



Экономическая окупаемость 3D манипуляторов для инженеров-проектировщиков САПР

Результаты исследования

Краткий обзор

Technology Assessment Group (TAG), независимая консалтинговая компания, специализирующаяся на оценке продуктов и измерении производительности, провела данное исследование, чтобы оценить экономический эффект от использования 3D манипуляторов для инженеров-проектировщиков, работающих с САПР.

Исследования пользовательских интерфейсов, проведенные GE, IBM и Университетом Торонто выявили, что использование глубоко интегрированных устройств с 6 степенями свободы (6-degree-of-freedom - 6DoF) для сложных программных приложений, таких как системы автоматизированного трехмерного проектирования, позволяет добиться существенного повышения производительности.

Этот отчет объединяет данные рынка и независимые исследования и позволяет компаниям оценить экономическую эффективность от использования 3D манипуляторов.

Основные выводы

- **Более 84%** инженеров-проектировщиков, работающих с САПР, сообщают о **значительном усовершенствовании** процесса проектирования и о том, что обнаружить дефекты проекта стало гораздо легче при использовании 3D манипуляторов.
- Средний прирост производительности при использовании 3D манипуляторов по данным опроса пользователей САПР составляет **21%**.
- Период окупаемости 3D манипуляторов очень короткий, обычно **менее одного месяца**.

1. ВВЕДЕНИЕ

Поставка высококачественных и надежных продуктов на рынок в наиболее короткий срок является залогом успеха любой компании. Оба этих фактора – качество и время – очень важны. Компании могут значительно улучшить свое положение на конкурентном рынке благодаря повышению качества и сокращению сроков производства и внедрения.

Множество таких примеров можно встретить в бизнес новостях:

- Автомобильные компании стремятся как можно быстрее выпустить топливосберегающие автомобили следующего поколения в ответ на требования экономики и государственное регулирование автомобильных выбросов в атмосферу.
 - Агентство новостей Рейтер сообщает: «Обстановка на рынке автомобилей накаляется. Компании стремятся как можно быстрее вывести на широкий рынок перезаряжаемый электромобиль. Руководители General Motors заявили, что работа над электромобилем Chevrolet Volt является важнейшей задачей американской автопромышленности и может позволить перехватить ленту первенства в сфере экотехнологий у японской компании Toyota Motor Corp.»
- Производители мобильных телефонов все время стремятся представить новые, более совершенные модели, чтобы соблазнить потребителей.
 - Motorola, будучи лидером в 2006 с ее успешным продуктом Razi, не смогла предоставить клиентам нового достойного решения и в 2008 году опустилась на третье место.
- Производители самолетов стараются вывести на рынок новые модели, которые в дальнейшем обеспечат им существенный прирост доходов. Выход на рынок на несколько месяцев раньше, чем конкуренты, порой является решающим моментом при получении (или потере) многомиллионных заказов.

Одним из важнейших элементов в разработке продукта является деятельность инженеров-проектировщиков, работающих с САПР. Если инженеры улучшат процесс разработки проекта, успешно отследят проблемные области и сделают это в максимально короткие сроки, то это может значительно повысить конкурентоспособность их компании на рынке.

Фундаментальные исследования пользовательских интерфейсов, проведенные GE Researches, IBM и

Университетом Торонто выявили, что производительность проектировщиков существенно повышается при использовании устройств 3D навигации, позволяющих интуитивно и легко управлять 3D объектами в пространстве с помощью двух рук одновременно.

3D манипуляторы - средства взаимодействия пользователя с программным обеспечением, которые обеспечивают интуитивную навигацию в трехмерном пространстве и возможность работать двумя руками одновременно. Инженеры-проектировщики и компании, которые внедрили 3D манипуляторы, сообщают о внушительном приросте производительности.

Но до этого момента не было проведено какого-либо количественного исследования по определению изменений, приносимых 3D манипуляторами. А так как приобретение 3D манипуляторов представляет собой ничто иное как инвестиции компании, важно понять, каковы будут экономические эффекты, чтобы оценить уместность внедрения манипуляторов для организации.

Technology Assessment Group (TAG) разработала следующий подход, позволяющий ответить на эти вопросы:

- Была составлена анкета из 14 вопросов с целью опросить 190 текущих пользователей 3D манипуляторов. Этот опрос был проведен MarketLab, независимой компанией, занимающейся маркетинговыми исследованиями, в мае 2008 года. Вопросы в основном касались следующих моментов:
 - улучшение процесса разработки продукта и более раннее обнаружение дефектов
 - прирост продуктивности (насколько быстрее осуществляется работа)
 - период освоения 3D манипулятора (насколько быстро они привыкли к использованию и удобной работе с манипуляторами)
 - время использования САПР (сколько часов в день они работают в программах для проектирования)

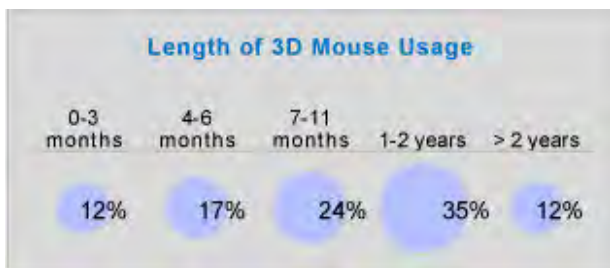
Данный отчет обобщает результаты этого исследования, а также исследования пользовательских интерфейсов, которое объясняет причины полученных результатов. Затем отчет затрагивает следующие организационные вопросы:

- Каков экономический эффект от инвестиций в 3D манипуляторы для инженеров-проектировщиков, использующих САПР?
- Как рассчитать окупаемость инвестиций для конкретной компании?

2. ПОЛУЧЕННЫЕ ДАННЫЕ

В США было опрошено 190 инженеров проектировщиков, использующих САПР и применяющих 3D манипуляторы в своей работе. Они работали в компаниях различного размера – начиная от компаний с менее чем 10 проектировщиками до компаний с более чем 500.

Опрошенные инженеры-проектировщики обычно использовали такие наиболее распространенные САПР как CATIA, Inventor, NX, Pro/ENGINEER и SolidWorks. Опыт работы с 3D манипуляторами также варьировался – начиная от менее чем трех месяцев до более чем двух лет. 53% опрошенных использовали 3D манипуляторы менее одного года, и 88% из них пользовались ими менее двух лет – более точное распределение показано ниже.

