

Wielokierunkowy test wskazywania – norma ISO 9241-9 – przegląd badań

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 wielokierunkowy test wskazywania stosowany do oceny jakości wprowadzania informacji za pomocą urządzeń wskazujących. Opis testu oparto na normie ISO 9241-9. Test może być podstawą oceny i oszacowania jakości wprowadzania informacji przez użytkownika. Przedstawiono wybrane wyniki badań dostępne w literaturze.

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

1. Wprowadzenie

W artykule [4] przedstawiono opis jednokierunkowego testu wskazywania oraz wybrane badania opisywane w literaturze wykorzystujące ten test do oceny jakości działania użytkownika. W niniejszym artykule przedstawiono wielokierunkowy test wskazywania opisany w normie [6] oraz wybrane badania opisywane w literaturze wykorzystujące ten test do oceny realizacji zadań za pomocą urządzeń wskazujących. Część przedstawionych badań obejmuje również realizację zadań z wykorzystaniem gestów, w których stosowano częściowo zmodyfikowany wielokierunkowy test wskazywania.

W artykule opis badań i wyniki obejmują zasadniczo czas od obowiązywania normy ISO 9241-9. Dla pełnego spojrzenia na przedstawioną problematykę przedstawiono skrótowo również badania dla okresu przed oficjalnym wprowadzeniem normy [6]. W czasie obowiązywania normy [6] wyróżniono dwa okresy: okres stosowania klasycznych warunków i typowych urządzeń (można uważać, że trwał on do ok. 2006 roku) i okres stosowania zmiennych warunków i nietypowych urządzeń (od roku 2007). Oczywiście

granicy pomiędzy tymi okresami nie należy traktować sztywno. Należy jednak zwrócić uwagę na różnice pomiędzy tymi okresami pod względem warunków stosowania testu oraz właśnie nietypowych urządzeń wprowadzania. Na końcu każdego z wyróżnionych okresów wskazano na badania częściowo związane z wielokierunkowym testem wskazywania, ale bez szczegółowego przedstawienia wyników badań.

2. Wielokierunkowy test wskazywania

2.1. Procedura testowania

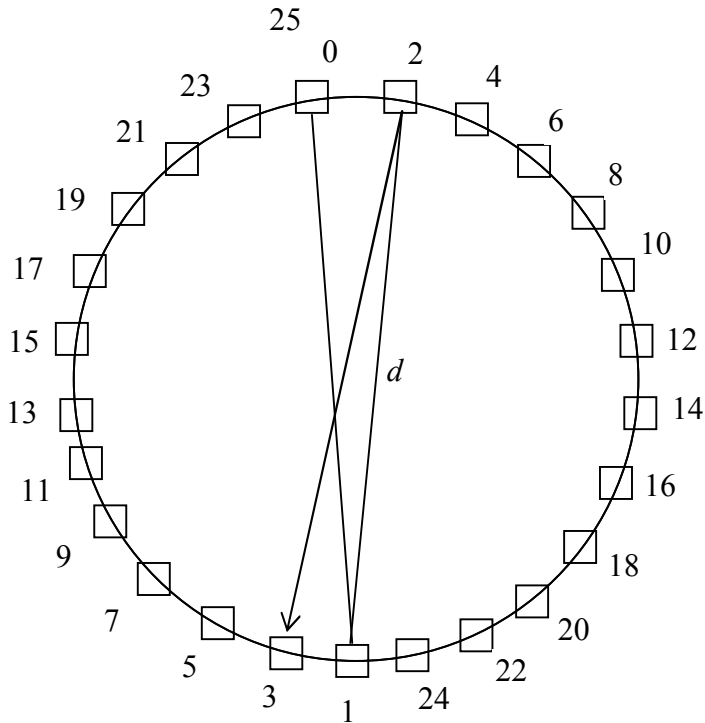
Testy dotyczące wskazujących urządzeń wprowadzania, opisywane w literaturze [6], [20], dotyczą oceny realizacji następujących zadań podstawowych:

- wskazywanie;
- wybieranie;
- ciągnięcie (przeciąganie);
- śledzenie;
- wprowadzanie swobodne.

Wielokierunkowy test wskazywania może być wykorzystany do oceny jakości wskazywania w różnych kierunkach. Przykładowo może być stosowany do oceny jakości wykonywania następujących zadań:

- a) umieszczanie wskaźnika w różnych obszarach na ekranie;
- b) wybór komórek na arkuszu kalkulacyjnym;
- c) wybór (wskazywanie) losowo umieszczonych ikon.

W ramach procedury testowania należy przemieszczać wskaźnik w poprzek koła do kolejno ponumerowanych obiektów (kwadratów) (rys. 1). Kwadraty powinny być równomiernie rozmieszczone na brzegu okręgu, tak aby przemieszczenie wskaźnika było w przybliżeniu równe średnicy okręgu. Kwadrat, do którego wskaźnik powinien być przesunięty, powinien być podświetlony. Każda seria testowa rozpoczyna się wówczas, gdy zostanie wskazany kwadrat najwyżej położony i kończy się, kiedy sekwencja wskazań zostanie zakończona (wskazanie najwyżej położonego kwadratu). Test ten powinien być związany ze zmianą zakresu trudności poprzez zmianę średnicy okręgu pomiędzy próbami (kwadraty na okręgu pozostają bez zmian). Obiektami wskazywanymi na okręgu w teście wzorcowym (norma [6]) są kwadraty, natomiast w prowadzonych badaniach, jako obiekty stosowano czasami kółka.



Rys. 1. Ilustracja wielokierunkowego testu wskazywania (na podstawie [6])

2.2. Wyznaczanie charakterystyk urządzenia wejściowego

Po przeprowadzeniu testu wyznaczane są następujące charakterystyki [6], [13], [20].

Skuteczna szerokość obiektu (w_e) jest to szerokość rozproszenia wybranych współrzędnych uzyskana w wyniku wskazywania (klikania) podczas testu. Wielkość ta obliczana jest z zależności [6], [13]:

$$w_e = 4,133 s_x, \quad (1)$$

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

Wskaźnik trudności ID jest miarą precyzji użytkownika wymaganej w zadaniu. Wyrażany jest w bitach. Dla zadań wskazywania, wyboru lub przeciągania wyznaczany jest z zależności [6], [19]:

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

gdzie: w – wielkość obiektu (w teście wielokierunkowym bok kwadratu – rys. 1),

d – odległość ruchu urządzenia (w teście wielokierunkowym średnica okręgu jak na rys. 1).

Skuteczny wskaźnik trudności ID_e dla zadań wskazywania, wyboru lub przeciągania wyznaczany jest z zależności [6], [13]:

$$ID_e = \log_2 \frac{d + w_e}{w_e}, \quad (3)$$

gdzie: w_e, d – jak w zależności (1) i (2) odpowiednio.

Przepustowość wejściowa P_w dla zadań wskazywania, wyboru, przeciągania i śledzenia wyznaczana jest z zależności [6], [13]:

$$P_w = \frac{ID_e}{t_m}, \quad (4)$$

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 [6], [13]:

$$V_p = \frac{d}{t_m} \quad (5)$$

gdzie: d – jak na rys. 1;

t_m – jak w zależności (4).

2.3. Wielokierunkowy test wskazywania stosowany w testach urządzeń

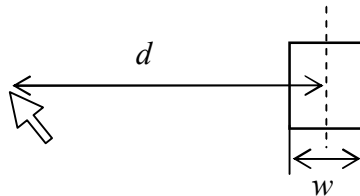
Omawiany wielokierunkowy test wskazywania stosowany był jako test oceny jakości realizacji zadań za pomocą różnych urządzeń wejścia-wyjścia. Test był stosowany również przed publikacją normy ISO 9241-9 [5], [22]. Od chwili publikacji normy (rok 2000) test z różnymi zmianami stosowany był w badaniach wielokrotnie.

Głównym celem prowadzonych badań było i jest wyznaczenie podstawowej charakterystyki, jaką jest czas przemieszczenia (ruchu) wskaźnika urządzenia wejściowego na ekranie. Badania najczęściej umożliwiają wyznaczenie parametrów równania opisującego czas ruchu wskaźnika do celu na ekranie, poruszanego przez użytkownika za pomocą urządzenia wejściowego. Równanie to nazywane prawem Fittsa (rys. 2) przedstawione jest poniżej w postaci najczęściej spotykanej [4], [7], [19], [20], [26]:

$$t_r = a + b ID, \quad (6)$$

gdzie: a , b – stałe wyznaczone doświadczalnie;

ID – wskaźnik trudności (najczęściej w postaci jak w zależności (2)).



Rys. 2. Ilustracja prawa Fittsa [1], [14], [19], [20], [27]

Zamiast czasu przemieszczenia wskaźnika urządzenia wejściowego wyznaczana jest czasami przepustowość wejściowa (jak w zależności (4)). Drugim, najczęściej wyznaczanym parametrem jest procent błędów (stopa błędów) w trafieniu w obiekt w czasie testu.

W badaniach, w których wykorzystywano wielokierunkowy test wskazywania, można wyróżnić trzy okresy:

- okres przed oficjalnym wprowadzeniem normy,
- okres stosowania klasycznych warunków i typowych urządzeń,
- okres stosowania zmiennych warunków i nietypowych urządzeń.

Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań, które były opublikowane w wymienionych okresach czasu. Czas obowiązywania normy [6] podzielono na dwa okresy. Pierwszy z nich – okres stosowania klasycznych warunków i typowych urządzeń – trwał do końca 2006 roku włącznie.

3. Wyniki badań

3.1. Okres przed oficjalnym wprowadzeniem normy ISO 9241-9

Okres przed wprowadzeniem normy ISO 9241-9 to okres do roku 2000 (część publikacji wskazuje na rok 2002 jako rok oficjalnego wprowadzenia normy ISO 9241-9, np. [20]). W tym okresie stosowano już zasady (test) opisane w normie. Typowymi badaniami stosowanymi w tym okresie były badania przedstawione w pracy [5].

Badania były szersze niż badania związane z wielokierunkowym testem wskazywania. Obejmowały również wskazywanie jednokierunkowe, przeciąganie, wprowadzanie z wolnej ręki (odręcznie pisane znaki) i uchwycenie urządzenia oraz parkowanie [5].

