

Urszula BŁASZCZAK

Z PRAC NAD ALGORYTMEM POMIARU OLŚNIENIA PRZYKREGO WE WNĘTRZACH^{*)}

STRESZCZENIE *W referacie przedstawiono wytyczne normatywne oraz metodę pomiaru olśnienia przykrego we wnętrzach, wykorzystującą detektor matrycowy. Dzięki analizie obrazów zarejestrowanych za pomocą detektora wyznaczane są: luminancja tła, luminancja źródeł olśniewających, ich rozmieszczenie oraz wielkość kąta. Omówiono podstawowe etapy algorytmu pomiarowego: akwizycję elementarnych obrazów pomiarowych, tworzenie mapy rozkładu luminancji, przypisanie punktów mapy do obszaru źródła lub tła, generację listy danych wejściowych oraz obliczenie wskaźnika UGR i prezentację wyników.*

Słowa kluczowe: *olśnienie przykre, pomiar*

1. WSTĘP

Olśnienie jest to przebieg procesu widzenia, przy którym występuje odczucie niewygodny lub zmniejszenie zdolności percepcyjnych. Zjawisko olśnienia w mniejszym lub większym stopniu istnieje w każdych warunkach. Jego

^{*)} Artykuł zrealizowano w ramach pracy badawczej W/WE/1/06

mgr inż. Urszula BŁASZCZAK
e-mail: urszula@we.pb.edu.pl

Katedra Promieniowania Optycznego
Politechnika Białostocka

ocena ogranicza się do miejsc, w których odbywa się nauka i praca, a parametry pomieszczenia i systemu oświetleniowego spełniają ściśle określone kryteria, nie przeprowadza się jednak pomiaru olśnienia przykrego.

Polska norma [1] zaleca do oceny olśnienia przykrego metodę ujednoczonej oceny olśnienia CIE (ang. *CIE Unified Glare Rating*), gdzie określa się dla każdego źródła olśnienia (oprawy) wskaźnik *UGR* wg wzoru [1]

$$UGR = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{L_t} \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{P^2} \right) \quad (1)$$

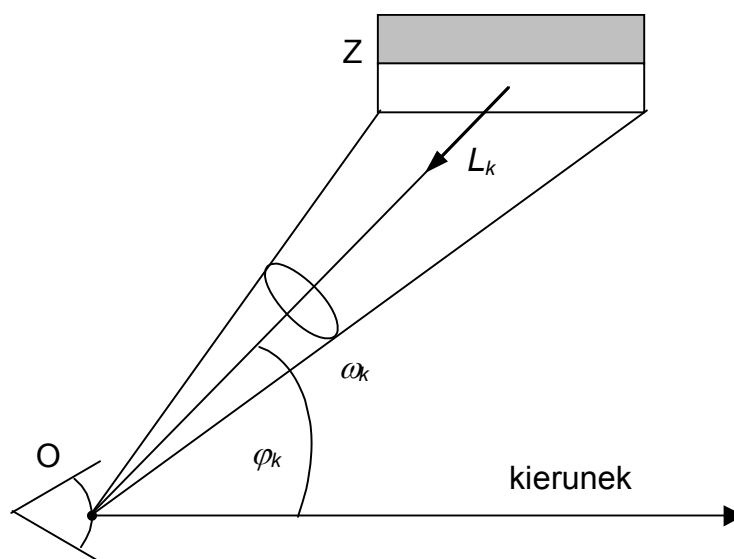
gdzie:

- L_t – luminancja tła;
- L – luminancja świecących części każdej oprawy w kierunku obserwatora;
- ω – kąt bryłowy, w którym oko obserwatora widzi świecące części każdej oprawy;
- P – wskaźnik położenia każdej oprawy olśniewającej względem kierunku obserwacji.

