

BIOCYBERNETYCZNE ASPEKTY PROCESU OBSERWACJI SCENY – WSTĘPNA ANALIZA TRAJEKTORII RUCHU OCZU

**PIOTR AUGUSTYNIAK, ZBIGNIEW BUBLIŃSKI, MAREK GORGOŃ, JOANNA
GRABSKA-CHRZAŚTOWSKA, ZBIGNIEW MIKRUT, PIOTR PAWLIK**

*Katedra Automatyki, Laboratorium Biocybernetyki Wydz.EAiE, Akademia Górniczo-Hutnicza
Al.Mickiewicza 30, 30059 Kraków email: august@biocyb.ia.agh.edu.pl, zibi@biocyb.ia.agh.edu.pl*

Streszczenie. Zaawansowane systemy analizy obrazów coraz częściej wykorzystują właściwości niedoścignionego, naturalnego wzorca jakim jest system wzrokowy człowieka. Jedną z metod badania jego własności jest analiza ruchów gałek ocznych, rejestrowanych podczas obserwacji obrazów testowych i naturalnych scen. Zanim jednak sekwencja pozycji gałek ocznych zostanie wykorzystana w roli sygnału pomiarowego, konieczne jest oszacowanie wpływu uwarunkowań mechanicznych i fizjologicznych wiążących wynikową pozycję gałki ocznej z procesem postrzegania. W pracy przedstawiono problemy związane z akwizycją i próbami automatycznej analizy sygnałów okoruchowych z uwzględnieniem takich zagadnień jak wyznaczenie oka dominującego, obliczanie początkowego czasu martwego i czasów wyszukiwania zadanych obiektów oraz wpływ stopnia komplikacji obserwowanego obiektu na czas obserwacji. Do badań użyto aparatury OBER2, skonstruowanej na Politechnice Śląskiej. W podsumowaniu wskazano na możliwości praktycznych zastosowań tego typu badań: zaprezentowano koncepcję nierównomiernego próbkowania sygnału EKG oraz projekty wykorzystania wiedzy uzyskanej na podstawie analizy sposobu postrzegania zadanej sytuacji przez eksperta do celów edukacyjnych.

1 WSTĘP

Modele perceptualistyczne uwzględniające sposób pobierania informacji z otoczenia przez człowieka od niedawna dopiero stały się przedmiotem zainteresowania nauki. Tym niemniej, w dziedzinach optymalizacji prezentacji obrazu i dźwięku od razu zyskały sobie powszechną akceptację i są szeroko wykorzystywane w implementacjach praktycznych.

Odmiennym zastosowaniem modeli perceptualistycznych jest pozyskiwanie wiedzy na temat sposobu postrzegania przez człowieka w celu zastosowania jej w automatycznych algorytmach przetwarzania i rozpoznawania, które dzięki tej wiedzy lepiej naśladują postępowanie człowieka. Jest to szczególnie istotne w

dziedzinach, w których wiedza oparta jest na praktyce i doświadczeniu eksperta, a zatem trudna do werbalnego wyrażenia i przedstawienia w postaci algorytmu. Jedną z takich dziedzin, szczególnie istotną z punktu widzenia perspektyw jakości życia jest diagnostyka medyczna.

Obrazy, oraz sygnały medyczne są podstawowymi nośnikami informacji używanymi w diagnostyce nieinwazyjnej. Jedną z ich cech charakterystycznych jest niejednorodne skupienie informacji diagnostycznej w każdym z dwóch wymiarów prezentacji. W sposób dla eksperta oczywisty, niektóre regiony zawierają więcej informacji niż otoczenie i one właśnie w sposób często podświadomy są analizowane bardziej szczegółowo. Z technicznego punktu widzenia, brak jednak przesłanki w postaci parametru (np. częstotliwości), który byłby uzasadnioną podstawą identyfikacji rejonów medycznie bardziej istotnych na podstawie samej tylko analizy sygnału.

Celem opisywanych poniżej prac badawczych jest wyodrębnienie zjawisk towarzyszących obserwacji sceny i określenie ich wpływu na związek punktu koncentracji uwagi z pozycją gałki ocznej obserwatora. Związek ten wyznacza dokładność modelu perceptualistycznego zbudowanego na podstawie pozycjonowania gałki ocznej eksperta analizującego obraz (wykres). Opisywane prace są częścią projektu badawczego mającego na celu skonstruowanie algorytmu kompresji elektrokardiogramów w oparciu o model perceptualistyczny.

