

Ocena asymetrii chodu z wykorzystaniem transformaty marszczenia czasu.

Adam Świtoński^{(1),(2)}, Agnieszka Michalczuk^{(1),(2)}, Henryk Josiński^{(1),(2)}, Romualda Mucha⁽³⁾, Andrzej Polański^{(1),(2)}, Konrad Wojciechowski^{(1),(2)}

(1) Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych,

(2) Politechnika Śląska

(3) Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Medycyny Fizykalnej, Śląski Uniwersytet Medyczny,

Wstęp

Asymetria lewo-prawostronna jest jednym z pierwszych symptomów zaburzeń chodu, pojawiających się w chorobach zwyrodnieniowych stawów i chorobach neurologicznych. Tak więc ocena stopnia takiej asymetrii ma istotne znaczenie dla skutecznej diagnostyki i rehabilitacji między innymi w chorobie coxarthrozy, stanach poudarowych mózgu czy chorobie Parkinsona.

Nowe możliwości do pomiaru asymetrii przynosi rozwój wielomodalnych technik akwizycji ruchu postaci ludzkiej. W podejściu klasycznym lekarz specjalista analizuje przebiegi czasowe wybranej pary odpowiadających sobie stawów, przesunięte w fazie względem siebie w taki sposób, że obydwie rozpoczynają się od fazy wymachu lub fazy podporu. Na podstawie zaobserwowanego niepodobieństwa przebiegów możliwe jest oszacowanie asymetrii. Ocena taka jest jednak bardzo zgrubna niewyrażona żadną konkretną wartością liczbową, pozwala w zasadzie jedynie na oszacowanie asymetrii tylko pojedynczych stawów, a dodatkowo jeszcze subiektywna i nie w 100% powtarzalna.

W ramach pracy zaproponowano metodę oceny asymetrii chodu prowadzoną na bazie wielomodalnych danych ruchu z wykorzystaniem transformaty marszczenia czasu i odpowiednio dobranej miary podobieństwa pól.

Transformata marszczenia czasu

Transformata marszczenia czasu (ang. DTW - Dynamic Time Warping) początkowo stosowana na potrzeby rozpoznawania mowy [1], dokonuje synchronizacji dwóch serii czasowych w taki sposób aby zminimalizować sumaryczne niepodobieństwo odpowiadających sobie pól. Wyznaczona synchronizacja jest reprezentowana poprzez ścieżkę DTW, która wskazuje chwile czasu, w jakich następuje przyspieszenie lub spowolnienie ruchów stawów reprezentowanych poprzez pierwszą i drugą serię czasową. DTW jest przekształceniem monotonicznym, co oznacza że niedozwolone jest przesuwanie się wstecz w dziedzinie czasu. Po przeprowadzeniu synchronizacji możliwe jest oszacowanie niepodobieństwa analizowanych serii czasowych poprzez wyznaczenie sumarycznego niepodobieństwa pól wzdłuż ścieżki DTW, dalej zwanego kosztem ścieżki DTW. W implementacji DTW wykorzystuje się programowanie dynamiczne.

Kluczowym elementem dla skuteczności działania DTW jest dobór odpowiedniej miary oceny niepodobieństwa pól, która ma zarówno wpływ na postać ścieżki DTW oraz sumaryczne niepodobieństwo serii czasowych. Dla przypadku danych kinematycznych, gdzie pojedyncza poza reprezentowana jest przez rotacje wybranych stawów zgodnie z przyjętym łańcuchem kinematycznym, za niepodobieństwo przyjmuje się uśrednioną różnicę odpowiadających sobie rotacji. W związku z powyższym istotne znaczenie ma dobór odpowiedniej metody porównywania pojedynczych rotacji.

Można wyróżnić dwa dominujące sposoby kodowania rotacji. W podejściu klasycznym są to trzy kąty Eulera, które podają kolejno wykonywane obroty wokół trzech osi głównych. Dla kątów Eulera można stosować klasyczne metryki przestrzeni wektorowych, jak dla przykładu

odległość euklidusowa. Jednak znacznie bardziej efektywną i zwartą reprezentacją obrotów dają jednostkowe kwaterniony. Są one między innymi pozbawione wad związanych z utratą jednego stopnia swobody (ang. gimbal lock), która występuje dla kątów Eulera oraz przede wszystkim daje spójną reprezentację obrotów.

