

МОДЕЛЬ ДЕКОМПОЗИЦИИ МЕНТАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ В ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОМ ИНТЕРФЕЙСЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ И ЕЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Abstract. The problem of placing mental operators GOMS in evaluating the performance of the user interface is discussed. A model of a decomposition of a mental operators in relation to the problems of input and visual verification data are proposed. The results of experimental research of model are given.

Key words: user interface, decomposition, search pattern, GOMS.

Анотація. Обговорюється проблема розстановки ментальних операторів GOMS при оцінці продуктивності інтерфейсу користувача. Пропонується модель декомпозиції ментальних операторів стосовно задач введення та візуального контролю даних. Наводиться результат експериментального дослідження моделі.

Ключові слова: інтерфейс користувача, декомпозиція, пошук зразка, GOMS.

Аннотация. Обсуждается проблема расстановки ментальных операторов GOMS при оценке производительности интерфейса пользователя. Предлагается модель декомпозиции ментальных операторов применительно к задачам ввода и визуального контроля данных. Приводятся результаты экспериментального исследования модели.

Ключевые слова: интерфейс пользователя, декомпозиция, поиск образца, GOMS.

1. Введение

История создания и развития интерфейса пользователя (ИП) тесно связана с оценкой его качества. В настоящее время качество программного обеспечения (ПО) определяется термином юзабилити (usability). Согласно стандарту ISO 9241-11 понятие юзабилити ИП определяется как степень эффективности, успешности и удовлетворенности, с которыми конечный пользователь использует ИП в определенном контексте для достижения своих целей. Основными показателями эффективности ИП являются количественные оценки, определяющие эргономичность интерфейса, а именно:

- скорость работы пользователей;
- количество человеческих ошибок;
- скорость обучения;
- субъективное удовлетворение.

Для оценки скорости работы пользователя существует неэвристический метод, основанный на использовании общей модели GOMS (Goals, Operators, Methods, Selection Rules), разработанной учеными Stuart Card, Thomas P. Moran and Allen Newell и изложенной ими в книге „The Psychology of Human Computer Interaction” [1].

Эта модель сводит взаимодействие пользователя и компьютера к элементарным акциям: (физическим и когнитивным), стандартный набор которых включает операторы: K – нажатие клавиши клавиатуры, $T(n)$ – набор последовательности символов, P – указание мышкой, M – ментальная подготовка и др. На основе лабораторных исследований был получен стандартный набор временных интервалов, требуемых для выполнения пользователем различных действий. С помощью методов модели GOMS можно рассчитать время, которое понадобится пользователю для выполнения некоторого набора действий при использовании данного интерфейса. Имея количественные ориентиры и оценив производительность различных версий интерфейса, можно

создать более качественный интерфейс, соединяющий в себе выполнение всех требуемых функций в сочетании как с высокой производительностью, так и с удовлетворенностью пользователя.

Одной из существенных проблем, связанных с применением моделей GOMS, является расстановка операторов M , определяющих основную часть интеллектуальной нагрузки на пользователя. Оператор M представляет собой процедуру размышления, направленную на решение проблемы, связанной с каким-либо действием в интерфейсе. По сравнению с другими простыми операторами оператор M требует много времени, так что интерфейс с меньшим количеством операторов M может быть намного быстрее, даже если он требует большего суммарного количества простых операций. В работе [2] обсуждается эта проблема и предлагаются рекомендации относительно ее решения, касающиеся, в основном, количества операторов M и их расстановки.

Возможен и другой путь решения указанной проблемы, связанный с декомпозицией и специализацией ментальных операторов применительно к интерфейсу для конкретных классов задач.

Обоснованность такого пути определяется тремя основными факторами:

- ментальная подготовка к следующему шагу в интерфейсе зависит от предстоящих действий;
- операторы $K, T(n)$ и P тоже содержат в себе некую ментальную составляющую, интеллектуально нагружающую пользователя, т.е. они тоже являются частично ментальными;
- специализация моделей GOMS для конкретных классов задач сужает области возможных значений операторов и позволяет разложить совокупность действий на более простые и более определенные шаги.

