

SOFTWARE PARA PROCESSAMENTO AUTOMÁTICO DE TRAJETÓRIAS OBTIDAS EM SISTEMAS ÓPTICOS DE CINEMETRIA PARA MOVIMENTOS DA MÃO

Jéssica de Abreu, Programa de Engenharia Biomédica, UFRJ, jabreu@vialink.com.br
Luciano Menegaldo, Programa de Engenharia Biomédica, UFRJ, lmeneg@gmail.com

Resumo. O processamento de trajetórias obtidas com o uso de sistemas ópticos de cinematria pode envolver gasto significativo de tempo e erros associados à correção manual de trajetórias. Para movimentos da mão, o uso de marcadores pequenos e próximos aumenta, além disso, a frequência de erros de rotulagem. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um software para processamento e rotulagem automática das trajetórias de marcadores obtidas em movimentos da mão com o uso de sistemas ópticos de cinematria. O software mapeia gradientes ao longo do movimento, separando as trajetórias e descartando quadros vizinhos a picos no gradiente. As trajetórias são então reassociadas, obedecendo a um critério de distância máxima. Uma estrutura hierárquica de conectividade está em desenvolvimento para associação de trajetórias e interpolação em casos de gaps prolongados. Foram avaliados um total de 15 movimentos da mão executados por 5 sujeitos, capturados com o sistema de cinematria BTS-Smart. Todos os casos de sobreposição de trajetórias foram corrigidos e a rotina obteve resultados satisfatórios de associação de trajetórias em gaps inferiores a 20 quadros. O software pode amparar análises clínicas e estudos da biomecânica da mão, reduzindo erros e o tempo de processamento de dados.

Palavras chave: Cinemática da mão, Rotulagem de marcadores, Movimento da mão, Modelagem cinemática.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas para reconstrução de movimentos são ferramentas importantes para análises clínicas. Os dados amparam a tomada de decisões de profissionais de saúde, permitindo a visualização detalhada do movimento, a quantificação de grandezas cinemáticas e facilitam a compreensão da biomecânica envolvida em processos complexos. Sistemas ópticos baseados no reconhecimento de marcadores reflexivos, por sua precisão e estabilidade, são considerados o padrão ouro para a reconstrução da cinemática (Ceseracciu, Sawacha, e Cobelli, 2014). No entanto, a rotulagem das trajetórias pode ser bastante falha (Yu, Li, e Deng, 2007). Erros de rotulagem podem ocorrer devido a oclusões de marcadores ou ruídos nas trajetórias, mas também por indeterminações na solução numérica da reconstrução 3D, como mostra a Fig. (1). O uso de marcadores pequenos e próximos aumenta a frequência de erros de rotulagem, e o processo para correção disponível em softwares comerciais de cinematria envolve a edição manual das trajetórias (Zhao, W., Chai, J., e Xu, Y., 2012).

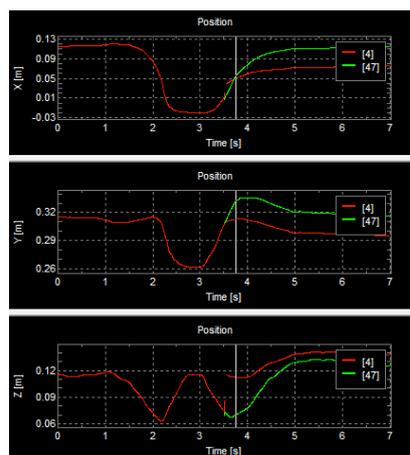


Figura 1: Exemplo de erro de rotulagem de trajetórias usando software tradicional de cinematria.

A rotulagem automática de marcadores para movimentos da mão permanece um problema em aberto. Com mais de 25 graus de liberdade (Lee e Kunii, 1995), é comum a oclusão de marcadores ao longo da captura. As pequenas distâncias e o diâmetro da ordem de 5 mm (Cerveri et al., 2007) dos marcadores aumentam a frequência de associação incorreta de trajetórias. A correção manual é propensa a erros e envolve gasto significativo de tempo. Alguns trabalhos exploram alternativas para redução do tempo de processamento e aquisição de dados precisos da cinemática, eventualmente sem o uso de sistemas ópticos e marcadores. Hoyet *et al.* (2012) avaliaram a confiabilidade da

modelagem cinemática a partir de uma configuração reduzida de marcadores. Zhao *et al.* (2012) obtiveram resultados promissores usando o kinect para reconstruir movimentos da mão. No entanto, o uso de sistemas ópticos e marcadores reflexivos permanece a alternativa de maior confiabilidade para a aquisição da cinemática.

