

О ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрены вопросы визуализации информации: актуальность, теоретическое обоснование, классификация методов и основной принцип построения систем визуализации. Методы визуализации классифицированы по области применения, уровням визуализации, методам представления информации и по типу взаимодействия пользователя с программным интерфейсом системы визуализации. Объяснен процесс проектирования систем визуализации, состоящий из преобразования данных, визуального отображения и преобразования представления.

E-mail: opesкова@mail.ru

Ключевые слова: визуализация информации, классификация методов визуализации, эталонная модель визуализации.

Развитие информационных технологий стало причиной ежегодно-го порождения сотен терабайт информации в локальных и глобальных сетях. Внедряются различные механизмы для поиска нужной информации, однако эти средства эффективны тогда, когда пользователи имеют конкретную цель и понимают, какая информация как хранится. В остальных случаях помочь пользователю потенциально могут методы визуализации информации. Сегодня концепция визуализации информации ассоциируется со средством усиления ментальных процессов человека [1].

Зрительная система человека способна быстро обрабатывать визуальные сигналы, а передовые информационные технологии превратили компьютер в мощное средство управления цифровой информацией. Визуализация является мостом, связывающим зрительную систему человека и компьютер, помогая идентифицировать образы, строить гипотезы и извлекать идеи из огромных массивов данных, что способствует научному исследованию и прогнозированию [2]. Несмотря на то, что распространение компьютерной техники визуализации началось в 1990-е гг., визуальные средства, облегчающие построение ментальных образов, имеют давнюю историю [3]. Примерами визуализации могут служить географические карты, периодическая таблица Менделеева, статистические диаграммы фондовых рынков и др. Исследователи в области наук о Земле, физики, химии, биологи давно взяли на вооружение средства визуализации, помогающие в анализе массивов данных и поиске шаблонов (образов) в данных. В 1990 г. состоялась первая конференция по визуализации, организованная Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) [4]. Кроме научной сферы, в настоящее время техники визуализации применяются в коммерческой деятельности, цифровых библиотеках и в сети Интернет.

Впервые термин «визуализация информации» был предложен в работе [5], чтобы описать представление абстрактной информации средствами визуального интерфейса. Авторы ранних систем визуализации подчеркивают важность интерактивности и анимации [6], механизма динамических запросов [7], различных алгоритмов отображения визуальной информации на плоскость экранов компьютера. Современные системы визуализации сосредоточены, в первую очередь, на данных, порожденных деятельностью людей во Всемирной паутине [8, 9]: Интернет-трафик, блогосфера, взаимосвязи между людьми в социальных сетях, взаимосвязи между товарами в Интернет-магазинах, генерируемые вследствие деятельности покупателей, свободно создаваемые текстовые коллекции, например Википедия, и др.

Теоретическое обоснование визуализации информации. Визуализация информации — безусловно мультидисциплинарная область, которая базируется на знании предметной сферы визуализируемых данных и процессов, понимании основ визуального восприятия человеком информации и владения математическими методами анализа данных.

Важным является исследование процессов восприятия человеком визуальной информации. Известно, что зрительная система человека в состоянии одновременно обрабатывать множество визуальных сигналов. Например, в ходе эксперимента [10] установлено, что люди способны обнаружить всего один темный пиксел в матрице 500×500 белых пикселей менее чем за 1 с; изображения сменялись каждую секунду, демонстрируя возможность анализировать 15 млн пикселей в минуту. Сложно представить подобную производительность при просмотре, например, электронных таблиц с цифрами или символами. Также установлено, что человек значительно лучше запоминает графическую информацию. Однако зрительная система человека идентифицирует образы в соответствии с некоторыми правилами: чтобы система визуализации была эффективной, необходимо изучать эти правила и следовать им.

В соответствии с результатами работы [10], структура памяти человека содержит иконическую, кратковременную (рабочую) и долговременную память. Каждая из них может быть усилена различными способами визуализации.

Иконическая память, по сути, является сенсорной копией информации, воспринимаемой человеком без сознательного контроля, имеет большую емкость и высокую скорость угасания во времени (менее 1 с). Часть визуальной информации затем передается в рабочую память. В иконической памяти происходит непреднамеренная обработка входящей информации, запускается множество параллельных

процессов для выделения различных визуальных сигналов без участия сознательных познавательных процессов. Выделяют зависимые и независимые визуальные каналы обработки информации. Например, визуальные подсказки типа цвета и близости объектов являются независимыми друг от друга каналами восприятия, следовательно, их можно применять в отдельности для кодирования различных атрибутов. Другой пример — цвет и яркость — могут смешиваться друг с другом, поскольку их визуальные каналы пересекаются.