Stosowane urządzenia

Urządzenia wykorzystywane w tych badaniach to tzw. minijoystick (Trackpointe III na klawiaturze pomiędzy klawiszami „G” i „H”) i touchpad (Touchpad 2 model 400 podłączony przez port PS/2). Wykorzystano laptop IBM Thinkpade wyposażony w oddzielny monitor z kolorowym wyświetlaczem 21-calowym [5].

Badani użytkownicy

Badaniami objęto 24 osoby, po dwanaście dla każdego urządzenia. Dla touchpada wszyscy użytkownicy byli praworęczni. Dla joysticka jedenastu użytkowników praworęcznych i jeden leworęczny. Wszyscy użytkownicy mieli wcześniejsze doświadczenie w pracy na komputerze i bogate doświadczenie w pracy za pomocą myszy. Użytkownicy byli przydzieleni do urządzenia, z którym nie mieli wcześniejszego doświadczenia w użytkowaniu.

Procedura badawcza

Dla wielokierunkowego testu wskazywania zastosowano następujące wielkości związane z wyświetlanymi obiektami [5]:

- szerokość obiektu (2 mm, 5 mm, 10 mm),
- odległość obiektu (40 mm, 80 mm, 160 mm),
- kąt położenia obiektu (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°).

Badanie rozpoczynało się, gdy użytkownik kliknął w kwadrat początkowy (w centrum okna aplikacji), a kończyło się, gdy użytkownik kliknął w kole celu wyświetlonym w określonym miejscu. Czas pomiędzy tymi kliknięciami był rejestrowany jako czas próby. Wskaźnik był automatycznie przenoszony na środek kwadratu początkowego na końcu każdej próby. Kombinacje szerokości, odległości i kąta były stosowane losowo.

Wyniki badań i komentarze

Każda osoba wykonała 72 badania w 10 seriach (łącznie 720 prób) [5]. Średni czas ruchu dla joysticka to 1,975 s, z odchyleniem standardowym wynoszącym 0,601 s. Dla touchpada średni czas ruchu był równy 2,382 s, a odchylenie standardowe wynosiło 0,802 s. Różnice w średnim czasie ruchu były istotne statystycznie. Z tego wywnioskowano, że czas wskazywania dla joysticka jest o 17% mniejszy od średniej. Stopa błędów była równa 2,1% dla joysticka i 5,4% dla touchpada. Różnice w stopie błędów były istotne statystycznie. Przepustowość wyznaczona dla joysticka była równa 2,15 bit/s (odch. stand. = 0,40), natomiast dla touchpada 1,70 bit/s (odch. stand. = 0,53). Wyniki badań porównano z wynikami dla myszy komputerowej.

Po eksperymencie uczestnicy oceniali za pomocą ankiety urządzenia pod względem wygody użycia, działania, zmęczenia i użyteczności [5]. Ankieta wykazała brak różnic w odpowiedziach i istotną różnicę statystyczną tylko pytań dotyczących siły potrzebnej do użycia joysticka, który wymagał nieco większej siły. W badaniach nie wyznaczono wielkości stałych występujących w równaniu prawa Fittsa (por. wzór (6)).

W artykule zwraca się uwagę, że norma [6] zaleca co najmniej 25 użytkowników przy badaniach związanych z testami jakości działania użytkownika. Należy zwrócić uwagę, że stosowany w badaniach test nie był w pełni zgodny z normą [6].

Wcześniejszymi badaniami, które w pewnym zakresie były zgodne z procedurą opisaną w normie [6] są badania przedstawione w pracy [22]. Badania wykonane zostały dla ośmiu kierunków położenia obiektów, ale nie są w pełni zgodne z warunkami przedstawionymi w normie.

3.2. Okres stosowania klasycznych warunków i typowych urządzeń

Badania opisywane poniżej są właściwie na granicy dwóch okresów: okresu przed wprowadzeniem normy i okresu stosowania klasycznych warunków badań. W badaniach [15], których wyniki przedstawiono w 2001 roku, zaproponowano nowe miary zmienności ruchu (odchylenia ruchu od linii prostej w kierunku obiektu). Propozycje te były następujące:

- zmienność ruchu (odchylenie standardowe współrzędnej y wybranych punktów od średniej): $MV = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$,
- błąd ruchu (średnie odchylenie wybranych punktów od współrzędnej zadania – celu): $ME = \frac{\sum|y_i|}{n}$,
- przesunięcie ruchu: $MO = \bar{y}$.

Wyróżniono również typowe zmiany w ścieżce wskaźnika urządzenia w ruchu do celu:

- dwukrotne wskazanie celu (TRE),
- przekroczenie współrzędnej y zadania (celu) (TAC),
- zmiana kierunku ruchu (MDC),
- ortogonalna zmiana kierunku ruchu (ODC).

Stosowane urządzenia

Eksperyment przeprowadzono na komputerze klasy Pentium z systemem Windows 98. Wyjściowym urządzeniem był 17-calowy monitor. Wejściowymi urządzeniami były cztery następujące urządzenia wskazujące [15]:

- mysz (Logitech *FirstMouse+*),
- trackball (Logitech *TrackMan Marble*),
- joystick (Interlink *DeskStick*),
- touchpad (Touché *Touchpad*).

Badani użytkownicy

Użytkownikami było 12 osób. Byli oni losowo przydzieleni do jednej z czterech grup (3 użytkowników na grupę). Każdy z użytkowników był badany z użyciem wszystkich urządzeń. Kolejność użycia urządzeń różniła się dla każdej grupy. Przed przystąpieniem do badania uczestnicy zostali poinformowani o celu eksperymentu. Zadanie było klasyczne – wielokierunkowy test wskazywania zgodny z ISO 9241-9 [6]. Zadanie zademonstrowano użytkownikom i przed badaniem wykonano sekwencję rozgrzewki [15].

Procedura badawcza

W badaniach użyto 16 kółek – celi ułożonych na kole (liczba celi inna niż w normie [6]). Średnica koła była równa 400 pikseli (180 mm), natomiast średnica każdego celu 30 pikseli (13 mm). Użyty został tylko jeden poziom trudności zadania o wskaźniku trudności równym 3,8 bita. Sekwencja prób była zgodna z normą [6]. Każdy „następny” cel był wskazywany fioletowym krzyżykiem, który przenoszony był od celu do celu, zgodnie z kolejnością badania. Sygnalizowano dźwiękiem każdy wybór ze wskaźnikiem poza celem. Badania obejmowały 10 bloków. Blok zawierał 5 sekwencji badania [15].

Wyniki badań i komentarze

Jeśli chodzi o czas ruchu, to mysz była najszybszym urządzeniem, natomiast joystick najwolniejszym. Przepustowość wynosiła 4,9 bita/s dla myszy, 3 bity/s dla trackballa, 1,8 bita/s dla joysticka, natomiast 2,9 bita/s dla touchpada. Różnice w wartościach były istotne statystycznie z wyjątkiem trackballa oraz touchpada.

Stopa błędów była równa 9,4% dla myszy, 8,6% dla trackballa, 9,0% dla joysticka, a 7,0% dla touchpada. Różnice w wartościach nie były istotne statystycznie.

Tabela 1 przedstawia wartości średnie ($\bar{S}r.$) i odchylenia standardowe (Odch.) siedmiu miar dokładności dla czterech badanych urządzeń. Oczywiście w odniesieniu do wszystkich miar, niższe wartości są lepsze. Jednostki w tab. 1 są „średnimi obliczonymi na próbę” dla TRE, TAC, MDC i ODC oraz „pikselami” dla MV, ME i MO, gdzie 1 piksel = 0,43 mm mierzone na ekranie.

Tab. 1. Wartości średnie ($\bar{S}r.$) i odchylenia standardowe (Odch.) miar dokładności dla czterech badanych urządzeń [15]

Zmienna	Mysz		Trackball		Joystick		Touchpad	
	$\bar{S}r.$	Odch.	$\bar{S}r.$	Odch.	$\bar{S}r.$	Odch.	$\bar{S}r.$	Odch.
TRE	0,07	0,04	0,26	0,13	0,33	0,08	0,15	0,04
TAC	1,7	0,2	2,2	0,4	2,0	0,3	1,64	0,19
MDC	3,6	1,0	5,7	1,6	6,1	3,8	3,6	0,7
ODC	0,8	0,4	1,8	0,6	1,5	0,9	0,8	0,2
<i>MV</i>	10,5	3,9	15,9	2,5	17,6	3,8	11,7	2,4
<i>ME</i>	11,6	4,7	16,5	3,6	18,7	3,5	13,2	2,5
<i>MO</i>	2,5	1,0	3,4	0,8	5,1	1,8	3,9	2,4

Różnice w przepustowości urządzeń w porównaniu do innych badań wynikają z różnych testowanych produktów. W badaniach nie wyznaczono wartości stałych występujących w równaniu prawa Fittsa (por. wzór (6)). Należy zwrócić uwagę, że stosowana procedura badawcza nie w pełni odpowiada procedurze opisanej w normie [6]. Występuje różnica w liczbie obiektów (celi) położonych na okręgu w opisywanych badaniach w stosunku do normy [6].

W początkowym okresie obowiązywania normy prowadzono badania w zasadzie wg klasycznych zasad, choć stosowano pewne modyfikacje. Modyfikacje te dotyczyły przykładowo liczby obiektów (celów) występujących w teście (na okręgu koła) lub wielkości tych obiektów [9].

Wskazane badania [9] dotyczyły wykorzystania techniki i urządzenia TouchGrid (urządzenie typu touchpad), które umożliwia wybranie grupy obiektów, a później szczegółów (tzw. wskaźniki komórkowe). Wybranie obiektu docelowego wiąże się z trzema puknięciami (tap) z towarzyszącymi im zmianami – zagęszczanie kraty na fragmencie figury. Ostatni wybór celu składa się z trzeciego puknięcia (tap) w określony pasek (kratkę). Regiony touchpada są rekurencyjnie mapowane do mniejszych regionów zobrazowania i tym samym umożliwiają precyzyjne wskazanie.

Podstawą badań była sugestia, że czas wyboru obiektu za pomocą TouchGrid jest liniową funkcją wymaganej liczby puknięć (tap).

Stosowane urządzenia

W eksperymencie [9] użyto TouchGrid i typowego touchpada. Aplikację uruchamiano na laptopie 1 GHz z touchpadem 6×4,5 cm i z 15-calowym ekranem.