Este trabalho introduz uma ferramenta computacional para rotulagem automática de trajetórias de marcadores usados para reconstrução de movimentos da mão. Espera-se, com isso, amparar análises clínicas e estudos da biomecânica da mão que envolveriam, de outro modo, gasto significativo de tempo no tratamento dos dados e cálculo de variáveis cinemáticas de interesse.

2. METODOLOGIA

A reconstrução dos movimentos da mão foi feita usando o sistema de cinemetria BTS-Smart Capture. Oito câmeras de infravermelho são posicionadas para *tracking* da posição de marcadores reflexivos fixados às superfícies de interesse. Neste trabalho, foi adotado um protocolo de marcação com 23 marcadores (Cerveri et al., 2007), como mostra a Fig. (2). A sequência de testes inclui a captura da mão em postura estática, em movimentos de flexão/extensão e de pinça com o punho em posição neutra. Cinco sujeitos participaram das coletas.



Figura 2: Protocolo de marcação adotado no trabalho. Marcadores de 10 mm de diâmetro definem o plano de seção do punho. Os marcadores restantes têm 4 mm de diâmetro.

O software para processamento das trajetórias foi desenvolvido em Python. A Figura (3) mostra um esquema das etapas de processamento. As etapas em cinza estão em desenvolvimento.

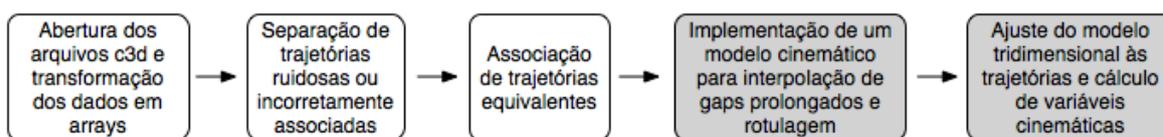


Figura 3: Sequência de processamento adotada no software.

Inicialmente, o software busca separar trajetórias incorretamente associadas por meio do mapeamento de gradientes. Picos de gradientes podem ser associados tanto a erros de junção de trajetórias como a ruídos, e a rotina elimina os quadros vizinhos a janelas que apresentem gradiente superior a 5mm/quadro em x, y ou z. Este valor de limiar possibilitou separação de todas as trajetórias incorretamente associadas entre os movimentos capturados, eliminando também parte das janelas ruidosas. Em seguida, as trajetórias são acopladas, mapeando as menores distâncias entre gaps. Gaps superiores a 20 quadros, ou distantes mais de 5 mm, impedem a junção de trajetórias nesta etapa.

Um modelo cinemático da mão está em desenvolvimento para rotular trajetórias que não obedecem aos critérios estipulados na etapa anterior e associar trajetórias à sigla articular correta. Os ossos são considerados segmentos perfeitamente rígidos acoplados por articulações de 1, 2 ou 3 graus de liberdade (GdL) (Cerveri et al., 2007)(Lee e Kunii, 1995). A Figura (4) mostra um esquema representativo do modelo adotado. As articulações metacarpofalangeanas (MCP) têm 2 GdL, podendo mover-se em flexão/extensão e adução/abdução. As articulações interfalangeanas proximais (PIP) e distais (DIP) têm 1 GdL, sendo considerado apenas o movimento de flexão/extensão. São atribuídos 3 graus de liberdade ao punho para considerar a pronação/supinação do antebraço (Cerveri et al., 2007). A articulação trapézio-metacarpiana é modelada com 3 GdL, flexão/extensão, adução/abdução e pronação/supinação.

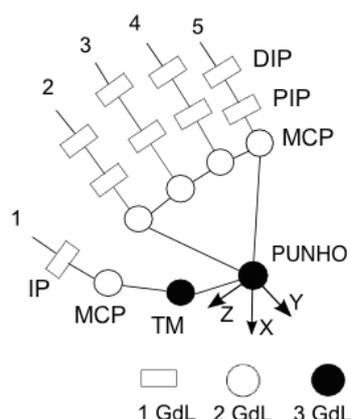


Figura 4: Estrutura do modelo cinemático adotado.

