

Warszawa, 05.06.2017

Przedmiot:
Modelowanie w biomechanice

Temat projektu:

Aplikacja do wyznaczania środka masy ciała
na zdjęciu/filmiku z wykorzystaniem
automatycznego śledzenia.

Wykonawcy:
Aleksander Cudny
Agnieszka Tekiel

Opiekun:
Barbara Łysoń

Cel projektu:

Napisanie programu do wyznaczania położenia środka masy ciała z użyciem funkcji śledzenia punktów.

Wstęp teoretyczny:

Środek masy układu punktów materialnych jest takim punktem C, którego promień r_0 poprowadzony z dowolnego bieguna 0 jest określony za pomocą równania:

$$\vec{r}_0 = \frac{\sum_k m_k \vec{r}_k}{\sum_k m_k}$$

W projekcie zostało zastosowane twierdzenie o ruchu środka masy.

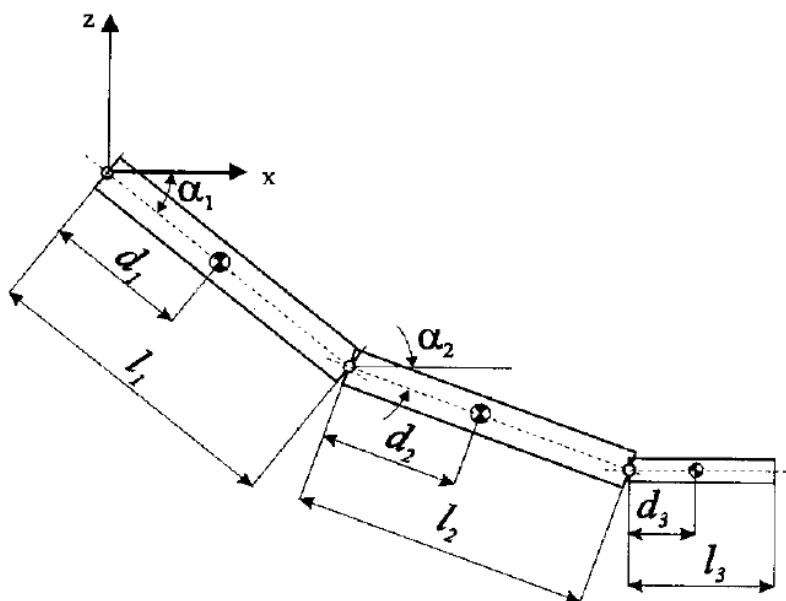
Twierdzenie o ruchu środka masy:

Środek masy układu punktów materialnych porusza się tak jak by do tego punktu przyłożone były wszystkie siły zewnętrzne działające na ten układ. (Siły wewnętrzne układu nie mają wpływu na ruch środka masy. Gdy na układ nie działają siły zewnętrzne środek masy porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub pozostaje w spoczynku).

Założenia upraszczające zastosowane w programie wyznaczania środka masy ciała człowieka:

- Wymiarem dominującym każdej części ciała jest jej długość
- Pod względem kształtu części ciała przypominają bryły obrotowe, zatem mają oś symetrii
- Rozkład materii wewnątrz każdej z nich jest symetryczny względem geometrycznej osi symetrii
- Wobec powyższego środki mas takich brył będą leżeć na ich osi symetrii
- Środek masy dzieli zatem długość danej części ciała na dwa odcinki, a więc jego lokalizacja wymaga określenia tylko jednej współrzędnej: odległości środka masy od któregoś z końców odcinka będącego jej długością

Aby wyznaczyć położenie środka masy danej części ciała, należy określić, w jakich proporcjach dzieli on długość części ciała na dwa odcinki (rys.1).



Rys. 1 Schemat kończyny górnej – sposób dzielenia części ciała.

Opis metody:

Należy nanieść markery na charakterystyczne punkty ciała (tab.1) by ich współrzędne móc zastosować w obliczeniach środka masy ciała.

