

Wyniki badania jakości wskazywania obiektów w teście jednokierunkowym

Antoni M. DONIGIEWICZ

Instytut Teleinformatyki i Automatyki WAT,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
a.donigiewicz@ita.wat.edu.pl

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wyniki badań jakości wskazywania obiektów w jednokierunkowym teście wskazywania. Badaniami objęto liczną grupę użytkowników. Wyznaczono wartość średnią i odchylenie standardowe czasu przemieszczenia wskaźnika myszy oraz dokładność wskazywania i parametry modelu regresji pomiędzy czasem wskazania i wskaźnikiem trudności.

SŁOWA KLUCZOWE: jednokierunkowy test wskazywania, prawo Fittsa, norma ISO 9241-9.

1. Wprowadzenie

Jednokierunkowy test wskazywania jest najprostszym testem proponowanym do badania wydajności i skuteczności (ogólnie jakości) funkcjonowania istniejących i nowych urządzeń wprowadzania informacji [7], [9]. Testowanie urządzeń realizowane jest w układzie człowiek - urządzenia wejścia/wyjścia - komputer. W literaturze przedmiotu badania odnoszą się do działań użytkowników realizujących konkretne zadania. Przy wykorzystaniu tych samych urządzeń i przy testowaniu w tych samych warunkach, testy mogą być wykorzystane do oceny jakości wprowadzania informacji przez użytkownika [7]. Znajomość charakterystyk jakości działania użytkownika stanowi podstawę oceny jakości działania systemu jako całości [8]. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań jakości wskazywania obiektów w jednokierunkowym poziomym teście wskazywania przez liczną grupę użytkowników. Badania prowadzono z użytkownikami posiadającymi znaczne doświadczenie w korzystaniu z komputera.

Wyniki badań jakości wprowadzania informacji przez użytkownika dostępne w literaturze obejmują zasadniczo dwie wyznaczone wielkości – czas przemieszczenia (ruchu) przez użytkownika wskaźnika urządzenia wejściowego na ekranie (wyznaczano parametry równania opisującego czas ruchu wskaźnika) i poziom błędów popełnionych przez użytkownika podczas badań. Wyniki badań przedstawione w literaturze dotyczą konkretnych (różnych) warunków, w jakich te badania prowadzono. Równanie, opisujące czas ruchu wskaźnika do obiektu na ekranie poruszanego przez użytkownika za pomocą urządzenia wejściowego, nosi nazwę prawa Fittsa [5], [7], [16], [17]:

$$t_r = a + bID, \quad (1)$$

gdzie: t_r – czas ruchu,

a, b – stałe wyznaczone na podstawie danych statystycznych,

ID – wskaźnik trudności w postaci:

$$ID = \log_2 \frac{d + w}{w}, \quad (2)$$

w, d – szerokość i odległość odpowiednio między prostokątami w teście.

W badaniach, w których stosowano mysz jako urządzenie wejściowe, wykonano test dla sześciu modeli myszy zarówno symetrycznych ze względu na kształt jak i niesymetrycznych [13]. Uzyskano wyniki, w których współczynniki liniowej funkcji regresji zmieniały się w zależności od modelu myszy – \hat{a} (odpowiednio do zależności (1)) w granicach 0,141 do 0,175; natomiast \hat{b} w granicach 0,166 do 0,179. Współczynnik korelacji między czasem ruchu i wskaźnikiem trudności (por. (2)) wahał się od 0,75 do 0,82.

W części prezentowanych w literaturze badań stosuje się zmodyfikowaną postać równania (1). Czas ruchu wskaźnika do obiektu na ekranie poruszanego przez użytkownika za pomocą urządzenia wejściowego wyznacza się w zależności od skutecznego wskaźnika trudności [7]:

$$t_{re} = a + bID_e, \quad (3)$$

gdzie: t_{re} – czas ruchu wskaźnika do obiektu na ekranie,

ID_e – skuteczny wskaźnik trudności w postaci:

$$ID_e = \log_2 \frac{d + w_e}{w_e}. \quad (4)$$

Wielkość w_e w zależności (4) jest równa [7], [9], [16]:

$$w_e = 4,133 s_x, \quad (5)$$

gdzie: s_x – odchylenie standardowe współrzędnych w kierunku kontynuowania ruchu urządzeniem wprowadzania (zgodnie z osią x w jednokierunkowym teście poziomym).

Wyniki badań czasu ruchu wskaźnika poruszanego do obiektu na ekranie przez użytkownika za pomocą myszy, wyznaczanego w zależności od skutecznego wskaźnika trudności, przedstawiono w [12]. Dla myszy Microsoft Basic Optical uzyskano następujący wynik:

$$t_{re} = 0,188 + 0,161 ID_e. \quad (6)$$

Natomiast dla myszy Logitech Optical uzyskano wynik:

$$t_{re} = 0,177 + 0,164 ID_e. \quad (7)$$

Poziom popełnionych błędów (brak trafienia w obiekt) dla myszy Logitech Optical był równy 6,8%, natomiast dla myszy Microsoft Basic Optical był równy 10,7%.

W badaniach przedstawionych w [14] użytkownicy wskazywali myszką, z maksymalną szybkością i dokładnością, pionowe paski wyświetlone na ekranie. Stosowano w badaniach inspirujące informowanie o trafieniu bądź nie-trafieniu w ustalony obszar obiektu. Na podstawie badań wyznaczono czas ruchu wskaźnika myszy w zależności od skutecznego wskaźnika trudności w postaci:

$$t_{re} = 0,073 + 0,184 ID_e, \quad (8)$$

gdzie: ID_e – skuteczny wskaźnik trudności jak w (4).

Badania przedstawione w literaturze prowadzone były również z wykorzystaniem innych urządzeń, np. rysika (piórka) i tabletu.

