

STANOWISKO I METODA DO POMIARU WPŁYWU NATĘŻENIA OŚWIETLENIA NA DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANIA PUNKTU FIKSACJI WZROKU UŻYTKOWNIKA

Artur OPALIŃSKI¹, Maciej LENZ²

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: 58 347 1347 e-mail: Artur.Opalinski@ely.pg.gda.pl
2. Kainos Software Poland Sp. z o. o., Tryton Business House
tel.: 58 333 7171 e-mail: Maciej.Lenz@wp.pl

Streszczenie: Śledzenie ruchów gałki ocznej jest tematem badawczym o szerokiej przydatności w wielu zastosowaniach. Najmniej inwazyjną i tym samym najbardziej praktyczną metodą określania punktu fiksacji jest metoda bez wykorzystania oświetlenia podczerwonego i bez zapewniania fizycznego kontaktu z okiem. Ze względu na dużą prędkość ruchów gałki ocznej, z wykorzystaniem typowej dla komputerów PC kamery internetowej możliwe jest tylko wyznaczenie kolejnych punktów fiksacji (zatrzymania) wzroku. Dla wielu metod przetwarzania informacji wizyjnych, po ustaleniu pozostałych czynników, istotnym pozostaje wpływ oświetlenia. W pracy zaproponowano stanowisko i metodę do pomiaru obejmujące umiejscowienie punktowego oświetlenia, światłomierza, zapewniające stałe i stabilne położenie głowy badanej osoby, oraz obraz kontrolny i algorytm przetwarzania sygnału wizyjnego. Stanowisko pozwala na wykonywanie badań w powtarzalnych warunkach oświetleniowych oraz geometrycznych, niezbędnych do określenia wpływu oświetlenia na różne algorytmy śledzenia punktu fiksacji wzroku.

Słowa kluczowe: komputerowa wizja, punkt fiksacji, natężenie oświetlenia.

1. WSTĘP

Śledzenie ruchów gałki ocznej jest interesującym i ważnym tematem badawczym z powodu szerokiej przydatności w różnych zastosowaniach, takich jak interakcja człowiek-komputer, wirtualna rzeczywistość, diagnostyka chorób oczu, obserwacja reakcji ludzkich, i innych [1].

W metodach wizyjnych śledzenie wzroku odbywa się przy wykorzystaniu jednej lub kilku odpowiednio ustawionych kamer. Ze względu na prędkość kątową gałki dochodzącą do 900°/s przy zmianie kierunku patrzenia oraz szybkością nagrywania zwykłej kamery wynoszącą zazwyczaj od 25 do 30 klatek na sekundę, praktycznie niemożliwe jest śledzenie przemieszczenia gałki, a tylko wyznaczenie kolejnych punktów fiksacji [2].

Najmniej inwazyjną z metod określania punktu fiksacji jest metoda bez wykorzystania oświetlenia podczerwonego [3]. Uzyskiwany obraz w świetle widzialnym jest przetwarzany w taki sposób aby ustalić położenie źrenicy lub tęczęwki. Następnie wyliczona pozycja jest odnoszona do przyjętego punktu referencyjnego, którym najczęściej jest krawędź oczodołu. Do działania algorytmu potrzebna jest dla każdego użytkownika wcześniejsza kalibracja, t.j. ustalenie powiązania między położeniem gałki ocznej a znaną lokalizacją punktu fiksacji.

W przypadku wyszukiwania obrazu samej źrenicy, uzyskiwany jest lepszy kontrast pomiędzy nią i otoczeniem (skórą, rzęsami), niż przy wyborze tęczęwki. Jednak przy śledzeniu tęczęwki dostępna jest większa powierzchnia do wykrycia i mniejsza szansa na przykrycie całości obszaru przez powiekę.

W obu wypadkach jakość przetwarzanych informacji zależy od natężenia oświetlenia. Brak jednak badań wskazujących na powiązanie dokładności określenia punktu fiksacji z natężeniem oświetlenia.

