



Zwrot inwestycji w zakup myszek 3D dla inżynierów aplikacji CAD *Wyniki badań*

Streszczenie

Technology Assessment Group (TAG), niezależna firma konsultingowa, specjalizująca się w testach produktów oraz ocenach produktywności, przeprowadziła niniejsze badanie w celu zmierzenia ekonomicznego wpływu wykorzystania myszek 3D w środowisku CAD przez inżynierów aplikacyjnych.

Badanie interfejsu użytkownika przeprowadzone przez GE, IBM oraz Uniwersytet Toronto sugeruje, że istotny przyrost produktywności powinien być rezultatem prawidłowej integracji urządzeń posiadających 6-cio stopniową swobodę ruchu (6-degree-of-freedom: 6DoF) i kompleksowych aplikacji 3D, takich jak CAD 3D.

Najważniejsze wyniki

- **Ponad 84%** wszystkich inżynierów aplikacyjnych CAD stwierdziło **zauważalną lub znaczącą poprawę** w projektowaniu modeli oraz możliwość szybszego dostrzeżenia błędów projektowych dzięki używaniu myszki 3D.
- Przeciętny przyrost produktywności stwierdzony przez użytkowników CAD podczas pracy z myszkami 3D to 21%.
- Czas zwrotu inwestycji w zakup myszki 3D jest bardzo krótki: **mniej niż jeden miesiąc.**

1. Wprowadzenie

Dostarczanie na rynek wysokiej jakości, bezawaryjnych produktów szybciej niż konkurencja jest kluczowym czynnikiem sukcesu każdej firmy. Oba aspekty – jakość i moment wejścia na rynek – są krytyczne. Firmy mogą szybko wzrastać (i słabnąć) bazując na swoich osiągnięciach.

Liczne przykłady można znaleźć w wiadomościach biznesowych. Na przykład:

- Firmy z branży samochodowej prześcigają się w dostarczaniu na rynek pojazdów nowej generacji, wydajnie wykorzystujących paliwo, co ma być odpowiedzią na zmienne wymagania ekonomiczne klientów oraz rządowe regulacje emisji spalin.
 - Agencja Reuter'a donosi, że „z uwagi na przyspieszenie wyścigu o dostarczenie na rynek masowego pojazdu o napędzie elektrycznym, dyrektorzy GM stwierdzili, iż Volt jest krytyczny dla wysiłków największych amerykańskich producentów samochodowych pragnących przebić dominację proekologicznej technologii wykorzystywanej przez Japońską konkurencję: Toyota Motor Corp.”
- Firmy z branży telefonii komórkowej robią wszystko, by przyciągnąć klientów coraz to nowszymi rozwiązaniami
 - Motorola, lider na rynku w 2006 roku wraz ze swoim rewelacyjnym produktem Razr, nie zdążyła wypuścić na rynek nowych, lepszych modeli, przez co spadła na 3 miejsce w 2008 roku
- Producenci samolotów starają się tworzyć nowe maszyny, które stanowiąc będą istotny element przyszłych przychodów. Pojawienie się na rynku kilka miesięcy wcześniej niż konkurencja może mieć znaczący wpływ na zdobycie wielomilionowych kontraktów.

W procesie rozwoju produktu kluczowym czynnikiem szybkiego dostarczenia na rynek produktów o wysokiej jakości i bezawaryjności, jest wydajność i jakość pracy inżynierów aplikacyjnych CAD. Jeśli mogliby oni usprawnić proces projektowania produktu, wcześniej wyłapać problemy i wszystko to zrobić w krótszym czasie, to będą w stanie znacznie przyczynić się do rynkowych osiągnięć firmy.

Główne badania interfejsów użytkownika przeprowadzone przez GE Research, IBM, Uniwersytet Toronto i inne instytucje pokazały znaczną poprawę wydajności, będącą rezultatem wykorzystania urządzeń pozwalających inżynierom CAD na intuicyjną, płynną nawigację obiektów trójwymiarowych oraz pracę obiema rękami jednocześnie.

Myszki 3D to urządzenia peryferyjne, umożliwiające zarówno intuicyjną nawigację modeli trójwymiarowych, jak i pracę obiema rękami równocześnie. Inżynierowie aplikacyjni CAD i firmy, które zaadoptowały myszki 3D w swój proces projektowania produktów, stwierdzają jednogłośnie wyraźny wzrost osiągnięć i wydajności.

Szczegółowe badania ilościowe nie były jednak przeprowadzone jedynie w celu określenia różnicy w pracy bez lub z myszkami 3D. Z uwagi zaś na to, że myszki 3D stanowią dla firmy inwestycję, warto jest poznać pewne ekonomiczne wyniki, które firma może użyć by zmierzyć stosowność tej inwestycji dla organizacji.

Aby wyjaśnić powyższe kwestie Technology Assessment Group (TAG) opracowała następujące badanie:

- Została przygotowana ankieta z 14 pytaniami, której celem było uzyskanie danych od 190 aktywnych użytkowników myszek 3D. Badanie zostało przeprowadzone przez MarketLab – niezależną grupę zajmującą się badaniami rynku – w maju 2008 roku. Ankieta pytała o doświadczenia użytkowników z myszkami 3D w oparciu o:
 - Wyraźne poprawy w projektowaniu produktów i wczesne wykrywanie błędów
 - Przyrosty produktywności (o ile szybciej są w stanie wykonywać swoją pracę)
 - Czas potrzebny by zacząć wygodnie i produktywnie korzystać z myszki 3D
 - Ilość czasu spędzanego na pracy z aplikacjami 3D.

Poniższy raport prezentuje wyniki przeprowadzonych badań oraz podstawowe badania interfejsów użytkownika, które wyjaśniają przyczyny tych wyników.

Raport odpowiada również na następujące pytania istotne z punktu widzenia zarządzenia:

- Jaki jest ekonomiczny zwrot inwestycji w myszki 3D dla inżynierów aplikacyjnych CAD?
- Jak możemy zdeterminować ekonomiczny zwrot dla naszej firmy?

2. Wnioski użytkowników

Przebadanych zostało stu dziewięćdziesięciu inżynierów aplikacyjnych CAD korzystających z myszek 3D w Stanach Zjednoczonych. Pracują oni w firmach zatrudniających od kilku (mniej niż 10) do kilkuset (więcej niż 500) konstruktorów CAD.

Konstruktorzy pracują zazwyczaj na najpopularniejszych aplikacjach CAD, takich jak CATIA, Inventor, NX, Pro/ENGINEER czy SolidWorks. Posiadają różne stopnie doświadczenia w pracy z myszkami 3D, od użytkowania krótszego niż trzy miesiące do dłuższego niż dwa lata. Spośród tych projektantów 53% używa myszki 3D krócej niż rok, a 88% krócej niż dwa lata. Dokładny podział przedstawia poniższy rysunek.

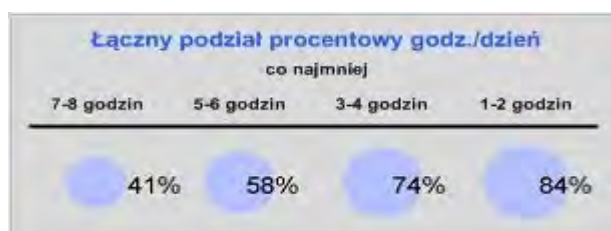


Warto pamiętać, że ze względu na zwięzłość tego raportu, procenty pokazywane są bez wartości dziesiętnych. Dlatego też prezentowane liczby mogą się czasem różnić +/- 1% w rezultacie zaokrąglenia.