Wyniki badań [1], [3] prowadzonych z wykorzystaniem rysika (piórka) i tabletu o rozdzielczości 2540 LPI oraz 19” monitora CRT o rozdzielczości 127 DPI w jednym z wariantów dotyczyły typowego testu wskazywania [9]. W badaniach stosowano odległości d do celu (256 i 1024 piksele) oraz szerokość celu w (8, 16, 32, 64 i 128 pikseli). W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano równanie (3) w postaci:

$$t_r = 0,103 + 0,172 ID, \quad (9)$$

gdzie: ID – wskaźnik trudności jak w zależności (2).

Poziom błędów popełnionych podczas badań (więcej niż jedno kliknięcie lub przekroczenie szerokości obiektu) był równy 7,6%. Współczynnik korelacji między czasem ruchu i wskaźnikiem trudności uzyskano równy 0,998.

W [10] przedstawiono wyniki badań prowadzonych z wykorzystaniem rysika, tabletu i monitora. W badaniach stosowano 12,1" TabletPC Toshiba Portege M200 o rozdzielczości 1400 x 1050 pikseli. Zadaniem uczestników badania było wskazywanie pasków widocznych na ekranie monitora. Pasek, który należało wskazać (aktywny), był wyróżniony kolorem zielonym, pasek drugi (nieaktywny) kolorem szarym. Pasek poprawnie wskazany migotał pomarańczowo przed zamianą na szary kolor, a przeciwny pasek zmieniał się na zielony. W badaniach stosowano odległości d do celu (256 i 1024 piksele) oraz szerokość celu w (4, 8, 16, i 32 piksele). W wyniku przeprowadzonych badań w wariancie podstawowym uzyskano równanie (3) w postaci:

$$t_r = 0,108 + 0,191ID . \quad (10)$$

Średni poziom błędów popełnionych podczas badań był dość duży i równy 34,2%, co wydaje się wynikało ze sposobu prowadzenia badań. Uczestnicy badań wskazywali paski na tablecie, a obserwowali ekran monitora. Współczynnik korelacji między czasem ruchu i wskaźnikiem trudności uzyskano równy 0,92.

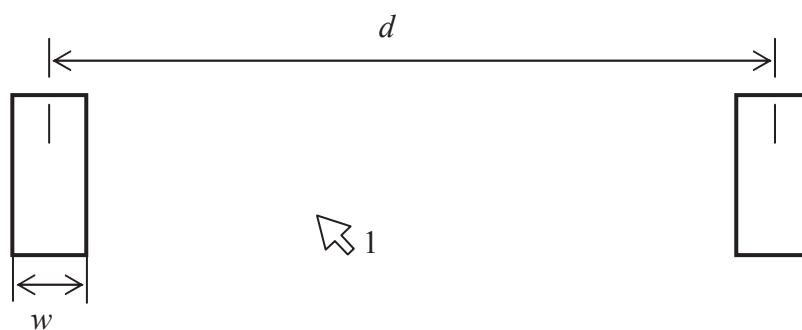
W literaturze dotyczącej badań z wykorzystaniem jednokierunkowego testu wskazywania podane są również wyniki badań prowadzonych w znacznie odmiennych warunkach i z użyciem urządzeń wprowadzających różniących się od myszy (np. [2], [4]). Z tego też względu nie są one tutaj uwzględnione. Szerszy przegląd badań zamieszczony jest w [7].

2. Procedura testowania i warunki prowadzenia badań

2.1. Jednokierunkowy test wskazywania

W badaniach dotyczących interaktywnych systemów komunikacji człowiek-komputer podstawowym stosowanym testem jest jednokierunkowy test wskazywania [7], [9], [17], [19]. Test ten przedstawia się następująco [7], [9].

Użytkownikowi przedstawiane są dwa prostokąty o szerokości w i odległości d pomiędzy środkami prostokątów (rys. 1). Zadanie użytkownika polega na wskazywaniu prostokątów wskaźnikiem myszy i klikaniu w prostokąty na przemian (prawy, lewy). Wskazania prostokątów powinny być jak najszybsze i jak najdokładniejsze. Każda seria testowa (25 kliknięć każdego prostokąta) rozpoczyna się wówczas, gdy użytkownik przesunie wskaźnik na prostokąt i naciśnie przycisk lub automatycznie gdy wskaźnik znajdzie się w obszarze obiektu (prostokąta). W czasie wskazywania (klikania) rejestrowane są odpowiednie wielkości.



Rys. 1. Jednokierunkowy test wskazywania [9] (1 – wskaźnik, w – szerokość, d – odległość prostokątów)

Jednokierunkowy test wskazywania może być wykonywany w kierunku poziomym lub pionowym. Na podstawie wykonanych badań wyznacza się wymienione poniżej wielkości [7], [9], [16].

Skuteczną szerokość obiektu (w_e) jak w zależności (5).

Wskaźnik trudności (ID) jak w zależności (2).

Skuteczny wskaźnik trudności (ID_e) jak w zależności (4).

Przepustowość wejściową (P_w) – dla zadań wskazywania jest ona równa:

$$P_w = \frac{ID_e}{t_m}, \quad (11)$$

gdzie: t_m – czas przemieszczenia (ruchu) od rozpoczęcia ruchu urządzenia wskazującego do wskazania obiektu,

ID_e – jak w zależności (4).

