

Измеряемые характеристики задач визуализации

А.А. Захарова, А.В. Шкляр, Ю.С. Ризен

Институт кибернетики Национального исследовательского
Томского политехнического университета

В работе приведены результаты исследований, в ходе которых изучались особенности взаимодействия исследователя и визуальной модели произвольных данных. Предложен набор характеристик визуальных моделей, учитывающих специфику индивидуального восприятия, а также разработан способ экспериментального определения этих их значений. Полученные результаты позволяют прогнозировать когнитивную значимость разрабатываемых решений задач визуализации.

Ключевые слова:

Визуализация данных, метафора визуализации, анализ данных, когнитивные системы, представление информации.

In this paper the results of studies aimed to determinate communication peculiarity between researcher and undefined data visual model are presented. The quantitative features system of visual models and the mode of its measuring are proposed. Derived results allow to forecast cognitive importance for worked up solution visualization tasks.

Key words:

Data visualization, visualization metaphor, data mining, cognitive systems, information representation.

Введение

Визуальный анализ является эффективным и привычным методом, широко применяемым для исследования экспериментальных, расчетных и даже абстрактных данных. Уровень развития технических средств визуализации в настоящее время позволяет создавать искусственные изображения высокой степени сложности, приближенные, при необходимости, к фотореалистичному восприятию. Эти два обстоятельства являются условиями, необходимыми для построения визуальных моделей данных, интерпретация которых использует и учитывает когнитивные процессы, свойственные зрительному восприятию человека.

Для достижения этой цели необходимо изучение закономерностей, описывающих процессы получения новых знаний при взаимодействии наблюдателя с визуальной моделью данных. Сложность этого явления, а также возможность исследования с точки зрения разных наук (математика, психология, физика, философия) требует введения непротиворечивой системы терминов и определений. Будем называть методом визуализации алгоритм сопоставления между некоторыми исходными данными и зрительно воспринимаемым объектом. В этом подходе, указанный объект назовем визуальной моделью, а построение алгоритма сопоставления – задачей визуализации [7].

Не менее серьезной задачей является систематизация приемов построения визуальных моделей. Разнообразие существующих и появляющихся технических возможностей, используемых для создания визуальных моделей, делает актуальными обобщение и формализацию процедуры построения таких моделей при практическом использовании методов визуального анализа. Решение этой задачи позволит использовать существующие технологии визуализации в качестве полноценного инструмента научных исследований, соответствующего уровню сложности современных задач.

Восприятие и интерпретация образов

Зрительное восприятие является сложным, неоднозначным и слабоизученным процессом [3]. Использование визуальных моделей данных преследует, как минимум, одну из следующих целей: передачу информации наблюдателю или поиск нового смысла в данных посредством анализа визуальной метафоры. В первом случае, появляется необходимость контроля за точностью интерпретации зрительного образа, вызванная субъективностью восприятия. Во втором случае, эффективное стимулирование когнитивных механизмов, участвующих в создании новой информации об изучаемой системе, возможно лишь при наличии понимания правил, определяющих реализацию общих закономерностей визуального восприятия в отдельной модели данных.

Анализ зрительной информации является естественной и постоянной функцией мозга любого человека [2]. Однако, особенности восприятия, сформированные как результат индивидуального развития, не позволяют эффективно использовать этот активный потенциал в общем случае. Таким образом, одним из ключевых вопросов теории визуализации следует считать поиск или построение системы инвариантных образов, которые могли бы стать основанием для создания предсказуемо интерпретируемых визуальных моделей [5].

С другой стороны, для задач визуализации, целью которых является получение совершенно новой для наблюдателя информации при помощи активных когнитивных процессов, интерпретация, предопределенная заранее с высокой степенью однозначности, является осложняющим обстоятельством [8]. Выбор визуальной метафоры в этом случае определяется другими факторами, но и здесь необходимо учитывать особенности восприятия наблюдателя. Понимание присутствия этих разнонаправленных факторов при взаимодействии с визуальными образами приводит к актуальной задаче создания формализованной многопараметрической процедуры разработки визуальных моделей данных.

Визуальную модель, воспринимаемую и анализируемую наблюдателем в определенном временном интервале, можно считать элементарным информационным объемом. Такой информационный объект представляет собой сообщение, интерпретация которого зависит, в том числе, от наблюдателя. Последовательность сообщений будет формировать визуальное высказывание. Информативная ценность высказывания становится больше суммы информативных единиц, из которых оно состоит, в том случае, когда оно построено по определенным правилам, известным наблюдателю или эти правила могут быть правильно сформулированы им самостоятельно.

Возникает переход от статичной визуализации состояния изучаемой системы к визуальным высказываниям, построенным с использованием словаря инвариантных образов и закономерностей, объясняющих возможный результат интерпретации [11]. Это свидетельствует о формировании «визуального языка» - инструмента взаимодействия с информацией,

обладающего существенно иными возможностями в сравнении с традиционными языками. Преимущества такого инструмента могут быть обоснованы одновременным использованием визуализации, лингвистических правил, анализа данных и пространственного восприятия.