A renderização do modelo tridimensional da mão foi feita no software open source de animação gráfica Blender. Foram considerados segmentos ósseos cilíndricos e articulações perfeitamente esféricas, como mostra a Figura (5). O modelo é calibrado para cada sujeito de acordo com os comprimentos dos segmentos ósseos obtidos na postura estática e as profundidades articulares medidas com o paquímetro. Uma rotina de otimização estática para ajustar a posição dos segmentos do modelo da mão às trajetórias rotuladas dos marcadores está em desenvolvimento. Para a estimativa de ângulos articulares, foram definidos sistemas de referência locais em cada centro articular, orientados de acordo com o padrão definido pela ISB (Wu et al., 2005). O cálculo é feito por ângulos de Euler entre centros articulares proximais e distais. Os ângulos de Euler seguem a convenção ZYX (Siciliano e Khatib, 2008), na sequência: flexão/extensão (Z), pronação/supinação (Y) e adução/abdução (X).

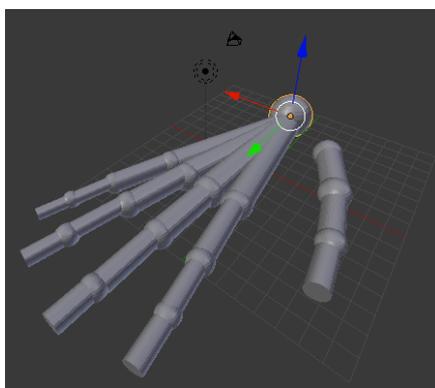


Figura 5: Modelo tridimensional da mão implementado no software Blender.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o total de 15 movimentos de flexão/extensão e de pinça medidos, 64 trajetórias foram associadas incorretamente. A primeira etapa do software separou as trajetórias em todos os casos de erros de associação. A Figura (6) mostra um exemplo de correção. O limiar de gradiente adotado proporcionou resultados satisfatórios para esta aplicação. No entanto, medições mais ruidosas ou aplicações com distâncias entre marcadores ainda menores que as envolvidas em movimentos da mão podem necessitar de um ajuste do valor limiar.

A junção de trajetórias em casos de *gaps*, de acordo com a metodologia adotada nas fases iniciais do software, apenas pode ser feita para *gaps* menores que 20 quadros que se adequem ao critério de distância detalhado na seção de metodologia. Considerando os 15 movimentos avaliados, houve um total de 128 *gaps* em trajetórias. O software foi capaz de associar trajetórias equivalentes em 46 dos casos. Os critérios conservadores adotados nesta etapa do programa visam minimizar a chance de associação incorreta de trajetórias. De fato, não houve junção de trajetórias não equivalentes pelo software, com o custo de uma menor taxa de associação de trajetórias pertencentes ao mesmo marcador.

A implementação de uma cadeia hierárquica de conectividade (Cerveri et al., 2007) levando em conta o modelo cinemático da mão pode permitir a associação de trajetórias mesmo em casos de *gaps* prolongados. Etapas futuras deste trabalho terão como objetivo o desenvolvimento de uma estrutura em árvore para rotulagem sequencial de marcadores e preenchimento de *gaps* longos, onde a interpolação usual por splines cúbicas fornece resultados imprecisos (Meng, Li, e Holstein, 2006).

