

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

М. В. КОЛОМЕЕЦ

*Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
199178, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: kolomeec@comsec.spb.ru*

Представлены результаты экспериментов по тестированию восприятия 12 компонентов визуализации в виртуальной реальности на основе слепого тестирования 20 пользователей. Тестирование производилось с использованием очков и контроллеров виртуальной реальности HTC Vive. Проведена оценка скорости и точности восприятия визуализации 9 численных и 3 категориальных компонентов. На основе верхнего квантиля распределения оценок определены компоненты, рекомендуемые к использованию в системах визуальной аналитики. Полученные оценки скорости и точности интерпретации информации позволяют учитывать особенности восприятия при проектировании систем анализа, использующих виртуальную реальность.

Ключевые слова: *визуальная аналитика, виртуальная реальность, анализ данных, оценка эффективности восприятия, слепое тестирование*

По аналогии с визуальной аналитикой в пространстве 2D процесс визуализации данных в виртуальной реальности включает множество компонентов, из которых складывается изображение, — графических примитивов, таких как точки, фигуры, цвета и т.д. При этом восприятие пользователем изображения в 2D и в 3D значительно различается. Для того чтобы иметь возможность разрабатывать эффективные системы анализа с поддержкой виртуальной реальности необходимо иметь представление об эффективности компонентов изображения. Таким образом, возникает необходимость изучить эффективность восприятия базовых компонентов визуализации.

Эффективность визуализации сложно оценить [1] и формализовать, так как зачастую такая оценка носит субъективный характер. Тем не менее можно выделить два объективных измеряемых показателя: точность интерпретации информации и скорость принятия решения.

В общих чертах процесс визуализации и принятия решений представлен на рис. 1. Метрика (например, число 15) преобразуется в графический компонент (например, куб объемом, равным 15). Пользователь изучает куб и пытается интерпретировать его размер; он дает ответ (например, 14) и тратит какое-то время на принятие решения (например, 10 с). Таким образом, эффективность выражается в точности и скорости интерпретации метрики — разнице между фактическим значением и ответом пользователя.

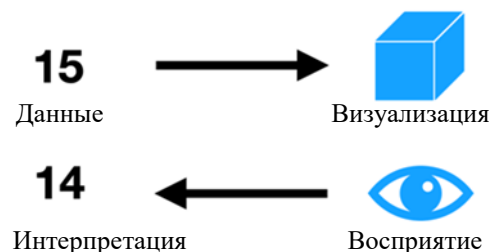


Рис. 1

По точности интерпретации [2] компонентов их можно разделить на 1) точные — рекомендуемые к использованию для визуализации точных метрик; 2) с погрешностями — реко-

мендуемые к использованию для визуализации неточных метрик; 3) неточные — не рекомендуемые к использованию.

По скорости восприятия компонентов их можно разделить на 1) быстрые — рекомендуемые к использованию для привлечения внимания; 2) приемлемые — рекомендуемые к использованию для быстрого принятия решений; 3) медленные — не рекомендуемые к использованию.

Компоненты бывают двух видов в зависимости от метрик [3]: численные и категориальные. Численные компоненты могут визуализировать численные величины (рис. 2). Таким образом, два объекта визуализации можно сравнить между собой. Например, „во сколько раз один треугольник больше другого?“. Категориальные компоненты не могут этого делать. Например, нельзя задать вопрос: „во сколько раз один объект более треугольный, чем второй?“, но они могут визуализировать категории: „сколько треугольников вы видите среди шаров?“. При этом численные компоненты могут визуализировать и категориальные метрики: „сколько треугольников среднего размера вы видите?“.