Зрительное восприятие человека функционирует таким образом, что позволяет анализировать и запоминать широкий поток информации непрерывно, с множеством деталей и особенностей, включая изменения состояния образа во времени [12]. Это обстоятельство позволяет изучать визуальный язык, как инструмент, оперирующий параллельными высказываниями с высокой степенью информативности и интерпретируемости. Следовательно, возможна разработка множества новых визуальных моделей, отличных от традиционных, и при этом не уступающие им с точки зрения информационной содержательности.

Экспериментальное исследование

Понимание того, каким образом у каждого конкретного наблюдателя происходит формирование понимания смысла наблюдаемого им образа, на современном этапе развития науки остается слабым и неоднозначным [1]. Исследование этого вопроса в контексте применения инструментов визуализации для анализа произвольной информации имеет первостепенное значение.

Выявление общих закономерностей восприятия, определение приемов, позволяющих эффективно реализовывать индивидуальный когнитивный потенциал, правила построения визуальных моделей, обладающих предсказуемой интерпретируемостью у широкого круга наблюдателей – эти и многие другие вопросы являются важнейшими для развития визуального анализа и компьютерной графики.

Одним из важнейших приемов, используемых при создании визуальных моделей, является метафора представления – набор выразительных средств, определяющих зрительный образ и помогающий зрителю понять смысл визуализируемой информации при помощи сопоставления особенностей исходной информации и свойств самого образа [10]. В настоящее время, авторами ведется исследование, направленное на выявление степени интерпретируемости и когнитивной значимости различных метафор визуального представления. Первая задача, сформулированная в этом направлении, посвящена оценке и сравнению традиционных приемов визуализации для информационной основы различной степени сложности (рис. 1). В числе таких приемов находятся дву- и трехмерные образы плотностей скалярных значений, структурные схемы, изометрические поверхности, линии тока и т.д. [4]

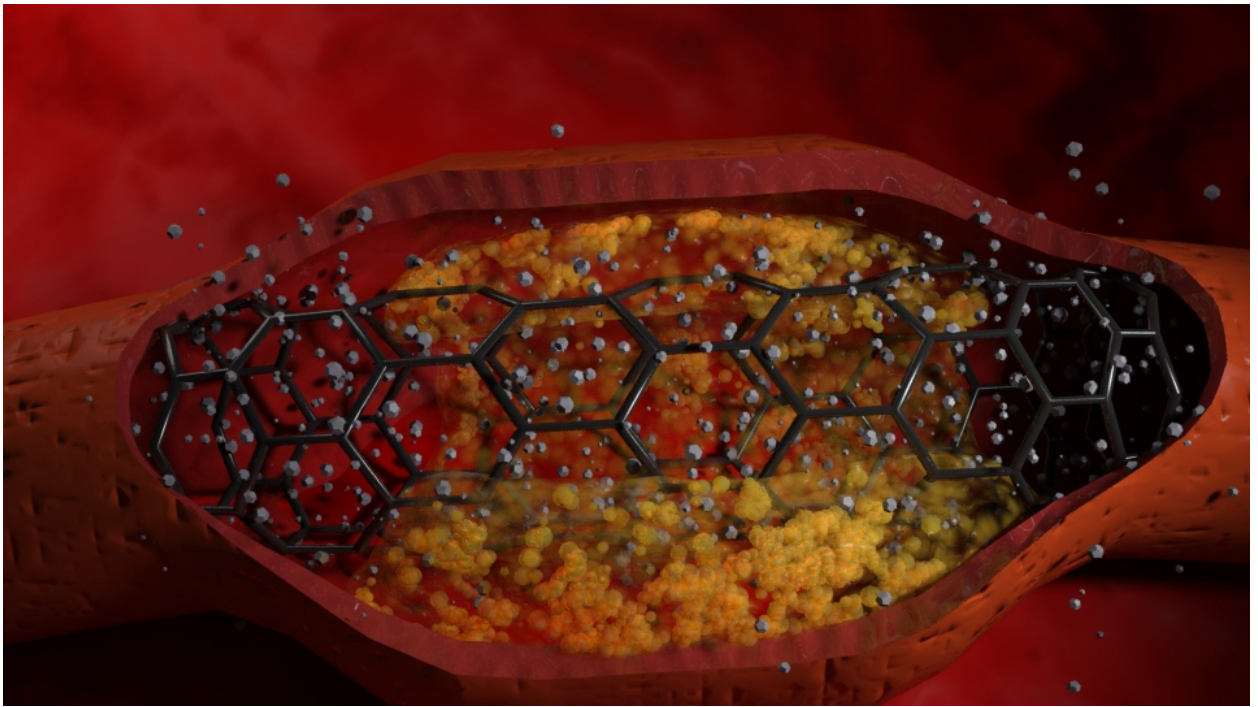


Рис. 1. Действие зонда при лечении атеросклероза в коронарных сосудах.

Для следующего этапа исследований разрабатываются способы экспериментального тестирования, позволяющего получить данные о применимости современных технологических решений в области компьютерной графики для получения новых визуальных метафор. Сложность такого исследования вызвана отсутствием теоретически обоснованных критериев качества визуализации, обладающих измеряемыми признаками. В качестве возможного выхода предложено изучение особенностей интерактивного взаимодействия исследователя с виртуальным пространством визуальной модели для сопоставления полученных данных со свойствами визуальных образов информации [6].

