ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1986

Seria: AUTOMATYKA z. 81 Nr kol. 851

Andrzej ZAWOJSKI
Śląska Akademia Medyczna w Katowicach

OCENA NIEKTÓRYCH ALGORYTMÓW SZUKANIA PROGU FUNKCJI PSYCHOMETRYCZNEJ NA PRZYKŁADZIE POSTRZEGANIA BODŹCÓW ŚWIETLNYCH

Streszczenie. Metodą symulacji komputerowej przetestowano procedury szukania progu postrzegania wykorzystywane w medycynie do pomiaru statycznego pola widzenia. Znaleziono błędy średnie i przypadkowe oraz liczbę koniecznych do wykonania kroków dla każdej z tych procedur w zależności od wybranego punktu startowego. Stwierdzono, że wybór metody pomiaru progu oraz punktu startowego ma duży wpływ na wynik pomiaru. Potwierdza to praktyka kliniczna.

1. WSTĘP

Od kilku lat notuje się w okulistyce i neurologii duże zainteresowanie pomiarem pola widzenia człowieka sposobem statycznym (perymetria statyczna). Istota pomiaru polega na znalezieniu w wybranych punktach pola widzenia tzw. progu postrzegania bodźców świetlnych. Bodziec świetlny prezentowany obserwatorowi w odróżnieniu od powszechnie stosowanej metody kinetycznej jest nieruchomy, a zmienia się jego kontrast. Jednym z podstawowych problemów perymetrii statycznej jest znalezienie procedury badania progu postrzegania, która daje wynik w krótkim czasie i pozwala uniknąć błędów spowodowanych przypadkowymi odpowiedziami obserwatora. Różne procedury statycznego pomiaru pola widzenia opisano między innymi w pracach [1], [2], [3], [5], [6].

Celem niniejszej pracy jest porównanie niektórych wprowadzanych do praktyki klinicznej procedur pomiaru progu postrzegania, w tym procedury używanej przez autora w Klinice Okulistyki Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach.

2. MODELE OBSERWATORÓW W PERYMETRII STATYCZNEJ

Postrzeganie bodźców świetlnych jest funkcją psychometryczną zależną od wielkości pobudzenia oraz od zespołu cech określających sprawność narządu wzroku obserwatora. Rezultatem pobudzenia jest subiektywne wrażenie widzenia. Pobudzenie zależy między innymi od luminancji bodźca świetlnego, lumi-

nancji tła, wielkości znaczka testowego. Ze względu na nierównomierny rozkład receptorów w siatkówce postrzeganie bodźców jest zależne od miejsca pobudzenia siatkówki.

Próg postrzegania definiujemy jako wartość pobudzenia świetlnego, dla którego prawdopodobieństwo wywołania odpowiedzi pozytywnej obserwatora (wywołanie wrażenia widzenia) jest równe $\frac{1}{2}$. Krzywa częstości widzenia dla danego obserwatora, w danym punkcie siatkówki jest funkcją logarytmu luminancji bodźca i przedstawia prawdopodobieństwo percepcji. Takie parametry jak wielkość bodźca świetlnego, czas trwania jego ekspozycji i luminancja tła są stałe.

Ze względu na funkcję percepcji możemy określić kilka typów zachowania się obserwatora [1].

Funkcja percepcji idealnego obserwatora ma następującą postać:

$$p(L) = \begin{cases} 0 & \text{dla } L < L_o \\ 1/2 & \text{dla } L = L_o \\ 1 & \text{dla } L > L_o \end{cases} \tag{1}$$

gdzie:

L - luminancja bodźca $[cd/m^2]$,

L_o - próg postrzegania.

Krzywa częstości widzenia obserwatora rzeczywistego może być aproksymowana dystrybuantą rozkładu normalnego (rys. 1):

$$p(L) = \int_{-\infty}^{L} \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(L'-Lo)^2}{2\delta^2}\right] dL' \tag{2}$$

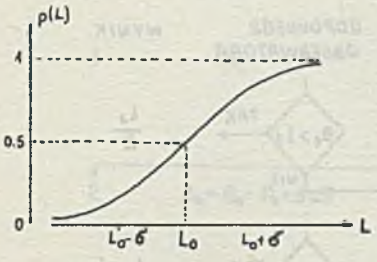
gdzie:

L_o - próg postrzegania,

δ - parametr rozkładu.