Рабочая память интегрирует данные, извлеченные из иконической памяти, с информацией, загруженной из долговременной памяти, в процессе решения человеком некоторой проблемы. В рабочей памяти абстрактные визуальные образы, полученные в результате непреднамеренной обработки, отображаются в информационное пространство образов из долговременной памяти. После решения текущей проблемы информация из рабочей памяти удаляется. При визуализации происходит дополнение рабочей памяти двумя способами: расширением памяти и визуальным усилением познавательных процессов. Благодаря высокой пропускной способности рабочей памяти для входных сигналов, визуализация может сама по себе играть роль внешней памяти, экономя при этом место в рабочей памяти. Усиление и поддержка познавательных процессов происходят за счет того, что визуализация делает решения воспринимаемыми, наглядными; визуализация сокращает когнитивную нагрузку при принятии решений и мысленном построении изображений, которые необходимы при решении целого ряда задач.

Долгосрочная память хранит информацию, обусловленную жизненным опытом человека, в виде сети связанных понятий. Способ, благодаря которому построена данная сеть, определяет, почему некоторые понятия проще вспомнить, чем остальные.

Более подробные исследования данного вопроса следует искать в трудах психологов и нейрофизиологов. Изучение процессов восприятия необходимо для разработки систем визуализации, однако процедура преобразования результатов таких исследований в готовые принципы проектирования, которые можно незамедлительно внедрять, все еще остается открытым вопросом.

Классификация методов визуализации. *По области применения* выделяют следующие виды визуализации:

- научная визуализация;
- визуализация программного обеспечения;
- визуализация информации.

Перечисленные виды визуализации предназначены для разных типов данных, однако применяют схожие техники: используют одни и

те же элементы (визуальные сигналы) и следуют общим правилам комбинирования визуальных сигналов. Границы между указанными видами визуализации размыты. В работе [1], вследствие абстрактной природы входных данных как информационной визуализации, так и визуализации программного обеспечения, эти два вида понимают как один — визуализация информации.

Научная визуализация помогает ученым и инженерам более эффективно познавать физические явления, скрытые в больших объемах информации. Сведения могут быть получены путем имитационного моделирования или регистрации показаний различных датчиков, медицинских сканеров, телескопов, спутниковых систем и др. Отличительной чертой научной визуализации является физическая природа визуализируемых объектов, которые имеют природные аналоги, например, Земля, человеческое тело, молекула, ДНК и т.п. Разработка математических моделей, описывающих физические объекты, играет важнейшую роль в отображении информации. Цвета или другие визуальные подсказки обычно добавляются к физическому объекту для того, чтобы описать те или иные его атрибуты.

Изоповерхности, объемные изображения и глифы (изображения специальных символов) — наиболее распространенные способы подачи атрибутов научной визуализации. Изоповерхности показывают распределение атрибутов, например, цветные контуры на географической карте, представляющие зоны изменения температуры. Объемные изображения позволяют представить трехмерные данные в полном объеме посредством интерактивного взаимодействия. Примером тому могут служить медицинские данные магнитно-резонансной томографии, данные систем автоматизированного проектирования или систем дистанционного зондирования. Глифы обеспечивают возможность отображать множество атрибутов посредством комбинации различных визуальных сигналов. В научной визуализации глифы обычно применяют для описания потоков информации. Самый распространенный глиф — это стрелка: например, стрелками изображают силу и направление ветра на картах.

Визуализация программного обеспечения и визуализация информации. Визуализация информации и программного обеспечения, в отличие от научной визуализации, часто не имеет predetermined геометрических или физических структур, на которые отображается информация. Например, древовидные карты (TreeMap) [11] применяют для взаимодействия с иерархической структурой при демонстрации взаимосвязей программного кода, содержимого директорий с файлами, коллекций фотографий, финансовых данных, сообщений пользователей сети Usenet и др. Техника визуализации одна и та же, но области применения в каждом из перечисленных примеров разные.

Визуализация программного обеспечения обычно заключается либо в наглядном представлении программного кода, либо в анимации работы алгоритмов, что помогает инженерам управлять разработкой, отладкой, оптимизацией сложного программного обеспечения. Типичным примером является система SeeSoft [12, 13], демонстрирующая изменения в программном коде. Анимация алгоритмов обычно используется в учебных целях.

Визуализация информации применяется либо к структурированной, либо к неструктурированной информации. В первом случае эта информация часто представлена в численном виде с заранее определенными переменными. Например, статистические данные о бизнес-операциях, Интернет-трафик или данные об использовании глобальной сети. Ранними формами визуализации структурированных данных были линейные графики, графики распределений, столбчатые и круговые диаграммы и т.п. В настоящее время применяют методы анализа и разведки данных для обработки крупных массивов с последующей визуализацией, чтобы существенно облегчить обнаружение общих шаблонов в данных. Неструктурированная информация (например, коллекции текстовых документов, веб-страницы или архивы электронных сообщений) не имеет четко определенных переменных и атрибутов. В этом случае перед формированием графического представления требуется их определить и проанализировать.

