

Porównywanie algorytmów identyfikacji fiksacji oraz sakkad w zapisie okulograficznym dla potrzeb diagnostyki medycznej

Marcin Ignatiuk*, Przemysław Antoni Pasieczny, Malgorzata Plechawska-Wójcik, Magdalena Borys
Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Polska

Streszczenie. Artykuł przedstawia analizę porównawczą wybranych algorytmów identyfikacji ruchów oka. Analiza polega na porównaniu wyników klasyfikacji fiksacji oraz sakkad przez algorytmy I-VT oraz I-DT. Dla porównania algorytmów stworzona została aplikacja implementująca identyfikację danych z badań okulograficznych. Wyniki badań zostały przedstawione w formie wykresów.

Słowa kluczowe: Okulografia; I-VT; I-DT

*Autor do korespondencji.

Adres e-mail: general.91@o2.pl

Comparison of fixation and saccades identification algorithms in the eye tracking recordings for medical diagnosis

Marcin Ignatiuk*, Przemysław Antoni Pasieczny, Malgorzata Plechawska-Wójcik, Magdalena Borys
Institute of Computer Science, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Poland

Abstract. The article presents a comparative analysis of selected algorithms for eye movements identification. The analysis is based on a comparison of the classification of fixation and saccades using I-VT and I-DT algorithms. For the algorithms comparison the application that implementing the identification of eye tracking data has been developed. The results of the analysis are presented in the form of graphs.

Keywords: Eye Tracking; I-VT; I-DT

*Corresponding author.

E-mail address: general.91@o2.pl

1. Wstęp

Obecnie takie gałęzie przemysłu jak medycyna czy marketing szybko się rozwijają. Jest to spowodowane koniecznością sprostania coraz większym potrzebom czy oczekiwaniom rynku. Niezwykle ważną rolę zaczyna odgrywać tu dziedzina nauki zwana okulografią. Polega ona na analizowaniu wzroku ludzkiego za pomocą różnych technik badawczych. Dzięki okulografii możliwa jest m.in. obserwacja tzw. AOIs (*area-of-interests*), czyli obszarów zainteresowania. Wspomaga to marketing poprzez zrozumienie na czym skupia się uwaga klientów np. przy zakupie danego produktu. Medycyna również może mieć pożytek z korzyści jakie niesie eyetracking. Możliwe stało się bowiem m.in. badanie zależności między odpowiednimi ruchami oczu, a identyfikacją schorzeń mózgu. Występuje wiele technik pozwalających na badanie ruchów oczu począwszy od bezpośrednich obserwacji, przez używanie wideorejestracji, aż po badania EOG (elektrookulografia).

Celem niniejszego artykułu jest porównanie algorytmów identyfikacji ruchów oczu, opartych na metodach związanych z rejestracją wideo. Artykuł ma również na celu zbadanie słuszności tezy, iż wyniki działania algorytmów opartych na rozproszeniu (ang. *dispersion-based*) oraz prędkości (ang. *velocity-based*) są zbliżone.

2. Rodzaje ruchów gałki ocznej

Sakkady są to szybkie ruchy gałek ocznych przemieszczające obraz obserwowanego obiektu z obwodowej części siatkówki do jej centrum. Powoduje to, iż jest on lepiej widoczny [1]. Podczas tego ruchu oko porusza się z prędkością 30 - 700°/s. Istnieje zależność między amplitudą ruchu a jego prędkością. Gdy amplituda się zwiększa, prędkość ruchu także. Opóźnienie między bodźcem powodującym ruch a samym ruchem wynosi 150 - 250 ms. Podczas samego ruchu widzenie nie jest możliwe, podobnie jak zmiana jego rozpoczętej trajektorii. Sakkady są wyzwalane nie tylko poprzez bodźce wzrokowe, ale również przez dotyk czy słuch. Do sakkad zaliczane są również fazy oczopląsu podczas stymulacji przedśionkowej czy optokinetycznej, a także szybkie ruchy oczu podczas fazy snu REM. Ruchy sakkadowe są mimowolne, a za ich regulację odpowiadają wzgórki czworacze górne stanowiące podkorowy ośrodek wzroku. Ruchy sakkadowe pojawiają się w pierwszych tygodniach życia człowieka [2].