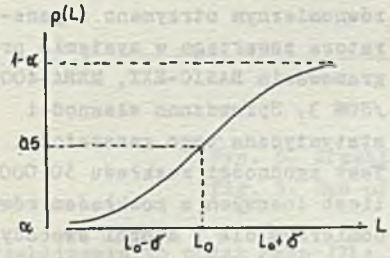
Obserwator ten nie popełnia błędów grubych, tzn. praktycznie nigdy nie widzi znaczka nieobecnego oraz zawsze widzi znaczek o luminancji zmierzającej do nieskończoności. Model obserwatora uważnego otrzymamy przyjmując w wyrażeniu (2) $\delta = 1$, która to wartość wynika z praktyki medycznej. Obserwator rzeczywisty, który popełnia błędy grube, podaje czasem fałszywe odpowiedzi negatywne, tzn. nie widzi znaczka o maksymalnej luminancji oraz fałszywe odpowiedzi pozytywne, tzn. widzi znaczek nieobecny. Krzywa częstości widzenia takiego obserwatora opisana równaniem (3) została przedstawiona na rys. 2.

$$p(L) = \alpha + (1-2\alpha) \int_{-\infty}^{L} \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(L'-Lo)^2}{2\delta^2}\right] dL' \tag{3}$$



Rys. 1. Krzywa częstości widzenia obserwatora rzeczywistego, który nie popełnia błędów grubych

Fig. 1. Curve of eyeshot frequency for real observer who does no blunders



Rys. 2. Krzywa częstości widzenia obserwatora rzeczywistego, który popełnia błędy grube

Fig. 2. Curve of eyeshot frequency who does blunders

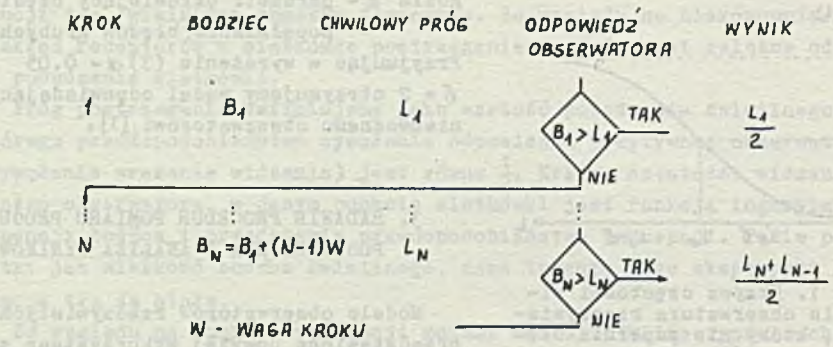
gdzie α - parametr określający częstość popełniania błędów grubych. Przyjmując w wyrażeniu (3) $\alpha = 0.05$ i $\sigma = 2$ otrzymujemy model odpowiadający nieuważnemu obserwatorowi [1].

3. BADANIE PROCEDUR POMIARU PROGU POSTRZEGANIA I ANALIZA WYNIKÓW

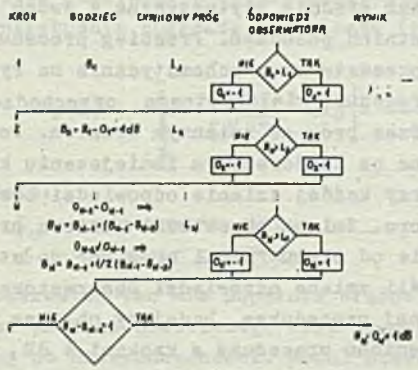
Modele obserwatorów rzeczywistych przedstawione powyżej wykorzystane zostały do przeprowadzenia oceny algorytmów szukania progu postrzegania. Testowaniu poddano następujące procedury:

- procedurę dochodzenia do progu ze stałym krokiem, która polega na zwiększeniu pobudzenia (luminancji znaczka) ciągle o tę samą wartość (waga kroku = = w) i śledzeniu odpowiedzi obserwatora. Jeśli obserwator zauważył znaczek, badający oblicza zmierzoną wartość progu jako średnią arytmetyczną z dwóch ostatnich pobudzeń. Przebieg procedury przedstawiono schematycznie na rys. 3;
- procedurę wielokrotnego przechodzenia przez próg ze zmiennym krokiem. Polega ona na każdorazowym zmniejszaniu kroku przy każdej zmianie odpowiedzi obserwatora. Zmiana odpowiedzi oznacza przejście od stanu "widzi bodziec" do stanu "nie widzi bodźca" lub odwrotnie. Jeśli zmiana odpowiedzi obserwatora następuje przy najmniejszym kroku w danej procedurze, badający oblicza wynik pomiaru progu. W niniejszej pracy oceniono procedurę z krokami 4 dB, 2 dB, 1 dB opisaną przez Spahra [5] oraz procedurę z krokami 5 dB, 1 dB, opisaną przez autora [6]. Przebieg tych dwóch procedur przedstawiono schematycznie na rys. 4 i rys. 5.

Badanie procedur przeprowadzono metodą symulacji komputerowej, w czasie której generowano chwilowy przypadkowy próg postrzegania obserwatora zgodnie z jego funkcją psychometryczną. Próg ten następnie był porównywany z wartością pobudzenia wyliczaną według sprawdzanej procedury. W zależności od wyniku tego porównania obliczane było następne pobudzenie lub wyznaczany był wynik dla zakończonej procedury. Tok postępowania przedstawiony został na schemacie rys. 6 .



Rys. 3. Przebieg procedury dochodzenia do progu ze stałym krokiem
Fig. 3. Run of procedure of comming to a threshold with a constant step



Rys. 4. Przebieg procedury 4dB, 2dB, 1dB
Fig. 4. Run of procedure 4dB, 2dB, 1dB

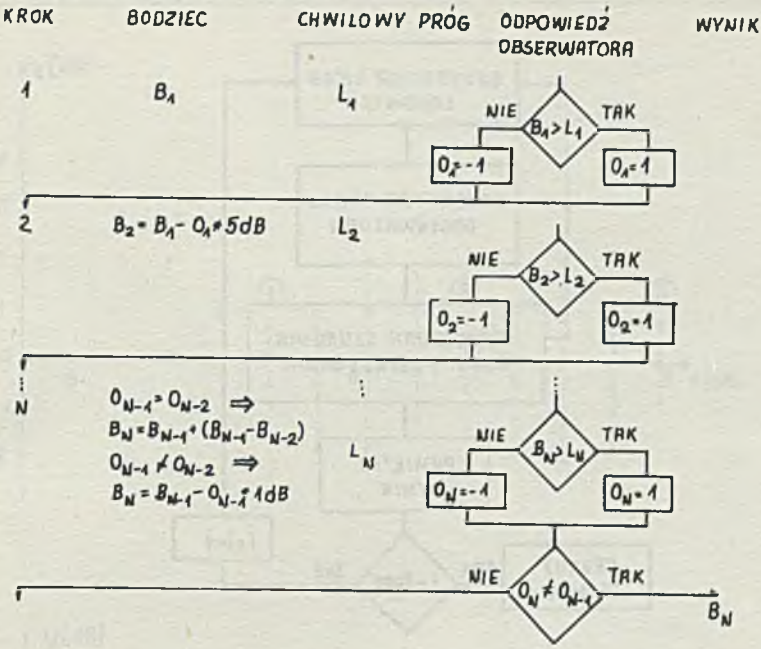
Liczby pseudolosowe o rozkładzie równomiernym otrzymano z generatora zawartego w systemie programowania BASIC-EXT, MERA-400/ /SOM 3. Sprawdzono własności statystyczne tego generatora. Test zgodności rozkładu 30 000 liczb losowych z rozkładem równomiernym dla 9 stopni swobody dał wartość $\chi^2 = 8.57$ i nie zdyskwalifikował generatora na poziomie istotności 0.05. Test serii na niezależność kolejnych 30 000 liczb losowych dla p = 1/2 dał liczbę serii 14 870, co nie pozwoliło zdyskwalifikować generatora na poziomie istotności 0.05.

Generator zmiennej losowej progu dla obserwatora uważnego, opisanego równaniem (2), zrealizowany został przy wykorzystaniu metody bezpośredniej [4]:

$$L = \sqrt{-2 \ln u_1}\, \cos(2\pi u_2),$$

gdzie u_1, u_2 - liczby losowe o rozkładzie równomiernym z przedziału (0,1).