Tab. 1 Miejsce naniesionych markerów na ciele

nr	Punkt części ciała
1	Duży palec stopy
2	Pięta
3	Kolano
4	Kość biodrowa
5	Ramie
6	Łokieć
7	Nadgarstek
8	Palec dłoni
9	Czubek głowy

Obliczenia:

By wyznaczyć środek masy całego ciała wpierw są obliczane środki masy poszczególnych części ciała:

1. KOŃCZYNA GÓRNA

- ♦ wyznaczanie odległości środków mas na podstawie współczynników Clauser'a i wsp.:
 - * ramię względem stawu barkowego:
$$d_1 = 0,51 \cdot d\text{ł_ramienia} \text{ [m]}$$
 - * przedramię względem stawu łokciowego
$$d_2 = 0,39 \cdot d\text{ł_przedramienia} \text{ [m]}$$
 - * dłoń względem stawu nadgarstkowego
$$d_3 = 0,48 \cdot d\text{ł_dłoni} = 0,1 \text{ [m]}$$
- ♦ wyznaczanie mas poszczególnych części kończyny górnej na podstawie względnych ciężarów według Clauser'a:
 - * ramię:
$$m_1 = 0,026 \text{ [kg]}$$
 - * przedramię:
$$m_2 = 0,021 \text{ [kg]}$$
 - * dłoń:
$$m_3 = 0,007 \text{ [kg]}$$
- ♦ współrzędne środków mas
 - * ramienia:
$$x_{\text{ram}} = x_{\text{bark}} + d_1 \cdot \cos(\alpha_{\text{ramie}}) \text{ [m]}$$
$$z_{\text{ram}} = -z_{\text{bark}} - d_1 \cdot \sin(\alpha_{\text{ramie}}) \text{ [m]}$$
 - * przedramienia:
$$x_{\text{pram}} = d\text{ł_ramienia} \cdot \cos(\alpha_{\text{ramie}}) + d_1 \cdot \cos(\alpha_{\text{ramie}}) \text{ [m]}$$
$$z_{\text{pram}} = -d\text{ł_ramienia} \cdot \sin(\alpha_{\text{ramie}}) - d_1 \cdot \sin(\alpha_{\text{ramie}}) \text{ [m]}$$
 - * dłoni:
$$x_{\text{dl}} = 0,39 \cdot \cos(4,15) + 0,24 \cdot \cos(-13,35) + 0,1 \cdot \cos(3,01) \text{ [m]}$$
$$z_{\text{dl}} = -0,39 \cdot \sin(4,15) - 0,24 \cdot \sin(-13,35) - 0,1 \cdot \sin(3,01) = \text{ [m]}$$
- ♦ współrzędne środka masy kończyny górnej
$$x_{\text{śrr}} = \frac{x_{\text{ram}} \cdot m_1 - x_{\text{pram}} \cdot m_2 - x_{\text{dl}} \cdot m_3}{m_1 + m_2 + m_3} \text{ [m]}$$
$$z_{\text{śrr}} = \frac{z_{\text{ram}} \cdot m_1 - z_{\text{pram}} \cdot m_2 - z_{\text{dl}} \cdot m_3}{m_1 + m_2 + m_3} = \text{ [m]}$$

2. GŁOWA

- ♦ odległość środka masy na podstawie współczynnika Clauser'a:

$$d_g = 0,47 \cdot d_{\text{ł_głowy}} \text{ [m]}$$

- ♦ masa na podstawie względnych ciężarów według Clauser'a:

$$m_g = 0,07$$

- ♦ współrzędne względem końca głowy:

$$x_{sg} = x_{\text{głowy}} + d_g \cdot \cos(\alpha_{\text{głowy}}) \text{ [m]}$$

$$z_{sg} = z_{\text{głowy}} - d_g \cdot \sin(\alpha_{\text{głowy}}) \text{ [m]}$$

3. KOŃCZYNA DOLNA

- ♦ wyznaczanie odległości środków mas na podstawie współczynników Clauser'a i wsp.:

- * udo względem stawu biodrowego:

$$d_{11} = 0,37 \cdot d_{\text{ł_uda}} \text{ [m]}$$

- * podudzie względem stawu kolanowego:

$$d_{22} = 0,37 \cdot d_{\text{ł_podudzia}} \text{ [m]}$$

- * stopa względem stawu skokowego:

$$d_{33} = 0,45 \cdot d_{\text{ł_stopy}} \text{ [m]}$$

- ♦ wyznaczanie mas poszczególnych części kończyny dolnej na podstawie względnych ciężarów według Clauser'a:

- * udo:

$$m_{11} = 0,1$$

- * podudzie:

$$m_{22} = 0,04$$

- * stopa:

$$m_{33} = 0,02$$

- ♦ współrzędne środków mas

- * udo:

$$x_{\text{uda}} = x_{\text{biodro}} + d_{11} \cdot \cos(\alpha_{\text{uda}}) \text{ [m]}$$

$$z_{\text{uda}} = z_{\text{biodro}} - d_{11} \cdot \sin(\alpha_{\text{uda}}) \text{ [m]}$$