В отдельные задачи выделены исследование особенностей взаимодействия наблюдателя с динамически изменяющимися данными, определение времени интерпретации, скорости анализа и запоминания для таких моделей. Изучение этих процессов имеет значение для обоснования разрабатываемых выразительных средств «визуального языка».

Тестовый стенд

Для решения задачи измерения параметров такого сложного процесса, как понимание зрителем смысла наблюдаемого им визуального образа, был разработан тестовый стенд [8]. В этом случае стендом называется инструмент для получения численных характеристик, связанных с интерпретируемостью визуальной модели. Стенд представляет собой интерактивную виртуальную среду, позволяющую наблюдателю взаимодействовать с исходной информацией в рамках ограничений, являющихся условиями проводимого эксперимента (рис. 2).

Целями исследований, для которых использован разработанный инструмент, являются решения следующих задач:

- Поиск общих закономерностей, влияющих на восприятие визуальных моделей.

- Определение правил, позволяющих создавать визуальные модели с прогнозируемой интерпретируемостью.
- Сравнение когнитивных характеристик существующих визуальных моделей.
- Получение данных о влиянии индивидуальных особенностей наблюдателя на результативность восприятия визуальной модели.
- Изучение характеристик восприятия для ситуации продолжительного взаимодействия с моделью.
- Введение системы характеристик визуальных моделей, способных обосновывать выбор модели для поставленной задачи анализа.

Исходной (исследуемой) информацией является распределение в виртуальном пространстве стенда некоторых данных, например, значений скалярного или векторного поля. Для каждого проводимого эксперимента граничным (начальным) условием является предположение, что участнику эксперимента не известно ничего об этом распределении, кроме того факта, что существует определенная закономерность, которому оно подчинено. Человек, принимающий участие в отдельном эксперименте, является исследователем, задачей которого является выявление возможных закономерностей в исходных данных на основании наблюдений за визуальной моделью.

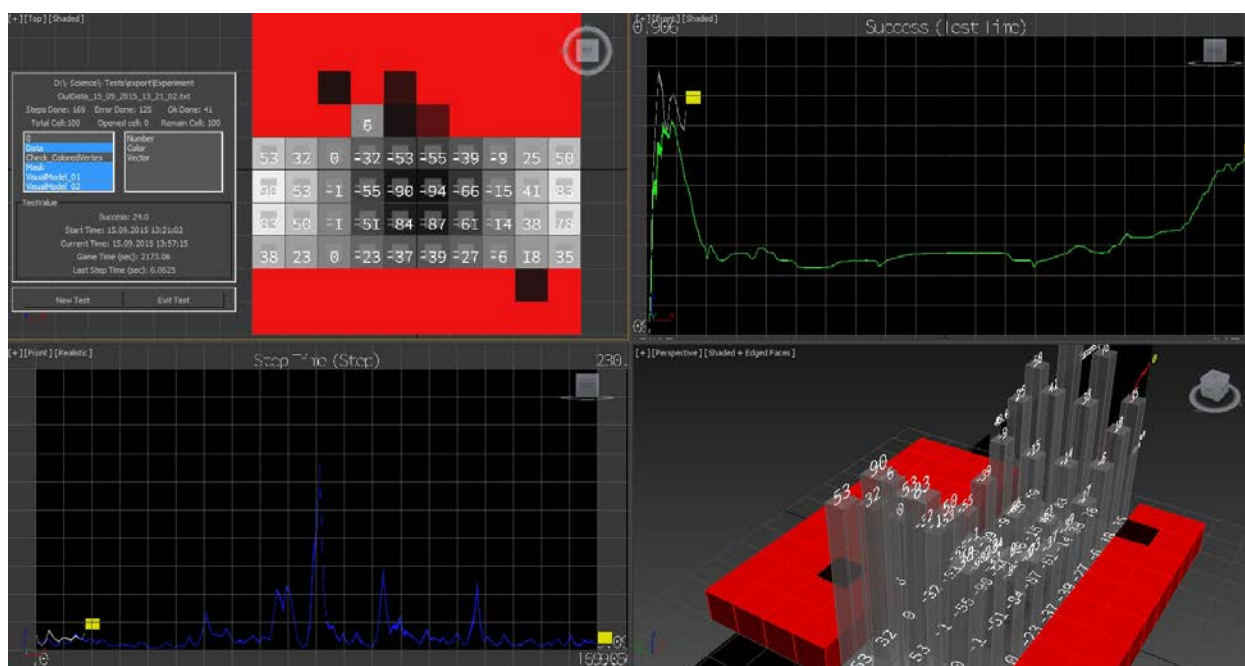


Рис. 2. Интерфейс тестового стенда

Любой эксперимент, проводимый с помощью стенда, представляет собой тест, состоящий из последовательности дискретных шагов, обладающих фиксируемой результативностью. На каждом шаге наблюдатель высказывает предположение о значении исходной величины в выбранной им самой точке экспериментального пространства. Если сделанное предположение соответствует действительности, то исследователь получает этому подтверждение и значение считается определенным. Эта процедура повторяется до определения значений во всех точках или до достижения заданной степени безошибочности, определяемой как длина

последовательности, состоящей лишь из правильных предположений. Одной из основных задач эксперимента является выявление момента, после которого наблюдатель обнаруживает закономерность, которой подчинено исходное распределение.

