

Badanie czasu wskazywania obiektu przez użytkownika testem wielokierunkowym

Część II – wyniki z lat 2015-2016

Antoni M. DONIGIEWICZ

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

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wyniki badań czasu wskazywania obiektów w wielokierunkowym teście wskazywania wykonane w latach 2015-2016. Badania oparto na normie ISO 9241-9. W badaniach wykorzystano mysz, swiftpoint, ekran dotykowy i mysz odwróconą. Wyznaczono współczynniki równania Fittsa. Porównano wyniki badań dla wykorzystywanych urządzeń i pomiędzy okresami 2010-2011 i 2015-2016.

SŁOWA KLUCZOWE: test urządzeń wskazujących, test wielokierunkowy, prawo Fittsa, norma ISO 9241-9

1. Wprowadzenie

Artykuł jest kontynuacją analizy przeprowadzonych badań czasu wskazywania obiektu przez użytkownika testem wielokierunkowym przedstawionych w pracy [1]. Wielokierunkowy test wskazywania wykorzystywany jest do badania wydajności i skuteczności (ogólnie jakości) funkcjonowania urządzeń wprowadzania informacji [2], [3]. Testowanie urządzeń realizowane jest w układzie człowiek-urządzenia wejścia/wyjścia-komputer. Znajomość charakterystyk jakości działania użytkownika stanowi podstawę oceny jakości działania systemu jako całości [5].

W niniejszym artykule (część II) przedstawiono wyniki badań czasu wskazywania obiektów w wielokierunkowym teście wskazywania przez liczną grupę użytkowników. Badania wzorowano, podobnie jak w artykule [1], na normie ISO 9241-9 [3], [4]. Badania prowadzono w latach 2015-2016. Badaniami objęto użytkowników posiadających znaczne doświadczenie w korzystaniu z komputera. W przeprowadzonych badaniach wykorzystano poza

myszą i myszą odwróconą dodatkowe urządzenia wprowadzania – swiftpoint i monitor dotykowy, które nie były wykorzystywane w latach 2010-2011. Głównym celem przedstawianych w literaturze badań jest wyznaczenie podstawowej charakterystyki, jaką jest czas przemieszczenia (ruchu) wskaźnika urządzenia wejściowego przez użytkownika na ekranie. Celem prowadzenia badań, które są przedstawione w tym artykule (część II), było uzyskanie czasu wskazywania obiektów dla różnych urządzeń w warunkach laboratoryjnych i licznej grupy użytkowników dla czterech urządzeń: myszy, myszy odwróconej, swiftpointa i monitora dotykowego.

W artykule wyznaczane są parametry równania opisującego czas ruchu wskaźnika do celu na ekranie, poruszanego przez użytkownika za pomocą urządzenia wejściowego. Dla monitora dotykowego jest to czas wskazania obiektu. Równanie opisujące ruch nazywane prawem Fittsa (rys. 1) przedstawione jest poniżej w typowej (klasycznej) postaci [2], [3], [6], [7], [17].

$$t_r = a + b ID \quad (1)$$

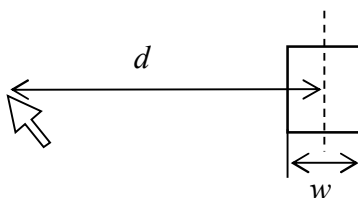
gdzie: a, b – stałe wyznaczane doświadczalnie;

ID – wskaźnik trudności postaci:

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

gdzie: w – wielkość obiektu (rys. 1),

d – odległość ruchu urządzenia (rys. 1).



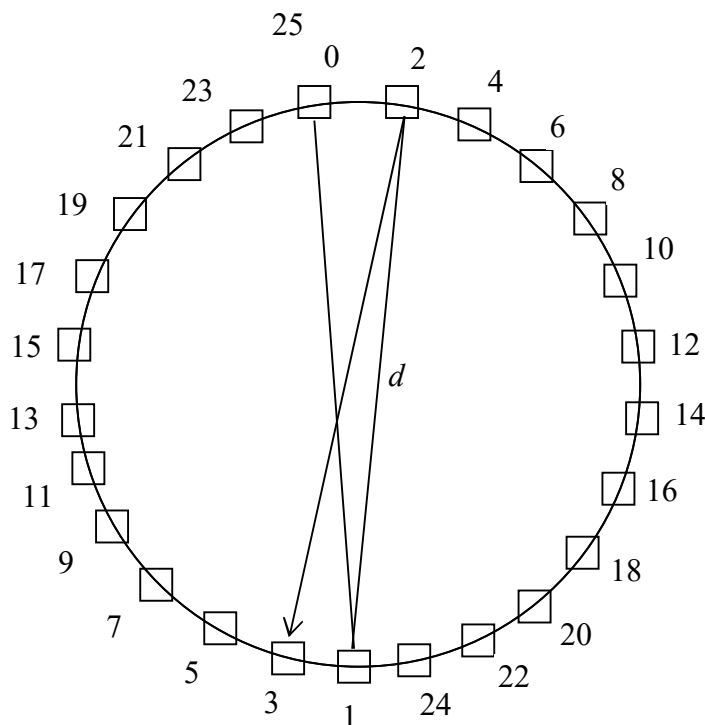
Rys. 1. Ilustracja prawa Fittsa [6], [7], [8], [10], [18]

Badania przedstawione w niniejszym artykule pozwoliły na wyznaczenie parametrów równania opisującego czas ruchu wskaźnika do celu na ekranie dla czterech wymienionych urządzeń. Badania prowadzono przy rozdzielczościach okna aplikacji 800×600 i 1024×768 pikseli.

Wszystkie obliczenia i wykresy w pierwszej części [1] i w niniejszym artykule wykonano, wykorzystując oprogramowanie do obliczeń naukowo-technicznych MATLAB [19].

2. Wielokierunkowy test wskazywania

Wielokierunkowy test wskazywania został opisany szczegółowo w artykule [1]. Procedura testowania polega na przemieszczaniu wskaźnika w poprzek koła do kolejno ponumerowanych obiektów (kwadratów) (rys. 2). Kwadraty są równomiernie rozmieszczone na brzegu okręgu, tak aby przemieszczenie wskaźnika było równe średnicy okręgu. Kwadrat, do którego wskaźnik jest przesuwany, powinien być podświetlony. Seria testowa rozpoczyna się od wskazania kwadratu najwyżej położonego i kończy się, kiedy wskazane zostaną wszystkie kwadraty. Zmiana trudności realizowana jest poprzez zmianę średnicy okręgu pomiędzy seriami testowymi (kwadraty na okręgu pozostają bez zmian). Obiektami wskazywanymi na okręgu w teście wzorcowym (norma [3]) są kwadraty.



Rys. 2. Ilustracja wielokierunkowego testu wskazywania (na podstawie [3] i [4])

Użytkownik wykonując wskazania kwadratów, wykonuje kliknięcie. W przypadku ekranu dotykowego jest to puknięcie w kwadrat na ekranie.

Na podstawie wykonanych badań wyznacza się m.in. wymienione poniżej wielkości [3], [6], [8].

Skuteczna szerokość obiektu (w_e) – wielkość ta obliczana jest z zależności [3], [6], [8]:

$$w_e = 4,133 s_x \quad (3)$$

gdzie: s_x – odchylenie standardowe współrzędnych w kierunku kontynuowania ruchu (np. zgodnie z osią x).

Wskaźnik trudności (ID), który wyznaczany jest z zależności [3], [7]:

$$ID = \log_2 \frac{d + w}{w} \quad (4)$$

gdzie: w – wielkość obiektu (w teście wielokierunkowym bok kwadratu – rys. 2),

d – odległość ruchu wskaźnika (w teście wielokierunkowym średnica okręgu jak na rys. 2).

Skuteczny wskaźnik trudności ID_e dla zadań wskazywania lub wyboru wyznaczany jest z zależności [3], [8]:

$$ID_e = \log_2 \frac{d + w_e}{w_e} \quad (5)$$

gdzie: w_e, d – jak w zależności (5) i (4) odpowiednio.

Przepustowość wejściowa P_w dla zadań wskazywania lub wyboru wyznaczana jest z zależności [3], [8]:

$$P_w = \frac{ID_e}{t_m} \quad (6)$$

gdzie: ID_e – skuteczny wskaźnik trudności dla zadania,

t_m – czas przemieszczenia (ruchu) wyznaczany od rozpoczęcia ruchu urządzenia wejściowego do wskazania (lub wybrania) obiektu.

