

Manipulação vetorial e cálculos matemáticos para a quantificação dos movimentos das mãos e interação manual

Taynara Araújo de Assis*
taynara.aa@puccampinas.edu.br
Pontifícia Universidade Católica de
Campinas
Campinas, São Paulo, Brasil

Vitor Yuzo Takei
vitor.yt@puccampinas.edu.br
Pontifícia Universidade Católica de
Campinas
Campinas, São Paulo, Brasil

Alexandre Fonseca Brandão
alexandre.brandao@puc-
campinas.edu.br
Pontifícia Universidade Católica de
Campinas
Campinas, Brasil

Wemerson Delcio Parreira
wemerson.delcio@puc-
campinas.edu.br
Pontifícia Universidade Católica de
Campinas
Campinas, São Paulo, Brasil

Luis Guilherme Silva Rodrigues
guilherme.rodrigues@unesp.br
Universidade Estadual Paulista
Bauru, São Paulo, Brasil

José Remo Ferreira Brega
remo.brega@unesp.br
Universidade Estadual Paulista
Bauru, São Paulo, Brasil

Resumo

The development of interactive and accessible computational technologies for treating patients, elderly individuals, and people with disabilities includes the stimulation of manual movements, especially when related to routine activities and the maintenance of autonomy. Equipment that algebraically quantifies and provides precise data on human body kinematics, including hand movements, enables the reconstruction of biomechanical movement and allows interaction with virtual environments, made possible through computer vision techniques. In this context, a study and application of mathematical vector manipulation calculations are proposed to quantify hand movements and highlight their applications in healthcare.

visando sua aplicação em interfaces virtuais voltadas para o tratamento e reabilitação dos movimentos manuais [7]. Esta proposta utiliza ferramentas para desenvolver análises cinemáticas e cálculos que tratam os dados referentes aos movimentos das mãos. Cada segmento da mão será representado vetorialmente para permitir o cálculo da amplitude de movimento entre os membros. Para isso, será utilizado o cálculo do ângulo entre dois vetores, dado pela Equação 2 mencionada a seguir.

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{v}_a \cdot \vec{v}_b}{|\vec{v}_a| \cdot |\vec{v}_b|} \quad (1)$$

Keywords

Computer Vision, Vector Manipulation, Kinematics.

1 Introdução

A aplicação da Álgebra na análise e manipulação de corpos no espaço é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias computacionais voltadas para o processamento de imagens, que possibilitem a quantificação e a otimização do reconhecimento corporal por meio de técnicas de visão computacional [1–4]. Essa abordagem envolve a manipulação vetorial dos objetos no espaço, permitindo a análise da movimentação angular entre vetores e sua representação por meio de cálculos matemáticos algébricos [5], o que permite, no caso de estudos dos movimentos manuais, aplicações dos princípios da Álgebra Linear para a reconstrução dos movimentos destas articulações [6]. Ao representar os objetos de forma algébrica no espaço, torna-se possível realizar uma análise geométrica do comportamento do segmento corporal em questão, o que permite a quantificação dos movimentos no espaço em função do tempo. Dessa forma, a movimentação pode ser simulada por meio de cálculos vetoriais que abordam conceitos físico-mecânicos, o que contribui para o entendimento cinemático (estudo da amplitude de movimento, velocidade e variação angular) das mãos,

em que \vec{v}_a e \vec{v}_b são os vetores que representam os segmentos da mão. A partir do valor de $\cos(\theta)$, será possível determinar o arco (em radianos) e, em seguida, calcular o ângulo θ , que representará a amplitude de movimento entre os segmentos das mãos. Nota-se que a unicidade da operação será analisada ao longo dos estudos e avanços no desenvolvimento da solução. Assim, o projeto contribuirá para a compreensão e quantificação dos movimentos das mãos em contextos relacionados à prevenção, atividade física adaptada, recuperação motora e neurofuncional.