2. PRZEGLĄD ISTNIEJĄCYCH BADAŃ

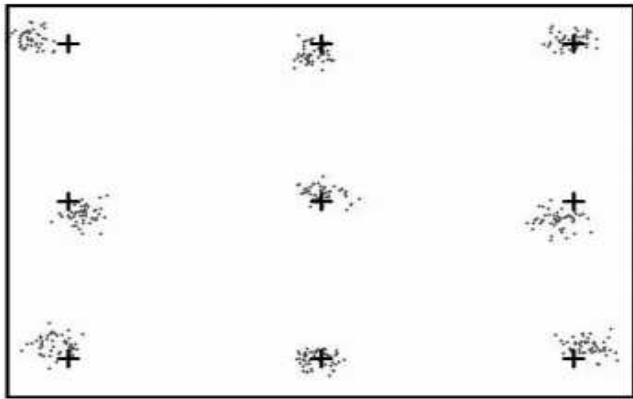
Niewiele miejsca w publikacjach poświęcono badaniu wpływu natężenia oświetlenia na dokładność wyznaczenia punktów fiksacji.

Prace J. Wang oraz E. Sung [4][5] dotyczą m.in. wykrywania położenia głowy, określania wieku na podstawie zdjęcia twarzy, czy właśnie ustalania kierunku wzroku. W [4] opisano zaprojektowany system do badania położenia punktów fiksacji, który działa w oparciu o wyznaczenie położenia obu tęczęwek.

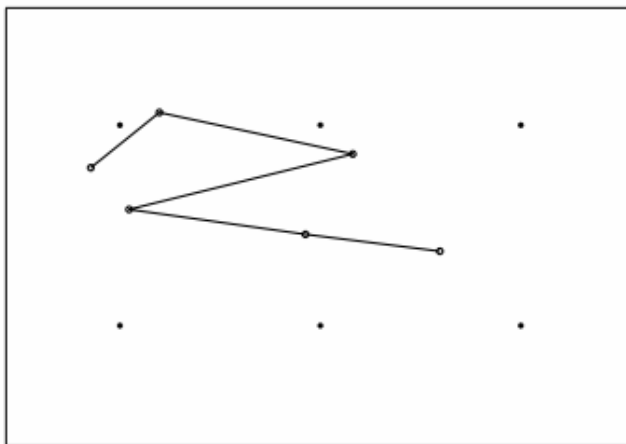
W [6] opisuje pomiar dokładności śledzenia wzroku użytkownika wraz ze śledzeniem pozycji głowy. Pozycja głowy jest wyznaczana za pomocą algorytmu POSIT, a głowa modelowana jest siatką sinusoidalną. Pomiar dokonywany jest w oparciu o pozycję jednej gałki ocznej. Podaje się średni otrzymany błąd 1,5°, przy czym najlepsza badana osoba uzyskała 0,9° a najgorsza 2,0°, niemniej pomiary nie uwzględniały natężenia oświetlenia. Rezultaty przedstawione na rysunku 1 stanowią dość zwarte skupiska oddalone od punktu zadanego, ale ukazujące też pewną powtarzalność oraz różny *bias* dla różnych znaczników.

Zaskakującym jest fakt, że różnica pomiędzy najlepszą a najgorszą średnią pojedynczego wynosi aż 1,1°. Może to świadczyć o tym, że testy były przeprowadzane w różnych warunkach i z tego wynika tak duża rozbieżność.

Opublikowane wyniki wcześniejszych badań wskazują czasami na zaskakująco duże błędy w określeniu punktu fiksacji wzroku, np. błąd maksymalny w przedziale od 7° do 8° [7] (rys.2). Ponieważ oświetlenie jest jednym z głównych czynników wpływających na dane wejściowe używane w przetwarzaniu obrazu, poniżej zaproponowano metodę i stanowisko, które pozwalają powiązać wielkość obserwowanych błędów z natężeniem oświetlenia twarzy osoby badanej.