Szybkość przemieszczania wskaźnika V_p jest to średnia szybkość, z jaką użytkownik wykonuje wskazania obiektów i wyznaczana jest z zależności [1], [3], [8]:

$$V_p = \frac{d}{t_m} \quad (7)$$

gdzie: d – jak na rysunku 2,

t_m – jak w zależności (6).

Opis wybranych wyników badań związanych z testem wielokierunkowym dostępnych w literaturze podany został w pierwszym artykule [1] (w pierwszej części) i w artykule [2].

3. Warunki prowadzenia badań

3.1. Monitory i urządzenia wprowadzania wykorzystywane w badaniach

Ze względu na przedstawione w dalszej części artykułu porównania powtórzone zostaną niektóre dane zamieszczone w artykule [1]. W badaniach wykorzystywano następujące urządzenia.

Monitory.

Monitor Samsung 953bw (ekran 19 cali, rozdzielczość 1440 × 900; proporcje obrazu 16 : 10; czas reakcji 2 ms, piksel 0,284 mm).

Monitor IPS Dell P2314Ht z podświetleniem LED (ekran 23 cale, rozdzielczość 1920 × 1080, czas reakcji 8 ms, piksel 0,2652 mm).

Monitor dotykowy Iiyama ProLite T2451MTS (ekran 24 cale, proporcje obrazu 16 : 9, rozdzielczość 1920 × 1080, czas reakcji 5 ms), technologia dotykowa optyczna, multitouch (akustyczna fala powierzchniowa).

Monitor komputera Lenovo ThinkCentre M93z, AllInOne, typ 10AE (ekran 23 cale).

Urządzenia wprowadzania.

Monitor dotykowy Iiyama ProLite T2451MTS.

Mysz optyczna Lenovo MSU 1175.

Mysz Logitech RX-250.

Mysz odwrócona TrackMan® Wheel, model T-BB18.

Bezprzewodowa mysz optyczna swiftpoint 300 series FCC xby 300, (interfejs USB, czułość 1000 dpi, 2 przyciski + rolka, zasięg 10 m, mysz trzymana w sposób zbliżony do trzymania długopisu).

3.2. Liczba osób badanych i warunki prowadzenia badań

Liczbę osób objętych badaniami w latach 2010-2011 podano w tabeli 1. Osobami badanymi były osoby w wieku 19–39 lat z przewagą osób młodszych. Wśród osób badanych były 4 kobiety.

Tab. 1. Liczba osób objętych badaniami w latach 2010-2011

Nazwa urządzenia	Mysz		Mysz odwr.	
	Rozdzielczość	800	1024	800
Liczba osób badanych	101	55	88	36

Rozdzielczość dotyczy okna aplikacji, która umożliwiała prowadzenie badań (800×600 i 1024×768). Mysz odwr. – mysz odwrócona. Badania wykonano, wykorzystując tylko dwa urządzenia wprowadzania. Część osób wykonywała badania więcej niż jednym urządzeniem.

Liczbę osób objętych badaniami w latach 2015-2016 podano w tabeli 2. Wśród osób badanych było 27 kobiet.

Tab. 2. Liczba osób objętych badaniami w latach 2015-2016

Nazwa urządzenia	Mysz		Mysz odwr.		Swiftpoint		Ekran dotykowy	
	Rozdz.	800	1024	800	1024	800	1024	800
Liczba badanych	123	93	68	40	81	59	56	28
Razem	216		108		140		84	
Liczba osób ze znanym wiekiem	198		52		90		40	
Średni wiek [lat]	22,43		22,44		22,44		22,43	
Odchylenie std. wieku [lat]	1,74		1,39		1,58		2,38	

Rozdzielczość (Rozdz.) dotyczy okna aplikacji (800×600 i 1024×768). Mysz odwr. – mysz odwrócona. Część osób wykonywała badania więcej niż jednym urządzeniem.

Odległości d (średnica okręgu) i odpowiadające im wartości wskaźnika trudności ID dla stosowanych w badaniach rozdzielczości podano w tabelach 3 i 4.

Tab. 3. Odległość d (średnica okręgu) i odpowiadające im wartości wskaźnika trudności ID dla rozdzielczości 800×600

Odległość d [pix]	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Wskaźnik trudności ID [bit]	2,74	2,89	3,02	3,14	3,25	3,36	3,45	3,55	3,63	3,71

Odległość d [pix]	180	190	200	210	220	230	240	250
Wskaźnik trudności ID [bit]	3,79	3,86	3,93	4,00	4,06	4,12	4,18	4,23

Tab. 4. Odległość d (średnica okręgu) i odpowiadające im wartości wskaźnika trudności ID dla rozdzielczości 1024×768

Odległość d [pix]	108	122	135	148	162	176	189	202	216	230
Wskaźnik trudności ID [bit]	3,12	3,28	3,41	3,53	3,65	3,76	3,86	3,95	4,04	4,12

Odległość d [pix]	243	256	270	284	297	310	324	338
Wskaźnik trudności ID [bit]	4,20	4,27	4,34	4,41	4,47	4,53	4,59	4,65

4. Wyniki badań dla lat 2015-2016

W latach 2015-2016 badano czas wskazywania (wprowadzania) obiektów w teście wielokierunkowym, wykorzystując mysz, mysz odwróconą, swiftpoint i ekran dotykowy. Wyniki badań obejmują średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu w teście dla wybranych trzech odległości najmniejszej, środkowej i największej (dla trzech wskaźników trudności). Wyniki badań przedstawiono kolejno dla myszy, swiftpointa, ekranu dotykowego i myszy odwróconej. Wyniki przedstawione są w tabelach dla dwóch rozdzielczości okna aplikacji (rozdzielczość 800×600 i rozdzielczość 1024×768).

Wyniki badań dla myszy

W tabelach 5 i 6 przedstawiono wyniki badań dla myszy dla rozdzielczości monitora 800×600 i rozdzielczości 1024×768 dla trzech wybranych odległości wskazywania – najmniejszej, średniej i największej (badania dla lat 2015-2016).

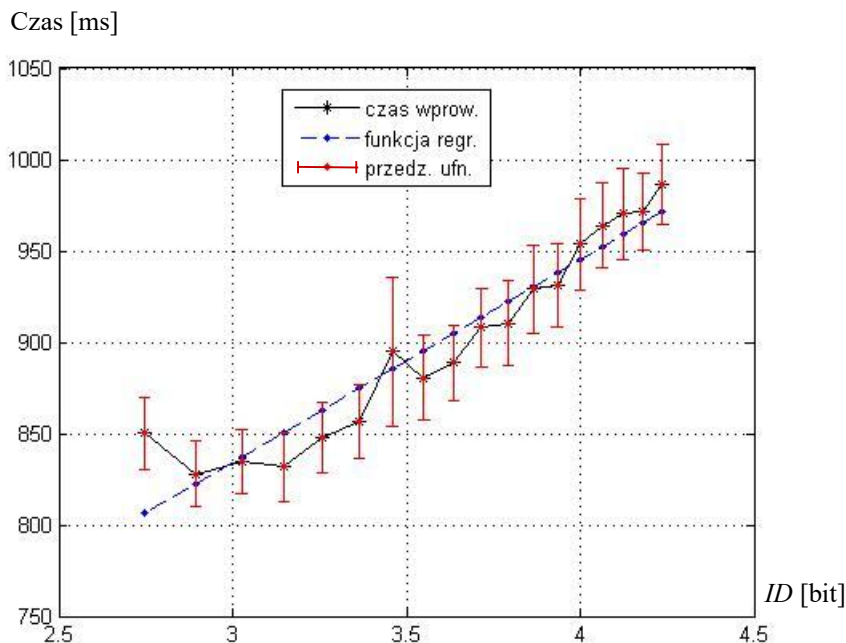
Tab. 5. Średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu (celu) dla myszy dla wybranych odległości przy rozdzielczości 800 × 600

Odległość d [pix]	80	160	250
Wskaźnik trudności ID [bit]	2,75	3,64	4,24
Średni czas [ms]	850,1	888,7	986,5
Odchylenie std. [ms]	110,2	114,5	120,6

Tab. 6. Średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu (celu) dla myszy dla wybranych odległości przy rozdzielczości 1024 × 768