2.2. Warunki prowadzenia badań

Stosując klasyczny test w kierunku poziomym badaniami objęto studentów trzech uczelni. Studenci (użytkownicy) studiów stacjonarnych i niestacjonarnych byli w wieku 19–39 lat z przewagą osób młodszych (nie uzyskano średniej wieku użytkowników), w zdecydowanej większości byli to mężczyźni (ok. 90%). Badania przeprowadzono w latach 2008–2009, wykorzystując posiadane oprogramowanie [11]. Oprogramowanie, po wybraniu wartości w , d (rys. 1) oraz liczby kliknięć w prostokąty, umożliwiło wykonanie testu oraz wyznaczenie i zarejestrowanie wartości następujących wielkości:

lk, lb – liczba kliknięć i liczba popełnionych błędów odpowiednio,

w, d, s_x, w_e – jak w zależności (5),

ID, ID_e – jak w zależnościach (2) i (4),

P_w – jak w zależności (11),

Tm – średni czas przemieszczania wskaźnika pomiędzy prostokątami,

Vp – średnia szybkość przemieszczania wskaźnika [pix/s].

W badaniach stosowano wartości $d = 50, 100, 200, 400, 650$ pikseli i wartości $w = 10, 20, 30, 40, 50$ pikseli.

Badania prowadzone były w następujących warunkach.

System operacyjny Windows XP. Rozdzielczość ekranu 1024 x 768 pikseli. Wielkość ekranu monitorów stosowanych w czasie badań podana jest w tab. 1.

Tab. 1. Wielkość ekranu monitorów stosowanych w czasie badań

Uczelnia	Przekątna	Wysokość	Szerokość
Uczelnia A -I	20 cali (51cm)	27 cm	43,5 cm
Uczelnia A -II	17 cali (43 cm)	27 cm	34 cm
Uczelnia B	17 cali (43 cm)	27 cm	34 cm
Uczelnia C	17 cali (43 cm)	27 cm	34 cm

W czasie badań przyjmowano wartości wielkości d oraz w podane w tab. 2 i 3. Wysokość pionowych kresek w teście była stała i równa 75 mm.

Tab. 2. Odległość d między prostokątami stosowanymi w testach

Wielkość ekranu	d [pix]	50	100	200	400	650
Ekran 17 cali	d [mm]	16,6	33,2	66,4	132,8	215,8
Ekran 20 cali	d [mm]	21,24	42,48	84,96	169,92	276,12

Tab. 3. Szerokość w prostokątów stosowanych w testach

Wielkość ekranu	w [pix]	10	20	30	40	50
Ekran 17 cali	w [mm]	3,3	6,6	9,9	13,2	16,6
Ekran 20 cali	w [mm]	4,25	8,5	12,75	17,0	21,24

Badania prowadzono w salach z wieloma komputerami w podobnych warunkach środowiska materialnego w godzinach przedpołudniowych i popołudniowych. Liczbę studentów objętych badaniami podano w tabeli 4.

Tab. 4. Liczba studentów objętych badaniami

Uczelnia	Liczba studentów
A	143
B	155
C	99

3. Opracowanie wyników

3.1. Średni czas przemieszczenia wskaźnika myszy

Badania wykonane przy zmiennych parametrach w oraz d , z wykorzystaniem posiadanego oprogramowania, pozwoliły na uzyskanie jedynie średnich wartości parametrów opisujących przemieszczenie wskaźnika na ekranie dla każdego użytkownika. Wyniki te umożliwiają wyznaczenie oceny estymatora czasu przemieszczenia wskaźnika między prostokątami dla wszystkich badanych użytkowników.

Przyjmując, że wyniki są podzielone na podzbiory pochodzące od poszczególnych użytkowników, uzyskano w wyniku badań:

$$t_i \cong E[T_i], \quad (12)$$

gdzie: T_i – czas przemieszczenia wskaźnika dla i -tego użytkownika,

$t_i = \bar{t}_i$ – na podstawie n_i pomiarów.

Oczywiście:

$$\sum_{i=1}^k n_i = N, \quad (13)$$

gdzie: n_i – liczba pomiarów w grupie i ,

k – liczba grup użytkowników,

N – łączna liczba pomiarów dla wszystkich grup (użytkowników).

Przy powyższych ustaleniach średni czas t_{sr} przemieszczenia wskaźnika (ocena estymatora) dla wszystkich użytkowników będzie równy [15]:

$$t_{sr} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N} t_i, \quad (14)$$

gdzie: t_i – średni czas przemieszczenia (ruchu) wskaźnika między prostokątami dla użytkownika i . Dla konkretnego użytkownika jest to zarejestrowany czas Tm .

Pozostałe oznaczenia jak w zależności (13).

Ponieważ liczba pomiarów w każdej grupie była taka sama $n_1 = n_2 = \dots = n_i = \dots = n_k = n$, zatem łatwo wykazać, że:

$$t_{sr} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i. \quad (15)$$

Oznaczenia jak wyżej.

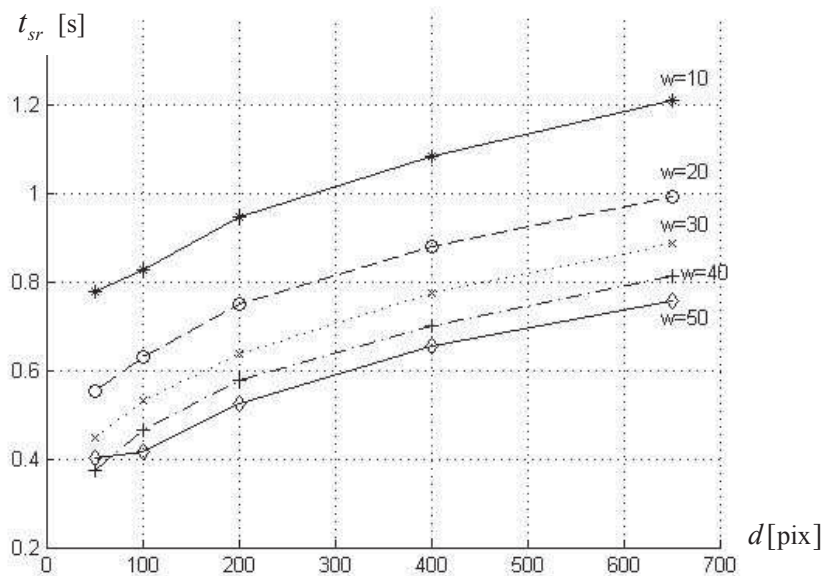
Wyznaczone wyniki średniego czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy obiektami w teście, w zależności od odległości d , pokazano na rys. 2. Rysunek dotyczy całej populacji użytkowników, ponieważ nie ma widocznych wyraźnie wizualnych różnic w przebiegu wykresów dla użytkowników poszczególnych uczelni.