Rys. 1. Rezultaty pracy [6], nie uwzględniające poziomu natężenia oświetlenia



Rys. 2. Rezultaty pracy [7] - punkty zadane (czarne kropki) oraz wyliczone punkty skupienia wzroku (kropki połączone liniami)

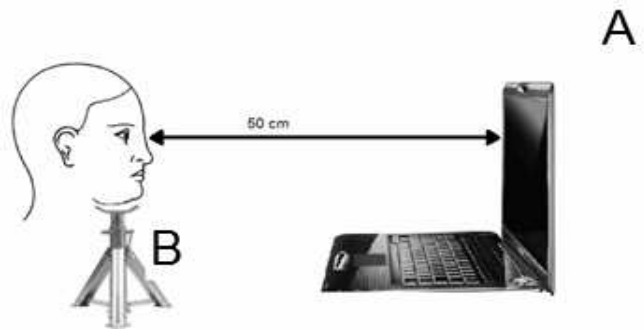
3. OPIS STANOWISKA I METODY

Przyjęto że błąd określenia punktu fiksacji to odległość liniowa pomiędzy punktem zadaniem, na który spogląda użytkownik, a punktem wyliczonym, przy ustalonej odległości głowy, wielkości i rozdzielczości ekranu. Pozycje punktu zadanego oraz otrzymanego określone są ich współrzędnymi ekranowymi w pikselach.

Ostateczne wartości błędu reprezentowane są jako stopnie kątowe, przy założonym oddaleniu głowy osoby badanej od monitora o 50 cm, co mieści się w zalecanym przedziale od 40 do 70 cm [8] i wymiarach ekranu około 34 cm x 18 cm. Rozdzielczość ekranu to 1366 x 768 pikseli.

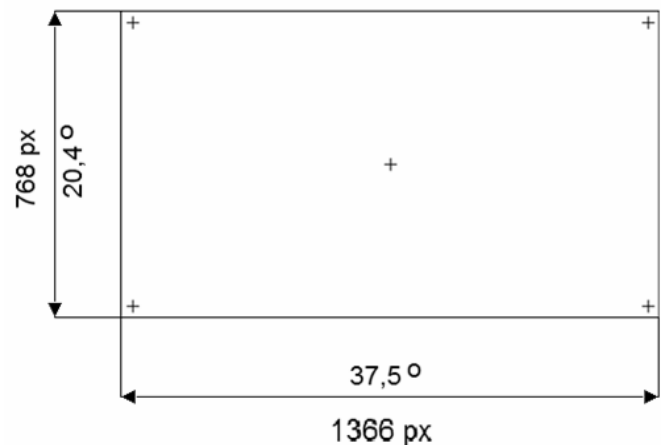
Zastosowano punktowe źródło światła umieszczone ponad ekranem na takiej wysokości, aby nie oślepić osoby badanej i nie powodować uczucia dyskomfortu. Dodatkowo umieszczono je dokładnie na środku szerokości monitora tak, aby obie połowki twarzy były oświetlone równomiernie. Dobór wartości oświetlenia rozpoczęto od testowania algorytmu i sprawdzenia, jakie jest najniższe natężenie oświetlenia, przy którym możliwe jest uzyskanie rezultatów mieszczących się w założonym przedziale ufnosci, który określono na 90% przy 50 pomiarach. Jako parametr graniczny przyjęto, że błąd nie powinien przekraczać 4°, co stanowi około 10% szerokości ekranu i 20% jego wysokości. Ostatecznie do przeprowadzenia testów wybrano następujące pięć poziomów oświetlenia: poziom 1: 20 lx - pierwszy poziom oświetlenia spełniający założony poziom ufnosci, poziom 2: 50 lx, poziom 3: 100 lx, poziom 4: 300 lx, poziom

5: 500 lx - zalecane przez Polską Normę oświetlenie stanowiska pracy z komputerem [9]. Schemat stanowiska pomiarowego zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat stanowiska do prowadzenia badań: punktowe źródło światła bezpośrednio nad kamerą znajdującą się w górnej ramce ekranu (A), statyw definiujący punkt pomiaru (B)