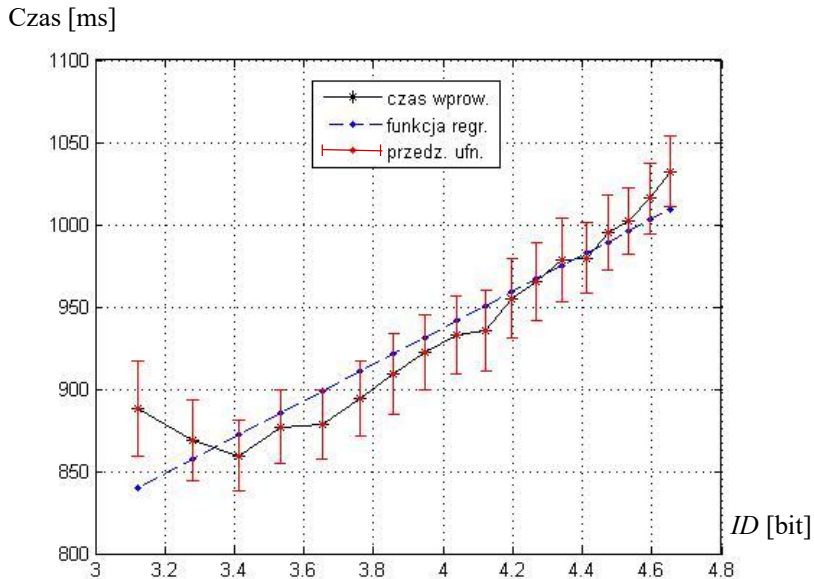
Odległość d [pix]	108	216	338
Wskaźnik trudności ID [bit]	3,12	4,04	4,65
Średni czas [ms]	888,2	932,9	1032,4
Odchylenie std. [ms]	140,8	115,4	104,4

Wykres średniego czasu wprowadzania (czasu pomiędzy kliknięciami), przedziałów ufności oraz funkcję regresji dla myszy przy zmiennym wskaźniku trudności ID dla dwóch rozdzielczości 800 × 600 i 1024 × 768 pokazano na rysunkach 3 i 4 (badania dla lat 2015-2016).



Rys. 3. Średni czas wprowadzania, przedziały ufności i funkcja regresji przy zmiennym wskaźniku trudności ID (mysz, rozdzielczość 800 × 600, badania 2015-2016)

Parametry funkcji regresji dla czasu odpowiadające zależności (1) oraz współczynnik korelacji R z próby dla myszy wyznaczone na podstawie wykonanych badań podano w tabeli 7.



Rys. 4. Średni czas wprowadzania, przedziały ufności i funkcja regresji przy zmiennym wskaźniku trudności ID (mysz, rozdzielczość 1024×768 , badania 2015-2016)

Tab. 7. Funkcja regresji dla czasu (jak w zależności (1)) oraz współczynnik korelacji R z próby dla myszy (badania 2015-2016)

Rozdzielczość	Funkcja regresji (jak w (1))	R
800×600	$502,2 + 110,8 * ID$ [ms]	0,955
1024×768	$495,0 + 110,5 * ID$ [ms]	0,952

Wykonane obliczenia i analiza uzyskanych wyników dla myszy upoważniają do sformułowania wniosku, że hipotezę $H_0: \rho = 0$, dotyczącą współczynnika korelacji R z próby, należy odrzucić na poziomie $\alpha = 0,05$ na korzyść hipotezy alternatywnej $H_1: \rho \neq 0$, dla rozdzielczości 800×600 i rozdzielczości 1024×768 .

Wyniki badań dla swiftpointa

W tabelach 8 i 9 przedstawiono wyniki badań dla swiftpointa dla rozdzielczości 800×600 i rozdzielczości 1024×768 (badania dla lat 2015-2016).

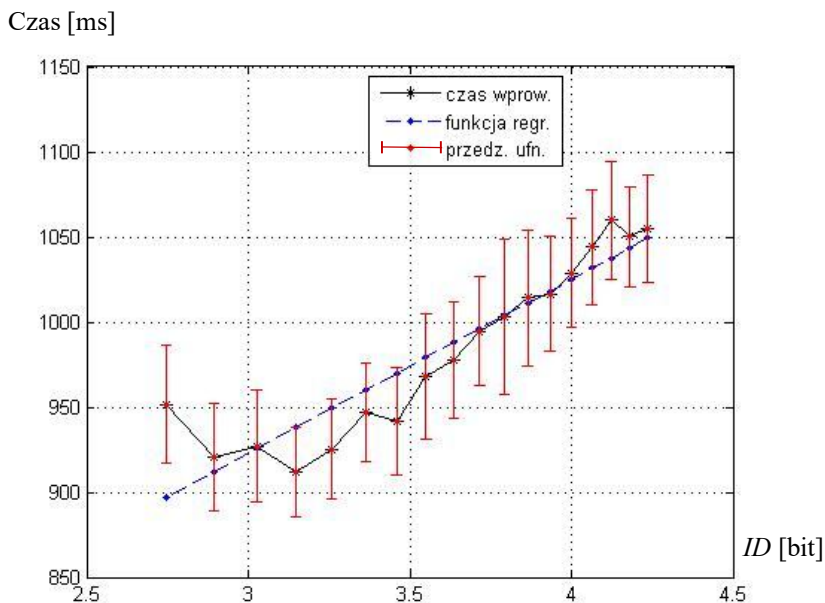
Tab. 8. Średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu (celu) dla swiftpointa dla wybranych odległości przy rozdzielczości 800 × 600

Odległość d [pix]	80	160	250
Wskaźnik trudności ID [bit]	2,75	3,64	4,24
Średni czas [ms]	951,6	977,6	1055,0
Odchylenie std. [ms]	155,8	154,2	154,2

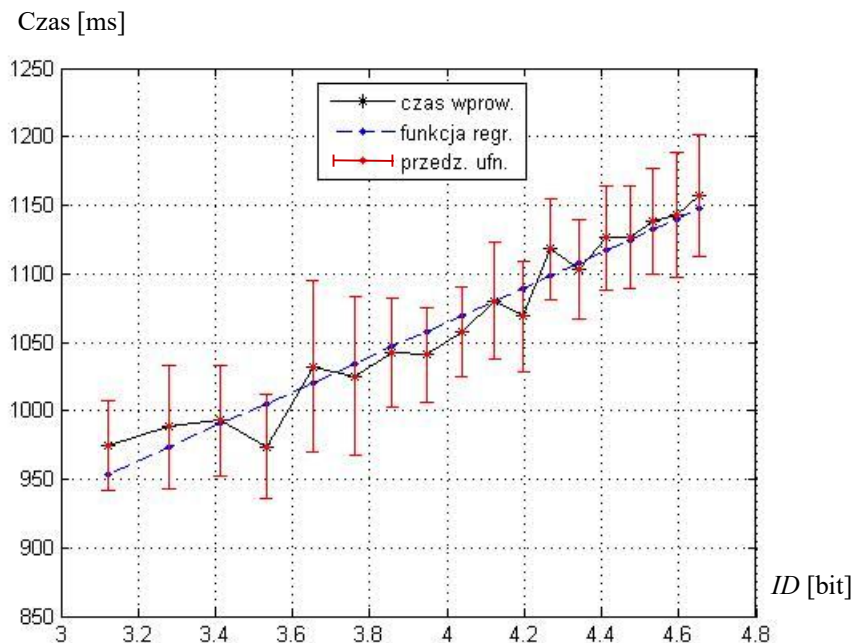
Tab. 9. Średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu (celu) dla swiftpointa dla wybranych odległości przy rozdzielczości 1024 × 768

Odległość d [pix]	108	216	338
Wskaźnik trudności ID [bit]	3,12	4,04	4,65
Średni czas [ms]	974,8	1057,4	1157,3
Odchylenie std. [ms]	126,6	125,0	170,9

Wykres średniego czasu wprowadzania (czasu pomiędzy kliknięciami), przedziałów ufności oraz funkcję regresji dla swiftpointa przy zmiennym wskaźniku trudności ID dla dwóch rozdzielczości 800 × 600 i 1024 × 768 pokazano na rysunkach 5 i 6 (badania dla lat 2015-2016).



Rys. 5. Średni czas wprowadzania, przedziały ufności i funkcja regresji przy zmiennym wskaźniku trudności ID (swiftpoint, rozdzielczość 800 × 600, badania 2015-2016)



Rys. 6. Średni czas wprowadzania, przedziały ufności i funkcja regresji przy zmiennym wskaźniku trudności ID (swiftpoint, rozdzielczość 1024×768 , badania 2015-2016)

Parametry funkcji regresji dla czasu odpowiadające zależności (1) oraz współczynnik korelacji R z próby dla swiftpointa wyznaczone na podstawie wykonanych badań podano w tabeli 10.