Dla pełnej oceny jakości działania użytkowników pokazano również wykresy średniego czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy obiektami w teście, w zależności od szerokości w (rys. 3).

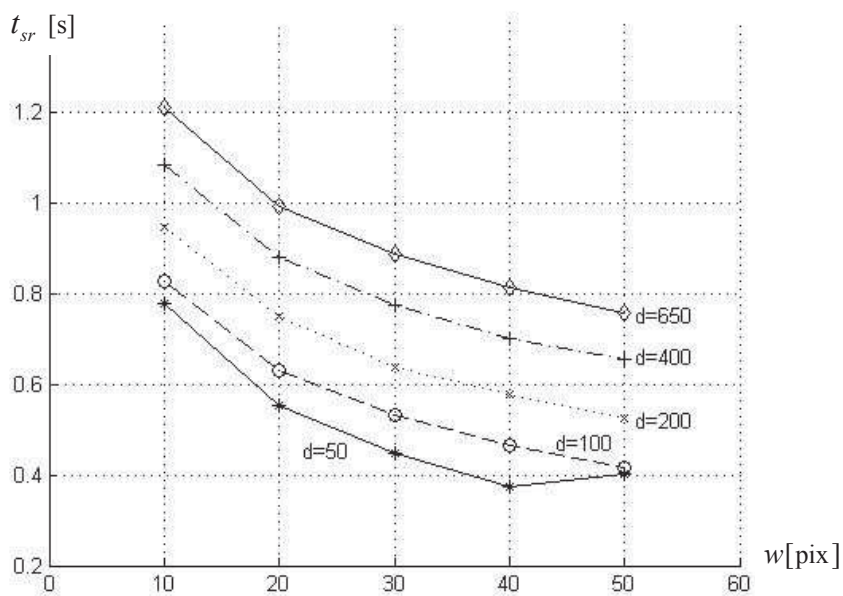
Analizując pokazany wykres t_{sr} , wyraźnie widoczne jest odchylenie wyniku t_{sr} dla parametrów $w = 50$ i $d = 50$. Związane to jest z wzajemnym układem prostokątów w jednokierunkowym teście wskazywania (por. rys. 1). Przy parametrach $w = 50$ i $d = 50$ wskazywane prostokąty dotykają siebie, co niewątpliwie prowadzi do trudności w ich wskazywaniu – stąd większa wartość t_{sr} . Wzajemny układ prostokątów w teście prowadzi do zaburzeń w szybkości ich wskazywania przez użytkowników. Taką właśnie zmianę wartości zaobserwowano u użytkowników poszczególnych uczelni.

3.2. Wariancja średniego czasu przemieszczenia wskaźnika myszy

Biorąc pod uwagę zastosowany podział (wyniki są podzielone na podzbiory pochodzące od poszczególnych użytkowników), jeśli s_i^2 są wariancjami czasu przemieszczenia wskaźnika dla poszczególnych użytkowników, to wariancja czasu dla całej populacji jest równa [15]:



Rys. 2. Wykres t_{sr} przy zmiennej wartości d (wszystkie uczelnie łącznie)



Rys. 3. Wykres t_{sr} przy zmiennej wartości w (wszystkie uczelnie łącznie)

$$s^2 = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N} s_i^2 + \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N} (t_i - t_{sr})^2 . \quad (16)$$

Oznaczenia jak w zależnościach (13) i (14).

Pierwszy składnik w zależności (16) nosi nazwę wariancji wewnątrzgrupowej, natomiast drugi wariancji międzygrupowej [15].

Biorąc pod uwagę, że liczba pomiarów w każdej grupie była taka sama $n_1 = n_2 = \dots = n_i = \dots = n_k = n$, zatem łatwo wykazać, że zależność (16) w tej sytuacji przyjmie postać:

$$s^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k s_i^2 + \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (t_i - t_{sr})^2 . \quad (17)$$

Badania wykonane z wykorzystaniem posiadanego oprogramowania nie zapewniają dostępu do wartości wariancji s_i^2 czasu przemieszczenia wskaźnika dla poszczególnych użytkowników. Oszacowanie wielkości s_i^2 dla użytkownika przeprowadzono w tej sytuacji w następujący sposób.

W wynikach badań uzyskano dostęp do następujących wielkości dla każdego użytkownika:

S_i^x – odchylenia standardowego wskazanej wskaźnikiem współrzędnej x względem centrum prostokąta w jednokierunkowym teście wskazywania (por. s_x w zależności (5)),

Vp_i – średniej szybkości przemieszczania wskaźnika w teście.

Ponieważ znamy S_i^x oraz Vp_i , przyjmiemy, że wariancja wewnątrzgrupowa czasu wskazania wskaźnikiem położenia we współrzędnej x jest równa:

$$s_i^2 \cong \left(\frac{S_i^x}{Vp_i} \right)^2 . \quad (18)$$

Oznaczenia jak wyżej.