Przed badaniem następuje ustawienie kierunkowego źródła światła A tak, aby uzyskać odpowiednią dla danego poziomu jasność oświetlenia, mierzoną światłomierzem przy czole osoby badanej. Oddzielnie dla każdej osoby przed przeprowadzeniem badania odbywa się kalibracja. Badane osoby podchodzą do stanowiska i umieszczają brodę na statywie B w celu wyeliminowania różnic w pozycji fiksacji. Prezentowane jest kolejno pięć ekranów i w tym czasie osoba badana proszona jest o skupienie wzroku na punkcie oznaczonym krzyżykiem (rys.4). Kalibracja programu polega na ustaleniu współczynników proporcji w osi poziomej i pionowej.

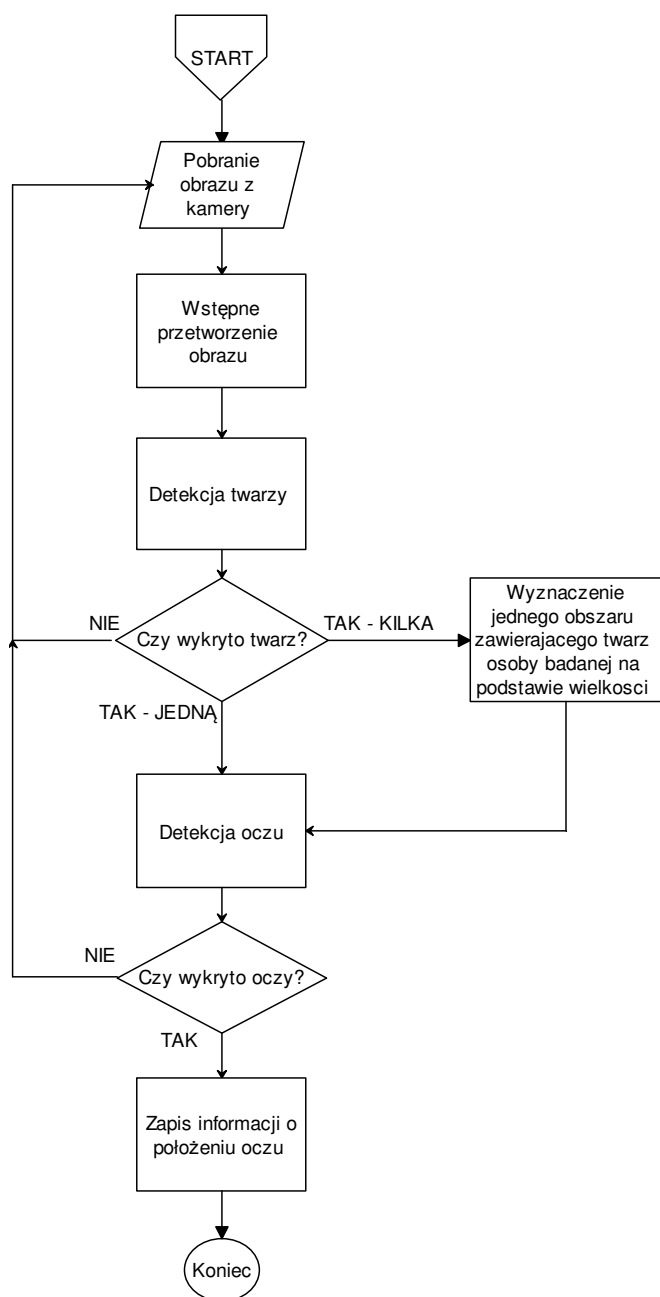


Rys. 4. Obraz kontrolny z uwidocznionymi wszystkimi punktami kalibracji. Wymiary w pikselach oraz jako odległość kątową dla głowy oddalonej od monitora o 50 cm

Po pomyślnym przeprowadzeniu kalibracji następuje właściwe badanie. Prezentowane są kolejne obrazy na ekranie, z zaznaczonym punktem zadaniem, w który spogląda osoba badana. W sumie zastosowano 5 obrazów z punktami zadaniem znajdującymi się w każdym z narożników ekranu oraz na środku ekranu. Dla każdej pozycji przeprowadzano 10 pomiarów, co przy 5 poziomach oświetlenia daje 250 wyników na osobę. Badaniu poddano 8 osób.