Badani użytkownicy

Sześć badanych osób (4 kobiety i 2 mężczyzn) w wieku od 21 do 56 lat (średnia 31,7 lat) używało TouchGrid i typowego touchpada. Wszyscy używali touchpada wcześniej. Pięć osób było praworęcznych i jedna leworęczna.

Procedura badawcza

Podstawą do badań był wielokierunkowy test wskazywania [6]. Badania prowadzono, zmieniając następujące parametry:

- liczba celów (3 poziomy): 8, 24 albo 48 celów równo rozłożonych na obwodzie koła (liczba celi inna niż w normie [6]);
- odległość do celu (2 poziomy): cele były ułożone albo na kole o średnicy 12 cm, albo na kole o średnicy 22 cm;
- szerokość celu (2 poziomy): małe cele miały średnicę 2 mm, duże cele średnicę 6 mm.

Badania każdej osoby obejmowały trzy bloki po 12 zadań. Każde zadanie obejmowało po 20 prób. Połowa osób badanych w pierwszej kolejności wykorzystywała TouchGrid, a druga połowa typowy touchpad. Użytkownicy używali tylko jednej ręki podczas badań. W badaniach następny cel pojawiał się dopiero, gdy poprzedni cel został poprawnie wybrany.

Wyniki badań i komentarze

Wyznaczono czas wyboru obiektu za pomocą TouchGrid jako liniowa funkcja wymaganej liczby puknięć do wybrania celu w postaci [9]:

$$T_{TG} = 212 + 842 N \text{ [ms]},$$

gdzie: N – wymagana liczba puknięć do wybrania celu.

Wyznaczono wielkości stałe występujące w równaniu prawa Fittsa (por. wzór (6)) dla touchpada:

$$t_r = -657 + 469 ID \text{ [ms]},$$

gdzie: ID – wskaźnik trudności (jak w zależności (6)).

Dla wszystkich zmienianych parametrów (szerokość celu, odległość do celu i liczba celów) badania wykazały, że czas wyboru celu za pomocą touchpada jest większy niż za pomocą TouchGrid. Jedynie dla 48 celów czas wyboru celu za pomocą TouchGrid był większy niż za pomocą touchpada.

Biorąc pod uwagę stopę błędów (średni błąd standardowy), dla wszystkich zmienianych parametrów (szerokość celu, odległość do celu i liczba celów) badania wykazały stopę błędów dla TouchGrid wyższą niż dla touchpada (w dwóch przypadkach stopa błędów dla obu urządzeń była równa).

Modyfikacje warunków badania, z jakimi można się spotkać w publikacjach, dotyczyły – poza liczbą obiektów (celów) występujących w teście (na okręgu koła) lub wielkości tych obiektów – również zmian sposobu pozyskania (wprowadzenia) obiektów [3].

Badania, które przytoczymy [3], dotyczyły czasu pozyskania obiektu w interfejsie typu „rybie oko” (ang. *Fisheye*) – powiększające się obiekty przy zbliżającym się wskaźniku jak w interfejsie MacOS X. W pracy [3] przedstawiono wyniki dwóch eksperymentów. Pierwszy dotyczył porównania skuteczności różnych form podświetlania obiektu. W drugim eksperymencie badano wydajność pozyskania obiektów (celów), które rozszerzają się wizualnie lub następuje rozszerzenie wizualne wraz z pewną przestrzenią otaczającą (rozszerzenie przestrzeni ruchu).

Stosowane urządzenia – eksperyment I

Eksperyment pierwszy był przeprowadzony na komputerze Intel Pentium 4, 2,8 GHz z systemem Linux Fedora Core 3. Grafikę zapewniała karta graficzna GeForce FX5200. Wykorzystano 19-calowy monitor Compaq z rozdzielczością 1600×1200 (częstotliwość odświeżania monitora 75 Hz). Urządzeniem wejściowym była mysz Labtec z trzema przyciskami.

Badani użytkownicy – eksperyment I

Badanych było 16 użytkowników, wszyscy praworęczni (15 mężczyzn i jedna kobieta) [3].

Procedura badawcza – eksperyment I

Zadania uczestników związane były z wyborem kołowych obiektów (celi) zgodnym z testem wielokierunkowym [6]. Średnica koła obiektów była równa 512 pikseli, natomiast średnica celu zmieniana – 6, 10, 24 i 64 pikseli. Jeśli włączone było rozszerzanie wizualne, średnica celów podwajała się, gdy wskaźnik znajdował się nad obiektem (celem). Następny cel był wskazywany przez niebieskie zabarwienie, wszystkie inne obiekty były szare. Udane wskazanie obiektu sygnalizowano przez zmianę koloru obiektu na zielony, natomiast nieudane wskazanie obiektu powodowało zmianę koloru elementu na czerwony. Po każdym udanym lub nieudanym wskazaniu po upływie 500 ms kolejny cel był podświetlany. Gdy rozszerzanie wizualne było wyłączone, cele pozostawały statyczne (niezmienne). Stosowano kombinacje – wizualne rozszerzanie i podświetlanie, co uniemożliwiało uczestnikom przewidywanie zachowania celu [3].

Wyniki badań i komentarze – eksperyment I

Przeprowadzono 4096 prób (16 użytkowników, 16 bloków badań i 16 wyborów). Zbadany ogólny poziom błędów był równy 4,3%. Wyniki szczegółowe [3]: rozszerzanie wizualne wyłączone i bez podświetlania obiektu poziom błędów 4,2%, rozszerzanie wizualne wyłączone i z podświetlaniem obiektu 3,5%, rozszerzanie wizualne włączone i bez podświetlania obiektu 5,1%, rozszerzanie wizualne włączone z podświetlaniem obiektu 4,3%.

Średni czas wprowadzenia (pozyskania) obiektu (celu) w badaniach dla prób zakończonych poprawnie to 0,93 s (odch. stand. 0,33 s). Jak wynika z badań, rozszerzenie wizualne miało istotny wpływ na średni czas wprowadzenia obiektu. Przy rozszerzeniu wizualnym był on równy 0,917 s (odch. stand. 0,31 s) i 0,945 s (odch. stand. 0,35 s) bez rozszerzenia wizualnego. Podświetlanie obiektu nie miało istotnego wpływu na średni czas wprowadzenia obiektu – 0,928 s (odch. stand. 0,33 s) przy podświetlaniu i 0,934 s (odch. stand. 0,33 s) dla braku podświetlania. Wielkość średnicy celu miała istotny wpływ na średni czas wprowadzenia obiektu (od 0,58 s przy średnicy 64 pikseli do 1,33 s przy 6-pikselowych celach).

Stosowane urządzenia – eksperyment II

Urządzenia były identyczne jak w poprzednim eksperymencie, z tym wyjątkiem, że mysz zastąpiono bezprzewodową myszą mechaniczną Logitech. Aplikację uruchamiano w oknie 700×700 pikseli.

Badani użytkownicy – eksperyment II

Jak w eksperymencie I.

Procedura badawcza – eksperyment II

W drugim eksperymencie badano wydajność pozyskania obiektów (celów), które rozszerzają się wizualnie lub następuje rozszerzenie wizualne wraz z pewną przestrzenią otaczającą (rozszerzenie przestrzeni ruchu) [3]. Rozszerzenie przestrzeni ruchu obejmowało po jednym obiekcie otaczającym w każdą stronę. W eksperymencie zastosowano zmienny typ rozszerzania obiektu: statyczny (w celach porównawczych), rozszerzanie wizualne obiektów i rozszerzanie przestrzeni ruchu. Średnica koła obiektów była równa 512 pikseli jak w eksperymencie I. Zmieniało również szerokość obiektów – 6, 12, 24 i 48 pikseli. Jeśli włączone było rozszerzanie wizualne, średnica celów podwajała się, gdy wskaźnik znajdował się nad obiektem (celem). Wszystkie obiekty na kole celów były czerwone, natomiast następny cel do wyboru był sygnalizowany poprzez czarną obwódkę. Poprawne wybranie celu sygnalizowano poprzez białą obwódkę. Zadania były realizowane w blokach (17 wyborów obiektów). W każdym bloku wszystkie obiekty były tej samej wielkości wizualnej – jeden poziom szerokości celu. Pierwsze dwa cele w każdym bloku były typu statycznego. Pozostałe piętnaście wyborów składało się z pięciu powtórzeń

każdego typu celu, z losowym rozkładem typów celu wokół miejsc na kole obiektów. Uczestnicy wykonywali dziewięć bloków wyborów – początkowy blok przygotowawczy z celami o szerokości 24 pikseli oraz dwa bloki dla każdej szerokości celu w losowej kolejności. Nie uprzedzono użytkowników o typie i charakterze rozszerzania obiektów.

Wyniki badań i komentarze – eksperyment II

W wyniku badań stwierdzono łącznie 28 błędów, poziom błędu równy 1,6%, z tego 10 błędów dla celów statycznych, 12 błędów dla celów z rozszerzeniem wizualnym i 6 błędów dla celów z rozszerzeniem przestrzeni ruchu. Stwierdzono istotny wpływ szerokości celu na poziom błędów, z błędami rosnącymi w miarę zmniejszania się wielkości celu. Dane z badań, które obejmowały błąd, były odrzucane w analizie związanej z czasem wprowadzenia (pozyskania) obiektu [3].

Średni czas pozyskania obiektu dla wszystkich warunków był równy 0,981 s (odch. stand. 0,24 s). Stwierdzono istotny wpływ typu celu na czas pozyskania obiektu, przy czym wartości średnie czasów dla celów statycznych, rozszerzanych wizualnie i z rozszerzoną przestrzenią ruchu były równe 1,033 s (odch. stand. 0,26 s), 0,967 s (odch. stand. 0,20 s) i 0,943 s (odch. stand. 0,24 s) odpowiednio. Stwierdzono również istotny wpływ szerokości celu na czas pozyskania obiektu. Czas działania użytkowników w zależności od typu obiektu scharakteryzowano za pomocą prawa Fittsa (tab. 2).