Введена система предположений, являющаяся основанием для постановки исследования особенностей восприятия:

- Визуальное восприятие информативного образа можно представить как дискретную последовательность событий визуального анализа для фрагментов этого образа.
- Последовательность этих событий определяется исследователем образа из собственных предпочтений.
- Индивидуальные особенности зрительного восприятия являются значимым фактором визуального анализа образа произвольной информации.
- Анализ визуальной информации является процессом параллельным восприятию и влияет как на получаемые выводы, так и на само восприятие.
- Участник эксперимента обнаружил закономерность в данных (понял смысл исходной информации), если он способен с высокой степенью достоверности предсказать правильное значение в области определения, не участвующей в визуализации.

Величинами, измеряемыми в ходе эксперимента, являются соотношение правильных предположений и их общего числа («интерпретируемость»), время достижения заданного уровня этого параметра, интервал между правильными предположениями («время принятия правильного решения»), изменение среднего времени на принятие решения как зависимость от объема уже известных данных и т.д. Информация о необходимых количественных характеристиках проходящего эксперимента постоянно присутствует в поле зрения наблюдателя. Кроме того, возникает возможность наблюдения за индивидуальными особенностями восприятия каждого участника, изменением скорости появления правильных или ошибочных решений («утомляемость»), и даже объяснения с помощью результатов наблюдений выбираемой стратегии исследования неизвестных данных [13].

Для определения роли именно визуального восприятия на интерпретацию данных исследование для любой визуальной модели разделяется на три серии экспериментов. Задачей тестов первой серии (рис. 3) является определение влияния собственных способностей исследователя на анализ неполных (фрагментированных) данных без участия зрительного восприятия. Для создания такого ограничения исследователю, сделавшему правильное предположение о значении исходного распределения в выбранной точке, лишь сообщалось об этом, а ячейка, в которой было верно определено значение, помечалась цветом. Таким образом, в анализе данных были задействованы память участника эксперимента, его аналитические способности и, вероятно, интуиция.

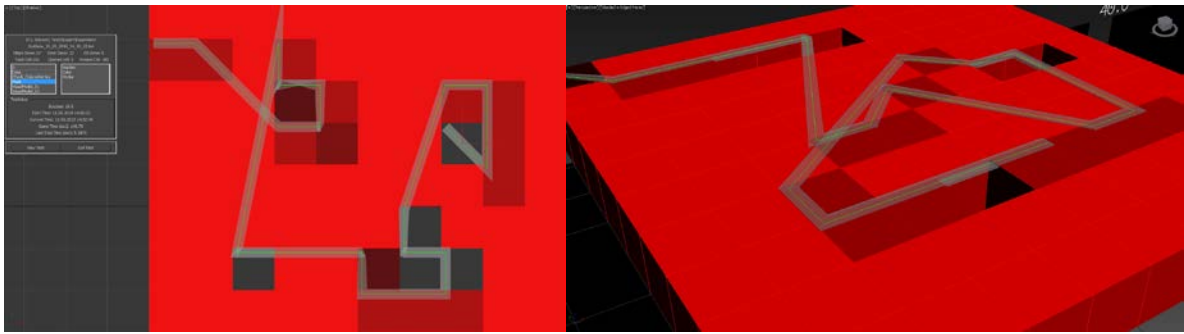


Рис. 3. Ход эксперимента первой серии

Во второй серии (рис. 4) тестов к поиску закономерностей в исходных данных подключается анализ визуальных данных. Ограничением этой серии является представление информации, правильно определенной в ходе эксперимента, лишь в символьном виде. Для этого ячейка не помечалась цветом, а отмечалась цифровым значением, соответствующим исходному распределению.