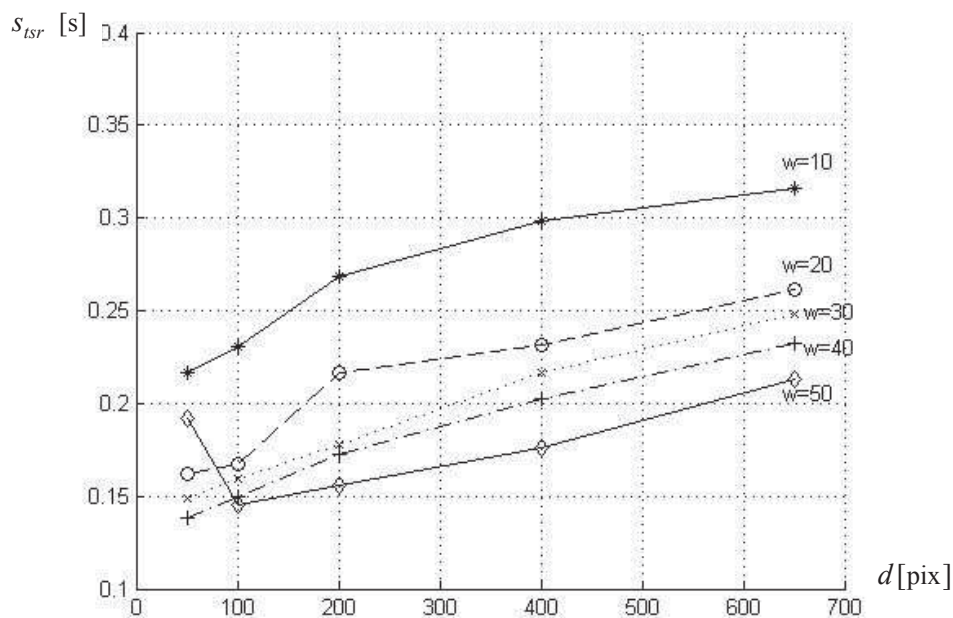
Stąd wariancja s^2 czasu przemieszczenia wskaźnika dla całej populacji będzie równa (por. 17):

$$s^2 \cong \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{S_i^x}{Vp_i} \right)^2 + \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (t_i - t_{sr})^2 . \quad (19)$$

Oznaczenia jak wyżej.

Wartości odchylenia standardowego $s_{tsr} = \sqrt{s^2}$ czasu przemieszczenia wskaźnika dla całej populacji (wszystkie uczelnie łącznie) pokazano na rys. 4.

Stosując typowe zależności dla licznej próby ($k > 120$), wyznaczono przedziały ufności na poziomie 0,95 dla średniego czasu przemieszczenia wskaźnika dla całej populacji [6], [15]. Odpowiedni wykres pokazano na rys. 5.



Rys. 4. Wykres s_{tsr} przy zmiennej wartości d (wszystkie uczelnie łącznie)

3.3. Minimalna liczebność próby

W celu zapewnienia poprawności obliczeń sprawdzono, czy liczebność próby zapewnia określoną dokładność szacunku dla średniego czasu przemieszczenia wskaźnika. Wyznaczono błąd względny oszacowania t_{sr} na podstawie próby.

Przyjmijmy, że średni czas przemieszczenia wskaźnika ma w populacji rozkład normalny $N(m, \sigma)$, przy czym odchylenie standardowe σ jest nieznane. Stąd błąd względny δ oszacowania t_{sr} jest równy [15]:

$$\delta = \frac{u_\alpha s_{tsr}}{t_{sr} \sqrt{n-1}}, \quad (20)$$

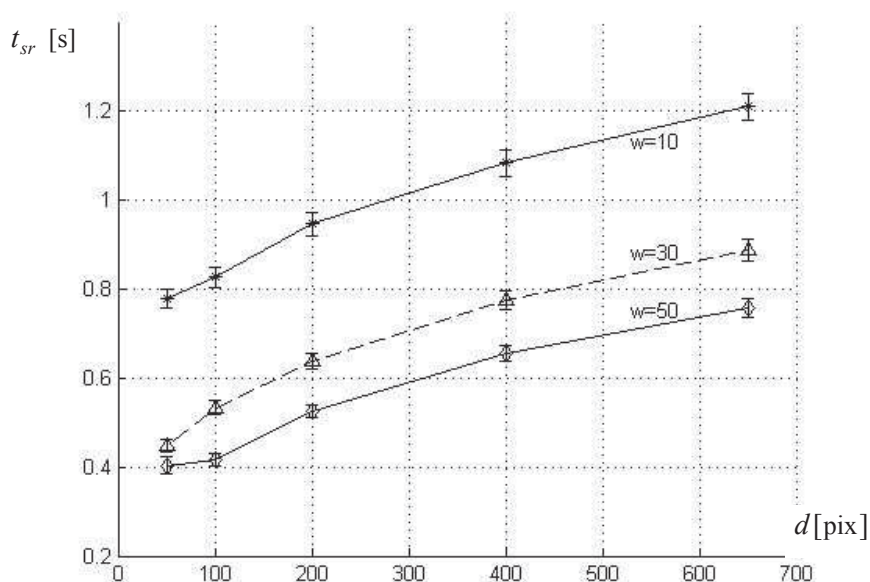
gdzie: $P(|T_{n-1}| \geq u_\alpha) = \alpha$,

T_{n-1} – zmienna losowa o rozkładzie Studenta z $n-1$ stopniami swobody,

n – liczebność próby losowej,

$s_{tsr} = \sqrt{s^2}$ – jak w zależności (17),

$1-\alpha$ – poziom ufności.



Rys. 5. Wykres t_{sr} z przedziałami ufności (wszystkie uczelnie łącznie)

Wartości błędu względnego δ oszacowania t_{sr} dla $w = 20$ [pix] pokazano w tab. 5.

Tab. 5. Wyznaczony błąd względny δ [%] oszacowania t_{sr} ($w = 20$ [pix]), poziom ufności 0,95

d [pix]	Uczelnia A	Uczelnia B	Uczelnia C	Uczelnie łącznie
50	4,77	4,73	5,88	2,9
100	4,09	4,41	5,42	2,62
200	4,67	4,38	6,28	2,85
400	4,13	4,29	5,36	2,6
650	4,05	4,47	5,24	2,6

Ponieważ błąd względny oszacowania tylko w przypadku jednej uczelni przekracza nieznacznie 5%, uznano, że licznosc próby losowej jest wystarczająca.