Generator zmiennej losowej progu dla obserwatora nieuważnego (równanie 3) zrealizowany został w oparciu o metodę funkcji odwrotnej dla przybliżenia dystrybuanty rozkładu normalnego.



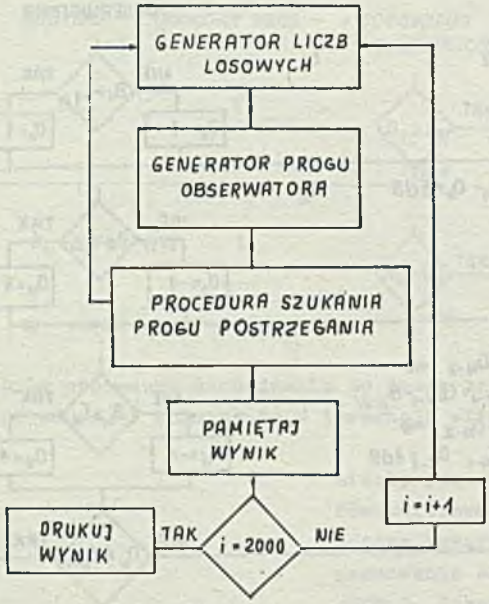
Rys. 5. Przebieg procedury 5dB, 1dB
Fig. 5. Run of procedure 5dB, 1dB

Przybliżenie to podał Kahn [7]:

$$L = \frac{2}{\sqrt{8/\pi}} \left(\ln \frac{0.95-u_1}{0.85+u_1}\right) \mathrm{sgn}(u_2-0.5),$$

gdzie u_1, u_2 - liczby losowe o rozkładzie równomiernym (0,1), przy czym, jeśli $u_1 \geqslant 0.95$, to $L = L_{max}$, a jeśli $u_1 \leqslant 0.05$ to $L = L_{min}$. Wyniki w postaci wykresów zamieszczone są na rysunkach od 7 do 10. Na osiach odciętych zaznaczona jest odległość punktu startowego od nieznanego progu postrzegania $x = L_o - B_1$. Jeśli zatem np. $x = -6$ dB, to znaczy, że punkt startowy procedury wypada 6 dB powyżej progu. Na osiach rzędnych zaznaczona jest różnica między średnią wartością progu otrzymaną przez wielokrotne wykonanie procedury i między nieznanym progiem $y = \bar{L} - L_o$. Jeśli dla przykładu $y = 5$ dB, to oznacza, że średnia wartość wynikowa przekracza nieznany próg o 5 dB. Na wykresach zaznaczono $\pm$ odchylenie standardowe wokół y oraz średnią liczbę kroków, które trzeba wykonać, aby znaleźć wynik w kółku.

Procedury dochodzenia do progu ze stałym krokiem dały wynik silnie zależny od punktu startowego procedury. Błąd średni jest duży niezależnie