Tab. 2. Modele prawa Fittsa dla trzech typów obiektów [3]

Typ obiektu	$t_r = a + b ID$	R^2
Stacyjny	$t_r = 0,05 + 0,197 ID$	0,99
Z rozszerzeniem wizualnym	$t_r = 0,24 + 0,145 ID$	0,99
Z rozszerzoną przestrzenią ruchu	$t_r = 0,13 + 0,164 ID$	0,99

Badania wykazały również, że oba typy rozszerzania celów miały największy pozytywny wpływ (zmniejszały czas wprowadzenia obiektu) dla małych celów. Eksperymenty opisane w artykule sugerują, że w przypadku małych celów znaczną poprawę osiągamy poprzez stosowanie rozszerzania wizualnego bez rozszerzania przestrzeni motorycznej. Artykuł zawiera również komentarze uczestników badania dotyczące używanych form rozszerzania obiektów [3].

Badania zgodne z rekomendacjami normy [6], związane z oceną jakości nowego urządzenia (swiftpoint), przedstawiono w pracy [2]. Swiftpoint to urządzenie stosowane zasadniczo w komputerach mobilnych. Urządzenia tego

można używać na każdej płaskiej powierzchni. Jakość urządzenia porównywano z jakością myszy i touchpada – typowych urządzeń wskazujących również dla komputerów mobilnych. Zaletą swiftpointa jest „zmuszanie” użytkownika do trzymania rąk na płaskiej klawiaturze komputera mobilnego, podczas pisania lub przeglądania. Eliminuje się w ten sposób ruch ręki między klawiaturą i myszą, co jest zgodne z zaleceniami Departamentu Pracy Stanów Zjednoczonych, dotyczącymi bezpieczeństwa pracy [2].

Stosowane urządzenia

Eksperyment przeprowadzono, wykorzystując komputer z procesorem AMD Athlon 64 3200+ z 1 GB pamięci RAM. Grafikę zapewniała karta graficzna GeForce 6600 GT. Wykorzystano 19-calowy monitor Compaq 9500 o rozdzielczości 1600×1200 pikseli (częstotliwość odświeżania monitora 75 Hz). System operacyjny Windows XP. Trzy wejściowe urządzenia wskazujące: mysz – Microsoft IntelliMouse, touchpad – Cirque Smart Cat i Swiftpoint użyty z tabletem Wacom CintiqPartner [2].

Badani użytkownicy

Badanymi osobami było 15 praworęcznych studentów (11 mężczyzn i 4 kobiety), średnia wieku 23 lata. Wszyscy uczestnicy badań używali myszy codziennie.

Procedura badawcza

Podstawą eksperymentu był wielokierunkowy test wskazywania zgodny z normą [6]. Eksperyment składał się z 6 bloków zadań dla każdego urządzenia, w którym blok polegał na kliknięciu w 26 celów. Każdy blok miał inny wskaźnik trudności (3,17; 3,91; 4,75; 5,25; 6,25; 6,98), określony przez dwie średnice koła (300 i 500 pikseli) oraz cztery szerokości celu (4, 8, 19 i 34 piksele).

Obiekty umieszczone na kole były koloru czerwonego, natomiast cel, który należało kliknąć podświetlał się na zielono. Po kliknięciu celu, jego kolor zmieniał się na czerwony, a kolejny cel podświetlał się na zielono. W prawym górnym rogu ekranu wyświetlana była stopa błędów. Podczas badań obowiązywały następujące zasady [2]. Należało klikać w obiekty szybko i dokładnie. Blok zadań powinien być wykonywany w sposób ciągły, przerwę można zrobić po ukończeniu bloku zadań. Podwójne kliknięcie w cel lub kliknięcie poza podświetlonym celem były liczone jako błąd. Przy popełnieniu błędów należy zadanie powtórzyć. W czasie realizacji zadań należy utrzymać stopę błędów na poziomie 4% (należało wolniej i dokładniej wybierać obiekty, jeśli poziom błędów przekraczał 4%).

Wyniki badań i komentarze

Na podstawie wyników badań wyznaczono średni czas wybrania obiektu 1,7 s i odchylenie standardowe 0,68 s. Wyniki szczegółowe dla poszczególnych urządzeń przedstawiono w tab. 3.

Tab. 3. Średni czas wybrania obiektu, odchylenie standardowe i błąd standardowy dla trzech urządzeń [2]

Urządzenie	Średni czas [s]	Odch. stand. [s]	Błąd stand.
Mysz	1,24	0,37	0,04
Touchpad	2,23	0,69	0,07
Swiftpoint	1,61	0,51	0,05

Stwierdzono istotny wpływ rodzaju urządzenia wskazującego na uzyskane wyniki. W tabeli 4 przedstawiono czas ruchu (modele prawa Fittsa por. wzór (6)), współczynnik korelacji R^2 między czasem ruchu i wskaźnikiem trudności ID oraz przepustowość P_w (por. wzór (4)) dla trzech stosowanych urządzeń.

Tab. 4. Modele prawa Fittsa, współczynnik korelacji i przepustowość dla trzech urządzeń [2]

Urządzenie	$t_r = a + b ID$	R^2	P_w
Mysz	$t_r = -0,01 + 0,25 ID$	0,95	4,05
Touchpad	$t_r = 0,11 + 0,42 ID$	0,98	2,38
Swiftpoint	$t_r = -0,04 + 0,33 ID$	0,97	3,05

W wynikach badań przedstawiono również szczegółowe wartości średniego poziomu błędów w zależności od wskaźnika trudności. Uczestnicy badań byli bardziej dokładni, gdy używali swiftpointa niż w przypadku używania myszy dla niskich wartości wskaźnika trudności. Dla wyższych wartości wskaźnika trudności uczestnicy badań używający touchpada i swiftpointa koncentrowali się bardziej na szybkości wprowadzania niż na dokładności. Nie dotyczyło to myszy używanej codziennie przez uczestników badań. Dalsze badania przedstawione w pracy [2] dotyczyły wykorzystania tych samych urządzeń w zadaniach nawigacji poprzez zagnieżdżone menu, przeciągania, rysowania i pisania, których większość jest wykonywana regularnie przez użytkowników komputerów podczas interakcji z graficznymi interfejsami użytkownika. Badania te nie będą omawiane, ponieważ zadania te nie dotyczą wielokierunkowego testu wskazywania.

Do okresu badań, w których stosowano klasyczne warunki i typowe urządzenia, można zaliczyć również badania przedstawione w pracy [10]. W badaniach tych badano urządzenia z zastosowaniem zmodyfikowanego testu wielokierunkowego. Badanymi urządzeniami były prototypowe (jak zaznaczono) nastawniki kulowe typu Trackmouse (WingMan, proste urządzenie z sieci marketów Auchan, TrackMan i Marble Mouse) – dwa ostatnie urządzenia

firmy Logitech [10]. Test wielokierunkowy wykorzystano tylko w pierwszym eksperymencie i tylko do wybrania prototypu Trackmouse, który był wykorzystywany w dalszych doświadczeniach. Wykonywano zadania typowe dla testu w normie [6] oraz zadania z dwoma wskaźnikami, używając funkcji myszy i manipulatora kulowego Trackmouse. Zadanie klasyczne (30 obiektów rozłożone na okręgu) realizowano przy średnicy koła równej 22 cm, dla czterech różnych wielkości celów (5, 10, 20 albo 40 mm). Zadanie z dwoma wskaźnikami polegało na wyborze kolejnych obiektów, raz jednym, raz drugim wskaźnikiem, wzdłuż okręgu koła. Nie przesuwano wskaźników przez średnicę koła, ale wymagało to od uczestników badania przenoszenia (i koncentracji) uwagi z jednego na drugi wskaźnik.

Badania w dalszych eksperymentach przedstawionych w pracy [10] dotyczyły zadania zakreszania obiektów (zakreślenie elipsą kropek o określonym kolorze), wyboru obiektów na pasku narzędziowym i obiektów w trzech różnych odległościach z uwzględnieniem treningu w wykorzystaniu urządzeń. Badania te nie będą omawiane, ponieważ zadania te nie dotyczą wielokierunkowego testu wskazywania.

Wielokierunkowy test wskazywania, w zasadzie zgodny z normą ISO 9241-9, był używany w eksperymencie dotyczącym wskazywania obiektów za pomocą zaprojektowanego tzw. bezpośredniego wskaźnika (ang. *Direct Pointer*) na wielkoformatowym zobrazowaniu (70-calowy wskaźnik) [11]. Bezpośredni wskaźnik pozwala na bezpośrednią manipulację wskaźnikiem (kursorem) na ekranie z ciągłym wizualnym sprzężeniem zwrotnym, bardzo przypominając wskaźnik laserowy. Umożliwia on interakcje z dużymi wyświetlaczami intuicyjnie przy użyciu kamery, w które wyposażone są urządzenia przenośne (np. telefony komórkowe i palmtopy). Wyniki badań bezpośredniego wskaźnika porównano z uzyskanymi z literatury wynikami badań innych systemów interakcji, które oceniano na podstawie tego samego testu.

3.3. Okres stosowania zmiennych warunków i nietypowych urządzeń

Od roku 2007 zaczynają się pojawiać badania, w których stosowano zmienne warunki badań i nietypowe urządzenia wejściowe. Do takich badań należą badania przedstawione w pracy [25]. Badania te oparte na teście wielokierunkowym [6] dotyczyły śledzenia ruchu oczu (ang. *Eye tracking*) wykonujących zadania wskazywania i wybierania. Oceniano trzy techniki ruchu oczu przy wskazywaniu oraz wybieraniu obiektów i porównywano je z zadaniami realizowanymi za pomocą standardowej myszy.

Stosowane urządzenia

Urządzeniem wejściowym był system śledzenia oczu przy nieruchomej głowie [25]. Stosowano nieruchomą kamerę termowizyjną skierowaną na „dominujące” oko użytkownika. Wykorzystywano 19-calowy monitor LCD o rozdzielczości 1280×1024 pikseli. Uczestnik badań siedział w odległości około 60 cm od ekranu. Urządzenie śledzące oko umożliwiało próbkowanie z częstotliwością 30 Hz z dokładnością od 0,25° do 1,0° kąta widzenia. Przed pierwszym użyciem w czasie badania stosowano kalibrację urządzenia śledzącego.

