

УДК 004.514:519.178

Ю.А. КУЗНЕЦОВА, И.Б. ТУРКИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ОЦЕНИВАНИЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В СИСТЕМАХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРАФОВ

*Показано, что ни одна из рассмотренных систем визуализации графов не обеспечивает визуализацию управляющих алгоритмов, а также не ориентирована на удобство использования человеко-машинного интерфейса и на взаимодействие непрофессионального пользователя с системой. Поэтому в данной статье предложены модель взаимодействия пользователя с системой и формальное описание показателей качества элементов управления человеко-машинного интерфейса. Представлены результаты сравнительного анализа качества управления интерфейсов существующих систем визуализации графов с разработанным визуализатором управляющих алгоритмов.*

**Ключевые слова:** *человеко-машинный интерфейс, визуализация, графовые модели, взаимодействие, элементы управления, показатель качества.*

### Введение

За последние несколько десятилетий возникли и стремительно развиваются такие научные направления, как визуализация информации и визуальная аналитика. Наблюдается тенденция увеличения количества теоретических исследований в этих областях за счёт быстро расширяющегося спектра промышленных приложений. Теоретическую основу методов визуализации информации и визуальной аналитики составляют методы рисования и визуализации графов. Эта область является одной из наиболее наукоёмких областей современных информационных технологий. Для работы в области визуализации информации, помимо знакомства с теорией графов, необходимы достаточно глубокие знания компьютерной геометрии, компьютерной графики и методов вычислений. Именно наукоёмкость методов визуализации информации лежит в основе создания систем визуализации графов, что, с одной стороны, даёт преимущества на мировом рынке информационных технологий. С другой стороны, такие системы традиционно ориентированы на пользователей, имеющих хорошую математическую подготовку, и неопытный пользователь не в состоянии эффективно использовать функциональные возможности системы из-за сложности восприятия элементов интерфейса.

Несмотря на наличие стандартов в области удобства использования человеко-машинных интерфейсов (ЧМИ), предлагающих различные пути повышения их качества, существующие методики проектирования и оценки качества интерфейсов носят субъективный характер из-за отсутствия формализованного подхода. Методы оценки количественных

показателей не эффективны для визуализации графов из-за большого количества алгоритмов укладки и рисования графов, а также сложности реализации таких алгоритмов.

Поэтому существует необходимость в разработке методов оценки качества ЧМИ программного обеспечения для визуализации графов с учётом основных принципов эргономики.

### 1. Анализ систем визуализации графов

Проведенный обзор систем визуализации графов показывает, что существует достаточно широкий спектр инструментов визуализации графов, при этом проблема визуализации настолько разнообразна, что на сегодняшний день никто не ставит задачу создания универсального средства для этих целей. Каждая система имеет свою специализацию. Так, например, система VCG (в настоящее время имеющая тип лицензии abandonware) ориентирована на визуализацию графов, получаемых в компиляторах; Gravisto – на испытание алгоритмов расположения графов, Higgs (лицензия «abandonware») – на визуальную обработку иерархических графов, SmartDraw – на подготовку иллюстраций и не использует в своём внутреннем представлении понятие графа как математического объекта [1]. Кроме того, многие системы имеют ограничения на структуру графа либо ориентацию на определенный тип графа. Так, например, uDraw (в прошлом – daVinci) фактически работает только с ациклическими графами. На основе выполненного обзора всевозможных доступных систем визуализации графов была получена таксономия их сравнительных характеристик (табл. 1).



Приведенная таксономия показывает преимущества и недостатки существующих систем визуализации графов. «Минусом» систем является их ориентация на опытного пользователя (специалиста в теории графов, их обработки и визуализации). К достоинствам рассмотренных визуализаторов можно отнести возможность работы на платформах UNIX и Windows, наличие подробной документации, доступность, а также разнообразие вариантов алгоритмов укладки графов.