2.1 Charakterystyka pracy

Inżynierowie aplikacyjni CAD różnią się od przeciętnych użytkowników komputerów tym, że używają do swojej pracy specyficznych aplikacji CAD przez wiele godzin dziennie.

Odpowiednio 74% z nich twierdzi, że spędza przynajmniej 3 godziny dziennie używając aplikacji CAD. 41% spędza przynajmniej siedem godzin dziennie. Poniższe diagramy pokazują podział grupy pod względem czasu użytkowania oraz wyniki łączne.



2.2 Aplikacje CAD i myszki 3D.

Jak wspomniane było wcześniej, korporacyjne i akademickie badania wykazały dwa główne czynniki, dzięki którym myszki 3D wyraźnie poprawiają osiągnięcia osób korzystających w pracy z aplikacji 3D:

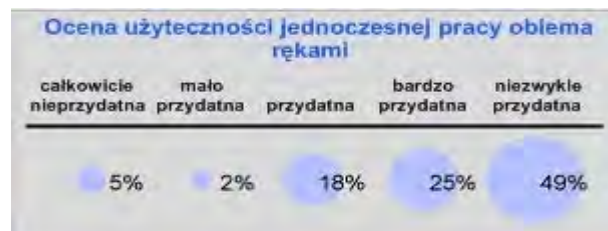
- 6 stopni swobody ruchu (6DoF), dzięki którym szybko pozycjonować można obiekty oraz sceny trójwymiarowe
- możliwość pracy obiema rękami (np. myszka 3D w jednej ręce i tradycyjna myszka 2D w drugiej).

Badanie miało na celu sprawdzenie, czy użytkownicy myszek 3D rozpoznają te czynniki w swojej pracy i czy ich zdaniem urządzenia te przyczyniają się do tworzenia wysokiej jakości projektów, sprawniejszego wyłapywania błędów i szybszej pracy.

W skali pięciopunktowej, 83% ankietowanych stwierdziło, że nawigacja 6DoF wykorzystywana w myszkach 3D jest „bardzo przydatna” lub „niezwykle przydatna”, a prawie połowa (49%) określa ową cechę jako „niezwykle przydatną”. Generalnie prawie wszyscy użytkownicy (95%) uważają, że 6DoF jest „przydatne” lub lepiej. Szczegółowy podział procentowy przedstawiony jest poniżej.



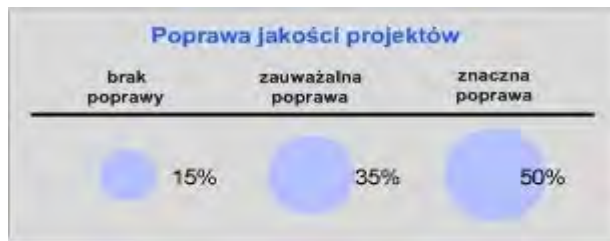
Biorąc pod uwagę możliwość pracy równocześnie obiema rękami, 75% użytkowników określiła tę cechę jako „bardzo przydatną” lub „niezwykle przydatną” i tu również prawie połowa (49%) mówi o niej jako o „niezwykle przydatnej”. Generalnie prawie wszyscy użytkownicy (95%) uważają, że praca obiema rękami jest „przydatna” lub lepiej. Szczegółowy podział procentowy przedstawiony jest poniżej.



W jaki sposób czynniki te wpływają na proces projektowania produktów? We wstępie stwierdzone zostało, że wysoka jakość produktów i ich bezawaryjność są kluczowymi wyznacznikami sukcesu firmy. Czy myszki 3D mogą rzeczywiście poprawić jakość projektów i zmniejszyć ilość błędów?

Według opinii ankietowanych użytkowników, myszka 3D umożliwia im dużo łatwiejszą rotację, kontrolę i badanie wykonywanych projektów. Oto rezultaty:

- 85% zauważyło „wyraźną” lub „znaczącą” poprawę w projektowaniu produktów
- 84% stwierdziło, że mogą „wyraźnie” lub „znacząco” poprawić proces wykrywania błędów



Te wysokie wyniki oznaczają, że firmy adoptujące myszki 3D w swoich działach konstrukcyjnych powinny oczekiwać podobnych rezultatów.

A co z szybkością projektowania – czasem potrzebnym inżynierom, by stworzyć projekt produktu? Czy są szybsi (bardziej wydajni) używając myszki 3D? Poprawa wydajności inżynierów CAD bezpośrednio przyczyni się do szybkości pojawienia się produktu na rynku, co z kolei będzie miało znaczący wpływ na rynkowy sukces tego produktu.

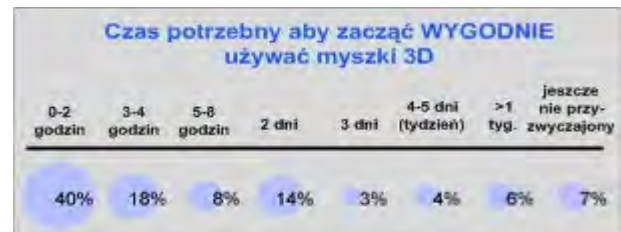
Projektanci CAD stwierdzili średnio 21% wzrost produktywności przy używaniu myszki 3D w porównaniu do pracy bez niej. Ponad 86% użytkowników zauważyło wzrost produktywności w zakresie od 10 do 50%. Poniższy wykres przedstawia odpowiedzi użytkowników.



A jaki jest czas potrzebny na naukę korzystania z myszki 3D? Jeśli obycie się z myszką 3D zajmie trzy miesiące, a kolejne trzy pozwoli dopiero zwiększyć wydajność pracy, to czy taki wzrost produktywności jest wart uczenia się obsługi nowego urządzenia?

Aby użytkownicy docenili nowy sposób pracy najważniejsza jest możliwość szybkiego „przyzwyczajania się” do nowości. Jeśli nowe podejście wyda im się problematyczne lub nieporęczne, porzucą je nawet mając w perspektywie pewne korzyści.

Ponad połowa użytkowników (58%) przyzwyczała się do myszki 3D w ciągu pierwszej godziny pracy, a ogromnej większości (80%) zajęło to nie więcej niż 2 dni.

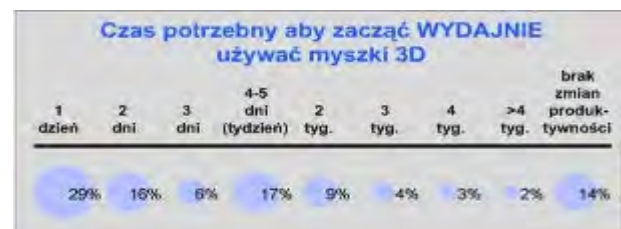


Zapytajmy teraz, ile czasu potrzeba, aby nie tylko przyzwyczać się do myszki 3D, ale zacząć używać jej biegle? Przeprowadzone badania pokazują, że użytkownicy szybko przechodzą od przyzwyczajania do wydajnej pracy: 66% w ciągu pierwszego tygodnia, a 78% w ciągu dwóch tygodni.