2. Модель декомпозиции ментальных операторов для ИП в задачах ввода данных

В соответствии с предлагаемым подходом ментальные операторы рассматриваются не как неделимые атомы, а как высокоуровневые составные операторы, состоящие из более мелких специализированных "микрооператоров", набор которых зависит от проблемной области, определяющей назначение и функциональное содержание интерфейса.

В качестве потенциального приложения результатов использования предлагаемого подхода принята проблемная область задач ввода и визуального контроля информации пользователем.

На рис. 1 приведена идеализированная схема процесса элементарных действий пользователя при вводе в ЭВМ некоторого слова (например, слова-образца в поисковой системе).

Технология GOMS для количественной оценки трудоемкости выполнения действий (рис. 1) предлагает только 2 оператора: M длительностью 1,2 с и K длительностью от 0,12 до 1,2 с, в зависимости от "машинописной" квалификации (тайп-квалификации) пользователя и ввода текста (рекомендуемое "среднее" значение составляет 0,28 с). Иными словами, для оценки трудоемкости H ввода слова длиной n символов GOMS предлагает лишь грубое упрощение вида

$$H = n(K + xM) + yM,$$

где для выбора значений x, y четкие рекомендации отсутствуют.

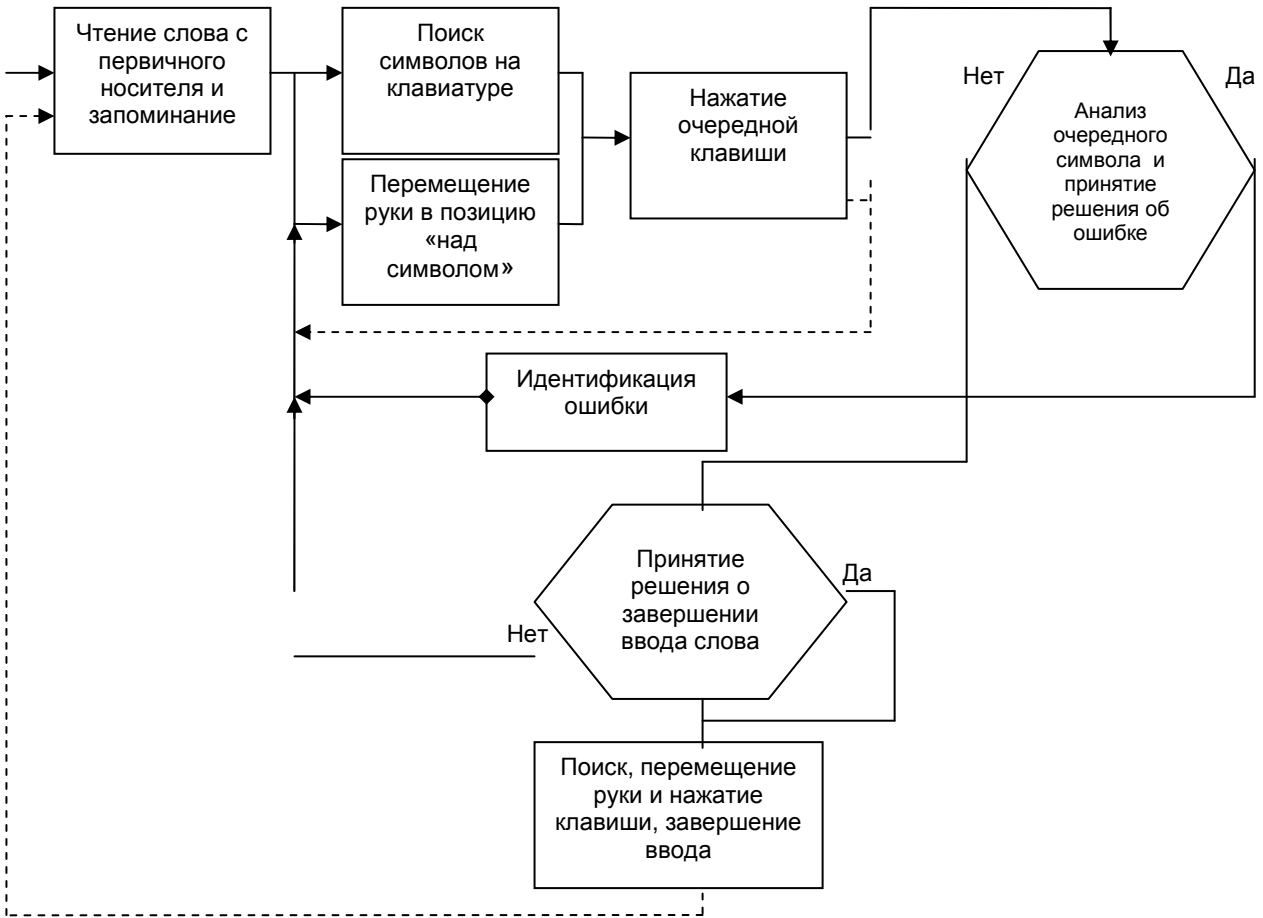


Рис. 1. Схема элементарных действий пользователя при вводе слова

Предлагаемая модель декомпозиции операторов K, M для рассматриваемого класса задач приведена на рис. 2.

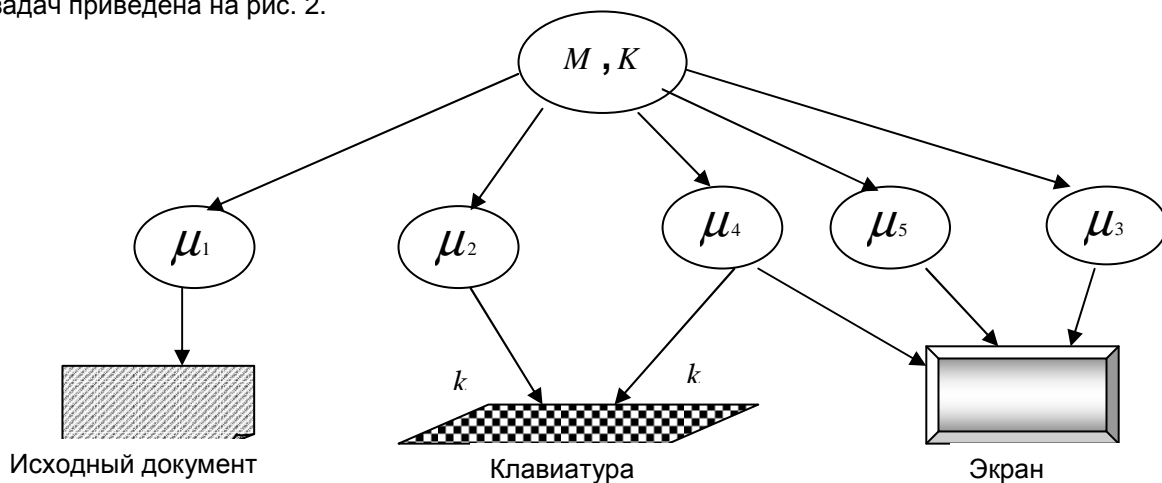


Рис. 2. Схема декомпозиции ментальных операторов

На рис. 2 приняты следующие обозначения для микрооператоров $\mu_1 \div \mu_5, k$.