- * podudzie:

$$x_{\text{pudzia}} = d_{\text{ł_uda}} \cdot \cos(\alpha_{\text{uda}}) + d_{22} \cdot \cos(\alpha_{\text{pudzia}}) \text{ [m]}$$

$$z_{\text{pudzia}} = -d_{\text{ł_uda}} \cdot \sin(\alpha_{\text{uda}}) - d_{22} \cdot \sin(\alpha_{\text{pudzia}}) \text{ [m]}$$

- * stopa:

$$x_{\text{stopy}} = d_{\text{ł_uda}} \cdot \cos(\alpha_{\text{uda}}) + d_{\text{ł_pudzia}} \cdot \cos(\alpha_{\text{pudzia}}) + d_{33} \cdot \cos(\alpha_{\text{stopy}}) \text{ [m]}$$

$$z_{stopy} = -d\ell_{uda} \cdot \sin(\alpha_{uda}) - d\ell_{pudzia} \cdot \sin(\alpha_{pudzia}) - d33 \cdot \sin(\alpha_{stopy}) \text{ [m]}$$

- ♦ współrzędne masy kończyny dolnej

$$x_{\text{srn}} = \frac{x_{uda} \cdot m11 - x_{pudzia} \cdot m22 - x_{stopy} \cdot m33}{m11 + m22 + m33} \text{ [m]}$$

$$z_{\text{srn}} = \frac{z_{uda} \cdot m11 - z_{pudzia} \cdot m22 - z_{stopy} \cdot m33}{m11 + m22 + m33} = \text{ [m]}$$

4. TUŁÓW:

- ♦ odległość środka masy na podstawie współczynników Clauser'a i wsp.:
 $d_t = 0,38 \cdot d\ell_{tułowia} \text{ [m]}$
- ♦ masa na podstawie względnych ciężarów według Clauser'a:
 $m_t = 0,51$
- ♦ współrzędne środka masy względem stawu ramiennego:

$$x_{st} = x_{bark} + d_t \cdot \cos(\alpha_{tułowia}) \text{ [m]}$$

$$z_{st} = z_{bark} - d_t \cdot \sin(\alpha_{tułowia}) \text{ [m]}$$

5. ŚRODEK MASY CIAŁA:

$$x_c = \frac{x_{\text{srn}} \cdot (m1 + m2 + m3) + x_{sg} \cdot m_g + x_{st} \cdot m_t}{(m1 + m2 + m3) + m_g + m11 + m22 + m33 + m_t}$$

$$z_c = \frac{z_{\text{srn}} \cdot (m1 + m2 + m3) + x_{sg} \cdot m_g + z_{st} \cdot m_t}{m1 + m2 + m3 + m_g + m11 + m22 + m33 + m_t}$$

Powyższe obliczenia zostały wykorzystane w napisanym programie.

Program

Program zrealizowany został w środowisku Matlab2016 wraz z dodatkiem ComputerVisionToolbox. Funkcjonalności obecne w programie to:

- Możliwość wczytania filmu lub obrazu do pamięci programu
- Uruchomienie adekwatnego algorytmu wyznaczania środków mas w zależności od typu wczytanego pliku
- Projekcja wyniku

Użytkownik rozpoczyna pracę od wyboru typu pliku jaki ma zostać wczytany do pamięci programu. Wymagania stawiane wczytywanym materiałom:

- Materiał w skali szarości
- Materiał przedstawiający osobę badaną w płaszczyźnie strzałkowej
- Jednorodne tło na którym znajduje się osoba badana
- Osoba badana posiada znaczniki naklejone w miejscach charakterystycznych podanych w tabeli 1

Przykładowy poprawny materiał został przedstawiony na rysunku 2.

