

Estymacja kąta w stawie biodrowym i położenia stawu kolanowego

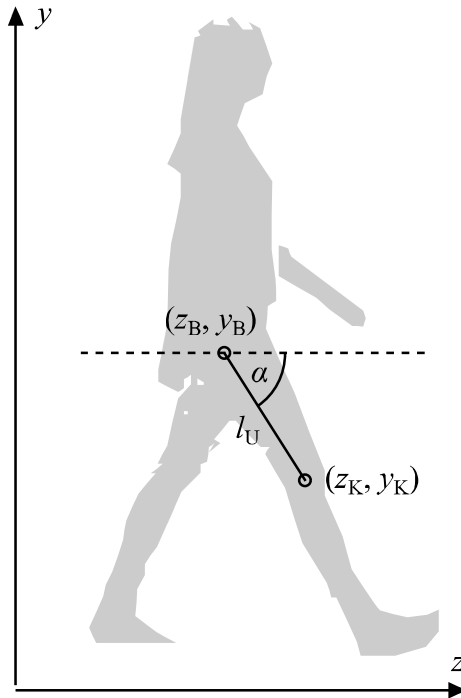
Estymacja kąta w stawie biodrowym na podstawie położenia stawów kolanowego biodrowego

Dysponując estymatami współrzędnych położenia stawu kolanowego wzdłuż kierunku ruchu z_K i w kierunku pionowym y_K oraz stawu biodrowego wzdłuż kierunku ruchu z_B i w kierunku pionowym y_B , kąt w stawie biodrowym α można wyznaczyć korzystając z następującego wzoru:

$$\alpha = \arccos \frac{\mathbf{h}^T (\mathbf{x}_K - \mathbf{x}_B)}{\|\mathbf{h}\|_2 \|\mathbf{x}_K - \mathbf{x}_B\|_2}$$

gdzie:

$$\mathbf{x}_K \equiv \begin{bmatrix} z_K \\ y_K \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_B \equiv \begin{bmatrix} z_B \\ y_B \end{bmatrix}, \quad \mathbf{h} \equiv \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$



Aproksymacja przebiegu kąta w stawie biodrowym funkcją sinusoidalną

Podczas typowego chodu, kąt w stawie biodrowym ma przebieg w przybliżeniu sinusoidalny:

$$\alpha(t) \cong \alpha_0 + A \sin(2\pi f t + \varphi_0)$$

Dysponując sekwencją estymat kąta w stawie biodrowym $\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \dots, \tilde{\alpha}_N$, odpowiadających chwilom pomiaru t_1, t_2, \dots, t_N , można wyestymować parametry ww. funkcji aproksymującej $\alpha_0, A, f, \varphi_0$ poprzez minimalizację następującego wskaźnika dopasowania do danych:

$$J(\alpha_0, A, f, \varphi_0) \equiv \sum_{n=1}^N (\alpha_0 + A \sin(2\pi f t_n + \varphi_0) - \tilde{\alpha}_n)^2$$

Do minimalizacji wskaźnika J w środowisku MATLAB można wykorzystać funkcję `fminsearch`; jej skuteczność zależy jednak silnie od doboru punktu startowego. Można punkt ten dobrać,

przeszukując systematycznie niewielki zbiór wartości parametrów $\alpha_0, A, f, \varphi_0$ i wybierając te spośród nich, które dają najmniejszą wartość wskaźnika J , albo analizując dyskretną transformatę Fouriera sekwencji $\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \dots, \tilde{\alpha}_N$.

Estymacja położenia stawu kolanowego na podstawie kąta w stawie biodrowym i jego położenia

Dysponując estymatami współrzędnych położenia stawu biodrowego wzdłuż kierunku ruchu z_B i w kierunku pionowym y_B , estymatą kąta w stawie biodrowym α oraz estymatą długości kości udowej l_U , można wyznaczyć współrzędne położenia stawu kolanowego z_K, y_K za pomocą następujących wzorów:

$$\begin{cases} z_K = z_B + l_U \cos \alpha \\ y_K = y_B - l_U \sin \alpha \end{cases}$$

Zbiór danych do testowania metod przetwarzania danych

Dane o dużej dokładności, reprezentujące współrzędne położenia różnych części ciała podczas chodu, pozyskane za pomocą systemu optoelektronicznego, można znaleźć w zbiorze dostępnym pod poniższym adresem:

<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.14727231>

Zbiór ten jest opisany w artykule: G. Santos, M. Wanderley, T. Tavares, A. Rocha, “A multi-sensor human gait dataset captured through an optical system and inertial measurement units”, *Scientific Data* **9**, 545 (2022), <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01638-2>