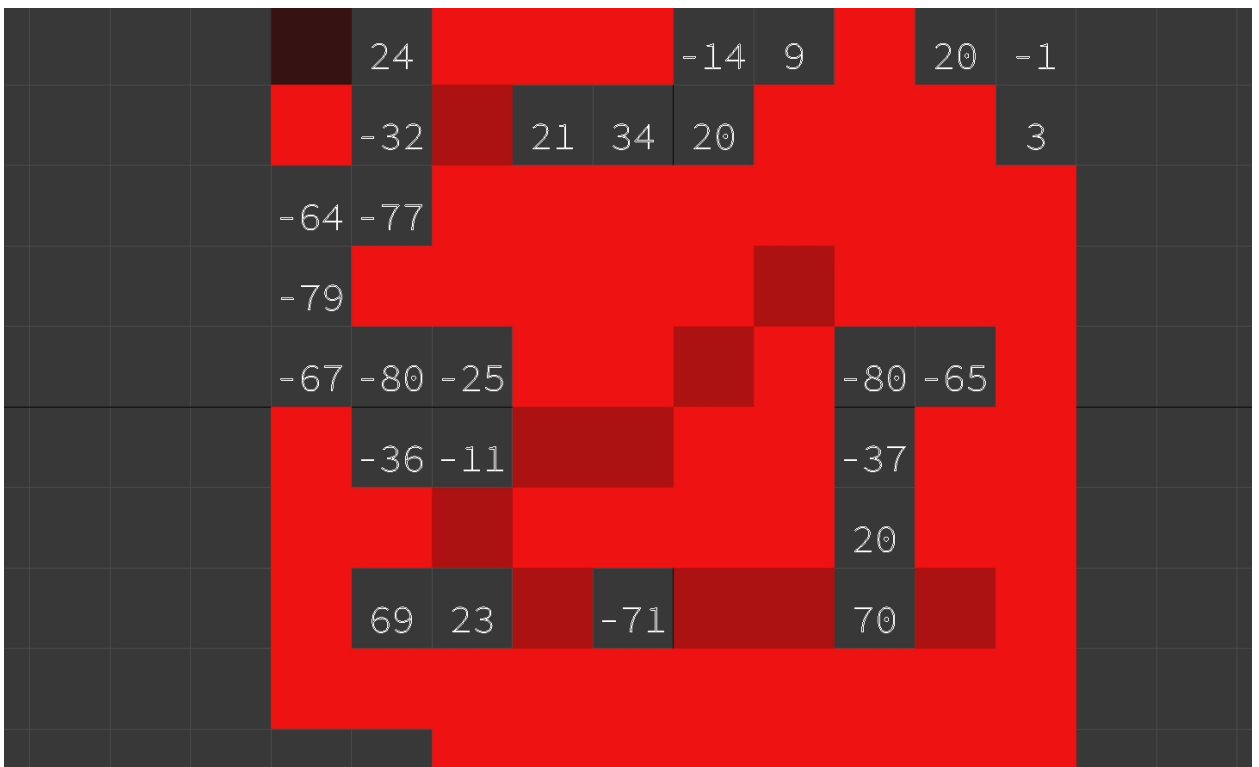


Рис. 4. Ход эксперимента второй серии

В третьей серии экспериментов оценивается эффективность использования именно визуальных моделей в сравнении с результатами первых двух серий. Цифровые значения, в этой постановке, дополняются или заменяются фрагментом визуальной модели исходных данных. Вариант тестов, в котором одновременно визуализированы и символьная и графическая модель, предполагает ознакомление участника эксперимента с метафорой представления только в ходе теста.

Результаты первой серии

Значительная часть проведенных экспериментов посвящалась изучению особенностей визуальных моделей скалярных полей, т.е. распределений некоторых числовых данных в пространстве. При проведении тестов первой серии, в постоянном распоряжении наблюдателя

находится лишь информация о координатах точек пространства модели, в которых сделаны правильные предположения о значениях исследуемого распределения (рис. 5).

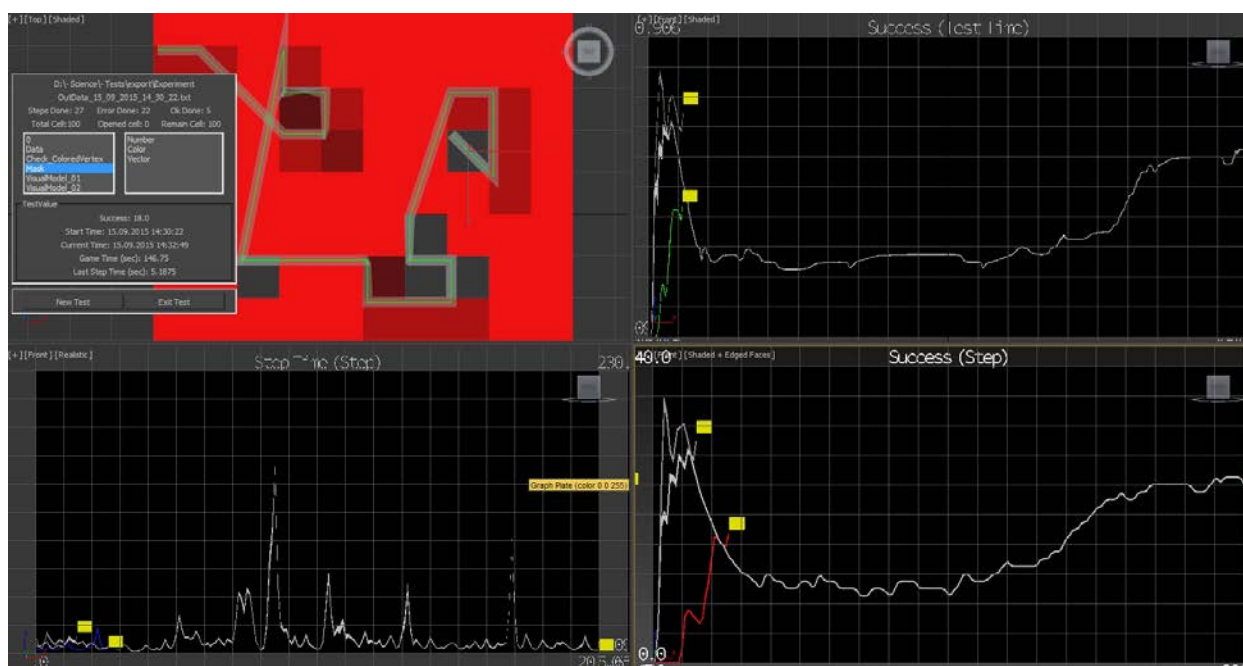


Рис. 5. Результаты эксперимента первой серии

Такая постановка задачи анализа данных рассматривается как «нулевой уровень» визуализации, т.е. считается, что визуальный анализ в ней не имеет никакого влияния на выдвигаемые предположения относительно исследуемого распределения. Для разных исходных данных и разных участников число правильных предположений в среднем не превышало от 12 до 23% от общего числа принятых решений.

