

Modele czasu wyboru elementów graficznych w systemach komunikacyjnych (interfejsach) w dialogu człowiek-komputer.

Jerzy Grobelny
Politechnika Wrocławska

Waldemar Karwowski
University of Louisville

Streszczenie.

Przedstawiono wyniki badań wpływu parametrów geometrycznych na efektywność komunikacji człowieka z komputerowymi interfejsami graficznymi za pomocą myszy w środowisku Windows. Pokazano, że w przypadku zestawów przycisków-ikon obsługiwanych w trybie menu (obecnych stale na ekranie) średni czas wyboru jednego elementu (za pomocą myszy) może być opisany klasycznym prawem Fittsa. Okna dialogowe (struktury pokazywane tylko na czas wyboru) wymagają uwzględniania konfiguracji (kształtu) prezentowanych zestawów. Podano propozycje opisu zależności średniego czasu wyboru elementu z okna dla małej (8) i dużej (16) ilości elementów graficznych (ikon). Uzyskane wyniki sugerują istnienie optymalnej wielkości ikon dla większych zestawów oraz przewagę układów skupionych (kwadratowych) nad poziomymi i pionowymi. Przedstawiono wstępną analizę wpływu ilości ikon na czas obsługi. Wyniki sugerują liniowo-logarytmiczną zależność czasu obsługi od ilości elementów.

1. Wprowadzenie.

Współczesne systemy komputerowe coraz częściej korzystają z bogatej grafiki umożliwiającej konstrukcję piktogramów, ikon, symboli przycisków itp., będących metaforami rzeczywistych obiektów, poleceń i/lub procesów realizowanych w systemie. Wskazywanie (zaznaczanie) i potwierdzanie za pomocą "myszy" jest we współczesnych interfejsach komputerowych standardowym elementem procesu komunikowania się operatora z programem (systemem). Podstawowe, także graficzne, elementy dialogu człowiek-komputer stają się ponadto coraz bardziej jednolite bez względu na rodzaj systemu operacyjnego.

Sposób komunikowania się metodą pokaż i potwierdź ("klik") został włączony do systemów komunikacji budowanych w konwencji "direct manipulation" (DM) - manipulacji bezpośredniej (Ziegler i Fahrlich 1988). Narzędziem dominującym w komunikacji tego typu jest mysz komputerowa. Chociaż pojęcie DM jest szersze i dotyczy także innych aspektów systemu komputerowego, interfejsy i obiekty graficzne stały się atrybutem takich systemów.

Podstawowe badania właściwości sposobów i narzędzi realizujących wybór obiektów metodą 'wskaz i potwierdź' prowadzono już od lat 60. Przedmiotem szczególnego zainteresowania były pojawiające się wtedy coraz szerzej edytory tekstu. English et al (1967) porównywali czasy pozycjonowania kursora za pomocą istniejących (i powstających) wtedy narzędzi wskazujących (mysz, pióro świetlne, tablet) i pokazali iż najszybszym narzędziem jest mysz. W latach 70 podjęto próbę systematycznego opisu procesu wskazywania

obiektów na ekranie komputera w kategoriach prawa Fittsa. W pracy Card et al (1978) przedstawiono wyniki porównania jakości myszy, joysticka i klawiatury jako narzędzi wyboru fragmentów tekstu. Analiza wykazała, iż mysz jest najbardziej efektywnym narzędziem ze względu na 'czas pozycjonowania' tzn. czas od rozpoczęcia ruchu kursora do potwierdzającego kliknięcia na wybranym obiekcie. Mysz także wykazuje największą odporność na błędy.

Prawo Fittsa stało się także bazą do badania procesu wskazywania obiektów graficznych w pracy Epps (1986). Eksperyment opisany w tej pracy polegał na zaznaczaniu kursorem (umieszczanego w losowych miejscach ekranu) celu w kształcie kwadratu. Uzyskane równanie Fittsa dla myszy okazało się całkowicie odmienne od uzyskanego przez Card et al (1978) pod względem występujących współczynników. Świadczy to o złożoności procesów poznawczych człowieka i wielu niezidentyfikowanych czynnikach determinujących proces koordynacji systemu ręka-wzrok. Szczegółowy przegląd zastosowań prawa Fittsa dla różnych urządzeń wskazujących (do początku lat 90) - wraz z wyczerpującą dyskusją - przedstawił MacKenzie (1992).

Cytowane prace opisują badania eksperymentalne polegające na wskazywaniu kursorem pojedynczych obiektów na ekranie. Zastosowanie prawa Fittsa do opisu procesu wyboru elementu z grupy obiektów przedstawili Drury i Hoffmann (1992). Ich badanie nie dotyczyło wirtualnych obiektów z ekranu komputera ale zaproponowali opis procesu obsługi 'fizycznej' klawiatury numerycznej w formie prawa Fittsa. Uzyskane równanie odbiega (pod względem wartości współczynników) od równania uzyskanego dla danych z oryginalnego eksperymentu Fittsa (1964).

Prawo Fittsa oczywiście opisuje jedynie kontrolowane wzrokiem czynności motoryczne. Dyskutowany problem wyboru (wskazywania) obiektów na ekranie monitora może być także bardziej złożony ponieważ zwykle nie wszystkie opcje złożonych systemów są jednocześnie widoczne na ekranie. Często wskazanie obiektu musi być poprzedzone jego identyfikacją. W takich przypadkach proces wyboru poza czynnościami motorycznymi musi uwzględniać także czynności poznawcze (Card et al, 1983).

W niniejszej pracy podjęto próbę identyfikacji czynników wpływających na proces wyboru obiektów graficznych umieszczonych w grupach w sposób zbliżony do powszechnie występujących we współczesnych systemach komputerowych. Zbadano zachowanie typowych, zaawansowanych użytkowników wobec różnego, geometrycznego ukształtowania zestawów obiektów w oknach dialogowych (ukazujących się chwilowo) i zestawach menu (obecnych stale na ekranie). Za pomocą analizy regresji skonstruowano także proste, praktyczne modele czasu wyboru obiektów uwzględniające najistotniejsze parametry badanych procesów. W szczególności zbadano możliwości użycia wskaźnika trudności ID oraz prawa Fittsa do opisu procesu wyboru obiektów z grupy za pomocą myszy. Eksperymenty wykonano na komputerach PC z systemem Windows używając typowych-domyślnych ustawień myszy.

2. Zastosowania prawa Fittsa w procesach wskazywania i wyboru obiektów

Istotnym składnikiem procesu wyboru obiektu graficznego (przycisk, ikona) jest ruch docelowy. Modelem wielokrotnie stosowanym do opisu czasu tego ruchu jest Prawo Fittsa. W oryginalnej formie (Fitts and Peterson 1964)

$$MT = a + b (ID); \quad (1)$$

Współczynnik trudności ID zaproponowany oryginalnie jako

$$ID = \log_2 (2A/W) \quad (2)$$

gdzie A oznacza amplitudę ruchu, zaś W szerokość celu (tolerancję). Wielu badaczy potwierdziło lepsze dopasowanie wyników eksperymentalnych (zwłaszcza dla niewielkich ID) jeśli stosuje się współczynnik trudności w postaci zaproponowanej przez Welforda (MacKenzie, 1992):

$$ID = \log_2 (A/W + 0.5) \quad (3)$$

MacKenzie (1992) przedstawił prawo Fittsa w formie (1) dla danych z pierwszego, oryginalnego eksperymentu Fittsa

$$MT = 12.8 + 94.7ID \quad (4)$$

W tej formule ID użyto w formie (2). MT w powyższym i następnym wzorach wyrażono w milisekundach.

Zadanie w eksperymencie Fittsa polegało na tappingu – szybkim przenoszeniu wskaźnika (stylus) między pionowymi paskami o różnej szerokości. Regulowano także odległość celów. Podobną zależność uzyskali Fitts i Peterson (1964) w zadaniu polegającym na dyskretnym trafianiu do celu (bez ruchów powrotnych) przy czym współczynnik przed ID był mniejszy (74).

Odwrotność współczynnika ID interpretuje się jako wskaźnik wykonania – IP (index of performance). Wyraża on sprawność (pojemność informacyjną) układu oko-ręka w wykonywaniu danej czynności wyrażaną w bitach/sek (MacKenzie, 1992). Tak więc większe współczynniki przed ID oznaczają gorszą jakość układu ruchowego w danym zadaniu. W relacji (4) IP jest równy ok 10.6 natomiast w zadaniu dyskretnym opisanym przez Fittsa i Peterson (1964) IP = 13.5. Zadanie dyskretnie jest zatem łatwiejsze do wykonania od tappingu.

Oryginalne zadania Fittsa były wykonywane z użyciem naturalnych, fizycznych obiektów. Podobne warunki eksperymentu relacjonują Drury i Hoffmann (1992). Pokazali możliwość zastosowania prawa Fittsa do analizy grup klawiszy do wprowadzania danych numerycznych. Stosując formułę (1) i (2) uzyskali zależność

$$MT = 3.8 + 40.57 ID \quad (5)$$

Ponieważ IP=24.6 wynika stąd iż proces wybierania klawiszy z grupy jest prawie dwukrotnie sprawniejszy od procesu trafiania w pojedynczy cel w eksperymencie Fittsa and Petersona (1964). Różnica może wynikać z faktu używania w pierwotnych eksperymentach Fittsa wskaźnika (stylus) ale zapewne także z innych uwarunkowań badanego procesu. Dane te wskazują jednak na konieczność bardzo ostrożnego podchodzenia do uogólniania relacji (1).

Bardziej zaskakujące są jednak różnice jakie występują w (relacjonowanych także przez MacKenzie(1992)) wynikach prac nad opisem procesu wskazywania (wybierania) obiektów na ekranie w kategoriach relacji Fittsa. Interesujące nas wskazywanie myszą zostało zbadane najpierw przez Card et al (1978) którzy uzyskali (w eksperymentach nad zaznaczaniem prostokątnych fragmentów z tekstem) stosując relację (1) ze wskaźnikiem Welforda (3);

$$MT=1030 + 96 ID \quad (6)$$

a więc $IP=10.4$. Podobne badanie przedstawione w pracy Epps'a (1986) polegające na wskazywaniu kwadratu na ekranie (o zmiennych wymiarach i położeniu) dało w rezultacie równanie:

$$MT=108 + 392 ID \quad (7)$$

IP dla tego równania wynosi 2.6 czyli różni się od poprzedniego aż czterokrotnie(!).