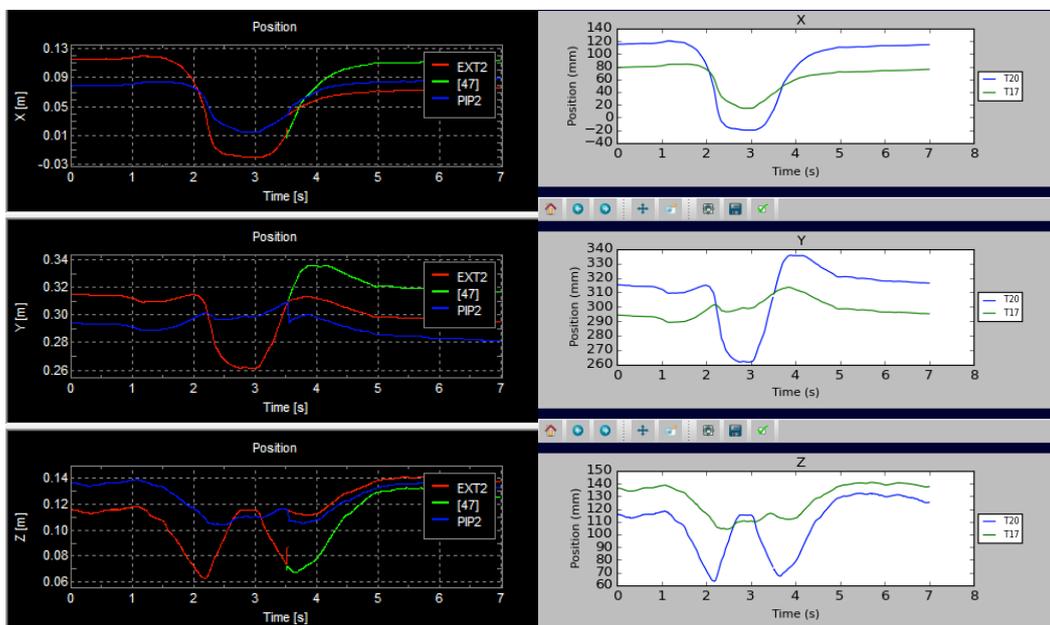


Figura 6: Correção de associação incorreta de trajetórias. A Figura à esquerda mostra trajetórias brutas obtidas em software tradicional de cinemetria. À direita está o resultado corrigido pela rotina desenvolvida neste trabalho.

4. CONCLUSÃO

O software de processamento de trajetórias obteve bons resultados de correção de trajetórias sobrepostas, desassociando todas as trajetórias em que isto ocorreu e reassociando-as às trajetórias corretas. Houve um total de 64 trajetórias sobrepostas nas 15 capturas de movimento da mão avaliadas. A junção de trajetórias com *gaps*, adotando critérios conservadores, associou corretamente 46 dos 125 casos de interrupção nas trajetórias. Não houve erro de associação de trajetórias com *gaps*.

O estágio atual do software permite redução significativa do tempo de processamento de dados de movimento da mão. Etapas futuras deste trabalho devem incluir o desenvolvimento de um modelo em árvore para rotulagem sequencial de marcadores, a interpolação de *gaps* considerando um modelo cinemático da mão e o ajuste de um modelo tridimensional da mão aos dados processados de trajetórias.

5. REFERÊNCIAS

- Cerveri, P., Momi, E., Lopomo, N., Baud-Bovy, G., Barros, R. M. L., e Ferrigno, G., 2007, “Finger Kinematic Modeling and Real-Time Hand Motion Estimation”, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol.35, pp.1989-2002.
- Ceseracciu, E., Sawacha, Z., e Cobelli, C., 2014, “Comparison of Markerless and Marker-Based Motion Capture Technologies through Simultaneous Data Collection during Gait: Proof of Concept”, *PLoS ONE*, Vol.9, pp. e87640.
- Hoyet, L., Ryall, K., McDonnell, R., e O’Sullivan, C., 2012, “Sleight of hand: perception of finger motion from reduced marker sets”, *ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, New York, USA, pp. 79-86.
- Lee, J. e Kunii, T., 1995, “Model-based analysis of hand posture”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.15, pp.77–86.
- Meng, Q., Li, B., e Holstein, H., 2006, “Recognition of human periodic movements from unstructured information using a motion-based frequency domain approach”, *Image and Vision Computing*, Vol.24, pp.795-809.
- Siciliano, B. e Khatib, O., 2008, “Springer handbook of robotics”, Springer, Berlin.
- Wu, G., van der Helm, F. C. T., (DirkJan) Veeger, H. E. J., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., et al., 2005, “ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand”, *Journal of Biomechanics*, Vol.38, pp.981-992.

Yu, Q., Li, Q., e Deng, Z., 2007, “Online Motion Capture Marker Labeling for Multiple Interacting Articulated Targets”, Computer Graphics Forum, Vol.26, pp.477-483.

Zhao, W., Chai, J., e Xu, Y., 2012, “Combining Marker-based Mocap and RGB-D Camera for Acquiring High-fidelity Hand Motion Data”, ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation, Aire-la-Ville, Switzerland, pp. 33-42.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPERJ, CNPq e FINEP pelo suporte em diversas etapas do projeto e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

7. ABSTRACT

Marker based motion capture tracks processing may be time consuming and error prone due to manual track correction. Reduced marker size and inter-distances increase labeling errors for hand movements. This work aims at the development of a software for automatic marker track processing and labeling during hand movements. The software maps gradients during sequences, splitting tracks and discarding frames near to gradient peaks. Tracks are then joined according to a maximal distance criterion. A hierarchy chain is under development for track processing when long gaps occur. Fifteen hand movement sequences were executed by 5 subjects and reconstructed using BTS-Smart motion capture system. The program was able to correct all cases of track overlapping and obtained good results joining tracks with gaps smaller than 20 frames. The software may be used in clinical analysis and hand biomechanics studies, reducing errors and time expenditure in data processing.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.