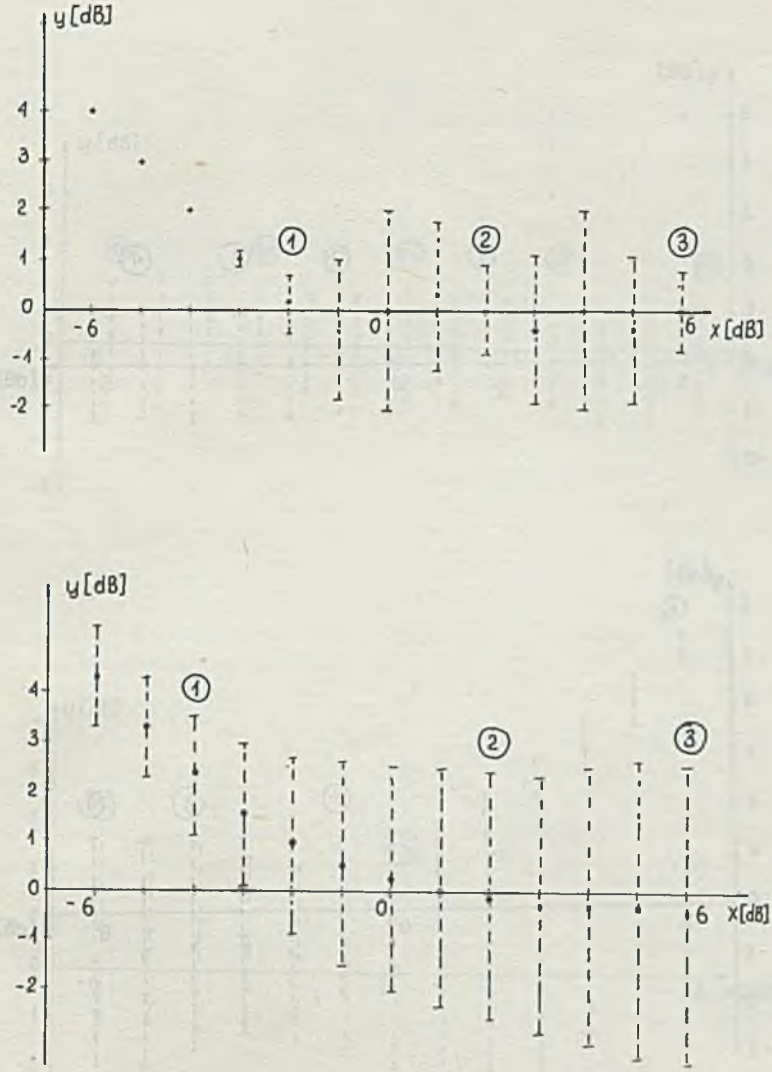
Rys. 6. Schemat symulacji wielokrotnego badania progu postrzegania w celu określenia własności procedury

Fig. 6. Scheme of simulation of multiple testing of the perception threshold to define properties of the procedure

od obserwatora, gdy punkt startowy wypada powyżej progu. Gdy punkt startowy wypada poniżej progu, dla obserwatora nieuważnego błąd przypadkowy rośnie szybko wraz ze wzrostem odległości pierwszego pobudzenia od progu. Procedury z wielokrotnym przechodzeniem przez próg dają wyniki praktycznie niezależne od punktu startowego. Błąd średni jest mały. Błąd przypadkowy zależy od charakterystyki obserwatora. Średnia liczba kroków jest większa niż dla procedur ze stałym krokiem.

WNIOSKI

Procedury szukania progu postrzegania z wielokrotnym przechodzeniem przez próg mają własność samokorekcji, tak że wyniki nie zależą od punktu startowego. Algorytmy z krokowym dochodzeniem do progu mogą być szybkie, gdy punkt startowy nie jest zbytnio oddalony od progu (mała średnia liczba kroków), ale jednocześnie wyniki są zależne od odległości punktu startowego od badanego progu. Wyniki symulacji dla metody 5 1 oraz wyniki otrzymywane dla tej metody w praktyce klinicznej nie odbiegają znacznie od siebie.

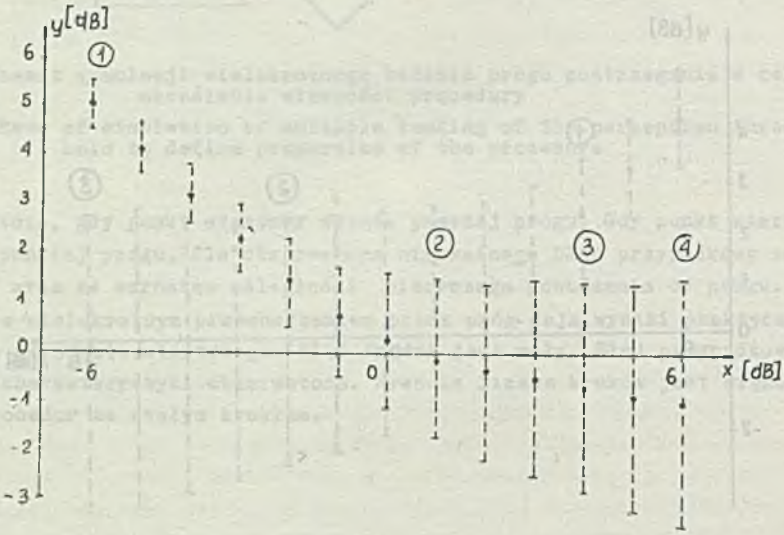


Rys. 7. Błąd średni, błąd przypadkowy, średnia liczba kroków w zależności od punktu startowego dla procedury ze stałym krokiem w = 4dB