Zestawiając te wartości MacKenzie (1992) stawia pytanie: jakie zatem jest prawo Fittsa dla myszy komputerowej? Wśród możliwych źródeł zmienności jakie zestawia w swojej analizie cytowany autor szczególne znaczenie mogą mieć:

- różnice w konstrukcji myszy (parametry urządzeń nie są zbyt precyzyjnie opisane a badania dzieli 8 lat)
- sposób pomiaru wskaźnika trudności ID – wprawdzie w obu przypadkach używano formuły Welforda (3) to jednak w zadaniach Card et al (1978) szerokość celu W wyznaczano w oparciu o szerokość wskazywanego wyrazu. Nie zawsze było to racjonalne – rzeczywista szerokość celu zależała bowiem bardzo istotnie od kąta podejścia do celu (approach angle). Ponieważ Epps używał kwadratowego celu problem approach angle w jego eksperymentach był minimalny,
- sposób traktowania błędów – podczas gdy w eksperymentach Card et al (1978) błędne próby nie były analizowane Epps (1986) polecał uczestnikom powtórzenie kliknięcia w przypadku naciśnięcia przycisku myszy poza obszarem celu.

Duże różnice w uzyskanych równaniach dla prostych czynności wskazania pojedynczych obiektów na ekranie skłoniły do podjęcia próby uzyskania relacji Fittsa dla sytuacji wyboru obiektów w formie przycisków-ikon z zestawów menu. Takie wybory są obecnie powszechną formą wyboru opcji w wielu typach programów komputerowych. Badanie przeprowadzono dla różnych ID uzyskanych poprzez kombinacje wielkości i położenia na ekranie. W drugim etapie rozszerzono problem wskazywania i wybierania o fazę rozpoznania i wyszukania obiektu z zestawu zmieniając badane zestawy menu w okna dialogowe, które pojawiają się tylko na czas wyboru.

Założono iż elementy graficzne używane w badaniach będą miały kształt kwadratu co upraszcza badanie ale też jest racjonalne wobec uzyskanych przez Martina (1988) wyników badań nad kształtowaniem klawiatur na ekranach wrażliwych na dotyk (touch screen), w których kwadratowe przyciski okazały się najlepsze spośród badanych kształtów prostokątnych w różnych konfiguracjach.

3. Eksperyment 1

Celem pierwszego badania było sprawdzenie przyjętego założenia o możliwości opisu procesu wyboru elementów graficznych pokazanych na ekranie komputera w sposób ciągły (np. menu) przy użyciu prawa Fittsa. Założono przy tym pracę w powszechnie używanym środowisku programowym WINDOWS, z najczęściej używanymi konfiguracjami elementów graficznych (poziome, pionowe, kwadratowe) i z najczęściej spotykanymi rozmiarami (jako minimalny przyjęto rozmiar najmniejszych ikon narzędziowych systemów MicroSoftu - ok 0.8 cm , największy - dwukrotność tej wielkości 1.6 cm i pośredni 1.2 cm). Konfiguracja pozioma zawierała wszystkie elementy w jednym wierszu, kwadratowa – skupione w kształcie kwadratu a pionowa w jednej kolumnie. Zasadniczych elementów graficznych w każdym oknie umieszczono 8 z dodatkowym wyróżnionym przyciskiem OK. W celu przetestowania wyborów opcji o różnych stopniach trudności skonstruowano specjalny program komputerowy pracujący w środowisku arkusza kalkulacyjnego Excel (wersja 4.0 w WINDOWS). Na rysunku 1. pokazano przykłady badanych okien. Zdefiniowano trzy struktury i trzy wielkości badanych okien - łącznie 9 różnych wariantów. Program badawczy (napisany w języku makroinstrukcji Excela i uzupełniony precyzyjnym zegarem w formie modułu dll) pozwala umieścić przygotowane struktury danych w dowolnych miejscach ekranu i generując losowo polecenia poszukiwania kolejnych obiektów rejestrować precyzyjnie czasy poszczególnych wyborów oraz błędy polegające na wciśnięciu przycisku myszy poza obszarem wybieranych obiektów. Przyjęto pomiar czasu od naciśnięcia przycisku OK na środku ekranu do momentu potwierdzenia wyboru zadanego obiektu tzn. wciśnięcia przycisku myszy (przy położeniu kursora na obszarze obiektu). Wybierane obiekty były jednoznacznie identyfikowalnymi, prostymi przedmiotami, po to, by uniknąć zakłóceń wynikających z konieczności uczenia się kształtów czy zapamiętywania obrazów przez badanych. Ponieważ testowano trzy, naturalnie występujące w programach komputerowych struktury elementów graficznych (pozioma, pionowa i kwadratowa) umieszczano je również w naturalny (najczęściej stosowany) sposób tzn. poziomą w górnej części okna programu, pionową w pobliżu lewej krawędzi. W przypadku struktury kwadratowej wybrano arbitralnie lewy, górny róg arkusza (trudno mówić o typowym położeniu tej struktury). Dla każdego z 9 wariantów wyznaczono średni wskaźnik trudności (ID) w oparciu o bezpośrednie pomiary amplitudy ruchu kursora na ekranie (innej dla każdego zestawu) i wielkości obiektów (0.8 cm, 1.2 cm 1.6 cm).

3.1 Badani

Dziesięciu ochotników uczestniczyło w eksperymencie. Wybrano osoby dobrze znające pracę w środowisku Windows, pracujące na co dzień z komputerem w wieku od 16 do 53 lat – uczniów (2), studentów(6) i pracowników uniwersytetu (2).

3.2 Przebieg eksperymentu

Założeniem eksperymentu było zasymulowanie naturalnej pracy zaawansowanych użytkowników. Dlatego nie prowadzono specjalnego treningu przed przystąpieniem do eksperymentu i w związku z tym nie prowadzono

analizy procesu uczenia się. Wykonywano jedynie dwie serie eksperymentalne – pierwsza w celu rozpoznania wybieranych struktur i obiektów, druga w celu zebrania danych pomiarowych.

Każdy badany otrzymywał krótką instrukcję słowną obsługi programu badawczego oraz wyjaśnienie celu badania i sposobu przeprowadzania prób. Jako podstawowe kryteria obsługi badanych zestawów zdefiniowano minimalizację czasu wyboru i ilości błędów. Każdy z badanych najpierw wykonywał serię próbną badań, w trakcie której zapoznawał się z każdym wariantem badanych okien (w kolejności losowej), umieszczając je w miejscach zdefiniowanych przez eksperymentatora i wykonując 9 wyborów w każdym z wariantów - zgodnych z poleceniami wcześniej wygenerowanymi losowo a wyświetlanymi w jednakowej kolejności każdemu uczestnikowi eksperymentu dla tego samego zestawu. Taki sposób generowania poleceń zapewnił jednakowe parametry ruchu (wskaźniki ID) każdemu z badanych. W drugiej serii każdy wykonywał te same badania. Czasy 9 prób dla jednego panelu z obiektami, oraz sumaryczne ilości błędów były rejestrowane (pierwsza próba służyła do zapoznania się z daną strukturą i umieszczeniem panelu w odpowiednim miejscu ekranu). Kolejność testowania poszczególnych wariantów okien była określana losowo. Testowane okno przez cały czas umieszczone było na ekranie tak, że poszczególne pomiary odzwierciedlają w zasadzie jedynie czas manipulacji od środka ekranu do wskazania obiektu, ponieważ wyszukanie elementu następowało (zgodnie z instrukcją i naturalnym zachowaniem badanych) przed uruchomieniem zegara przyciskiem OK umieszczonym w środku ekranu. Tak więc eksperyment symulował procesy wyboru elementów graficznych w takich sytuacjach, gdzie miejsce ich lokalizacji jest dobrze znane użytkownikowi. Ten typ interakcji dotyczy wprost pasków menu z elementami graficznymi oraz obecnych na ekranie zestawów przycisków softwarowych, które użytkownik może wywołać na ekran na stałe (koncepcja wykorzystywana w programach graficznych, CAD itp).

3.3 Rezultaty

3.3.1 Analiza wariancji

Średnie czasy wyboru dla każdego z 9 wariantów podano w tablicy 1. Wyniki średnie uzyskane w badaniu 10 osób poddano analizie wariancji. Wykorzystano model analizy dwuczynnikowej z powtórzeniami. Dane pogrupowano ze względu na wielkość i konfigurację. Silną zależność uzyskano dla rozmiaru elementów graficznych ($F(2,81)=5.1$, $p<0.01$). Wyniki nie wykazują natomiast istotnej zależności od konfiguracji (pionowa, pozioma, kwadratowa) ani interakcji między konfiguracją i wielkością. Na rys.2 Pokazano zależność uzyskanych rezultatów od wielkości i konfiguracji.

3.3.2 Analiza korelacji

Uzyskane średnie czasy wyboru dla 9 badanych wariantów poddano analizie korelacyjnej badając ich związek z wielkością ikon (przycisków), odwrotnością wielkości oraz wskaźnikiem trudności ID. Wskaźnik ten obliczano wg wzoru Welforda (2) aby umożliwić porównania z wynikami Carda et al (1978) oraz Eppsa (1986).

Skonstruowano także szereg wskaźników pochodnych oraz kombinacji (iloczynów i ilorazów) wielkości charakteryzujących badane układy. Najbardziej istotne uzyskane wyniki zilustrowano w tabelicy 2 (kolumna 1). Największą, liniową zależność z wynikami eksperymentów wykazuje wskaźnik ID. Wysoka jest także korelacja czasu i rozmiaru wybieranych obiektów, co ilustruje rys. 2. Na rys. 3. pokazano zależność wyników od wskaźnika ID. Punkty osi poziomej (ID) nie mogły być w naszym przypadku równomiernie, ze względu na przyjęte założenia lokalizacji testowanych zestawów, tym niemniej widać, że zależność potwierdzona współczynnikiem korelacji jest wyraźna.