Символом « – » означает, что рассматриваемая система НЕ обладает указанным признаком или характеристикой, НЕ выполняет требуемых функций, НЕ содержит достаточное количество алгоритмов укладки и визуализации для качественного представления графа на экране монитора; « + » имеет противоположное значение.

Числа от 1 до 254 означают количество возможных вариантов стилей и цветов вершин и дуг, а также алгоритмов рисования графов.

Несмотря на большое количество и разнообразие систем визуализации, существует ряд открытых проблем в данной области. Например, почти все универсальные системы и библиотеки созданы в университетской среде.

Академический подход к проблеме породил дисбаланс между количеством разработанных методов визуализации графов и созданными инструментальными средствами. Существует достаточно много хороших алгоритмов рисования графов, которые до сих пор реализованы только в экспериментальных системах, созданных для тестирования этих алгоритмов.

Помимо «академического подхода» к недостаткам существующих систем визуализации графов можно отнести следующие:

1. Недостаточные графические возможности, которые не позволяют получать качественные изображения графов. Например, ограниченный набор визуальных параметров элементов графа и грубые вычислительные методы, приводящие к искажениям изображения.

2. Неудобный интерфейс графовых редакторов: интенсивное использование режимов, текстовое задание параметров элементов графа, отсутствие функций отката (undo) и восстановления (redo), общая медлительность интерфейса, особенно сильно сказывающаяся при манипуляциях с мышью.

3. Многие системы визуализации не имеют встроенной help-поддержки, а на некоторые из этих систем документация вообще отсутствует.

4. Нестабильная работа доступных версий.

Не все недостатки присущи каждой из рассмотренных систем, тем не менее, каждая система имеет свой набор недостатков.

Из всех средств визуализации графов достаточно широкое распространение в мире получили система uDraw, продукция фирмы Tom Sawyer и библиотека LEDA. Кроме того, данная система не является универсальной по типу изображения графа, поддерживая только уровневое представление. Библиотека LEDA представляет хорошую основу для построения графовых моделей и алгоритмов, но не содержит хороших универсальных компонентов визуализации.

Таким образом, на сегодняшний день для решения задачи визуализации графов, как в коммерческих, так и в университетских проектах, в большинстве случаев либо создается собственная система визуализации, что ведёт к большим дополнительным затратам времени и средств, либо используются компоненты Tom Sawyer Visualization и Tom Sawyer Layout.

Также, ни одна из рассмотренных систем визуализации не реализует механизм визуализации управляющих алгоритмов [2], имеющих сложную, иерархическую структуру, собственную (особую) семантику и специфику, отличную от типовых алгоритмов. Поэтому появилась необходимость в разработке узкоспециализированной системы, направленной на визуализацию управляющих алгоритмов (УА). Основной принцип, используемый при создании подобного визуализатора, – ориентация на удобство использования человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) и взаимодействие непрофессионального пользователя с системой.

## 2. Постановка задачи

*Целью* данной работы является создание модели и метода для сравнительной оценки качества человеко-машинных интерфейсов в системах визуализации графов.

При этом наиболее значимым показателем качества является удобство использования.

Для достижения поставленной цели необходимо создать модель взаимодействия пользователя с системой, дать формальное представление показателей качества элементов управления (ЭУ) ЧМИ, а также разработать алгоритм сравнительного анализа качества интерфейсов существующих систем визуализации графов и визуализатора управляющих алгоритмов.

## 3. Модель взаимодействия пользователя с системой

Разработка интерфейса пользователя, как и другие этапы разработки ПО, выполняется на основе определенных вариантов использования.

Модель прецедентов позволяет определить, какие пользователи используют систему и для каких

целей. Так создаются прототипы пользовательских интерфейсов, позволяющие пользователю эффективно выполнять все прецеденты системы.

Согласно Дональду Норманну [3], взаимодействие пользователя с любой системой состоит из семи шагов:

- 1) определение цели;
- 2) определение взаимодействия;
- 3) определение последовательности действий;
- 4) осуществление взаимодействия;
- 5) восприятие состояния системы;
- 6) интерпретация состояния;
- 7) оценка состояния относительно выполнения цели.