2 POZYCJONOWANIE GAŁKI OCZNEJ

Spśród nieinwazyjnych metod badania położenia gałki ocznej wybrano metodę porównania wiązki promieniowania podczerwonego odbitego od gałki ocznej zastosowaną w urządzeniu OBER2. Metoda ta charakteryzuje się dużą precyzją pozycjonowania oraz odpornością na zakłócenia optyczne (w postaci dodatkowego promieniowania rejestrowanego przez detektory) a także całkowitą niewrażliwością na

zjawiska elektrofizjologiczne zachodzące wokół gałki ocznej. Oświetlacze oraz detektory promieniowania podczerwonego umieszczone są w goglach zakładanych przez obserwatora, skąd sygnał elektryczny pobierany jest do systemu OBER2 a po przetworzeniu na postać cyfrową (12 bitów, 1000 Hz) dostępny na łączu komunikacji szeregowej w postaci ciągu czwórek liczb będących reprezentacją pozycji centrum każdego z oczu w osi pionowej i poziomej [1, 2]. Poprawna interpretacja danych pochodzących z urządzenia jest możliwa dzięki ustaleniu pozycji obserwatora względem prezentowanej sceny (monitora komputerowego) a także kalibracji urządzenia (rys. 1).



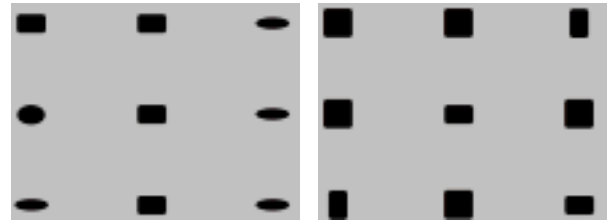
Rys. 1 Wolontariusz przygotowany do realizacji zadania wizualnego

3 METODOLOGIA BADAŃ PERCEPCJI

Badanie percepcji przeprowadzono z udziałem wolontariuszy, którym polecano wykonanie prostych zadań wizualnych [3,4]. Zadania te były przygotowane z uwzględnieniem specyfiki parametrów określanych w kolejnych etapach badań. Przed rozpoczęciem realizacji zadania dokonywano kalibracji polegającej na obserwacji prostokąta o standaryzowanych wymiarach przeprowadzonej każdorazowo po zmianie pozycji obserwatora. Niektóre parametry mogły zostać wyznaczone w oparciu o procedurę kalibracyjną, bez dodatkowych poleceń dla obserwatora.

3.1 ZWIĄZEK TRUDNOŚCI ZADANIA I CZASU JEGO WYKONANIA

W celu określenia związku ilości informacji pobieranej z obrazu na podstawie niezbędnego czasu obserwacji użyto 12 zadań wizualnych ułożonych kolejno według narastającej trudności. Przed wykonaniem zadania operator udzielał obserwatorowi krótkich wskazówek np. „znajdź elipsę najbardziej zbliżoną do koła” lub „policz kwadraty o ostrych narożnikach” (rys. 2).



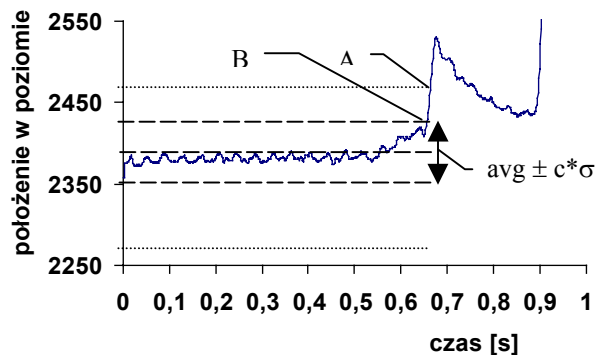
Rys. 2 Przykładowe plansze pokazowe zadań wizualnych (grupa: średnio trudne)

Czas wykonania zadania wizualnego został przyjęty jako estymator stopnia trudności [5]. Algorytm opracowany w celu automatycznego określenia tego czasu uwzględniał także początkowy czas martwy. Jego poprawność została zweryfikowana poprzez manualne wyznaczenie czasu wykonania zadania i porównanie rezultatów.