Badani użytkownicy

Badanymi osobami było szesnastu uczestników (11 mężczyzn, 5 kobiet). Wiek uczestników wahał się od 22 do 33 lat (średnia 25 lat). Wszyscy codziennie korzystali z komputera (4 do 12 h użytkowania dziennie – średnia 7 h). Żaden z uczestników nie miał wcześniejszego doświadczenia ze śledzeniem oczu. Wszyscy uczestnicy mieli normalny wzrok, z wyjątkiem jednego uczestnika, który nosił soczewki kontaktowe. Dziewięciu uczestników miało prawe oko dominujące, siedmiu lewe oko dominujące, co określono za pomocą testu dominacji oka [25].

Procedura badawcza

W badaniach stosowano następujące techniki ruchu oczu przy wskazywaniu oraz wybieraniu obiektów [25]:

- ETL – technika wybór okiem długi (ang. *Eye Tracking Long*), polegająca na spojrzeniu na cel na ekranie i zatrzymaniu na nim wzroku na 750 ms, aby dokonać wyboru;
- ETS – technika wybór okiem krótki (ang. *Eye Tracking Short*), polegająca na spojrzeniu na cel na ekranie i zatrzymaniu na nim wzroku na 500 ms, aby dokonać wyboru;
- ESK – technika oko + wybór spacją (ang. *Eye+Spacebar*), polegająca na spojrzeniu na cel na ekranie i naciśnięciu spacji, aby dokonać wyboru.

Wymienione techniki wyboru porównywano z klasyczną techniką wyboru obiektów za pomocą myszy (M).

Poza 16 obiektami (celami) umieszczonymi na okręgu koła (liczba celi inna niż w normie [6]), w środku koła był umieszczony obiekt (czerwony kwadrat z białym tłem), na którym badana osoba musiała skoncentrować (zogniskować) wzrok przed każdą próbą. Po skoncentrowaniu wzroku zniknął kwadrat środkowy i następowała rejestracja czasu. Następne skoncentrowanie wzroku następowało na wybranym obiekcie (niebieska kropka z niebieskim obrysem). Jeśli wybór obiektu nie nastąpił w ciągu 2,5 s, to rejestrowano błąd związany z czasem (błąd czasu). Potem następowała kolejna próba. Jeśli wzrok

skoncentrowano na celu w czasie $\leq 2,5$ s, to wybór był poprawny, czas był zarejestrowany i obraz obiektu zmieniał się na czerwoną kropkę z białym tłem.

W badaniach przyjęto następujące parametry: szerokości celu 75 pikseli i 100 pikseli; odległości obiektów 275 pikseli i 350 pikseli; liczba prób 16.

Wyniki badań i komentarze

Na podstawie wyników badań wyznaczono przepustowość jak w zależności (4). Najlepszą techniką (najwyższa przepustowość) była ESK spośród trzech technik śledzenia oczu (3,78 bita/s). Pozostałe techniki – ETS 3,06 bita/s i ETL 2,3 bita/s. Natomiast mysz, zgodnie z przewidywaniami, miała przepustowość 4,68 bita/s [25].

Wyznaczono również czas wskazania i wyboru (suma czasu pozycjonowania wzroku i czasu wyboru). Technika ESK była najlepsza pod tym względem, nawet w porównaniu z myszą. Ponadto wszystkie techniki różniły się istotnie pod względem czasu wskazania i wyboru w stosunku do myszy, poza techniką ETS.

Jeśli wziąć pod uwagę poziom błędu i błąd czasu, to dla technik ETL i ETS, uczestnicy wybierali cel przez zatrzymanie wzroku na nim. Wynikiem był zatem albo wybór albo błąd czasu. W związku z tym, poziom błędu dla ETL i ETS był równy zeru, natomiast błąd czasu był równy 19,34% i 14,65% odpowiednio. Błędy te były spowodowane głównie przez fluktuacje oczu i dokładność systemu śledzącego oko. Dla techniki ESK błąd czasu był równy 2,89%, co było znacznie bliższe wartości 1,07% błędu czasu dla myszy, w porównaniu z innymi technikami. Jednakże technika ESK miała wysoki poziom błędu (16,94%). Jest to klasyczny problem kompromisu dokładności i szybkości. Poziom błędu w technice ESK zmieniał się znacznie dla wszystkich uczestników badania (odchylenie standardowe 11,43%). Analiza danych [25] ujawniła, że dla technik ETL, ETS i ESK błąd czasu dla obiektów dużych był niższy niż dla obiektów małych, czego należało się spodziewać.

W pracy [25] przedstawiono również wyniki wypełniania kwestionariusza oceny urządzenia przez uczestników badania (12 pytań). Pytania dotyczyły w ogólności śledzenia okiem w porównaniu do innych technik śledzenia oczu, obciążenia i komfortu użytkowania systemu śledzenia oczu. Uczestnicy badania preferowali technikę ESK spośród stosowanych technik.

Jak zaznaczono w pracy [25], była to pierwsza ocena technik śledzenia oczu zgodna z normą [6]. Badania wykazały, że technika ESK była najlepsza spośród pozostałych badanych technik.

Uzupełnieniem do przedstawionych w pracy [25] badań jest fragment późniejszych badań przedstawiony w publikacji [12]. W badaniach tych oceniano i porównywano czas zatrzymania wzroku w stosunku do mrugnięcia, które pozwalało wybrać cel.

Stosowane urządzenia

Stosowano system śledzenia EyeTech Digital Systems³ TM3 pracujący z oprogramowaniem Quick Glance version 5.0.1. Komputer laptop Lenovo 3000 N100 z ekranem 15-calowym z systemem Microsoft Windows XP. Urządzenie śledzące oko umożliwiało próbkowanie z częstotliwością 30 Hz z polem widzenia 16×12 cm i gęstością pikseli 64,6 piksela/cm [12].

Badani użytkownicy

Badane osoby to 12 uczestników (9 mężczyzn, 3 kobiety). Żaden z uczestników nie miał wcześniejszego doświadczenia ze śledzeniem oczu. Wszyscy uczestnicy mieli normalny wzrok, z wyjątkiem jednego uczestnika, który nosił soczewki kontaktowe.

Procedura badawcza

W badaniach przyjęto następujące parametry [12]:

- metoda wprowadzenia obiektu – mrugnięcie (eye tracker), zatrzymanie wzroku (eye tracker), mysz;
- szerokość celu (średnica) 16 i 32 piksele (6, 12 mm);
- odległość celu – 256, 512 pikseli;
- cztery bloki badań.

Zarówno dla mrugnięcia, jak i zatrzymania wzroku czas był ustawiony na 500 ms. Procedura badania odpowiadająca normie [6] była częściowo podobna do procedury przedstawionej w pracy [25]. Różnice dotyczyły braku obiektu w centrum koła z celami i podświetlania na czerwono obiektu wybieranego.

Wyniki badań i komentarze

Mysz miała znacznie większą przepustowość niż metody wykorzystujące system śledzenia oka (eye tracking). Przepustowość dla myszy była równa 4,79 bita/s, wartość ta jest bardzo bliska wartości 4,68 bita/s z poprzedniego badania [25] (przy użyciu innego komputera i innego oprogramowania). Wynik ten świadczy o stałości zasad normy ISO 9241-9 w ocenie urządzeń wskazujących. Dla pozostałych metod przepustowość była równa 1,79 bita/s dla metody z zatrzymaniem wzroku i 1,16 bita/s dla metody wyboru z mrugnięciem.

Biorąc pod uwagę niewielkie cele w tym badaniu, poziomy błędów były wysokie (czego można było się spodziewać) – sięgały 50-80% dla metod wykorzystujących system śledzenia oka (w zależności od bloku badań). Uwagi związane z małą dokładnością wyboru obiektów dotyczą głównie małej wielkości celów na ekranie. Wymiary obiektów 32 i 16 pikseli, czyli około 12 mm i 6 mm w połączeniu z odległością widzenia około 60 cm, dają mały kąt widzenia 1,15° i 0,57° odpowiednio.

Badania przedstawione w pracy [18] dotyczyły wpływu opóźnienia oraz przestrzennych fluktuacji urządzenia wejściowego na szybkość wskazywania obiektów i dokładność. Porównywano przepustowość dla różnych wielkości opóźnienia pomiędzy ruchem urządzenia i ruchem wskaźnika na ekranie oraz dla różnych wielkości drgań przestrzennych wskaźnika. Badania wykorzystywały test wielokierunkowy przedstawiony w normie [6].

Stosowane urządzenia

W badaniach wykorzystano komputer stacjonarny oparty na Intel Pentium 4, 2,4 GHz, z pamięcią 1 GB RAM. Urządzeniem wejściowym była mysz optyczna Microsoft Wheel.

Badani użytkownicy

Uczestnikami badania było dwanaście osób (w tym ośmiu mężczyzn) w wieku od 19 do 31 lat (średnia wieku 23 lata). Wszyscy byli praworęczni. Badanie trwało 30-40 minut [18].

Procedura badawcza

Test wielokierunkowy stosowany w badaniach zawierał 13 obiektów (celów) umieszczonych na okręgu koła (liczba celów inna niż w normie [6]). Badanie przebiegało wg klasycznej procedury (cele wybierane naprzemiwno, podświetlanie celu). Oprogramowanie rejestrowało rozmiary celów, odległości między celami, czasy kliknięć między celami, błędy i współrzędne ekranowe każdego kliknięcia. Uczestnicy badania siedzieli przed ekranem komputera, w odległości około 0,6 m. Przed badaniem uczestnicy zostali zapoznani z systemem i mogli go wypróbować.

W badaniach stosowano następujące wielkości zmieniane:

- opóźnienie 33, 58, 83, 108 i 133 ms;
- drgania (fluktuacje) przestrzenne $0, \pm 4, \pm 8, \pm 12$ i ± 16 pikseli;
- szerokość celu (średnica) 14, 35 i 91 pikseli;
- amplitudy celu (średnica okręgu) 416 i 728 pikseli.

Połączenie szerokości celów i średnicy okręgu tworzy równomierne odstępy wartości wskaźnika trudności od 2,5 do 5,7 bita. Każdy uczestnik wykonywał 150 rund z różnymi wartościami parametrów [18].

Wyniki badań i komentarze

Wyznaczono następujące wielkości [18]:

- przepustowość urządzenia (bit/s), obliczone jak w zależności (4);
- procent celów nie trafionych (procent błędów, poziom błędów) w każdej rundzie.