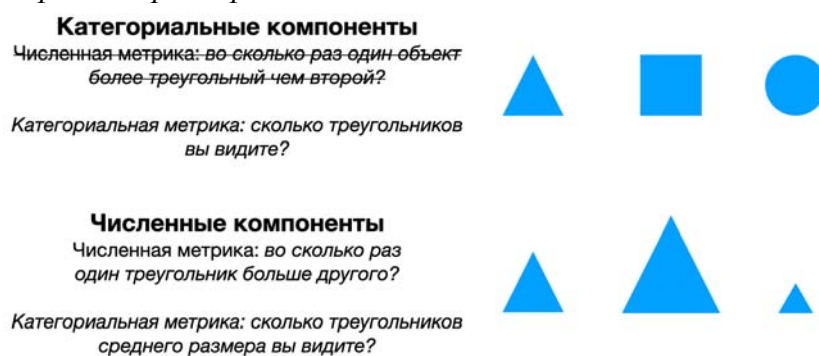


Рис. 2

Компоненты визуализации определены исходя их книги К. Леборга „Визуальная грамматика“ [4]. Были взяты только те компоненты, которые могут визуализировать метрики. В класс численных компонентов вошли: размер (объем в 3D), оттенок цвета, насыщенность цвета, прозрачность, кубическая система координат (СК), радиальная (цилиндрическая в 3D) система координат, вращение, масштабирование, движение; в класс категориальных — форма, основной цвет, текстура.

Очевидно, что эффективность визуализации численных и категориальных компонентов невозможно сравнить, так как при тестировании задаются разные типы вопросов. По этой причине было проведено два вида тестов (рис. 3).

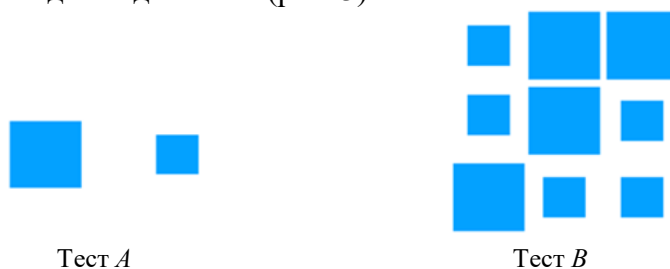


Рис. 3

Тест А — численный. Пользователю были представлены два объекта, которые идентичны друг другу во всем, кроме тестируемого компонента визуализации: например, два статичных куба одинакового размера, одинаковой формы, текстуры, прозрачности и насыщенности цвета. Затем один из компонентов изменялся. Было необходимо определить „во сколько раз первый объект более большой, прозрачный, синий, насыщенный, чем второй“.

Тест В — категориальный. Пользователю были представлены 32 объекта, которые идентичны друг другу во всем, кроме тестируемого компонента визуализации. Среди 32 объектов было выделено четыре категории. Например, 32 объекта с четырьмя разными формами.

Было необходимо определить „сколько вместе объектов X и Y “, где X и Y — треугольники, полосатые объекты, вращающиеся, синие и т. д.

Для каждого численного компонента проводились тесты A и B , для категориального — только B . Для каждого теста были созданы три различные комбинации, таким образом, для одного пользователя производилось три измерения степени восприятия одного компонента.

Тесты проводились в СПИИРАН с участием 20 человек — аспирантов СПИИРАН и студентов Санкт-Петербургского государственного университета коммуникаций М. А. Бонч-Бруевича. Тесты были реализованы в виде программы, написанной с использованием платформы Unity и запущенной в очках виртуальной реальности HTC vive.

Испытуемый проходил краткий инструктаж, как надевать и снимать шлем, как пользоваться контроллерами, как вводить ответ на виртуальной клавиатуре, как „хватать“ и отпускать виртуальные объекты, как перемещаться. После инструктажа испытуемый приступал к тестированию под наблюдением куратора в течение первых 6 заданий, при этом куратор лишь помогал освоиться с техникой и не вмешивался в ход эксперимента. Первые 6 заданий имитируют тестирование, для того чтобы испытуемый обучился работе с гарнитурой. Затем куратор удалялся, чтобы минимизировать влияние на испытуемого. В сумме испытуемый должен был пройти 63 задания (табл. 1).