3.4. Porównanie wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika

Porównano wartości średnie czasu przemieszczenia wskaźnika myszy wyznaczone dla grup użytkowników z poszczególnych uczelni. Zastosowano typowy test porównania dla licznej próby na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ [15], [18]. Hipoteza zerowa zakłada równość wartości średnich, a hipoteza alternatywna różnicę wartości średnich (np. dla uczelni A i B: $H_0 : t_{srA} = t_{srB}$, $H_1 : t_{srA} \neq t_{srB}$). Uzyskane wyniki przedstawiono w tab. 6 i 7.

Nieliczne przypadki odrzucenia hipotezy o równości wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika myszy stwierdzono tylko dla uczelni A i B (por. wartości w tab. 6). Dla uczelni A i C oraz B i C nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o równości wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika myszy.

Tab. 6. Wyniki testowania hipotez o równości wartości oczekiwanych czasu przemieszczenia wskaźnika dla uczelni A i B ($H_0 : t_{srA} = t_{srB}$, $H_1 : t_{srA} \neq t_{srB}$)

Wymiar [pix]	$d = 50$	$d = 100$	$d = 200$	$d = 400$	$d = 650$
$w = 10$	H_0	H_0	H_1	H_0	H_0
$w = 20$	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
$w = 30$	H_0	H_0	H_1	H_0	H_0
$w = 40$	H_0	H_0	H_0	H_1	H_0
$w = 50$	H_0	H_0	H_1	H_1	H_0

Tab. 7. Wyniki testowania hipotez o równości wartości oczekiwanych czasu przemieszczenia wskaźnika dla uczelni A i C ($H_0 : t_{srA} = t_{srC}$, $H_1 : t_{srA} \neq t_{srC}$) oraz B i C ($H_0 : t_{srB} = t_{srC}$, $H_1 : t_{srB} \neq t_{srC}$)

Wymiar [pix]	$d = 50$	$d = 100$	$d = 200$	$d = 400$	$d = 650$
$w = 10$	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
$w = 20$	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
$w = 30$	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
$w = 40$	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0
$w = 50$	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0

3.5. Parametry liniowego modelu regresji pomiędzy średnim czasem wskazania obiektu i wskaźnikiem trudności

W badaniach jakości wprowadzania informacji za pomocą urządzenia wskazującego wyznaczane jest równanie opisujące czas ruchu wskaźnika poruszanego za pomocą urządzenia wejściowego przez użytkownika do obiektu na ekranie. Równanie to ma postać liniową i nosi nazwę prawa Fittsa (por. (1)).

Wykorzystując wyniki przeprowadzonych badań, wyznaczono współczynniki liniowej funkcji regresji pomiędzy średnim czasem wskazania obiektu i wskaźnikiem trudności. Wyznaczono również, w każdym przypadku, współczynnik korelacji Pearsona z próby. Uzyskane wyniki przedstawiono poniżej.

Dla całej populacji użytkowników otrzymano przybliżoną funkcję regresji:

$$\hat{t}_r = 0,2063 + 0,1578 ID, \quad (21)$$

gdzie: ID – wskaźnik trudności jak w zależności (2).

Współczynnik korelacji liniowej z próby otrzymano równy $r = 0,9726$, natomiast współczynnik determinacji równy $R^2 = 0,9460$ (wyznaczany jak w [15]).

Dla uczelni A otrzymano funkcję regresji:

$$\hat{t}_r = 0,2106 + 0,1519ID.$$

Współczynnik korelacji liniowej z próby otrzymano równy $r = 0,96975$, natomiast współczynnik determinacji równy $R^2 = 0,9404$.

Dla uczelni B otrzymano funkcję regresji:

$$\hat{t}_r = 0,2004 + 0,1636ID.$$

Współczynnik korelacji liniowej z próby otrzymano równy $r = 0,97488$, natomiast współczynnik determinacji równy $R^2 = 0,9504$.

Dla uczelni C otrzymano funkcję regresji:

$$\hat{t}_r = 0,2095 + 0,1576ID.$$

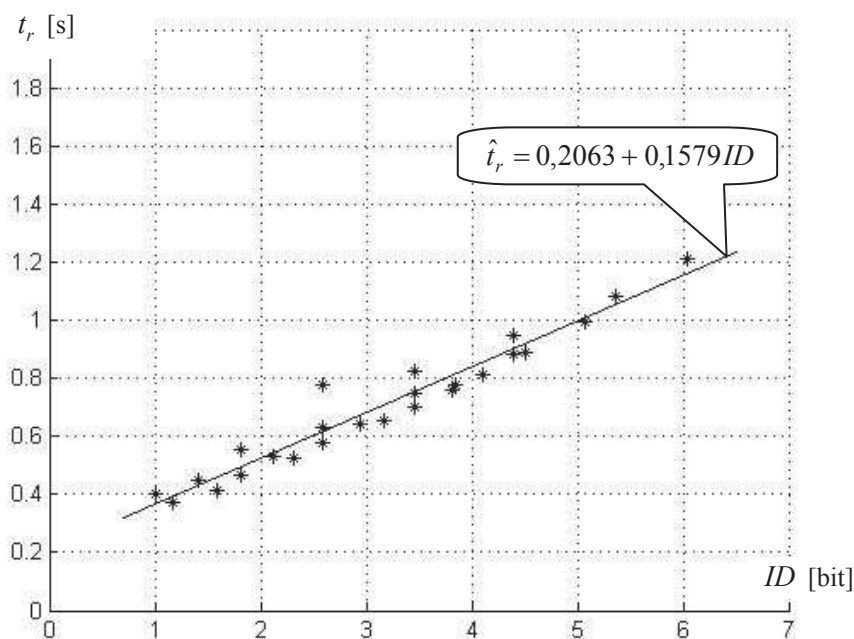
Współczynnik korelacji liniowej z próby otrzymano równy $r = 0,96973$, natomiast współczynnik determinacji równy $R^2 = 0,9404$.