Данная модель показывает, что процесс размышления занимает почти все время, в течение которого пользователь работает с системой: шесть из семи этапов полностью заняты умственной деятельностью.

Соответственно, повышение скорости размышления приводит к существенному улучшению скорости работы.

К сожалению, существенно повысить скорость собственно мышления пользователей невозможно. Тем не менее, уменьшить влияние факторов, усложняющих (и, соответственно, замедляющих) процесс мышления, вполне возможно в процессе оптимизации интерфейса.

Каждый раз, выполняя тот или иной вариант, происходит взаимодействие пользователя с системой, которое можно разделить на этапы взаимодействия и в дальнейшем проводить улучшение интерфейса по этим этапам.

Рассмотренная модель взаимодействия, содержащая 7 этапов в ходе взаимодействия человека с системой, является достаточно сложной для анализа. Подходя к проблеме с практической точки зрения, можно упростить модель Норманна до 4 составляющих:

- *стадия планирования* – сочетает в себе этапы определения цели и взаимодействия. На этой стадии пользователь пытается понять, *ЧТО* ему необходимо сделать для достижения цели, т.е. какими элементами управления воспользоваться;

- *стадия трансляции* – содержит этап определения последовательности действий: пользователь пытается реализовать спланированные действия, т.е. *КАК* воспользоваться выбранными элементами управления;

- *стадия физического действия* – этап осуществления взаимодействия, на котором пользователь физически манипулирует выбранным элементом управления определённым способом;

- *стадия оценки состояния* – этапы восприятия состояния системы, её интерпретации и оцен-

ки, когда пользователь, руководствуясь интерфейсом, пытается понять, достиг ли он своей цели, и если нет, то возвращается к стадии планирования очередного взаимодействия.

Стадии взаимодействия можно разложить на элементы, каждый из которых характеризует данную стадию [4].

Таким образом, воздействуя на элементы стадий и фиксируя изменения показателей качества, можно провести мониторинг воздействия каждой из стадий на качество ЧМИ в целом, который покажет направление улучшения интерфейса.

#### 4. Формальное описание показателей качества элементов управления ЧМИ

Можно выразить математически зависимость удобства интерфейса от показателей качества его отдельных элементов управления (ЭУ).

Качество ЭУ можно определить эвристически по следующим параметрам [5]:

- **Vis** (visual) – эффективность визуальной составляющей, к которой также относится отсутствие раздражающих факторов во внешнем виде и поведении элемента;

- **Sem** (semantic) – эффективность семантической (смысловой) составляющей;

- **Arr** (arrange) – правильность взаимного расположения ЭУ;

- **Qty** (quantity) – количество элементов управления данного типа;

- **Com** (compatibility) – уместность (совместимость) элемента в контексте реализации интерфейса в целом.

Рассмотренные параметры могут принимать значения от 0 до 1 на основании ответов пользователей на вопросы тестов.

Качество элементов интерфейса зависит от субъективной оценки пользователем элементов дизайна, или оформления –  $Vis(X)$ , где  $X$  – элемент человеко-машинного интерфейса. Качество всех групп элементов интерфейса зависит от визуальных показателей их элементов и от степени сочетаемости данной группы с реализацией всего интерфейса в целом ( $Com(X)$ ), где  $X$  – группы ЭУ. Каждому ЭУ в общей формуле расчёта качества интерфейса ставится в соответствие вес этого элемента  $W_i$ , выражающий степень его влияния на качество. Поскольку свойства эффективности визуальной составляющей и сочетаемости есть во всех группах ЭУ, их можно объединить в виде нового свойства – общей визуальной эффективности CVE (Common Visual Efficiency):

$$CVE(X) = \sum_{i=1}^{Qty(X)} (W_i Vis(X_i)) \times Com(X); \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{Qty(X)} W_i = 1. \quad (2)$$

где  $W_i$  – удельный вес  $i$ -го элемента группы;

$X_i$  –  $i$ -й элемент группы;

$X$  – рассматриваемая группа ЭУ.