Tab. 10. Funkcja regresji dla czasu (jak w zależności (1)) oraz współczynnik korelacji R z próby dla swiftpointa (badania 2015-2016)

Rozdzielczość	Funkcja regresji (jak w (1))	R
800×600	$616,7 + 102,1 * ID$ [ms]	0,962
1024×768	$559,0 + 126,4 * ID$ [ms]	0,973

Wykonane obliczenia i analiza uzyskanych wyników dla swiftpointa upoważniają do sformułowania wniosku, że hipotezę $H_0: \rho = 0$, dotyczącą współczynnika korelacji R z próby, należy odrzucić na poziomie $\alpha = 0,05$ na korzyść hipotezy alternatywnej $H_1: \rho \neq 0$, dla rozdzielczości 800×600 i rozdzielczości 1024×768 .

Wyniki badań dla ekranu dotykowego

W tabelach 11 i 12 przedstawiono wyniki badań dla ekranu dotykowego dla rozdzielczości 800×600 i rozdzielczości 1024×768 (badania dla lat 2015-2016).

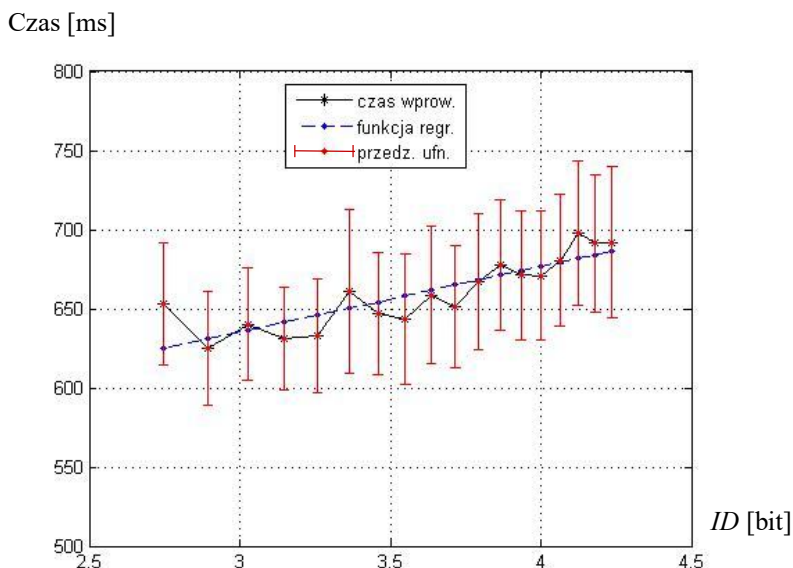
Tab. 11. Średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu (celu) dla ekranu dotykowego dla wybranych odległości przy rozdzielczości 800×600

Odległość d [pix]	80	160	250
Wskaźnik trudności ID [bit]	2,75	3,64	4,24
Średni czas [ms]	652,7	658,6	691,9
Odchylenie std. [ms]	144,5	161,5	178,3

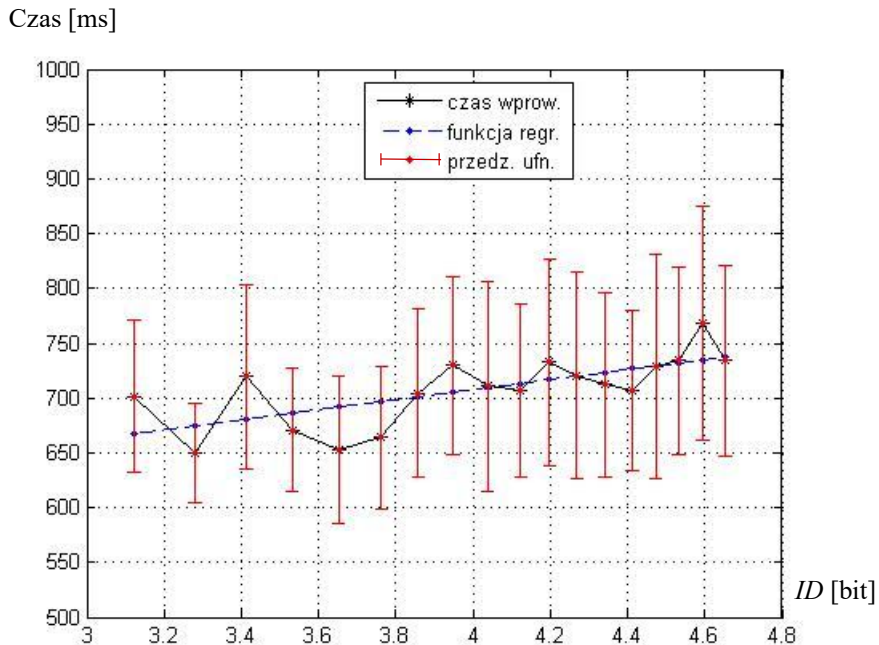
Tab. 12. Średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu (celu) dla ekranu dotykowego dla wybranych odległości przy rozdzielczości 1024×768

Odległość d [pix]	108	216	338
Wskaźnik trudności ID [bit]	3,12	4,04	4,65
Średni czas [ms]	701,7	711,0	734,2
Odchylenie std. [ms]	178,4	246,7	223,8

Wykres średniego czasu wprowadzania (czasu pomiędzy kliknięciami), przedziałów ufności oraz funkcję regresji dla ekranu dotykowego przy zmiennym wskaźniku trudności ID pokazano na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Średni czas wprowadzania, przedziały ufności i funkcja regresji przy zmiennym wskaźniku trudności ID (ekran dotykowy, rozdzielczość 800×600 , badania 2015-2016)



Rys. 8. Średni czas wprowadzania, przedziały ufności i funkcja regresji przy zmiennym wskaźniku trudności ID (ekran dotykowy, rozdzielczość 1024×768 , badania 2015-2016)

Parametry funkcji regresji dla czasu odpowiadające zależności (1) oraz współczynnik korelacji R z próby dla ekranu dotykowego wyznaczone na podstawie wykonanych badań podano w tabeli 13.

Tab. 13. Funkcja regresji dla czasu (jak w zależności (1)) oraz współczynnik korelacji R z próby dla ekranu dotykowego (badania 2015-2016)

Rozdzielczość	Funkcja regresji (jak w (1))	R
800×600	$511,3 + 41,4 * ID [ms]$	0,862
1024×768	$523,7 + 46,0 * ID [ms]$	0,692

Wykonane obliczenia i analiza uzyskanych wyników dla ekranu dotykowego upoważniają do sformułowania wniosku, że hipotezę $H_0: \rho = 0$, dotyczącą współczynnika korelacji R z próby, należy odrzucić na poziomie $\alpha = 0,05$ na korzyść hipotezy alternatywnej $H_1: \rho \neq 0$, dla rozdzielczości 800×600 i rozdzielczości 1024×768 .

Wyniki badań dla myszy odwróconej

W tabelach 14 i 15 przedstawiono wyniki badań dla myszy odwróconej dla rozdzielczości 800×600 i rozdzielczości 1024×768 (badania 2015-2016)

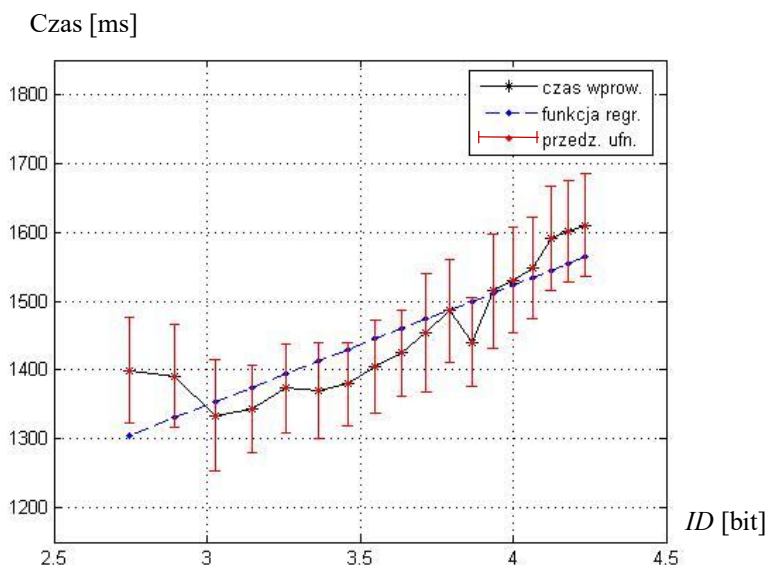
Tab. 14. Średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu (celu) dla myszy odwróconej dla wybranych odległości przy rozdzielczości 800×600