Sprawdzono, że istotny był wpływ opóźnienia na przepustowość. Analizując wyniki przedstawione na wykresie, można wywnioskować, że im

większe opóźnienie, tym mniejsza wartość przepustowości. Związek między wielkością opóźnienia i szerokością obiektu miał istotny wpływ na przepustowość. Dla każdej wartości opóźnienia – im mniejszy obiekt, tym mniejsza przepustowość.

Sprawdzono, że wpływ drgań (fluktuacji) na przepustowość był istotny. Analizując wyniki, można wywnioskować, że im większe drgania, tym mniejsza wartość przepustowości. Związek między wielkością drgań i szerokością obiektu miał istotny wpływ na przepustowość. Dla każdej wielkości drgań – im mniejszy obiekt, tym mniejsza przepustowość.

Wpływ szerokości celu na przepustowość był również istotny (większa szerokość celu – wyższa przepustowość). Podobnie wpływ amplitudy celu (średnicy okręgu) był istotny (3,93 bita/s dla 416 pikseli w porównaniu do 4,09 dla 728 pikseli). Wpływ wskaźnika trudności na przepustowość był również istotny.

Sprawdzono, że istotny był wpływ opóźnienia na poziom błędów. Związek między wielkością opóźnienia i szerokością obiektu miał istotny wpływ na poziom błędów. Stwierdzono również, że wpływ wielkości drgań (fluktuacji) na poziom błędów był istotny. Związek między wielkością drgań i szerokością obiektu miał istotny wpływ na poziom błędów.

Wpływ szerokości celu na poziom błędów był również istotny (większa szerokość celu – niższy poziom błędów). Nie stwierdzono statystycznej istotności wpływu odległości celów na poziom błędów.

Stwierdzono, że istotny był wpływ opóźnienia na czas przemieszczania wskaźnika na ekranie. Związek między wielkością opóźnienia i szerokością obiektu miał istotny wpływ na czas przemieszczania wskaźnika na ekranie. Zarówno amplituda celu (średnica okręgu), jak i szerokość celu miały istotny wpływ na czas przemieszczania wskaźnika na ekranie (większa szerokość celu – krótszy czas przemieszczania wskaźnika).

Szczegółowe wyniki badań przedstawione są na wykresach [18]. Ogólnie patrząc na wyniki, można zaobserwować, że wydajność spada ze wzrostem opóźnień i drgań przestrzennych. Wzrasta również poziom błędów. Należy zwrócić uwagę, że w badaniach nie wyznaczono wielkości stałych występujących w równaniu prawa Fittsa (por. wzór (6)).

Różnicowanie (porównywanie) urządzeń z zastosowaniem testu wielokierunkowego przedstawiono w pracy [17]. Badania porównawcze dotyczyły porównania prototypu kontrolera gry do standardowego kontrolera gier. W prototypowym kontrolerze zastąpiono trackballem prawy analogowy dżączek standardowego kontrolera gier (używanego do wskazywania i sterowania kamerą).

Stosowane urządzenia

Używano projektora DLP NEC NP60 (rozdzielczość 1024×768) w celu symulowania ekranu wielkoformatowego, ponieważ użytkownicy zwykle używają konsoli do gier na dużym ekranie telewizyjnym [11]. Zastosowano komputer z systemem Windows XP. Uczestnicy badań siedzieli 3 metry od wyświetlanego obrazu. Przekątna wyświetlanego obrazu była równa 115 cm.

Prototyp kontrolera trackballa został zbudowany z przewodowego kontrolera Microsoft Xbox 360 oraz trackballa Logitech Trackman Wheel. W prototypie pokrętko zastąpiono trackballem [17]. Użyto oprogramowania, które umożliwia emulację wejścia kontrolera gier.

Badani użytkownicy

Badaniami objęto dwie grupy uczestników, początkujących graczy (5 kobiet i 5 mężczyzn) i zaawansowanych użytkowników kontrolera (10 mężczyzn). W kwestionariuszu pytano uczestników o doświadczenie w używaniu standardowych kontrolerów gier.

Początkujący użytkownicy – średnia wieku wynosiła 25,3 (odch. stand. 3,19). Zaawansowani użytkownicy – średnia wieku wynosiła 25,2 (odch. stand. 3,96).

Procedura badawcza

W eksperymencie zastosowano test wielokierunkowy [6]. Siedemnaście okrągłych celów było rozłożonych na wyśrodkowanym na ekranie okręgu. Cele były umieszczone w regularnych odstępach wzdłuż obwodu koła (zgodnie z normą ISO 9241-9). Następny cel do kliknięcia był podświetlony na czerwono. Kliknięcie w pierwszy aktywny cel zaczynało próbę i przeciwległy cel stawał się aktywny. Przy braku trafienia w cel pojawiał się sygnał dźwiękowy.

Po zakończeniu wszystkich prób dla danego okręgu, pojawiało się podsumowanie wyników uczestnika. Po akceptacji pojawiał się następny okrąg z obiektami dla kolejnego wskaźnika trudności ID.

W badaniach stosowano następujące wielkości zmieniane [17]:

- doświadczenie (uczestnicy początkujący, zaawansowani);
- rodzaj kontrolera (standardowy, z trackballem);
- szerokość celu (średnica) 20, 35 pikseli;
- odległość celów (średnica okręgu) 128, 256 i 512 pikseli;
- siedem bloków zadań.

Rejestrowano czas między kliknięciami i fakt błędnego wyboru obiektu. Uczestnicy badania byli wcześniej instruowani o zadaniach i wykonywali pojedyncze badanie treningowe.

Wyniki badań i komentarze

Wyniki dla początkujących uczestników. Średnia przepustowość standardowego kontrolera dla wszystkich siedmiu bloków była równa 1,68 bita/s (odch. stand. 0,07). Przepustowość kontrolera z trackballem była równa 2,69 bita/s (odch. stand. 0,14). Różnice te były istotne statystycznie.

Wyniki dla zaawansowanych uczestników. Średnia przepustowość standardowego kontrolera dla wszystkich siedmiu bloków była równa 2,01 bita/s (odch. stand. 0,08). Przepustowość kontrolera z trackballem była równa 3,19 bita/s (odch. stand. 0,19). Różnice te były istotne statystycznie.

Dla początkujących użytkowników i dla standardowego kontrolera, średni poziom błędu był równy 5,81% (odch. stand. 0,57%) i 2,96% (odch. stand. 0,44%) dla kontrolera z trackballem. Różnica ta nie była statystycznie istotna. Dla grupy zaawansowanej i dla standardowego kontrolera, średnia stopa błędu była równa 5,87% (odch. stand. 0,80%) i 5,63% (odch. stand. 0,91%) dla kontrolera z trackballem. Wyniki te również nie były statystycznie istotne.

Wyznaczano również tzw. błąd ruchu [17] – miarę obliczaną na podstawie współrzędnych ścieżki ruchu wskaźnika, oznaczającą średnią odchylenia punktów od osi zadania (miara bezwzględna przy przyjęciu, że oś zadania ma $y = 0$). Wyniki te wskazują, że ścieżka wskaźnika jest gładzsza dla standardowego kontrolera. Pomimo tego można stwierdzić, że kontroler z trackballem oferuje znaczną poprawę wydajności, zarówno dla początkujących, jak i zaawansowanych użytkowników, w stosunku do standardowego kontrolera.

Na wykresach przedstawiono szczegółowe wyniki uzyskane dla każdego bloku zadań. Pokazano również typowe ścieżki ruchu wskaźnika między wybieranymi obiektami dla obu kontrolerów [17].

Badania nietypowej metody wprowadzania przedstawiono w pracy [16]. Oceniano pochylenie jako metodę wprowadzania dla urządzeń mobilnych z wbudowanym akcelerometrem, takich jak telefony z ekranem dotykowym i tablety. Badano, w jakim stopniu użytkownicy mogą sterować obiektem na ekranie przy użyciu pochylenia urządzenia oraz jakie parametry pochylenia i w jaki sposób wpływają na wydajność użytkowników.

Stosowane urządzenia

Badania przeprowadzono, używając tabletu Samsung Galaxy Tab 10.1 z systemem operacyjnym Android 3.1. Sterowanie pochyleniem zostało zrealizowane za pomocą wbudowanego akcelerometru urządzenia. Czujnik został skonfigurowany do działania z częstotliwością próbkowania 50 Hz. Wartości pochylenia i obrotu były przeliczane na wielkość przechylenia i kąt przechylenia. Dane te wykorzystywano do sterowania kierunkiem i szybkością wirtualnego toczenia kulki w interfejsie. Szybkość kulki była liniową funkcją wielkości pochylenia [16].

Badani użytkownicy

Badanymi użytkownikami było 16 osób (9 mężczyzn i 7 kobiet), w wieku od 19 do 39 lat (średnia = 26 lat, odch. stand. 5,0) [16]. Większość uczestników badania zgłaszało niewielką znajomość interakcji opartych na nachyleniu. Sześć osób nigdy go nie używało i osiem używało go jedynie sporadycznie (kilka razy w miesiącu). Pozostali dwaj uczestnicy stosowali interakcje oparte na nachyleniu częściej.

Procedura badawcza

W badaniach stosowano test wielokierunkowy [6]. Zadaniem użytkowników było przechylenie urządzenia w celu sterowania kierunkiem i szybkością wirtualnej kulki. Zmierzone pochylenie było zmieniane (mnożone) przez wzmocnienie możliwe do ustawienia. Kulkę należało przenieść z jednego kółka (celu) do drugiego. Na okręgu było umieszczonych dwanaście kółek (celów). Wirtualna kulka miała średnicę 20 pikseli. W badaniach użyto trzech rozmiarów kółek (celów) 40, 60 i 100 pikseli. Zastosowano trzy średnice okręgu, na którym były umieszczone cele 125, 250 i 500 pikseli (500 pikseli = 8,5 cm na ekranie). W tej sytuacji wskaźnik trudności zadania wahał się od 1,36 bita do 4,7 bita.