2. METODA POMIARU OLŚNIENIA PRZYKREGO

Do wyznaczenia wskaźnika olśnienia potrzebna jest znajomości następujących wielkości (rys. 1):

- luminancja tła L_t , która jest definiowana jako jednolita luminancja otoczenia widzianego okiem obserwatora, z wyłączeniem luminancji źródeł powodujących olśnienie,
- luminancja L_k świecącej części każdej z opraw, wyznaczona w kierunku oka obserwatora, która wywołuje u niego zjawisko olśnienia ($k = 0; \dots n$, n – ilość źródeł wywołujących olśnienie u osoby przebywającej w danym pomieszczeniu),
- kąt przestrzenny ω_k , w którym zawierają się świecące części każdej z opraw ($k = 0; \dots n$, n – ilość źródeł wywołujących olśnienie u osoby przebywającej w danym pomieszczeniu),
- wskaźnik Guth'a P_k określający korelację pomiędzy położeniem każdego źródła olśniewającego a poziomem niewygodności, jakie ono wywołuje.



Rys. 1. Ilustracja wielkości niezbędnych do wyznaczenia wskaźnika UGR:

Z – środek źródła światła, O – oko obserwatora, L_k - luminancja źródła w kierunku oka obserwatora, ω_k – kąt przestrzenny, φ_k – odchylenie środka źródła oślnienia od kierunku obserwacji

Wartości wskaźnika położenia P zostały określony przez Luckiesh'a i Guth'a drogą eksperymentalną i podane w formie graficznej lub w tabeli, np. w [2].

Wymienionych danych dostarcza analiza obrazu uzyskanego w wyniku odwzorowania rozkładu luminancji z pola pracy wzrokowej człowieka na detektorze matrycowym i zapisanego w formie zdjęcia panoramicznego. Wartość natężenia oświetlenia powierzchni detektora na osi układu (zakładając typowe rozwiązanie układu o obrotowej osi symetrii) jest uzależniona od luminancji odwzorowanego na tym obszarze fragmentu przedmiotu L , współczynnika przepuszczenia układu τ oraz maksymalnego kąta aperturowego u'_M w przestrzeni obrazowej. Można je opisać następującą zależnością

$$E' = \pi \cdot L \cdot \tau \cdot \sin^2 u'_M . \quad (2)$$

W przypadku relatywnie dalekiego przedmiotu równość (2) można zapisać w funkcji otworu względnego N układu odwzorowującego

$$E' = \frac{\pi}{4} \cdot L \cdot \tau \cdot \frac{1}{N^2} . \quad (3)$$

Dla punktów pozaosiowych natężenie oświetlenia obniża się zgodnie z prawem winietowania naturalnego, czyli dla każdego elementu detektora należy dodatkowo uwzględnić zależność

$$E'_w = E' \cdot \cos^4 w', \quad (4)$$

gdzie w' jest kątem pola.

Prąd generowany w każdej komórce detektora matrycowego I_s jest liniową funkcją natężenia oświetlenia powierzchni tej komórki:

$$I_s = C \cdot E'_p, \quad (5)$$

gdzie C to stała.

Cyfrowe wartości, reprezentujące natężenie oświetlenia na powierzchni poszczególnych elementów matrycy, stworzą mapę rozkładu luminancji w polu pracy wzrokowej. Analiza komputerowa uzyskanej mapy dostarczy danych do liczbowej oceny olśnienia, którymi są luminancja tła, ilość, położenie i wielkość obszarów w polu widzenia wywołujących olśnienie oraz ich luminancja w kierunku oczu obserwatora. Obszarami tymi mogą być zarówno źródła światła, jak i fragmenty przedmiotów o niewłaściwej wartości współczynnika odbicia, znajdujących się w polu widzenia i wywołujących olśnienie odbiciowe.