**Качество заголовка** зависит от общей визуальной эффективности логотипа и заголовочной графики, правильности формулировок стартовой страницы и названия системы, каждый из которых умножается на соответствующий вес:

$$Q_H = \sum_{i=1}^{Qty(H)} (W_i Sem(H_i)) \times CVE(H), \quad (3)$$

где вес ( $W_i$ ) – нормированная величина, вычисляемая на основе данных, полученных от экспертов.

**Качество материального меню и панели инструментов** базируется на законе «семерки» [6], в соответствии с которым, учитывая особенности человеческого восприятия, число подобных элементов ( $max\_leg\_value$ ) в простых системах должно быть не более семи для удобства освоения и использования этих систем:

$$Limit(i) = \begin{cases} 1, & \text{если } i < max\_leg\_value, \\ \frac{1}{(1-6)}, & \text{если } i \geq max\_leg\_value. \end{cases} \quad (4)$$

Также учитывается правильность расположения опций меню относительно друг друга и вес:

$$Q_M = Arr(M_{exist}) \times W_{arr} \times Limit(M_{exist_i}) \times CVE(M), \quad (5)$$

$$\tilde{I} = \prod_{i=1}^{Qty(M_{exist})} Limit(M_{drop_i}).$$

Формула для **панели инструментов** строится аналогично (5), но в ней отсутствуют выпадающие меню:

$$Q_I = Arr(I) \times W_{arr} \times Limit(I_i) \times CVE(I). \quad (6)$$

**Качество информационного наполнения системы** зависит от качества изложения текста:

$$Q_C = \sum_{i=1}^{Qty(C)} (W_i Sem(C_i)) \times CVE(C). \quad (7)$$

**Качество функциональных элементов** вычисляется исходя из правила «семерки» (4) и правильности значений, установленных по умолчанию, а также правильности подобранных типов ЭУ:

$$Q_S = \sum_{i=1}^{Qty(S)} (W_i Sem(S_i)) \times Limit(S_i) \times CVE(S). \quad (8)$$

**Качество области отображения графа** зависит от визуальной эффективности и функциональной насыщенности:

$$Q_G = Sem(G) \times CVE(G). \quad (9)$$

Например, какие использовать типы вершин и дуг, их цвета, механизмы присоединения, сворачивания фрагментов графа и т.д.

**Качество вспомогательных элементов** зависит от умеренности использования (система визуализации не должна быть перегружена вспомогательными элементами), эффективности представления и отсутствия факторов, раздражающих и мешающих воспринимать информационное наполнение, правильности формулировки всплывающих подсказок:

$$Q_A = Qty(A) \times Sem(A) \times CVE(A). \quad (10)$$

Учитывая тот факт, что качество интерфейса определяется множеством его отдельных элементов управления  $Quality = \{H, M, I, C, S, G, A\}$ , **общий показатель качества интерфейса** имеет вид:

$$Q = \sum_{k \in Quality} W_k Q_k. \quad (11)$$

## 5. Результаты сравнительного оценивания интерфейсов

В табл. 2 представлены результаты расчёта общего показателя качества человеко-машинного интерфейса в соответствии с формулами (1) – (11).

Оценивание проводилось для 12 систем визуализации графов: 1 – uDraw [7]; 2 – Gravisto [8]; 3 – TSV [9]; 4 – Gephi [10]; 5 – aiSee [11]; 6 – Графоанализатор [12]; 7 – Tulip [13]; 8 – GraphVis [14]; 9 – Prom6 [15]; 10 – Grapheur [16]; 11 – yEd [17]; 12 – my, где №12 (my) – ПО визуализации испытаний систем электроснабжения (СЭС) [18].

