

Vlasta ZANCHI
 Fakultet elektrotehnike,
 Strojarnstva i brodogradnje,
 Split

REFERAT

METODA ISTRAŽIVANJA ENERGETSKIH STANJA
 ČOVJEKA TOKOM HODA

SADRŽAJ - U radu su obradjena dva problema, problem modeliranja čovjeka u hodu i analiza energetske stanja centra gravitacije čovjeka, za vrijeme hoda. Predložen je mehanički, odnosno njemu pripadni matematski model, čije su osnovne karakteristike da pruža uvid u energetske stanje čovjeka u hodu i da je ekvivalentan po formi za obe faze hoda. Analiza energetske stanja vrši se preko analitičkog rješenja nelinearne diferencijalne jednačbe, koja predstavlja matematski model. Izvršena je numerička analiza jednog uzorka hoda, koja je pokazala koliki je doprinos kinetičkoj energiji, uzrokovan silom reakcije, i koliki je pad energije uzrokovan kretanjem mašuce noge.

ABSTRACT - This paper presents the mathematical model of bipedal walker and energy expenditure in level walking. The model has the same form for double support and single support phase of walking. The model also gives an insight in to the energy level of human gravity center. An easy method is given of calculating the brought in energy by force of reaction and the expended energy caused by moving the leg in swing phase.

1. UVOD

Ljudski hod jedno je od savršenstava prirode s kojim se svakodnevno susrećemo. Za očekivati je da se taj mehanizam uspravnog hoda, izgrađivan stoljećima, uspio razviti u optimalni sistem. Održavanje uspravnog položaja stalno je prisutan potrošač energije. Kretanje unaprijed, odnosno i istovremeno prisutne oscilacije te brzine predstavljaju aktivni potrošač energije i upravo ta energija biti će istraživana u ovom radu. Kao mjera za utrošenu energiju, u skladu s zakonima mehanike biti će promatrano odstupanje energetske stanja čovjeka od nekog referentnog nivoa, koji odgovara konzervativnom kretanju.

JEDNOSTRUKO POTPORNNA FAZA HODA - MODEL I ANALIZA ENERGETSKOG STANJA

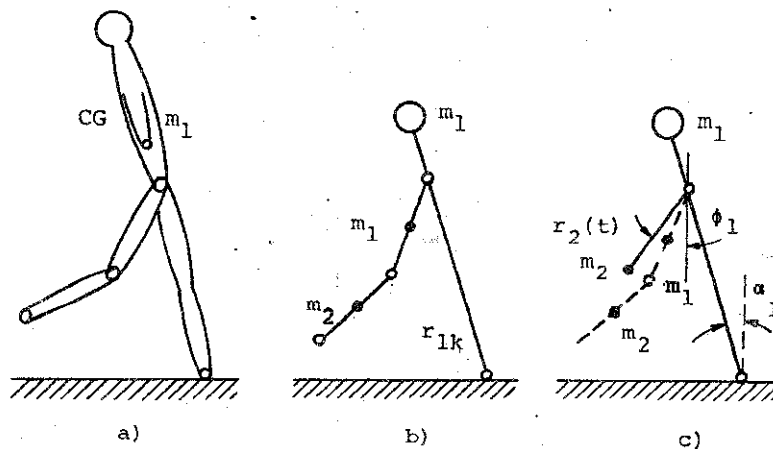
U JPF-i čovjek je poduprt na jednu nogu, a druga mašuća kreće se unaprijed. Analiza kretanja vrši se u sagitalnoj ravnini. Na slici 1. prikazan je čovjek u hodu i njegov odgovarajući mehanički model. U cilju pojednostavljenja analize, na mehaničkom modelu izvršeno je pojednostavljenje, odnosno mašuća noga nadomještena je jednostavnim njihalom s jednom masom i krakom promjenljive dužine. Odgovarajući mehanički model prikazan je na slici 1.c.)

Redukcija mašuće noge vrši se poznatom metodom iznesenom u radu 0. Fischera [1].

Jednostavnim trigonometrijskim relacijama, iz podataka o goniogramima bedra i potkoljenice, slijede podaci o kretanju reducirane mašuće noge i zakon po kome se mijenja krak jednostavnog njihala dobivenog redukcijom.

Na pojednostavljeni model prikazan na slici 1.c.) primjenjuje se poznati zakon Lagrange-ove dinamike [2].

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_r} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_r} + \frac{\partial V}{\partial q_r} = 0 \quad (1)$$



Slika 1. a) Čovjek u JPF-i hoda, b) Ekvivalentni mehanički model čovjeka, c) Model čovjeka s reduciranom mašućom nogom.

Uvedemo li za opću Lagrange-ove koordinatu promjenljivu α_1 , koja je definirana na slici 1.c.), dobivamo za naš matematski model nelinearnu diferencijalnu jednadžbu:

$$\alpha_1 + h_1 (\alpha_1, \phi_1, \dot{\phi}_1) = 0 \quad (2)$$

gdje su: $\phi_1, \dot{\phi}_1$ - poznati promjenljivi parametri.

Direktnim rješavanjem NDJ-i (2) uz poznate početne uvjete dobili bi zakone kretanja CG-e čovjeka.

Proglasimo li mašuću nogu smetnjom, čiji su zakoni kretanja poznati, (dobili smo ih iz mjerenih goniograma i redukcijom mašuće noge) i primjenimo poznati postupak za rješavanje nelinearnih konzervativnih sistema II. reda [3], slijedi rješenje u obliku:

$$x_2 = \sqrt{2 \left\{ C - \left| \frac{c}{a} \cos x_1 - \frac{b}{a} \ddot{\phi}_1 \sin (x_1 + \phi_1) - \frac{b}{a} \dot{\phi}_1^2 \cos (x_1 + \phi_1) - \frac{1}{a} \dot{r}_2 \dot{\phi}_1 m_2 r_{1k} \sin (x_1 + \phi_1) \right| \right\}} \quad (3)$$

gdje su: a, b, c, d , i r_{1k} - konstante koje slijede iz gradje ljudskog tijela (4).

C - konstanta definirana početnim uvjetima

$$x_1 = \alpha_1$$

$$x_2 = \alpha_1$$

m_2 - masa reducirane mašuće noge

r_2 - promjenljivi krak reducirane mašuće noge

Zbog usporedbe navodi se opće poznati oblik rješenja za jednostavno invertirano njihalo:

$$x_2 = \sqrt{2(C - \frac{g}{r_1} \cos x_1)} \quad (4)$$

Odmah je vidljivo da je rješenje jednostavnog njihala sadržano u rješenju složenog njihala. Kretanje mašuce noge uzrokuje odstupanje od osnovnog konzervativnog kretanja, predstavljenog izrazom jednakim po formi izrazu (4). Članovi pod korjenom uz $\ddot{\phi}_1$, $\dot{\phi}_1^2$ i $\dot{\phi} r_2$ zamjenjeni su konstantnim iznosima u kratkim intervalima. Samo numerička analiza može dati kvalitativni uvid o njihovom utjecaju na kutnu brzinu x_2 . Numerička analiza na jednom uzorku hoda pokazala je da je utjecaj člana koji sadrži $\dot{r}_2 \dot{\phi}_1$ znatan u prvih 30% JPF-e hoda i da unosi pad energije od 5 cal.

Utjecaj člana koji sadrži $\ddot{\phi}_1$ znatan je samo oko sredine JPF-e hoda i unosi daljnji pad kutne brzine, što se očituje kao pad energije od 23 cal.

DVOSTRUKO POTPORNFAZA HODA - MODEL I ANALIZA ENERGETSKIH STANJA

Izgubljena energija tokom JPF-e hoda, treba biti vraćena sistemu. U ovom poglavlju biti će pokazano da se to dešava u odraznom periodu DPF-e hoda. Možemo smatrati da odrazno djelovanje jedne noge nastupa u trenutku kada je druga noga preuzela ukupnu težinu čovjeka. Čovjek u toj fazi hoda prikazan je na slici 2.a.). Na slici 2.b.) dan je ekvivalentni mehanički model.

Primjenimo li na model na slici 2.b.) zakon Lagrange-ove dinamike [2]

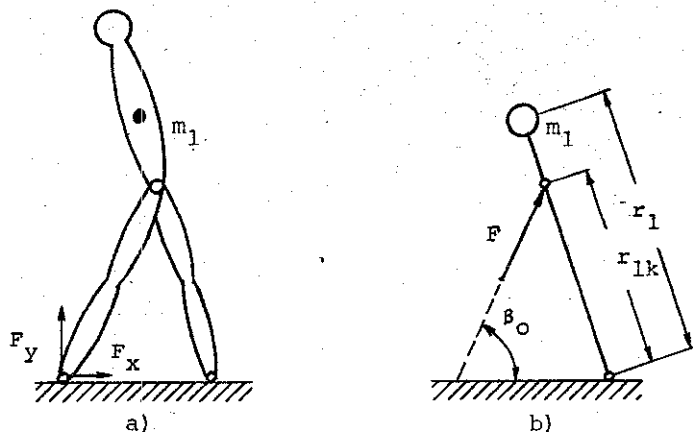
$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_r} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_r} + \frac{\partial V}{\partial q_r} = M_{q_r} \quad (5)$$

gdje je: $q_1 = \alpha_1$

za neku konačnu i vremenski invariantnu vrijednost narinutog momenta M_{q_r} , dobivamo matematski model u obliku:

$$\ddot{\alpha}_1 + h_3(\alpha_1, p) = 0 \quad (6)$$

gdje je: p - parametar koji slijedi iz sile reakcije



Slika 2. a) Čovjek u dvostruko potpornoj fazi hoda

b) Ekvivalentni mehanički model

Analogno rješenju sistema iz predhodnog poglavlja, slijedi rješenje nelinearne diferencijalne jednačbe (6), u obliku:

$$x_2 = \sqrt{2\left(C - \frac{g}{r_1} \cos x_1 - \frac{r_{1k}}{m_1 r_1^2} F \sin(\beta_0 - x_1)\right)} \quad (7)$$

gdje je: C - konstanta zadana početnim uvjetima

r_1 , r_{1k} i m_1 - konstante koje slijede iz gradje ljudskog tijela

F - sila reakcije odrazne noge

β_0 - kut pod kojim djeluje sila reakcije

Iz izraza (7) slijedi, istim postupkom koji je izvršen za JPF-u hoda, da sila reakcije izaziva povećanje kutne brzine x_2 , odnosno povećanje energije.

Numerička analiza na uzorku promatranog hoda pokazala je da je to povećanje 20 cal.

IV.212

Podaci o utrošenoj i ubačenoj kinetičkoj energiji u sistem trebaju se uzimati s rezervom, jer su niz podataka potrebnih za numeričku analizu bili očitovani iz krivulja [4], [5] i [6] pri čemu je moglo doći do znatnih greški očitavanja. Osim toga deriviranje vremenskih funkcija vršilo se aproksimativno.

ZAKLJUČAK

Predložen pristup za analizu ljudskog hoda omogućio je relativno lak uvid u dobivanje informacije o utrošenoj kinetičkoj energiji prilikom hoda. Ukazuje se preko sile reakcije, relativno laka mogućnost proračuna potrošnje energije za vrijeme hoda.

Mogućnost ocjenjivanja utrošene energije preko brzine i akceleracije mašuce noge, pruža mogućnost za odgovarajuće korekcije hoda u cilju smanjenja potrošnje energije.

LITERATURA

1. Fischer O. - 1911. Tigerstedt's Handbuch der physiol. Meth. II, No. 1, p. 188 ff.
1919. Medizinische Physik. Leipzig, p. 382.
 2. Vells D.A. - Lagrangian Dynamics, Sxhaum's Outline Series., Mc Graw-Hill, 1967.
 3. Andronow A.A., Witt A.A., Chaikin S.E. - Theorie der Swingungen, Teil I, Akademie Verlag, Berlin, 1965.
 4. Zanchi V. - Istraživanje brzine čovjeka pri hodu, Referat, -JUREMA 1977, Zagreb
 5. Kralj A. - Predlogi za izboljšanje postopkov merjenja hitrosti in podpornih reakcijskih sil med hojo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko.
 6. Kljajić M. - Disertacija, Fakulteta za elektrotehniku, Ljubljana, 1974.
-