По уровням визуализации выделяют четыре основных уровня визуализации, а следовательно, и соответствующих им техник визуализации [1]:

инфосфера (“за пределами рабочего пространства пользователя”) — некоторое обобщенное представление информационного пространства, содержащего данные и инструменты для решения задачи. Например, представление всей всемирной паутины или хранилища документов некоторой организации, или электронной библиотеки в виде абстрактного виртуального пространства, в котором содержится множество документов;

информационное рабочее пространство — рабочее место пользователя, обеспечивающее поддержку процесса решения задачи, уменьшение затрат на ее решение, вспомогательные материалы, напоминания и др.; информация, которой пользователь непосредственно манипулирует во время рабочего процесса. Например, GUI метафора рабочего стола;

визуальные инструменты знаний — сам набор данных, отображенный на некоторой подложке и оснащенный инструментами для манипулирования данными, выявления шаблонов, визуальных вычислений и кристаллизации знаний. Например, таблицы с линзами (*Table Lens* [1]);

визуальные объекты — выборка одного или нескольких подмножеств данных для конкретизации объектов взаимодействия. Например, выделение и манипулирование на анатомическом атласе объектами, относящимися только к одной или нескольким внутренним системам организма.

По методам представления информации выделяют семь основных типов представления информации: *1D*, *2D*, *3D*, многомерные, древовидные, сетевые и временные.

1D-подход. Абстрактную информацию отображают в виде одномерных визуальных объектов, представленных линейно или по окружности. *1D*-представление применяется для отображения содержания одного документа или для обзора всей коллекции документов. Цвета обычно означают некоторые атрибуты каждого визуального объекта. Например, в SeeSoft [13], системе отслеживания изменения программного кода, цвет показывает возраст строки кода, номер его релиза, авторство кода, а также цвет может указывать на то, была ли в строке устранена ошибка или добавлена новая функциональность и др.; в системе TileBars [14, 15] — местоположение поисковых терминов в найденных документах.

Вторая ось также может быть использована для представления значений атрибутов. Так, например, в SeeSoft файлы размещаются по горизонтали, а число строк кода в них представлено вертикальной осью.

В интерфейсе системы TileBars встречаемость поисковых терминов в документах представлена в соответствии с *1D*-подходом. Яркостью элементов изображения кодируется частота встречаемости терминов в конкретном документе (рис. 1).

2D-подход. Информация представляется в виде двумерных визуальных объектов. Примером являются самоорганизующиеся карты Кохонена (SOM) [16], которые показывают коллекцию документов путем отображения автоматических категорий документов на плоскость. Их пространственная близость кодирует тематическую близость исходных документов и категорий.

3D-подход. Информация представляется в виде трехмерных визуальных объектов. Примером является система WebBook [17], которая отображает веб-страницы в виде трехмерной книги. К *3D*-подходу также относят различные метафоры из реального мира: комнаты, книжные полки или здания, трехмерные версии изображения древовидных и сетевых структур. Например, это может быть трехмерное гиперболическое дерево для визуализации крупномасштабных иерархических взаимосвязей. Система WebForager [17] предоставляет рабочее пространство для организации книг (рис. 2).

Многомерный подход. Информация представляется в виде многомерных объектов посредством их проекции в трех- или двумерное