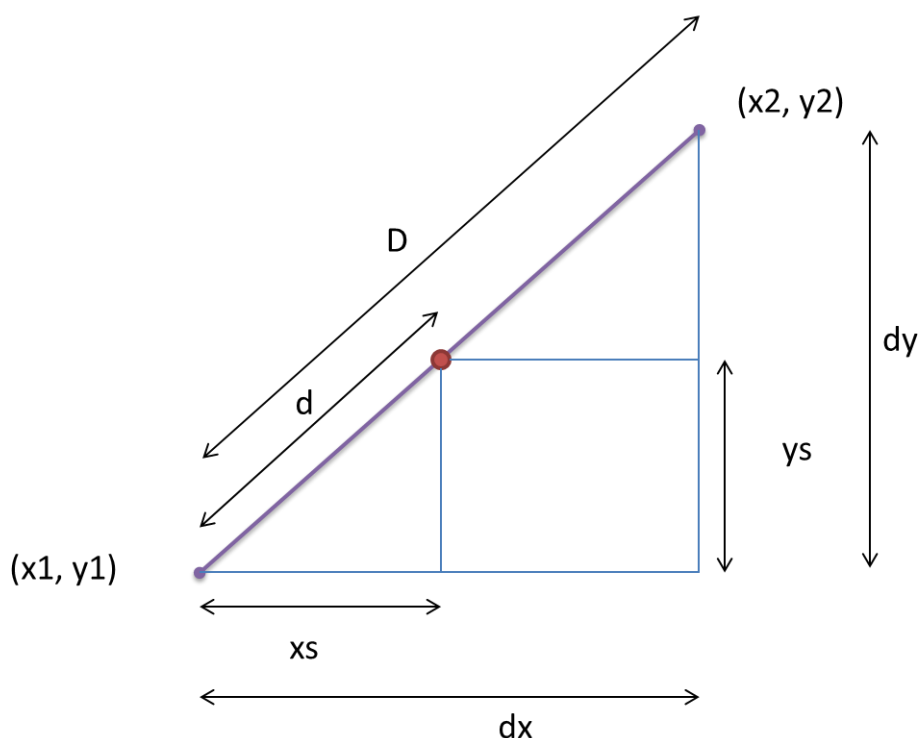


Rysunek 2. Przykład poprawnego materiału

Następnie, program wymaga od użytkownika zaznaczenia punktów charakterystycznych, na podstawie których wyznaczone zostaną środki mas obrazu. Finalnie, efektem obliczeń będzie projekcja filmu z zaznaczonymi środkami mas poszczególnych segmentów (punkty jasno-niebieskie) oraz środkiem masy (punkt czerwony).

Algorytm wyznaczania środków masy

Wyznaczając środek masy segmentu, znane są współrzędne końców segmentu: x_1, y_1, x_2, y_2 , długość segmentu D , oraz odległość d w jakiej znajduje się środek masy od bazy segmentu. Schemat przedstawiony jest na rysunku 3.

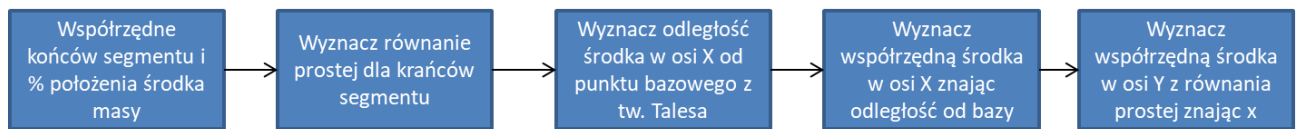


Rysunek 3. Schemat wyznaczania środka segmentu

Na początku wyznaczane jest równanie prostej: $y = ax + b$ na podstawie końców segmentu. Następnie, wykorzystywane jest twierdzenie Talesa w postaci:

$$\frac{x_s}{d} = \frac{D}{d_x} \quad \rightarrow \quad x_s = \frac{D \cdot d}{d_x}$$

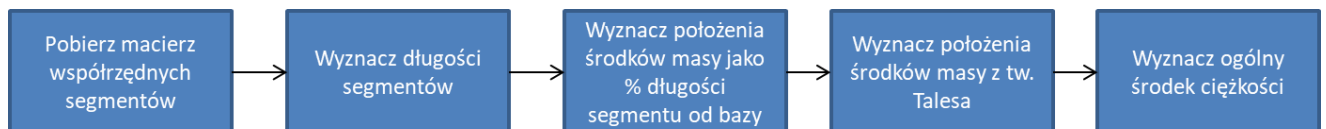
Znając x_s , można wyznaczyć współrzędną x środka masy, a następnie na podstawie równania prostej także współrzędną y środka masy. Blokowo, algorytm jest przedstawiony na rysunku 4.



Rysunek 4. Schemat blokowy wyznaczania środka masy

Algorytm wyznaczania środków masy dla całego obrazu/klatki filmu

Analogicznie do wyznaczania środka masy dla jednego segmentu, wyznaczanie zestawu współrzędnych środków mas dla danego obrazu tudzież klatki filmu, jest zwielokrotnieniem algorytmu przedstawionego wcześniej. Na początku program pobiera macierz współrzędnych wszystkich krańców segmentów obecnych w obrazie. Następnie, wyznaczane są długości segmentów i ich środki mas, traktując bark, lub punkt jemu najbliższy, jako bazę segmentu. Finalnie, na podstawie położenia wszystkich środków mas, wyznaczany jest ogólny środek masy ciała. Algorytm w formie schematu blokowego przedstawiony jest na rysunku 5.