Таблица 1

| Компонент | Тип компонента | Количество тестов | |
|--------------------|-----------------------|-------------------|-----|
| | | A | B |
| — | Имитация тестирования | 3 | 3 |
| Размер | Численный | 3 | 3 |
| Оттенок цвета | Численный | 3 | 3 |
| Насыщенность цвета | Численный | 3 | 3 |
| Прозрачность | Численный | 3 | 3 |
| Вращение | Численный | 3 | 3 |
| Масштабирование | Численный | 3 | 3 |
| Движение | Численный | 3 | 3 |
| Форма | Категориальный | — | 3 |
| Основной цвет | Категориальный | — | 3 |
| Текстура | Категориальный | — | 3 |
| Кубическая СК | Численный | 3 | — |
| Радиальная СК | Численный | 3 | — |

В среднем тестирование занимало 50 мин. Именно поэтому было принято решение ограничиться данным набором тестов, так как такое длительное время приводит к усталости испытуемых, что может сказаться на результатах тестирования.

В результате тестирования были получены распределения показателей точности и скорости интерпретации. На рис. 4, 5 показаны графики распределения показателей в виде box plot [5].

Точность была нормирована таким образом, что правильный ответ соответствовал отметке „0“. Изменение на единицу показывает отклонение в 100 % от правильного ответа. Например: правильный ответ равен 5 (на графике — 0), ответ пользователя равен 10 (на графике — 1) или 2,5 (на графике — 0,5).

В тесте A компоненты по точности интерпретации были разделены на 3 категории (рис. 4, a):

1) точные компоненты, верхний квантиль Q_3 которых меньше 1: движение, масштабирование, вращение и кубическая СК;

2) компоненты с погрешностями, верхний квантиль Q_3 которых больше 1 и меньше 2: радиальная СК, прозрачность и размер;

3) неточные компоненты, верхний квантиль Q_3 которых больше 2: оттенок, насыщенность.

В тесте *B* компоненты по точности интерпретации были также разделены на 3 категории (рис. 4, б):

1) точные компоненты, верхний квантиль Q3 которых равен 0: движение, масштабирование, вращение, цвет и форма;

2) компоненты с погрешностями, верхний квантиль Q3 которых меньше 1: размер, прозрачность и текстура;

3) неточные компоненты, верхний квантиль Q3 которых больше 1: оттенок, насыщенность.