μ_1 – трудоемкость (производительность) чтения текста с первичного носителя и его осмысление (запоминание) – с/симв;

μ_2 – трудоемкость поиска символов на клавиатуре и перемещение руки в позицию “над символом” – с/симв;

μ_3 – трудоемкость визуального анализа введенных символов на экране и принятие решения о дальнейших действиях (в частности, о наличии или отсутствии ошибки) – с/симв;

μ_4 – трудоемкость исправления ошибочного символа on-line – с/симв;

μ_5 – трудоемкость визуального анализа и сравнение вводимого слова – образца с предлагаемым на экране словом – с/симв;

k – “чистая” трудоемкость нажатия клавиши рукой, расположенной над символом – с/симв.

По своей сути, операторы μ_1, μ_3, μ_5 – это чисто ментальные операторы, k – оператор движения, μ_2 и μ_4 – композиция ментальных действий и движений.

3. Экспериментальные исследования значений скорости выполнения микрооператоров схемы

Для получения экспериментальных оценок значений μ, k существенны следующие факторы:

- характер вводимой информации;
- тайп – квалификация пользователя.

С точки зрения первого фактора, учитывающего влияние исходного знания пользователя о словаре допустимых символов и слов, выделим 3 типа вводимой информации:

1) Цифровые и алфавитно-цифровые коды. Здесь знание пользователя о словаре допустимых слов отсутствует практически полностью и возможности запоминания полного слова при вводе – минимальные.

2) Мнемотекст (текст на естественном языке, родном языке пользователя). Здесь возможности запоминания слова и знания словаря допустимых слов – максимальны.

3) Кодотекст (текст на естественном языке, не знакомом пользователю) В этом случае мнемонические возможности пользователя занимают некоторое промежуточное положение.

С точки зрения второго фактора следует учесть, что типовой пользователь информационно-справочных систем не имеет специальной подготовки в смысле машинописи, так что его тайп – квалификация невысока. Поэтому операторы-участники экспериментов выбирались, исходя из этого предположения об их квалификации. В частности, в процессе экспериментов в качестве операторов - пользователей участвовали системные аналитики СППР, программисты.

3.1. Оценка значений $\mu_1 \div \mu_n, k$

Для экспериментальной оценки значений $\mu_1 \div \mu_n$ проведена серия экспериментов по вводу цифровых кодов (цифровые десятичные коды), кодотекста (текст на немецком языке) и мнемотекста (текст на русском языке, родном для операторов-участников эксперимента).

Эксперимент 1. Измерение t_1 (с/симв) – время ввода текста с первичного носителя + визуальный контроль + исправление замеченных ошибок.

$$t_1 = k + \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \pi_c \mu_4.$$

Через π_c обозначена статистическая вероятность появления ошибочного символа (относительное количество ошибочных символов при вводе).

Эксперимент 2. Измерение t_2 (с/симв) – время ввода уже запомненного фрагмента текста (слова) + визуальный контроль + исправление замеченных ошибок.

$$t_2 = k + \mu_2 + \mu_3 + \pi_c \mu_4.$$

Эксперимент 3. Измерение t_3 (с/симв) – время ввода с первичного носителя "вслепую" без визуального контроля.

$$t_3 = k + \mu_1 + \mu_2.$$

Эксперимент 4. Измерение t_4 (с/симв) – время ввода уже запомненного фрагмента без визуального контроля.

$$t_4 = k + \mu_2.$$

Значения времен $t_1 \div t_4$ определялись в формате «нетто», т.е. без учета затрат времени на само измерение и другие "накладные" затраты.

Искомые значения μ определяются следующим образом:

$$\mu_1 = t_1 - t_2,$$

$$\mu_2 = t_4 - k,$$

$$\mu_3 = t_1 - t_3 - \pi_c \cdot \mu_4,$$

$$\mu_4 = 2(\mu_2 + k).$$

Усредненные данные по результатам экспериментов приведены в табл. 1. Для всех видов информации значения k и π_c оказались практически равными: $k \approx 0,15$, $\pi_c \approx 6 \cdot 10^{-3}$.