Fiksacja jest momentem pozornego utrzymania skupienia wzroku na danym punkcie. Reprezentują również większość czasu, w którym pobierana jest informacja wzrokowa. Fiksacja trwa około 200 - 300ms. Mimo, że oczy wydają się być wtedy nieruchome, wykonują mikroskopijne ruchy - niedostrzegalne gołym okiem [2]. Tymi ruchami są:

- mikrosakkady - amplituda ruchu do 0,1°, rola ruchów nie jest znana;

- mikrodryfy - amplituda ruchu jak u mikrosakkady, prędkość ruchu do 0,25%/s, zapobiega zanikaniu nieruchomego obrazu, związanego z adaptacją receptorów do oświetlenia;
- mikrodrżenia - amplituda wielokrotnie mniejsza niż przy mikrodryfie, częstotliwość ruchu 50 - 100 Hz, stała aktywność gałek ocznych przy fiksacji.

3. Badania eyetrackingowe

Badania eyetrackingowe mają swoje zastosowania w wielu dziedzinach nauki takich jak medycyna, informatyka, psychologia czy marketing. Na podstawie marketingowych badań eyetrackingowych można sprawdzić np. gdzie najczęściej skupiany jest wzrok klientów sklepów tak, aby następnie odpowiednio rozmieścić sprzedawane towary. Badania okulograficzne są bardzo pomocne również przy tworzeniu stron internetowych tak, aby zwiększyć użyteczność strony internetowej umieszczając w odpowiednich miejscach nawigację po stronie, czy też baner reklamowy. Badania eyetrackingowe można przeprowadzić na podstawie bezpośredniej obserwacji ruchów oczu, jak w przypadku podstawowych badań lekarskich, czy też z użyciem okuloграфów. Najczęściej stosowanym sposobem badań są pomiary z wykorzystaniem wideo – rejestratorów.

Stosowanie takiego sposobu badania pozwala na dogłębną analizę zarejestrowanego badania. Wyniki badań z wideo rejestracji przedstawiane są za pomocą:

- map cieplnych,
- map fiksacji,
- nagrań z naniesionymi markerami w punktach aktualnego skupienia wzroku,
- zestawień tabelarycznych i wykresów dostosowanych do rejonów zainteresowania [10].

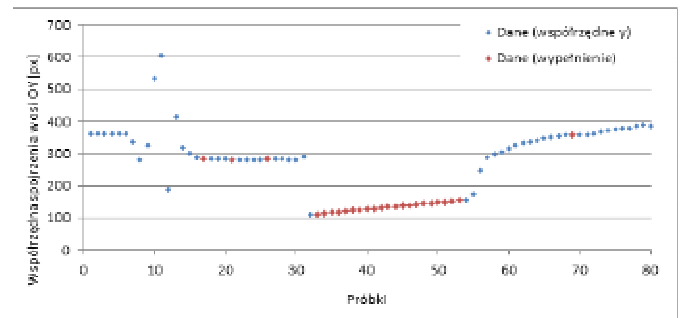
4. Obróbka danych eyetrackingowych

Przed analizą danych za pomocą algorytmów identyfikacji fiksacji oraz sakkad, powinny one zostać wstępnie zmodyfikowane. Jest to spowodowane występowaniem zakłóceń podczas pomiarów. Zakłócenia te - tzw. szumy, ujawniają się jako przypadkowe skoki wartości danych. Aby wyeliminować zakłócenia należy użyć filtru wygładzającego sygnał. Działa on na zasadzie usuwania wszelkich danych, których wartości - amplituda czy częstotliwość, wykraczają poza daną skalę. Filtr ten stosować należy na danych przed ich analizą. Alternatywą dla tego rozwiązania jest pogrupowanie pojedynczych fiksacji, dla których liczona jest tzw. średnia ruchoma. W ten sposób wygładzamy sygnał z danych o nadmiernych wartościach [8].