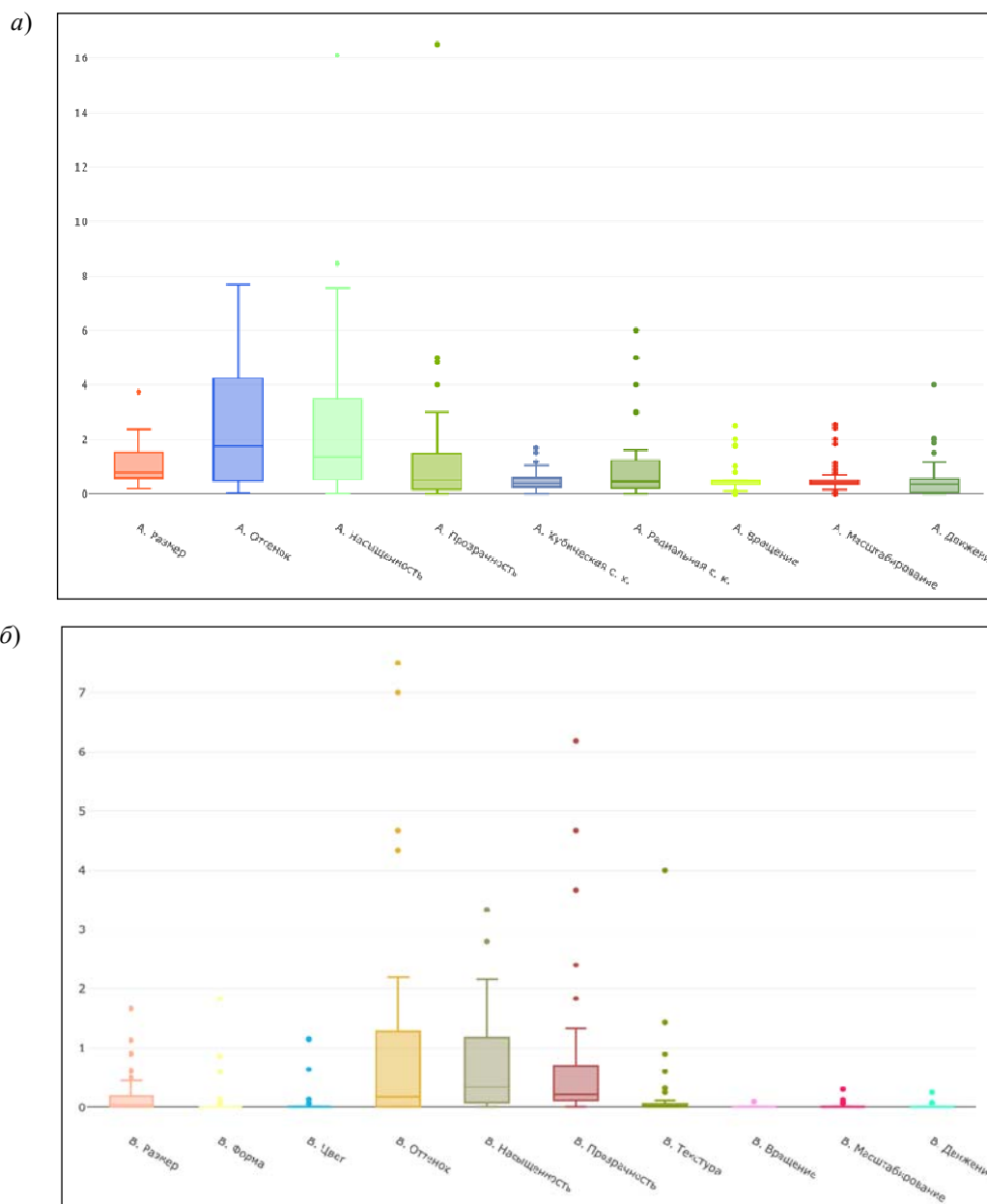


Рис. 4

Скорость принятия решений рассчитывалась как разность между временем начала теста (когда объекты появились перед пользователем) и временем его окончания (когда пользователь ввел ответ). На графиках время показано в секундах.

В тесте *A* компоненты по скорости интерпретации были разделены на 3 категории (рис. 5, а):

1) быстрые компоненты, верхний квантиль Q3 которых меньше 30 с: размер, насыщенность, прозрачность, масштабирование, движение;

2) приемлемые компоненты, верхний квантиль Q3 которых меньше 60 с: вращение, оттенок;

3) медленные компоненты, верхний квантиль Q3 которых больше 60 с: кубическая СК, радиальная СК.

В тесте *B* компоненты по скорости интерпретации также были разделены на 3 категории (рис. 5, б):

1) быстрые компоненты, верхний квантиль Q3 которых меньше 30 с: вращение, масштабирование, движение;

2) приемлемые компоненты, верхний квантиль Q3 которых меньше 60 с: размер, форма, цвет, насыщенность и текстура;

3) медленные компоненты, верхний квантиль Q3 которых больше 60 с: прозрачность, оттенок.