Ile czasu potrzeba, aby mysz 3D pozwoliła użytkownikowi znacznie zwiększyć wydajność pracy? Jest to w końcu nadrzędny cel wprowadzania jakichkolwiek zmian w sposobie pracy.

Prawie połowa (45%) użytkowników stwierdziła wzrost produktywności po czasie nie większym niż 2 dni, a 68% w ciągu pierwszego tygodnia używania myszki 3D.



3. Podstawowe badania interfejsu użytkownika

Bardzo ważne jest zrozumienie podstawowych koncepcji interfejsu użytkownika, które stoją za opisywanym zwiększeniem wydajności. Pozwoli to dotrzeć zarówno do inżynierów aplikacyjnych CAD jak i do innych profesjonalnych użytkowników zastanawiających się nad użytecznością myszki 3D.

W tej części raportu wytłumaczono, czym różni się typowy inżynier aplikacyjny CAD od standardowego użytkownika komputera. Następnie opisano specyficzne wymagania aplikacji 3D CAD dotyczące interfejsu użytkownika. Koncepcja przepustowości interfejsu użytkownika przedstawiona została razem z dwoma najważniejszymi przyspieszającymi ją czynnikami.

3.1 Porównanie inżynierów CAD z użytkownikami standardowymi

Inżynierowie CAD zwykle:

- pracują na kluczowych stanowiskach, używając złożonych aplikacji CAD zależnych od specyfiki pracy
 - najczęściej używane aplikacje CAD to CATIA, Inventor, NX, Pro/ENGINEER i SolidWorks
- często spędzają ponad połowę czasu pracy, korzystając z oprogramowania CAD
- potrzebują bardzo wydajnych komputerów, aby ich praca była bardziej efektywna
- pracują na aplikacjach, których koszt waha się od 1000 do 50,000€

Do tego profilu pasuje ponad milion użytkowników CAD 3D na świecie.

W przeciwieństwie do nich użytkownicy standardowi:

- używają aplikacji ogólnego przeznaczenia (e-mail, przeglądarki internetowe, pakiety biurowe itp.) niezależnych od specyfiki wykonywanej pracy
- spędzają mniej niż połowę czasu pracy przy komputerze
- potrzebują mniej zaawansowanych technicznie komputerów
- wydają na oprogramowanie mniej niż 1000€

Poniższa tabela pokazuje kluczowe różnice pomiędzy wymienionymi grupami użytkowników.

	użytkownik CAD 3D	użytkownik komercyjny
używane aplikacje	złożone, typowe dla stanowiska	ogólnego przeznaczenia
wykorzystanie komputera	4-8 godzin/dzień	0-4 godzin/dzień
wydajność komputera	wysoka	średnia
koszt oprogramowania	1000 - 50,000 €	< 1000€

Różnice te dostarczają informacji potrzebnych do analizy aplikacji CAD 3D oraz ich specyficznych wymagań stawianych przed interfejsem użytkownika.

3.2 Charakterystyka aplikacji CAD 3D

Użytkownicy aplikacji CAD 3D są zwykle znacznie bardziej wymagający, jeśli chodzi o styl pracy z komputerem, niż użytkownicy standardowi. Aplikacje bazujące na rodzaju wykonywanej przez nich pracy zmuszają ich do pracy w specyficzny sposób:

- częstsze wykorzystywanie nawigacji (modele, widoki)
- bardziej złożona (więcej stopni swobody) nawigacja (częstsze przesuwanie, zoom, rotacja)
- znacznie większa ilość wprowadzanych w ciągu minuty poleceń oraz częstsza manipulacja modelem w porównaniu z użytkownikami standardowymi
- znacznie większa gama często wykorzystywanych poleceń

Wyobraźmy sobie zwykłego użytkownika przeglądającego pocztę elektroniczną, co jest najczęściej wykonywaną przez niego czynnością. Zacznie on czytać wiadomość przewijając ją pionowo do samego końca. Następnie wybierze opcję „odpowiedz” lub „przekaz” i wybierze następną wiadomość do przeczytania. W tym konkretnym przypadku:

- nawigacja (przewijanie pionowe) wymaga tylko jednego stopnia swobody, tak samo jak wybranie następną wiadomości
- ilość wykorzystywanych poleceń jest stosunkowo niewielka
- wymagana przepustowość interfejsu nie jest duża, zarówno dla nawigacji jak i poleceń.

Przyglądając się dłoniom takiego użytkownika stwierdzilibyśmy, że tempo jego pracy jest niskie. Całkiem inaczej będą wyglądać dłonie użytkownika aplikacji CAD 3D. Można by je porównać do dłoni pianisty wykonującego skomplikowany utwór. Prawa dłoń porusza szybko myszką i kółkiem przewijania, podczas gdy lewa dłoń nieustannie naciska klawisze na klawiaturze (zwykle CTRL, SHIFT, ALT czy ESC).

Bazując na obserwacjach i ankiecie przeprowadzonej wśród użytkowników aplikacji CAD 3D, TAG szacuje, że liczba wydawanych przez nich poleceń nawigacji i pozostałych komend w ciągu minuty jest od 5 do 10 razy większa niż w wypadku pozostałych użytkowników. Konieczność szybszego wprowadzania poleceń i wykonywania czynności nawigacji jest najważniejszym wymaganiem stawianym przed wysokoprzepustowym interfejsem użytkownika, omówionym w następnym rozdziale.

3.3 Przepustowość interfejsu użytkownika

Wydajność aplikacji CAD 3D może być ograniczana przez trzy czynniki związane z przepustowością:

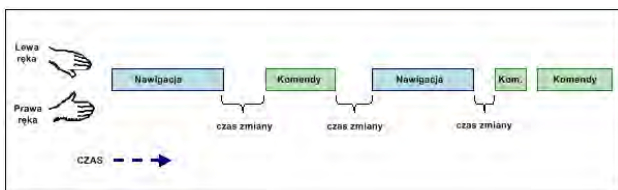
- Wydajność stacji roboczej
- Wydajność systemu graficznego
- Przepustowość interfejsu użytkownika

Przyjrzyjmy się inżynierowi projektującemu nowy zawór w aplikacji 3D CAD takiej jak Pro/ENGINEER czy SolidWorks.

- Wąskim gardłem w obliczeniach jest uaktualnianie modelu. Przy zwiększającej się złożoności tworzonych modeli drastycznie wzrastają wymagania obliczeniowe
- Wąskie gardło w grafice wynika z potrzeby dokładnego renderowania na bieżąco obiektów 3D wysokiej jakości
- W interfejsie użytkownika wąskie gardło wynika z potrzeby przesuwania obiektów i wydawania znacznej ilości poleceń w możliwie najkrótszym czasie, przy jednoczesnym zminimalizowaniu ilości przerw potrzebnych na zmianę trybu pracy

Podczas gdy wydajność stacji roboczych i systemów graficznych wzrastała zgodnie z „prawem Moore’a”, interfejsy użytkownika CAD 3D nie nadążały za tym rozwojem. Przepustowość interfejsu stała się podstawowym czynnikiem dla przyspieszenia pracy z aplikacjami CAD 3D.