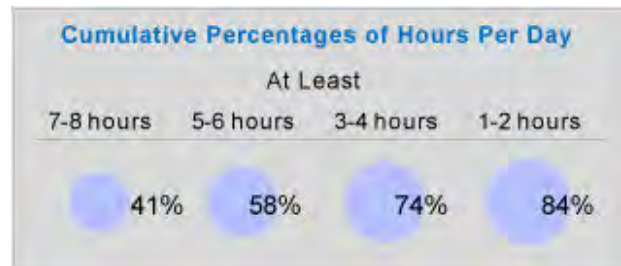
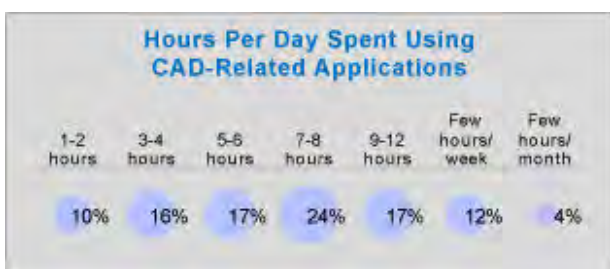


В этом отчете проценты для удобства представлены без десятичной части. В результате представленные проценты будут иметь погрешность $\pm 1\%$ из-за округления.

2.1 Особенности работы

Инженеры проектировщики, работающие с САПР отличаются от обычных пользователей тем, что они используют специальные программы автоматизированного проектирования в течение нескольких часов в день.

74 % опрошенных сообщили, что они работают с САПР по меньшей мере три часа в день. Почти 41 % работают в САПР не меньше семи часов в день. Следующие диаграммы показывают распределения опрошенных по использованию САПР по группам и совокупно.



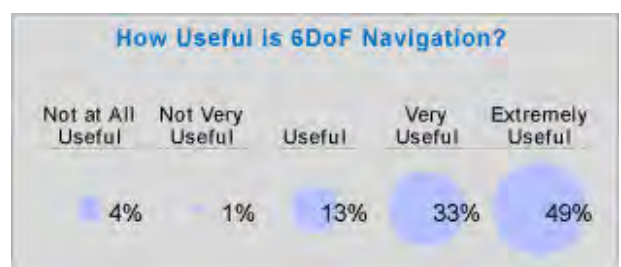
2.2 САПР и 3D манипуляторы

Как было отмечено ранее, различные исследования показали, что существуют два ключевых фактора, в соответствии с которыми 3D манипуляторы значительно улучшают процесс проектирования в профессиональных САПР:

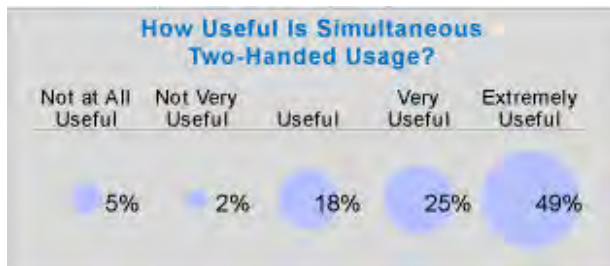
- Устройства с 6 степенями свободы (6DoF) для быстрого позиционирования 3D объектов или навигации в 3D пространстве
- Устройства, которые позволяют работать двумя руками одновременно (например, используя 3D манипулятор одной рукой и обычную мышь другой)

Одной из целей данного исследования было определить, насколько важными являются эти два фактора для пользователей 3D манипуляторов, и позволили ли они добиться повышения качества проектов, более раннего обнаружения дефектов и более быстрого процесса работы.

83% опрошенных ответили, что использование 6DoF - навигации 3D манипуляторов «очень полезно» или «чрезвычайно полезно», и около половины (49%) заявили, что оно «чрезвычайно полезно» (использовалась пятибалльная шкала). Практически все пользователи (95%) посчитали эту возможность по крайней мере «полезной». См. более подробную диаграмму ниже.



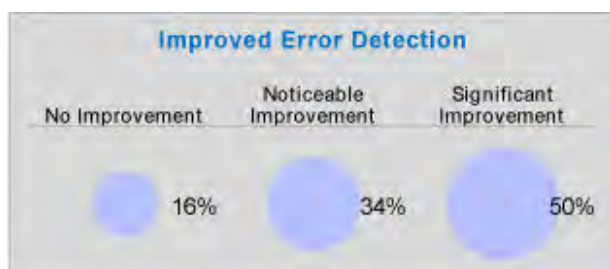
Что касается одновременной работы двумя руками, 75% опрошенных заявили, что эти функции 3D манипуляторов для них являются «очень полезными» или «чрезвычайно полезными», и снова около половины (49%) считают их «чрезвычайно полезными». Практически все (93%) посчитали эту возможность по крайней мере «полезной». Подробная диаграмма внизу.



Однако, каким же образом эти факторы влияют на процесс проектирования? Во введении были описаны такие моменты, как повышение качества проектов и отсутствие дефектов, в качестве ключевых факторов успеха компании; действительно ли 3D манипуляторы могут повысить качество проектирования и уменьшить количество ошибок и погрешностей?

В соответствии с опросом пользователей, 3D манипуляторы позволили им вращать, панорамировать и наблюдать 3D объекты в пространстве. В результате:

- 85% отметили «заметное» или «значительное» улучшение процесса проектирования
- 84% заявили о «заметном» или «значительном» улучшении процесса поиска ошибок и погрешностей



Это достаточно высокие проценты, и они доказывают, что компании, внедряющие 3D манипуляторы для инженеров-проектировщиков, могут также уверенно рассчитывать на схожие результаты.

Что же можно сказать о времени на разработку проекта инженером-проектировщиком? Позволяют ли 3D манипуляторы работать быстрее и продуктивнее? Ведь повышение продуктивности проектировщика позволит гораздо быстрее выводить продукты на рынок, что безусловно будет значительным вкладом в успех продукции на конкурентном рынке.

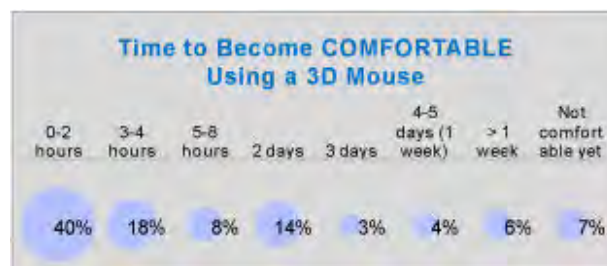
Инженеры-проектировщики отметили, что использование 3D манипуляторов в среднем повышает производительность на 21%. Более 86% заявили о повышении производительности в промежутке 10-50%. Следующая диаграмма это иллюстрирует.