Realizowano dwa tryby wyboru obiektu na okręgu. Jednym z trybów było „pierwsze wprowadzenie”, gdzie próba kończy się, gdy kulka pierwszy raz wchodzi w kółko celu. Drugi z trybów to „utrzymywanie kulki”, gdzie próba kończy się po tym, jak kulka jest utrzymywana wewnątrz kółka celu w określonym przedziale czasu. Dla tego trybu należało utrzymywać kulkę w celu przez 500 ms. Oba tryby wyboru wymagały, aby kulka całkowicie zmieściła się w kółku celu. Podczas eksperymentu uczestnicy siedzieli i trzymali tablet w komfortowej dla siebie pozycji. Uczestnicy mogli wykonać kilka prób treningowych przed rozpoczęciem zbierania danych. Blok badań składał się z dziewięciu sekwencji (3 średnice okręgu \times 3 szerokości celów) prezentowanych w losowej kolejności. Sekwencja składała się z dwunastu wyborów celów. Po badaniach pilotażowych do badania użytkowników zostały wybrane cztery ustawienia wzmocnienia pochylenia 25, 50, 100 i 200 [16].

Wyniki badań i komentarze

Wyniki badań dotyczące czasu ruchu kulki były następujące. Średni czas ruchu dla całego eksperymentu był równy 2026 ms. Zgodnie z oczekiwaniami, wpływ trybu wyboru obiektu na okręgu na czas ruchu był statystycznie istotny. Średni czas dla trybu pierwsze wprowadzenie był równy 1404 ms, natomiast dla trybu utrzymywanie kulki wewnątrz kółka celu był równy 2647 ms. Czas ten jest znacznie większy niż naturalna różnica 500 ms i uzasadniono to problemami ze sterowaniem kulką przy wyższym wzmocnieniu pochylenia.

Wpływ wzmocnienia pochylenia na czas ruchu kulki był również istotny statystycznie. Przy wzmocnieniu 50 uzyskano najkrótszy czas ruchu (1900 ms), przy wzmocnieniu pochylenia 200 najdłuższy czas (2210 ms) [16].

Jako miarę dokładności podano średnią zmienność od bezpośredniej ścieżki w każdych warunkach (była ona między 7 i 19 pikseli). Tryb wyboru obiektu i wzmocnienie pochylenia były istotne statystycznie. W wynikach badań podano również parametry modelu czasu ruchu (modele prawa Fittsa por. wzór (6)), współczynnik korelacji R^2 między czasem ruchu i wskaźnikiem trudności ID , dla różnych wartości wzmocnienia pochylenia (tab. 5).

Tab. 5. Modele prawa Fittsa i współczynnik korelacji dla różnych trybów wyboru obiektu i różnych wartości wzmocnienia pochylenia [16]

Wzmocnienie pochylenia	Pierwsze wprowadzenie			Utrzymywanie kulki 500		
	a	b	R^2	a	b	R^2
25	38,6	486	0,9654	222,9	789	0,9923
50	91,6	427	0,9829	91,7	814	0,9810
100	11,1	473	0,9648	13,5	894	0,9668
200	7,6	491	0,9443	-270,6	1116	0,8841

Wyniki wykazały, że wzmocnienie pochylenia w zakresie od 50 do 100 jest optymalne dla czasu ruchu kulki i przepustowości. Wybór obiektu w trybie pierwsze wprowadzenie jest szybszy niż utrzymanie kulki i powinien być stosowany w aplikacjach. Badania wykazały, że pochylenie jako wejście prymitywne – jest zgodne z prawem Fittsa, chociaż wydajność jest niższa o połowę w stosunku do myszy komputerowej [16].

W interfejsach typu wskaż i kliknij lokalizacja celów jest czasem znana użytkownikowi przed jej identyfikacją wizualną, a czasem nie. W eksperymencie przedstawionym w pracy [8] badano, jak wskazywanie obiektów jest skuteczne, gdy lokalizacja celu jest wskazana wcześniej tak, że użytkownicy wiedzą z góry, gdzie jest cel lub nie jest znane wcześniej położenie celu.

Stosowane urządzenia

Badania prowadzono na laptopie HP 1,86 GHz z myszą przewodową, wbudowanym touchpadem typu Synaptics Touchpad o wymiarach 68 mm × 39 mm i 15-calowym ekranem o rozdzielczości 1024×768 pikseli. Mysz miała dwa przyciski, ale tylko lewego przycisku używano w eksperymencie. Wybór za pomocą touchpada wykonywano poprzez puknięcie w powierzchnię lub wciśnięcie lewego przycisku [8].

Badani użytkownicy

Badano 36 osób – 18 kobiet i 18 mężczyzn w wieku od 12 do 69 lat (średnia wieku 34,75, odch. stand. 21,17). Wszyscy byli praworęczni i mieli

doświadczenie w użyciu myszy i touchpada. Uczestnicy badań byli podzieleni na 3 grupy wiekowe po 12 osób. Grupa pierwsza (młodzi) – osoby w wieku od 12 do 14 lat. Grupa druga (dorośli) – osoby w wieku od 25 do 33 lat. Grupa trzecia (starsi) – osoby w wieku od 61 do 69 lat. Wszyscy uczestnicy wykorzystywali w badaniach zarówno mysz, jak i touchpad. Połowa uczestników w każdej grupie wiekowej stosowała mysz na pierwszą połowę sesji i touchpada w drugiej połowie sesji. Druga połowa osób w grupie wiekowej stosowała touchpad, następnie mysz.

Procedura badawcza

W zadaniach eksperymentalnych osiem obiektów było rozmieszczonych na okręgu wokół obiektu centralnego, a uczestnicy byli zobowiązani do wybierania na przemian obiektu w centrum i jednego z ośmiu otaczających obiektów. Cel, który uczestnik powinien wybrać jako następny, był podświetlony na czerwono, podczas gdy inne obiekty były jasnoniebieskie, wszystkie obiekty na czarnym tle. Wybrany cel wracał do koloru jasnoniebieskiego, a kolejny cel stawał się czerwony. Pierwszym celem w każdym zadaniu był obiekt w centrum. Jego wybór zapoczątkowywał zadania [8].

Uczestnicy nie wiedzieli, który z ośmiu otaczających obiektów będzie do wyboru, ponieważ porządek wyboru celu był losowy (co drugi wybór). Natomiast położenie obiektu centralnego było znane. Wskazanie celu odbywało się przez stałą lokalizację obiektu centrum i systematycznie poprzez wybranie obiektu naprzeciw po wybraniu obiektu wskazanego losowo.

W badaniach stosowano następujące wielkości zmieniane [8]:

- wskazanie celu (ze wskazaniem i bez wskazania – dwa poziomy);
- odległość do celu (70 pikseli (mały), 175 pikseli (średni) lub 350 pikseli (duży));
- wielkość celu (małe cele średnica 6 pikseli, duże cele średnica 21 pikseli);
- rodzaj urządzenia (mysz, touchpad).

Każde zadanie składało się z 32 prób i obejmowało jeden poziom odległości do celu, jeden poziom wielkości celu i oba poziomy wskazania celu. Próby w zadaniach były na przemian ze wskazaniem i bez wskazania celu [8].

Wyniki badań i komentarze

Analizowano tylko wyniki uzyskane z drugiego bloku, żeby uniknąć efektów uczenia się. Odrzucono również 1,5% wszystkich wyników ze względu na dużą rozbieżność

Wyniki badań dotyczące poziomu błędów podano w tab. 6. Wykazano, że nie ma istotnych związków między wskazaniem celu oraz dowolnym urządzeniem wskazującym, odległością do celu i wielkością celu.

Tab. 6. Procent [%] błędów dla badanych urządzeń, odległości do celu i wielkości celu dla celi ze wskazaniem i bez wskazania [8]

	Cele ze wskazaniem		Cele bez wskazania	
	Średnia	Odch. stand.	Średnia	Odch. stand.
Urządzenie				
Mysz	8,3	0,9	8,2	1,0
Touchpad	10,8	1,2	9,2	1,1
Odległość do celu				
70 pikseli	8,8	1,0	9,2	1,1
175 pikseli	9,9	1,1	9,5	0,9
350 pikseli	10,1	1,0	10,6	1,0
Wielkość celu				
6 pikseli	13,5	1,4	14,1	1,3
21 pikseli	5,6	0,6	5,5	0,7
Całkowity	9,6	0,9	9,8	0,9

Wyniki badań dotyczące czasów wykonania prób podano w tab. 6. Wykazano, że są istotne związki między wskazaniem celu oraz odległością do celu i wielkością celu.

Tab. 7. Czasy [ms] wykonania prób dla badanych urządzeń, odległości do celu i wielkości celu dla celi ze wskazaniem i bez wskazania [8]

	Cele ze wskazaniem		Cele bez wskazania	
	Średnia	Odch. stand.	Średnia	Odch. stand.
Urządzenie				
Mysz	1199	25	1393	29
Touchpad	2172	65	2324	66
Odległość do celu				
70 pikseli	1438	38	1596	40
175 pikseli	1702	44	1844	39
350 pikseli	1917	44	2135	51
Wielkość celu				
6 pikseli	2017	50	2221	54
21 pikseli	1381	33	1536	35
Całkowity	1686	41	1858	42

Różnice w średnim czasie realizacji próby między celami ze wskazaniem i celami bez wskazania były większe dla dużej odległości do celu (218 ms), niż dla małych i średnich odległości do celu (158 ms i 142 ms, odpowiednio). Również różnice w średnim czasie realizacji próby między celami ze wskazaniem i celami bez wskazania były większe dla małych celów (204 ms) niż większych celów (155 ms).

W wynikach badań [8] podano również parametry modelu czasu ruchu (modele prawa Fittsa por. wzór (6)), współczynnik korelacji R^2 między czasem ruchu i wskaźnikiem trudności ID , dla celów ze wskazaniem i celów bez wskazania (tab. 8).

Tab. 8. Modele prawa Fittsa i współczynnik korelacji dla celów ze wskazaniem i bez wskazania dla badanych urządzeń [8]

Urządzenie	Cele	$t_r = a + b ID$ [ms]	R^2
Mysz	Ze wskazaniem	$t_r = 224 + 250 ID$	0,93
	Bez wskazania	$t_r = 243 + 293 ID$	0,93
	Ogółem	$t_r = 233 + 272 ID$	0,86
Touchpad	Ze wskazaniem	$t_r = 756 + 358 ID$	0,92
	Bez wskazania	$t_r = 913 + 355 ID$	0,93
	Ogółem	$t_r = 835 + 357 ID$	0,90

Opisywane badania [8] wykazały, że wskazanie celu wpłynęło zaskakująco niewiele na wyniki grup wiekowych. Nie stwierdzono istotnych związków pomiędzy wskazaniem celu i wiekiem grupy dla każdego z poziomu błędów i czasu realizacji próby. Wyniki badań zawierają również czasy reakcji, czasy ruchu i czasy wyboru dla celów ze wskazaniem i celów bez wskazania. Czasy te w sumie tworzą czas próby.