Problem określenia momentu rozpoczęcia badania rozwiązano z użyciem planszy centrującej – prowokującej obserwatora do skupienia wzroku na środku ekranu. Moment zamiany tej planszy na właściwy obraz testowy był synchronizowany z początkiem rejestracji trajektorii oczu. Właściwa czynność pobierania informacji z obrazu rozpoczynała się jednak nieco później, po upływie tzw. „czasu martwego”, identyfikowanego automatycznie w sygnale okoruchowym.

W pierwszym kroku algorytmu detekcji czasu reakcji obliczana jest średnia z kilku początkowych punktów funkcji poziomego położenia oka $x(\text{ndeltat})$. Następnie wyznaczany jest punkt (A), w którym funkcja x będzie równa wyznaczonej średniej powiększonej (lub pomniejszonej) o pewien predefiniowany margines (por. rys 3). Na odcinku $[0, A]$ obliczana jest średnia i odchylenie standardowe sigma. Podobnie jak poprzednio wyznaczamy punkt B, przy czym teraz rolę marginesu pełni wyrażenie $1.2 \cdot \text{sigma}$.

Moment, w którym pozioma składowa pozycji gałki ocznej przekroczyła margines szumu został uznany za celowe przeniesienie wzroku, a zatem świadome rozpoczęcie realizacji zadania.

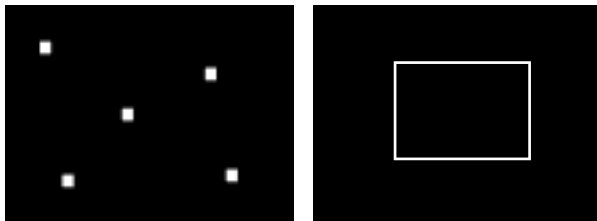


Rys. 3 Określenie początku realizacji zadania wizualnego

Określenia momentu zakończenia eksperymentu dokonywał natomiast sam obserwator poprzez spuszczenie wzroku poniżej dolnej krawędzi ekranu. Czynność ta była łatwa do wykrycia w sygnale okoruchowym za pomocą porównania wartości określających pozycję pionową z wartością progu wyliczonego podczas kalibracji.

3.2 ZJAWISKA DYNAMICZNE TOWARZYSZĄCE PERCEPCJI

Metoda zadań wizualnych została wykorzystana do identyfikacji podstawowych zjawisk okoruchowych towarzyszących percepcji, a tylko pośrednio związanych z pobieraniem informacji z obrazu [6]. Dwa kolejne zadania polegały na śledzeniu pojedynczego białego kwadratu na czarnym tle (rys. 4).



Rys. 4 Zadania wizualne do wyznaczania parametrów zjawisk towarzyszących percepcji

Kwadrat o rozmiarach 1.5% szerokości sceny przyjmował dowolną pozycję na czas 0.5s, natomiast całkowity czas zadania wynosił 8 s. W zadaniu tym przedmiotem zainteresowania były następujące parametry (rys. 5):

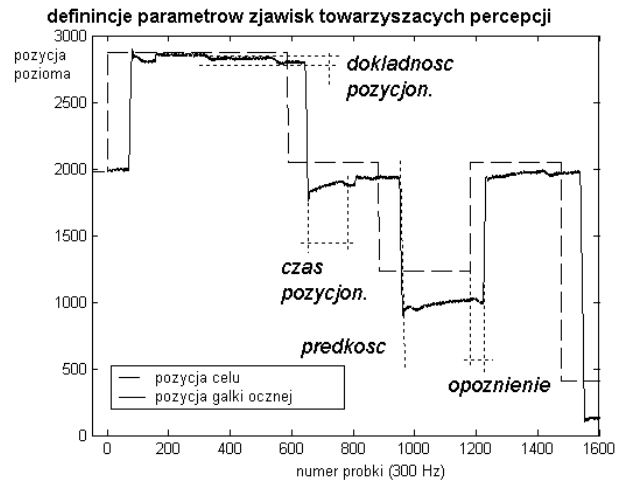
- dokładność utrzymania pozycji oka zdefiniowana jako wariancja pozycji w okresie po fiksacji wzroku,
- prędkość poszukiwania nowego celu po zmianie położenia,
- opóźnienie rozpoczęcia poszukiwań nowego celu po zmianie położenia,
- czas dokładnego pozycjonowania gałki ocznej po odszukaniu celu