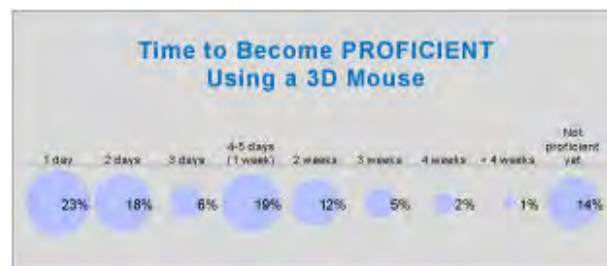
А как насчет периода освоения 3D манипуляторов? Ведь если привыкание к использованию требует например трех месяцев, и еще 3 месяца требуется, чтобы добиться повышения продуктивности, то стоит ли этот прирост продуктивности такого долгого периода обучения?

Для того чтобы начать работать по-другому, важно, чтобы проектировщик мог быстро освоить этот новый стиль работы. И если этот новый подход будет неудобен или утомителен, инженер не захочет его применять, даже если он может позволить добиться лучших результатов в последствии.

Более половины пользователей освоили 3D манипуляторы в течение четырех часов, большинство пользователей чувствовали себя полностью комфортно в работе с ними в течение двух дней.



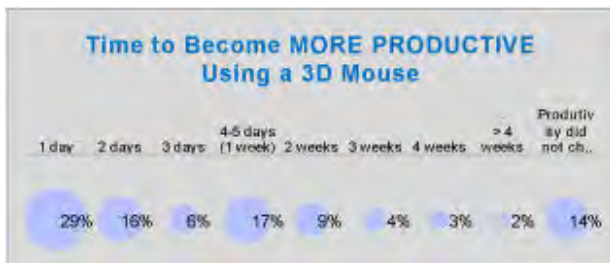
Далее, сколько же времени требуется не только для того чтобы чувствовать себя комфортно при работе с 3D манипуляторами, а «владеть ими в совершенстве»?



Насколько быстро пользователь сможет работать

более продуктивно? Это является основной целью любого изменения стиля работы.

Согласно опросу, почти половина (45%) пользователей стали более продуктивными в течение двух дней, 68% почувствовали прирост продуктивности в течение первой недели использования 3D манипуляторов.



3. БАЗОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

Важно понимать фундаментальную концепцию пользовательских интерфейсов, которая лежит в основе этого повышения продуктивности. Это будет полезно как инженерам САПР, которые пользуются манипуляторами, так и профессионалам не из области САПР, которые захотят узнать, почему же 3D манипуляторы позволяют добиться такого повышения производительности.

В этом параграфе сначала объясняется, чем использование компьютера инженером-проектировщиком, работающим в САПР, отличается от работы обычного пользователя. Затем рассматривается вопрос об особенностях пользовательского интерфейса, которых требуют САПР. Концепция производительности пользовательского интерфейса представлена наряду с двумя основными акселераторами пользовательских интерфейсов.

Дополнительную информацию по данным исследованиям можно найти в списке использованной литературы в конце отчета.

3.1 Сравнение инженера проектировщика САПР с обычным пользователем ПК

Инженеры САПР обычно:

- Используют компьютер преимущественно только с целью работы в сложных и «тяжелых» САПР
- Наиболее часто используемые САПР это: CATIA, Inventor, NX, Pro/ENGINEER и SolidWorks.
- Обычно больше половины дня проводят за работой с САПР

- Нуждаются в высокопроизводительных компьютерах, позволяющих работать с высокой продуктивностью
- Тратят от 1000 до 50,000 Евро на программное обеспечение

Более миллиона 3D проектировщиков по всему миру соответствуют этому описанию.

С другой стороны, обычные пользователи:

- Работают с множеством различных программных приложений общего плана (электронная почта, Интернет, текстовые редакторы, базы данных и т.д.), они обычно не зависят от каких-либо специфических для их обязанностей программ
- Обычно проводят менее половины дня за компьютером
- Меньше нуждаются в высокопроизводительных ПК
- Тратят менее 1000 Евро на программное обеспечение.

Следующая таблица обобщает все вышесказанное:

	3D CAD User	Casual User
Applications	Complex, job-specific	General- purpose
Computer Use	4-8 hours/day	0-4 hours/day
Computer Performance	High performance	Medium performance
Application Purchases	€1000-€50,000	< €1000

Эти различия служат основой для исследования характеристик программ для трехмерного проектирования и особенностей их интерфейса.

3.2 Характеристики трехмерных САПР

Стиль работы за компьютером у пользователей трехмерных САПР отличается от стиля работы обычных пользователей. И работа с трехмерными САПР обычно характеризуется следующим:

- Большая потребность в навигации и перемещении (модели, виды)
- Более сложная (6 степеней свободы) навигация (панорамирование, зумирование и вращение)
- Используется намного больше команд в минуту и перемещений в минуту
- Гораздо больше постоянно/часто используемых

команд

Для примера рассмотрим, как обычный пользователь читает электронную почту. Он обычно начинает читать письмо, скорее всего прокручивает его вниз и заканчивает чтение. Затем он может нажать «ответить» на письмо или «переслать» его, ну и потом, например, начать читать следующее письмо. Таким образом:

- Навигация (вертикальная прокрутка) обычно ограничивается одной степенью свободы (1DoF), так же как и выбор следующего письма для прочтения.
- Число используемых команд обычно довольно ограничено
- «Пропускная способность» интерфейса пользователя намного ниже и при навигации, и при вводе команд

Если наблюдать сверху, как работает за компьютером обычный пользователь, то вы увидите, что темп работы будет размеренным и не быстрым. А пользователи трехмерных САПР, напротив, напоминают пианистов, исполняющих быструю партию. Правой рукой они быстро двигают мышкой и колесиком мышки, а левой постоянно нажимают множество клавиш (обычно Ctrl, Shift, Alt и Esc) на клавиатуре.

На основе исследований и опросов пользователей трехмерных САПР, TAG подсчитала, что инженеры САПР осуществляют в 5-10 раз больше навигационных движений в минуту и используют в 5-10 раз больше команд в минуту.