3. GŁÓWNE ETAPY POMIARU OLŚNIENIA PRZYKREGO

Procedurę pomiaru można podzielić na 5 głównych etapów:

- akwizycja elementarnych obrazów pomiarowych,
- tworzenie mapy rozkładu luminancji w obszarze pracy wzrokowej,
- przypisanie punktów mapy (do obszaru źródła lub tła),
- generacja listy danych wejściowych (obliczenie luminancji tła, obliczenie luminancji każdego źródła, wielkości kątowej, wybór wartości wskaźników położenia Gutha),
- obliczenie wskaźnika UGR na podstawie powyższych danych i prezentacja wyników.

Omówione zostaną kolejne etapy procedury pomiarowej.

3.1. Akwizycja elementarnych obrazów pomiarowych

Obszar podlegający ocenie pokrywa się z polem pracy wzrokowej, tzn. jego wymiar kątowy wynosi 180° w poziomie oraz 105° w pionie. Odwzorowanie takiego obszaru na powierzchni detektora w ramach pojedynczej ekspozycji, przy spełnieniu wymagań jakości odwzorowania (geometrycznych i energetycznych), nie jest możliwe. Rozwiązaniem jest podzielenie pola pracy wzrokowej na przedziały i odwzorowywanie ich kolejno na powierzchni detektora w taki sposób, by po ich „sklejeniu” można było uzyskać mapę rozkładu luminancji w obszarze pokrywającym się z polem widzenia człowieka. Ponadto, ze względu na znaczny zakres wartości rejestrowanych luminancji, konieczne może być rejestrowanie tego samego obszaru przy różnych czułościach lub czasach naświetlania detektora.

Obraz otrzymany w wyniku odwzorowania obszaru o rozpiętości kątowej, odpowiadającej polu widzenia układu rejestrującego (kamery), na powierzchni detektora nazywany jest *elementarnym obrazem pomiarowym*. Elementarny obraz pomiarowy tworzą wartości liczbowe niemianowane, odpowiadające luminancjom obszarów odwzorowanych na poszczególnych elementach detektora powierzchniowego. Współczynniki umożliwiające przeliczenie wartości niemianowanych na luminancję uzyskiwane są w procesie kalibracji stanowiska. Kalibracja stanowiska wykorzystującego detektor matrycowy do pomiaru rozkładu luminancji jest pracochłonna i czasochłonna, ale możliwa do przeprowadzenia.

Na etapie dokonywania skanowania przestrzeni istotny jest dobór parametrów układu odwzorowującego (kąta pola) oraz korelującej z tym konstrukcji mechanicznej głowicy umożliwiającej precyzyjne i powtarzalne ustawienie kamery.

3.2. Tworzenie mapy rozkładu luminancji

Posiadając zestaw obrazów elementarnych należy dokonać ich połączenia w obraz panoramiczny, który reprezentuje rozkład luminancji w polu widzenia człowieka. Proces „sklejania” obrazów elementarnych nie stwarza obecnie większych kłopotów, o ile obrazy elementarne zostały zarejestrowane w prawidłowy sposób, tzn. spełnione zostały dwa podstawowe wymagania:

- kamera została w poprawny sposób wypoziomowana, a jej pozioma i pionowa oś obrotu pokrywają się odpowiednio z kierunkiem obserwacji

- wizualnej oraz kierunkiem do niej prostopadłym i przechodzącym przez płaszczyznę źrenicy układu odwzorowującego,
- pole widzenia układu odwzorowującego i konstrukcja głowicy pozycjonującej kamerę umożliwiają wykonywanie kolejnych zdjęć z zapasem co najmniej 10 % na identyfikację obszarów sklejenia.

W wyniku sklejenia obrazów elementarnych uzyskuje się tabelę wartości cyfrowych, które należy poddać procedurze obliczeniowej wynikającej z wymagań nakładanych przyrządom fotometrycznym, a mającej na celu konwersję tych wartości na luminancję. Procedura obliczeniowa powinna zatem uwzględniać korekcję widmową, korekcję przestrzenną, korekcję nierównomierności powierzchniowej detektora. Bazą do przeprowadzenia tych obliczeń są tabele współczynników uzyskiwane w procesie kalibracji i dostępne programowo. Wynikiem obliczeń jest macierz liczbowa oraz zdjęcie – mapa rozkładu luminancji w zakresie kątowym pola widzenia.