Результаты второй серии

Визуальной моделью являются символные обозначения, расположенные в соответствующих точках пространства. При изучении изменений в процессе анализа данных, установлено, что число правильно сделанных предположений становится выше результатов первой серии уже в начале теста. Спустя некоторое время, этот параметр возрастал еще сильнее. Это обстоятельство можно объяснить тем, что наблюдателем определена закономерность, присутствующая в исходных данных. На этом этапе количество правильных предположений достигает 40-45%. Пороговое значение уровня информированности, т.е. объема установленных значений по отношению к общему числу контрольных точек, фиксируется в диапазоне 30-45% и зависит от индивидуальных особенностей наблюдателя.

Результаты третьей серии

Наблюдателю предоставлена возможность самостоятельного выбора правил визуального кодирования, которые определяют метафору представления (рис. 6).

Время, необходимое для визуального поиска закономерностей, управляющих распределением, в большинстве тестов оказалось меньше на 15-20%, чем для второй серии. Для разных исходных данных и разных участников число правильных предположений составляет, в среднем, от 45 до 55% общего числа принятых решений. Отсутствие предварительной осведомленности о правилах

использованного цветового кодирования замедляло принятия правильных решений лишь на начальном этапе каждого теста (5-8% общего числа сделанных шагов).

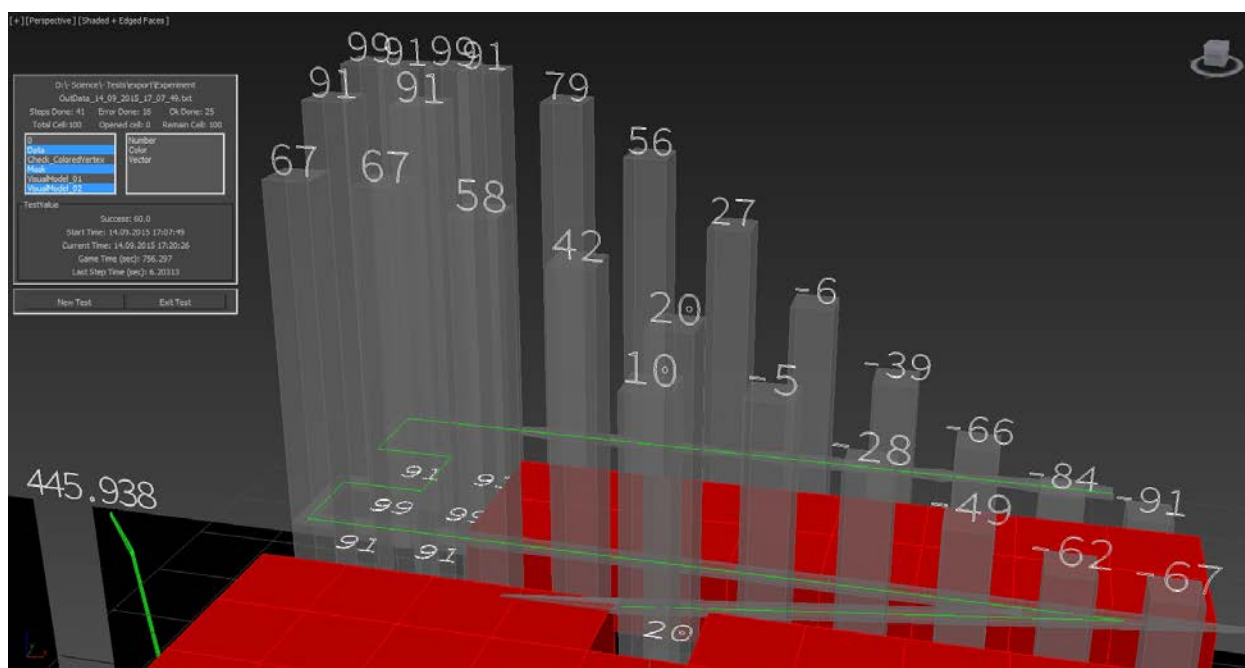


Рис. 6. Результаты эксперимента третьей серии

Время принятия решения

Естественным показателем эффективности применения визуальной модели для анализа данных является оптимальное использование временного ресурса. Интервал между двумя принятиями решений измеряется на протяжении всего эксперимента и визуализируется как элемент интерфейса стенда. Кроме того, фиксируемыми параметрами являются общее время, прошедшее с начала теста, а также промежуток между правильными предположениями.

Для большинства визуальных моделей было отмечено сокращение времени принятия любого решения по мере прохождения теста. Это позволяет делать выводы об обучаемости участника исследования. Кроме того, обнаружены кратковременное увеличение времени принятия решения у многих испытуемых после принятия правильного решения.

Интересным результатом явился наблюдаемый рост времени принятия решения после серии ошибочных предположений. Возможным объяснением этого факта может быть появление паузы, необходимой испытуемому для оценки ситуации и выбора нового объяснения. Величина задержки является индивидуальным свойством наблюдателя.