Pierwszym etapem działania algorytmu jest detekcja obszaru twarzy i oczu. Odbywa się na poprzez konwersję do obrazu monochromatycznego, rozciągnięcie histogramu w celu poprawy kontrastu, wykrywanie twarzy a następnie oczu klasyfikatorem Harra [10], Aby wykluczyć obecność

twarzy osób trzecich w polu kamery, oraz zapobiec błędom klasyfikacji, w przypadku wykrycia innej liczby twarzy niż jedna, i innej liczby oczu niż dwoje, dalsza obróbka jest przerywana (rys.5).



Rys. 5. Schemat blokowy procesu detekcji twarzy i oczu

Na podstawie 3 klatek z kamery zawierających wykryte w opisany wyżej sposób dwoje oczu, dla każdego z 6 tak uzyskanych obrazów oka prowadzone jest dalsze przetwarzanie a ostatecznie przyjmowany rezultat jest średnią z 6 uzyskanych wyników cząstkowych. Obszar reprezentujący oko jest przetwarzany poprzez ponowne rozciągnięcie histogramu w celu poprawy kontrastu, binaryzację odwróconą z dynamicznym progiem, i pozostawienie największego jednorodnego obszaru bieli. W celu określenie punktu fiksacji, za punkt referencyjny przyjmuje się lewy górny narożnik obszaru oka, wykrytego przez algorytm Haara. Współrzędne środka źrenicy (WSZ) wyznaczone są jako środek ciężkości największego jednorodnego obszaru bieli, t.j. łącznego obszaru źrenicy i tęczówki. Współrzędne punktu fiksacji dla każdej osi

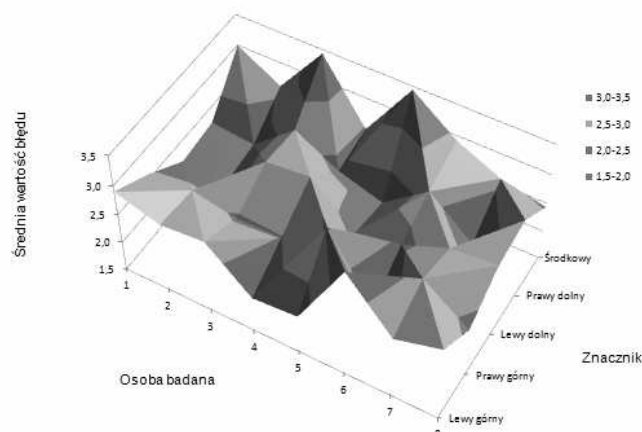
oddzielnie wyznaczone są z proporcji między współrzędną WSZ z danych z procesu kalibracji, i z wartości uzyskanej podczas badań.

Opisaną metodę zaprogramowano w języku C++ z użyciem biblioteki OpenCV [10].