Таблица 1. Измеренные и рассчитанные значения t, μ

Язык	t_1	t_2	t_3	t_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
Код	1,20	0,73	0,98	0,53	0,47	0,38	0,214	1,06
Кодотекст	1,13	0,69	0,91	0,50	0,44	0,35	0,214	1,00
Мнемотекст	0,60	0,44	0,54	0,40	0,16	0,25	0,055	0,80

Сопоставляя расчетные значения с экспериментальными, отметим следующее.

Мерой адекватности вычисленных значений μ по отношению к измеренным значениям t_i может служить степень приближения расчетной суммы $t_p = k + \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \pi_c \mu_4$ к измеренному

значению t_1 . Практически соотношения таковы, что для цифровых кодов $t_p/t_1 \approx 1,01$, для кодотекста $t_p/t_1 \approx 1,02$, для мнемотекста $t_p/t_1 \approx 1,025$. Если допустить, что погрешности внесены пропорционально значениям составляющих, то имеющиеся незначительные расхождения можно было бы учесть, введя для μ поправочный коэффициент t_p/t_1 .

Однако существенного практического значения такая поправка не имеет, поскольку расчетные значения доверительных интервалов на основе полученной экспериментальной базы, включающей данные для различных операторов, допускают заметно большую погрешность измерения. Так, например, для кодов при доверительной вероятности $p = 0,95$ $t_1 = 1,2 \pm 0,081$, $t_3 = 0,98 \pm 0,074$ и т.п.

3.2. Оценка значений μ_5

Для определения значений μ_5 проведена серия экспериментов по визуальной идентификации значений слов, сгруппированных в кадры из 10 слов, составляющих фреймы из 10 кадров. Средняя длина слов для мнемотекста и кодотекста (слова орфографических словарей русского и немецкого языков) установлена равной примерно 8 символам [5]. Определялось время $t_5^{(i)}$ (с/симв) и количество просмотренных символов $C^{(i)}$ до нахождения во фрейме и идентификации искомого слова. Время $t_5^{(i)}$ определялось как "чистое" без учета "накладных" затрат времени на переключение кадров и т.п. Расчетное значение μ_5 принималось равным

$$\mu_5 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_5^{(i)} / C^{(i)}.$$

В табл. 2 приведены полученные значения μ_5 для разных видов текста.

Таблица 2. Значения μ_5

Язык	μ_5
Код	0,0435
Кодотекст	0,045
Мнемотекст	0,045

4. Экспериментальная проверка предложенного подхода

С целью экспериментальной проверки правомерности и результативности предлагаемого подхода проделан дополнительный натурный эксперимент по сравнительной оценке точности прогноза трудоемкости интерфейса поисковой системы GOOGLE. В процессе эксперимента определялись

средние значения времени ввода и визуальной идентификации русскоязычного слова – образца с помощью сервисной таблицы – справочника GOOGLE, содержащей предлагаемые варианты возможных значений искомого слова (подобный интерфейс «ВИ» рассмотрен в [6,7]). Для упрощения расчетов случаи отсутствия образца в справочнике и случаи ошибок при наборе образца исключены из рассмотрения.

Расчетные выражения для значений времен T_1^{GOMS} , T_2^{GOMS} , T_3^{GOMS} (для методологии GOMS) и T^μ (для предлагаемого подхода) имеют следующий вид:

$$T_1^{GOMS} = (K + M) \bar{v} + P + BB, \quad T_3^{GOMS} = (K + M) \bar{v} + M + P + BB,$$

$$T_2^{GOMS} = (K + M + M) \bar{v} + P + BB, \quad T^\mu = (\mu_2 + \mu_3 + k) \bar{v} + 8\mu_5 \cdot m(\bar{v} - 0,5) + P + BB,$$

где \bar{v} – среднее количество введенных символов слова-образца;

P, BB – операторы GOMS указания мышью и клика;

$m = 10$ – количество слов в кадре справочника GOOGLE.