Kolejnym problemem podczas zapisu danych eyetrackingowych, są chwilowe ich braki spowodowane m.in. mruganiem czy wystąpieniem problemu podczas próby zapisu próbki. Innymi przyczynami mogą być momenty odwrócenia wzroku od eyetrackera, umieszczenie przeszkody między eyetrackerem, a oczami badanego, wady sprzętu lub opóźnienia systemu. Te czy inne przyczyny powstawania luk danych skutkują chwilowymi zapisami pustych wartości. Jeśli dana luka wystąpi podczas fiksacji, może ona być zaliczona jako sakkada [3]. Aby zapobiec takim przypadkom stosuje się

algorytmy, uzupełniające luki w danych. Algorytmy mogą realizować to zadanie m.in. poprzez:

- wypełnianie luk danymi będącymi wartościami liniowo rosnącymi / malejącymi między wiadomymi wartościami, przy których wystąpiła luka - tzw. interpolacja liniowa;
- wypełnienie luk danymi będącymi wartościami równymi średniej wiadomym wartości sygnału [4].



Rys. 1. Wykres prezentujący dane po działaniu funkcji wypełniania luk na fragmencie danych ze sprzętu SMI

Wykres zaprezentowany na rysunku 1 przedstawia działanie funkcji *GapFillin*, która odpowiada za wypełnianie pustych danych za pomocą interpolacji liniowej. Oznacza to zatem, wstawianie w miejsca luk wartości, które są wyznaczone na podstawie ilorazu różnicy położenia między ostatnimi znanymi próbkami do liczby brakujących próbek. Na zamieszczonym przykładzie uwidocznione są próbki oznaczone kolorem czerwonym, które zostały dodane w puste miejsca - fragment od 30-tej do 55-tej próbki.

5. Algorytmy identyfikacji fiksacji oraz sakkad

Według taksonomii Dario D. Salvucciego oraz Josepha H. Goldberga, algorytmy identyfikacji fiksacji możemy podzielić ze względu na cechy przestrzenne i czasowe. Klasyfikacja przez nich przedstawiona jest dobrym początkiem w drodze do porównań typowych algorytmów identyfikacji fiksacji. Jako cechy przestrzenne założone zostały trzy kryteria, które determinują trzy podstawowe typy algorytmów. Są nimi algorytmy identyfikacji oparte na szybkości (ang. *velocity-based*), oparte na rozproszeniu (ang. *dispersion-based*) oraz oparte na obszarze zainteresowania (ang. *area-based*). Biorąc pod uwagę dane przetwarzane algorytmami identyfikacji fiksacji, które zazwyczaj składają się ze współrzędnych punktów i są gromadzone w ustalonych jednakowych odstępach czasu, algorytmy *velocity-based* jako kryterium prędkości używają różnic między odległościami z kolejnych współrzędnych. Algorytmy *dispersion-based* oparte są na rozproszeniu, czyli odległości między współrzędnymi kolejnych próbek danych. Fiksacje - z racji na swój pozorny stan spoczynku wzroku, powinny być odzwierciedlone w danych, których współrzędne są skupione wokół jednego punktu. Trzeci rodzaj algorytmów *area-based* bazuje na tzw. obszarach zainteresowania wzroku. Składają się one na szczególne obszary, na którym skupia się badany tzw. AOIs (ang. *area of interest*). Oprócz wcześniejszych podziałów, wspomniani badacze wyznaczyli dodatkowe dwa kryteria podziałów jakimi są, podział ze względu na długość trwania oraz adaptacyjność. Długość trwania brana jest z typowego dla fiksacji czasu jej trwania tj. od 200 do 400

ms. Kryterium adaptacyjności mówi o tym, jaki wpływ na interpretację danych punktów, ma interpretacja punktów zbliżonych w czasie. Taksonomie tę dla wybranych algorytmów przedstawia tabela 1 [5].