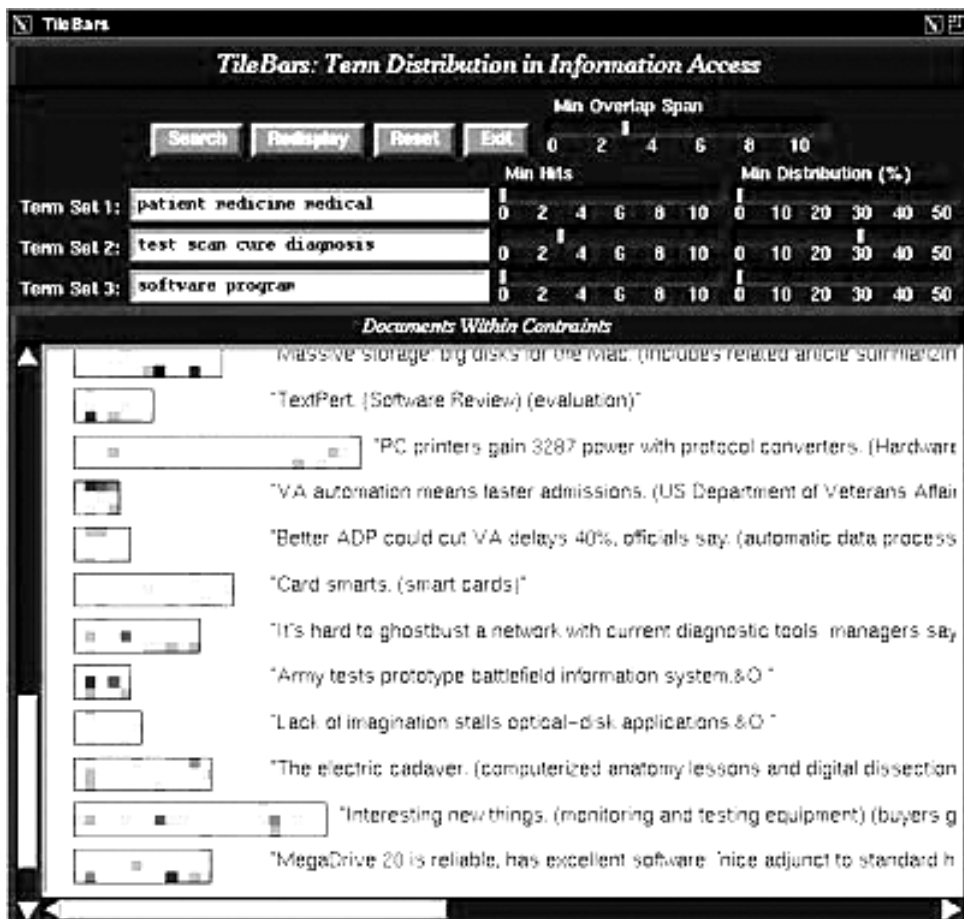


Рис. 1. Экранная копия в интерфейсе системы TileBars



Рис. 2. Рабочее пространство в системе WebForager

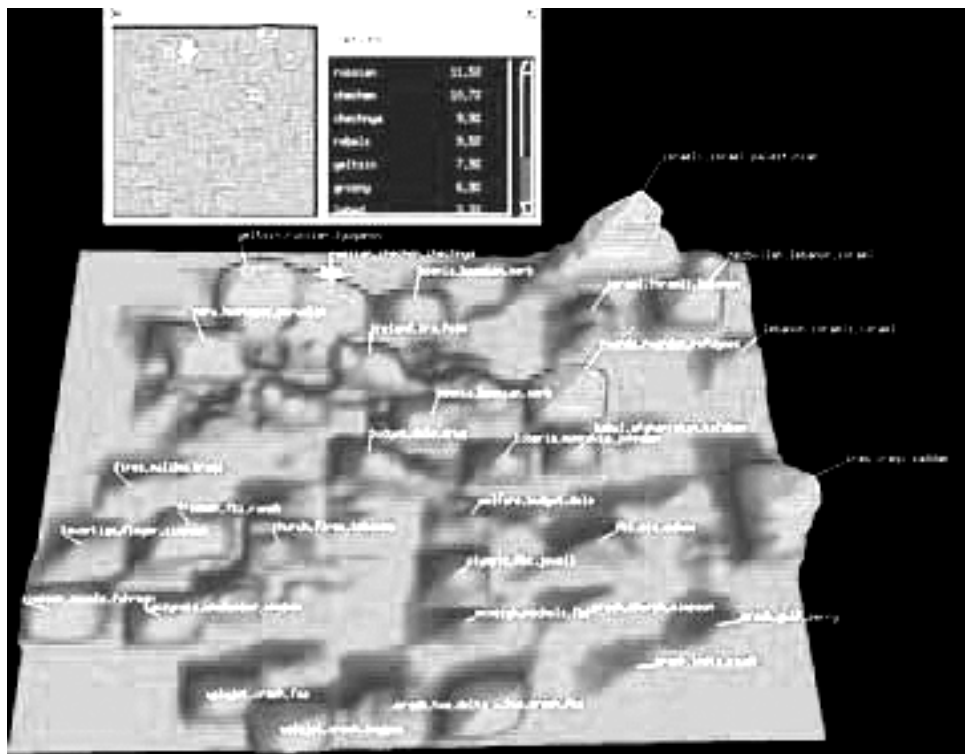


Рис. 3. Интерфейс системы SPIRE Themeview

пространство. Примером являются полнотекстовые документы, отображенные в пространство всех ключевых терминов коллекции документов. Для проекции в пространство более низкой размерности применяют соответствующий математический аппарат, иерархические или плоские алгоритмы кластерного анализа, метод главных компонент, многомерное шкалирование и т. п.

На рис. 3 представлен интерфейс системы SPIRE Themeview [2], показывающий взаимосвязи между тематиками коллекции документов. Высота пика обозначает вес конкретной тематики в коллекции.

Древовидный подход. Представляет информация об иерархических взаимоотношениях между объектами визуализации. Известными примерами систем, в которых применен данный подход, являются: иерархические карты TreeMap [11] (рис. 4) — выделяется место на плоскости под узел дерева в соответствии с величиной некоторого атрибута; конические деревья Cone Tree [18] — используется трехмерная графика, чтобы больше узлов дерева разместить на экране; гиперболические деревья Hyperbolic Tree [19], которые отображают ветви дерева на гиперболическую плоскость (рис. 5).