3.3.3 Analiza regresji

Wysoka zależność korelacyjna skłania do poszukiwania funkcji regresji w klasycznej formie prawa Fittsa (1). Znaleziona zależność dla średnich w 9 zbadanych wariantach jest następująca:

$$MT = 239 + 201 ID \quad (8)$$

Jest to zależność istotna i wyjaśnia 92 procent zmienności MT ($r^2=0.92$). Wielkość współczynnika kierunkowego otrzymanego równania jest duża a IP mała (4.97) w porównaniu do wyników uzyskanych przez Carda et al (1978) – wzór (6) ale parametry te są lepsze od uzyskanych w eksperymencie Eppsa (1986) – wzór (7). Co było dość zaskakujące ilość popełnionych błędów w całym eksperymencie była znikoma. Wystąpiły pojedyncze błędy w poniżej 2 proc prób w zestawach małych i średnich obiektów. Różnice w stosunku do cytowanych autorów potwierdzają wrażliwość parametrów relacji Fittsa (przy jej ogólnej słuszności) na warunki wykonywania ruchów docelowych. Relacja (8) może być zatem jedynie pewnym punktem odniesienia charakteryzującym zaawansowanych użytkowników (zdefiniowanych nieformalnie jako używających komputera na co dzień). Nie można na pewno traktować jej jako ogólne prawo opisujące proces wyboru elementów graficznych w interakcji człowieka z komputerem.

Porównanie z relacjami (4) i (5) ukazuje iż zadanie wskazania i wyboru obiektu wirtualnego (przez zaawansowanych użytkowników komputerów) jest znacznie trudniejsze od operowania obiektami ‘fizycznymi’ (a przynajmniej było w naszym eksperymencie).

4. Eksperyment 2

Prosta manipulacja przy wyborze elementów graficznych ma miejsce w przypadku bardzo dobrego poznania danego panelu. Ma to miejsce bądź w sytuacji gdy używa się tego panelu bardzo często, bądź gdy jest on stale eksponowany na ekranie. W drugim eksperymencie postanowiono testować sytuację częściej występującą w rzeczywistych relacjach człowieka z komputerem. Zbadano te same elementy graficzne (co w eksperymencie 1), w tych samych układach, ale pokazujące się w trybie okien dialogowych to znaczy wyświetlane na ekranie tylko

na czas wyboru. W takim trybie pracy użytkownik najpierw musi odnaleźć interesujący go element a następnie potwierdzić wybór w standardowy sposób.

Badaniu poddano grupę 10 mężczyzn (ochotników) w wieku od 16 do 41 lat. Jak poprzednio wszyscy byli zaawansowanymi użytkownikami systemu Windows. Założenia i przebieg eksperymentu były prawie identyczne z przyjętymi w eksperymencie pierwszym. Zasadnicza różnica dotyczyła trybu wyświetlania poszczególnych testowanych zestawów. Okna z elementami graficznymi pojawiały się po potwierdzeniu odczytania polecenia i równoczesnym uruchomieniu zegara a znikwały po dokonaniu wyboru (potwierdzeniu myszką).

4.1 Rezultaty

4.1.1 Analiza wariancji

Podobna do eksperymentu 1 procedura badań statystycznych została zastosowana do wyników uzyskanych w tym eksperymencie. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała największy wpływ konfiguracji (pozioma, pionowa, kwadratowa) na uzyskiwany czas wyboru ($F(2,81)=5.99, p<0.005$). Istotny jest także rozmiar ikon na panelu ($F(2,81)=4.30, p<0.05$).

Nieistotna okazała się interakcja między obu czynnikami. Pominięto analizę błędów ponieważ wystąpiły w pojedynczych próbach u 2 osób stanowiąc mniej niż 1% wykonanych prób.

4.1.2 Analiza korelacji

Współczynnik korelacji obliczono dla uzyskanych rezultatów i tych samych parametrów eksperymentu, które badano w poprzednim przypadku. Rezultaty pokazano w drugiej kolumnie tablicy 1. Przede wszystkim widać spadek liniowej zależności uzyskiwanych wyników od współczynnika Fittsa. Na rys. 4 pokazano wykres zależności średnich wyników dla 9 badanych przypadków od wskaźnika ID (liczonego tak jak poprzednio). W porównaniu do tej samej zależności z eksperymentu 1 (rys. 3) Pomimo to zależność czasu obsługi od wielkości jest dość znaczna. Ilustruje to. rys. 5. Jednakże na tym rysunku występuje także problem interpretacyjny związany z nietypowym i niewytłumaczalnym kształtem zależności dla konfiguracji pionowej. Małe rozmiary ikon uzyskały tu (średnio) lepsze wyniki od ikon średnich pomimo większych wskaźników ID. Jest to najprawdopodobniej artefakt wynikający z braku pełnej kontroli nad czynnikami wpływającymi na badany proces. Najbardziej, jak wynika z analizy wariancji, wpływa na wyniki konfiguracja. Rys. 5. ilustruje także tę zależność. Widać, iż dla każdej wielkości najlepsza jest konfiguracja skupiona (kwadratowa). Znajduje tu potwierdzenie znany fakt ograniczonego kąta ostrego widzenia (maksymalnie ok. 5 stopni), który przy odległości 50 cm nie pozwala za pomocą jednej fiksacji odczytać informacji z obszaru większego niż okrąg o

średnicy ok. 5 cm. Konfiguracja kwadratowa jest pod względem minimalizacji ilości niezbędnych fiksacji wzroku najbardziej efektywna.

4.1.3 Model

Analiza uzyskanych rezultatów skłoniła do poszukiwania modelu badanego zjawiska uzależniającego średni czas wyboru elementu od tych czynników, które uzyskują największe oceny wpływu w kategoriach statystycznych (ID, wielkość i konfiguracja). Również wskazania współczynnika korelacji sugerowały parametry mogące konstituować poszukiwaną zależność. Ogólnie można założyć następującą postać modelu:

$$MT = f(\text{ID, wielkość, konfiguracja}) \quad (9)$$

ponieważ o czasie MT decydują czynności percepcyjne, poznawcze i motoryczne (Card et al 1983). Wielkość ikon ma wpływ na szybkość percepcji ze względu na ograniczony kąt (maksymalnie 5 stopni) precyzyjnego widzenia człowieka. Konfiguracja rozumiana jako rozmieszczenie ikon w wierszach i kolumnach będzie decydować o sposobie i czasie 'skanowania' całej struktury. ID – zaś decyduje o możliwości (szybkości) wskazania i wybrania znalezionych obiektów.

Oczywiście można wyobrazić sobie wiele szczegółowych postaci funkcji (9). Zarówno wielkość, jak i konfigurację można ponadto wyrazić za pomocą wielu różnych wskaźników. W poszukiwaniach uwzględniono zarówno zestawione w tab.2 wskaźniki jak i ich niektóre kombinacje (pomimo braku statystycznie istotnych interakcji). Przyjęto następującą, heurystyczną procedurę postępowania w poszukiwaniu najlepszej funkcji regresji opisującej badane zjawisko:

wybrać parametry najbardziej korelujące z MT (a raczej słabo między sobą) i znaleźć funkcję regresji
zbadać r^2 oraz poziom istotności równania (za pomocą testu F) oraz poziom istotności współczynników za pomocą testu t. Jeśli r^2 jest małe lub/i całe równanie jest nieistotne to dodać inne zmienne lub ich kombinacje i powtórzyć analizę regresji

jeśli występują współczynniki nieistotne to odrzucić odpowiadające im parametry i powtórzyć b)

Takie postępowanie miało na celu znalezienie istotnej statystycznie funkcji o jak najmniejszej liczbie zmiennych z istotnymi współczynnikami.

Najlepsze oceny statystyczne uzyskano dla modelu o następującej postaci:

$$MT = 568 + 269ID + 27S \quad (10)$$

Przez S oznaczono współczynnik kształtu wyrażający stosunek dłuższego boku panelu do krótszego mierzony liczbą ikon (czyli inaczej stosunek liczby wierszy do liczby kolumn lub odwrotnie).

Równanie to jest istotne na poziomie $p < 0.01$, $r^2 = 0.79$ a współczynniki są istotne dla $p < 0.03$. Równania o większej liczbie parametrów uzyskiwały albo nieistotne współczynniki albo stawały się nieistotne w całości. Także próby poszukiwania funkcji dla innych zmiennych i/lub ich kombinacji dały znacznie gorsze rezultaty.

Interpretacja składników funkcji regresji nie zawsze ma sens fizyczny a nawet nie zawsze może być logicznie interpretowana. Wzór 10 ma jednak charakter dość czytelny i pokazuje, że czas obsługi okien dialogu złożonych z małej ilości obiektów graficznych zależy głównie od wskaźnika trudności (ID) oraz (w mniejszym stopniu) od współczynnika kształtu S. Współczynnik S niewątpliwie jest proporcjonalny do teoretycznej liczby fiksacji wzroku niezbędnych do całkowitego 'zeskanowania' panelu. Łatwo jednak zauważyć, analizując wyniki eksperymentu, że takie całkowite skanowanie nie jest potrzebne w realizowanym zadaniu.

5. Eksperyment 3

Ostatni z eksperymentów przeprowadzono w związku z pytaniem, które pojawiło się w trakcie badań objętych eksperymentem drugim: Czy tendencje zaobserwowane w eksperymencie 2 są niezależne od ilości elementów w zestawach menu lub/i oknach dialogowych?

Badania przeprowadzono na 2 grupach po 10 mężczyzn każda. Testom poddano zestawy menu (eksperyment 3a) i okna dialogowe (eksperyment 3b) o dwukrotnie większej liczbie elementów do wyboru. Eksperyment 3b wykonano z udziałem losowo wybranych osób uczestniczących w eksperymencie 1 i 2. Eksperyment 3b wykonano z udziałem ochotników – pracowników Politechniki Wrocławskiej w wieku 25-59 lat wszystkich na co dzień intensywnie wykorzystujących komputery. Wielkości elementów pozostały takie same. Podobnie ukształtowano struktury geometryczne okien z tym, że okna pionowe i poziome tym razem zawierały odpowiednio dwie kolumny i dwa wiersze przycisków (ikon) ze względu na możliwość pomieszczenia na ekranie 16 elementów (+ przycisk OK).

Oba eksperymenty przeprowadzono w trybie identycznym jak w poprzednim przypadku rejestrując czasy drugiej serii prób dla 9 przypadków (trzy wielkości X trzy konfiguracje) dla każdej z 10 osób. Kolejność wyboru wersji okna była losowa.