Kolejne zadanie wizualne polegało na nieograniczonej (ale nie przekraczającej 8s) obserwacji statycznego prostokątnego konturu wypełniającego 50% sceny. W zadaniu tym określano (rys. 6):

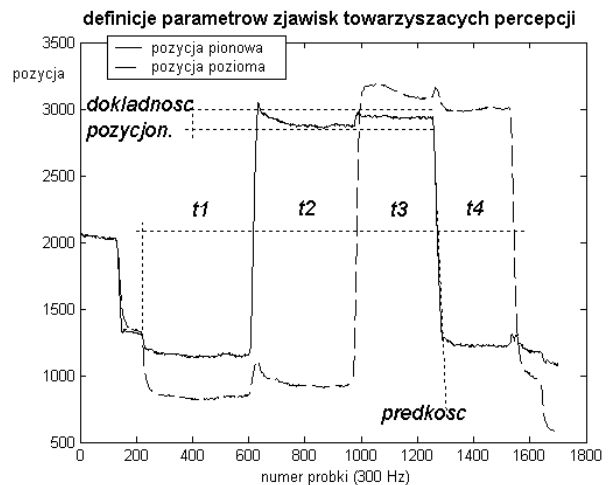
- dokładność utrzymania pozycji oka podczas fiksacji
- proporcje czasów fiksacji na narożnikach konturu.

Sygnal pobrany w zadaniach wizualnych opisanych powyżej został poddany automatycznej obróbce za pomocą opracowanych we własnym zakresie procedur. Podobnie jak poprzednio, praca tych procedur była nadzorowana przez operatora, który zatwierdzał poprawność obliczonych parametrów po inspekcji

sygnału. Z uwagi na znaczną zmienność międzyosobniczą wykonanych zapisów oraz zróżnicowany poziom współpracy obserwatorów na obecnym poziomie badań uznano, że wykonanie całkowicie automatycznego algorytmu analizy wiąże się ze niewspółmiernymi nakładami. Dodatkowo, nie istniała jeszcze baza sygnałów, przy pomocy której można by przeprowadzić testy takiego oprogramowania.



Rys. 5 Wyznaczenie parametrów zjawisk towarzyszących percepcji - śledzenie punktu

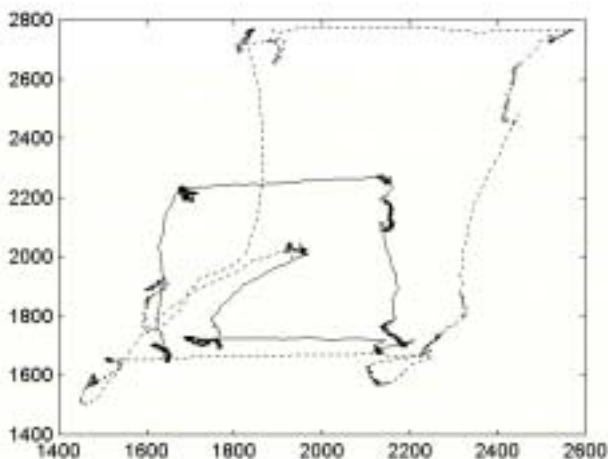


Rys. 6 Wyznaczenie parametrów zjawisk towarzyszących percepcji - obwodzenie prostokąta

3.3 ELIMINACJA NIEJEDNOZNACZNOŚCI PERCEPCJI DWUOCZNEJ

Metoda zadań wizualnych jest dobrym narzędziem do wyznaczania oka dominującego, a więc tego, które jest bardziej precyzyjnie pozycjonowane podczas obserwacji i prawdopodobnie przejmuje większość informacji pozyskiwanych drogą wzrokową. Jednocześnie informacja o tym, które oko jest okiem dominującym odgrywa istotną rolę w identyfikacji

punktu skupienia uwagi, a zatem strefy sceny z której pobierana jest informacja wizualna. W czasie eksperymentów wykazano, że udział zjawisk towarzyszących procesowi percepcji jest znacznie większy w przypadku oka wspomagającego, a zatem pozycja oka dominującego jest znacznie bardziej wiarygodnym instrumentem pomiarowym położenia punktu skupienia uwagi (rys. 7).