Сетевой подход. Применяется в случаях, когда древовидная структура не способна удовлетворительно отразить всю сложность взаимосвязи между объектами визуализации. Такая сложность, очевидно,



Рис. 4. Пример древовидной карты новостей по категориям

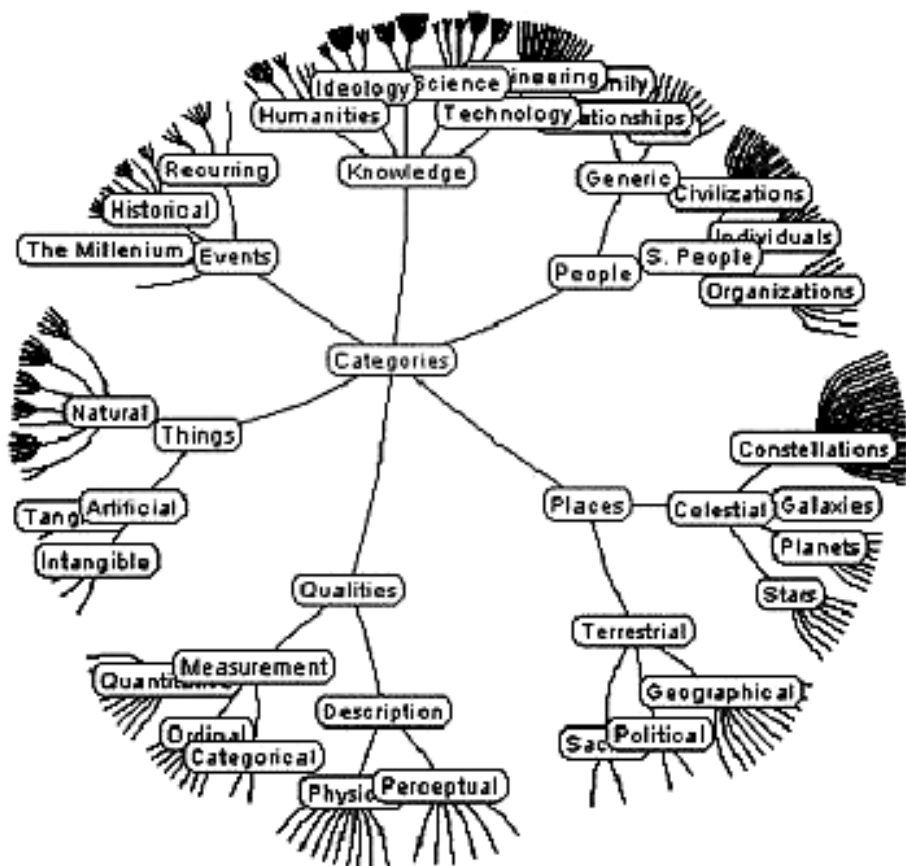


Рис. 5. Пример гиперболического дерева категорий

наблюдается при цитировании информации в научных публикациях, при установлении тематически родственных связей между текстовыми документами, при обнаружении ссылочной связи между узлами

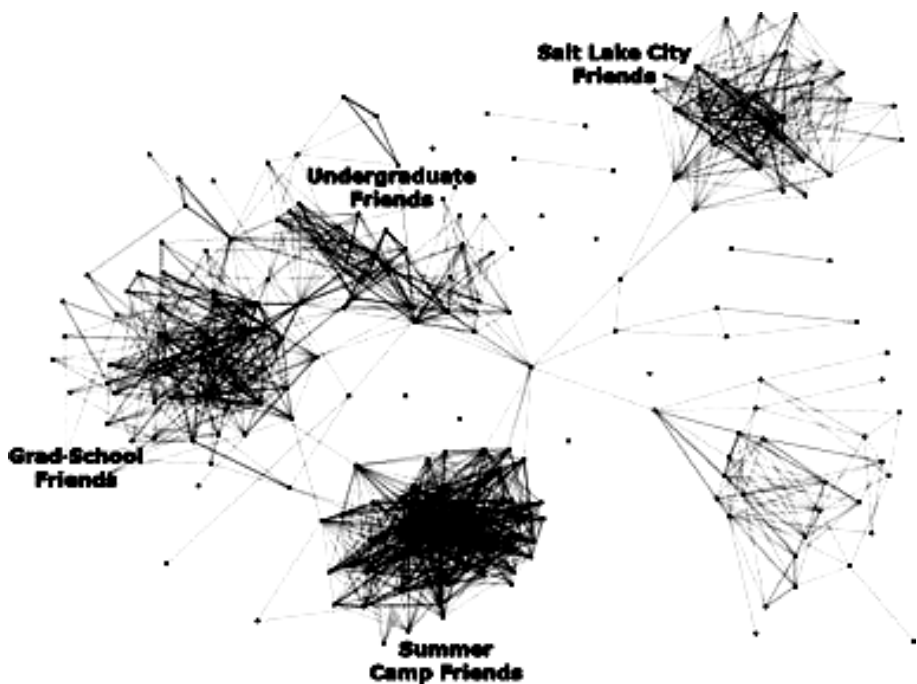


Рис. 6. Пример сетевой визуализации взаимосвязей друзей в Facebook

сети Интернет. Модель встроенных пружин (spring-embedder model) и ее модификации являются наиболее распространенным среди алгоритмов изображения сетевых взаимосвязей.

Пример сетевой визуализации отношений между друзьями автора работы в социальной сети Facebook [9] представлен на рис. 6.

Временной подход. Информация визуализируется в хронологическом порядке. Местоположение и анимация являются распространенными визуальными переменными, используемыми для обнаружения временного аспекта информации. Визуальные объекты обычно располагаются вдоль оси, демонстрирующей время их появления, вторая ось может быть использована для отображения некоторых атрибутов каждого временного объекта. Например, в системе VxInsight [20] изменяется внешний вид трехмерного ландшафта, когда пользователь выбирает различные временные отрезки с помощью специального ползунка.