Odległość d [pix]	80	160	250
Wskaźnik trudności ID [bit]	2,74	3,63	4,23
Średni czas [ms]	1399,5	1424,6	1610,5
Odchylenie std. [ms]	317,8	256,9	306,8

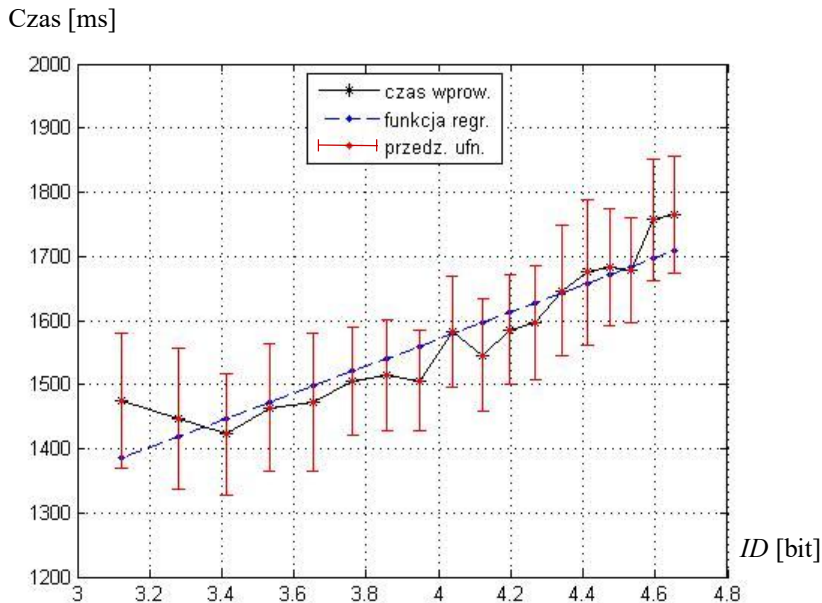
Tab. 15. Średni czas i odchylenie standardowe czasu wskazania obiektu (celu) dla myszy odwróconej dla wybranych odległości przy rozdzielczości 1024×768

Odległość d [pix]	108	216	338
Wskaźnik trudności ID [bit]	3,12	4,04	4,65
Średni czas [ms]	1475,0	1582,3	1765,1
Odchylenie std. [ms]	332,4	268,8	288,1

Wykres średniego czasu wprowadzania, przedziałów ufności oraz funkcję regresji dla myszy odwróconej przy zmiennym wskaźniku trudności ID dla stosowanych rozdzielczości pokazano na rysunkach 9 i 10 (badania 2015-2016).



Rys. 9. Średni czas wprowadzania, przedziały ufności i funkcja regresji dla zmiennego wskaźnika trudności ID (mysz odwrócona, rozdzielczość 800×600 , badania 2015-2016)



Rys. 10. Średni czas wprowadzania, przedziały ufności i funkcja regresji dla zmiennego wskaźnika trudności ID (mysz odwrócona, rozdzielczość 1024 × 768, badania 2015-2016)

Parametry funkcji regresji dla czasu odpowiadające zależności (1) oraz współczynnik korelacji R z próby dla myszy odwróconej wyznaczone na podstawie wykonanych badań podano w tabeli 16.

Tab. 16. Funkcja regresji dla czasu (jak w zależności (1)) oraz współczynnik korelacji R z próby dla myszy odwróconej (badania 2015-2016)

Rozdzielczość	Funkcja regresji (jak w (1))	R
800 × 600	$826,7 + 174,1 * ID [ms]$	0,878
1024 × 768	$723,8 + 211,8 * ID [ms]$	0,932

Podobnie jak dla poprzednich urządzeń, hipotezę $H_0: \rho = 0$, dotyczącą współczynnika korelacji R z próby, należy odrzucić na poziomie $\alpha = 0,05$ na korzyść hipotezy alternatywnej $H_1: \rho \neq 0$, dla rozdzielczości 800 × 600 i rozdzielczości 1024 × 768.

W wynikach badań można zauważyć większe wartości średniego czasu wprowadzania oraz dość znaczne wartości odchyłeń standardowych. Niewątpliwie jest to spowodowane urządzeniem (mysz odwrócona), które nie jest typowym, powszechnie używanym urządzeniem wprowadzania.

5. Porównanie wyników badań dla lat 2015-2016

W celu możliwości porównywania średnich czasów wprowadzania (czasów pomiędzy kliknięciami) dla wykorzystywanych urządzeń, wykonano sprawdzenie normalności rozkładu z próby. W tym celu wykorzystano test Shapiro–Wilka [9], [20].

Porównano wartości średnie czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami myszą i innym stosowanym w badaniach urządzeniem (swiftpoint, ekran dotykowy, mysz odwrócona). Porównania dokonano dla trzech wybranych odległości d dla każdej z rozdzielczości okna aplikacji.

Przyjęto następujące hipotezy:

$$H_0: t_{sr}^M = t_{sr}^{Xu}$$

gdzie: t_{sr}^M – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą myszy,

t_{sr}^{Xu} – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą innego urządzenia (X).

$$H_1: t_{sr}^M \neq t_{sr}^{Xu}$$

Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Do porównania wartości wykorzystano test Cochran–Coxa [14].

Wyniki porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami myszą i innymi urządzeniami wykorzystywanymi w badaniach dla rozdzielczości 800×600 podano w tabeli 17, a dla rozdzielczości 1024×768 – w tabeli 18.

Tab. 17. Przyjęta hipoteza w wyniku porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami myszą i innymi urządzeniami dla rozdzielczości okna aplikacji 800×600 , badania 2015-2016

Inne urządzenie (X): Odległość d [pix]	Swiftpoint	Ekran dotykowy	Mysz odwrócona
$d = 80$	H ₁	H ₁	H ₁
$d = 160$	H ₁	H ₁	H ₁
$d = 250$	H ₁	H ₁	H ₁

Tab. 18. Przyjęta hipoteza w wyniku porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami myszą i innymi urządzeniami dla rozdzielczości okna aplikacji 1024×768 , badania 2015-2016

Inne urządzenie (X): Odległość d [pix]	Swiftpoint	Ekran dotykowy	Mysz odwrócona
$d = 108$	H ₁	H ₁	H ₁
$d = 216$	H ₁	H ₁	H ₁
$d = 338$	H ₁	H ₁	H ₁

Charakterystyczne jest, że we wszystkich przypadkach odrzucona została hipoteza zerowa o równości średnich czasów przemieszczenia wskaźnika.

Porównano również średnie czasy wprowadzania (czasy pomiędzy kliknięciami) dla wykorzystywanych urządzeń przy różnych rozdzielczościach okna aplikacji (rozdzielczość 800×600 i rozdzielczość 1024×768). W tym celu wybrano zbliżone odległości d odpowiadające rozdzielczościom.

Przyjęto następujące hipotezy:

$$H_0: t_{sr}^{R1} = t_{sr}^{R2}$$

gdzie: t_{sr}^{R1} – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą urządzenia przy rozdzielczości 800×600 (R1),

t_{sr}^{R2} – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą urządzenia przy rozdzielczości 1024×768 (R2).

$$H_1: t_{sr}^{R1} \neq t_{sr}^{R2}.$$

Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Do porównania wartości wykorzystano test Cochran–Coxa [14].

Uzyskane wyniki porównania średnich czasów wprowadzania dla wykorzystywanych urządzeń podano w tabeli 19. Dla rozdzielczości 800×600 przyjęto do porównania wartości odpowiadające odległościom 110, 180, 250 [pix], natomiast dla rozdzielczości 1024×768 wartości odpowiadające odległościom 108, 176, 256 [pix] – niewielkie różnice odległości.

