

V. Zanchi

Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana

PRISTUP K ANALIZI KOORDINACIJE MIŠIČNIH SILA

U V O D

U ovom radu na temelju postojećih mjerenja goniograma (1) potkoljenice, bedra i kuka, koristeći model čovjeka pri hodu nađen je model osjetljivosti. Koristeći matematski model osjetljivosti ispitujemo kako devijacije mišićnih momenata utiču na devijacije gore spomenutih goniograma. Na taj način utvrđuje se osjetljivost nominalnih trajektorija hoda na devijacije momenata mišićnih sila.

Usporedbom krivulje osjetljivosti i myograma mišićnih sila uočena je korelacija između perioda djelovanja pojedinih mišićnih sila i iznosa funkcije osjetljivosti. Izrađen je analitički i numerički postupak za zamašnu fazu potkoljenice.

MODEL ČOVJeka PRI HODU

Za model čovjeka pri hodu uzet je poznati model Ghow-Jacobsona (1), koji je prikazan na slici 1. Sistom diferencijalnih jednačbi koji definira taj model glasi:

$$\dot{x}_1 = x_3$$

$$\dot{x}_2 = x_4$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{\delta} \left[(R_3 + u_1) x_2 + t_7 (R_4 + u_2) \right]$$

$$\dot{x}_4 = \frac{1}{\delta} \left[t_7 (R_3 + u_1) + t_8 (R_4 + u_2) \right]$$

$$\dot{t}_1 = -C_3 t_3 \dot{x}_4 - C_3 t_3 \dot{x}_5 - (C_1 t_1 - C_2 t_3) \dot{\theta}$$

$$\dot{t}_2 = -C_3 t_3 \dot{x}_5^2 - C_3 t_3 \dot{\theta}$$

$$= A_2 t_3 - t_7^2$$

$$\dot{t}_3 = A_1 + 2 C_3 t_3 \dot{\theta}, \quad \dot{t}_7 = A_2 + C_3 t_3 \dot{\theta},$$

$$\dot{t}_3 = \dot{t}_3 - \dot{t}_7$$

Če su u_1 i u_2 u zemaljskoj ravnini momenti oko zgloba kuka i koljena, s A_1 i C_3 označene su konstante koje su definirane geometrijskim veličinama tijela a $t_{11} = t_{11}(\varphi, \theta, \psi_0, u_1, u_2)$ (1).

STANJE VARIJACIJA ZA MODEL LEVDIŠKOG HODA U ZEMALJSKOJ RAVINI

Općenito model šovjeka pri hodu, dan detaljno u prethodnom poglavlju, ima oblik:

$$\dot{t}_1 = A_1(u_1)$$

$$\dot{t}_2 = A_2(u_2)$$

$$\dot{t}_3 = A_3(x_1, x_2, x_3, x_4, u_1, u_2, t)$$

$$\dot{t}_4 = A_4(x_1, x_2, x_3, x_4, u_1, u_2, t)$$

Stacionarna varijacija općenito za gornji sistem ima oblik (2, 3)

$$\delta \dot{z} = A \delta z + B \delta u$$

gde su δz , δz i δu jednodimenzionalni vektori s četiri redaka a A i B matrice koje su definirane kao slijedi:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial x_3} & \frac{\partial f_1}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_3} & \frac{\partial f_2}{\partial x_4} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_3} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} & \frac{\partial f_3}{\partial x_3} \\ \frac{\partial f_4}{\partial x_4} & \frac{\partial f_4}{\partial x_4} & \frac{\partial f_4}{\partial x_4} & \frac{\partial f_4}{\partial x_4} \end{bmatrix} \quad \text{i} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{\partial f_3}{\partial u_1} & \frac{\partial f_3}{\partial u_2} \\ \frac{\partial f_4}{\partial u_1} & \frac{\partial f_4}{\partial u_2} \end{bmatrix}$$

Izvršimo parcijalno deriviranje kako je definirano općim oblicima matrice A i B, i dobivamo za elemente matrica slijedeće vrijednosti.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