Rysunek 5. Schemat blokowy algorytmu wyznaczania środków mas

Algorytm analizy obrazów

Gdy do pamięci zostanie wczytany obraz, program realizuje algorytm przedstawiony na rysunku 6.



Rysunek 6. Algorytm analizy obrazu

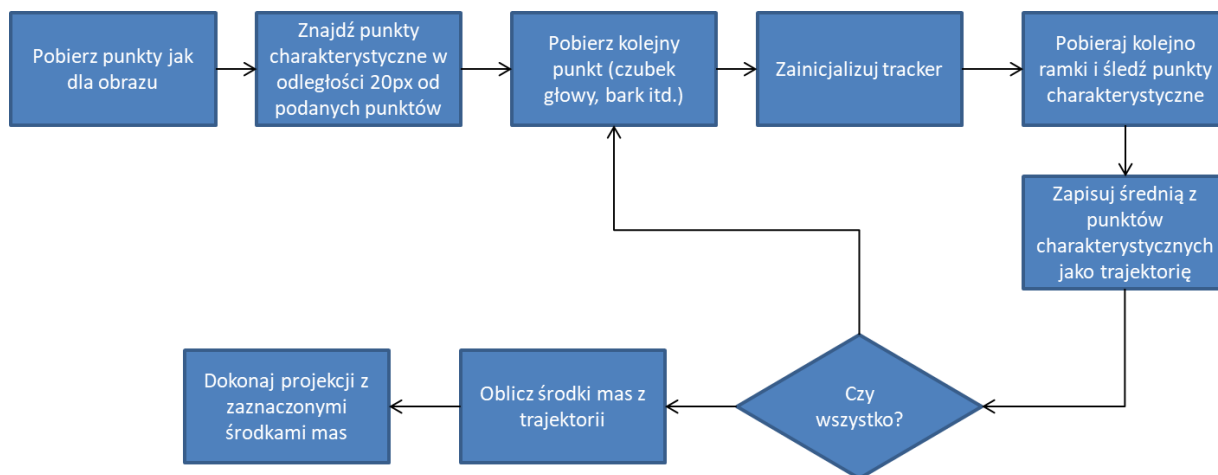
Program rozpoczyna pracę od pobrania od użytkownika punktów odpowiadających końcom analizowanych segmentów za pomocą funkcji *ginput*. Punkty te są zapisywane w macierzy oraz jednocześnie zostają naniesione na obraz. Następnie, wykorzystując opisane wcześniej algorytmy, wyznaczane są środki mas poszczególnych segmentów, a wyniki obliczeń są umieszczane na obrazie.

Przy rysowaniu prostych reprezentujących segmenty, program zwykle łączy aktualny punkt z punktem poprzednim. Od tej zasady są trzy odstępstwa:

1. Czubek głowy – jest to punkt początkowy nie łączony z żadnym innym
2. Biodro – poprzedni wskazany punkt to czubek dłoni, także odcinek „biodro-bark” rysowany jest według innej zasady
3. Kostka – odcinki „kolano-kostka” oraz „pięta-koniec stopy” są osobnymi segmentami, wobec czego nanoszenie segmentu „kotka-pięta” zostaje pominięte

Algorytm analizy nagrań

Jeśli do pamięci wczytany zostanie film, program realizuje algorytm przedstawiony na rysunku 7.



Rysunek 7. Algorytm analizy filmów

Zbieranie punktów wygląda bardzo podobnie jak w przypadku analizy obrazu, z tą różnicą, że dodatkowo szukane są punkty charakterystyczne za pomocą funkcji *detectMinEigenFeatures* w otoczeniu 20 pikseli od wskazanego punktu.

Następnie, dla każdego z punktów, wykonywane jest śledzenie klatka po klatce, zapisując średnią z punktów które są śledzone. Do śledzenia wykorzystywany jest algorytm Kanade-Lucas-Tomasi realizowany za pomocą klasy *vision.PointTracker*. Średnie punkty zostają zapisane jako trajektoria dla każdego ze wskazanych punktów. Jeśli algorytm nie jest w stanie odnaleźć

punktów charakterystycznych, użytkownik zostanie poproszony o wskazanie zgubionych punktów.

Z użyciem wyznaczonych trajektorii, program wyznacza środki mas dla każdej klatki według opisanych wcześniej metod oraz zapisuje wyniki w pamięci. Finalnie, film jest odtwarzany z naniesionymi środkami mas segmentów oraz środkiem masy całego ciała.

Do wyświetlania obrazu poklatkowo używana jest funkcja *showFrameOnAxis*, sprawiająca problemy w starszych wersjach środowiska Matlab.