Koncepcyjny model opracowany przez badaczy akademickich dostarcza użytecznej reprezentacji graficznej dla zrozumienia pojęcia przepustowości interfejsu użytkownika.

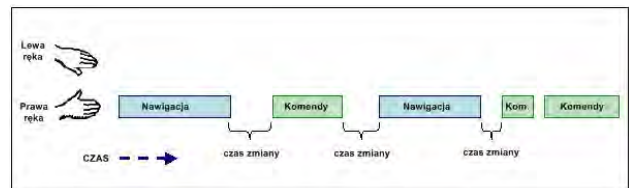


Model przepustowości interfejsu użytkownika (źródło: W. Buxton, M. Billinghurst, Y. Guiard, A. Sellen oraz S. Zhai, 2002)

Model ten pokazuje kierowanie interfejsem (dziś i w najbliższej przyszłości) za pomocą prawej i lewej ręki, zarówno zarządzającej nawigacją, jak i wydającej komendy. Przepustowość interfejsu użytkownika to w uproszczeniu czas potrzebny na wydanie pewnej liczby komend w celu wykonania jednej z funkcji aplikacji.

3.4 Strumienie wejściowe

Pierwsze ograniczenie przepustowości interfejsu użytkownika ma związek ze „strumieniami wejściowymi”. Stwierdziliśmy właśnie, że wszystkie polecenia użytkownika są wprowadzane prawą i lewą ręką. Jednak w rzeczywistości lewa ręka jest zwykle prawie bezczynna poza okresowym naciskaniem klawiszy zmiany trybu pracy (np.: Ctrl, Shift, Alt). Z modelu pokazanego poniżej wynika, że prawą ręką (dla użytkowników praworęcznych) wykonywana jest prawie cała praca, co tworzy w zasadzie jeden strumień wejściowy poleceń.



Jednostrumieniowe wprowadzanie poleceń

Trafnie podsumowali to Zhai, Smith i Selker (1997):

Jedną z podstawowych cech obecnie rozpowszechnionych interfejsów użytkownika jest komunikacja z komputerem przez pojedynczy strumień danych przestrzennych generowanych przez urządzenie wejściowe o dwóch stopniach swobody, zwykle myszkę i przedstawianych graficznie w formie kursora. Uniwersalny kursor porusza się po całym interfejsie, zmieniając swoją funkcję od wskazywania przez wybieranie, rysowanie, przewijanie, uruchamianie aż do przełączania, w zależności od wyboru wirtualnego urządzenia takiego jak główne okno/dokument, menu, pasek przewijania, ikona czy hiperłącze. Ten jednostrumieniowy sposób pracy przyniósł użytkownikom korzyści takie jak łatwość zrozumienia i nauki mechanizmów interakcji. Wadą tego rozwiązania jest ograniczenie przepustowości (Buxton 1986) oraz opóźnienie i kognitywny wysiłek związany z przemieszczaniem się pomiędzy wirtualnymi urządzeniami i polami kontrolnymi. (Buxton and Myers 1986, Leganchuk, Zhai and Buxton 1996).

W wyniku obserwacji użytkowników CAD 3D jak i pozostałych TAG oszacowało, że użytkownicy CAD 3D wydają od 5 do 10 razy więcej poleceń nawigacji i pozostałych komend w ciągu minuty niż użytkownicy standardowi. Przesyłanie takiej ilości poleceń przez pojedynczy strumień wejściowy (choć z niewielkim wykorzystaniem klawiatury) powoduje poważne ograniczenie przepustowości.

Pierwszą możliwością zwiększenia przepustowości interfejsu użytkownika jest zatem zwiększenie ilości strumieni wejściowych, poprzez które użytkownik może sterować aplikacjami.

3.5 Nawigacja

Drugim czynnikiem ograniczającym przepustowość interfejsu użytkownika jest nawigacja. Obejmuje ona przemieszczanie się pomiędzy konkretnymi obszarami w celu wykonywania zadań. Przykładami są: przesuwanie ekranu przy czytaniu poczty elektronicznej, przesuwanie obszaru pracy w aplikacji Photoshop, czy obracanie modelu w CATIA w celu zobaczenia go z różnych stron.

Choć nawigacja należy do bardzo często wykonywanych czynności w większości aplikacji, specyfika nawigacji różni się drastycznie w zależności od oprogramowania.

Poniższa tabela przedstawia opis powszechnych czynności nawigacji wraz z ilością stopni swobody potrzebnych do ich wykonania oraz przykłady aplikacji.

	ilość stopni swobody	opis	przykład aplikacji
przesuwanie ekranu/sceny (pionowe)	1	przesuwanie zawartości dokumentu w górę/dół	EE-mail, Web, Word
przesuwanie ekranu/sceny (poziome)	1	przesuwanie zawartości dokumentu w lewo/prawo	Excel
przesuwanie modelu/ obiektu	2	przesuwanie obrazka jednocześnie w pionie i poziomie	AutoCAD, Photoshop
przybliżanie/ oddalanie	1	przybliżanie/ oddalanie modelu/ dokumentu	AutoCAD, Photoshop
Rotacja	3	obracanie modelu wokół wszystkich trzech osi	3ds Max, CATIA, Pro/E, Maya, SolidWorks

Wymagania DoF dla różnych rodzajów nawigacji

Ilość wymaganych stopni swobody należy zsumować.

Na przykład aby przesuwać i przybliżać/oddalać obiekt: 2 (przesuwanie) + 1 (przybliżanie/oddalanie) = 3 stopnie swobody.

Aby przesuwać, przybliżać/oddalać i obracać obiekt: 2 (przesuwanie) + 1 (przybliżanie/oddalanie) + 3 (obracanie po trzech osiach) = 6 stopni swobody

Wykorzystywane rodzaje nawigacji różnią się znacząco w zależności od używanej aplikacji, co pokazuje poniższa tabela.

Aplikacja	Przesuwanie ekranu (pionowe)	Przesuwanie ekranu (poziome)	Przesuwanie modelu/obektu	Przybliżanie/oddalanie	Rotacja
E-mail	*****				
Word	*****	*		*	
Excel	****	***		**	
Photoshop	*	*	***	****	
aplikacje 3D CAD			***	*****	*****

Częstotliwość nawigacji w różnych typach aplikacji

Istotnym faktem jest częste jednoczesne przesuwanie obiektu wraz z przybliżaniem/oddalaniem (3 stopnie swobody) lub przesuwanie, przybliżanie/oddalanie i rotacja (6 stopni swobody) w aplikacjach CAD 3D.

„Przebywać w transie”

Przed badaniami dotyczącymi możliwości zwiększenia przepustowości warto zwrócić uwagę na to, że wymienione wcześniej trzy ograniczenia przepustowości przerywają naturalnie kreatywny proces, nazywany „przebywaniem w transie”

„Przebywanie w transie” to termin używany przez artystów, sportowców i projektantów, którym opisują pracę z pełnym zaangażowaniem i opanowaniem. Kolejnym opisującym ten stan terminem jest „przebywanie w strefie”. Taki rodzaj pracy obejmuje znaczny stopień koncentracji oraz duży wydatek energii psychicznej lub fizycznej.