Tab. 19. Wyniki porównania średnich czasów między wskazaniami kwadratów za pomocą tego samego urządzenia dla różnych rozdzielczości (badania 2015-2016)

Odległość $d=$	110 (108) [pix]	180 (176) [pix]	250 (256) [pix]
Urządzenie			
Mysz	H₁	H₀	H₀
Swiftpoint	H₁	H₀	H₁
Ekran dotykowy	H₀	H₀	H₀
Mysz odwrócona	H₁	H₀	H₀

Dla kilku przypadków odrzucono hipotezę H_0 . Biorąc pod uwagę różnice odległości, które są niewielkie, wydaje się, że jakieś inne czynniki mogły mieć wpływ na uzyskane wyniki badań.

Porównano również wartości średnie czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami tym samym urządzeniem dla różnych rozdzielczości okna aplikacji. Zastosowano porównanie dla odpowiadających sobie odległości: minimalna (dla rozdzielczości 800×600) – minimalna (dla rozdzielczości 1024×768), średnia – średnia, maksymalna – maksymalna.

Przyjęto następujące hipotezy:

$$H_0: t_{sr}^{d1} = t_{sr}^{d2}$$

gdzie: t_{sr}^{d1} – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą tego samego urządzenia dla odległości $d1$,

t_{sr}^{d2} – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą tego samego urządzenia dla odległości $d2$.

$$H_1: t_{sr}^{d1} \neq t_{sr}^{d2}$$

Jako poziom istotności przyjęto $\alpha = 0,05$.

Do porównania wartości wykorzystano test Cochran–Coxa [14].

Wyniki porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami dla różnych rozdzielczości (i odległości) tym samym urządzeniem podano w tabeli 20.

Tab. 20. Przyjęta hipoteza w wyniku porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami dla różnych rozdzielczości (i odległości) tym samym urządzeniem

Urządzenie	Mysz	Swiftpoint	Mysz odwr.	Ekran dotyk.
Odległości $d1, d2$				
80-108 [pix]	H₁	H₀	H₀	H₀
160-216 [pix]	H₁	H₁	H₁	H₀
250-338 [pix]	H₁	H₁	H₁	H₀

Analizując wartości w tabeli 20, dla których wykonano porównanie, należy zwrócić uwagę na niezbyt dużą różnicę między odległościami $d1, d2$ w pierwszym wierszu tabeli 20 (80-108 pix) w porównaniu do dwóch pozostałych wierszy. Nawet niezbyt duża różnica w odległościach jest istotna dla wyników badań (dla średniego czasu przemieszczenia wskaźnika) uzyskanych dla myszy i nieistotna już dla swiftpointa, myszy odwróconej i ekranu dotykowego. Żadne różnice w odległościach $d1, d2$ nie są istotne dla wyników badań uzyskanych dla ekranu dotykowego.

Wykonano również porównanie wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami tym samym urządzeniem dla różnych odległości w ramach tych samych rozdzielczości okna aplikacji. Porównania dla odległości 80-160 pikseli i 80-250 pikseli dotyczą rozdzielczości 800×600 okna aplikacji. Pozostałe porównania dotyczą rozdzielczości 1024×768 okna aplikacji.

Przyjęto następujące hipotezy:

$$H_0: t_{sr}^{d1} = t_{sr}^{d2}$$

gdzie: t_{sr}^{d1} – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą tego samego urządzenia dla odległości $d1$,

t_{sr}^{d2} – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą tego samego urządzenia dla odległości $d2$.

$$H_1: t_{sr}^{d1} \neq t_{sr}^{d2}$$

Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Do porównania wartości wykorzystano test Cochran–Coxa [14].

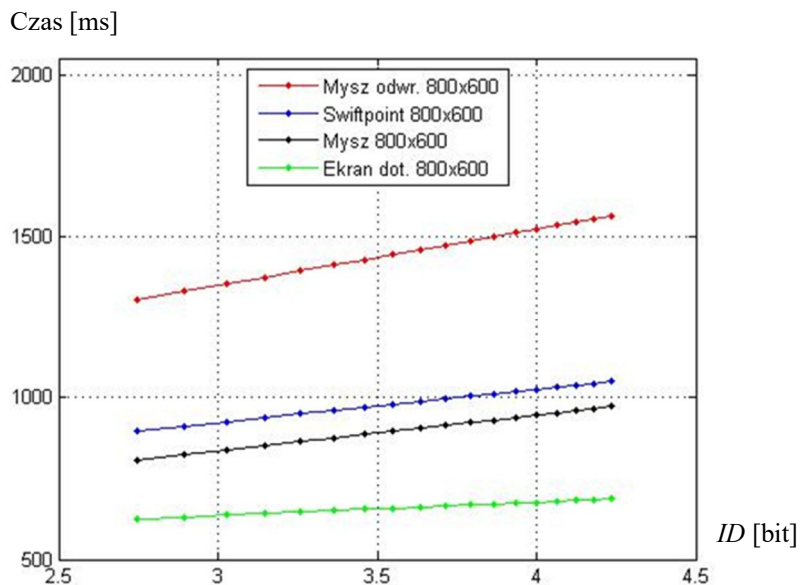
Wyniki porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami dla różnych odległości tym samym urządzeniem podano w tabeli 21.

Tab. 21. Przyjęta hipoteza w wyniku porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami dla różnych odległości tym samym urządzeniem

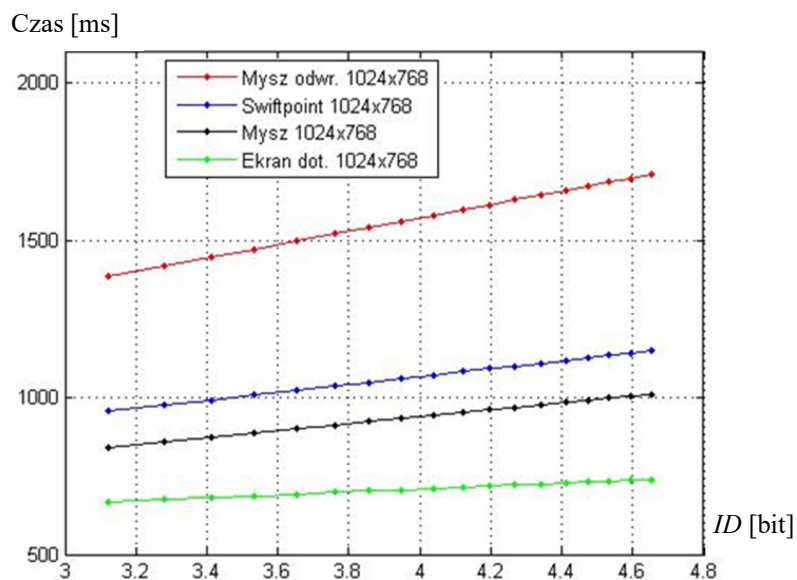
Urządzenie	Mysz	Swiftpoint	Mysz odwr.	Ekran dotyk.
Odległości $d1, d2$				
80 – 160 [pix]	H_1	H_0	H_0	H_0
80 – 250 [pix]	H_1	H_1	H_1	H_0
108 – 216 [pix]	H_1	H_1	H_0	H_0
108 – 338 [pix]	H_1	H_1	H_1	H_0

Analiza przyjętych hipotez wskazuje na istotny wpływ odległości przemieszczenia wskaźnika na średni czas przemieszczenia dla myszy i brak wpływu (nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0) odległości przemieszczenia na średni czas przemieszczenia dla ekranu dotykowego (niezależnie od rozdzielczości okna aplikacji). Dla swiftpointa tylko dla najmniejszej różnicy odległości występuje brak wpływu (nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0) odległości przemieszczenia na średni czas przemieszczenia (rozdzielczość 800×600 okna aplikacji). Dla myszy odwróconej dla mniejszych różnic odległości występuje brak wpływu (nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0) odległości przemieszczenia na średni czas przemieszczenia (dla obu rozdzielczości).

Uzupełnieniem porównania badań dla lat 2015-2016 mogą być wykresy przedstawiające funkcje regresji dla średniego czasu pomiędzy kliknięciami (wskazaniami) urządzeniami przy zmiennym wskaźniku trudności (rysunek 11 – rozdzielczość 800×600 , rysunek 12 – rozdzielczość 1024×768). Wzajemne położenie funkcji regresji jest podobne. Różnice w położeniach funkcji są konsekwencją realizacji zadań przez użytkowników za pomocą poszczególnych urządzeń. Należy zwrócić uwagę, że zakresy wartości wskaźnika trudności ID są częściowo inne na wykresach.