Istnieje wiele możliwości na ocenę niepodobieństwa obrotów reprezentowanych przez jednostkowe kwaterniony. W tym celu można wyznaczyć kąt lub jego cosinus pomiędzy kwaternionami zlokalizowanymi na hipersferze S^3 , zastosować operację logarytmu, która dokona transformacji kwaternionów do przestrzeni stycznej lub określić kąt obrotu o jaki należy uzupełnić rotację pierwszą tak aby uzyskać rotację drugą [2].

Asymetria chodu

Za ocenę asymetrii chodu przyjmujemy niepodobieństwo ruchu wybranych stawów lewej i prawej strony wyznaczone z wykorzystaniem transformaty marszczenia czasu i zadanej miary odległości rotacji. Brany pod uwagę jest jeden cykl chodu, który obejmuje dwa następujące po sobie kroki, wykonywane nogą lewą i prawą. Dodatkowo konieczne jest przesunięcie jednej serii czasowej tak aby obydwie rozpoczynały się dla tej samej fazy chodu strony lewej i prawej. Do detekcji pełnego cyklu chodu wystarczające jest śledzenie ekstremów odległości pomiędzy stopami, jak dla przykładu pokazano w [3] i [4], natomiast w przypadku dodatkowego ograniczenia analizy jedynie do fazy wymachu lub podporu należałoby przyciąć serie czasowe na przykład zgodnie z wytycznymi podanymi w [5].

Sam bezwzględny koszt ścieżki DTW jest jednak trudny w bezpośredniej interpretacji, zależy on również od tempa chodu i wybranej metryki porównywania obrotów. Z tego względu tak wyznaczoną miarę należy unormować. W tym celu można wyznaczyć niepodobieństwo ruchu stawów w dwóch kolejnych krokach wykonywanych tą samą nogą i obliczyć odległość względną:

$$asymetria = \frac{2 \cdot dtw(lewa_1, prawa_1)}{dtw(lewa_1, lewa_2) + dtw(prawa_1, prawa_2)} - 1$$

gdzie $lewa_k$ i $prawa_k$ to serie czasowe odpowiadające ze ruch wybranych stawów strony lewej i prawej w kroku k , a $dtw(ts1, ts2)$ to koszt ścieżki DTW dla serii czasowych $ts1$ i $ts2$.

Ze względu na wysoką precyzję pomiarów i dużą swobodę ruchów człowieka prawdopodobieństwo wystąpienia identycznych serii czasowych dla kolejnych kroków wykonywanych tą samą nogą, co implikowałoby zerowe odległości $dtw(lewa_1, lewa_2)$ i $dtw(prawa_1, prawa_2)$, jest znikome..

Podsumowanie

Zaproponowana metoda została przetestowana dla grupy pacjentów z coxartozą przy wykorzystaniu danych kinematycznych. Badano asymetrię ruchu dla stawów biodrowych i kolanowych, które to charakteryzują się największymi zaburzeniami ruchu w chorobie coxartrozy. Biorąc pod uwagę wcześniej przeprowadzoną analizę uzyskiwanych wyników identyfikacji chodu dla różnych miar odległości w przestrzeniach kwaternionów i kątów Eulera [2] wybrano miarę odległości bazującą na przestrzeni stycznej. Uzyskane wyniki są zbieżne z oceną asymetrii eksperta medycznego.

Zaproponowana metoda oceny asymetrii jest ogólna, może być stosowana dla dowolnej kombinacji stawów i dla różnych źródeł danych ruchu, do czego konieczny jest jedynie dobór odpowiedniej miary niepodobieństwa pozy.. Planowane jest między innymi przeprowadzenie oceny asymetrii na podstawie sygnałów EMG.

Podziękowanie

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/B/ST6/06988.

Literatura

- [1] Sakoe H., Chiba S., "Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition," *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on*, vol. 26, no. 1, pp. 43-49, 1978
- [2] Świtoński A., Michalczyk A., Josiński H., Polański A., Wojciechowski K., "Dynamic Time Warping in gait classification of motion capture data," *International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition and Applications, Venice*, vol. 2012.0, Issue 71.0, p. 53-59, 2012
- [3] Świtoński A., Polański A., Wojciechowski K., "Human Identification Based on Gait Paths," *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, Ghent, vol. 6915.0, p. 531-542, 2011
- [4] Świtoński A., Polański A., Wojciechowski K., "Human identification based on the reduced kinematic data of the gait," *Image and Signal Processing and Analysis 7th International Symposium on*, Dubrovnik, p. 650-655, 2011
- [5] Vaughan C., Davic B., O'Connor J., *Dynamic of Human Gait*, Kiboho Publishers, 1999