Dla użytkowników stacji roboczych 3D CAD pracujących ze złożonymi i wymagającymi kognitywnie aplikacjami, „przebywanie w transie” przenosi się na lepszą jakość i wydajność pracy. Często jednak są oni wrywani z „transu” przez interfejs użytkownika, który zmniejsza ich kognitywną przepustowość, zmuszając do zwolnienia tempa pracy w celu wykonania wielu żmudnych czynności.

Co najważniejsze, jednym z najczęstszych powodów wyrwania z „transu” jest niska przepustowość interfejsu użytkownika, przez którą użytkownicy nie mogą pracować z szybkością odpowiadającą ich szybkości myślenia.

Inaczej jest w wypadku wysokoprzepustowych interfejsów pozwalających użytkownikom CAD 3D na pozostanie w „transie”, dlatego warto rozważyć różne możliwości zwiększenia przepustowości.

3.6. Możliwości wysokoprzepustowego interfejsu użytkownika

W poprzedniej części zidentyfikowane zostały dwa istotne ograniczenia:

- limitowana liczba strumieni wejściowych
- limitowana możliwość nawigacji

Dla obu tych ograniczeń powyższe badanie dostarcza rozwiązań, które mogą znacznie polepszyć przepustowość.

Strumienie wejściowe o dużej przepustowości

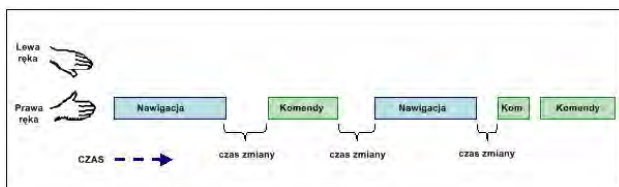
Problem pojedynczego strumienia wejściowego odkryliśmy podczas obserwacji użytkowników CAD 3D, którzy próbowali wprowadzić 5 do 10 razy więcej komend na minutę niż przeciętny użytkownik. Zważywszy, że dla przeciętnego użytkownika jakość pojedynczego strumienia nie ma aż tak dużego znaczenia, użytkownik CAD 3D ma w kwestii przepustowości dużo wyższe wymagania.

Jedno bardzo trafne podejście do interfejsu użytkownika czerpie swe cechy z „ludzkiej” umiejętności pracy obiema rękami jednocześnie. Jak zauważono w Buxton (2002):

Student odwraca kartki książki, robiąc jednocześnie notatki. Kierowca zmienia biegi, kierując samochodem. Technik dźwięku ścisza perkusję, podgłaśniając w tym czasie skrzypce.

Poprzez wyposażenie obu dłoni w narzędzia wspomagające „kierowanie” aplikacją, (najczęściej myszka 3D w lewej ręce i standardowa myszka 2D w prawej) można osiągnąć znaczną poprawę przepustowości.

Zobaczmy jeszcze raz, jak funkcjonują dzisiaj interfejsy o jednym strumieniu.

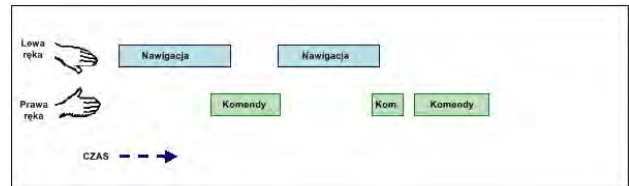


Jednostrumieniowe wprowadzanie poleceń

Trzeba zauważyć, że użytkownik traci często czas na przełączanie się z jednego trybu pracy na drugi. Najbliższy uniwersalny przykład to przełączanie się między nawigacją a wybieraniem. Prawa ręka najpierw nawiguje modelem, ustawiając go w odpowiedniej pozycji przy pomocy myszki. Potem użytkownik „przełącza tryb” na taki, w którym myszka staje się narzędziem wybierającym daną komendę. Proces ten powtarza się w nieskończoność.

Zauważyć tu można brak równorzędności: użytkownik może albo nawigować albo wybierać komendy, ale nie jest w stanie robić obu tych rzeczy jednocześnie.

Strumień podwójny zmienia sposób działania, tak jak pokazano poniżej.

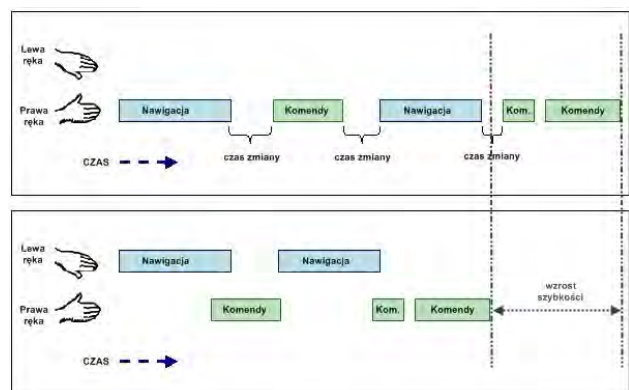


Podwójny strumień wejściowy

Ze względu na to, że każda ręka ma narzędzie spełniające swoje zadanie (np. nawigacja i wybieranie komend), użytkownik nie musi „przełączać” prawej ręki z trybu nawigacji do trybu komend i z powrotem. Likwidacja niepotrzebnych działań ręką wyraźnie redukuje wymagania przepustowości.

Ludzka fizjologia pozwala na równoczesne działania, które mogą być zsynchronizowane ze sobą, co zaoszczędza dodatkową przestrzeń w przepustowości. Równoczesność ta jest zobrazowana na powyższej ilustracji jako częściowe zachodzenie na siebie nawigacji i komend: użytkownik może uruchomić komendę prawą ręką, podczas gdy lewa ręka zajęta jest nawigowaniem.

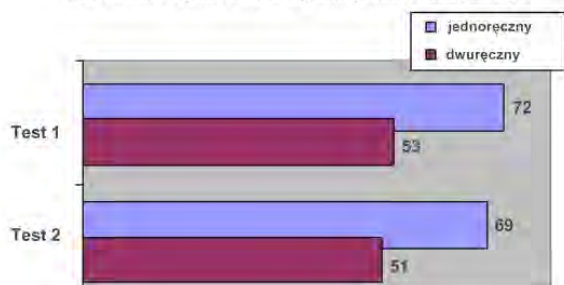
Porównanie osiągnięć strumienia pojedynczego i podwójnego pokazane jest poniżej.



Przepustowość interfejsu jednoręcznego (diagram wyższy) i dwuręcznego (diagram niższy)

Przedstawiony powyżej model koncepcyjny został potwierdzony w badaniach przeprowadzonych przez firmę IBM (Zhai, 1997), z których wynioskowano, że oburęczny interfejs (w tym wypadku joystick w ręce niedominującej i myszka w dominującej) był w zadaniach nawigacji i selekcji 1,36 razy szybszy od używanej samodzielnie myszki.