Визуальный анализ переменных данных

Исследование применения метафоры представления для исследования переменных данных показало наличие различий между ситуациями с использованием визуальных моделей или с анализом атрибутивных значений.

В тестах второй серии изменение характера исследуемых данных приводило к увеличению времени интерпретации для 1-2 тестов после изменения. Затем время интерпретации вновь устанавливалось на определенном значении, определяемом, в основном, особенностями

наблюдателя. Это может свидетельствовать о значительном по продолжительности времени адаптации наблюдателя к новым условиям задачи анализа данных.

В тестах третьей серии, при использовании визуальной модели, например, цветового кодирования, время интерпретации изменялось незначительно при изучении данных с незнакомыми свойствами. Это может быть объяснено тем, что анализ визуального образа уменьшает время интерпретации за счет вытеснения процесса обращения к собственному опыту исследователя. Эффективность такого вытеснения можно также считать измеряемым параметром визуальной модели.

Стратегия исследования

Во время каждого из тестов происходит запись последовательности выбора исследователем области для анализа и сделанного предположения о значении исследуемой величины в этой области. Изучение этих записей позволяет обнаружить существования нескольких типов «стратегий исследования» неизвестных данных. Это характеризует, скорее, исследователя и его тип мышления, но учет таких различий может иметь существенное влияние на интерпретируемость визуальной модели.

Основными стратегиями исследования были выделены следующие:

Последовательное чтение. Исследователь выбирает некоторую начальную точку в пространстве модели и затем последовательно анализирует соседние поля в определенном направлении.

Очаговая стратегия. Выбирается произвольная точка и исследуется ее окружение. Затем происходит выбор новой точки, становящейся локальным центром исследования.

Модель переходов. Происходит определение значений в нескольких случайных точках поля данных. Затем происходит визуальная интерполяция, т.е. формирование предположений о значениях исследуемой величины в промежуточных точках (Рис. 7).



Рис. 7. Стратегии исследования: очаговая (слева) и последовательная (справа)

Параметры визуальных моделей

Предлагаемая процедура тестирования позволяет измерять значения некоторых параметров визуальных моделей данных. Наличие у визуальной модели численных параметров, описывающих ее свойства, является основанием для сравнения ее с другими моделями и выбора наиболее эффективной по отношению к решаемой задаче анализа. Эта позволяет говорить о возможном введении системы унифицированных характеристик визуальных моделей.

Авторами предлагается несколько характеристик, значимость которых считается высокой. В дальнейшем, этот набор может быть дополнен величинами, являющимися признаками типов моделей и позволяющими разрабатывать их классификацию.

Предлагаемые характеристики визуальных моделей:

Скорость интерпретации. Величина обратная времени, необходимому наблюдателю для понимания смысла образа исследуемых данных с точностью, определяемой условиями задачи визуализации.

Самодостаточность. Готовность модели к интерпретации без предварительного или дополнительного ознакомления наблюдателя с метафорой представления.

Совместимость. Возможность одновременной интерпретации состояний нескольких величин в рамках одной визуальной модели.

Степень инвариантности. Уровень независимости результатов интерпретации от особенностей восприятия произвольного наблюдателя.

Заключение

Исследования свойств визуальных моделей данных с использованием предложенного экспериментального стенда может иметь широкое практическое применение:

- Анализ и интерпретация точечных измерений, полученных в геологических исследованиях, экспериментальных физических измерениях величин, имеющих пространственное распределение (поля температур, давлений).
- Определение применимости определенных визуальных образов для анализа абстрактной информации.
- Оценка взаимодействия целевой группы наблюдателей с визуальной моделью с точки зрения эффективности и ресурсоемкости.
- Предварительное определение целесообразности выбора метафоры представления для использования ее при формировании динамической визуализации (время интерпретации).
- Оценка совместимости метафор представления для одновременной визуализации разных типов данных.

Разработанный авторами «экспериментальный стенд» позволил получить фактические данные, описывающие взаимодействие между исследователем и визуальной моделью. Получено фактическое подтверждение преимуществ визуального анализа. Эти данные позволяют разрабатывать визуальные модели данных, обладающих контролируемой эффективностью.

Предложена открытая система параметров визуальных моделей, позволяющая создавать их классификацию. Наличие такой системы делает возможным переход к параметрической визуализации, зависящей от особенностей поставленной задачи анализа. Переход к систематизированному визуальному анализу произвольных данных является необходимым шагом для построения теории визуализации.

Проводимые исследования позволяют наблюдать за влиянием индивидуальных особенностей визуального восприятия на анализ данных. Созданы условия для фактического описания таких особенностей. Разработка визуальных моделей может учитывать характеристики наблюдателя, опираясь на данные о целевой аудитории.

Полученные данные об особенностях когнитивного восприятия могут быть использованы для решения задач визуального анализа больших объемов данных, моделей многокомпонентных данных, поиска закономерностей в экспериментальных данных, не имеющих аналитического описания, а также при разработке инфографики высокой сложности или создании информативно насыщенных интерфейсов.