По типу взаимодействия пользователя с визуализированными данными можно выделить статический и интерактивный подходы.

Статический подход. Визуализации данного типа представляют собой статические изображения данных. Такой вид в большей степени относится к информационной графике.

Интерактивный подход. При данном подходе реализуется оперативное взаимодействие пользователя с системой визуализации в целях

прямой манипуляции изображенными объектами и выбора, какую информацию отображать, а какую — скрыть. В работе [21] выделены семь типов взаимодействия:

обзор — дает общее (обзорное) представление обо всей коллекции объектов;

масштабирование — показывает с увеличением информацию, заинтересовавшую пользователя;

фильтрация — отфильтровывает не интересующие пользователя данные;

детали по требованию — осуществляет выбор объектов или групп объектов и по необходимости отображает подробную информацию о них;

отношения — показывает взаимосвязи между объектами информации;

история — хранит информацию о действиях пользователя для обеспечения отмены, повтора и последующего уточнения;

извлечение — позволяет сделать выборку части коллекции по некоторым параметрам.

В работе [21] сформулирован обобщающий принцип проектирования интерактивных систем визуализации в виде «мантры» визуального поиска информации: “Сначала обзор, масштабирование и фильтрация, затем детали по требованию”.

Основной принцип построения визуализации. Под основным принципом построения визуализации информации традиционно понимают «эталонную модель визуализации», изложенную в работе [1]. Согласно данной модели, визуализация строится путем преобразования сырых данных в таблицы данных, таблиц данных — в визуальные структуры, а визуальных структур — в итоговое представление (рис. 7).

Преобразование данных. Сырые данные могут быть представлены в любом формате — от электронных таблиц до неструктурированных

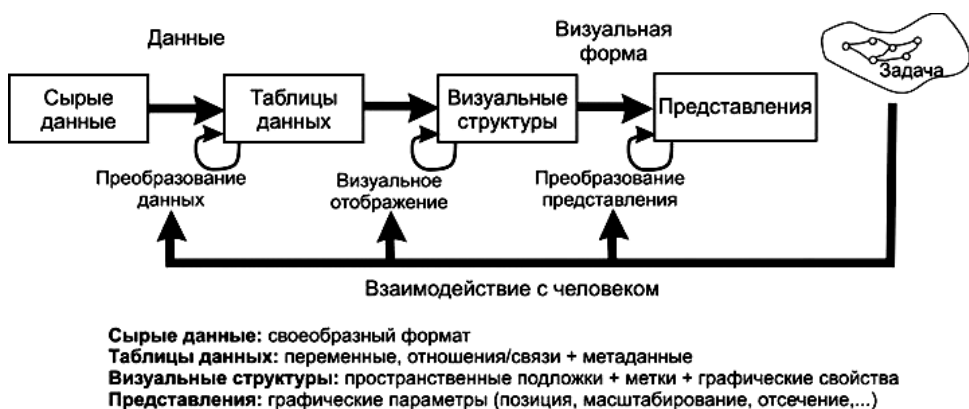


Рис. 7. Эталонная модель процесса визуализации

текстов. Их необходимо преобразовать в набор объектов и отношений, являющихся более структурированными, пригодными для отображения в визуальную форму. С этой целью применяется информационный анализ, состоящий из двух этапов: индексации и анализа данных.

Индексация необходима для извлечения некоторых атрибутов объектов визуализации, передающих смысл и содержание самих объектов. Требуются различные алгоритмы индексации в зависимости от природы данных: например, алгоритмы обработки естественного языка (словари ключевых слов, ключевых фраз, именные группы, части речи) для коллекций текстов; алгоритмы обработки изображений (сегментация по цвету, яркости, структуре) для коллекций изображений; алгоритмы обработки аудио (по звуку и высоте тона) для коллекций аудио-файлов; алгоритмы обработки видео (сегментация по сценам) для видео-коллекций.

На стадии **анализа**, как правило, применяются алгоритмы классификации и кластеризации. Первые распределяют объекты визуализации по предопределенным категориям (группам), используя алгоритмы машинного обучения, например, «наивный» байесовский алгоритм, алгоритм k -ближайшего соседа, нейросетевые алгоритмы и др. Вторые динамически разбивают объекты визуализации на группы путем вычисления некоторой меры сходства между ними, например, алгоритм k -среднего, самоорганизующиеся карты Кохонена, иерархические алгоритмы и др. В результате получают матрицы, описывающие объекты и взаимосвязи между ними и их группами.

Визуальное отображение. Полученные данные отображают в *визуальные структуры* несколькими способами. Важно выбрать наиболее выразительную визуальную структуру, в которой отражены все данные без потерь. Такая структура легко и быстро может быть интерпретирована человеком с наименьшим числом ошибок, она по максимуму передает все различия в данных. Следует использовать не только намеренную (контролируемую) обработку информации человеком (например, чтение текстовых надписей), но и иконическую память, и автоматические (неконтролируемые) процессы обработки информации. Простыми примерами последнего являются *цвет* и *размер* объектов. Необходимо быть весьма осторожными, чтобы непреднамеренные эффекты не ввели пользователя в заблуждение.