3.3 «Пропускная способность» интерфейса пользователя

Производительность трехмерных САПР может быть ограничена 3 следующими основными факторами:

- «пропускная способность» компьютера
- «пропускная способность» графики
- «пропускная способность» пользовательского интерфейса

Проиллюстрируем это на следующем примере. Инженер-проектировщик работает над новой моделью вентиля и использует для этого трехмерную САПР, например Pro/ENGINEER или SolidWorks:

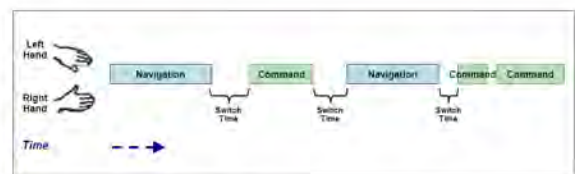
- узким местом компьютера является невозможность «железа»/«софта» обеспечивать нормальную работу с 3D моделью. Продукты становятся все более сложными, поэтому требования к производительности компьютеров также быстро растут.

- узким местом графики является неспособность программы/видео-карты должным образом обрабатывать модель в реальном времени.

- узким местом пользовательского интерфейса является невозможность точно и быстро позиционировать модель, а затем выполнять различные команды с минимальным числом задержек и прерываний, как можно быстрее.

Производительность аппаратного обеспечения и мощность графики постоянно растут огромными темпами, а «пропускная способность» пользовательского интерфейса практически остается прежней. Поэтому «пропускная способность» интерфейса сегодня становится одним из важнейших факторов повышения общей производительности трехмерных САПР.

Данная схема, составленная на основе научных исследования, позволяет лучше понять особенности «пропускной способности» пользовательского интерфейса:



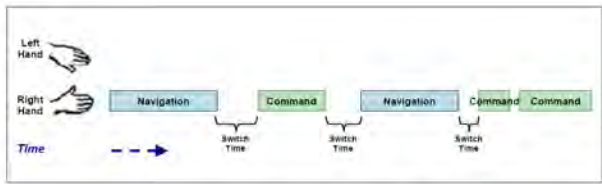
User Interface Bandwidth Framework

(Source: Buxton, W., Billinghurst, M., Guiard, Y., Sellen, A., and Zhai, S. 2002)

Схема показывает, что в основе пользовательских интерфейсов (сегодня и в ближайшем будущем) лежат действия левой и правой рук, осуществляющих навигацию и выполняющих команды. «Пропускная способность» пользовательского интерфейса – есть ничто иное как время, затрачиваемое на выполнение определенного количества команд, чтобы получить требуемый функциональный результат.

3.4 Входные потоки

Первое ограничение пропускной способности пользовательского интерфейса – это «входные потоки» трехмерных САПР. Как говорилось ранее, все данные, вводятся только правой и левой руками; однако, левая рука обычно делает очень мало – лишь периодически нажимает на некоторые клавиши – «модификаторы» (например Ctrl, Shift или Alt). На иллюстрации ниже мы видим, что правая рука (предполагается, что пользователь – правша) делает всю основную работу, по существу составляя единственный входной поток.



Single-Stream User Input

В отчете Zhai, Smith, and Selker об этом говорится следующее:

В основе наиболее распространенных сегодня пользовательских интерфейсов лежит взаимодействие пользователя с системой путем единственного потока ввода, осуществляемого устройством ввода с 2 степенями свободы, обычно мышью и графически отображаемым курсором. Универсальный курсор «путешествует» по всему интерфейсу, переключая свои функции (указание, выбор, рисунок, прокрутка, открытие и т.д.) в соответствии с тем, какой из виртуальных объектов (виджетов) был выбран – документ/окно, меню, полоса прокрутки, иконка или гиперссылка.

Такой единый поток ввода имеет множество преимуществ, и прежде всего это простота и быстрое обучение механизму взаимодействия. Недостатком является ограничение на пропускную способность канала (Buxton 1986), временные затраты и когнитивные усилия по захвату и выделению виджетов и контрольных панелей (Buxton and Myers 1986, Leganchuk, Zhai and Buxton 1996).

При исследовании работы пользователей трехмерных САПР и обычных пользователей TAG подсчитала, что пользователи САПР осуществляют в 5-10 раз больше навигационных движений в минуту и используют в 5-10 раз больше команд в минуту. Таким образом, пользователи САПР вынуждены использовать в основном лишь один поток ввода (хотя и с использованием клавиатуры для ввода некоторых команд), и пропускная способность здесь сильно ограничена.

Поэтому одной из возможностей повышения пропускной способности является увеличение числа потоков ввода, с помощью которых пользователь может управлять программой.

3.5 Навигация

Вторым ограничением пропускной способности является ограничение в навигации. Навигация – это что-то вроде перемещения в нужное место, чтобы осуществить необходимое действие. Это может быть прокрутка для прочтения письма электронной почты,

перемещение к какой-либо части изображения в PhotoShop или поворот трехмерной модели для просмотра нужной ее части.

Однако, несмотря на то, что навигация всегда нужна в большинстве приложений, особенности навигации очень различаются в зависимости от типа приложения.

В следующей таблице описаны основные типы навигационных операций, а также число степеней свободы (DoF), которое они требуют и некоторые примеры приложений.

	# DoF	Description	Common Applications
Scrolling (Vertical)	1	Moving a document up/down	E-mail, Web, Word
Scrolling (Horizontal)	1	Moving a document left/right	Excel
Panning	2	Moving a drawing simultaneously horizontally and vertically	AutoCAD, Photoshop
Zooming	1	Moving a document/model in or out	AutoCAD, Photoshop
Rotating	3	Moving a model simultaneously around any of three rotational axes	3ds Max, CATIA, Pro/ENGINEER, Maya, SolidWorks

Степени свободы складываются. К примеру:

- чтобы панорамировать и зумировать Вам надо: 2 (панорамирование) + 1 (зумирование) = 3 степени свободы.
- Чтобы панорамировать, зумировать и вращать надо: 2 (панорамирование) + 1 (зумирование) + 3 (вращение) = 6 степеней свободы.

Разные приложения сильно отличаются в зависимости от степеней свободы:

Application	Scrolling (Vertical)	Scrolling (Horizontal)	Panning	Zooming	Rotating
E-mail	*****				
Word	*****	*		*	
Excel	****	***		**	
Photoshop	*	*	***	****	
3D CAIP			***	*****	*****

Существенным фактором является то, что трехмерные САПР часто требуют использования панорамирования и зумирования (3DoF) или панорамирования, зумирования и вращения (6DoF). Соответственно, это является еще одной важной возможностью для увеличения пропускной способности интерфейса.