Rys. 7 Trajektorie ruchu gałek ocznych podczas obwodzenia prostokąta kalibracyjnego (ciągłą linią oznaczono trajektorię oka dominującego)

Wyznaczenie oka dominującego oparto o wyniki obserwacji prostokąta kalibracyjnego (rys. 4). Dodatkowo, praktyczną zaletą takiego rozwiązania polega na możliwości włączenia tego pomiaru do standardowej procedury kalibracyjnej i przeprowadzania go w sposób niewidoczny dla obserwatora. Docelowo, kiedy analiza wszystkich zadań wizualnych będzie prowadzona w pełni automatycznie, informacja o oku dominującym będzie w istotny sposób usprawniała algorytmy pomiarowe.

Algorytm wyznaczający oko dominujące jest oparty na dwóch parametrach opisujących powolny ruch gałki ocznej: kącie nachylenia prostej aproksymującej czasową zależność pozycji gałki ocznej oraz wartości średniej błędów takiej aproksymacji. Algorytm wykonuje cztery podstawowe kroki:

- aproksymacja czasowej zależności pozycji gałki ocznej za pomocą prostej,
- wyodrębnienie odcinków przekraczających minimalną założoną długość na których prosta aproksymująca nie przekracza założonej wartości kąta nachylenia,
- odrzucenie odcinków o znacznej rozbieżności kąta nachylenia prostej aproksymującej dla obu oczu,
- obliczenie uśrednionych wartości kąta nachylenia prostej aproksymującej oraz wartości średniej błędów aproksymacji dla każdego z oczu.

Oko dla którego oba wyliczone parametry mają mniejszą wartość jest uważane za oko dominujące. W przypadku wątpliwości, główną podstawą decyzji był parametr błędów aproksymacji, który w sposób bardziej wiarygodny reprezentuje zjawiska uboczne towarzyszące percepcji

4 REZULTATY

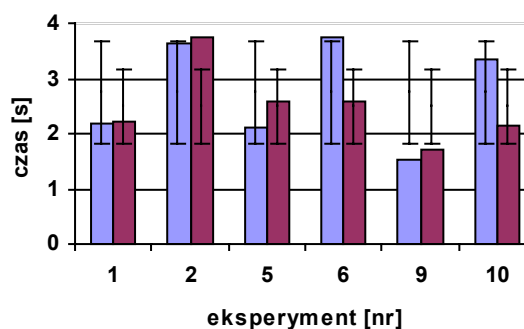
Badanie procesu obserwacji sceny przeprowadzono z udziałem 9 wolontariuszy wykonujących zadania wizualne pod kierownictwem operatora. W czasie wykonywania zadań dokonywano jedynie archiwizacji sygnałów, a następnie w warunkach laboratoryjnych uruchamiane były procedury automatycznego przetwarzania sygnału okoruchowego. Procedury te były nadzorowane przez operatora, a poprawność otrzymywanych rezultatów była weryfikowana na podstawie manualnej inspekcji sygnału.

4.1 WYZNACZANIE TRUDNOŚCI ZADANIA WIZUALNEGO

Określanie stopnia trudności zadania wizualnego na podstawie czasu jego wykonania przez różne osoby prowadzi do rezultatów w postaci:

- średniej wartości czasu wykonania zadania,
- odchylenia standardowego wartości czasu wykonania zadania

Otrzymane rezultaty dla wybranych zadań wizualnych przedstawiono na rys. 8, oraz w tabeli 1.



Rys. 8 Czasy realizacji zadania zliczania wraz z odchyleniami standardowymi, wyznaczone dla oka lewego i prawego jednego z badanych

Tabela 1: Odchylenia standardowe błędów [ms]

Oko	Czas reakcji						
lewe	34	47	2	13	11	263	87
prawe	8	104	17	82	80	135	103
	Czas zakończenia						
lewe	51	1900	190	30	1580	516	483
prawe	184	2500	350	109	1590	550	458

4.2 WYZNACZANIE PARAMETRÓW ZJAWISK TOWARZYSZĄCYCH PERCEPCJI

Określenie wpływu zjawisk towarzyszących percepcji na pozycjonowanie gałki ocznej zostało dokonane za pomocą pomiaru parametrów określonych w p. 3.2 (rys. 5-6). Wartości średnie oraz odchylenia standardowe rezultatów pomiarów zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wartości statystycznych parametrów opisujących zjawiska towarzyszące percepcji.