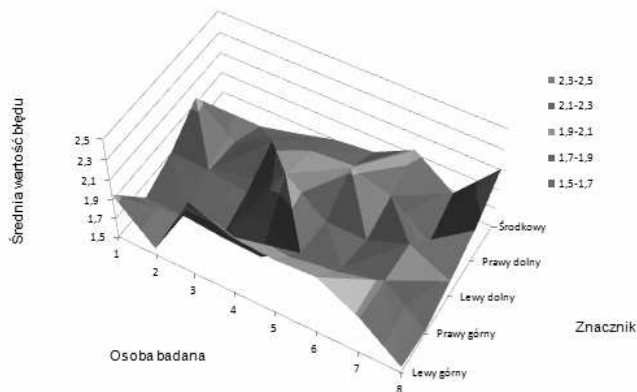
4. WYNIKI

Prezentowana metoda pozwala uzyskać zbliżone wyniki dla różnych osób badanych, przy zadanych poziomach oświetlenia. Rysunek 6 przedstawia w stopniach kątowych średnią wartość błędu z 10 pomiarów, dla poszczególnych osób, badanego znacznika wzorcowego, i 3 poziomów oświetlenia. Wykresy prezentują płaszczyzny między dyskretnymi punktami tylko w celu prezentacji przestrzennego rozmieszczenia tych dyskretnych punktów.

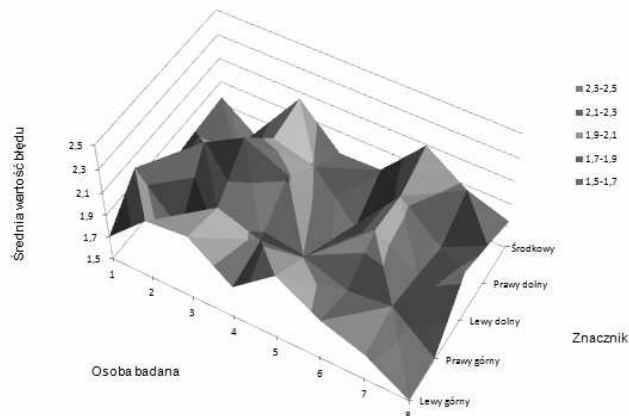
a)



b)



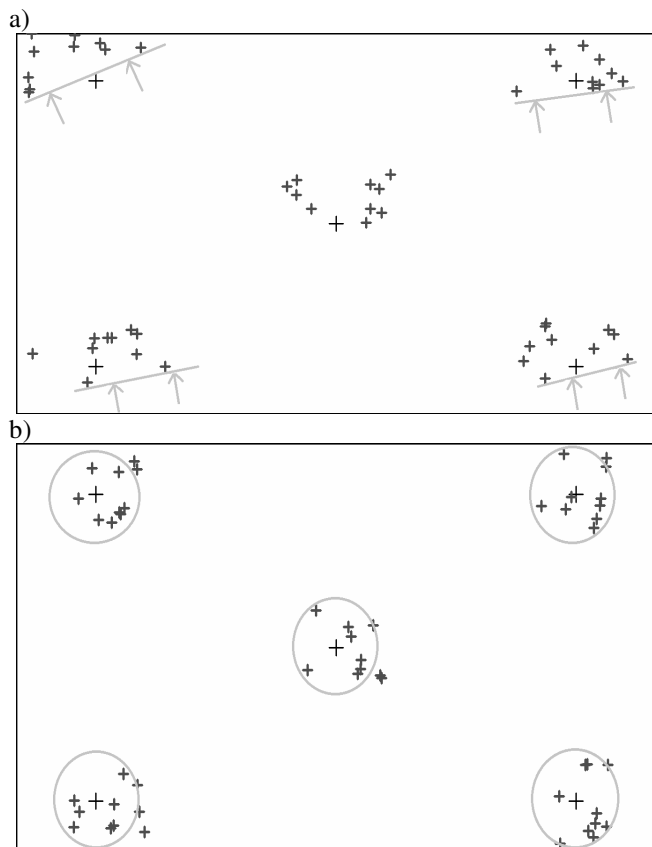
c)



Rys. 6. Średnia wartość błędu w zależności od osoby badanej i znacznika wzorcowego dla natężenia oświetlenia a) 20 lux; b) 100 lux; c) 500 lux.

Dzięki możliwości precyzyjnego określenia położenia głowy oraz pomiaru oświetlenia twarzy, metoda umożliwia również identyfikację przyczyn błędnych wyników. Na rysunku 7a przedstawiono przykład wyników z błędem powstałym najprawdopodobniej z powodu zmiany ułożenia głowy po kalibracji. Spowodowało to przesunięcie (*bias*) wyniku w kierunku oznaczonym strzałkami.