Tabela 1. Podział algorytmów identyfikacji fiksacji i sakkad zgodnie z taksonomią Dario D. Salvucci oraz Josepha H. Goldberg

Kryteria		Algorytmy	
		I-VT	I-DT
przestrzenne	przemieszczenie	X	
	rozproszenie		X
	obszar		
tymczasowe	trwanie		X
	adaptacyjność		X

5.1. Algorytm I-VT

Algorytm I-VT (ang. *Velocity Threshold Identification*), czyli algorytm oparty na przemieszczeniu, pod względem implementacyjnym jest jednym z najprostszych. Algorytm ten z danego zbioru danych wydziela fiksacje i sakkady, bazując na przemieszczeniach od jednego punktu do następnego. Zazwyczaj, jako fiksacje traktuje się próbki o niskiej wartości przemieszczenia (prędkości) < 100 stopni na sekundę, a jako sakkady traktuje się próbki o wysokiej prędkości przemieszczenia > 300 stopni na sekundę. Działanie algorytmu I-VT zaczyna się od wyznaczenia prędkości przemieszczeń między kolejnymi próbkami. Zakładając wcześniej wspomnianą cechę danych eyetrackingowych tj. równą częstotliwość pomiarów, zamiast prędkości liczone będą zatem tylko odległości między punktami. W następnym punkcie algorytm I-VT - bazując na tej odległości, kwalifikuje dany punkt jako fiksację bądź sakkadę. Dzieje się to poprzez porównanie odległości między punktami do ustalonego progu (ang. *threshold*) [5]. Jeśli dana odległość jest poniżej danego progu, punkt oznaczany jest jako fiksacja, jeśli powyżej jako sakkada. Kolejnym etapem jest pogrupowanie punktów oznaczonych jako fiksacje w grupy fiksacji i eliminacja punktów sakkad. Kończącym etapem jest przyporządkowanie danej grupie fiksacji punktu, stanowiącego centroid tej grupy i sprowadzenie wyniku do postaci $\langle x, y, t, d \rangle$, gdzie x i y stanowią współrzędne, t jest czasem pierwszej fiksacji w grupie (numerem danej w danych), a d oznacza długość fiksacji (liczba danych składających się na grupę fiksacji). Zależnie od tego czy znamy częstotliwość próbkowania z jaką gromadzone były dane czy też nie, wspomniany wcześniej próg może być równy liczbie próbek opartej na tejże częstotliwości. Jeśli jednak nie mamy wiedzy na temat częstotliwości, a prędkości kątowne między próbkami mogą być wyliczone, należałoby przyjąć próg o prędkości kątowej 20 stopni na sekundę. Algorytm I-VT - jak wspomniano wcześniej, jest dość prosty w implementacji, szybki i z łatwością może być używany do identyfikacji fiksacji w czasie rzeczywistym. Czasem jednak generować może przekłamane wyniki w przypadkach, gdy

wartości przemieszczeń są bliskie progowi oraz gdy dodatkowo mamy do czynienia z szumem towarzyszącym pomiarom z eyetrackerów. W takich wypadkach zamiast otrzymania fiksacji będącą grupą wielu punktów, otrzymujemy wiele grup z pojedynczymi punktami lub ich małą ilością. Problem ten najczęściej dotyka identyfikacji danych uśrednionych czasowo. Metody, którymi się posługiwano by łagodzić tego typu zakłócenia to m.in. agregacja fiksacji, będących wynikami skupienia wzroku na konkretnym celu, bądź ustalenie minimalnego progu czasowego tak dla fiksacji, jak i dla sakkad [6][7].