«Потоковое состояние»

Перед тем как начать рассмотрение возможностей повышения производительности пользовательских интерфейсов, следует отметить, что три упомянутые ограничения пропускной способности пользовательского интерфейса могут прервать или помешать некоему творческому состоянию под названием «потоковое состояние» (“being in the flow”)

Термин «быть в потоковом состоянии» обычно используется среди артистов, спортсменов или дизайнеров и описывает состояние, когда вы полностью погружены в работу и держите ее под контролем. Это состояние требует постоянной концентрации и затрат ментальной и/или физической энергии.

Для пользователей, работающих в сложных трехмерных САПР, пребывание в «потоковом состоянии» очень важно и позволяет добиться лучшего качества в более короткие сроки. Однако, часто пользователей отвлекает от этого погружения несовершенности интерфейса, которые прерывают процесс и требуют остановки или замедления, чтобы дать программе возможность завершить требуемые операции (Bederson 2002).

Важно то, что одним из наиболее частых затруднений рабочего процесса является именно низкая пропускная способность интерфейса, из-за которой пользователь не может полностью погрузиться в работу и выполнять задачи настолько быстро, насколько он думает.

И наоборот, высокая пропускная способность пользовательского интерфейса позволяет пользователям трехмерных САПР оставаться погруженными в процесс.

А мы тем временем вернемся к этим возможностям пропускной способности.

3.6 Возможности увеличения пропускной способности пользовательских интерфейсов

В предыдущей части были упомянуты два основных тормозящих фактора для пропускной способности пользовательского интерфейса:

- ограничение входных потоков

- ограничения навигации

Для обоих этих ограничений данное исследование предлагает подходы, которые позволят значительно повысить пропускную способность.

Увеличение пропускной способности входящих потоков

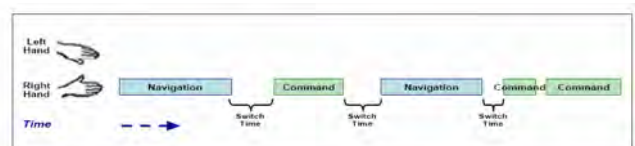
Мы рассмотрели проблему единственного канала ввода, когда рассказывали о том, что пользователи трехмерных САПР используют в 5-10 раз больше команд в минуту, чем обычные пользователи. Поэтому, если обычный пользователь слабо зависит от этого единичного входного потока, то пользователь трехмерной САПР имеет гораздо более высокие требования к пропускной способности.

Одним из преимуществ подхода к пропускной способности пользовательского интерфейса является то, что человек может использовать две руки одновременно и взаимодополняемо.

Цитата из исследования Vuxton (2002):

Студент может переворачивать страницу книги и одновременно с этим делать записи в тетради. Водитель может переключать скорости и в то же время вращать рулевое колесо. Инженер звукозаписи может одновременно приглушать ударные и делать громче струнные.

Таким образом, если позволить работать в приложении двумя руками одновременно, можно добиться существенного повышения пропускной способности. Давайте еще раз посмотрим, как работают пользовательские интерфейсы с единичным потоком:



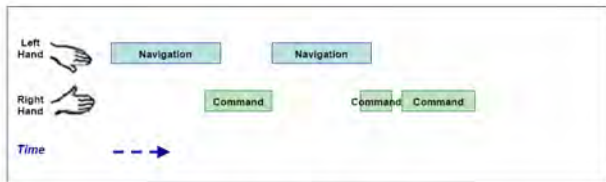
Single-Stream User Input

Заметьте, что пользователь тратит дополнительное время на переключение от одного к другому. Практически универсальным примером этого может быть «навигация, а затем выбор». Сначала пользователь с помощью правой руки следует к нужному ему объекту или месту, например к модели, используя мышь. Потом пользователь «переключает режим», т.е. мышь становится инструментом выбора. И этот процесс может повторяться бесконечно.

Также хотелось бы отметить отсутствие параллелизма в этом случае: пользователь либо

осуществляет навигацию, либо выбирает объект в один промежуток времени. Он не может делать два этих действия одновременно.

Если же пользователь будет действовать обеими руками одновременно, то картина будет выглядеть следующим образом:

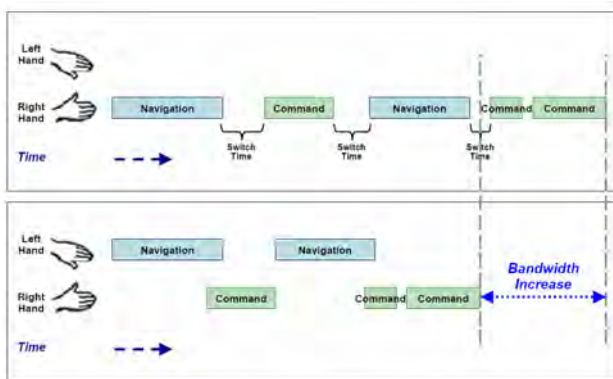


Bi-manual Input Streams

Поскольку каждая рука использует отдельный инструмент для осуществления операций, пользователю не требуется «переключаться» из режима навигации в режим выполнения команд и обратно. А это, в свою очередь, существенно увеличивает пропускную способность интерфейса.

Кроме того, психология человека позволяет распараллеливать действия, которые могут быть синхронизированы, что предоставляет возможности для расширения пропускной способности. Этот параллелизм изображен на предыдущей иллюстрации. Происходит частичное наложение навигации и команд: пользователь может начать выполнять команду правой рукой, в то время как левая рука заканчивает навигацию.

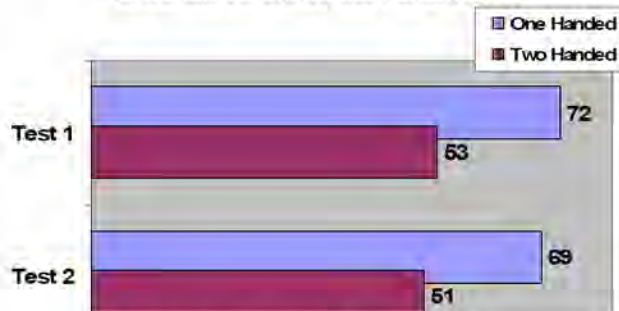
На следующей картинке изображено сравнение этих двух подходов:



Unimanual (top) vs. Bimanual (bottom) Bandwidth

Концептуальная схема, изображенная выше, была подтверждена исследованием, проведенным IBM (Zhai 1997), в котором они заключили, что бимануальный интерфейс (в их случае, джойстик - в недоминирующей руке и мышь - в доминирующей руке) был в 1.36 раза быстрее чем использование только мыши одной для задач, требующих навигации и выбора.