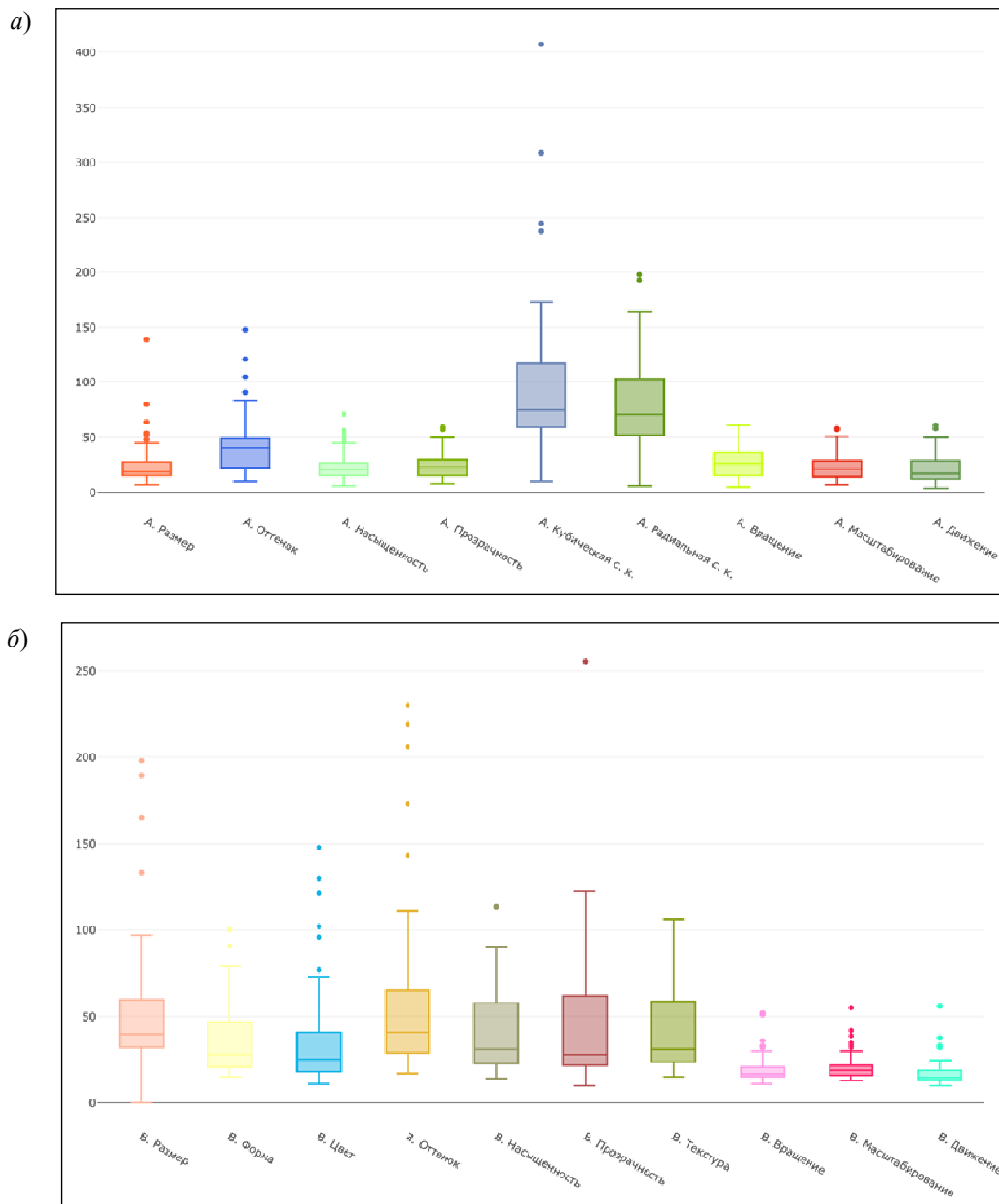


Рис. 5

Результаты тестирования сведены в табл. 2.

На основе точности и скорости интерпретации компонентов можно принимать решения при проектировании, чтобы максимизировать возможность получения эффективной модели визуализации.