5.2. Algorytm I-DT

Algorytm I-DT (ang. *Dispersion Threshold Identification*) oparty na rozproszeniu (dyspersji), w porównaniu do I-VT pomija fakt, iż punkty fiksacji - ze względu na niską wartość przemieszczenia, zbierają się w grupy. I-DT sam identyfikuje fiksacje jako grupy punktów mieszczących się w danym przedziale dyspersji czy maksymalnego oddzielenia. Ponieważ fiksacje zwykle trwają minimum 100 ms, algorytmy oparte na rozproszeniu często ustawiają próg (ang. *threshold*) na 100 - 200 ms, by zniwelować zmienność odczytów dla danych z różnych sprzętów. Przemieszczenie dwóch punktów liczone jest ze wzoru na odległość między punktami układu współrzędnych. Jak widać I-DT wymaga dwóch parametrów: progu dyspersji oraz progu długości. Tak jak dla I-VT próg dyspersji może mieścić się w przedziale od 0,5 do 1 °/s jeśli odległość oka od ekranu jest znana, bądź ustawiony może być odpowiednio w stosunku do częstotliwości próbkowania danych. Próg długości ustawiony powinien być na 100 - 200 ms w zależności od wymagań. I-DT podobnie jak I-VT również może być używany do identyfikacji w czasie rzeczywistym, jednak algorytm I-DT nie produkuje błędnych wyników wynikających z nakładania się wartości przemieszczeń na wartość progu, gdyż sam w sobie już wykorzystuje próg czasowy. Minusem tego algorytmu może być jednak zależność między progiem przemieszczenia, a progiem czasowym, która dla nieodpowiednio dobranych wartości może skutkować niewykryciem żadnej fiksacji[8][9].

6. Forma badania

Do badania wykorzystano dwa rodzaje eyetrackerów, mobilny oraz stacjonarny. Osobami poddanymi badaniom byli dwaj zdrowi mężczyźni w wieku 25 lat bez jakichkolwiek schorzeń wzroku czy pod wpływem jakichkolwiek leków. Forma badania różniła się w zależności od sprzętu. Dla okulo grafu stacjonarnego firmy Tobii przeprowadzono badanie psychomotoryczne. Polegało ono na śledzeniu wzrokiem kolejnych liczb w kolejności od najmniejszej do największej z przedziału od 1 do 25. Dla potrzeb badania przeprowadzono dziewięć - punktową kalibrację sprzętu za pomocą wbudowanych procedur z dołączonego oprogramowania Tobii Studio. W przypadku eyetrackera mobilnego firmy SMI badanie dotyczyło koncentracji podczas działań arytmetycznych. Zadaniem badanego była ocena poprawności wyświetlanych działań arytmetycznych. Przed badaniem przeprowadzono trzy - punktową kalibrację sprzętu z wykorzystaniem oprogramowania SMI. Do celów porównawczych algorytmów I-VT oraz I-DT służyły dane wygenerowane

przez oprogramowanie okulografów z minutowych wycinków badań. Liczba próbek danych z uwagi na różną specyfikację eyetrackerów różniła się. Wynosiła odpowiednio 3600 próbek dla urządzenia firmy SMI i 18000 próbek dla eyetrackera firmy Tobii. Przed uruchomieniem autorskiego oprogramowania do identyfikacji fiksacji oraz sakkad dane poddano wstępnej obróbce, która sprowadzała się m.in. do uśrednienia pozycji obu oczu od monitora czy do nadania każdej próbce kolejnego identyfikatora. W ten sposób dane do analizy zyskały jednolity format, numer próbki oraz uśrednione współrzędne oka x, y, z.