5.1 Rezultaty

Wyniki średnie zestawiono w tabelicy 1. Rezultaty poddano analizie statystycznej w sposób identyczny z zastosowanym w poprzednich przypadkach. Jak poprzednio znikomy był odsetek błędów – poniżej 2%. Zdarzały się pojedyncze próby 'nietrafione' w przypadku małych i średnich rozmiarów ikon.

W wyniku eksperymentu 3a znaleziono zależność w formie:

$$MT = 258 + 180ID \quad (11)$$

pokazaną na rysunku 6, dla której wartość r^2 wynosi 0.91, a $IP=5.5$ bit/s. Widać, że zmienność jest w tej relacji podobna do tej w relacji dla małej liczby ikon (8) ale współczynniki równania są jednak nieco inne. Ponieważ IP jest lepsze niż w równaniu 8 a zadania miały podobną trudność i sposób wykonania jedynym wyjaśnieniem są różnice w zaawansowaniu uczestników eksperymentu (inna grupa wykonywała ten eksperyment). Ponieważ ten wynik w porównaniu z (8) zasugerował dużą zależność współczynników równania od cech osobniczych dla wybranych losowo 2 osób z grupy eksperymentalnej znaleziono ich 'indywidualne' prawa Fittsa.

Odpowiednie formuły są następujące – $MT=193ID +283$ oraz $MT=168ID+233$. Jak widać różnice są znaczne i to w grupie o podobnej intensywności i zaawansowaniu w użytkowaniu komputera.

Analiza wariancji, jak poprzednio nie wykazała zależności czasu od konfiguracji elementów w zestawach.

Inaczej wyglądają rezultaty eksperymentu 3b. Analiza wariancji dała rezultaty dość podobne do tych z eksperymentu 2. Istotny wpływ na wyniki osiągane w testach ma zarówno konfiguracja ($F(2, 81) = 3.92$ $p < 0.05$) jak i wielkość ($F(2, 81) = 3.42$ $p < 0.05$) natomiast brak istotnej interakcji obu zmiennych.

W badaniach korelacji okazało się (tab 2, kolumna 3), że największy wpływ (liniowy) na wyniki ma wskaźnik trudności ID liczony jak poprzednio dla wielkości bezpośrednio mierzonych na ekranie. Rozproszenie wyników jest jednak dość znaczne co ilustruje rys. 7. Zupełnie inaczej kształtuje się pokazana na rys. 8. zależność czasu obsługi od wielkości ikon na panelu (w oknie dialogowym). Wyraźnie widać, że rozmiar elementów graficznych osiąga swoje optimum dla wartości średniej (1.2 cm) niezależnie od konfiguracji geometrycznej. Podobnie jak poprzednio kształtuje się natomiast zależność czasu wyboru od konfiguracji. Oznacza to, że proces poszukiwania na większych panelach w dużym stopniu wpływa na kształtowanie czasu obsługi (poszukiwania elementów). Udział tego procesu w całym czasie obsługi jest tak znaczny iż całkowicie zmienia zależność typu Fittsa sugerującą zwiększanie rozmiarów obsługiwanych elementów na zależność z wyraźnym optimum.

Równanie (model) regresji jakie uzyskano (stosując wcześniej przyjętą heurystykę) dla wyników eksperymentu 3 okazało się najlepsze dla nieco odmiennego i szerszego zestawu zmiennych niż w przypadku równania (10), jednakże, co jest dość zaskakujące, uzyskano równanie o znacznie lepszym współczynniku determinacji r^2 i większej istotności w stosunku do poprzedniego:

$$MT = 656W + 955/W - 106D + 53S \quad (12)$$

r^2 wynosi 0.96 natomiast równanie jest istotne na poziomie $p < 0.003$ a wszystkie współczynniki na poziomie $p < 0.01$. D jest zmienną 0-1 wprowadzoną dla wyróżnienia poziomej konfiguracji (tzn. konfiguracja pozioma otrzymuje 1 a pozostałe 0 w równaniu), która pozwalała uzyskiwać średnio nieco lepsze rezultaty. Jest to być może efekt nawyku czytania (?).

Zaskakujący okazał się brak wskaźnika trudności w powyższym, najlepszym statystycznie równaniu (pomimo wysokiej korelacji z czasem wyboru). Zastąpienie w równaniu (12) któregośkolwiek parametru współczynnikiem ID powoduje jednak spadek jego istotności lub/i nieistotność współczynników regresji. Także dodanie ID do

zestawu powoduje wystąpienie współczynników nieistotnych (w tym nieistotny jest także współczynnik przy ID). Taki wynik sugeruje iż odległość ruchu w zadaniu wyboru w oknie dialogowym (ukazującym się tylko na czas wyboru) nie ma istotnego znaczenia (bowiem W w równaniu pozostaje). Najistotniejsza jest wielkość poszukiwanych elementów oraz ich konfiguracja. Wielkość działa tu jednak przeciwnie (pierwszy i drugi człon równania 12). Jest to logiczne ponieważ rosnące W powoduje konieczność zwiększenia ilości fiksacji wzroku (mało ikon mieści się w efektywnym 5 stopniowym kącie widzenia) a z drugiej strony szybciej można dokonać pozycjonowania kursora na większej ikonie.

Ogólnie porównując relacje (10) i (12) trzeba zauważyć iż zasadnicza różnica polega na spadku znaczenia czynności motorycznych w wyjaśnianiu procesu wyszukiwania i wybierania elementów z większych liczbowo zestawów. Sugeruje to mniejszy udział procesów motorycznych w badanych zadaniach wyboru lub/i równoległy ich przebieg. Ogólnie uzyskane wyniki i analiza statystyczna równania (12) podważają możliwość stosowania tradycyjnego modelu MHP (Model Human Processor) zaproponowanego do opisu podobnych czynności człowieka-operatora przez Card et al (1983). MHP zakłada bowiem sekwencyjny przebieg procesów percepcji (perceptual), rozpoznania (cognitive) i motorycznych – modelowanych przez prawo Fittsa. Całkowity czas tutaj badanych czynności powinien zatem być (w myśl tych założeń) sumą czasu percepcji rozpoznania i czasu wyboru wynikającego z zastosowania wskaźnika ID.

Wykres 3D równania dla $D=0$ (konfiguracje nie poziome) pokazano na rys. 9.

6. Ilość elementów na panelach

Na rysunku 10 i 11 przedstawiono łączne zestawienia zależności uzyskanych w trzech eksperymentach. Rysunki te ilustrują zależności czasu obsługi od badanych parametrów uzyskane w eksperymentach 1, 2 i 3b. Jak opisano wyżej eksperymenty 2 i 3 pozwoliły testować różne wielkości paneli (różne ilości elementów na panelach). Wprawdzie zbadano jedynie dwa przypadki (8 i 16 elementów) ale wydaje się rozsądnym założyć, że w przypadku gdyby występował tylko jeden element czas obsługi byłby bliski średniemu czasowi manipulacji uzyskiwanemu w eksperymencie 1 lub 3a (nie trzeba nic szukać, wykonuje się tylko manipulacje związane z potwierdzeniem wyboru). Na rys. 12 zestawiono zatem tak rozumiany średni czas wyboru dla jednego elementu (z eksperymentu 1) z uzyskanymi dla małych (8 elementów) i dużych (16 elementów) okien dialogowych. Uzyskana zależność sugeruje niejednakową wrażliwość poszczególnych konfiguracji na przyrost ilości elementów na panelu. Okazuje się, że struktury kwadratowe (generalnie najlepsze) są najbardziej wrażliwe tzn przyrost ilości opcji powoduje największy przyrost średniego czasu obsługi. Najmniej wrażliwa w tym względzie okazała się struktura pozioma. W celu potwierdzenia tych obserwacji wykonano testy t-studenta dla danych eksperymentalnych pogrupowanych wg konfiguracji. Porównano czasy obsługi dla okien o ilości 8 i 16 elementów. Dla konfiguracji poziomej wartość testu wyniosła $t=1.87$ i jest ona istotna na poziomie $p<0.05$. Konfiguracje pionowa i kwadratowa uzyskały odpowiednio $t = 2.25$, $p<0.01$ oraz $t = 3.88$, $p<0.001$. A więc wyniki te potwierdzają w pewien sposób obserwację rysunku 12 Generalnie wzrost czasu (średniego) obsługi, jak widać z rysunku 12, nie jest liniowy.

Podobną analizę dla czynnika W (rozmiar elementów graficznych) ilustruje rysunek 13. Analiza statystyczna dokumentuje największą wrażliwość czasu obsługi na zmiany ilości opcji z 8 na 16 dla paneli o dużych (1.6 cm)

elementach ($t = 4.67$, $p < 0.0001$). Dla elementów małych (0.8 cm) uzyskano zależność istotną, ale słabszą od poprzedniej ($t = 2.18$, $p < 0.05$), natomiast zmiana czasu obsługi dla rozmiaru średniego (1.2 cm) była statystycznie nieistotna. Jak w poprzednim przypadku wzrost czasu obsługi wraz ze wzrostem ilości elementów nie ma charakteru liniowego.

Na rysunku 14 przedstawiono zależność średniego czasu obsługi od logarytmu ilości elementów (przy podstawie 2). Jak widać ta zależność jest bliska liniowej. Ten wynik, chociaż wymaga potwierdzenia na większej ilości przypadków, sugeruje zależność czasu obsługi od ilości elementów zgodną z opisaną przez Paap'a i Roske-Hofstrand (1988) zależnością Landauera i Nachbara uzyskaną dla wyszukiwania cyfr z podanych w menu zakresów zmienności (wyszukiwanie z dopasowaniem kategorii - "class inclusion matching"). Tego typu zależność jest bardziej "oszczędna" (w sensie wolniejszego wzrostu) od klasycznego wyszukiwania znanych napisów (poszukiwanie proste - identity matching), które cechuje liniowa zależność od ilości elementów na panelu (Papp i Roske-Hofstrand 1988).

7. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione rezultaty eksperymentów skłaniają do zestawienia wyraźnie zarysowanych cech badanego procesu obsługi struktur graficznych w systemach komputerowych przez zaawansowanych użytkowników:

1) Obsługa dobrze przyswojonych okien dialogu a w szczególności zestawów graficznych stale obecnych na ekranie jak np podstawowe menu, podlega ogólnemu prawu Fittsa. Szybkość przetwarzania informacji jest przy tym znacznie mniejsza niż w systemach "fizycznych" a więc wpływ zmian parametrów geometrycznych jest w systemach komputerowych szczególnie istotny. Szczegółowa postać (parametry) prawa Fittsa jest szczególnie wrażliwa na cechy osobnicze użytkowników systemów graficznych obsługiwanych myszą. Nawet w grupie o podobnym stopniu zaawansowania różnice w parametrach mogą sięgać kilkudziesięciu procent (eksperyment 3a). Także motywacje (w naszych eksperymentach definiowaliśmy kryterium wyboru jako 'szybko i bezbłędnie') mogą zmieniać sposób pracy użytkownika. Uzyskane w prowadzonych badaniach znikome (poniżej 2%) ilości błędów są prawdopodobnie rezultatem równoprawnego traktowania obu kryteriów. Rezultaty w tej mierze są znacznie lepsze od relacjonowanych przez Carda et al (1978).

2) W przypadku paneli (zestawów opcji, okien dialogu itp.) o małej ilości (kilku) elementów, które pojawiają się na ekranie tylko na czas wyboru, w których położenia elementów nie są (nie mogą) być dokładnie zapamiętane, istotną rolę poza wielkością elementów odgrywa ich ułożenie (struktura). Najlepiej odszukiwane są elementy w strukturach skupionych (o kształcie zbliżonym do kwadratu). Należy przy tym dążyć do maksymalizacji rozmiaru elementów graficznych (oczywiście ekstrapolacja poza zbadane wielkości elementów jest raczej ryzykowna).

3) Panele o większej liczbie (kilkanaście) elementów obsługiwane jak okna dialogowe powinny być budowane również w konfiguracjach kwadratowych ale elementy powinny mieć wielkość optymalną (mieszczącą się prawdopodobnie gdzieś między 1 a 1.2 cm). Ponadto jeśli nie można używać konfiguracji kwadratowej to

wskazane jest użycie poziomego kształtu, który jest obsługiwany sprawniej od pionowych (prawdopodobnie ze względu na naturalny nawyk czytania).

4) Poziome struktury są mniej wrażliwe na zwiększanie ilości elementów. Najmniej korzystne są w tym względzie struktury kwadratowe. Jeżeli stosuje się optymalną wielkość elementów (rozmiar średni - ok. 1.2 cm) wówczas zmiana ilości elementów z 8 do 16 wywołuje niewielki (statystycznie nieistotny) przyrost czasu obsługi.

Otrzymane w opisanych eksperymentach wyniki dotyczą wprawdzie stosunkowo małego obszaru zmienności testowanych parametrów. Obszar ten jednak wybrano nieprzypadkowo po wielu sesjach wstępnych eksperymentów w fazie planowania badań. Dlatego objął on optymalne wielkości elementów graficznych. Oczywiście wydaje się jednak konieczność potwierdzenia uzyskanych zależności zarówno poprzez "zagęszczenie", jak i rozszerzenie obszaru zmienności zarysowanego w przeprowadzonych eksperymentach. Jest to istotne szczególnie wobec otrzymanych wyników sugerujących zmiany jakościowe w przebiegu procesu obsługi badanych paneli interfejsów graficznych wraz ze zmianami niektórych parametrów (szczególnie ilości elementów).

Niewątpliwie istotny wniosek ogólny płynący z zaprezentowanych wyników polega na konieczności uwzględniania parametrów geometrycznych w projektowaniu interfejsów graficznych. W przeprowadzonych badaniach 8 elementowych okien dialogowych (eksperyment 2) różnica między średnimi czasami obsługi między najlepszym a najwolniej obsługiwanym wyniosła aż ponad 25 procent (w oknach 16 elementowych ponad 15 procent).

Table 1. Summary of the mean icon selection times [milliseconds] for all experiments.

Experiment	Icon's size	The shape of a tested panel (dialog box)		
		horizontal	squared	vertical
Experiment 1 (8 icons, menu mode)	small (0.8 cm)	929	973	972
	medium (1.2 cm)	870	885	955
	big (1.6 cm)	779	756	852
Experiment 2 (8 icons, dialog-box mode)	small (0.8 cm)	1823	1531	1705
	medium (1.2 cm)	1572	1446	1830
	big (1.6 cm)	1459	1342	1583
Experiment 3 a (16 icons, menu mode)	small (0.8 cm)	907	973	927
	medium (1.2 cm)	753	816	788
	big (1.6 cm)	726	671	724
Experiment 3 b (16 icons, dialog-box mode)	small (0.8 cm)	1840	1779	1930
	medium (1.2 cm)	1650	1635	1806
	big (1.6 cm)	1785	1694	1860

Table 2. Correlations of main factors in all experiments.

Correlations with MT	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3 b
Size (icon width and height)	-0,87	-0,57	-0,3
Size*Size	-0,89	-0,58	0,19
Shape factor (see text)	0,13	0,66	0,55
1/Size	0,83	0,54	0,41
ID (index of difficulty)	0,96	0,56	0,63

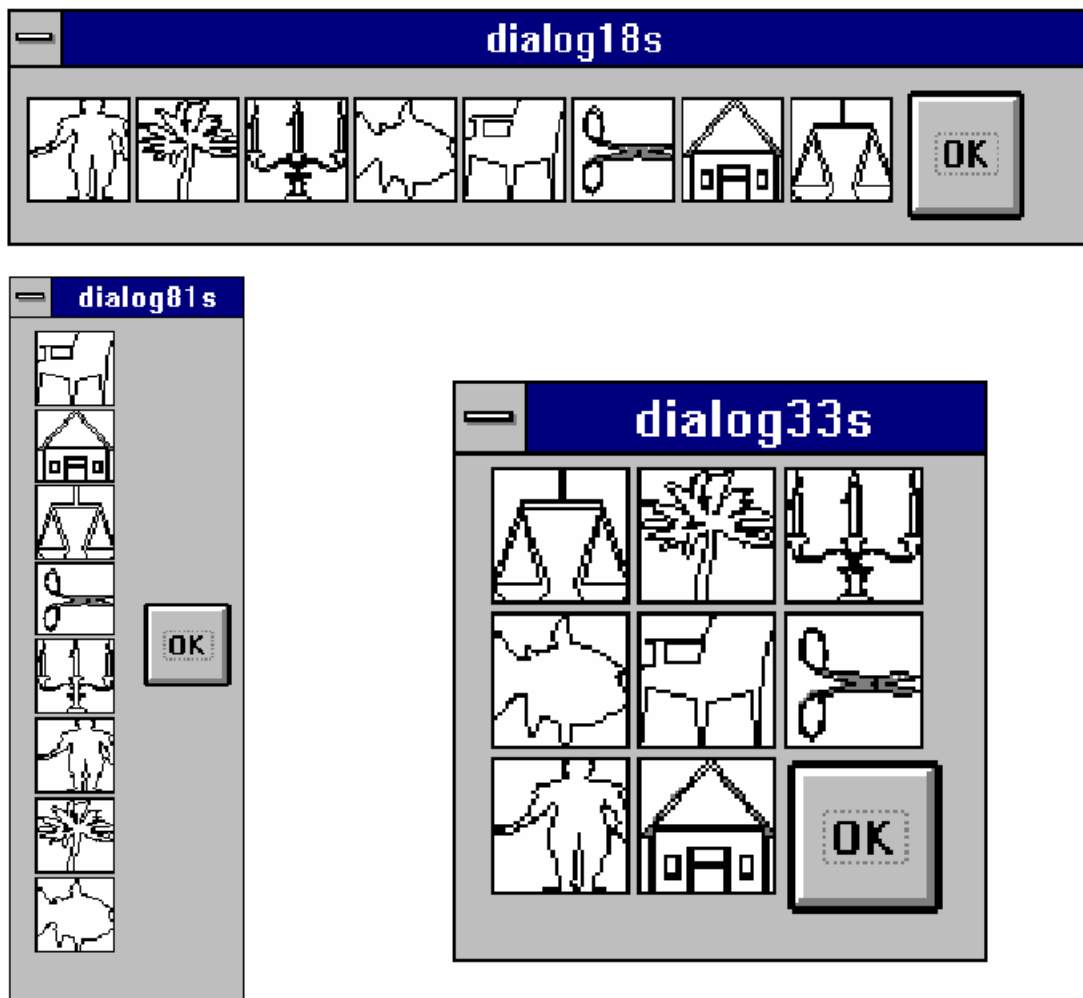


Fig.1 Examples of tested panels (icons and icon layout configurations).

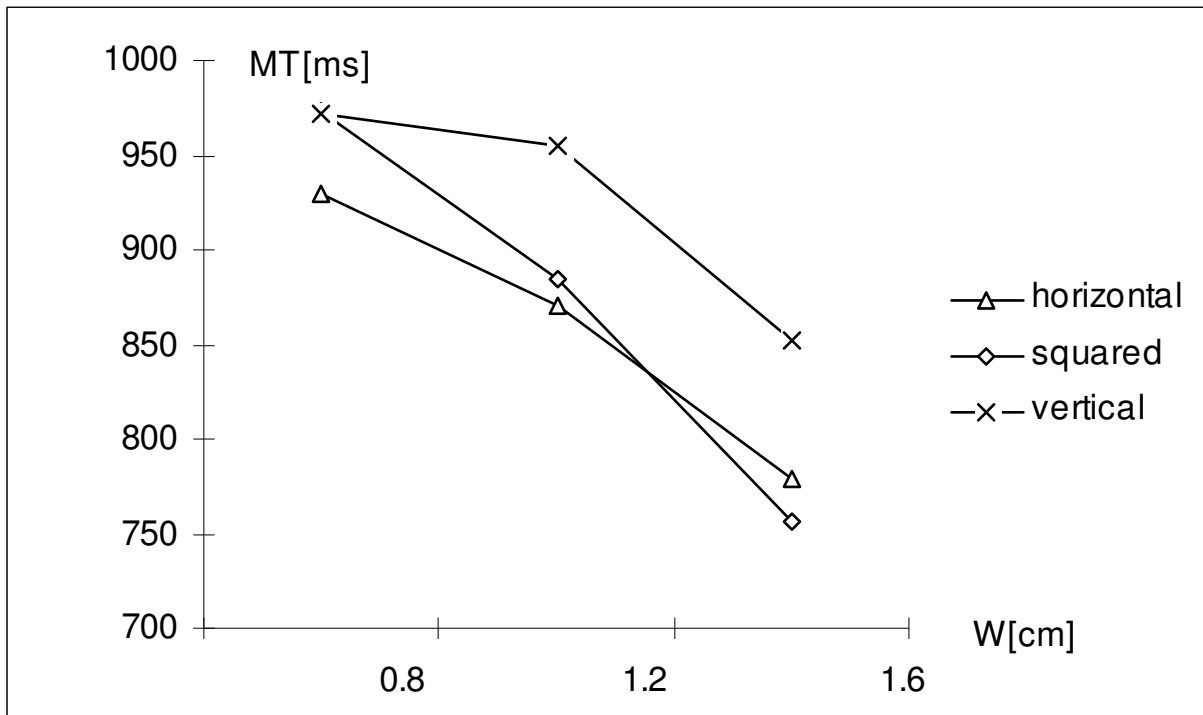


Fig. 2. Mean selection time as a function of icon's width and shape in the first experiment.