a) dla uważnego obserwatora, b) dla nieuważnego obserwatora

Fig. 7. Mean error, random error, average number of steps depending on a starting point for constant step procedure w = 4dB

a) for attentive observer, b) for nonattentive observer

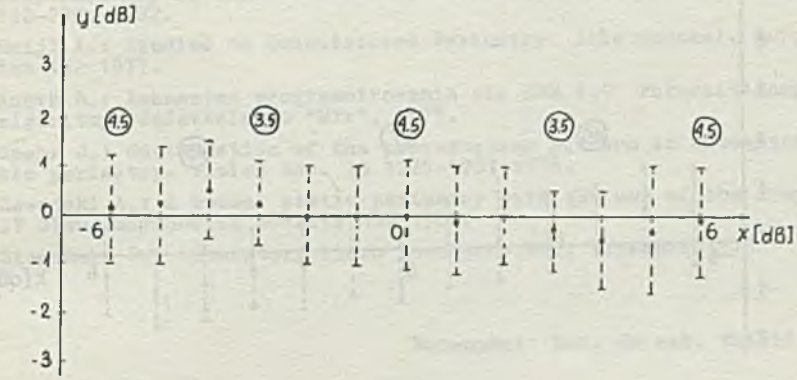


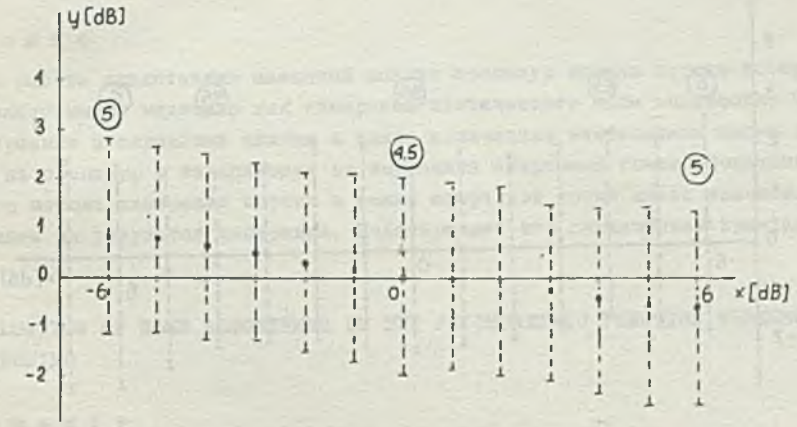
Rys. 8. Błąd średni, błąd przypadkowy, średnia liczba kroków w zależności od punktu startowego dla procedury ze stałym krokiem w = 2dB

a) dla uważnego obserwatora, b) dla nieuważnego obserwatora

Fig. 8. Mean error, random error, average number of steps depending on a starting point for constant step procedure w = 2dB