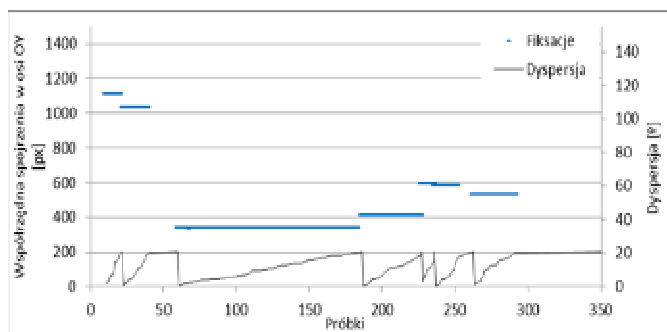
Urządzenia wykorzystane do badań

Tobii TX300, eyetracker bezkontaktowy typu Plug-and-play z dołączonym ekranem 23". Dane zbierane są z maksymalną częstotliwością 300Hz. Okulograf umożliwia ruchy głowy. System może być używany bez monitora co umożliwia rozbudowane oprogramowanie. Możliwa jest kalibracja systemu dla osiągnięcia najlepszych wyników. System może działać w oparciu o zewnętrzne dane np. EEG czy EKG. Tobii TX300 posiada dwie kamery umożliwiające obuoczne śledzenie metodą ciemnych źrenic.

SMI ETG 2.0 jest to mobilny, bezkontaktowy sprzęt do śledzenia ruchów oczu. Pod każdym szkłem zamontowana jest kamera, po jednej dla każdego oka oraz jedna kamera na środku między oczami do nagrywania tego na co aktualnie patrzy badany. Oprócz samych okulografów eyetracker używa urządzenia nagrywającego, którym jest zmodyfikowany smartphone Samsung Galaxy S4 pozwalający na minimum 4 godziny nagrywania. Wraz ze sprzętem dostępne jest również oprogramowanie BeGaze firmy SMI. Do poprawienia jakości badań dostępna jest funkcja kalibracji.

7. Prezentacja wyników badań

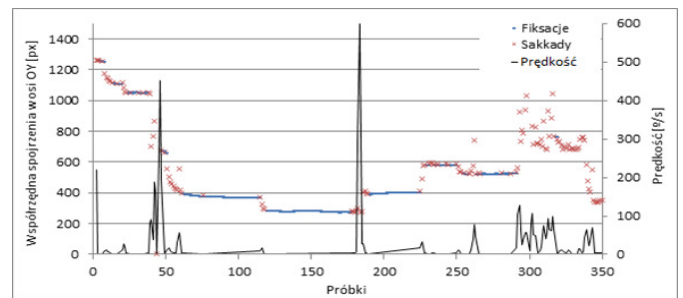
Wyniki przeprowadzonych badań zaprezentowane zostały na wykresach oraz histogramach. Wykresy przedstawiają występowanie fiksacji oraz sakkad na fragmencie liczącym 350 próbek. Histogramy prezentują częstotliwości występowania odpowiednio długich fiksacji w przedziałach czasowych.



Rys 2. Wykres przedstawiający dane zidentyfikowane algorytmem I-DT dla danych z urządzenia SMI ETG 2.0

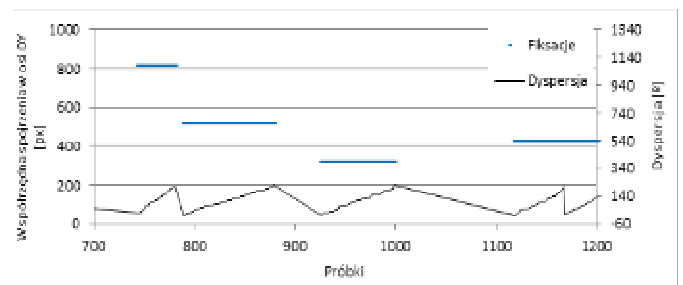
Wykres na rysunku 2 przedstawia fragment zidentyfikowanych fiksacji oraz zmieniającą się dyspersję - wyznaczoną przez aplikację z użyciem algorytmu I-DT dla urządzenia SMI. W obszarach pomiędzy fiksacjami - zaznaczonymi na niebiesko, zostały zidentyfikowane sakkady (nie oznaczone na wykresie) dla wartości dyspersji przekraczającej granicę 20 ° dla okna mniejszego niż 120 ms.