3.3. Przypisanie punktów mapy

Pierwszym etapem analizy uzyskanego obrazu jest klasyfikacja komórek obrazu tzn. przypisanie poszczególnych wartości liczbowych do obszaru źródła lub tła. Może się to odbywać na podstawie różnych kryteriów, np. wartość progowa luminancji obliczana na podstawie luminancji średniej, gradientu luminancji lub zmiany tego gradientu. Oczekiwany wynikiem tego etapu jest znajomość liczby, wielkości i rozmieszczenia oraz średniej luminancji obszarów olśniewających. Obiektami tymi mogą być zarówno źródła światła, jak również inne przedmioty w polu widzenia. Pozostałe wartości luminancji będą się składać na luminancję tła.

Jedną z metod klasyfikacji punktów mapy luminancji jest wyznaczenie wartości progowej. Po dokonaniu analizy mapy luminancji łatwo jest odszukać obszary, których luminancja jest wyższa od wyznaczonego progu i tym samym powodują efekt olśnienia. Pozostałe obszary, zgodnie z definicją, składać się będą na luminancję tła.

Praktyczna i prosta metoda klasyfikacji elementów mapy luminancji polega na zarejestrowaniu każdego obrazu elementarnego przy różnych czułościach detektora (rys. 2) lub czasach naświetlania (rys. 3). Uzyskuje się w ten sposób dwie serie obrazów. Na jednej z nich (niedoświetlonej) zarejestrowane są wyłącznie obszary o wysokiej luminancji, zaś reszta tych obrazów jest ciemna. Zarejestrowane obszary jasne to obszary powodujące efekt olśnienia. Przykładowe obrazy, na których zarejestrowano obszary o wysokiej luminancji zamieszczone są po lewej stronie rys. 2 i 3. Fotografie z drugiej serii (zamiesz-

czony po prawej stronie na rys. 2 i 3) wykonano w taki sposób, by były jasne oraz by widoczne na nich były szczegóły rejestrowanego obszaru. Jeżeli obszary zarejestrowane w pierwszej serii (będące źródłami ośniewającymi) zostaną usunięte z odpowiednich obrazów drugiej serii, to obszary pozostałe będą tworzyć tło.



Rys. 2. Obrazy tych samych obszarów zarejestrowane przy różnych poziomach czułości detektora



Rys. 3. Obrazy tych samych obszarów zarejestrowane przy różnych czasach ekspozycji detektora

3.4. Generacja listy danych wejściowych

Po zlokalizowaniu źródeł oraz określeniu obszaru tła należy wyznaczyć wartości średniej luminancji każdego z obszarów ośniewających oraz luminancji tła L_k . Wartości te są obliczane jako średnie arytmetyczne z luminancji

obszaru, odwzorowanego na powierzchni poszczególnych komórek detektora, zakwalifikowanego do obszaru kolejnego źródła bądź tła

$$L_k = \frac{\sum_{n=0}^N L_{ijn}}{N} \quad (6)$$

gdzie: N jest ilością pikseli obrazu sklasyfikowanych jako elementy k -tego obszaru (kolejnego źródła lub tła), L_{ijn} jest luminancją obszaru odwzorowanego na powierzchni n -tej komórki detektora.

Kolejnym etapem procedury pomiarowo-obliczeniowej jest obliczenie wielkości kątowej ω_k każdego obszaru określonego jako źródło olśnienia. Dla każdego elementarnego obszaru obrazu w bazie danych przypisana jest wartość kąta bryłowego. Jeżeli źródło olśniewające odwzorowane jest na powierzchni kilku komórek detektora, to jego wielkość określa suma kątów elementarnych przypisanych tym komórkom

$$\omega_k = \sum_{n=0}^N \omega_{ijn} \quad (7)$$

gdzie: N jest liczbą pikseli obrazu przypisanych do obszaru k -tego źródła, ω_{ijn} jest elementarnym kątem bryłowym przypisanym n -tej komórce detektora.