We wszystkich wymienionych powyżej przypadkach przeprowadzono weryfikacje hipotezy dotyczącej współczynnika korelacji z próby. Ustalono hipotezę $H_0: \rho = 0$, natomiast hipotezę $H_1: \rho \neq 0$. Zakładając, że reszty

modelu mają rozkład normalny, wyznaczono statystykę Studenta z próby i na podstawie jej wartości stwierdzono, że we wszystkich przypadkach należało odrzucić hipotezę zerową na poziomie istotności 0,05 (również na poziomie 0,01).

Prostą regresji dla całej populacji użytkowników wraz z punktami odpowiadającymi pomiarom pokazano na rys. 6.

Wyznaczono również standardowe błędy oszacowania współczynników prostej regresji dla funkcji (21) [15]. Błąd oszacowania współczynnika przy ID uzyskano równy 0,00787, natomiast błąd oszacowania wyrazu wolnego jest równy 0,02698.



Rys. 6. Prosta regresji (wszystkie uczelnie łącznie)

3.6. Estymator prawdopodobieństwa błędu

Wykonane badania przy zmiennych parametrach w oraz d umożliwiają wyznaczenie oceny estymatora prawdopodobieństwa błędu dla wszystkich badanych użytkowników.

Stosując podobne rozumowanie jak dla średniego czasu przemieszczenia wskaźnika, wyznaczono średnią częstość ω_i błędu dla każdego użytkownika na podstawie wykonanych n_i pomiarów:

$$\omega_i = \frac{lb_i}{n_i}, \quad i = \overline{1, k}, \quad (22)$$

gdzie: lb_i – liczba błędów popełnionych przez użytkownika i ,

n_i – liczba pomiarów dla użytkownika i ,

k – liczba użytkowników,

N – liczba pomiarów dla wszystkich użytkowników.

Stąd średnia częstość ω_{sr} błędu dla wszystkich użytkowników będzie równa:

$$\omega_{sr} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N} \omega_i.$$

Ponieważ liczba pomiarów była taka sama $n_1 = n_2 = \dots = n_i = \dots = n_k = n$, zatem:

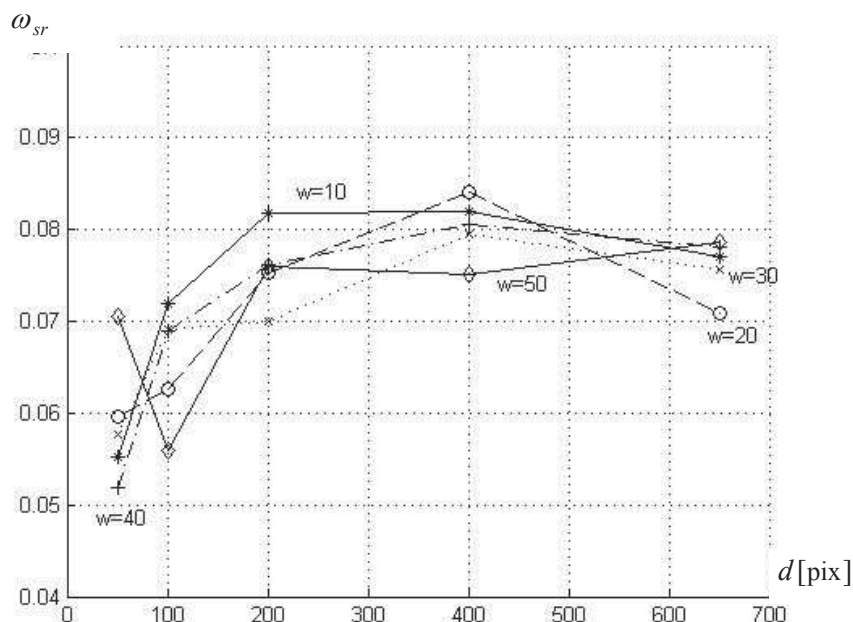
$$\omega_{sr} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \omega_i.$$

Wyznaczone wartości średniej częstości błędu w teście pokazano na rys. 7. Rysunek dotyczy całej populacji użytkowników, ponieważ nie ma widocznych wizualnie wyraźnych różnic w przebiegu wykresów dla poszczególnych uczelni.

Analizując pokazany wykres ω_{sr} , wyraźnie widoczne jest odchylenie wyniku ω_{sr} dla parametrów $w = 50$ i $d = 50$. Związane jest to z wzajemnym układem prostokątów w jednokierunkowym teście wskazywania (por. rys. 1). Przy parametrach $w = 50$ i $d = 50$ wskazywane prostokąty dotykają siebie, co niewątpliwie prowadzi do trudności w poprawnym ich wskazywaniu – stąd większa wartość ω_{sr} . Podobną sytuację zaobserwowano w wynikach t_{sr} pokazanych na rys. 2.