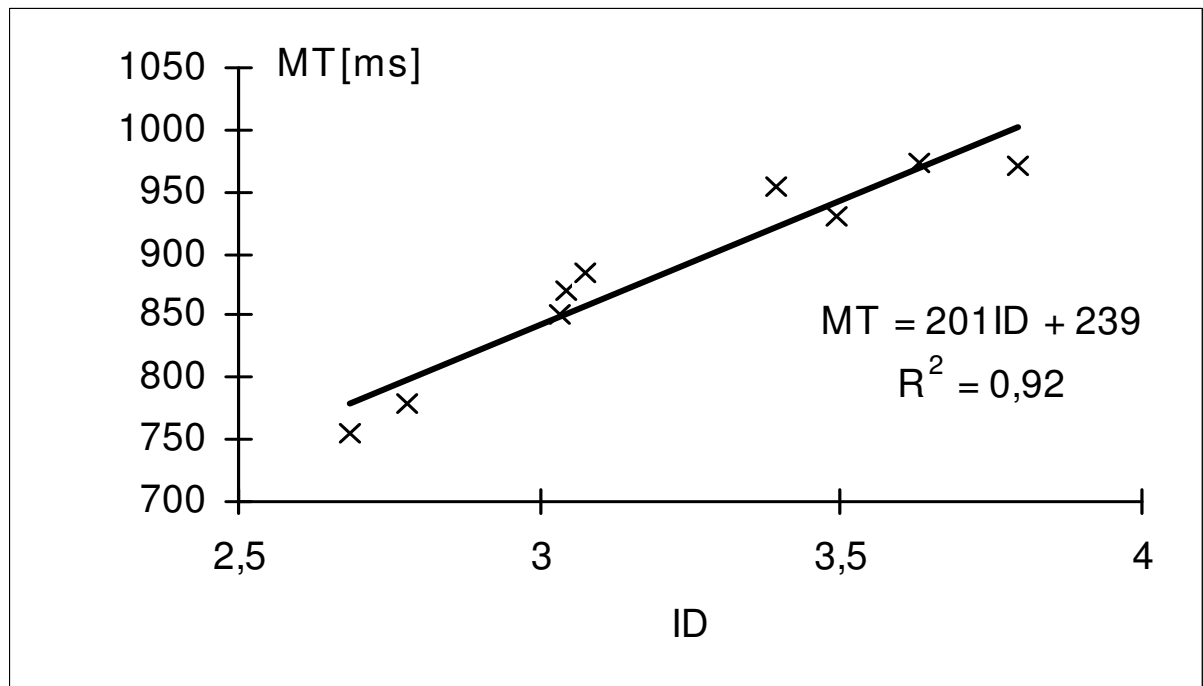


Fig. 3. Mean time prediction equation for the first experiment.

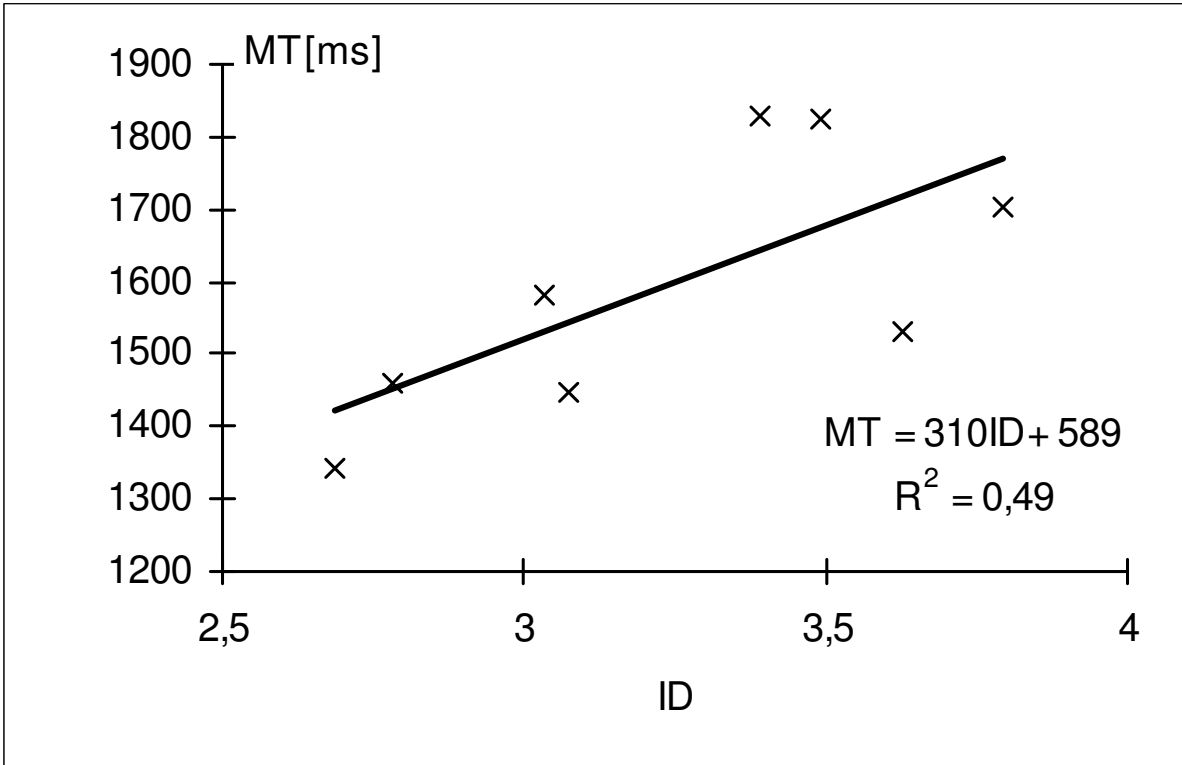


Fig. 4. Mean time versus ID in the second experiment.