Z kolei na rysunku 7b, dla tej samej osoby badanej uwidocznił się błąd będący wynikiem wybranego sposobu przetwarzania danych wizyjnych przez algorytm. Okręgi wskazują odległość od znacznika ok 2° , w której mieści się większość tych pomiarów.



Rys. 7. Prezentacja błędnych wyników dla dwóch różnych źródeł błędów; a) błąd kalibracji, b) błąd metody.

5. WNIOSKI

Celem przedstawionych prac było opracowanie stanowiska i algorytmu rozpoznającego położenie gałki

oczonej, które umożliwią badanie wpływu zmiennego natężenia oświetlenia na dokładność określenia punktu fiksacji wzroku. Realizację oparto o metodę z wykorzystaniem systemu wizyjnego bez oświetlenia podczerwonego. Jest to jedno z najmniej wymagających, często stosowanych, i najmniej inwazyjnych rozwiązań, które oprócz komputera i kamery nie wymaga użycia dodatkowego sprzętu.

Stanowisko i metoda mogą poprawić jakość wyników określania punktu fiksacji wzroku dla wielu zastosowań (np. obsługa manipulatorów, pomoc osobom niepełnosprawnym).

Planowaną kolejną pracą jest wykorzystanie stanowiska do opracowania charakterystyki zależności błędów od natężenia oświetlenia.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Z.W.Zhu, Q. Ji, Novel eye gaze tracking techniques under natural head movement, IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol.54, No.12, pp.2246–2260, 2007.
2. Landholt, O., Visual Sensors using eye movements, in J.Ayers, J.Dabis A.Rudolph (eds) Neurotechnology for Biomimetic Robots, Bradford Books, MIT Press, 2000.
3. Riad I. Hammoud, Dan Witzner Hansen, Biophysics of the Eye in Computer Vision Methods and Advanced Technologies, in Firooz Sadjadi, Bahram Javidi (Eds), Physics of Automatic Target Recognition, Springer, 2007.
4. Wang, J., Sung, E., Study on eye gaze estimation, IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern. 2002;32(3), s.332–50. doi: 10.1109/TSMCB.2002.999809.
5. J. Wang, E. Sung, and R. Venkateswarlu, Eye gaze estimation from a single image of one eye, in Proc. Int. Conf. Comput. Vis., 2003, pp.136–143.
6. Deja, Sz. System rozpoznawania i aktywnego śledzenia oczu użytkownika komputera za pośrednictwem kamery w czasie rzeczywistym, AGH, Kraków, 2010.
7. Bäck, D., Neural Network Gaze Tracking using Web Camera, Linköping University, MS Thesis 2005.
8. Computer Ergonomics: Workstation Layout and Lighting | Health and Safety Guidelines, Queen's Printer for Ontario, 2004. ISSN 1201-1444.
9. Polska norma PN-EN 12464-1:2012 Technika świetlna. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy wewnątrz pomieszczeń
10. Strona domowa projektu OpenCV, <http://opencv.org/>, (DOA: 28.10.2016)

THE STAND AND METHOD OF MEASURING THE INFLUENCE OF ILLUMINANCE ON THE ACCURACY OF DETERMINATION OF THE GAZE FIXATION POINT

Eye ball is an interesting and important research topic due to its wide usefulness in many applications. Due to high speed of eye ball movement, only detecting the gaze point is possible. The least invasive and therefore the most applicable method of determining the gaze point is the method based on ambient light, which also does not require getting into physical contact with the eye. The key element influencing the quality of computer vision information is ambient light illuminance. In this paper a measurement stand and a method have been proposed that encompass the placement of point light source, and placement of the light meter, ensuring a stable and steady head position of the examined person, a visual control pattern, and an algorithm to process the vision data. The measurement stand allows to conduct research in repeatable light and geometry conditions, which are essential to measure the impact of illuminance on different algorithms for gaze fixation point determination.

Keywords: computer vision, gaze fixation, illuminance.