2 Metodologia

Neste estudo, implementou-se uma solução denominada Amplitude de Movimento da Mão (Hand Range of Motion – *Hand-ROM*) para a interação do usuário a partir do rastreamento das mãos, utilizando técnicas de manipulação vetorial para extrair dados que representam a variação angular desses movimentos gestuais [8, 9]. A lógica, desenvolvida neste estudo, realiza o passo a passo do cálculo vetorial entre dois pontos, conforme apresentado na Figura 1.

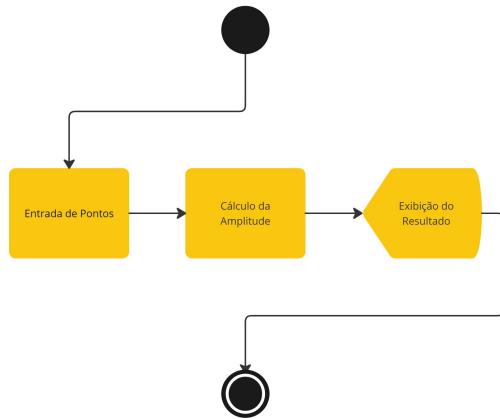


Figura 1: Diagrama UML, com a representação esquemática da arquitetura do código

Além disso, o algoritmo *Hand-ROM*, originalmente implementado em C, foi desenvolvido em Python utilizando a biblioteca Mediapipe¹ para rastreamento das mãos e o cálculo da amplitude entre o polegar e o indicador, mas posteriormente será adaptado para C# a fim de garantir recursos interativos para o desenvolvimento de uma interface virtual.

A realização desta pesquisa e desenvolvimento ocorre no Laboratório de Informática em Saúde e Inovação – LISI, que possui infraestrutura e equipamentos adequados para a realização deste estudo, além de contar com profissionais e instalações do complexo de Inteligência Artificial e Internet das Coisas (Programa AIoT Lab Brasil²) da PUC-Campinas, o que possibilita a integração desses temas estratégicos com o desenvolvimento tecnológico voltado às áreas da saúde.

2.1 Implementação

Foi desenvolvido um programa para quantificar a amplitude de movimento entre os segmentos das mãos. Para isso, foi utilizada a biblioteca MediaPipe, um software de visão computacional que utiliza modelos de aprendizado de máquina (ML, do inglês: *Machine Learning*) para rastreamento manual e identificação de pontos-chave das mãos por meio de vídeos ou imagens (Figura 2). Além disso, a biblioteca fornece coordenadas precisas para aplicações interativas para a manipulação de objetos virtuais.

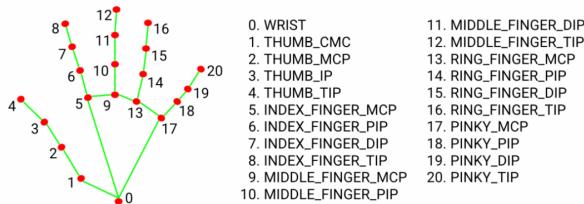


Figura 2: Guia de detecção e localização dos pontos das mãos da biblioteca MediaPipe

¹https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker

²<https://www.puc-campinas.edu.br/filtro/aiot-lab-brasil/>

Para essa implementação, foram utilizados os pontos do indicador (*INDEX_FINGER_TIP*), polegar (*THUMB_TIP*) e pulso (*WRIST*) (Figura 3) para representar vetorialmente os segmentos indicador e polegar [1].

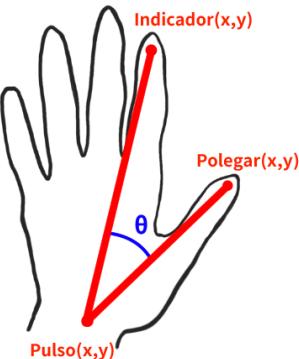


Figura 3: Representação vetorial do polegar e indicador, considerando a região central do pulso como origem.