Gdje je:

$$a_{31} = \frac{1}{\delta} A_2 G \left[-C_2 t_4 - c_1 t_2 \right]$$

$$a_{32} = \frac{1}{\delta} \left\{ A_2 \left[-C_3 x_4 (x_4 - 2 x_3) t_6 - C_1 G t_2 - C_2 G t_4 \right] + \right.$$

$$+ t_7 (C_3 G t_5 - C_3 x_3^2 t_6) + C_3 t_5 (C_3 t_5 x_3^2 + t_6 G) -$$

$$\left. - C_3 t_5 u_2 \right\} - \frac{B_{s1}}{\delta^2} \left[2 A_2 C_3 (t_6 - t_5) + 2 t_5 t_6 \right]$$

$$a_{33} = \frac{1}{\delta} \left[2 C_3 t_5 (A_2 x_4 - x_3 t_7) \right]$$

$$a_{34} = 2 A_2 C_3 t_5 (x_3 - x_4)$$

$$a_{41} = \frac{1}{\delta} \left[- t_7 G (C_2 t_4 + C_1 t_2) \right]$$

$$a_{42} = \frac{1}{\delta} \left\{ (-R_3 C_3 t_5 - t_7 [C_3 x_4 (x_4 - 2 x_3) t_6 + C_1 G t_2 + \right. \\ \left. + C_2 G t_4] + R_4 (-2 C_3 t_5) + t_8 (-C_3 x_3^2 t_6 + C_3 G t_5) - \right. \\ \left. - 2 C_3 t_5 u_2 \right\} - \frac{1}{\delta^2} (2 A_2 C_3 (t_6 - t_5) + 2 t_5 t_6) D_{S2}$$

$$a_{43} = \frac{1}{\delta} (2 C_3 x_4 t_5 t_7) - (t_8 2 C_3 t_5 x_3) \frac{1}{\delta}$$

$$= \frac{1}{\delta} 2 C_3 t_5 (x_4 t_7 - x_3 t_8)$$

$$a_{44} = \frac{1}{\delta} \left[2 C_3 t_5 t_7 (x_3 - x_4) \right]$$

$$D_{S1} = (R_3 + u_1) A_2 + t_7 (R_4 + u_2)$$

$$D_{S2} = t_7 (R_3 + u_1) + t_8 (R_4 + u_2)$$

Matrice B glaci

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{A_2}{\delta} & \frac{t_7}{\delta} \\ \frac{t_7}{\delta} & \frac{t_8}{\delta} \end{bmatrix}$$

Na digitalnom računskom stroju riješen je sisten diferencijalnih jednažbi, definiranih gore u vektor matričnoj formi. Za rješavanje korišten je digitalno - analogni jezik MMIC (4).

Na slici 2. prikazana je krivulja osjetljivosti koja je dobivena devijacijom momenta mišićnih sila oko koljena (δu_2) za 10 % od nominalne vrijednosti.

Izvršimo li usporedbu myograma mišićnih sila u koje smo prethodno unijeli vremenski pomak od 0,1 se. (5,6) uočene su predudarnosti perioda djelovanja pojedinih mišićnih sila i amplitude krivulje osjetljivosti. Podjelimo li krivulju osjetljivosti na pet razreda, kao što je vidljivo na slici 1, moguće je mišiće koji sudjeluju pri gibanju potkoljenice svrstati u važnosne razrede. Na slici 3. prikazani su mišići svrstani po razredima. Vertikalne kote označavaju vremenski pomaknut period djelovanja pojedinih mišića pri gibanju potkoljenice u zamašnoj fazi.

ZAKLJUČAK

Uočena korelacija između funkcije osjetljivosti i myograma mišićnih sila ukazuje na mogući pristup k analizi koordinacije mišićnih sila koristeći u zamašnoj fazi samo lako dostupne podatke o goniogramima pri normalnom hodu. U potpornoj fazi izvršena je analitički analiza (2) koja je pokazala da su potrebni dodatni podaci za numeričku analizu: M_2 - moment u zglobu gležnja, i horizontalna i vertikalna reakcija u gležnju.