a) for attentive observer, b) for nonattentive observer



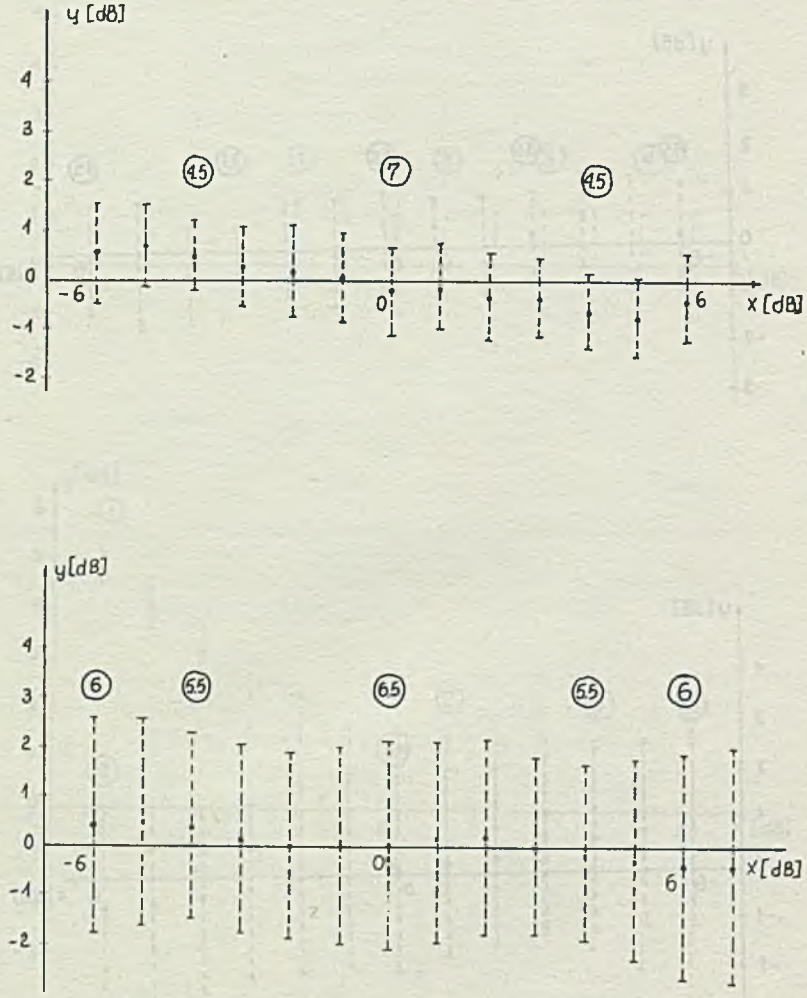


Rys. 9. Błąd średni, błąd przypadkowy, średnia liczba kroków w zależności od punktu startowego dla procedury 4 2 1

a) dla uważnego obserwatora, b) dla nieuważnego obserwatora

Fig. 9. Mean error, random error, average number of steps depending on a starting point for procedure 4 2 1

a) for attentive observer, b) for nonattentive observer



Rys. 10. Błąd średni, błąd przypadkowy, średnia liczba kroków w zależności od punktu startowego procedury 5 1

a) dla uważnego obserwatora, b) dla nieuważnego obserwatora

Fig. 10. Mean error, random error, average number of steps depending on a starting point of procedure 5 1

a) for attentive observer, b) for nonattentive observer

LITERATURA

[1] Bebie H., Fankhauser F., Spahr J.: Static Perimetry: Strategies. Acta Ophthalmologica Vol 54 1976.

[2] Greve E. L., de Boer. R.W, Bakker D.: Clinical evaluation of the Scoperimeter, an experimental automatic perimeter. Int. Ophthal 5 : 192-200, 1982.

[3] Heijl A.: Studies on Computerized Perimetry. Acta Ophthal. Supplementum 132 1977.

[4] Knuth D.: Iskusstwo programmirowania dla EWM t.2 Połuczislennyje algoritmy. Izdatielstwo "Mir", 1977.

[5] Spahr J.: Optimization of the presentation pattern in automated static perimetry. Vision Res. 15 1275-1281 1975.

[6] Zawojski A.: A manual static perimetry with the use of the computer. IV Glaucomsymposion Gorlitz DDR 1982.

[7] Zieliński R.: Generatory liczb losowych. WNT, Warszawa 1979.

Recenzent: Doc. dr hab. Witold Pedrycz

Wpłynęło do Redakcji 2.03.1984 r.

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ПОРОГА ПСИХОМЕТРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВОСПРИЯТИЯ СВЕТОВЫХ СИГНАЛОВ

Р е з ю м е

В работе представлен машинный анализ процедур поиска порога восприятия, исполбзуемых в медицине для измерения статического поля видимости. Приведены средние и случайные ошибки а также количество необходимых шагов для каждой из процедур в зависимости от выбранной стартовой точки. Показано, что выбор метода измерения порога а также стартовой точки имеет значительное влияние на результат измерения. Подтверждает это клиническая практика.

EVALUATION OF SOME ALGORITHMS OF THE PSYCHOMETRIC FUNCTION THRESHOLD SEARCHING

S u m m a r y

Computer simulation method has been used to test procedures of searching of perception thresholds. These procedures are applied in the medical experiments to measure a static field of view. Average and random errors have been found as well as a number of steps necessary in each of the procedures in the function of a chosen starting point. The choice of the measurement technique of the thresholds and the starting point effects the result of the measurement. It is consistent with the clinical practice.