Ценным знанием об особенностях восприятия человеком графической информации являются *гештальт-принципы*, обнаруженные психологами, которые утверждают, что наше восприятие стремится к целостности образа:

простота (pragnanz) — тенденция воспринимать любую неоднозначную группу объектов (которую можно интерпретировать различ-

ными способами) самым простым образом, отдавая предпочтение симметричным, упорядоченным формам с наименьшим числом элементов;

близость (proximity) — объекты, расположенные рядом друг с другом, воспринимаются как группа, объединяются в одну воспринимаемую единицу;

схожесть (similarity) — объекты, которые выглядят одинаково, воспринимаются как группа;

замкнутость (closure) — существует тенденция дополнять фигуру до целостного объекта, даже если графически он не полон;

непрерывность (continuity) — близко расположенные объекты воспринимаются как группа, если потенциально их можно соединить прямой линией или сглаженной кривой;

смежность (common fate) — объекты, движущиеся в одном направлении, кажутся объединенными в группу;

осведомленность (familiarity) — если в результате группировки объектов получается осмысленная или уже знакомая картина, то объекты воспринимаются как единая группа.

Графические примеры данных принципов представлены в таблице в интерне-ресурсе [22].

Базовым набором компонентов визуальной структуры являются пространственная подложка, метки и графические свойства.

Пространственная подложка. Фундаментальным аспектом визуальной структуры является *пространство*, на котором все представлено. Следует внимательно выбирать те переменные, которые получают пространственное кодирование, т.е. их значения станут основой для позиционирования других объектов на *подложке*, например оси, если говорить о метрическом пространстве. В общем случае выделяют четыре элементарных типа осей: бесструктурная (отсутствие какой-либо оси), номинальная (область подложки разделена на подобласти), порядковая (область подложки разделена на подобласти, которые упорядочены некоторым образом), количественная (метрическая ось и два подвида — абсолютные или относительные значения, последние отражают соотношения значений переменных).

Известны следующие методы, позволяющие размещать на подложке наибольшее количество информации:

компоновка — размещение на подложке ортогональных осей;

выстраивание — многократное использование оси в разных местах подложки, например, размещение двух различных визуальных структур, опирающихся на одну общую ось;

создание складок — вынужденная имитация удлинения одной из осей, если в ее направлении данные не помещаются на подложке, за счет использования места на другой ортогональной оси;

рекурсия — повторяющееся разбиение подобластей пространственной подложки обычно в целях изменения детальности представления объектов;

перегрузка — совместное использование одного и того же пространства данными из разных таблиц.

Метки. Выделяют четыре типа меток — видимых объектов на пространственной подложке: точки ($0D$), линии ($1D$), области ($2D$), поверхности ($3D$). Например, из точек и линий можно образовать особый вид топологической структуры — *деревья* и *графы*.

Графические свойства. Выделяют шесть базовых видов графических свойств, различимых глазом человека: *цвет, форма, размер, текстура, ориентация и позиция в пространстве*. Цвет, текстура, форма и ориентация наиболее подходят для демонстрации общих различий объектов; позиция, размер и степень градации серого — для отображения различий объектов по величинам значений некоторых общих атрибутов объектов.

Преобразование представления интерактивно изменяет и дополняет визуальные структуры. К пространственному понятию добавляют понятие времени и используют его, чтобы извлечь больше информации из визуализации. Выделяют три основных типа преобразования представлений: «пробы на местности», управление точкой взгляда и искажение.

Пробы на местности. Для обнаружения дополнительной информации из таблиц данных используют координаты размещения объектов на визуальной структуре. Например:

- техника *подробности по требованию* (*details-on-demand*) — при выборе объекта на подложке появляются новые данные об объекте во всплывающем окне;
- техника *окрашивание* (*brushing*) — при перемещении курсора мыши по некоторому участку возникают визуальные эффекты в графических метках других областей;
- для научных $3D$ -визуализаций — разрезание поверхности с целью увидеть «внутренний мир» трехмерных твердых тел;
- *магические линзы* — получить альтернативный вид тех объектов, которые в данный момент находятся в указанной области визуальной структуры.

Управление точкой взгляда. Используют аффинные преобразования для масштабирования, формирования панорамы и обрезки видимой области. Эти преобразования «увеличивают» визуальную структуру или изменяют точку взгляда, при этом детали структуры становятся более заметными. Например, техника «*обзор + детали*» динамически предоставляет детали и обзорную информацию в двух одновременно

отображаемых окнах — в одном показана визуальная структура целиком, в другом — одна выбранная пользователем область структуры в увеличенном виде.