4. Podsumowanie

Wszelkie niezbędne obliczenia związane z wyznaczeniem wartości odpowiednich wielkości przeprowadzono, wykorzystując system do obliczeń



Rys. 7. Wykres ω_{sr} przy zmiennej wartości d (wszystkie uczelnie łącznie)

naukowo-technicznych MATLAB[®]. Przedstawione wyniki badań przeprowadzone dla licznej grupy użytkowników w niewielkim stopniu odbiegają od wyników przedstawionych w literaturze. Wyniki badań zamieszczone w literaturze (częściowo patrz przegląd [7]) były wykonane dla niezbyt licznych grup użytkowników. Ponadto warunki prowadzenia badań były bardziej komfortowe, niż warunki prowadzenia badań, których wyniki są przedstawione w niniejszym artykule. Z tego też względu, jak należy sądzić, widoczne jest niewielkie odchylenie np. wartości wyrazu wolnego w funkcji regresji (21) od wartości występujących w części wyników literaturowych. Kształt przebiegu wykresów natomiast nie odbiega od kształtów wykresów znajdujących się w literaturze.

Rozbieżności w wartościach t_{sr} dla tych samych wartości ID obserwowane na rys. 6 wynikają z faktycznej trudności trafienia w prostokąt w teście. Sugestie, mówiące o tym, że różnice w wartościach średniego czasu przemieszczenia wskaźnika wynikają z rzeczywistej trudności wykonania ruchu, a nie z postaci

przedstawionego zadania na ekranie, pojawiły się w [4]. Zagadnienie to będzie przedmiotem dalszych badań.

W badaniach wyznaczono również standardowe błędy względne oszacowania współczynników prostej regresji. Błąd oszacowania wyrazu wolnego osiąga 13,04%, natomiast błąd oszacowania współczynnika przy ID nie przekracza 5% (dla wszystkich uczelni razem).

Zakres zmian ω_{sr} przy zmianie wartości d nie odbiega od wartości podawanych w literaturze.

Literatura

- [1] ACCOT J., ZHAI S., *More than dotting the i's – Foundations for crossing-based interfaces*, Proceedings of the ACM SIGCHI, Conference on Human Factors in Computing Systems, 2002, pp. 73 – 80.
- [2] AKIBA T., OKADA H., FUJIOKA R., *Investigations on Applicability of Fitts' Law Index of Difficulty to Large/Small Screen Devices*, The 13th IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE2009), IEEE 2009, pp. 743 – 744.
- [3] APITZ G., GUIMBRETIERE F., ZHAI S., *Foundations for Designing and Evaluating User Interfaces Based on the Crossing Paradigm*, "ACM Transactions on Computer-Human Interaction", Vol. 17, No. 2, article 9, 2010, pp. 9:1 – 9:42.
- [4] BLANCH R., GUIARD Y., BEAUDOUIN-LAFON M., *Semantic Pointing: Improving Target Acquisition with Control-Display Ratio Adaptation*, CHI 2004, Vol. 6, No. 1, pp. 519 – 526.
- [5] BUXTON W., *Theories, models and basic concepts*. W: *Haptic Input*, pp. 7.1 – 7.46 <http://www.billbuxton.com/input07.TheoriesModels.pdf> (dostęp 20.01.2011).
- [6] CIECIURA M., ZACHARSKI J., *Metody probabilistyczne w ujęciu praktycznym*, Wizja Press & IT, Warszawa, 2007.
- [7] DONIGIEWICZ A.M., *Jednokierunkowy test wskazywania – norma ISO 9241-9 – przegląd badań*, „Biuletyn IAiR”, 30/2011, str. 71 – 88.
- [8] DONIGIEWICZ A.M., *Modelowanie interakcji człowiek-komputer. Problemy oceny jakości i niezawodności*, Wyd. WAT, Warszawa, 2005.
- [9] *Ergonomic requirements for Office work with visual display terminals (VDTs). Part 9: Requirements for non-keyboard input devices*, ISO 9241-9:2000(E).
- [10] FORLINES C., BALAKRISHNAN R., *Evaluating Tactile Feedback and Direct vs. Indirect Stylus Input in Pointing and Crossing Selection Tasks*. CHI 2008 Proceedings, Tactile and Haptic User Interfaces, pp. 1563 – 1572.

- [11] GALAS J., *Projekt i implementacja aplikacji do badania jakości działania użytkownika z wykorzystaniem jednokierunkowego testu wskazywania* (praca dyplomowa). Uczelnia Warszawska im. Marii Skłodowskiej-Curie, Warszawa 2008.
- [12] ISOKOSKI P., *Variability of Throughput in Pointing Device Tests: Button-Up or Button-Down?*, NordiCHI 2006, pp. 68 – 77.
- [13] ISOKOSKI P., RAISAMO R., *Speed and accuracy of six mice*, “Asian Information-Science-Life”, Vol. 2, No. 2, 2004, pp. 131 – 140.
- [14] KONG J., REN X., *Comparison of Effective Target Width Calculation Methods for Pointing Task*, Proceedings of the 2005 The Fifth International Conference on Computer and Information Technology (CIT'05), IEEE Computer Society, 2005 pp. 530 – 534.
- [15] KOWALSKI L., *Statystyka*, Wyd. WCY WAT, Warszawa, 2005.
- [16] MACKENZIE I. S., *Motor behaviour models for human-computer interaction. W: HCI models, theories, and frameworks: Toward a multidisciplinary science*, San Francisco, Kaufmann, 2003, pp. 27 – 54.
- [17] SIKORSKI M., *Interakcja człowiek-komputer*, Wyd. PJWSTK, Warszawa, 2010.
- [18] SOBCZYK M., *Statystyka*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
- [19] SOUKOREFF R.W., MACKENZIE I.S., *Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI*, “Int. J. Human-Computer Studies”, Vol. 61, 2004, pp. 751 – 789.

Research results of objects pointing quality in the one-direction tapping test

ABSTRACT: Research results of objects pointing quality in the one-direction tapping test are presented in the paper. Numerous group of users was involved in researches. The average value and the standard deviation of the time of mouse cursor movement as well as pointing accuracy along with parameters of the regression model of the pointing time versus index of difficulty were calculated.

KEYWORDS: one-direction tapping test, Fitts' law, ISO 9241-9 standard

Praca wpłynęła do redakcji: 20.11.2011