numer zadania	parametr	wartość średnia	odchylenie standard.
1	dokładność pozycjonowania [stopni]	0.0923	0.0276
	opóźnienie reakcji [ms]	156.1	20.1
	maksymalna prędkość poszukiwań [stopni/s]	658.5	167.4
	czas pozycjonowania [ms]	173.2	63.35
2	dokładność pozycjonowania [stopni]	0.1182	0.033
	maksymalna prędkość poszukiwań [stopni/s]	556.5	121.0
	wariancja fiksacji wzroku [%]	13.46	-

Wartości statystyczne podane w tabeli 2 uwzględniają wyłącznie takie rezultaty automatycznego przetwarzania sygnału, które zostały pozytywnie zweryfikowane przez operatora

4.3 WYZNACZANIE OKA DOMINUJĄCEGO

Określanie oka dominującego na podstawie obserwacji prostokąta kalibracyjnego wymaga pomiarów dwóch parametrów: kąta nachylenia prostej aproksymującej wolny ruch gałek ocznych oraz błędu takiej aproksymacji. Rezultaty pomiarów dla wybranych obserwatorów zestawiono w tabeli 3. Kąt nachylenia prostej wyrażony jest jako współczynnik kierunkowy tej prostej, natomiast błąd aproksymacji jest wyrażony jako wartość bezwzględna z zakresu [0...4095].

Tab. 3. Pomocnicze parametry sygnału i decyzja o wyznaczeniu oka dominującego

parametr	kąt nachylenia		błąd aproksymacji		rezultat
	lewe	prawe	lewe	prawe	
obserwator					
1	0.153	0.142	510	1097	lewe
2	0.085	0.096	599	738	~lewe
3	0.082	0.236	898	1374	lewe
4	0.414	0.087	1071	882	prawe
5	0.080	0.064	228	384	?
6	0.130	0.168	298	299	lewe

Jedną z możliwych sytuacji, uwzględnioną w tabeli 3 (obserwator 5), jest niepowodzenie automatycznego wyznaczenia oka dominującego. Ponieważ oba parametry mają dla każdego z oczu podobne wartości, uzasadnione jest przypuszczenie, że również w pozostałych zadaniach wizualnych własności obu oczu okażą się zbliżone. W tej sytuacji wyznaczenie oka dominującego nie jest konieczne do poprawnego określenia położenia punktu koncentracji uwagi.

5 WNIOSKI

Określenie zjawisk towarzyszących percepcji i wyznaczenie ich udziału w wypadkowej pozycji gałki ocznej jest podstawą interpretacji sygnału okoruchowego jako wskaźnika przemieszczenia punktu koncentracji uwagi obserwatora. Z tych powodów, wstępna analiza trajektorii ruchu oczu powinna każdorazowo poprzedzać budowę modelu perceptualistycznego dowolnego typu obrazu.

Docelowym zamierzeniem było opracowanie w pełni automatycznych metod identyfikacji i neutralizacji wpływu zjawisk towarzyszących percepcji na sygnał okoruchowy. Analiza przedstawionych uprzednio zagadnień prowadzi jednak do wniosku, że algorytmy takie wymagają znacznych nakładów konstrukcyjnych w celu ograniczenia wpływu zależności osobniczych na uzyskiwane wyniki. W tej sytuacji, procedury funkcjonujące pod nadzorem operatora zostały uznane za wystarczające.

Zaprezentowane wyniki badań w pełni potwierdzają możliwość wnioskowania o stopniu trudności zadania lokalizacji lub zliczania obiektów na podstawie analizy czasu jego realizacji. Czas ten może być wyznaczony metodami analizy sygnałów ruchu oczu, zarejestrowanymi przy pomocy urządzenia OBER2.

Dzięki zaproponowanej metodologii czas obserwacji może być wyznaczony bardzo precyzyjnie. W celu jego automatycznego obliczania można posługiwać się opisanymi algorytmami. Należy jednak każdorazowo pamiętać o przeprowadzaniu wizualnej kontroli wyników, ponieważ część badanych osób może nie w pełni stosować się do proponowanych standardów. Przykładowo, duże odchylenia standardowe błędów lokalizacji czasu zakończenia zadania (wiersz 3 i 4) spowodowane są we wszystkich analizowanych przypadkach brakiem przeniesienia wzroku poza dolną krawędź ekranu.