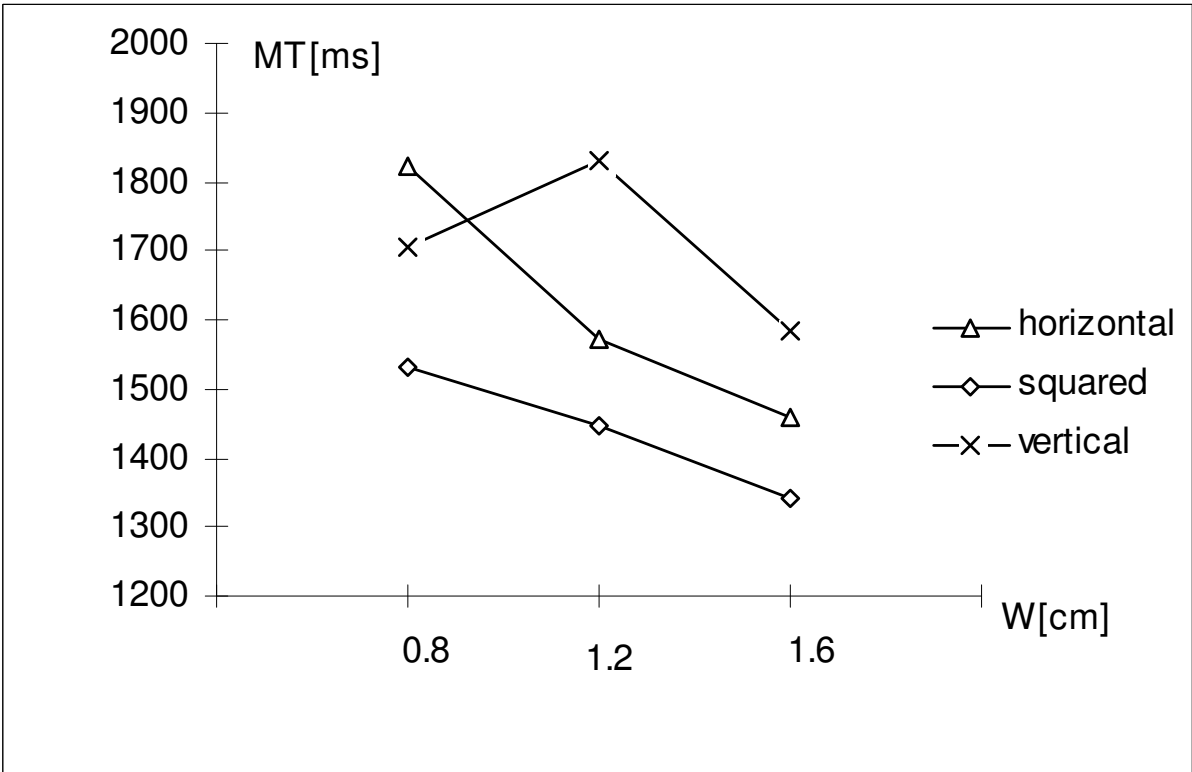


Fig. 5. Mean times versus icons width and configuration

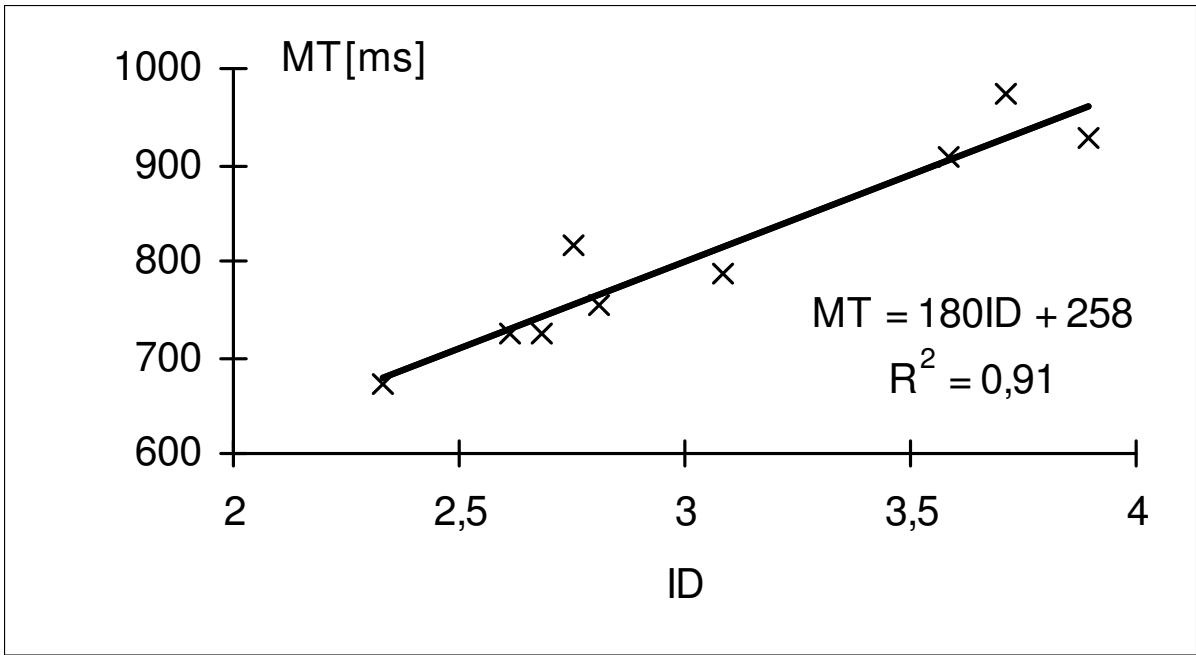


Fig. 6. Mean time prediction equation for the 16 elements panel.

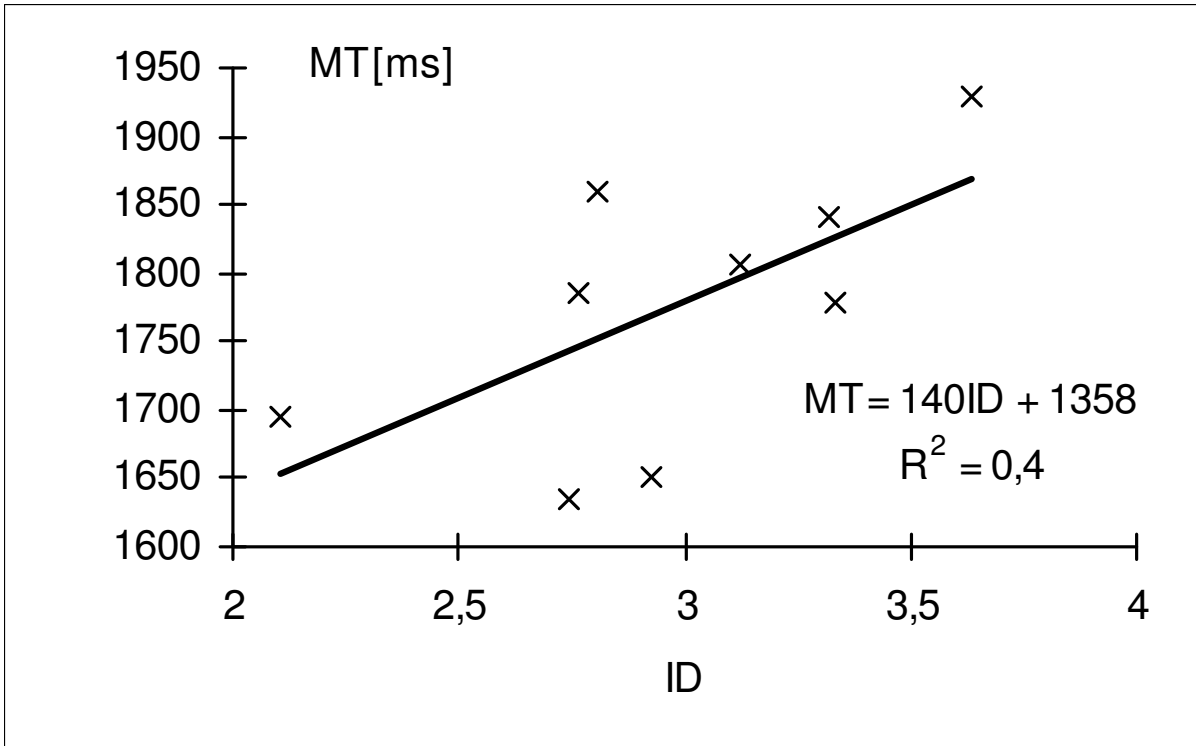


Fig. 7. Mean time versus ID in the experiment 3b.

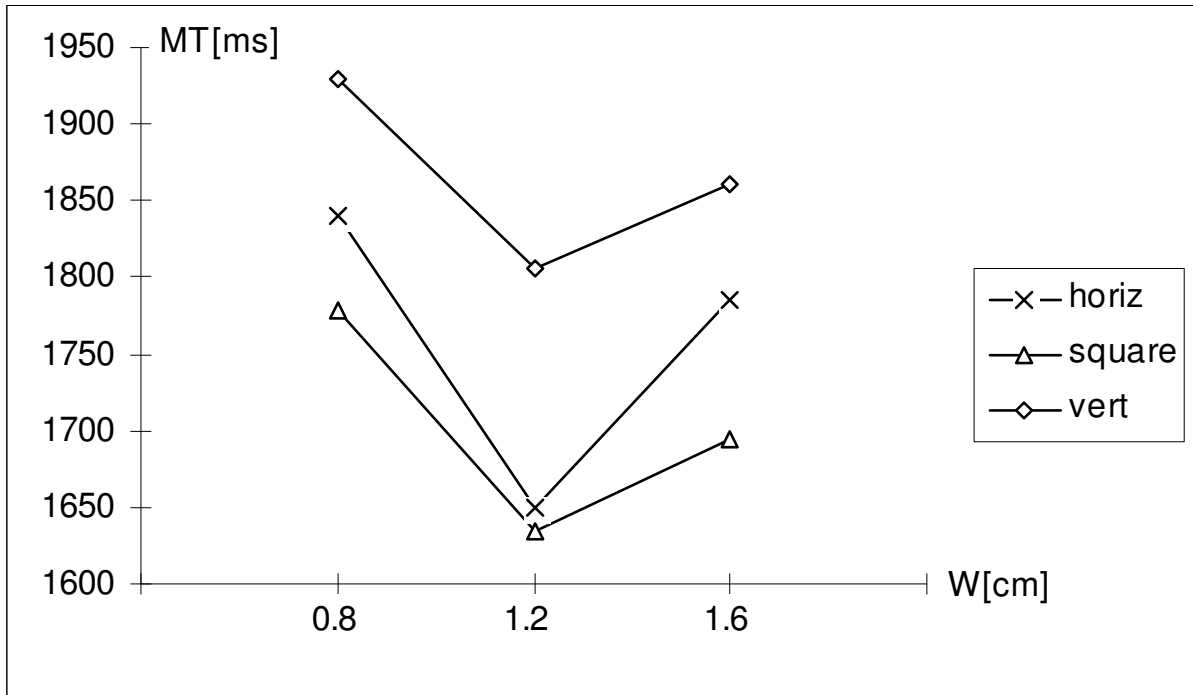
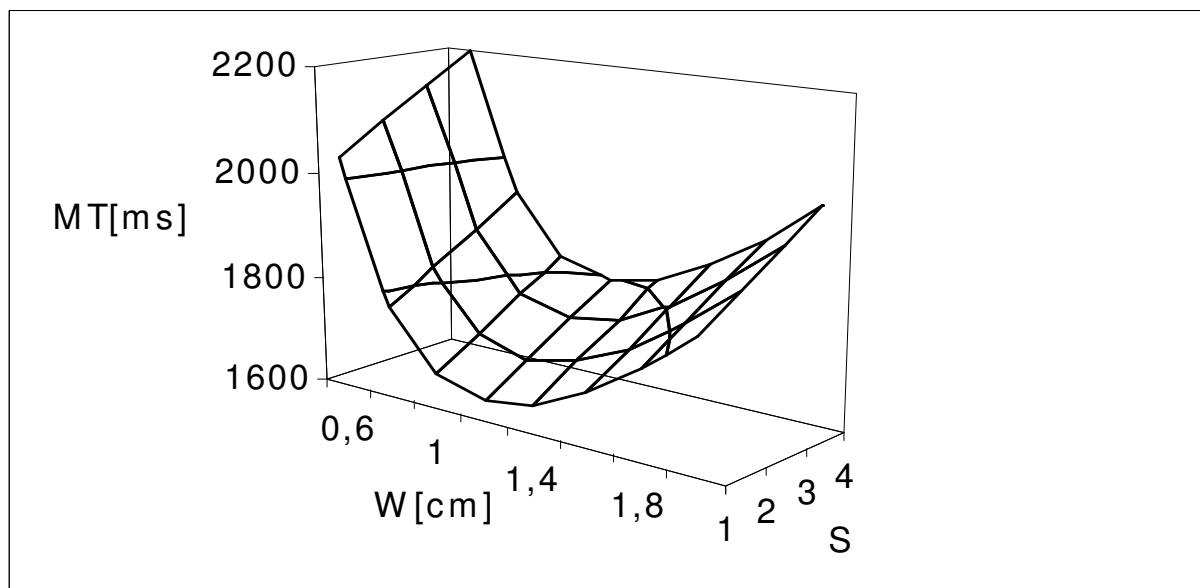


Fig. 8. Mean time as a function of icon width (W) and a panel configuration.

Fig 9. Graphical representation of the model (12) for D=0.