Porównanie szybkości interfejsów: jedno i dwuręcznego



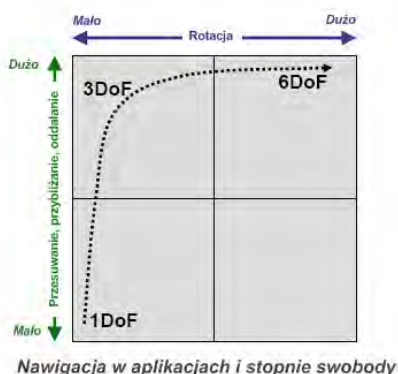
Porównanie szybkości działania interfejsów: jedno i dwuręcznego (źródło: IBM – Zhai 1997)

Co więcej, z obserwacji przeprowadzonych na Uniwersytecie Toronto (1997) wynika, że wraz ze wzrostem kognitywnej trudności zadań (większe, bardziej złożone modele) przyrost wydajności interfejsów dwuręcznych jest znacznie większy, niż wynika to z badań Zhai.

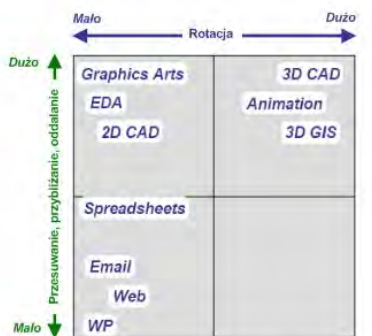
Nawigowanie z więzłą przepustowością

Jak zostało to opisane wcześniej, nawigacja w aplikacjach 3D CAD jest wykonywana częściej i wymaga więcej stopni swobody do wydajnej pracy, niż nawigacja w aplikacjach 2D.

Poniższy wykres pokazuje liczbę stopni swobody wymaganych jednocześnie przez różne typy nawigacji, od braku rotacji (tylko przewijanie), przez przesuwanie i przybliżanie, do przesuwania, przybliżania i obracania.



Nawigacja w aplikacjach i stopnie swobody



Nawigacja w różnych typach aplikacji

Aplikacje CAD 3D zwykle wpisują się w przedstawiony na wykresie obszar nawigacji w sześciu stopniach swobody.

Taka sytuacja tworzy potencjał dla urządzeń oferujących jednocześnie więcej stopni swobody - aż do sześciu, przeznaczonych do pracy w aplikacjach z dużym wykorzystaniem przybliżania, przesuwania i rotacji, będących z reguły aplikacjami 3D.

Poniższa tabela wymienia standardowo używane urządzenia wejściowe oraz ich opis, a szczególnie liczbę jednocześnie dostępnych stopni swobody.

rodzaj urządzenia	liczba stopni swobody	dynamiczne czy pozycyjne	przykład
mysz dwu-przyciskowa	2	pozycyjne	klasyczna mysz
mysz z kółkiem	2+1	pozycyjne	Microsoft IntelliMouse
Tablet graficzny	2+1+1+1	pozycyjne	Wacom Intuos
joystick	2+1	dynamiczne	Logitech Wingman
kontroler ruchu 3D	6	dynamiczne	3Dconnexion SpacePilot

Charakterystyka różnych typów urządzeń wejściowych

Standardowe myszki oferują dwa stopnie swobody ruchu, dzięki temu, że poruszają się po powierzchni biurka. Rolka myszki oddzielnie oferuje jeden stopień swobody (zwykle wykorzystywany do przewijania w aplikacjach operujących na tekście oraz przybliżanie w aplikacjach 3D). Użytkownicy zwykle nie przemieszczają myszki i nie kręcą rolką jednocześnie, więc myszka może być opisana jako urządzenie o 2+1 stopniach swobody.

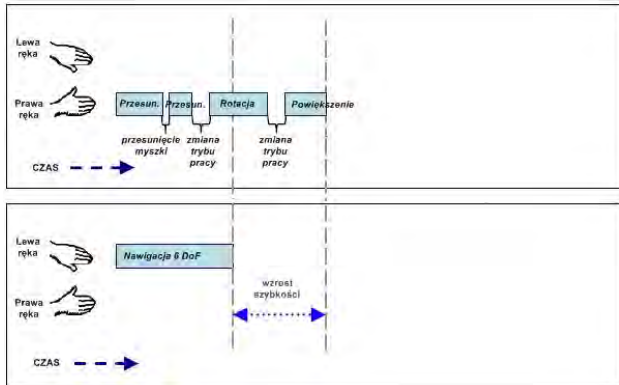
Urządzenie z sześcioma stopniami swobody pozwala użytkownikowi w jednym płynnym ruchu wykonać przybliżenie, przesunięcie i obrót obiektu w dowolnym kierunku.

Inaczej jest w przypadku myszki z rolką, której faktyczne możliwości nawigacji w 2+1 stopniach swobody wymagają zmapowania kilku trybów pracy, zwykle wywoływanych naciśnięciem klawisza. Zwykły sposób pracy wygląda następująco:

- Tryb A (klaw. Ctrl) + ruch myszką przesuwa model
- Tryb B (klaw. Alt) + ruch myszką obraca model
- Tryb C (bez żadnego klawisza) + ruch myszką

przybliża/oddala model

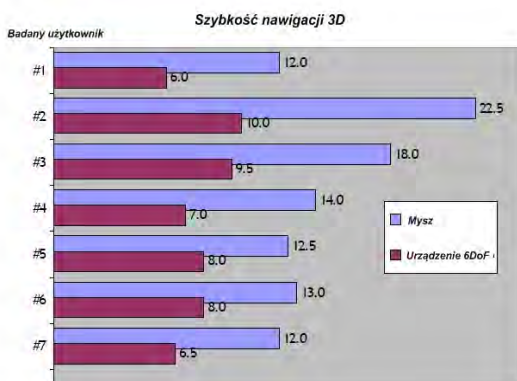
Wykorzystując model przepustowości interfejsu użytkownika, poniższe porównanie pokazuje wzrost przepustowości wynikający z użycia urządzenia 6DoF do nawigacji 3D.



Nawigacja myszką (na górze) i urządzeniem 6DoF (na dole)

Jedną z najczęstszych czynności w aplikacjach CAD 3D jest wielokrotne precyzyjne przeniesienie modelu z jednego miejsca na drugie. W badaniach GE (Salazar i Marteau, 2004), siedmiu użytkowników musiało, przy pomocy myszki oraz urządzenia 6DoF, przemieścić się z jednej z ośmiu możliwych pozycji początkowych do celu, osiągając końcową orientację 3D z dokładnością $\pm 1^\circ$.

W badaniu tym użytkownicy osiągnęli docelową pozycję 3D prawie dwa razy szybciej używając urządzenia 6DoF (w tym wypadku myszki 3D firmy 3Dconnexion), niż klasycznej myszki. Pokazuje to poniższy wykres.



Szybkość nawigacji 3D dla myszki standardowej i urządzenia 6DoF (źródło: Salazar i Marteau, 2004)

Przy użyciu standardowej myszki użytkownicy potrzebowali 89% więcej czasu na osiągnięcie docelowej orientacji 3D. Co więcej, wszyscy pracowali szybciej z urządzeniem 6DoF osiągając od 1,5 do 2,25 razy lepsze wyniki. Sugeruje to, że podobnie będzie w przypadku większości użytkowników.