Biorąc pod uwagę ręcznie wyznaczone czasy obserwacji dokonano ich analizy w zależności od realizowanego zadania dla wszystkich obserwatorów. Są one zróżnicowane w podobnych zakresach jak przykład czasów zliczania dla jednej z osób przedstawiony na rys. 8. Po dobraniu odpowiednich reguł opisujących wzajemne relacje pomiędzy poszczególnymi czasami a ich wartościami średnimi i odchyleniami standardowymi jest możliwa obiektywna ocena stopnia trudności wykonywanego zadania.

Badania zjawisk dynamicznych towarzyszących percepcji umożliwiły z kolei powiązanie czasowego przebiegu procesu postrzegania z pozycjonowaniem gałki ocznej. Wpływ ograniczeń mechanicznych i sensorycznych został przedstawiony przy pomocy parametrów liczbowych umożliwiających korektę rezultatów zadania wizualnego. Dla ograniczeń mechanicznych parametrami tymi są: prędkość poszukiwania celu i czas pozycjonowania, natomiast dla ograniczeń sensorycznych - opóźnienie reakcji i dokładność pozycjonowania. Na obecnym etapie badań nie dokonywano dalszej analizy przyczyn opisywanych zjawisk na gruncie fizjologii, chociaż w dalszym ciągu eksperymentów może się to okazać niezbędne.

W szczególności wykazano, że kątowa dokładność pozycjonowania gałki ocznej, lepsza niż 0.1 stopnia, jest wystarczająca do określenia położenia punktu koncentracji uwagi na elektrokardiogramie z wystarczającą dokładnością. Zakładając bowiem obserwację zapisu EKG wykonanego ze standardową prędkością (25 mm/s) z dystansu typowej odległości czytania (40 cm) uzyskana dokładność pozycjonowania gałki ocznej odpowiada odcinkowi rejestracji o długości 27.9 ms. A zatem identyfikacja punktu skupienia uwagi eksperta na zapisie jest wystarczająco dokładna do rozróżnienia obserwacji poszczególnych załamków elektrokardiogramu.

Wyznaczanie oka dominującego zostało oparte na prawidłowo wybranych parametrach sygnału okoruchowego. Proces wyznaczania niekiedy kończy się niepowodzeniem, ale są to sytuacje, kiedy rezultat wyznaczania nie ma znaczenia w aspekcie śledzenia punktu koncentracji uwagi. Być może z neurologicznego punktu widzenia, brak oka dominującego jest wariantem normy fizjologicznej. Ciekawym spostrzeżeniem jest natomiast częsta przewaga oka lewego, co z pewnością uzasadnia dalsze badania dotyczące percepcji dwuocznnej i podziału ról w procesie pozyskiwania informacji wizualnej.

6 PODZIĘKOWANIA

Opisywane prace badawcze były finansowane ze źródeł Komitetu Badań Naukowych, numer grantu: 8 T11E 007 17

Autorzy wyrażają swe podziękowania wszystkim wolontariuszom, a w szczególności panom Maciejowi Miękusowi, Januszowi Piekarzowi, Łukaszowi Rymarczykowi oraz Maciejowi Schmidtowi za pełną zaangażowania i kreatywności współpracę przy realizacji badań opisywanych w niniejszej publikacji.

LITERATURA

- [1] Ober J., Loska J. "Function of Eye Movement Measurement System OBER2" (in Polish) w materiałach konferencji Medical Informatics and Technologies, MIT 2000, Ustroń-Jaszowiec 8-10.11.2000, pp. BP111 – BP115.
- [2] Ober J., Hajda J., Loska J., Jamicki M. "Application of Eye Movement Measuring System OBER2 to Medicine and Technology", Proc. of SPIE, Infrared technology and applications, Orlando, USA, vol. 3061, part 1, pp. 327-33
- [3] Laar P., Heskes T., Gielen S. "Task-Dependent Learning of Attention" Neural Networks, Vol. 10 No 6
- [4] Wolfe J. M., "Visual Search" in: H Pashler (ed.) "Attention", London UK, University College London Press. 1996
- [5] Mikrut Z., Augustyniak P. "Estimation of Execution Time for Tasks of Objects Counting and Localization Using the OBER2 Device". w materiałach 12 Nordic-Baltic Conference on Biomedical Engineering and Medical Physics, Reykjavik, 18.06.2002
- [6] Augustyniak P., Mikrut Z. "Identifying the Observers Target by Eyeglobe Positioning During Visual Tasks" JMIT vol. 2. pp. BP57-BP65, 2001