Искажение. Модифицирует визуальную структуру для создания вида «фокус + контекст». Обзор и детали объединены в единую визуальную структуру. Примеры:

- техника «рыбий глаз» — динамически предоставляет детали (фокус) и обзорную информацию (контекст) в одном и том же окне; имитирует искажение контекста широкоугольной линзой в целях увеличения части визуальной структуры;
- гиперболические деревья — искажение пространства, на котором представлено дерево больших размеров, таким образом, что сжимаются узлы дерева, расположенные далеко от корня;
- таблицы с линзами (*Table Lens* [1]).

Искажение эффективно, когда пользователь способен осознать неискаженную визуальную структуру через ее графическое искажение.

Очевидно, что развитие компьютерной индустрии и современные тенденции накопления информации в различных областях деятельности человека будут и дальше способствовать распространению, изучению и внедрению систем визуализации в целях обеспечения обзора и поиска информации, формирования идей и поддержки идеи проникновения в суть данных, представленных крупными массивами. Однако ряд факторов препятствует развитию данной области, например, отсутствие четкой формальной процедуры перехода от понимания, как визуализация потенциально может вооружить пользователя, до конкретной разработки системы визуализации, реализующей такой потенциал, а также отсутствие общей методологии оценки эффективности таких систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Card S. K., Mackinlay J. D., Shneiderman B. Readings in information visualization: using vision to think. – Morgan Kaufmann Publishers, 1999. – 686 p.
2. Zhu B., Chen H. Information visualization // Annual Review of Information Science and Technology. – 2005. – Vol. 39, Issue 1. – P. 139–177. [Электронный ресурс]. – URL: <http://ai.arizona.edu/intranet/papers/Information%20Visualization.pdf>. – [Режим доступа свободный].
3. Tufte E. R. The visual display of quantitative information. – Graphics Press, 1983. – 197 p.
4. Information visualization (INFOVIS) // IEEE Symposium. [Электронный ресурс]. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?nrft=true&punumber=1000371>. – [Режим доступа свободный].
5. Robertson G. G., Card S. K., Mackinlay J. D. The cognitive coprocessor for interactive user interfaces // Proc. of UIST89, ACM Symp. on User Interface Software and Technology. – 1989. – P. 10–18.

6. Robertson G. G., Card S. K., Mackinlay J. D. Information visualization using 3D interactive animation // Communications of the ACM. – 1993. – 36 (4). – P. 56–71.
7. Shneiderman B. Dynamic queries for visual information seeking // IEEE Software. – 1994. – 11 (6). – P. 70–77.
8. Harrison C. Visualization projects [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.chrisharrison.net/index.php/Visualizations/Welcomex>. [Режим доступа свободный].
9. Steele J., Iliinsky N. Beautiful visualization: Looking at data through the eyes of experts. – O'Reilly Media, 2010. – 416 p.
10. Ware C. Information visualization perception for design. – Morgan Kaufmann Publishers, 2000. – 486 p.
11. Shneiderman B. Treemaps for space-constrained visualization of hierarchies. – 1998-2009. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cs.umd.edu/hcil/treemap-history/>. – [Режим доступа свободный].
12. Ball T., Eick S. G., Mockus A. Web-based analysis of large-scale software systems. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mockus.us/papers/websoft/>. – [Режим доступа свободный].
13. Eick S. G., Steffen J. L., Sumner E. E. Seesoft: A tool for visualizing line-oriented software // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1992. – 18 (11). – P. 11–18.
14. Hearst M. TileBars: Visualization of term distribution information in full text information access // Proc. of the ACM SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. – 1995. – P. 59–66.
15. Hearst M., Baeza-Yates R., Ribeiro-Neto B. Modern information retrieval: Ch. 10: User interfaces and visualization. – Addison-Wesley. – 1999. – P. 257–340.
16. Self organization of a massive document collection / T. Kohonen, S. Kaski, K. Lagus, J. Salojärvi, J. Honkela, V. Paatero, A. Saarela // IEEE Transactions on Neural Networks. – 2000. – Vol. 11, No. 3. – P. 574–585.
17. Card S. K., Robertson G. G., York W. The Web Book and the Web Forager: An information workspace for the World-Wide-Web. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.acm.org/sigchi/chi96/proceedings/papers/Card/skc1.txt.html>. – [Режим доступа свободный].
18. Robertson G. G., Card S. K., Mackinlay J. D. Cone Trees: Animated 3D visualizations of hierarchical information // Proc. of the ACM SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. – 1991. – P. 189–194.
19. Lamping J., Rao R., Pirolli P. A focus + context technique based on hyperbolic geometry for visualizing large hierarchies // Proc. of the ACM SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. – 1995. – P. 401–408.
20. Boyack K. W., Wylie B. N., Davidson G. S. Domain visualization using VxInsight for science and technology management // Journal of the American Society for Information Science and Technology. – 2002. – 53 (9). – P. 764–774.
21. Shneiderman B. The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations // Proc. IEEE Symp. on Visual Languages. – 1996. – P. 336–343.
22. Пескова О. Визуализация информации [Электронный ресурс]. – URL: <http://peskova.ru/InfoVis.aspx>. – [Режим доступа свободный].

Статья поступила в редакцию 10.05.2012