Rys. 11. Funkcja regresji dla czasu wskazywania obiektu za pomocą urządzenia przy zmiennym wskaźniku trudności ID (rozdzielczość 800×600 , badania 2015-2016)



Rys. 12. Funkcja regresji dla czasu wskazywania obiektu za pomocą urządzenia przy zmiennym wskaźniku trudności ID (rozdzielczość 1024×768 , badania 2015-2016)

6. Porównanie wyników badań między latami 2010-2011 i 2015-2016

Porównanie wyników badań jest zasadne dla dwóch urządzeń – myszy i myszy odwróconej – dla tych urządzeń wykonano badania w obu okresach.

Porównano wartości średnie czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami tym samym urządzeniem w obu okresach, dla różnych odległości przy takich samych rozdzielczościach okna aplikacji.

Przyjęto następujące hipotezy:

$$H_0: t_{sr}^{10/11} = t_{sr}^{15/16}$$

gdzie: $t_{sr}^{10/11}$ – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą urządzenia dla ustalonej odległości w latach 2010-2011,

$t_{sr}^{15/16}$ – średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą urządzenia dla ustalonej odległości w latach 2015-2016.

$$H_1: t_{sr}^{10/11} \neq t_{sr}^{15/16}$$

Przyjęto poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Do porównania wartości wykorzystano test Cochran–Coxa [14].

Wyniki porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami dla różnych odległości tym samym urządzeniem podano w tabelach 22 i 23.

Tab. 22. Przyjęta hipoteza w wyniku porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami dla różnych odległości (rozdzielczość 800 × 600)

Urządzenie:	Mysz	Mysz odwrócona
Odległość d [pix]		
$d = 80$	H_0	H_1
$d = 160$	H_0	H_1
$d = 250$	H_0	H_1

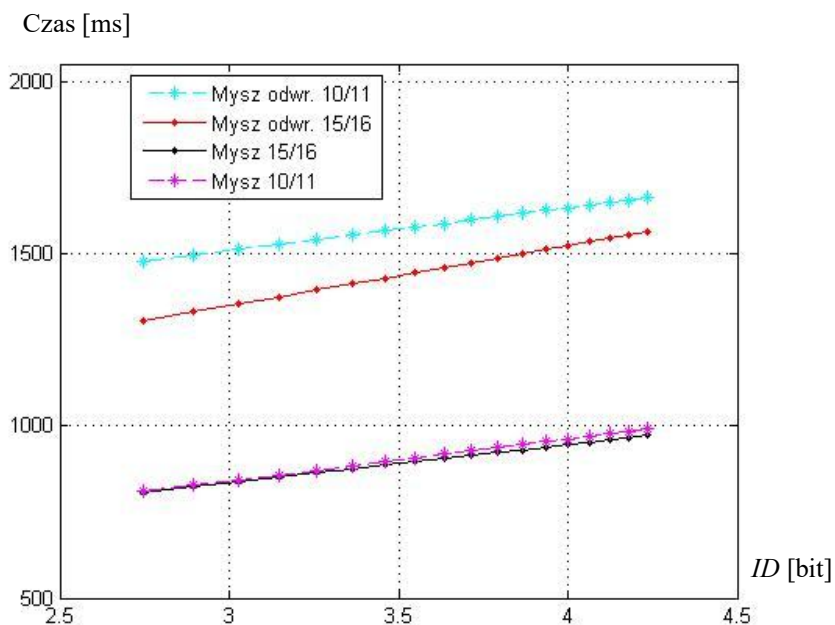
Tab. 23. Przyjęta hipoteza w wyniku porównania wartości średnich czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami dla różnych odległości (rozdzielczość 1024 × 768)

Urządzenie:	Mysz	Mysz odwrócona
Odległość d [pix]		
$d = 108$	H_0	H_0
$d = 216$	H_1	H_0
$d = 338$	H_1	H_0

Funkcje regresji dla średniego czasu pomiędzy kliknięciami za pomocą urządzeń mysz i mysz odwrócona przy rozdzielczości 800 × 600 dla okresów

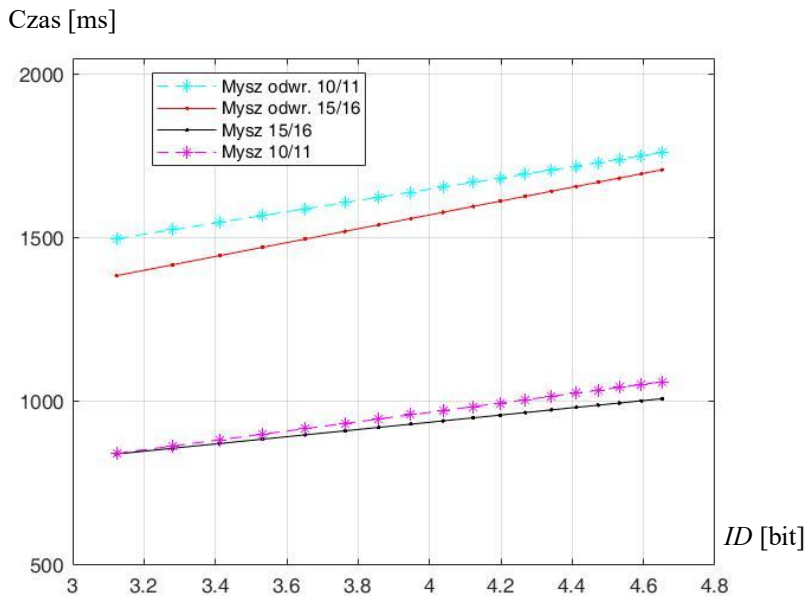
2010/2011 i 2015/2016 pokazano na rysunku 13. Na rysunku 14 pokazano funkcje regresji dla średniego czasu pomiędzy kliknięciami za pomocą urządzeń mysz i mysz odwrócona dla okresów 2010/2011 i 2015/2016, ale dla rozdzielczości 1024×768 .

Dla rozdzielczości 800×600 (tabela 22) wyniki porównania są jednoznaczne – odstęp czasu pięciu lat w wykonywaniu pomiarów nie wpłynął na średni czas pomiędzy kliknięciami w kwadraty za pomocą myszy dla wybranych odległości. Dla myszy odwróconej wyniki porównania wskazują na istotne różnice w średnim czasie pomiędzy kliknięciami dla badań wykonanych w latach 2010-2011, w porównaniu z wynikami badań wykonanymi w latach 2015-2016. Wyniki badań pokazane na rysunku 13 mogą uzasadniać wniosek, że użytkownicy w okresie 2015-2016 byli sprawniejsi w posługiwaniu się myszą odwróconą w stosunku do użytkowników dla okresu 2010-2011. Można to wytłumaczyć tym, że użytkownicy aktualnie wykorzystując urządzenia mobilne np. smartfony, są sprawniejsi manualnie, a praca myszą odwróconą angażuje przede wszystkim kciuk. Wyniki badań dla myszy jako powszechnie używanego urządzenia nie wykazały istotnej zmiany wartości czasu wskazywania obiektów.



Rys. 13. Funkcje regresji dla czasu wskazywania obiektu za pomocą urządzeń mysz i mysz odwrócona przy zmiennym wskaźniku trudności ID (rozdzielczość 800×600 , badania w okresach 2010-2011 i 2015-2016)

Dla rozdzielczości 1024×768 wyniki porównania nie są już tak jednoznaczne. Wskazują one na brak istotnych różnic w średnim czasie pomiędzy kliknięciami za pomocą myszy odwróconej dla trzech wybranych odległości, biorąc pod uwagę badania wykonane w latach 2010-2011, w porównaniu z wynikami badań wykonanymi w latach 2015-2016. Dla myszy stwierdzono istotne różnice w średnim czasie pomiędzy kliknięciami dla większych odległości d (średnicy okręgu) pomiędzy badaniami wykonanymi w latach 2010-2011, w porównaniu z wynikami badań wykonanymi w latach 2015-2016. Należy zwrócić uwagę, że porównania, których wyniki pokazano w tabelach 22 i 23, były wykonane tylko dla konkretnych trzech wybranych odległości d .