L i t e r a t u r a :

1. Chow C.K., Jacobson D.H.: Studies of Human Locomotion via Optimal Programming, Mathematical Biosciences 10, 1971.

2. Zanchi V.: Magistarski rad, Fakulteta za Elektrotehniku, Ljubljana, 1974. god.

3. Tomović R.: Analiza osjetljivosti dinamičkih sistema, Prosveta, Beograd 1963.

4. MIMIC, A Digital Simulator Program, Users Manual, Univcc

5. Zanchi V.: Dinamika Kontrakcije mišića, ZMM - Sarajevo 1970.

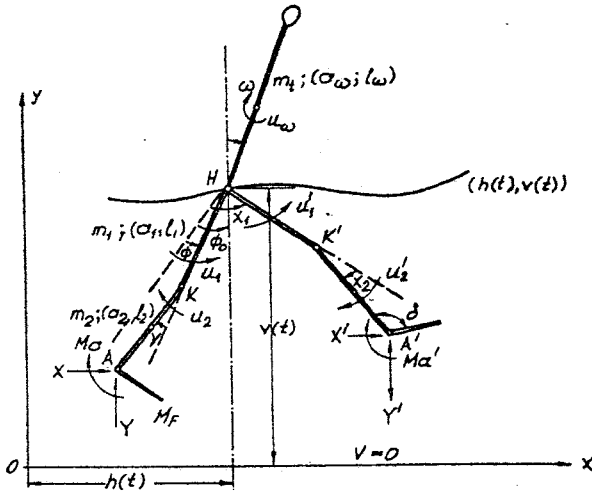
6. University of California: Ten Pattern of Muscular Activity in the Lower Extremity During Walking, 1955.

MAGU - GIN

Faint, mostly illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

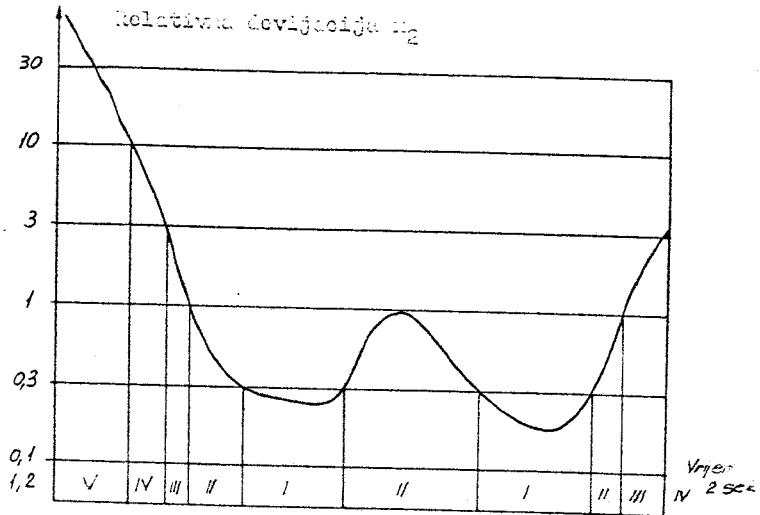
Faint text at the bottom of the page, possibly a signature or reference.

Faint text at the bottom of the page, possibly a signature or reference.

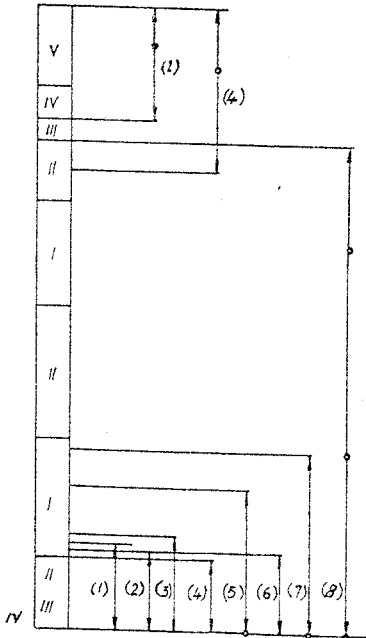


Sl. 1 Strukturni prikaz čovjeka za analizu nože

- a_1 - udaljenost centra gravitacije bedra od zgloba kuka
- a_2 - udaljenost centra gravitacije potkoljenice zgloba koljena
- l_1 - dužina potkoljenice
- l_2 - dužina bedra
- m_i - masa i-tog segmenta (i-1 bedro, ... i-t GRT, i-2 potkoljenica)
- X, Y - vertikalna i horizontalna reakcija u gležnju
- M_a - moment oko gležnja stopala
- u_i' - efektivni moment i-tog segmenta



Sl. 1. - Podjela krivulje osjetljivosti na razrede



- (1) Vestus medialis
- (2) Vestus lateralis
- (3) Vestus lateralis
- (4) Vestus posterior
- (5) Semispinosus
- (6) Semispinosus
- (7) Biceps l.h.
- (8) Biceps d.h.

Sl. 2. - Raspored mišića po njihovoj pripadnosti pojedinih razreda