Porównanie urządzeń pozycyjnych i dynamicznych

Kolejnym wartym zauważenia aspektem jest różnica pomiędzy urządzeniami dynamicznymi, a pozycyjnymi oraz ich indywidualne zalety w nawigacji. Poprzednia tabela pokazująca typy i charakterystyki urządzeń wskazuje również, które z nich są dynamiczne, a które pozycyjne. Cytując Zhai (1997):

Jak pokazały ostatnie badania dotyczące sterowania za pomocą sześciu stopni swobody (Zhai, Milgram, 1993; Zhai, Milgram, Drascic, 1993; Zhai, 1995), sterowanie pozycyjne lepiej współgra z izotonicznymi, swobodnie poruszonymi urządzeniami takimi jak myszka, sterowanie dynamiczne natomiast z urządzeniami izometrycznymi lub elastycznymi. Kluczowym czynnikiem tego problemu kompatybilności jest efekt autocentrowania urządzeń izometrycznych i elastycznych. Sterowanie dynamiczne jest łatwiejsze z autocentrowaniem. Bez niego, wymaga świadomego wysiłku. Zarówno sterowanie pozycyjne jak i dynamiczne dają użytkownikom możliwość kontroli nad wszystkimi aspektami przemieszczenia, włączając w to przesunięcie, prędkość poruszania oraz pochodne wyższego rzędu. Jednakże każdy z trybów odpowiada bezpośrednio tylko jednemu aspektowi: przesunięciu lub szybkości.

Technika sterowania dynamicznego kompatybilna z urządzeniami izometrycznymi może być szczególnie odpowiednia do zadań nawigacji, w których potrzeba bardzo precyzyjnych, a zarazem dalekich ruchów (n.p.: przewijanie długiego dokumentu, obracanie modelu, przesuwanie kamery), ponieważ nie istnieje tu potrzeba wielokrotnego przerywania pracy i centrowania urządzenia jak w przypadku myszki.

3.7 Podsumowanie badań interfejsów użytkownika

Użytkownicy aplikacji CAD 3D potrzebują znacznie większej przepustowości interfejsu, aby pracować płynnie oraz z optymalną wydajnością.

Użytkownicy CAD 3D wydają od 5 do 10 razy więcej poleceń na minutę niż pozostali użytkownicy. Nawigacja 6DoF jest powszechna i wyczerpuje zasoby przepustowości interfejsów. Informacje te oraz duża ilość czasu, jaki użytkownicy spędzają na pracy z aplikacjami CAD 3D, pokazują możliwości znacznej poprawy wydajności poprzez zwiększenie przepustowości interfejsu użytkownika. Dwa istotne czynniki dotyczące problematyki interfejsów użytkownika stanowią tu istotny potencjał poprawy produktywności:

- Interfejsy dwuręczne, wykorzystujące myszkę w ręce dominującej i urządzenia dynamiczne w drugiej (**1.36 razy szybsze według badań IBM**)
- Urządzenia o sześciu stopniach swobody dla ręki niedominującej (**1.89 razy szybsze według badań GE**)

Co więcej, korzyści obu metod powinny się sumować, dodatkowo zwiększając przepustowość interfejsu dla użytkowników CAD 3D.

Badania przeprowadzone na użytkownikach myszek 3D w aplikacjach CAD oraz próba czasowa opracowana przez starszego inżyniera aplikacyjnego CATIA wskazują, że istnieje możliwość znacznej poprawy wydajności inżynierów i projektantów CAD 3D. Przyczyny tego wzrostu określają podstawowe badania dotyczące interfejsów użytkownika.

Wzrost produktywności użytkowników CAD oraz pomiary czasowe wydajności użytkowników CATIA potwierdzają wyniki przeprowadzonych badań.

Z tak imponującego wzrostu produktywności rodzi się poważne pytanie natury ekonomicznej: jaki będzie zysk ekonomiczny wyposażenia inżynierów CAD w myszki 3D?

4. Ekonomiczny zwrot zakupu myszki 3D

Trudno jest precyzyjnie oszacować ilościowo wpływ zwiększenia jakości produktów, zmniejszenia ilości defektów i przyspieszenia wejścia produktu na rynek. Dzięki результатам prezentowanych tu badań można jednak obliczyć ekonomiczny zwrot przyrostu produktywności konstruktorów.

Najważniejsze jest jednak, by zdać sobie sprawę, że jakość produktu, jego niezawodność i szybsze pojawienie się na rynku mają dużo większe znaczenie finansowe niż zwykła oszczędność kosztów wynikająca ze zwiększonej produktywności projektantów.

Gavin Finn w Quality Digest pisze w następujący sposób:

Najistotniejsze koszty nie są zazwyczaj kojarzone z jakością projektowania. Jeśli błędy lub uchybienia w danych projektowych nie są wcześniej wykryte, konieczne są później kosztowne zmiany w procesie rozwoju produktu.

Zostało to zobrazowane na poniższym diagramie "wczesnego wykrywania" Finn'a.



ROI (Return on Investment – zwrot inwestycji) dotyczący zakupu myszek 3D dla inżynierów określony będzie trzema głównymi czynnikami:

- Koszt myszki 3D
- Wysokość wynagrodzenia inżyniera CAD
- Przyrost produktywności jako rezultat użytkowania myszki 3D

W celu oceny tego typu inwestycji, firmy korzystają z dwóch powszechnych macierzy: czas zwrotu inwestycji i ROI w skali rocznej. Inne macierze (NPV, IRR itp.) nie będą opisywane w tym raporcie, ale mogą być w prosty sposób zbudowane w oparciu o wynikające z niego dane.

4.1 Czas zwrotu inwestycji i ROI

Czas zwrotu pokazuje, jak szybko koszt inwestycji będzie w pełni pokryty. Kalkulacja przeprowadzana jest w następujący sposób:

$$\text{Czas zwrotu inwestycji w latach} = \frac{\text{koszt myszki 3D}}{(\text{koszt zatrudnienia inżyniera pracującego w CAD} * \text{przyrost produktywności})}$$

Jak pokazane jest na poniższej ilustracji, kalkulacja ta zobrazowana może być wizualnie w „kalkulatorze zwrotu”, w który użytkownik może dopasować trzy współzależne:

- Koszt zatrudnienia inżyniera
- Koszt zakupu myszki 3D
- Przyrost produktywności



Kalkulator zwrotu przeliczy dane i wyświetli otrzymany czas zwrotu w miesiącach.

Kalkulacja ROI mierzy aktualny zwrot inwestycji – standardowo w stosunku rocznym, co daje bardziej wszechstronną ocenę finansową. Kalkulacja wygląda następująco:

$$\text{Roczny ROI} = \frac{(\text{koszt zatrudnienia inżyniera pracującego w CAD} * \text{przyrost produktywności} - \text{koszt zakupu myszki 3D})}{\text{koszt zakupu myszki 3D}}$$

Dwie z tych zmiennych są względnie określone: koszt zakupu myszki 3D i koszt zatrudnienia inżyniera. Krytyczna zmienna – przyrost produktywności – jest znana z badań przeprowadzonych wśród użytkowników myszek 3D.

Wartości te określają wpływ na osiąganie ekonomicznych zwrotów inwestycji w myszki 3D dla inżynierów aplikacyjnych CAD.

4.2 Koszt zakupu myszki 3D.

Przedział cenowy urządzeń firmy 3Dconnexion kształtuje się od 99EUR do 399EUR. Wiele firm decyduje się na zakup modeli z wyższej półki: SpaceExplorer (299EUR) czy SpacePilot (399EUR) ze względu na ich większą funkcjonalność. W poniższej analizie wykorzystaliśmy koszt SpacePilot'a – 399EUR.