Jeżeli okno było dłuższe niż 120 ms, następował koniec fiksacji.

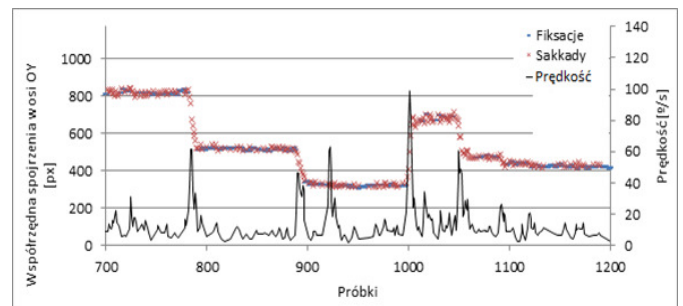


Rys. 3. Wykres przedstawiający dane zidentyfikowane algorytmem I-VT dla danych z urządzenia SMI ETG 2.0

Wykres na rysunku 3 przedstawia fragment zidentyfikowanych fiksacji, sakkad oraz zmieniającą się prędkość oka - wyznaczone przez aplikację z użyciem algorytmu I-VT. Algorytm wykrył znacznie więcej krótkich fiksacji i sakkad występujących pomiędzy nimi.

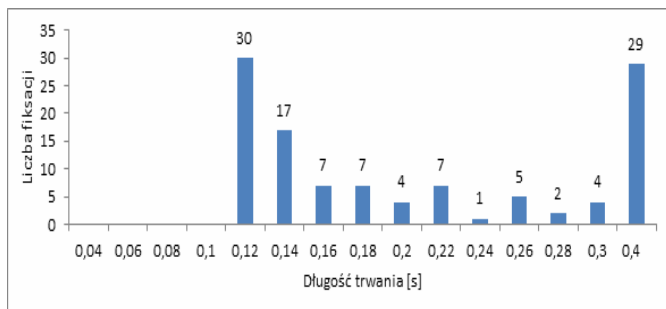


Rys. 4. Wykres przedstawiający dane zidentyfikowane algorytmem I-DT dla danych z urządzenia Tobii

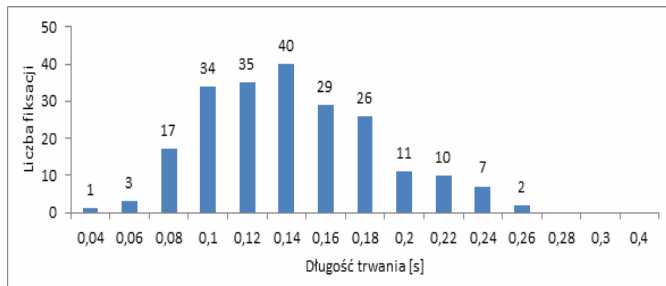


Rys. 5. Wykres przedstawiający dane zidentyfikowane algorytmem I-VT dla danych z urządzenia Tobii

Wykresy na rysunkach 4 oraz 5 przedstawiają wyniki działania algorytmów I-DT oraz I-VT dla danych z urządzenia firmy Tobii. Algorytm I-DT wykrył fiksacje, których łączny czas trwania wynosi ok. 32 sekund. Jest to o 3 sekundy więcej niż w przypadku użycia algorytmu I-VT gdzie czas ten wyniósł 29 sekund. Różnica ta z istoty działania algorytmów (identyfikacja fiksacji w oknach dla I-DT). Z całą pewnością można zauważyć podobieństwa między oboma wykresami jednakże, nie każdy fragment wykresu z I-DT odpowiada fragmentowi z wykresu I-VT. Przykładem jest fragment na odcinku od 1000-nej do 1050-tej próbki, gdzie algorytm I-DT nie zakwalifikował jako fiksacji żadnej próbki (okna). Jest to spowodowane nadmierną dyspersją – duże różnice w pozycjach kolejnych próbek.