Rys. 14. Funkcje regresji dla czasu wskazywania obiektu za pomocą urządzeń mysz i mysz odwrócona przy zmiennym wskaźniku trudności ID (rozdzielczość 1024×768 , badania w okresach 2010-2011 i 2015-2016)

7. Podsumowanie

Niniejszy artykuł jest drugą częścią szerszej pracy dotyczącej wyników badań czasu wprowadzania obiektów za pomocą urządzeń wskazujących. Do badań wykorzystano aplikację wzorowaną na rekomendacjach podanych

w normie ISO 9241-9 [3], [4]. Wyniki badań przedstawione w artykule dotyczą badań wykonanych w latach 2015-2016 z wykorzystaniem czterech urządzeń myszy, swiftpointa, ekranu dotykowego i myszy odwróconej. Biorąc pod uwagę wyniki przedstawione w pierwszej części [1] (wyniki badań wykonanych w latach 2010-2011 z wykorzystaniem myszy i myszy odwróconej) porównano te wyniki badań z wynikami badań uzyskanymi w latach 2015-2016.

Porównując uzyskane wyniki badań z danymi dostępnymi w literaturze, można zauważyć, że w zakresie współczynników w równaniu (1) (współczynniki a, b) występują różnice w stosunku do współczynników podanych w artykułach [11] i [12]. Różnice wynikają z faktu wykorzystywania innych urządzeń (np. swiftpoint w artykule [11]) i z innych warunków prowadzenia badań (warunki w artykułach [11] i [12]). W artykule [13] brakuje natomiast parametrów funkcji regresji (prawo Fittsa), z którymi można by porównać uzyskane wyniki badań.

Wyniki badań dla lat 2015-2016 wskazują na istotne różnice dotyczące średniego czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami myszą i innym stosowanym w badaniach urządzeniem (swiftpoint, ekran dotykowy, mysz odwrócona). Należy zwrócić uwagę, że wyniki te są takie same, dla tych samych urządzeń, jak dla lat 2010-2011. Badania wykazały również, że różnice w rozdzielczości okna aplikacji (rozdzielczość 800×600 i rozdzielczość 1024×768) nie dają jednoznacznej odpowiedzi, czy różnice występujące w wynikach są istotne czy nie.

Analiza wyników badań wskazuje na istotny wpływ odległości przemieszczenia wskaźnika na średni czas przemieszczenia dla myszy i brak istotnego wpływu odległości przemieszczenia na średni czas przemieszczenia dla ekranu dotykowego (niezależnie od rozdzielczości okna aplikacji). Dla pozostałych urządzeń (swiftpoint i mysz odwrócona), tylko dla mniejszych różnic odległości, wyniki badań nie wskazują na istotny ich wpływ na średni czas przemieszczenia wskaźnika.

Porównanie czasu przemieszczenia wskaźnika pomiędzy kliknięciami między okresami 2010-2011 i 2015-2016 wskazuje, że nie ma istotnych różnic dla myszy dla wybranych odległości przy rozdzielczości 800×600 . Dla myszy odwróconej wyniki porównania wskazują na istotne różnice w średnim czasie pomiędzy kliknięciami dla badań wykonanych w latach 2010-2011, w porównaniu z wynikami badań wykonanymi w latach 2015-2016 dla rozdzielczości 800×600 . Dla rozdzielczości 1024×768 wyniki porównania nie są już tak jednoznaczne. Wyniki badań mogą uzasadniać wniosek, że użytkownicy w okresie 2015-2016 byli sprawniejsi w posługiwaniu się myszą odwróconą w stosunku do użytkowników dla okresu 2010-2011. Można to uzasadniać wpływem wykorzystywania urządzeń mobilnych, np. smartfonów, na sprawność manualną (średni wiek osób badanych to ok. 22 lata).

W badaniach jako model regresji czasu pomiędzy kliknięciami w obiekty względem wskaźnika trudności zastosowano model klasyczny (liniowy) – prawo Fittsa. Przedstawione wyniki badań mogą częściowo wskazywać na to, że dla małych wartości wskaźnika trudności model ten niezbyt dokładnie odpowiada rzeczywistości. Wizualizacja średniego czasu wskazywania obiektów przy zmiennym wskaźniku trudności (zależność (2)) może sugerować, że właściwym modelem będzie regresja nieliniowa. Wątpliwości te potwierdzają rozważania i badania przedstawione w artykułach [15] i [16], gdzie autorzy pokazują niedoskonałość wskaźnika trudności i wskazują na możliwość rozwiązania problemu. Analiza wyników badań z uwzględnieniem tych sugestii i wniosków będzie przedmiotem dalszych prac.

Literatura

- [1] DONIGIEWICZ A.M., *Badanie czasu wskazywania obiektu przez użytkownika testem wielokierunkowym. Część I – wyniki z lat 2010-2011*. Przegląd Teleinformatyczny, nr 3-4, 2016, s. 31-50.
- [2] DONIGIEWICZ A.M., *Wielokierunkowy test wskazywania – norma ISO 9241-9 – przegląd badań*. Przegląd Teleinformatyczny, nr 3-4, 2014, s. 33-65.
- [3] *Ergonomic requirements for Office work with visual display terminals (VDTs). Part 9: Requirements for non-keyboard input devices*. ISO 9241-9:2000(E),
- [4] *Ergonomics of human-system interaction – Part 420: Selection of physical input devices*. ISO 9241-420 (2011).
- [5] DONIGIEWICZ A.M., *Modelowanie interakcji człowiek-komputer. Problemy oceny jakości i niezawodności*, Wyd. WAT, Warszawa, 2005.
- [6] 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.
- [7] SIKORSKI M., *Interakcja człowiek-komputer*. Wyd. PJWSTK, Warszawa, 2010.
- [8] MACKENZIE I.S., *Motor behaviour models for human-computer interaction*. [In:] *HCI models, theories, and frameworks: Toward a multidisciplinary science*. San Francisco, Kaufmann, 2003, pp. 27-54.
- [9] KOWALSKI L., *Statystyka*. Wyd. Wydział Cybernetyki WAT, BelStudio, Warszawa, 2005.
- [10] ACCOT J., ZHAI S., *Beyond Fitts' Law: Models for Trajectory-Based HCI Tasks*. Proceedings of ACM CHI, Conference on Human Factors in Computing Systems, 1997, pp. 295-302.

- [11] AMER T., COCKBURN A., GREEN R., ODGERS G., *Evaluating Swiftpoint as a Mobile Device for Direct Manipulation Input*. AUIC2007 (CRPIT), Vol. 64, 2007, pp. 63-70.
- [12] HERTZUM M., HORNBAEK K., *The Effect of Target Precuing on Pointing with Mouse and Touchpad*. International Journal of Human-Computer Interaction, Vol. 29, No. 5, 2013, pp. 338-350.
- [13] BURNO R.A., WU B., DOHERTY R., COLETT H., ELNAGGAR R., *Applying Fitts' law to gesture based computer interactions*. Procedia Manufacturing 3, 2015, pp. 4342-4349.
- [14] CIECIURA M., ZACHARSKI J., *Metody probabilistyczne w ujęciu praktycznym*. Wizja Press&IT, Warszawa, 2007.
- [15] OKADA H., AKIBA T., FUJIOKA R., *Investigation on Relation between Index of Difficulty in Fitts' Law and Device Screen Sizes*. In: *Human Interface, Part II, HCI 2009*, LNCS 5618, pp. 423-429.
- [16] OKADA H., AKIBA T., *Investigations on Fitness of Pointing Time Prediction Model*. ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka International Congress Center, pp. 3595-3598.

Źródła elektroniczne

- [17] BUXTON W., *Theories, models and basic concepts*. [In:] *Haptic Input*, pp. 7.1-7.46, <http://www.billbuxton.com/input07.TheoriesModels.pdf> (dostęp 20.01.2011).
- [18] MACKENZIE I.S., *Fitts' law as a performance model in human-computer interaction*, Unpublished Doctoral Dissertation, University of Toronto, <http://www.yorku.ca/mack/phd.html> (dostęp 20.01.2011).
- [19] <http://www.mathworks.com/>, <http://www.ont.com.pl/>
- [20] <http://statystyka.rezolwenta.eu.org/materialy.html> (dostęp 23.01.2017)

Time study of pointing an object by a user during multidirectional test

Part II – results from 2015-2016

ABSTRACT: The paper presents results of the time-of-course test for items examined during the multidirectional test performed in years 2015-2016. The study was conducted in accordance with the ISO 9241-9. The study utilized a mouse, swiftpoint, touch screen, and an inverted mouse (trackball). The coefficients of the Fitts equation were determined. The results of the tests, conducted in years: 2010-2011 and 2015-2016, were compared.

KEYWORDS: tests of non-keyboard input devices, multidirectional tapping test, the Fitts' law, ISO 9241-9 standard

Praca wpłynęła do redakcji: 26.06.2017 r.