4.3 Koszty i wynagrodzenie inżyniera aplikacyjnego CAD

Na różnych stronach internetowych można znaleźć podział wysokości płac ze względu na zajmowane stanowisko. W naszym przypadku oszacowaliśmy przeciętną pensję inżyniera aplikacyjnego CAD na rok 2008 na poziomie 58.000 EUR.



Wartość ta będzie się oczywiście różniła pod względem wielu różnych czynników jak lata doświadczenia, lokalizacja i rodzaj przemysłu. Ogólnie jednak inżynierowie aplikacyjni CAD 3D zarabiają więcej niż inżynierowie aplikacyjni CAD 2D.

Dodatkowe korzyści pracownicze (urlop, ubezpieczenie zdrowotne, itp.) stanowią średnio 25% pensji podstawowej, przeciętny koszt zatrudnienia inżyniera aplikacyjnego CAD wraz z tymi dodatkami wynosi więc 72.500 EUR.

Pozostałe koszty (pomieszczenie, wyposażenie biura, itp.) dodatkowo wlicza się do kosztów ogólnych. Z uwagi jednak na brak solidnych danych, czynnik ten zostanie pominięty w poniższej analizie.

4.4 Przyrost produktywności a myszki 3D

Przyrost produktywności wynikający z użytkowania myszki 3D kalkulowany jest z iloczynu przyrostu produktywności przedstawionego w naszych badaniach i średniej ilości godzin dziennie, które inżynier aplikacyjny spędza na pracy z aplikacjami CAD 3D.

Przeciętny przyrost produktywności raportowany przez 190 użytkowników myszki 3D wyniósł 21%. Średni czas spędzany w ciągu dnia na pracy z aplikacjami CAD to pięć godzin; w kalkulacjach zostanie użyta bezpieczna wartość: 50% dnia. Mnożąc przez siebie obie te wartości otrzymamy średni wzrost produktywności na poziomie 10,5%.

Używając wcześniejszego działania na czas zwrotu:

$$\text{Czas zwrotu inwestycji w latach} = \frac{\text{koszt myszki 3D}}{\text{roczny koszt zatrudnienia inżyniera pracującego w CAD} * \text{przyrost produktywności}}$$

otrzymujemy następujące wyniki:

$$€399 / (\$72,500 * 10.5\%) = .052 \text{ roku (19 dni)}$$

Oznacza to, że inwestycja w myszkę 3D zwróci się w, średnio, mniej niż miesiąc. Po przeniesieniu powyższych wartości na współrzędne kalkulatora zwrotu wyświetlony zostanie otrzymany wynik: 19 dni (= 0,6 miesiąca).



5. Ostateczne wnioski

Powyższy raport przygotowany został w celu zweryfikowania powszechnych twierdzeń mówiących, że myszki 3D mogą znacznie podnieść produktywność inżynierów aplikacyjnych CAD. Raport ocenić miał również czy interfejs użytkownika ma naprawdę duży wpływ na przyrost produktywności.

Po przebadaniu 190 aktywnych użytkowników myszek 3D okazuje się, że faktycznie inżynierowie aplikacyjni CAD doświadczają wyraźnej, ponad 20% poprawy pracy dzięki wykorzystaniu myszek 3D w aplikacjach CAD 3D.

Użytkownicy ci potwierdzają dalej obserwacje wynikające z badań interfejsu użytkownika, stwierdzające, że nawigacja z sześcioma stopniami swobody ruchu i praca obiema rękami równocześnie to czołowe czynniki prowadzące do polepszenia ich pracy.

Na koniec udowodnione zostało również, że inwestycja w myszki 3D może zwrócić się niesamowicie szybko – krócej niż w miesiąc – co prowadzi do konkluzji, że firmy powinny poważnie rozważyć opcję zaadoptowania myszek 3D w swoich działach konstrukcyjnych, czy biurach projektowych.

6. Bibliografia

Bederson, B.B. (2002) Interfaces for Staying in the Flow, Human-Computer Interaction Lab, University of Maryland.

Buxton, W., Billingham, M., Guiard, Y., Sellen, A., and Zhai, S. (2002). *Human Input to Computer Systems: Theories, Techniques and Technology*.

Buxton, W. (1986) There's more to interaction than meets the eye: some issues in manual input. *User Centered System Design*, Lawrence Erlbaum Associates, Norman, D.A. and Draper, S.W. (Eds.), 3 19–337.

Buxton, W. and Myers, B. (1986) A study of two-handed input. *Proceedings of CHI 86: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 321–326.

Callahan, J., Hopkins, D., Wiser, M., and Shneiderman, B. (1988) An Empirical Comparison of Pie vs. Linear Menus, Computer Science Department, University of Maryland.

Fitts, P. (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 46, 199–210.

Guiard, Y. (1987) Asymmetric division of labor in human skilled bimanual action: The kinematic chain as a model. *Journal of Motor Behavior*, 19(4) 486–517.

ISUR Project: Industry Usability Report (1999) NIST White Paper.

Kabbash, P., Buxton, W., and Sellen, A. (1994) Two-handed input in a compound task. *Proceedings of CHI 94: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 417–423.

Leganчук, A., Zhai, S., and Buxton, W. (1996) Manual and cognitive factors in two-handed input: an experimental study. Submitted for publication.

MacKenzie, I.S., Sellen, A., and Buxton, W. (1991) A comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks (1991). *Proceedings of CHI 91: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, New Orleans, Louisiana, 161–166.

Nielsen, J. (1994) *Usability Engineering*.

Poulton, E.C. (1974) *Tracking skill and manual control*. New York, Academic Press.

Rutledge, J. and Selker, T. (1990) Force-to-motion function for pointing. *Proceedings of INTERACT '90: The IFIP Conference on Human Computer Interaction*, 701–705.

Salazar, P. and Marteau, J-M. (2004) Designing a 3D Input Device for Interventional Radiology GE Healthcare, Global Industrial Design Department.

Smith, D.C., Irby, C., Kimball, R., Verplank, W., and Harslem, E. (1982) Designing the Star user interface. *Byte*, 7(4), 242–282.

Venolia, D. (1993) Facile 3D direct manipulation. *Proceedings of INTERCHI '93: ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, Amsterdam, The Netherlands, 3 1–36.

Zhai, S. (1995) Human Performance in Six Degree of Freedom Input Control, Ph.D. Thesis, University of Toronto.
http://etclab.mie.utoronto.edu/people/shumin_dir/publications.html.

Zhai, S. and Milgram, P. (1993) Human performance in evaluation of manipulation schemes in virtual environments. *Proceedings of VRAIS '93: IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, Seattle, Washington, 155–161.

Zhai, S., Milgram, P., and Drascic, D. (1993) An evaluation of four 6 degree-of-freedom input techniques. *Adjunct Proceedings of INTERCHI '93: The IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, Amsterdam, The Netherlands, 155–161.

Zhai, S., Smith, B., and Selker, T. (1997) Improving Browsing Performance: A Study of Four Input Devices for Scrolling and Pointing Tasks. *Proceedings of INTERACT '97*.