Znając rozmieszczenie oraz wielkość wszystkich źródeł należy określić położenie ich geometrycznych środków, a następnie przypisać im wartość wskaźnika położenia Gutha. Wartości wskaźnika położenia są powiązane z poszczególnymi pikselami obrazu panoramicznego i zapisane w bazie danych oprogramowania – określenie położenia każdego z obszarów olśniewających wskazuje którą wartość wskaźnika położenia należy wybrać z bazy danych.

3.5. Obliczenie wskaźnika *UGR* i prezentacja wyników

W wyniku przeprowadzenia opisanej powyżej analizy uzyskuje się wszystkie dane niezbędne do obliczenia wskaźnika *UGR* zgodnie z zależnością (1). Ostatnim etapem procedury pomiarowej jest prezentacja wyników pomiaru. By wynik pomiaru był czytelny i umożliwił szybką lokalizację obszarów olśniewających powinien się on składać nie tylko z wartości liczbowej ale i zdjęcia pano-

ramicznego, będącego mapą rozkładu luminancji w polu pracy wzrokowej przy konkretnym kierunku obserwacji wizualnej, z zaznaczonymi na niej obszarami wywołującymi olśnienie przykre.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wytyczne normatywne oraz metodę pomiaru olśnienia przykrego we wnętrzach, wykorzystującą detektor matrycowy. Omówiono podstawowe zagadnienia związane z algorytmem pomiaru. Algorytm ten podzielono na pięć głównych etapów. Pierwszym krokiem jest zarejestrowanie elementarnych obrazów pomiarowych, których ilość zależy od kąta pola widzenia układu rejestrującego. Zwiększając kąt pola widzenia można znacząco zredukować ilość obrazów elementarnych, a tym samym czas pomiaru. Istnieją obiektywy typu fish-eye, które teoretycznie pozwalają odwzorować na powierzchni detektora obszar obejmujący kątowy zakres pola widzenia człowieka podczas pojedynczej ekspozycji, jednak dokładność tego odwzorowania jest niewystarczająca dla omawianego zastosowania. Z tego powodu zdecydowano się na zastosowanie układu odwzorowującego o mniejszym polu widzenia i tym samym zapewniającego mniejsze zniekształcenia w otrzymanym obrazie, co stanowi kompromis pomiędzy krótkim czasem rejestracji i wysoką dokładnością. Kolejne etapy pomiaru polegają na komputerowych obliczeniach i analizie danych, które z racji dużej ilości punktów pomiarowych są również czasochłonne.

Metoda pomiaru olśnienia przykrego wykorzystująca detektor matrycowy jest jedyną metodą umożliwiającą pomiar zgodnie z definicjami podanymi w [2]. Dotychczas nie wykonuje się pomiarów olśnienia, a jedynie jego ocenę w pomieszczeniach istniejących. Ogranicza się również prawdopodobieństwo wystąpienia olśnienia przykrego na etapie projektowania systemu oświetleniowego.

LITERATURA

1. PN-EN 12464-1:2004
2. Publikacja CIE nr 117: Discomfort glare in interior lighting, 1995

Rękopis dostarczono, dnia 05.03.2007 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Władysław Dybczyński

RESEARCH ON ALGORITHM OF DISCOMFORT GLARE MEASUREMENT IN INTERIORS

Urszula BLASZCZAK

ABSTRACT

In the paper the standard outlines and the method of the glare measurement are presented. This method is based on digital analysing detector, which allows to calculate background luminance, luminance of the luminous parts of each luminaire, their angular size and location. Main stages of the measurement algorithm are described: elementary images acquisition, the luminance distribution map generation, classification of particular points of the map, input data list generation, the glare index calculation and presentation of the result.