A representação vetorial de um segmento é obtida pela subtração de dois pontos, de acordo com o trecho do código mostrado a seguir:

```

def create_vector(self, coord1, coord2):
    return (coord2.x - coord1.x, coord2.y
    - coord1.y)
  
```

Após a criação dos vetores na função abaixo:

```

def draw_landmarks(self, image, results):
    [...]
    // Criacao dos vetores polegar e indicador
    vector_1 = self.calc_amplitude.
        create_vector(wrist, index_finger)
    vector_2 = self.calc_amplitude.
        create_vector(wrist, thumb)

    // Calculo da amplitude
    angle = self.calc_amplitude.
        calculate_amplitude(vector_1,
        vector_2)
    [...]
  
```

Os vetores \vec{v}_1 e \vec{v}_2 representam, respectivamente, o indicador e o polegar e permitem o cálculo da amplitude de movimento por meio da Equação 2, apresentada a seguir:

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{|\vec{v}_1| \cdot |\vec{v}_2|} \quad (2)$$

A equação apresentada foi implementada na função do programa, descrita a seguir:

```

def calculate_amplitude(self, vector_1, vector_2
):
    // Calcula o produto escalar
  
```

```

scalar = ((vector_1[0] * vector_2[0])
+ (vector_1[1] * vector_2[1]))

// Calcula o produto modular dos vetores
result_modulus = self.modulation_vector
(vector_1) * self.modulation_vector
(vector_2)

// Calcula o angulo em radianos
cosine = scalar / result_modulus

// Retorna o angulo convertido para graus
return self.convert_degrees(math.acos
(cosine))

```

Esse método retorna o valor do ângulo, em graus, entre dois vetores, que, neste exemplo, correspondem ao cálculo da amplitude de movimento entre o indicador e o polegar.

3 Resultados Preliminares

O programa *Hand-ROM* utilizando uma biblioteca do software MediaPipe para realizar o rastreamento das mãos por meio da câmera RGB (*webcam*). Para isso, ele cria uma janela chamada *Hand Detection*, que ativa a câmera e identifica as mãos, mapeando pontos-chave com o auxílio do software.

Em seguida, o programa cria dois vetores (\vec{v}_1 e \vec{v}_2) a partir das coordenadas do dedo indicador (*INDEX_FINGER_TIP*), do polegar (*THUMB_TIP*) e de um ponto de referência central, o pulso (*WRIST*). Os vetores calculados são representados virtualmente na tela na cor verde, enquanto os pontos fornecidos pela biblioteca do software são exibidos na cor vermelha.

Com base nesses vetores, o programa calcula a amplitude do movimento e exibe na tela o valor do ângulo calculado, conforme mostrado na Figura 4.

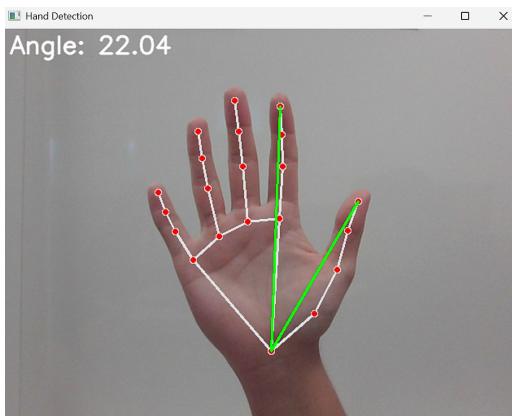


Figura 4: Janela de execução do programa *Hand-ROM*, exibindo o rastreamento da mão e o cálculo do ângulo formado entre o polegar e o indicador.

O valor do ângulo é atualizado em tempo real conforme os movimentos são realizados durante a execução do programa. No caso analisado, o ângulo calculado entre os vetores que representam o

polegar e o indicador permite identificar o movimento de adução ou abdução dos dedos, resultando em um valor de 22,04°.

3.1 Limitações

As limitações deste projeto estão na forma como os vetores são projetados. Em algumas posições de adução e abdução, os pontos que representam as articulações das mãos podem não ser representados com exatidão pelos vetores criados no programa, o que pode gerar uma margem de erro no cálculo da amplitude. Ou seja, pode haver uma diferença entre o ângulo real e o ângulo calculado a partir dos vetores. Esse erro ocorre devido ao uso do ponto do pulso como referência para a geração dos vetores do polegar e do indicador.

4 Considerações Finais

A identificação da melhor técnica de visão computacional e cálculo para quantificar a amplitude de movimento das mãos consiste no principal objetivo deste trabalho, incluindo a coleta de dados brutos das coordenadas, que representam os principais pontos articulares das mãos, e a integração desses dados para a reconstrução do movimento angular das extremidades dos membros superiores (movimentos manuais). Este trabalho contribuirá para a obtenção de dados precisos sobre a amplitude de movimento das mãos de pacientes, durante a interação manual com objetos virtuais em soluções de realidade estendida.

Referências

- [1] Fernando Gonçalves Abadia. Modelagem dos movimentos funcionais robótico-assistidos para a reabilitação dos membros superiores: Redução dos graus de liberdade de um manipulador antropomórfico. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, Mestrado em Engenharia Elétrica e da Computação, Goiânia, GO, 2010.
- [2] Alexandre Brandão, Marcelo Guimarães, Diego Dias, and José Brega. Virtual and augmented reality for neurofunctional recovery and human movement analysis. In *Anais Estendidos do XXIV Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada*, pages 38–40. SBC, 2022.
- [3] Jéssica da Abreu. Reconstrução da cinemática da mão em pacientes com hanseníase, 2013. Orientador: Fernando Augusto de Noronha Castro, Banca: Luciano Luporini Menegaldo, Daniel Alves Castello, Fernando Alves Rochinha.
- [4] Luis Guilherme Silva Rodrigues, Diego Roberto Colombo Dias, Marcelo de Paiva Guimarães, Alexandre Fonseca Brandão, Leonardo C Rocha, Rogério Luiz Iope, and José Remo Ferreira Brega. Supervised classification of motor-rehabilitation body movements with rgb cameras and pose tracking data. *Journal on Interactive Systems*, 13(1):221–231, 2022.
- [5] Aline Araújo do Carmo. Análise cinemática da movimentação dos membros superiores e inferiores, tronco e cabeça durante a marcha de hemiparéticos. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física, Campinas, SP, 2009. Orientador: Ricardo Machado Leite de Barros.
- [6] Mateus Castro, João Xavier, Paulo Rosa, and Jauvane de Oliveira. Intereração por rastreamento de mão em ambiente de realidade virtual. Master's thesis, Porto Alegre, RS, Brasil, 2020.
- [7] Luiz Rogério Scudeletti, Alexandre Fonseca Brandão, Diego Roberto Colombo Dias, and José Remo Ferreira Brega. Kinesios: A telerehabilitation and functional analysis system for post-stroke physical rehabilitation therapies. In Osvaldo Gervasi, Beniamino Murgante, Sanjay Misra, Chiara Garau, Ivan Blečić, David Taniar, Bernady O. Apduhan, Ana Maria A.C. Rocha, Eufemia Tarantino, and Carmelo Maria Torre, editors, *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2021*, pages 174–185, Cham, 2021. Springer International Publishing.
- [8] Rodrigo Fernandes Freitas. Sistema de rastreamento da mão humana utilizando visão artificial para aplicações embarcadas. Master's thesis, Universidade Federal do Ceará, 2011.
- [9] Luiz Gustavo Rezende. Simulação da cinemática inversa de um robô scara através da implementação de algoritmos por métodos numéricos, 2023. Orientador: Flávio Luiz Rossini.