível concluir que o método aqui apresentado possivelmente pode ser utilizado como alternativa aos métodos tradicionais. Porém é importante ressaltar a necessidade de aprimoramento da técnica, principalmente no que se diz respeito ao *drift* causado pelos sensores inerciais. Uma vez dominada essa tecnologia, será possível a realização da análise de marcha em indivíduos de uma forma mais simples e barata sem as limitações técnicas impostas aos métodos atuais, possibilitando também aplicações em ambiente externo.

Referências

- [1] Sousa, A. S. P. Análise da marcha baseada numa correlação multifatorial. 2008.
- [2] Zheng, H.; Black, N. D.; Harris, N. D. Position-sensing technologies for movement analysis in stroke rehabilitation. *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol. 43, p. 413 – 420, 2005.
- [3] Iwabe, C.; Diz, M.; Barudy, D. P. Análise cinemática da marcha em indivíduos com Acidente Vascular Encefálico. *Revista Neurociências*, v. 16, n. 4, p. 292-6, 2008.
- [4] Gill, H. S. et al. *Optical Measurements Methods in Biomechanics*. [S.l.]: Chapman & Hall, 2007.

- [5] ADXL345 Datasheet. Digital Accelerometer. Analog Devices. Maio de 2014. Disponível em <http://www.analog.com>. Acesso em 22/05/2014.
- [6] ITG-3200 Datasheet. Digital MEMS gyro IC. InvenSense. Maio de 2014. Disponível em <http://www.invensense.com>. Acesso em 22/05/2014.
- [7] Madgwick, S. O.; Harrison, A. J.; Vaidyanathan, R. Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm. *Rehabilitation Robotics (ICORR)*. IEEE International Conference on, 2011. IEEE. p.1-7.
- [8] Mahony, R.; Hamel, T.; Pflimlin, J. Non-linear complementary filters on the special orthogonal group. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2008.
- [9] Whittle, M. W. *Gait Analysis an Introduction*: Elsevier, 2007.
- [10] Callegari-Jacques, Sidia M. *Bioestatística: Princípios e Aplicações*. Porto Alegre: Artmed, 2003.