Результаты сравнительного анализа показали, что наиболее качественный интерфейс у систем Tom Sawyer Visualization (TSV, №3), Графоанализатор (№6), а также №12 (my). Высокие показатели качества интерфейса ПО визуализации испытаний СЭС были достигнуты за счёт применения современных подходов к проектированию: Activity-centered design, Contextual Design, Empathic Design, Goal-Directed Design, Participatory Design, Sociable Design, Task-Centered Design, Usage-Centered Design, User-Centered Design, User Experience Design [19-21].

Тем не менее, общий показатель качества можно улучшить за счёт повышения эффективности отдельных ЭУ.

Разработанное ПО не содержит встроенной help-поддержки  $Q(A)$ , также недостаточно внимания было уделено заголовочной графике  $Q(H)$  и содержанию элементов панели инструментов  $Q(I)$ .

Таблица 2

Показатели качества ЭУ  
человеко-машинного интерфейса в системах визуализации графов

ЭУ\Система	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q(H)	0,786	0,818	0,835	0,368	0,802	0,404	0,946	0,847	0,502	0,402	0,804	0,602
Q(M)	0,895	0,712	0,818	0,723	0,712	0,746	0,722	0,819	0,654	0,458	0,702	0,946
Q(I)	0,835	0,529	0,786	0,779	0,284	0,686	0,379	0,584	0,582	0,379	0,564	0,425
Q(C)	0,383	0,379	0,895	0,883	0,517	0,835	0,583	0,617	0,635	0,383	0,617	0,835
Q(S)	0,723	0,356	0,632	0,589	0,372	0,895	0,368	0,432	0,895	0,368	0,632	0,895
Q(G)	0,904	0,529	0,946	0,922	0,602	0,723	0,356	0,559	0,623	0,356	0,529	0,993
Q(A)	0,27	0,404	0,904	0,33	0,336	0,818	0,672	0,984	0,773	0,431	0,348	0,288
<b>QUALITY</b>	<b>0,708</b>	<b>0,538</b>	<b>0,82</b>	<b>0,68</b>	<b>0,51</b>	<b>0,735</b>	<b>0,566</b>	<b>0,681</b>	<b>0,662</b>	<b>0,399</b>	<b>0,61</b>	<b>0,719</b>

### Заклучение

Модель взаимодействия пользователя с системой, разработанная на основе прецедентов Дональда Норманна, позволяет стадии взаимодействия разложить на элементы, характеризующие данную стадию, чтобы выполнять оценивание интерфейса системы отдельно по каждому из этапов.

Формальное представление показателей качества элементов управления ЧМИ на основе экспертных оценок позволяет контролировать уровень качества удобства использования ЧМИ.

То есть, манипулируя ЭУ и их отдельными показателями качества, можно наблюдать тенденцию улучшения функции качества (Q стремится к 1) человеко-машинного интерфейса.

Перспективами настоящей работы является разработка прототипа программного обеспечения для визуализации управляющих алгоритмов по отдельным ЭУ интерфейса, а также улучшение показателей качества ЧМИ, полученных в результате оценивания.

### Литература

1. Касьянов, В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение [Текст] / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.
2. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов [Текст] / В.В. Кульба, Е.А. Микрин, Б.В. Павлов, В.Н. Платонов. – М.: Наука, 2006. – 579 с.
3. Donald, A. Norman. *The Design of Everyday Things* [Text] / Norman A. Donald. – New York: Basic Books, 2007. – 257 p.
4. Hix, D. *Developing user interfaces: Ensuring usability through product and process* [Text] / D Hix, H.R. Hartson. – NY: John Wiley & Sons. – 1993.
5. Nielsen, J.R. *Heuristic evaluation of user in-*

*terfaces* [Text] / J. Nielsen, R. Molich. – Proc. ACM CHI'90 Conf. – 1990. – 249-256 p.

6. Бердышев, С.Н. *Искусство оформления сайта* / С.Н. Бердышев. – М.: Дашков и К, 2010. – 148 с.

7. Система визуализации графов uDraw [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.informatik.uni-bremen.de/uDrawGraph/en/index.html> – 10.04.2013 г.