Таблица 2

| Компонент | Точность интерпретации | | Скорость интерпретации | |
|--------------------|------------------------|-----------------|------------------------|------------|
| | Тест А | Тест В | Тест А | Тест В |
| Размер | С погрешностями | С погрешностями | Быстрая | Приемлемая |
| Форма | — | Точная | — | Приемлемая |
| Основной цвет | — | Точная | — | Приемлемая |
| Отенок цвета | Неточная | Неточная | Приемлемая | Медленная |
| Насыщенность цвета | Неточная | Неточная | Быстрая | Приемлемая |
| Прозрачность | С погрешностями | С погрешностями | Быстрая | Медленная |
| Текстура | — | С погрешностями | — | Приемлемая |
| Кубическая СК | Точная | — | Медленная | — |
| Радиальная СК | С погрешностями | — | Медленная | — |
| Вращение | Точная | Точная | Приемлемая | Быстрая |
| Масштабирование | Точная | Точная | Быстрая | Быстрая |
| Движение | Точная | Точная | Быстрая | Быстрая |

Пример прохождения теста и инструкции, которые выдавались испытуемым и наблюдателям, можно посмотреть по ссылке [6].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-37-20047 мол_а_вед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Plaisant C.* The challenge of information visualization evaluation // Proc. of the Workshop on Advanced Visual Interfaces AVI. N. Y., USA: ACM Press, 2004. P. 109—116.
2. *Few S.* Save the pies for dessert // Visual Business Intelligence Newsletter. 2007, Aug. P. 1—14.
3. *Udina F.* Visualizing categorical data // J. of Statistical Software. 2004. N 11.
4. *Leborg C.* Visual Grammar: A Design Handbook (Visual Design Book for Designers, Book on Visual Communication). N. Y.: Princeton Arch. Press, 2006.
5. *Williamson D. F., Parker R. A., Kendrick J. S.* The box plot: A simple visual method to interpret data // Ann. of Internal Medicine. 1989. N 110(11). P. 916—921.
6. Пример прохождения теста и инструкции [Электронный ресурс]: <comsec.spb.ru/files/VR/index.html>, 08.07.2020.

Сведения об авторе

Максим Вадимович Коломеец — СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория проблем компьютерной безопасности; мл. научный сотрудник; E-mail: kolomeec@comsec.spb.ru

Поступила в редакцию
02.10.2020 г.

Ссылка для цитирования: Коломеец М. В. Эффективность визуализации данных в виртуальной реальности // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 11. С. 1046—1052.

EFFECTIVENESS OF DATA VISUALIZATION IN VIRTUAL REALITY

M. V. Kolomeets

St. Petersburg Federal Research Center of the RAS,
199178, St. Petersburg, Russia
E-mail: kolomeec@comsec.spb.ru

Results of experiments on testing the perception of 12 visualization components in virtual reality based on blind testing of 20 users, are presented. The tests are carried out using HTC Vive VR glasses

and controllers. An assessment of the speed and accuracy of visualization perception of 9 quantitative and 3 categorical components is performed. Based on the upper quantile of the distribution of estimates, the components recommended for use in visual analytics systems are determined. The obtained estimates of the speed and accuracy of perception allow to account for the features of perception when designing analytic systems using virtual reality.

Keywords: visual analytics, virtual reality, data analysis, assessment of perception effectiveness, blind testing

REFERENCES

1. Plaisant C. *Proceedings of the Workshop on Advanced Visual Interfaces AVI*, NY, USA, ACM Press, 2004, pp. 109–116.
2. Few S. *Vis. Bus. Intell. Newsl.*, 2007, pp. 1–14.
3. Udina F. *J. Stat. Softw.*, 2004, no. 11.
4. Leborg C. *Visual Grammar: A Design Handbook (Visual Design Book for Designers, Book on Visual Communication)*, 2006.
5. Williamson D.F., Parker R.A., Kendrick J.S. *Ann. Intern. Med.*, 1989, no. 11(110), pp. 916–921.
6. comsec.spb.ru/files/VR/index.html. (in Russ.)

Data on author

Maxim V. Kolomeets

— St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Computer Security Problems; Junior Researcher;
E-mail: kolomeec@comsec.spb.ru

For citation: Kolomeets M. V. Effectiveness of data visualization in virtual reality. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 11. P. 1046—1052 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-11-1046-1052