Работа выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bolotova Yu.A, Druki A.A. и Spitsyn V.G License plate recognition with hierarchical temporal memory model [Конференция] // 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST –2014). – Chittagong, October 21-23, 2014.: Chittagong: CUET, 2014. – P. 121-124, 2014.
- [2] Mazza R. Introduction to Information Visualization [Книга]. – London: Springer-Verlag Limited, 2009. – 149 p.
- [3] Ware Colin. Information Visualization, Third Edition (3rd Edition) Perception for Design (Interactive Technologies) [Book]. – [s.l.]: Morgan Kaufmann, 2012. – 536 p.
- [4] Bondarev A.E., Galaktionov V.A., Chechetkin V. M. Analysis of the Development Concepts and Methods of Visual Data Representation in Computational Physics / Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2011, Vol. 51, No. 4, pp. 624–636.
- [5] Авербух В. Семиотический подход к формированию теории компьютерной визуализации [Статья] // Научная визуализация. – 2013. Т.5, №1, с.1-25.
- [6] Бондарев А.Е., Галактионов В.А. Современные направления развития визуализации данных в вычислительной механике жидкости и газа / Научная визуализация. Т.5, № 4, с.18-30, 2013.
- [7] Захарова А.А., Шкляр А.В. Информативные признаки задач визуализации [Статья] // Научная визуализация. – 2015. – 2: Т. VII. – С. 73-80.
- [8] Захарова А.А., Шкляр А.В. Основные принципы построения визуальных моделей данных на примере интерактивных систем трехмерной визуализации [Статья] // Научная визуализация. – 2014. – №2. – С. 62-73
- [9] Зиновьев А.А. Основы логической теории научных знаний [Книга]. – М.: Издательство ЛКИ, 2010. – Издание 2-е, испр. и доп. – 264 с.
- [10] Никитина М.А. О когнитивном потенциале метафоры в научном тексте [Журнал] // Вестник ИГЛУ. – 2010. – №3.
- [11] Пирс Ч.С. Начала прагматизма. Том 2. Логические основания теории знаков [Книга]. – СПб.: Лаборатория метафизических исследований философского факультета СПбГУ; Алетейя, 2000. – 352 с.
- [12] Соломоник Абрам. Философия знаковых систем и язык [Книга]. – Минск: МЕТ, 2002. –404 с.
- [13] Яковив И.Б. Взаимосвязь информации и знаков [Статья] // Information Technology and Security. – Киев: ИССЗИ НТУУ "КПИ", 2012. – 1 (1). – стр. 31-41.

Measurable features of visualization tasks

A.A. Zakharova (Russia), A.V. Shklyar (Russia)

Institute of Cybernetics. National Research Tomsk Polytechnic University

Bibliography:

- [1] Bolotova Yu.A., Druki A.A. i Spitsyn V.G License plate recognition with hierarchical temporal memory model [Konferencija] // 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST –2014). – Chittagong, October 21-23, 2014.: Chittagong: CUET, 2014. – P. 121-124, 2014.
- [2] Mazza R. Introduction to Information Visualization [Kniga]. – London: Springer-Verlag Limited, 2009. – 149 p.
- [3] Ware Colin. Information Visualization, Third Edition (3rd Edition) Perception for Design (Interactive Technologies) [Book]. – [s.l.]: Morgan Kaufmann, 2012. – 536 p.
- [4] Bondarev V.A., Galaktionov A.E. Analiz razvitija koncepcij i metodov vizual'nogo predstavljenija dannyh v zadachah vychislitel'noj fiziki [Stat'ja] // Preprinty IPM im. M.V.Keldysha. – 2009. №53. – 28 s. – URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2009-53>.
- [5] Zaharova A.A., Shkljar A.V. Informativnye priznaki zadach vizualizacii [Stat'ja] // Nauchnaja vizualizacija. – 2015. – 2: T. VII. – S. 73-80.
- [6] Zinov'ev A.A. Osnovy logicheskoy teorii nauchnyh znanij [Kniga]. – M.: Izdatel'stvo LKI, 2010. – Izdanie 2-e, ispr. i dop. – 264 s.
- [7] Nikitina M.A. O kognitivnom potenciale metafory v nauchnom tekste [Zhurnal] // Vestnik IGLU. – 2010. – №3.
- [8] Pirs Ch.S. Nachala pragmatizma. Tom 2. Logicheskie osnovanija teorii znakov [Kniga]. – SPb.: Laboratorija metafizicheskikh issledovanij filosofskogo fakul'teta SPbGU; Aletejja, 2000. – 352 s.
- [9] Solomonik Abram. Filosofija znakovykh sistem i jazyk [Kniga]. – Minsk: MET, 2002. –404 s.
- [10] Jakoviv I.B. Vzaimosvjaz' informacii i znakov [Stat'ja] // Information Technology and Security. – Kiev: ISSZI NTUU "KPI", 2012. – 1 (1). – str. 31-41.

Authors:

A. Zakharova, zaa@tpu.ru, Institute of Cybernetics. National Research Tomsk Polytechnic University

A. Shklyar, shklyarav@mail.ru, Institute of Cybernetics. National Research Tomsk Polytechnic University

Y. Rizen, yulja_vit@tpu.ru, Institute of Cybernetics. National Research Tomsk Polytechnic University