8. Система визуализации графов Gravisto [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gravisto.fim.uni-passau.de/> – 10.04.2013 г.

9. Система визуализации графов TSV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tomsawyer.com/products/visualization/index.php> – 10.04.2013 г.

10. Система визуализации графов Gephi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gephi.org/users/download/> – 10.04.2013 г.

11. Система визуализации графов aiSee [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.absint.com/aisee/index.htm> – 10.04.2013 г.

12. Система визуализации графов Графоанализатор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://grafoanalizator.unick-soft.ru/> – 10.04.2013 г.

13. Система визуализации графов Tulip [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://sourceforge.net/projects/auber/files/tulip/tulip-3.4.1/TulipSetup\\_3\\_4\\_1.exe/download](http://sourceforge.net/projects/auber/files/tulip/tulip-3.4.1/TulipSetup_3_4_1.exe/download) – 10.04.2013 г.

14. Система визуализации графов GraphVis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://graphviz.org/Download\\_windows.php](http://graphviz.org/Download_windows.php) – 10.04.2013 г.

15. Система визуализации графов Prom6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.promtools.org/prom6/> – 10.04.2013 г.

16. Система визуализации графов Grapheur [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://grapheur.com/info/tour/> – 10.04.2013 г.

17. Система визуализации графов yEd [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.yworks.com/en/products.html> – 10.04.2013 г.

18. Дидук, К.С. *Визуализация процессов авто-*

матического управления испытаниями систем электроснабжения космических аппаратов [Текст] / К.С. Дидук, Ю.А. Кузнецова // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2010. – № 5 (46). – С. 109–115.

19. Раскин, Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем [Текст]: пер. с англ. / Д. Раскин. – СПб.: Символ-Плюс, 2003.

– 272 с.

20. Мандел, Т. Разработка пользовательского интерфейса [Текст] / Тео Мандел. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 416 с.

21. Унгер, Р. UX-дизайн. Практическое руководство по проектированию опыта взаимодействия [Текст] / Р. Унгер, К. Чендлер. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 336 с.

Поступила в редакцию 15.02.2013, рассмотрена на редколлегии 13.03.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных управляющих системы О.Е. Федорович, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

### ОЦІНЮВАННЯ ЛЮДИНО-МАШИНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ У СИСТЕМАХ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГРАФІВ

*Ю.А. Кузнецова, І.В. Туркін*

Показано, що жодна з розглянутих систем візуалізації графів не забезпечує візуалізацію керуючих алгоритмів, а також не орієнтована на зручність використання людино-машинного інтерфейсу і на взаємодію непрофесійного користувача з системою. Тому в даній статті запропоновані модель взаємодії користувача з системою і формальний опис показників якості елементів управління людино-машинного інтерфейсу. Представлені результати порівняльного аналізу якості інтерфейсів існуючих систем візуалізації графів з розробленим візуалізатором керуючих алгоритмів.

**Ключові слова:** людино-машинний інтерфейс, візуалізація, графові моделі, взаємодія, елементи управління, показник якості.

### AN EVALUATION OF HUMAN-MACHINE INTERFACES IN GRAPH VISUALIZATION SYSTEMS

*Yu.A. Kuznetsova, I.B. Turkin*

It is shown that none of examined graph visualization systems does not provide visualization of control algorithms, and is not focused on usability of human-machine interfaces and the non-professional user to interact with the system. Therefore, this paper proposes a model of user interaction with the system and the formal description of quality scores of human-machine interface controls. The comparative analysis results of the interfaces' quality of existing graph visualization systems with the developed control algorithms visualizer are presented in the paper.

**Keywords:** human-machine interface, visualization, graph models, interaction, controls, quality score.

**Кузнецова Юлія Анатольевна** – мл. науч. сотр., ассистент каф. инженерии программного обеспечения, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: JK-Sv@yandex.ru.

**Туркин Игорь Борисович** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. инженерии программного обеспечения, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: energy@d4.khai.edu.