Rys. 6. Histogram długości czasu trwania fiksacji dla identyfikacji algorytmem I-DT, dane z urzędzenia Tobii



Rys. 7. Histogram długości czasu trwania fiksacji dla identyfikacji algorytmem I-VT, dane z urzędzenia Tobii

Histogramy z rysunków 6 oraz 7 przedstawiają różnice w wynikach działania algorytmów I-DT i I-VT dla danych z urzędzenia Tobii. Dla algorytmu I-VT większość fiksacji trwała od 0,08 do 0,26 sekundy. W przypadku I-DT czasy fiksacji zawierają się na przedziale od 0,12 do 0,3 sekundy (29 fiksacji miało czas większy niż 0,3 sekundy). Można zauważyć, iż zgodnie z działaniem algorytmu I-DT wykrył on więcej dłuższych fiksacji, a mniej krótszych w porównaniu do I-VT. Czasy trwania fiksacji dla obu algorytmów odpowiadają przyjętym zakresom dla czasu trwania fiksacji tj. 100 – 300 ms.

8. Wnioski

Wyniki badań przedstawione w artykule potwierdzają tezę, iż wyniki działania badanych algorytmów są zbliżone. Algorytmy I-DT oraz I-VT pomimo różnic w implementacji wyznaczyły fiksacje oraz sakkady w bardzo zbliżonych punktach. Podsumowując porównanie algorytmów stwierdzić można, iż każdy z nich ma swoje wady i zalety. Wybór odpowiedniego algorytmu należałoby dostosować do typu posiadanych danych (np. częstotliwość próbkowania) oraz oczekiwanej formy danych wynikowych. Gdy zależy nam na uśrednionych wynikach badania dobrym wyborem będzie algorytm I-DT grupujący dane punkty fiksacji w pojedyncze fiksacje, jeśli jednak zależy nam na zakwalifikowaniu każdej pojedynczej próbki jako sakkady czy fiksacji wybór powinien paść na algorytm I-VT. Wybór algorytmu może być również podyktowany złożonością implementacji czy prędkością jego wykonywania. Pod względem implementacji oba algorytmy znacznie się różnią co odbija się na prędkość ich. Pod uwagę należy również wziąć dobór odpowiednich parametrów, w przeciwnym wypadku zaburzone mogą zostać wyniki analizy.

Literatura

- [1] Krauzlis R.J. Eye movements. W: Squire L.R. (red.), „Fundamental neuroscience”, Wyd. 3. Elsevier, Amsterdam 2008.
- [2] K. Jadanowski, Sławomir Budrewicz, Ewa Koziorowska - Gawron, „Zaburzenia gałkoruchowe w chorobach ośrodkowego układu nerwowego”, Polski Przegląd Neurologiczny 2010.
- [3] User Manual — Tobii Studio Version 3.3.0 12/2014 Tobii Technology AB
- [4] Peter R Jones, „A computational reassessment of noise in eyetracking data: Modelling phenomena and ephemeral”.
- [5] Salvucci D.D., Goldberg J.H., „Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications”, ACM 2000.
- [6] Susan M.Munn Leanne Stefano Jeff B.Pelz, „Fixation - identification in dynamic scenes: comparing an automated algorithm to manual coding”.
- [7] Larsson L., Nystrom M., Stridh M., „Detection of saccades and postsaccadic oscillations in the presence of smooth pursuit”, 2013.
- [8] Lopez, J. S. A., „Off-the-shelf Gaze Interaction”, 2009.
- [9] Van Rensbergen J., & De Troy A., „A reference guide for the Leuven dual-PC controlled Purkinje eyetracking system”, Leuven, Belgium, 2015.
- [10] <http://eyetracking.pl/> [11.2016]