Три различных значения T_1^{GOMS} , T_2^{GOMS} , T_3^{GOMS} взяты в связи с тем, что методология GOMS – KLM не определяет четко количество ментальных операторов M , требуемых в этом случае. Поэтому тут возможны различные предположения и решения.

В табл. 3 приведены расчетные значения T в сопоставлении с реальным значением T_0 , полученным в результате натурального эксперимента. Значения $K = 0,28c$, $P = 1,1c$ и $BB = 0,2c$ взяты как рекомендуемые [2] для среднего пользователя.

Таблица 3. Сравнительные значения расчетных и экспериментальных данных трудоемкости интерфейса

T_1^{GOMS}	T_2^{GOMS}	T_3^{GOMS}	T^μ	T_0
7,6	12,6	8,8	15,87	16,1

5. Заключение

В целом, предлагаемый подход потенциально создает для дизайнера прикладных программных систем более тонкий инструмент оценки ожидаемой интеллектуальной нагрузки на пользователя и общей производительности интерфейса по сравнению с «крупноблочным» решением GOMS. Для рассмотренной области задач результаты проведенного натурального эксперимента (значения T^μ , T_0) подтверждают правомерность предложенного подхода.

Проведенные эксперименты устанавливают ориентировочные значения μ для пользователей невысокой тайп-квалификации, сопоставленной с квалификацией системного аналитика СППР, "обычного" пользователя поисковых систем и т.п. Для уточнения полученных значений μ и возможного расширения круга пользователей в привязке к количественным оценкам уровня их квалификации необходимо дальнейшее развитие экспериментальной базы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stuart K. Card, Allen Newell / Stuart K. Card, Thomas P. Moran / The Psychology of Human-Computer Interaction. – 1983. – 488 p.
2. Kieras D. Using the Keystroke-Level Model to Estimate Execution Times / D. Kieras. – University of Michigan. – Режим доступа: <ftp://www.eecs.umich.edu/people/rchong/kieras/GOMS/KLM.pdf>.
3. A Guide to GOMS Model Usability Evaluation using GOMSL and GLEAN4Revision. – 2006. – March 31. – Режим доступа: ftp://www.eecs.umich.edu/people/kieras/GOMS/GOMSL_Guide.pdf.

4. Раскин Д. Интерфейс. Новые направления в проектировании компьютерных систем / Раскин Д. – Санкт-Петербург – Москва: Символ, 2006. – 268 с.
5. Фомин В.В. Оценка сложности информационных систем с учетом человеческого фактора / В.В. Фомин // Программные продукты и системы. – 2007. – № 4. – С. 35 – 36.
6. Литвинов В.А. Применение модели GOMS для оценки характеристик и трудоемкости интерфейса пользователя в задаче поиска по образцу / В.А. Литвинов, С.Я. Майстренко, И.Н. Оксанич // Збірник доповідей науково-технічної конференції з міжнародною участю „Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика”. – Київ, 2008. – С. 84 – 87.
7. Кузьменко Г.Е. Декомпозиция ментальных операторов в моделях GOMS-KLM применительно к интерфейсу пользователя в задачах ввода и контроля данных / Г.Е. Кузьменко, В.А. Литвинов, И.Н. Оксанич // IX международная конференция имени Т.А. Таран „Интеллектуальный анализ информации” ИАИ-2009. – Киев, 2009. – С. 212 – 218.
8. Кузьменко Г.Е. Уточнение модели GOMS в проблемно-ориентированном интерфейсе пользователя на основе декомпозиции ментальных операторов / Г.Е. Кузьменко, В.А. Литвинов, И.Н. Оксанич // Збірник доповідей науково-технічної конференції з міжнародною участю „Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика”. – Київ, 2009. – С. 75 – 78.

Стаття надійшла до редакції 06.10.2009