Bi-Manual vs. Uni-Manual Performance



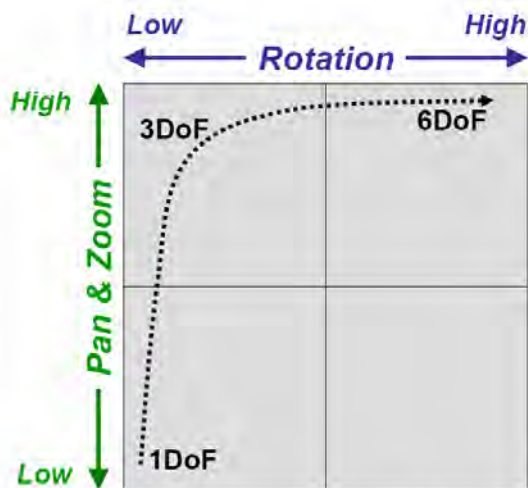
Unimanual vs. Bimanual Performance
(Source: IBM—Zhai 1997)

Более того, в исследовании, проведенном Университетом Торонто (1997), «двуручие» интерфейсы позволяли работать с еще большей производительностью, особенно для более сложных задач и моделей.

Навигация с более высокой пропускной способностью

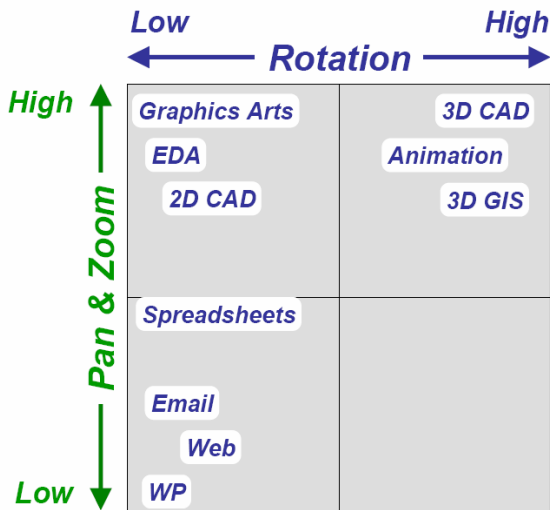
Как было сказано ранее, навигация в трехмерных САПР по сравнению с традиционными 2D приложениями намного более часта и требует большего количества степеней свободы (DoFs) для эффективной работы.

Следующая диаграмма показывает, сколько степеней свободы одновременно требуется для различных типов навигации, начиная от панорамирования и зумирования без навигации и заканчивая одновременным панорамированием, зумированием и вращением.



Application Navigation and DoF

Трехмерные САПР обычно попадают в квадрант с шестью степенями свободы, как показано на следующей диаграмме.



Navigation by Application Type

Это предоставляет огромный потенциал для устройств, которые обеспечивают одновременное использование нескольких степеней свободы, вплоть до шести.

Следующая таблица содержит различные устройства ввода и их характеристики, а также возможное количество одновременно используемых степеней свободы.

Device Type	Simultaneous DoFs	Rate or Positional	Example
Two-button mouse	2	Positional	Classic mouse
Wheel mouse	2+1	Positional	Microsoft IntelliMouse
Graphics tablet	2+1+1+1	Positional	Wacom Intuos
Joystick	2+1	Rate	Logitech Wingman
3D motion controller	6	Rate	3Dconnexion SpaceBall

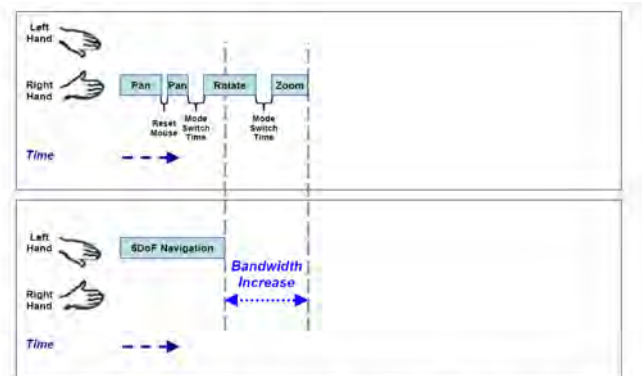
Обычная мышь имеет 2 степени свободы, ее можно перемещать по плоскости стола. Колесико мыши также имеет еще одну степень свободы (обычно для прокрутки текста в 2D приложениях и для зумирования в 3D приложениях). Пользователи обычно не перемещают мышь и вращают колесико одновременно, таким образом, мышь с колесиком может быть охарактеризована как 2+1 DoF устройство.

Устройство с 6 степенями свободы позволяет одним плавным движением зумировать, панорамировать и вращать объекты в любом направлении.

Мышь с колесиком, в свою очередь, требует использования кнопок клавиатуры для получения дополнительных степеней свободы. Обычно подход следующий:

- Режим А (зажат CTRL) + перемещение мыши – панорамирование модели
- Режим В (зажат ALT) + перемещение мыши – поворот модели
- Режим С (ничего не зажато) + вращение колесика – зумирование модели

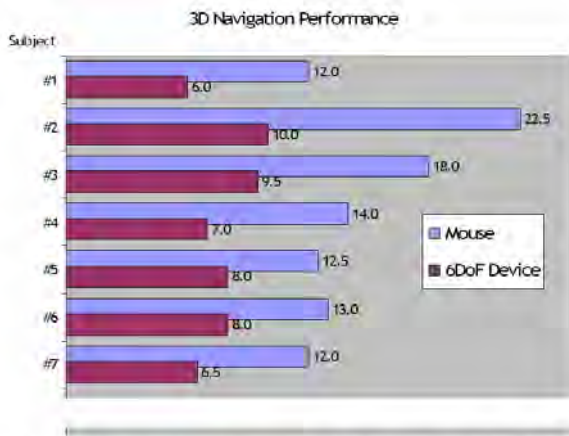
Таким образом, в рамках теории о пропускной способности пользовательских интерфейсов, мы получаем, что пропускная способность значительно повышается при использовании устройств с 6 степенями свободы для трехмерной навигации.



Mouse (top) vs. 6DoF device (bottom) 3D Navigation

Одним из самых распространенных действий в трехмерных САПР является частое, точное перемещение модели из одного положения в другое. Джеренал Электрик провели исследование (Salazar и Marteau, 2004), в котором семь пользователей должны были перемещать модель из одного из 8 начальных положений в определенное конечное положение с точностью $\pm 1^\circ$. Они сначала использовали для этого классическую мышь, а затем устройство с 6 степенями свободы.

Исследование показало, что пользователи смогли «доставить» модель в нужное положение почти в 2 раза быстрее с помощью устройства с 6 степенями свободы (в этом исследовании использовался 3D манипулятор от 3Dconnexion). Результаты отражены на следующем графике.



3D Navigation Performance: Standard Mouse vs. 6DoF Device
(Source: Salazar and Marteau 2004)

Используя стандартную мышь, пользователи тратили на 89% больше времени на эти перемещения. Более того, все пользователи сделали это гораздо быстрее с помощью устройства с 6 степенями свободы. Коэффициент скорости варьировались от 1.56 до 2.25. Можно также предположить, что эти результаты будут распространяться и на всех других пользователей.

Регуляционные (Rate) и позиционные (Positional) устройства навигации

Еще одним моментом, заслуживающим внимания, является различие между регуляционными и позиционными устройствами и их преимущества для навигации. Прощая таблица показывала различные типы устройств и то, какие из них являются регуляционными и позиционными. Zhai (1997):

Как уже было показано ранее для устройств с 6 степенями свободы (Zhai and Milgram 1993, Zhai, Milgram and Drascic 1993, Zhai 1995), позиционный контроль лучше проводить с помощью изометрических или эластичных устройств. Ключевым фактором здесь является эффект самоцентрирования для изометрических или эластичных устройств. При наличии самоцентрирования легко осуществлять регуляционный контроль. А без него, регуляционный контроль крайне затруднителен. Несмотря на то, что позиционный или регуляционный контроль позволяет пользователю полностью контролировать все аспекты движения, такие как собственно перемещение, скорость движения и их производные, каждый режим прямо затрагивает только один из этих аспектов: перемещение или скорость.

В частности, техника позиционного контроля, применимая для изометрических устройств, хорошо подходит для навигационных задач, в которых вам требуется очень точные перемещения, а также очень обширные

(например, прокрутка длинного документа, поворот модели, перемещение камеры), поскольку в этом случае отсутствует проблема повторяющихся действий «нажатие-перетаскивание-отпускание», характерных для мыши.

3.7 Выводы из исследования пользовательских интерфейсов

Пользователям трехмерных САПР требуется гораздо большая пропускная способность интерфейса для того чтобы оставаться в «поточном состоянии» и работать наиболее продуктивно.

Пользователи трехмерных САПР используют в 5-10 раз больше навигации и команд в минуту чем обычные пользователи. Эти моменты, вместе с большим процентом времени, затрачиваемого на использование САПР, представляют важную возможность для повышения производительности путем увеличения пропускной способности пользовательского интерфейса.

Два подхода к пользовательскому интерфейсу показывают, что существует обширный потенциал для улучшения продуктивности:

- Бимануальные интерфейсы, когда используется мышь в доминантной руке и регуляционное устройство в недоминантной (**работа идет в 1.36 раз быстрее – исследование IBM**)
- Устройство с шестью степенями свободы в недоминантной руке в трехмерных приложениях (**в 1.89 раз быстрее – исследование GE**)

Кроме того, эти подходы имеют совокупное воздействие и в дальнейшем увеличивая пропускную способность пользовательского интерфейса для пользователей трехмерных САПР.

Исследование, проведенное среди пользователей трехмерных САПР (инженеров, работающих в САПР) показало, что может быть достигнуто значительное увеличение продуктивности. Фундаментальное исследование пользовательских интерфейсов затем объясняет причины этого увеличения.

Прирост продуктивности, отмеченный инженерами трехмерных САПР, а также замеры времени для пользователей САПР являются конкретными подтверждениями этого исследования.

Теперь, после доказательства роста продуктивности, мы обратимся к следующему важному экономическому пункту: каков период экономической окупаемости внедрения 3D манипуляторов?

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОКУПАЕМОСТЬ 3D МАНИПУЛЯТОРОВ

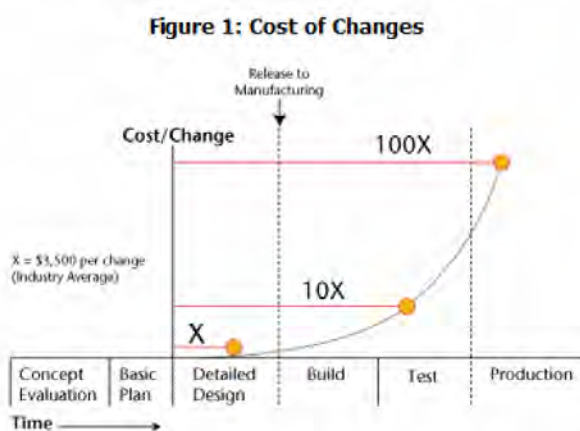
Достаточно сложно определить воздействие на качество продукта, уменьшение количества дефектов, и более быстрого времени запуска на рынок. Но имея результаты данного исследования, представленные здесь, можно вычислить экономическую окупаемость внедрения манипуляторов.

Однако, надо заметить, что повышение качества продукта, меньшее число дефектов и более быстрое время вывода на рынок имеют намного большее финансовое воздействие, чем просто сбережения стоимости от наличия более производительного инженера САПР.

Дэвид Фин из журнала Quality Digest пишет:

Порой огромные дополнительные затраты возникают в результате невнимания к качеству проектирования. Если ошибки или упущения данных проекта не замечаются заранее, то в последствии требуются более крупные вложения уже на этапе разработки изделия.

Это отражено на следующем рисунке «Раннее обнаружение по Финну»:



Таким образом, если экономическая отдача зависит от прироста производительности инженеров-проектировщиков, будет разумно также принять и намного более высокую окупаемость в целом.

Три основных фактора для рассмотрения при решении вопроса о вложении в 3D манипуляторы для инженеров САПР:

- Стоимость 3D манипуляторов
- Стоимость рабочего места инженера САПР
- Прирост продуктивности в результате использования 3D манипуляторов

Компании обычно используют два основных показателя для оценки инвестиций: период окупаемости и доход на инвестиции (ROI). Дальнейшие показатели (чистый приведенный доход, внутренняя норма доходности и т.д.) в данном исследовании представлены не будут, но могут быть легко получены на основе имеющейся информации.

4.1 Период окупаемости и доход на инвестиции (ROI)

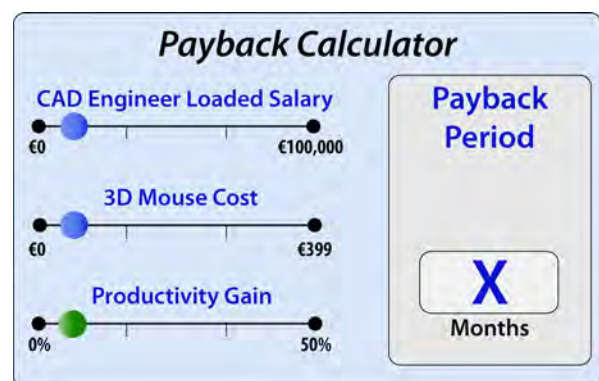
Период окупаемости показывает, насколько быстро инвестиционная стоимость будет полностью возвращена. Вычисления следующие:

Период окупаемости (в годах) = стоимость 3D манипулятора / (годовая стоимость рабочего места проектировщика * прирост продуктивности)

Как показано на следующей иллюстрации, это вычисление может быть изображено в виде калькулятора окупаемости, в котором пользователь может изменять следующие три переменные:

- годовая стоимость рабочего места проектировщика
- стоимость 3D манипулятора
- прирост продуктивности

После чего калькулятор окупаемости может вычислить итоговый период окупаемости в месяцах.



Показатель дохода на инвестиции (ROI) позволяет оценить отдачу от инвестиций, обычно в течение года, и дает более полное представление об экономической эффективности.

Вычисления следующие:

Годовой ROI = (годовая стоимость рабочего места проектировщика * прирост продуктивности – цена 3D манипулятора) / цена 3D манипулятора

Две переменные (цена 3D манипулятора и годовая стоимость рабочего места проектировщика) известны. Прирост продуктивности может быть получен в результате исследования пользователей 3D манипуляторов.

Эти три переменные составляют основу для подсчета экономической отдачи от инвестиций в 3D манипуляторы для инженеров-проектировщиков САПР.

4.2 Стоимость 3D манипуляторов

Цены на 3D манипуляторы варьируются от 99 до 399 Евро. Большинство компаний выбирают наиболее профессиональные варианты – SpaceExplorer или SpacePilot из-за их широкой функциональности. Для примера в этом анализе мы рассмотрим SpacePilot с ценой в 399 Евро.

4.3 Зароботная плата Инженеров САПР и стоимость их рабочего места

В данном исследовании мы будем использовать 58,000 Евро в качестве среднего уровня годовой зарплаты инженера-проектировщика САПР в 2008 году. Эта цифра была получена в результате усреднения данных о заработной плате из различных источников в Интернете.



Эта сумма, конечно, изменяется в зависимости от стажа, местоположения и отрасли. Обычно однако, инженеры трехмерных САПР получают больше, чем инженеры двумерных САПР.

Другие бонусы и компенсации работников (отпускные, страховка и т.д.) мы примем в размере 25% от основной зарплаты. В сумме получим 72,500 Евро как общие затраты на заработную плату и бонусы для инженера-проектировщика.

Полную же стоимость рабочего места инженера-проектировщика подсчитать сложно, поскольку такие вещи как стоимость рабочего пространства, оборудования и т.д. сильно разнятся. Поэтому мы опустим их в данном анализе.

4.4 Прирост продуктивности в результате использования 3D манипуляторов

Прирост продуктивности рассчитывается путем умножения среднего прироста продуктивности, озвученного в данном исследовании, на средний процент времени, в течение которого инженеры-проектировщики используют трехмерные САПР.

Средний прирост, отмеченный в исследовании 190 пользователей – 21%. Среднее время использования трехмерных САПР – 5 часов. Мы будем использовать оценку в 50% рабочего дня.

Перемножив эти показатели, получим средний прирост продуктивности в 10.5%.

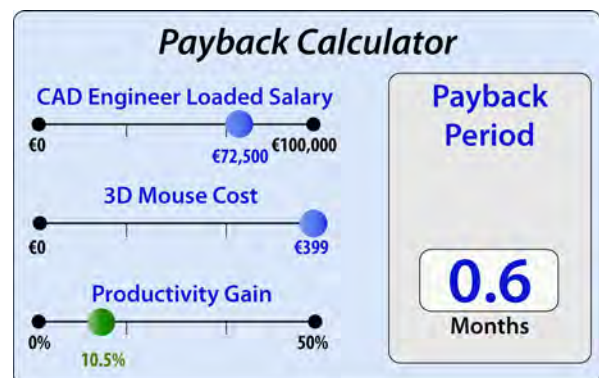
Далее, используя ранее приведенную формулу:

Период окупаемости (в годах) = стоимость 3D манипулятора/(годовая стоимость рабочего места проектировщика * прирост продуктивности)

Получим: $€399 / (\$72,500 * 10.5\%) = .052$ года (19 дней)

Это означает, что инвестиции в 3D манипуляторы окупятся, в среднем, менее чем за месяц.

Введя эти показатели в наш калькулятор, получим следующую картину – те самые 19 дней (=0.6 месяца):



5. ВЫВОДЫ

Данное исследование доказывает, что 3D манипуляторы могут значительно увеличить производительность инженеров САПР. Также в нем был дан обзор пользовательских интерфейсов и рассмотрены возможности его улучшения для достижения большей продуктивности.

Основываясь на данных опроса 190 пользователей 3D манипуляторов, было доказано, что инженеры-проектировщики САПР могут достигнуть более чем 20% повышения продуктивности своей работы в САПР, используя 3D манипуляторы.

В основе этого лежит исследование пользовательских интерфейсов, которое говорит о том, что использование устройств с 6 степенями свободы, а также одновременная работа двумя руками являются ключевыми факторами для этого прироста производительности.

В заключении было показано, что инвестиции в 3D манипуляторы крайне быстро окупаются – обычно менее чем за месяц. Таким образом, можно сделать вывод, что внедрение компаниями 3D манипуляторов является полезным и нужным шагом на пути к успеху.

6. Список литературы

- 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., Wisner, 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.
- Leganchuk, 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*.