Przedstawione wyżej omówienia prowadzonych w ostatnich latach badań nie byłyby pełne, gdyby nie zasygnalizować badań, w których test wielokierunkowy [6] był wykorzystywany w dość specyficznych warunkach.

W badaniach przedstawionych w pracy [23] badano działania osób upośledzonych motorycznie (np. choroba Parkinsona, dystrofia mięśniowa) wykorzystujących tzw. mysz kątową (ang. *Angle mouse*). W badaniach wykorzystano wielokierunkowy test wskazywania [6]. Sprawdzano, czy mysz kątowa może poprawić wydajność wskazywania obiektów w porównaniu do standardowej myszy systemu Windows i tzw. lepiących się ikon (przyciągające ikony), ale bez zmian dla użytkowników pełnosprawnych. Badania wykazały, że

mysz kątowa umożliwia uzyskanie wyższej przepustowości niż domyślna mysz Windows i lepiące się ikony.

Językowy system kierowania (ang. *Tongue Drive System* – TDS) to mobilna technika bezprzewodowa, która umożliwia osobom z poważnymi uszkodzeniami motorycznymi dostęp do komputerów, sterowanie wózkiem inwalidzkim itp., wykorzystując ruch języka. W badaniach przedstawionych w pracy [24] oceniano takie urządzenie wejściowe komputera w różnych zadaniach, z których jednym był test wielokierunkowy [6]. System kierowania TDS wykorzystywał piercing języka magnezem i odpowiednie sensory nagłowne. Badania obejmowały również wprowadzanie poleceń palcem na ograniczonej liczbie klawiszy klawiatury. Wyniki badań to przepustowość, stopa błędów, czas realizacji zadania i tzw. efektywność ścieżki wskaźnika.

Badaniami związanymi z wielokierunkowym testem wskazywania są badania przedstawione w pracy [21]. Badano funkcje nowego bezprzewodowego prototypu interfejsu nazwanego Face Interface. Prototyp łączy wykorzystanie kierunku spojrzenia (eye tracking) i aktywacji mięśni twarzy dla odpowiedniego wskazywania i wybierania obiektów na ekranie komputera. Używano marszczenia brwi i podnoszenia brwi, jako metod wyboru celu. Cele wybierane o trzech średnicach pokazywane były na ekranie na siedmiu różnych odległościach i w ośmiu kierunkach (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, i 360°). Wyniki pokazały, że metoda podnoszenia brwi była szybszą metodą wyboru obiektów niż metoda marszczenia brwi dla znacznego zakresu odległości pojawiających się obiektów.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wielokierunkowy test wskazywania stosowany w badaniach jakości wskazujących urządzeń wprowadzania. Przedstawiono również wybrane badania opisywane w literaturze, wykorzystujące ten test do oceny jakości działania urządzeń. Badania obejmują publikacje z ostatnich lat.

Zestawienie uzyskanych wyników z badań dla myszy i touchpada przedstawiono w tab. 9. Porównanie wyników dla innych urządzeń nie jest możliwe, ponieważ badania wykonywano raz dla konkretnego urządzenia, którego w późniejszym okresie nie badano. Z przedstawionego zestawienia można by wnioskować o częściowej zgodności wartości wybranych parametrów, w szczególności w zakresie czasu wprowadzenia obiektu (celu) dla touchpada lub przepustowości dla myszy. Należy jednak zwrócić uwagę, że badania wykonywano z wykorzystaniem różnych urządzeń i w różnych warunkach.

Tab. 9. Zestawienie wyników badań dla wybranych dwóch badanych urządzeń

Urządzenie	Stopa błędów [%]	Czas wprow. [s]	Odch. stand. [s]	Przepustowość [bit/s]
Mysz [2]	-	1,24	0,37	-
Mysz [15]	9,4	-	-	4,9
Mysz [25]	1,07	-	-	4,68
Mysz [12]	1,1	-	-	4,79
Mysz [8]	8,3	1,199	-	-
Touchpad [5]	5,4	2,382	0,802	1,70
Touchpad [15]	7,0	-	-	2,9
Touchpad [2]	-	2,23	0,69	-
Touchpad [8]	10,8	2,172	-	-

Opisywane badania realizowano z wykorzystaniem testu wielokierunkowego i często sam test zawierał zmiany w stosunku do klasycznych warunków podanych w normie [6]. Duża część badań opisanych w literaturze dotyczyła realizacji zadań wyboru obiektu poprzez gesty (np. [11], [12], [16], [21], [25]) lub nietypowo język [24]. W badaniach brały udział niezbyt duże grupy użytkowników (od 6 do 36 osób), przy czym tylko w dwóch z przedstawionych badań liczba uczestników przekroczyła 20.

Przegląd badań pozwala na szersze spojrzenie na wyniki wykorzystania testu wielokierunkowego, biorąc pod uwagę stosowane urządzenia wejściowe i warunki, w jakich badania prowadzono.

Literatura:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] COCKBURN A., BROCK P., *Human On-Line Response to Visual and Motor Target Expansion*, Graphic Interface, 2006, pp. 81-87.
- [4] DONIGIEWICZ A.M., *Jednokierunkowy test wskazywania – norma ISO 9241-9 – przegląd badań*, Biuletyn IAiR, 30, 2011, s. 71-88.

- [5] DOUGLAS A.S., KIRKPATRICK A.E., MACKENZIE I.S., *Testing Pointing Device Performance and User Assessment with the ISO 9241, Part 9 Standard*, CHI '99 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Pittsburgh, 1999, pp. 215-222.
- [6] *Ergonomic requirements for Office work with visual display terminals (VDTs). Part 9: Requirements for non-keyboard input devices*, ISO 9241-9:2000 (E), International Organization for Standardization.
- [7] FITTS P.M., *The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement*, Journal of Experimental Psychology, Vol. 47, No. 6, 1954, pp. 381-391. (Reprinted in Journal of Experimental Psychology: General, 121(3), 1992, pp. 262-269).
- [8] 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.
- [9] HERTZUM M., HORNBAEK K., *TouchGrid: Touchpad pointing by recursively mapping taps to smaller display regions*, Behaviour & Information Technology, Vol. 24, No. 5, 2005, pp. 337-346.
- [10] ISOKOSKI P., RAISAMO R., MARTIN B., EVREINOV G., *User performance with trackball-mice*, Interacting with Computers 19, 2007, pp. 407-427.
- [11] JIANG H., OFEK E., MORAVEJI N., SHI Y., *Direct Pointer: Direct Manipulation for Large-Display Interaction using Handheld Cameras*, CHI 2006 Proceedings, Montreal, pp. 1107-1110.
- [12] MACKENZIE S.I., *Evaluating eye tracking systems for computer input*, [In:] *Gaze interaction and applications of eye tracking: Advances in assistive technologies*, Hershey, PA: IGI Global, 2012, pp. 205-225.
- [13] 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.
- [14] MACKENZIE I.S., *Movement time prediction in human-computer interfaces*, [In:] *Readings in human-computer interaction*, Los Altos, Kaufmann, 1995, pp. 483-493.
- [15] MACKENZIE S., KAUPPINEN T., SILFVERBERG M., *Accuracy Measures for Evaluating Computer Pointing Devices*, SIGCHI '01, March 31–April 4, 2001, pp. 9-16.
- [16] MACKENZIE I.S., TEATHER R.J., *FittsTilt: The Application of Fitts' Law To Tilt-based Interaction*, NordiCHI '12, October 14–17, 2012, pp. 568-577.
- [17] NATAPOV D., MACKENZIE S.I., *The Trackball Controller: Improving the Analog Stick*, Futureplay '10 Proceedings of the International Academic Conference on the Future of Game Design and Technology, ACM, New York, 2010, pp. 175-182.

- [18] PAVLOVYCH A., STUERZLINGER W., *The Tradeoff between Spatial Jitter and Latency in Pointing Tasks*, EICS '09, July15–17, 2009, Pittsburgh, pp. 187-196.
- [19] SIKORSKI M., *Interakcja człowiek-komputer*, Wyd. PJWSTK, Warszawa, 2010.
- [20] 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.
- [21] TUISKU O., SURAKKA V., VANHALA T., RANTANEN V., LEKKALA J., *Wireless Face Interface: Using voluntary gaze direction and facial muscle activations for human-computer interaction*, Interacting with Computers, Vol. 24, Issue 1, January, 2012, pp. 1-9.
- [22] WHISENAND T.G., EMURIAN H.H., *Effects of Angle of Approach on Cursor Movement with a Mouse: Cosideration of Fitts' Law*, Computers in Human Behaviour, Vol. 12, No. 3, 1996, pp. 481-495.
- [23] WOBROCK J.O., FOGARTY J., LIU S., KIMURO S., HARADA S., *The Angle Mouse: Target-Agnostic Dynamic Gain Adjustment Based on Angular Deviation*, CHI 2009, April 4–9, 2009, Boston, pp. 1401-1410.
- [24] YOUSEFI B., HUO X., VELEDAR E., GHOVANLOO M., *Quantitative and Comparative Assessment of Learning in a Tongue-Operated Computer Input Device*, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 2011, pp. 747-757.
- [25] ZHANG X., MACKENZIE I.S., *Evaluating Eye Tracking with ISO 9241 – Part 9*, Human-Computer Interaction, Part III, HCII 2007, LNCS 4552, pp. 779-788.

Źródła elektroniczne

- [26] 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).
- [27] 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).

Multidirectional tapping test – ISO 9241-9 standard – a survey

ABSTRACT: A multidirectional tapping test, applied to the quality assessment of entering information with pointing devices, is presented. The description of the test is based on the ISO 9241-9 standard. The test may be the basis for an evaluation or estimation of the quality of entering information by a user. Some research results available in the bibliography are quoted.

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

Praca wpłynęła do redakcji: 17.12.2014 r.