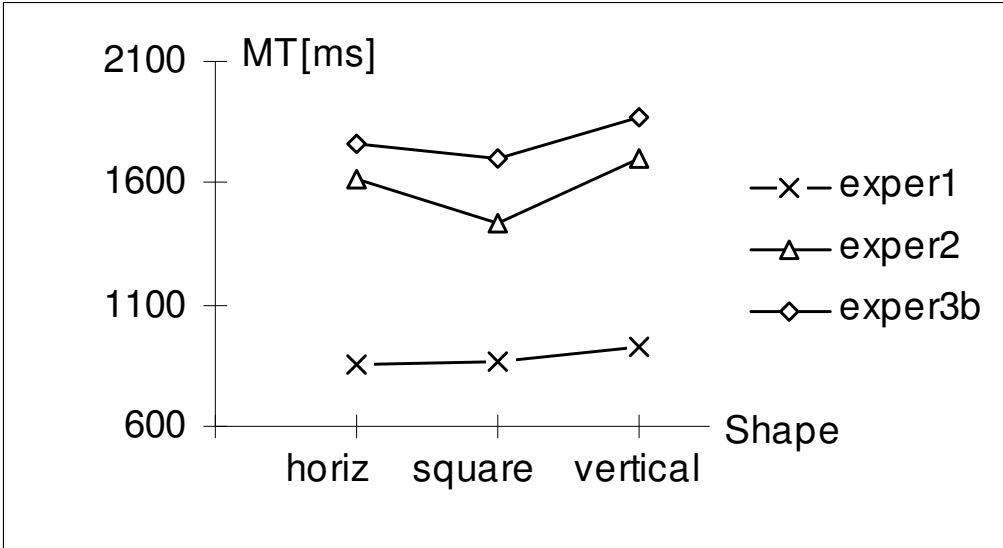


Fig 10. Mean time as a function of configuration in experiments 1, 2 and 3b.

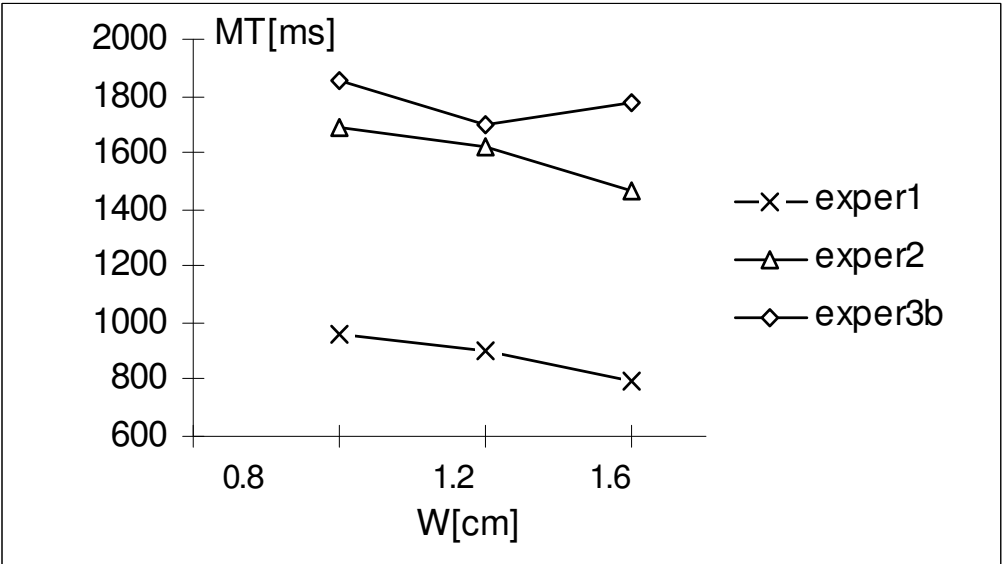


Fig. 11 Mean time as a function of icons width in experiments 1, 2 and 3b.

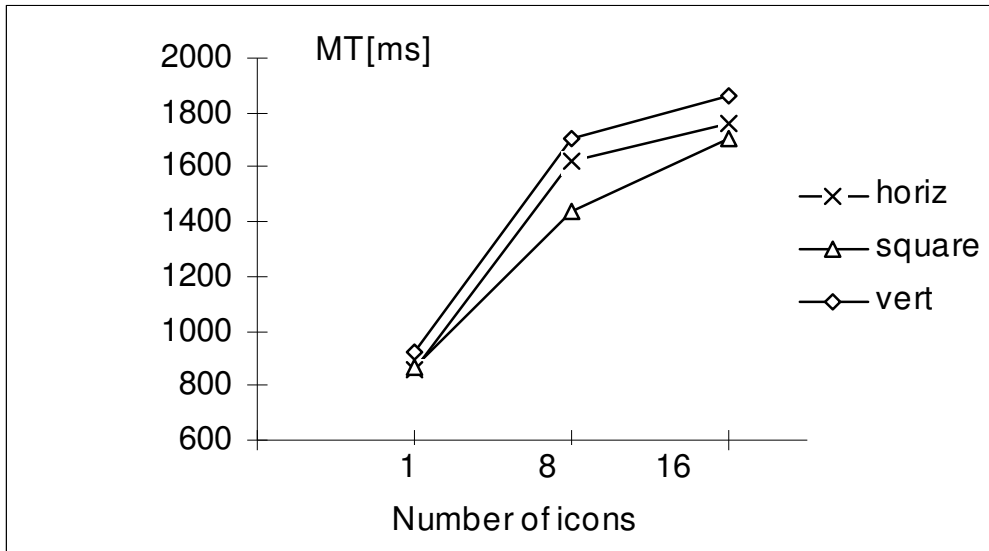


Fig. 12. The relationship between mean time and the number of icons for different panel configurations.

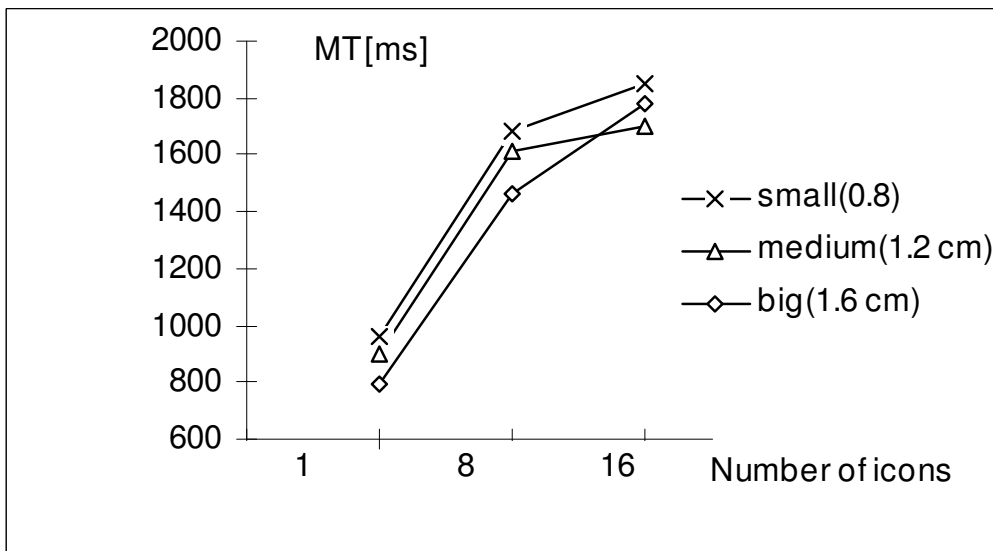


Fig. 13. The relationship between mean time and the number of icons for a different icons width.

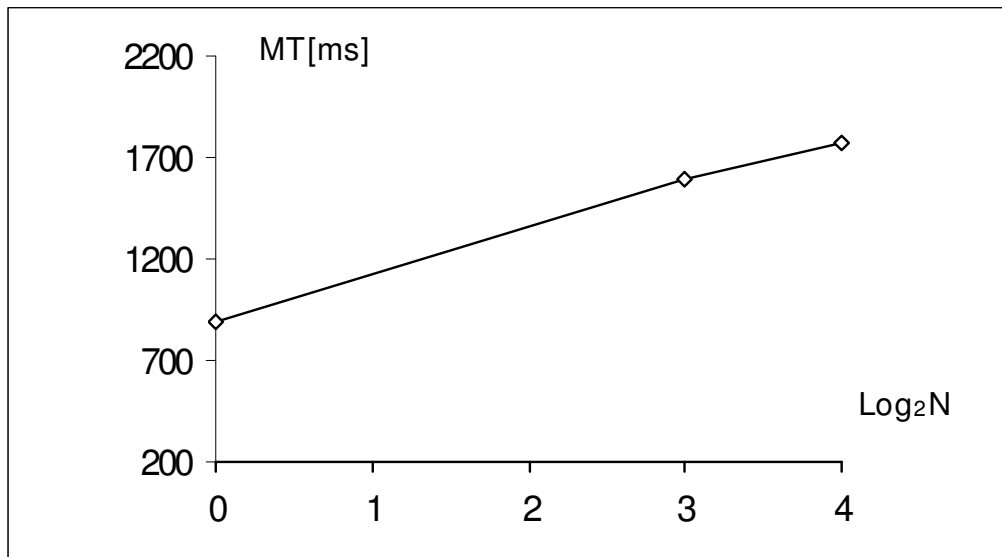


Fig 14. General mean times as a function of logarithm of the number of icons (N).

8. Literatura

1. Card S. K., English W. K., Burr B. J., 1978, Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT. *Ergonomics*, 21, 601-613.
2. Card S. K., Moran T. P., Newell A. 1983, *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
3. Drury C. G., Hoffmann E. R. 1992, A model for movement time on data-entry keyboards. *Ergonomics*, 35, 129-147.
4. Epps, B., 1986, Comparison of six cursor control devices based on Fitts' law models. Proc of the 30th annual meeting of the Human Factors Society, 327-331. Santa Monica CA. Human Factors Society.
5. Fitts P.M., Peterson J.R. 1964, Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, 67, 103-112.
6. MacKenzie S., 1992, Fitts' Law as a research and design tool in human-computer interaction. *Human-Computer Interaction* 7, 91-139.
7. Martin G.L. 1988, Configuring a numeric keypad for a touch screen, *Ergonomics*, 31, 945-953.
8. Paap K.R., Roske-Hofstrand R.J. 1988, Design of menus, in: Helander M. (ed) *Handbook of Human-Computer Interaction*. Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland).
9. Ziegler J.E., Fahrnich K.P. 1988, Direct manipulation, in: Helander M. (ed) *Handbook of Human-Computer Interaction*. Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland).