

К ТЕОРИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ*

В. Л. АВЕРБУХ

Институт математики и механики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

e-mail: averbukh@imm.uran.ru

Propositions that serve as foundations for the theory of computer visualization are considered in this paper. The sign nature of the computer visualization allowing the semiotic analysis is anticipated. Important concepts of the theory are the concepts of language of computer visualization and the visualization metaphor.

Введение

Цель этой работы — выявление оснований компьютерной визуализации, которая рассматривается как самостоятельная, хотя и вспомогательная, дисциплина в рамках вычислительных наук (Computer Sciences).

Под компьютерной визуализацией мы понимаем методику перевода абстрактных представлений об объектах в геометрические образы, что дает возможность исследователю наблюдать результаты компьютерного моделирования явлений и процессов [1]. При этом считаем, что алгоритмические и программные методики генерации изображения относятся непосредственно к машинной графике.

Выделяются три подобласти компьютерной визуализации:

- научная визуализация (визуализация результатов научных вычислений);
- визуализация программного обеспечения (использование графики для уяснения понятий и эффективной эксплуатации программного обеспечения и спецификации программ в процессе их разработки);
- информационная визуализация (визуальное описание и представление, как правило, абстрактной информации, получаемой в процессе сбора и обработки данных различного назначения).

Разделение на подобласти происходит по различным направлениям и задачам приложений визуализации. Однако имеет место глубокое единство всех ее подразделов как по методикам построения видов отображения (вплоть до методик рендеринга), так и по конечным целям и задачам — обеспечению интерпретации и анализа результатов компьютерного моделирования.

Кроме того, можно выделить три функции визуализации: иллюстративную, коммуникативную, когнитивную.

Эти же функции присущи и традиционной, “бескомпьютерной” (или “докомпьютерной”) визуализации, которая понимается обычно как процесс формирования зрительных

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04-07-90120).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2005.

образов для объектов, не имеющих зримых форм, или как интерпретация явлений на визуальном языке. Анализ примеров функционирования как традиционной, так и компьютерной визуализации показывает, что визуализация может быть полностью описана как знаковый процесс, а в качестве ее оснований могут быть положены элементы понятийного аппарата семиотики — науки о функционировании знаковых систем.

1. Некоторые определения семиотики

В ходе работы над данным разделом использовались как работы классиков семиотики и лингвистики [2–7], так и целый ряд учебных материалов, в частности [8–12].

Рассмотрим (упрощенные) определения ряда понятий семиотики — науки о знаковых системах, включающей наиболее важные вопросы языка.

Знак есть нечто, обозначающее некоторый факт или объект, для некоторой интерпретирующей мысли. Ситуация, в которой употребляется знак или знаковое отношение, состоит из трех элементов — *объект, знак, интерпретант*.

Согласно другому определению, знак есть носитель, сообщающий уму что-то извне. То, что он обозначает, называется его объектом, то, что он сообщает, — его значением, а идея, которую он вызывает, — его интерпретантом.

Знаковой ситуацией называется пара из *знака* и *обозначаемого (денотата)*. В подавляющем числе знаковых ситуаций проявляются такие черты знака, как способность знака выступать в качестве заместителя обозначаемого, нетождественность знака и денотата (кроме случая автономного употребления знака), многозначность соответствия “*знак — денотат*”.

Знаковый процесс (или *семиозис*) рассматривается на пятичленном отношении между знаком, его значением, его интерпретантом, контекстом, где знак встречается, и, наконец, интерпретатором знака. Знак вызывает у интерпретатора определенную реакцию или предрасположенность к ней (интерпретант) на определенный вид объекта (на значение) при определенных условиях (в некотором контексте).

Выражаемые знаком свойства денотата, то понятие о денотате, которое несет данный знак, называется *концептом*. Выбор денотата определяется конкретной знаковой ситуацией. Концепт показывает, насколько отношение знака к денотату не случайно, а обусловлено стремлением определить денотат в том или ином аспекте. На уровне концепта можно отвлечься от обстоятельств конкретной знаковой ситуации и перейти к систематическим приемам обозначения. Отношение знака к денотату через концепт дает системность (сходные обозначения для сходных обозначаемых). Родство знаков часто соответствует родству предметов.

Знаковой системой называется некоторый набор знаков, в котором есть внутренние отношения между знаками, каким-то образом отображающими отношения между денотатами.

Языком называют некоторую форму существования знания в виде системы знаков, выражающих набор определенных понятий.

Традиционно *грамматика* определяется как система правил, структурная характеристика. Для некоторых высказываний структурная характеристика сообщает, что они суть правильно построенные предложения. Множество таких высказываний — язык, порожденный данной грамматикой. Грамматику можно рассматривать как некоторое устройство, проверяющее правильность высказываний, что при присоединении соответствующих ал-

горитмов ведет к порождению языка.

Существуют три основных аспекта изучения знаковой системы — семантика, синтактика, прагматика.

Семантика определяет отношения знака к значению и касается изучения знаковых систем как средства выражения смысла. Знаковая система в целом содержит некоторый принцип (или класс принципов) образования значений. Семантикой определяется система правил, задающих значение знаковых конструкций.

Синтактика — аспект знаковой системы, связанный с правильностью построения знака. К синтактике относится изучение внутренней структуры текста, отношений между вхождениями разных знаков в текст. Синтактика знаковой системы определяет внутренние законы, по которым построены тексты знаковой системы.

Прагматика — это тот аспект знака, который относится к восприятию этого знака адресатом. Один и тот же знак может восприниматься по-разному в зависимости от установки адресата. Язык в полном семиотическом смысле этого термина есть любая межсубъектная совокупность средств, употребление которых определено синтактическими, семантическими и прагматическими правилами. Всякий язык пользуется знаками, которые составляют его словарь, всякий язык обладает определенными правилами сочетания этих знаков, всякий язык представляет собой определенную структуру, и структуре этой свойственна иерархичность.

Семиотический анализ того или иного языка требует выделения его словаря, синтаксиса и семантики, и, главное, этот анализ требует рассмотрения прагматики, т. е. того, как воспринимаются и интерпретируются фразы языка адресатом.

В случаях использования визуализации в коммуникационной практике, информационной сфере, искусстве, так же как и в компьютерных средах, легко выделяются отношения между объектом визуализации (т. е. означаемым или денотатом) и визуальным знаком. При задании некоторого контекста пользователь или наблюдатель (интерпретатор) выделяет вызванную визуализацией идею или интерпретирующую мысль (интерпретант). Таким образом, налицо составляющие пятичленного отношения, описываемого семиозисом.

Под термином “визуальный язык” подразумевается язык, систематически использующий визуальные значения для передачи понятий [13]. Очевидно, что визуальный язык, так же как и любой другой, характеризуется своими словарем, синтаксисом, семантикой и прагматикой.

Легко выделяются визуальные языки в простых примерах системы дорожных знаков, геральдике или других подобных системах.

Анализ этих простых (двумерных) визуальных языков показывает, что в этом случае словарь языка задается на базе некоторого набора пиктограмм. Вместе с тем в качестве элементов словаря можно рассматривать характеристики графических элементов, например, такие как форма обрамления или цвет фона. Синтаксис языка определяется методами сочетания языковых элементов. Следует отметить, что способы описания смысла “визуальных текстов” и того, как они интерпретируются “пользователем”, жестко определены самим назначением системы. Анализ также показывает неслучайные черты сходства в методах представления смысла из базовых образов, использования текстов и т.п. в различных визуальных знаковых системах.

Для описания функционирования подобных языков требуется использование понятий визуального (или образительного) текста и визуальной коммуникации. В связи с этим необходимо рассмотрение дополнительных субъектов знакового процесса. Кроме интер-

претатора текста естественно рассматривать создателя (демиурга) знаковой системы и автора конкретного визуального текста.

В более сложных случаях существования языков визуализации, например языка (языков) рекламы, комиксов, кинематографа или мультипликации, выделить составляющие языка намного сложнее [14–17]. В этих случаях мы имеем дело с неограниченным и нерасчлененным (или почти нерасчленяемым) словарем, нечетким синтаксисом, многозначностью и, как следствие, получаем непреодолимые сложности с однозначной интерпретацией “текстов” и, тем более, с построением формальных методов их анализа и интерпретации. Здесь стоит также учитывать неполноту и противоречивость семантики визуальных форм и сложности с интерпретацией визуальных текстов адресатом, не принадлежащим к данной культуре. Зачастую интерпретация “изобразительных текстов” возможна лишь при наличии внешней по отношению к самому тексту информации. Инокультурным адресатам при анализе даже, казалось бы, общеизвестных и общепонятных образов приходится искать ответы вне интерпретируемого текста и привлекать дополнительные данные для адекватного понимания [18].

Для изучения интересующих нас проблем необходимо осознать языковую природу компьютерной визуализации, понять визуализацию как язык со своими (с разной степенью сложности вычленимыми) словарем, синтаксисом, семантикой и, что самое важное, со сложной, неоднозначной и противоречивой прагматикой. В свою очередь, языки визуализации построены на некоторой основной идее уподобления сущностей моделируемой области приложения и визуальных объектов, т. е. на метафоре визуализации.

Метафора (и, в частности, визуальная метафора) является предметом изучения нескольких научных дисциплин, например филологии, философии, науковедения. Имеется несколько подходов не только к ее изучению, но и к самому ее определению. Современный подход рассматривает метафору как основную ментальную операцию, как способ познания, структурирования и объяснения мира. Считается, что человек не только выражает свои мысли при помощи метафор, но и мыслит метафорой, создает при помощи метафор тот мир, в котором он живет. Метафора пронизывает всю нашу повседневную жизнь и проявляется не только в языке, но и в мышлении и действии. Наша обыденная понятийная система, в рамках которой мы мыслим и действуем, метафорична по самой своей сути. Благодаря языку мы получили в свое распоряжение метафоры, структурирующие наше восприятие, наше мышление и поступки. Сущность метафоры состоит в осмыслении и переживании явлений одного рода в терминах явлений другого рода [19, 20].

В следующих разделах общие для семиотики понятия языка и метафоры конкретизированы на случай компьютерной визуализации, определены и рассмотрены язык визуализации и метафора визуализации.

2. Определения некоторых понятий компьютерной визуализации

При определении ряда понятий компьютерной визуализации были использованы результаты [21], полученные для случая проектирования визуализации производительности параллельных вычислений.

Модельная сущность есть объект вычислительной модели, требующий изучения, чье состояние и поведение, свойства, атрибуты и особенности интересуют исследователя и, как

следствие, подлежат визуализации. Абстракция модельной сущности может быть определена через выделение следующих категорий:

- спецификации характеристик моделируемого явления, которые должны быть получены из имеющихся данных;
- требуемый качественный анализ модельного объекта и его свойств;
- семантические атрибуты модельного объекта.

Вид отображения определим как абстракцию графического вывода, содержащую спецификацию визуальных объектов, их атрибутов, их взаиморасположения, возможной динамики и способов взаимодействия. При этом визуальные формы абстрактных данных не связаны ограничениями, накладываемыми определенными графическими системами.

Визуальное проектирование должно включать в себя учет знаний об абстракции модельных сущностей, обеспечивая тем самым основу для интерпретации различных аспектов модели.

Основой визуального проектирования является проектирование видов отображения. Абстракция визуализации подразумевает связывание модельных сущностей с видом отображения так, чтобы суть, поведение, особенности и атрибуты модельных сущностей могли быть представлены в конкретном графическом выводе, точно идентифицирующем все визуальные свойства, в которые переходят атрибуты соответствующего вида отображения.

3. Знаковая природа визуализации

Очевидно, что в визуализации легко выделить составляющие знаковой ситуации, считая, например, конкретный графический вывод комплексным знаком, а визуализируемую сущность — объектом, который обозначает знак. Однако интерпретация единичной визуальной ситуации, находящейся вне некоторого контекста (как было сделано, например, в [22]), является проблематичной. Следовательно, такое понимание явно недостаточно для получения интересных и полезных результатов ни в анализе визуальных систем, ни при их проектировании. Более продуктивно рассмотрение визуализации как знаковой системы. Прежде всего в наличии есть набор сущностей визуализируемой модели и набор соответствующих им визуальных образов. Таким образом, анализ отношений между модельными сущностями позволяет выстроить более или менее четкие отношения между отдельными визуальными образами, в частности, при разработке конкретного примера визуализации. Однако при проектировании полноценной специализированной системы визуализации мало описания знакового соответствия. Нас в этом случае интересуют прагматика системы, а также правила представления визуальных образов. Таким образом, необходимо сделать следующий шаг и выделить язык визуализации в полном семиотическом смысле этого термина.

В процессе анализа результатов моделирования объектами визуализации часто являются как-то преобразованные характеристики, прямо или косвенно описывающие некоторое явление или процесс. (Такой же способ изучения процессов и явлений за счет вывода и анализа возможно преобразованных их характеристик давно и активно используется в физике, медицине и других дисциплинах.) При этом могут рассматриваться некоторые абстракции (например, изоповерхности), каким-то образом отражающие реальность (например, изменения давления при прохождении ударной волны). То есть для изучения модели реального явления или процесса исследуются (иногда созданные для данного случая) абстрактные объекты, связанные с этой моделью.

Возможна обратная ситуация, когда имеет место изучение математических функций и их характеристик за счет представления при помощи стандартного графического метода, например декартоваго графика, изоконтур или изоповерхности (или комбинации преобразования и графического представления).

Как правило, и в первом, и во втором случае эти абстракции и методы их графического представления хорошо известны и придуманы задолго до прихода компьютерной эры. В принципе они никак не связаны с конкретными методиками графического вывода.

Другой вариант предполагает создание новых способов графического описания явлений и процессов или их моделей. Возможно, правда, что эти способы являются комбинацией уже известных или базируются на естественной или привычной образности, характерной для изучаемого явления.

Можно говорить о видах отображения как о стандартных или придуманных для данного случая методиках визуального представления данных, своего рода визуальных процедурах, которые при реализации в конкретных визуальных средах и при подстановке реальных данных выводятся на те или иные графические устройства. Кроме этого, в такой “процедуре” (т. е. в виде отображения) могут предусматриваться возможные изменения изображений, включая анимацию, и допустимые способы взаимодействия с картинкой. Именно смена значимых и значащих картинок при возможном взаимодействии с изображением — вот внешняя сторона визуализации. Эти картинки (графические выводы) являются воплощением абстрактного понятия вида отображения.

Набор видов отображения данной системы можно считать словарем некоторого языка, тогда как в качестве грамматики можно рассматривать правила образования конкретных выводов и задающие последовательность смены изображений.

Таким образом, достаточно легко осуществляется выделение языковых составляющих в визуализации. Мы можем описать язык визуализации по всем правилам семиотики для каждого конкретного случая (так как в каждой системе имеет место свой конкретный язык).

Ясно, что рассмотрение языков визуализации предполагает не только описание языка на основе соответствующей инструкции пользователю, но и более тонкий анализ описываемых системой сущностей и способов их отображения, включая возможные манипуляции пользователя с визуальными объектами на экране. *Значащими (интерпретируемыми пользователем) единицами языка визуализации являются двумерные или трехмерные образы и изменения их графических и неграфических атрибутов.* Анализ показывает, что истинный словарь может быть шире словаря, предполагаемого проектировщиком, за счет неучтенных визуальных факторов, воздействующих на пользователя.

Как мы уже отмечали, при семиотическом анализе языка визуализации важно правильное выявление его пространственных синтаксиса и семантики. Но особенно важно описание истинной прагматики языков визуализации, которая может в значительной мере отличаться от предполагаемой проектировщиками визуальной системы. При этом следует подчеркнуть, что потребителем языка является пользователь, а не компьютер, как в случае языков программирования. Поэтому особое внимание необходимо уделять прагматике языка, рассматривая синтаксис и семантику в качестве вспомогательных элементов, помогающих пользователю интерпретировать графические образы.

При разработке языков визуализации следует добиваться правильности и естественности интерпретации визуальных текстов для носителей конкретной национальной и/или профессиональной культуры. Общей для всех случаев приложений и пользователей прагматики языки визуализации не имеют. Проблема прагматики тесно связана с субъектив-

ностью восприятия визуального текста, зависящего от культурных, психологических и физиологических факторов. Языки визуализации, как правило, являются языками “чтения”, и значимые элементы их словаря служат для восприятия пользователем с целью дальнейшей интерпретации им визуальных фраз.

Изучение восприятия текстов на языках визуализации привело к следующему наблюдению — успех систем визуализации связан, как правило, с визуализацией ограниченного числа сущностей и функций.

4. Научная метафора

Исследования метафоры постепенно переместились из филологии в философию и далее в науковедение, где отмечается важная роль научной метафоры. Интерес к метафоре, расширение сферы ее применения и изучения захватили разные области знания, в том числе психологию, нейронауки, герменевтику, ряд школ лингвистики, теорию информации, и способствовали взаимодействию названных направлений научной мысли, их интеграции, следствием которых и стало формирование когнитивной науки. Метафора становится ключом к пониманию основ мышления и процессов создания ментальных представлений о мире. Отсюда — все увеличивающийся интерес к научным метафорам, которые помогают создать язык для осознания и описания новых явлений. Метафоры такого типа особенно активно используются на ранних этапах развития той или иной научной дисциплины.

Когда ученый открывает дотоле не известное явление, т. е. когда он создает новое понятие, он должен его назвать. Термин приобретает новое значение через посредство старого, которое за ним сохраняется. Это и есть метафора [23], которая всегда присутствует в научном языке. Метафора зарождается в точке соединения двух понятийных схем, двух языков, а это и определяет начало процесса генерации семантической неоднозначности. Она представляет, таким образом, механизм конструирования некоторого содержания, которое не может быть создано внутри одной понятийной системы, что важно в системах, ориентированных на сложность, неоднозначность или при невыразимости определенного содержания, при наличии еще не определенных контекстов, когда речь идет о структурировании, организации какой-либо области действительности, о выдвигании некоего нового видения вещей. Другая характерная черта метафоры определяется ее особой манерой устанавливать отношения между соответствующими языками и/или понятийными схемами [24].

Если быть абсолютно точным, то метафора является абсурдным утверждением, так как в ней нарушаются правила логики и/или природы. В аристотелевском понимании метафоры как более короткого метода выражения чего-то, что может быть выражено и иным, точным (буквальным) способом, это отрицание снимается тем, что метафора становится лишь некоторым кодом нарушенного правила. Существует описание такого метода порождения метафор, когда порождаются какие-то новые правила, отрицающие старые. Это описание подчеркивает невозможность полной замены метафоры буквальным выражением. Абсурд в этом случае снимается при помощи сравнения, построенного с использованием конструкций “подобно” или “как”. Метафоры этого класса называются выразительными. Только выразительные метафоры могут использоваться в качестве креативных научных метафор [25].

Научные метафоры приписывают объектам данной области ранее не выявленные у них свойства и направляют процесс поиска на обнаружение этих свойств. Тем самым абстракт-

ции как бы отождествляются с более привычными системами представления, обладающими утвердившимся набором ассоциаций, которые способствуют осмыслению новых идей [26]. Хорошо известна значительная роль научных метафор в развитии естественных наук. Можно вспомнить, в частности, метафору электромагнитного поля, более локальную “змеиную” метафору молекулы бензола, изошранные метафоры физики элементарных частиц или метафоры, используемые в генетике [27], а также в психологии и психоанализе.

Роль метафоры состоит в заполнении пробелов знания. Заимствования и переносы сопровождаются возникновением метафорического контекста, хотя он и не всегда осознается в полной мере [26]. В [28] отмечено, что метафора, как и научная модель, предназначена для коммуникативной деятельности. Подчеркивая условность, неполноту отождествления сопоставляемых объектов, метафора создает контекст “как если бы” совпадения, в котором главным становится не возможность переноса понятий с уже освоенной предметной области на область неизвестного, а фиксация специфических особенностей взаимодействия различных способов отражения сопоставляемых объектов. Содержание метафорических высказываний относится не столько к самим реально существующим объектам, сколько к отношениям между этими понятиями, их смысловым ассоциативным комплексам. Соединяя несходные понятия, метафорический контекст как бы обращает внимание исследователя на возможность наличия у объекта таких свойств, которые раньше не допускались. Метафора приписывает объекту признаки и потому обладает гипотетической природой. Возможно, новая идея непостижима отдельно от метафоры.

5. Метафора и человекокомпьютерный интерфейс

Использование метафор как образного сближения понятий стало необходимо с самого начала существования современной вычислительной техники потому, что были нужны средства описания совершенно новых явлений и объектов. Термины для этих описаний пришлось выбирать и заимствовать по внешнему и/или функциональному сходству, например, файл как ящик картотеки, затем файл как ящик для хранения перфокарт, содержащих данные, наконец, просто файл данных или понятие блок-схемы как принципиальной схемы прибора или электронного устройства переносится на схему, описывающую блочную структуру программы и т.п. При освоении этих понятий новыми поколениями и новыми профессиональными группами пользователей (в том числе иноязычными и инокультурными) метафоры “умирают”, т. е. слова теряют свою метафоричность и превращаются в простые обозначения. (Кстати говоря, этот процесс появления и умирания метафор, использованных для новых понятий, уже неоднократно имел место в истории языка.) В дальнейшем появился целый корпус работ, посвященных проблеме научной метафоры в вычислительных науках.

В [29] рассматривается, в частности, использование метафор в компьютерном дискурсе, который, как уже отмечалось, по самой своей сути требует повсеместного применения более или менее подходящих метафор для описания возникающих новых понятий. В [30] предлагается систематический подход к метафорическому проектированию, рассматриваются теоретические основы методов связывания сущностей в процессе выбора метафоры. В [25] рассмотрены механизм порождения научных метафор, а также методика анализа действительности метафор на примере используемой в океанографии метафоры океана как ленты конвейера. В [31] анализируется взаимодействие понятий “метафора” и “иллюзия” при их использовании в процессе проектирования и анализа пользовательского интерфейса.

са для систем виртуальной реальности с элементами погружения.

Метафора продолжает быть средством описания новых понятий в компьютерных науках. Сравнительно свежим примером служит появление чисто метафорического английского названия новой дисциплины “Data Mining”, смысл которого по-русски можно передать термином “интеллектуальный поиск и анализ данных”.

По нашему мнению, метафора в компьютерных науках носит универсальный характер и присутствует практически во всех их областях. В последние десятилетия метафора стала предметом изучения специалистов по человекокомпьютерному интерфейсу, визуальным коммуникациям и компьютерной визуализации. В настоящее время очень много работ посвящено проблеме метафоры в компьютерных науках и человекокомпьютерном взаимодействии. Эти работы рассматривают проблемы использования метафор в визуальных системах и содержат рекомендации по их проектированию. Кроме того, опубликованы фундаментальные исследования в области метафоры интерфейса и визуальной метафоры, например работы А. Блэквелла [32].

На первых порах развития метафора играла в человекокомпьютерном интерфейсе достаточно ограниченную роль, как и в других отраслях компьютерных наук, и служила для формирования понятийного аппарата новой дисциплины. Можно вспомнить такие метафорические термины, как “меню”, “мышь” или “joystick” (“палочка радости”). Все изменилось в конце 70-х, когда при создании систем визуального интерфейса метафора рабочего стола была использована впервые. Как известно, метафора рабочего стола появилась при визуализации одной из систем автоматизации конторской деятельности. Более тщательный анализ этой метафоры показывает, что ее успех связан в первую очередь с глобальной метафорой [компьютерного] мира как некоего сверхофиса. А уже после появления Windows с иконическим интерфейсом на базе метафоры рабочего стола десятки миллионов клерков во всем мире начали использовать персональные ЭВМ вместо привычных ранее пишущих машинок и калькуляторов. Отметим, что попытки спроектировать в рамках глобальной метафоры сверхофиса метафору интерфейса “рабочая комната” в общем не были успешными. Заметим также, что другая глобальная компьютерная метафора “всемирная паутина” (World Wide Web) не породила подобной визуальной метафоры.

Основная роль метафоры интерфейса заключается в том, что она способствует лучшему пониманию семантики взаимодействия, а также обеспечивает визуальное представление диалоговых объектов и определяет набор манипуляций пользователя с ними.

В настоящее время в литературе концепция визуальной метафоры интерфейса основана на представлении новых или достаточно необычных для пользователя явлений посредством других явлений, хорошо ему известных из повседневной жизни, причем эти явления должны иметь те же основные свойства, что и явления, которые они объясняют [33, 34]. Таким образом, выдвигаются требования привычности и полноты метафоры [35]. Существуют примеры создания и применения локальных проблемно ориентированных визуальных метафор, например, для изучения параллельных вычислений и соответствующих операционных систем, также основанных на использовании бытовых и общеизвестных технических понятий [33, 34, 36]. Преимуществом такого подхода является апелляция к обыденному человеческому опыту и активизация интереса, что облегчает понимание и усвоение принципиальных моментов исходного процесса. К недостаткам такого подхода можно отнести потерю деталей и некоторых специфических понятий, аналоги к которым не удалось подобрать в выбранной сфере, необходимость сопоставления понятий из разных сфер в процессе обучения, а также появление дополнительных и нежелательных аналогий, связанных с обыденными метафорами.

В литературе существует и другое понимание метафоры, когда говорят, о том, что данная визуальная система поддерживает различные графические метафоры, используемые в программировании, в частности конечные автоматы, блок-схемы, графы потоков данных. Соответствующая метафора визуального программирования, как правило, поддерживается собственным языком визуального программирования, при создании которого осуществляются выбор определенного аспекта программы, выбор графической модели и выбор соответствия между аспектами программы и графикой, одновременно определяющего поведение графической модели [37].

Несмотря на несомненные успехи метафор в человеко-машинном интерфейсе, следует отметить во многом справедливую критику использования метафор, которая содержится, например, в [38, 39]. Важно замечание о том, что перенос значения, который поддерживает пространственные визуальные метафоры посредством сходства или аналогий с ситуациями реального мира, может быть как позитивным, так и негативным, когда на метафорическое значение переносятся ограничения реальных ситуаций [39]. Возможны упрощение понимания сути явлений, потеря деталей и некоторых специфических понятий, аналоги к которым не удалось подобрать в выбранной метафоре. Часто при использовании метафоры проявляются “метафорические артефакты”, т. е. на компьютерную модель переносятся отдельные свойства объектов метафоры, не существующие в исходной постановке. В сознании пользователя появляются дополнительные и нежелательные аналогии, связанные с обыденными метафорами.

Нельзя переносить понимание метафоры, успешно используемое в человеко-машинном интерфейсе, на все случаи визуализации. На базе современных представлений о научной метафоре следует выработать более широкое понимание метафоры визуализации, включающее современную традицию использования метафоры в визуальном человеко-машинном интерфейсе, но не требующее мелочного следования всем деталям выбранной проектировщиком сферы деятельности, так же как и обязательных привычности и полноты метафор. В то же время не следует увлекаться рассмотрением экзотических метафор, например, таких, какие описаны в [40]. Метафоры зависят от опыта, они не вводятся произвольным образом [19]. Хотя успех той или иной метафоры человеко-компьютерного интерфейса зависит прежде всего от успеха глобальных компьютерных метафор, но при проектировании новых систем мы не можем ожидать появления новых глобальных метафор, а должны, по нашему мнению, сосредоточиться на изучении и конструировании локальных метафор человеко-компьютерного интерфейса и особой разновидности компьютерной научной метафоры — метафоры визуализации.

6. Метафора визуализации

Как уже говорилось, анализ языков систем визуализации различного назначения показывает, что в каждом из них присутствует основная идея уподобления сущностей прикладной области и визуальных объектов. Именно за счет этой идеи описывается соответствие между объектами вычислительной модели и визуальными объектами. Кроме того, этой идеей могут задаваться методы взаимодействия с визуальными объектами (а через них и с модельными объектами). Таким образом, так как всякая визуализация основана на образном сближении изучаемых сущностей и визуальных объектов, их представляющих, можно говорить о некоторой идее метафорического представления. По своим функциям и целям, способам функционирования и методам конструирования эта идея эквивалентна

научной метафоре. Именно ее можно с полным основанием рассматривать как метафору визуализации, особый вид компьютерной метафоры.

Понятие метафоры визуализации вводится для обобщения случаев использования метафоры (или близких к ней аналогий) во всех областях компьютерной визуализации и визуального человекокомпьютерного взаимодействия. Анализ литературы по данному вопросу показал большой разброс мнений (так же как и по общим вопросам метафоры) по проблеме метафоры визуализации, ее места в компьютерной визуализации и смежных областях, в частности в человекокомпьютерном взаимодействии.

Как уже отмечалось, понятие метафоры визуализации в ряде текстов смешивается с понятием метафоры человекомашиного интерфейса и понимается только лишь как использование бытовых понятий (например, [32, 33, 38]). Вместе с тем в ряде работ отмечается близкий к нашему подход к пониманию метафоры визуализации, включая постановку и решение задачи поиска метафор для тех или иных приложений [41]. В работах [42–44] рассмотрены проблемы графических метафор в связи с задачами когнитивной визуализации. Следует еще раз отметить, что понятие метафоры визуализации не полностью соответствует не только традиционному для филологии пониманию метафоры как украшения речи и увеличения ее информативности за счет броских сравнений, но и пониманию метафоры как использования бытовых аналогий в интерфейсе. Компьютерная визуализация, хотя и связана с традицией визуальной коммуникации, однако призвана служить средством анализа и интерпретации результатов моделирования сложных явлений. Для этих целей зачастую более естественно использование абстрактной, а не повседневной образности. Поэтому понимания метафоры на традиционном уровне явно недостаточно. В большей степени метафору визуализации можно рассматривать как частный случай научной метафоры, используемой для порождения новых или дополнительных смыслов для понимания новых фактов и явлений. Вместе с тем метафоричность визуализации достаточно очевидна (а визуальный интерфейс можно просто рассматривать как классический случай визуальных коммуникаций). По нашему мнению, не приходится говорить о безметафорной визуализации компьютерных моделей и программных сущностей. В литературе давно сделаны наблюдения, касающиеся картинности любой метафоры и, соответственно, метафоричности любого графического образа при визуализации. Каждая визуализация, по сути, является метафорой, так как ставит в соответствие модельным понятиям визуальные объекты, представляя одно посредством другого для полноценной интерпретации пользователем. Можно показать единство методов при проектировании и использовании метафор во всех подразделах компьютерной визуализации.

Определим метафору визуализации как отображение, ставящее в соответствие понятиям и объектам моделируемой прикладной области систему сближений и аналогий и порождающее некоторый изобразительный ряд (набор видов отображения) и набор методов взаимодействия с визуальными объектами.

Таким образом, предлагается (расширительный по сравнению с традиционным) подход к пониманию метафоры как главной идеи при отображении прикладной области на визуальный мир. Представляется, что этот подход, который в значительной мере базируется на использовании понятий семиотики, поможет систематизировать поиск и проектирование видов отображения для визуализации. Уточнение и (по возможности) формализация понятий, связанных с метафорой, в свою очередь, должны обеспечить систематический подход к оценке качества языков и средств визуализации.

В терминах семиотики метафора есть нечто динамическое в противоположность стабильному знаку. Мы можем описывать метафору как акт или процесс обозначения одно-

го понятия посредством знака, традиционно связанного с другим понятием. Визуализация (как это показано выше) есть знаковый процесс. Визуальное взаимодействие с ЭВМ, включая и визуальное программирование, тем более основано на знаковых системах. Визуальная знаковая система немыслима без использования аналогий, определяющих наше представление об исследуемом явлении. При этом, в отличие от литературной метафоры, мы должны взаимодействовать с нашим представлением, анализируя при этом полученные образы.

Метафора в случае научной метафоры, визуальной метафоры и метафоры интерфейса является операционной, т. е. помогающей принимать решение и действовать (в отличие от созерцательной художественной метафоры). Как известно, метафора не сводится к сравнению, она — основа научной модели. При этом нельзя игнорировать принципиальную метафорическую природу моделей, так же как модель нельзя отождествлять с самим объектом. Верно и обратное наблюдение, касающееся научной метафоры и показывающее еще одну ее роль, — метафора сама может служить в качестве научной модели. Известный пример подобной научной метафоры-модели, служащей предметом анализа в [25], — резерфордовская модель атома как планетарной системы. В этом плане метафора, как и научная модель, предназначена для коммуникативной деятельности. Причем метафора может быть не только моделью явления, но и моделью восприятия этого явления автором (проектировщиком) и наблюдателем (пользователем). Отметим, что восприятие метафоры проектировщиком и пользователем может сильно различаться, и в этом различии часто кроются причины неудач той или иной метафоры. Очевидно, что настоящая теория должна описывать все случаи использования метафоры, включая литературную и научную метафору, метафору интерфейса и метафору визуализации.

Анализ различных видов метафор приводит к попыткам создать их некоторую классификацию. Так, в работах Ч. Пирса среди четырех классов метафор выделяются те, которые содержат метафорический аспект предиката [25]. Именно метафорами этого типа являются научные метафоры. В них имеет место параллелизм предиката, а не параллелизм соединения. Можно считать, что получена формула научной метафоры, которая выглядит следующим образом: **“х ведет себя так, как будто он является у”**.

В [45] приведена классификация метафор, включающая: метафоры по подобию (или образные метафоры); индуктивные аналогии; структурные аналогии.

Метафоры по подобию соответствуют высказыванию Аристотеля о создании сходства. Это такие метафоры, которые подобно поэтическим метафорам базируются на представлении сущностей некоторой прикладной области сходными с ними визуальными объектами. Правда, говорить о полном уподоблении в этом случае нельзя, а аналогия нужна для того, чтобы создать наглядный зрительный образ, полезный для дальнейшей работы. Большинство визуальных систем человекокомпьютерного взаимодействия основаны именно на этом типе метафор. Интересно, что образная метафора может помочь в создании новых полезных возможностей при реализации даже весьма привычных и обыденных для пользователей операций.

Индуктивные аналогии обеспечивают перенос какого-либо принципа из одной области в другую, а структурные аналогии служат для утверждения структурного или организационного тождества. К метафорам типа “индуктивная аналогия”, например, можно отнести метафору гостиницы, использованную для представления параллельного вычислителя [34].

Структурные аналогии характерны, в частности, для диаграмматических языков визуального программирования и диаграмматических отображений поведения программ в

визуальных отладчиках. Например, диаграмма потока управления точно описывает управляющие конструкции программы, хотя опускает некоторые ее подробности. Примерно так же построена знаменитая метафора, уподобляющая сердце насосу, которая точно описывает функции сердца, игнорируя различия в устройстве механического насоса и мышцы сердца. Отметим, что в каждой метафоре присутствуют как уподобление сущностей, так и обязательный элемент смыслового несовпадения, без которого метафора выродилась бы в тавтологию.

Интересно рассмотреть понятие “работа метафоры” (или “действие метафоры”). Ясно, что в данном случае мы имеем дело не с количественной характеристикой. Это скорее ответ на вопрос: к каким действиям или мыслям приводит пользователя взаимодействие (смотрение, манипуляция) с метафорическими объектами?

С другой стороны, метафора рассматривается не только (и не столько) как акт воздействия на интерпретатора, но и как некоторый процесс переноса значения (согласно первоначальному буквальному значению греческого слова). Классическое определение Дж. Лакоффа рассматривает метафору как отображение исходной области на целевую область [19]. По нашему мнению, этот подход не полон во многих случаях использования метафоры и едва подходит к ограниченному числу случаев ее употребления. Тем более он не пригоден в случае визуальной метафоры и метафоры визуализации, где мы сразу же имеем дело с визуальным представлением идей.

В следующих разделах будет рассмотрен ряд расширений этой модели метафоры. Однако анализ показывает необходимость более радикального подхода.

Метафора порождает некоторое метафорическое пространство за счет того, что объектам целевой области ставятся в соответствие объекты из исходной области. А точнее, структурам и/или свойствам объектов из целевой области ставятся в соответствие структуры и характеристики объектов из исходной области.

Приведем пример классической метафоры “**ЖИЗНЬ** есть **ПУТЕШЕСТВИЕ**”, где **ЖИЗНЬ** — целевая область, а **ПУТЕШЕСТВИЕ** — исходная область. Некоторые структуры **ПУТЕШЕСТВИЯ** (начало, подъемы, спуски, завершение) рассматриваются в данной метафоре как основа для описания структуры жизни. Аналогично в другой классической метафоре “**РИЧАРД** — **ЛЕВ**” некоторые качества льва (например, отвага, но отнюдь не наличие хвоста или клыков) переносятся на человека, который теперь находится в рамках метафорического пространства.

Действие метафоры заключается в том, что происходят выборка структур из целевой области на основе определенных структур исходной области и помещение их в метафорическое пространство, которое в данном случае имеет визуальную природу. (Метафорически говоря, можно сравнить действие метафоры с действием переноса РНК в молекулярной биологии.)

Метафора визуализации является отображением на некоторый мир визуализации, где безобразные объекты получают свое визуальное представление. Цель метафоризации состоит в увеличении выразительности изучаемых объектов. При метафоризации выбираются объекты целевого множества с набором структур, свойств и пр., которые мы и хотим рассмотреть с повышенной выразительностью. Причем выбираются не все объекты (и даже не все их свойства или элементы структуры), а лишь те, которые нас интересуют больше всего. Этим объектам ищутся аналоги (в плане структур, качественных свойств и пр.) в исходном множестве.

Далее имеет место следующая операция. Объект целевого множества вместе с объектом из исходного множества помещается в метафорическое пространство, точнее, тем

самым порождается метафорическое пространство. В этом пространстве теперь начинает функционировать изучаемый объект. (Можно считать, что это уже новый объект нового пространства.) Метафорическое пространство приобретает автономность от породивших его областей. Многие свойства его объектов лишь опосредованно связаны (если вообще связаны) со свойствами объектов исходного множества. Появляется своя логика развития метафорического пространства. Так, например, при использовании научной метафоры электромагнитного поля изучается его напряженность, явно отсутствующая у поля пшеницы.

Таким образом, происходит проекция некоторых характеристик целевого множества на исходное множество. При этом требование полноты переноса скорее уменьшает качество метафоры. Примером удачной визуальной метафоры и метафоры взаимодействия, отражающей лишь один аспект исходного множества, служит метафора Norton Commander'a, где перенос файлов построен на метафоре бухгалтерской книги с ее переносом соответствующих сумм из графы "дебет" в графу "кредит" и обратно. Все остальные аспекты бухгалтерской книги не востребованы. Отметим, что эта метафора недостаточно отражает структуру файловой системы, а правила работы с Norton Commander'ом и его визуальный образ иногда порождали у пользователей-новичков нежелательные представления о логике его функционирования. Вместе с тем успех метафоры в данном случае неоспорим. Аналогично в наиболее успешном примере применения метафоры, метафоре рабочего стола, используется минимальное число аспектов исходного множества.

Примером попытки создания полной метафоры является система визуализации функционирования параллельного вычислителя на базе метафоры гостиницы, описанная в [33, 34]. Отель представляет мультипроцессорную систему целиком. Комнаты в отеле представляют отдельные процессоры. Связь между процессорами представляется за счет внутrigостиничной телефонной сети. В комнатах-процессорах находятся чемоданчики, представляющие процессы, которые размещены на этих процессорах и которые можно перемещать с процессора на процессор. На последнем уровне находится визуальное представление для самой программы. Для этого используются фрагменты картинок-головоломок, находящиеся в чемоданчиках-процессах. Картинки состоят из различных элементов структурированного набора форм, представляющих различные программные конструкции и размещаемых в определенном порядке.

Условие полноты метафоры выполнено полностью. Авторы отмечали, что первоначально хотели представить процессы как предметы гостиничной мебели, однако решили, что перенос шкафов из номера в номер не является обыденной операцией в отличие от переноса чемоданов. Были у авторов и проблемы с поиском методики представления программного кода в связи с попытками найти для этого нечто, присущее номеру гостиницы, в частности телевизор и пр. Наши наблюдения показывают сомнительность того, что программист, отлаживающий параллельную программу, всерьез сможет использовать эти громоздкие сближения, не естественные для его задачи.

Этот пример показывает непригодность в случае метафоры визуализации подхода, предполагающего отображение области источника на целевое множество.

Выбор метафоры — это выбор знаковой системы, описание системы знаков, которая будет использоваться при визуализации. Другая функция метафоры состоит в задании контекста, помогающего правильной интерпретации элементов данного языка визуализации, выявлению значения визуального текста. Таким образом, метафора визуализации обеспечивает понимание отображаемых сущностей прикладной области, а также участвует в создании новых сущностей на базе внутренней логики самой метафоры [46].

7. Подходы к формализации понятия метафоры визуализации

Очевидно, что проблема метафоры визуализации требует появления каких-либо подходов к ее формализации. В 90-х годах нами был предложен ряд подходов к созданию формальных моделей метафоры [47–49].

Составляющими визуальной метафоры являются порождаемая ею образность и предписываемые ею действия как по изменению визуальных образов, так и по манипуляциям пользователей с визуальными объектами. При этом осуществляется неполный перенос, т. е. перенос некоторых существенных (в каком-то смысле) свойств исходной области, обеспечивающих необходимое воздействие на интерпретатора. И, напротив, полный перенос при метафоре визуализации приводит к порождению метафорических артефактов. Необходимо соответствие (подобие) уровней абстракции при моделировании и при визуализации. Образный ряд, порожденный метафорой, обеспечивает связь с опытом интерпретатора. Как мы уже отмечали, метафоры визуализации присутствуют всегда, однако часто не полны, а ограничены. При построении на их базе видов отображения и соответствующих языков “играют” только какие-то аспекты, дающие качество интерпретации. Визуальная фраза в языке визуализации всех типов представляет собой некоторый коммуникативный акт, интерпретация которого требует, как правило, наличия “фокуса” метафоры, обеспечивающего основное воздействие на пользователя. Иногда фокус метафоры основан на несходстве метафорических и модельных сущностей, или же воздействие метафоры на пользователя происходит за счет помещения объекта метафоры в новый для него смысловой ряд. Отметим возможность отсутствия фокуса в конкретной метафоре, а также заведомо субъективность восприятия фокуса метафоры и возможность его необнаружения конкретным пользователем, что мешает рассмотрению значимых примеров.

Таким образом, *метафору визуализации* можно описать как набор, состоящий из:

- образности метафоры;
- предписываемых метафорой действий по изменению визуальных образов или по манипуляциям пользователей с визуальными объектами (в вырожденном случае эти действия могут сводиться к наблюдению);
- набора уподоблений между модельными и метафорическими сущностями и/или элементами смыслового несовпадения;
- фокуса метафоры, обеспечивающего ее основное воздействие.

Существует еще один подход к пониманию структуры метафоры, предложенный нами для случая визуализации программного обеспечения и особенно визуальных языков программирования. Метафора визуализации в этом случае является источником грамматики, которая в свою очередь должна породить язык и систему на его базе. Следовательно, в описании метафоры должны содержаться ядра словаря, синтаксиса, семантики и прагматики визуального языка.

Рассмотрим метафору как некоторую аналогию (или систему аналогий) данной предметной области с другой областью, чьи основные сущности общеизвестны и несут общепринятые смыслы. Применяв аналогию (уподобление), мы сразу определяем возможный визуальный словарь, элементы которого имеют общепринятый смысл. Восприятие элементов и фраз на этом языке также предопределено сближениями используемой метафоры. То же самое можно сказать и о размещении элементов языка и методе задания их отношений. Они также в основном предопределены привычным размещением объектов предметной

области, использованной в качестве аналогии.

В этом плане язык визуализации можно представить как результат развития ядер словаря, синтаксиса, семантики и прагматики, содержащихся в описании метафоры.

В качестве элементарного примера использования описанного выше подхода проанализируем известную метафору блок-схемы, примененную Дж. фон Нейманом еще на заре компьютерной эры и активно используемую и при документировании проектов, и во многих визуальных языках программирования в качестве метода представления графа потока управления программы.

Метафора блок-схемы достаточно жестко определяет все возможные языки, построенные на ее базе. Очевидно, что проектируемый на ее базе визуальный язык должен быть диаграмматическим языком, основанным на потоке управления. Набор образов для представления программных конструкций диктуется если не существующими стандартами на блок-схемы, разработанными в различных странах, то традицией. Методы соединения и размещения на экране также четко определены самим понятием блок-схемы как графа потока управления программы.

Вместе с тем богатые метафоры, базирующиеся на сложных аналогиях, не настолько жестки и дают большую неопределенность и свободу выбора при разработке визуального языка. Попытки получить формализованное описание метафоры, в которое включаются и описание соответствующих ядер, не увенчались успехом. Также не дала серьезного результата и попытка разработки на этой базе формализованных методов оценки качества метафор и базирующихся на них систем визуализации. Однако построение метрик визуализации оказалось полезным, так как привело нас, с одной стороны, к изучению моделей пользователей и их восприятия визуализации, а с другой — к выяснению более четкой картины решаемой пользователем проблемы.

Первая проблематика отражается в исследованиях по моделированию пользователей и психологии восприятия визуализации, а вторая — в исследованиях по моделированию прикладной области и решаемой задачи.

Важной задачей исследований в области метафоры было автоматическое, формализованное порождение метафор визуализации для проектирования “правильных”, “хороших” языков и визуализации с заданными наперед свойствами.

В этой связи были предприняты попытки создания еще одной формальной модели метафоры визуализации, включающей в себя понятие мира визуализации, в котором имеют область бытования объекты, составленные из значащих единиц потенциально возможных языков визуализации. Выборка (высечение) из мира визуализации по определенному правилу (например, выбор лишь статичных, плоских цветных пиктограмм-иконов для случая традиционного иконического языка) дает набор элементарных единиц (слов) конкретного языка, к которым применимы правила составления текстов на данном языке за счет описания возможных взаимоотношений объектов. Мир визуализации служит отражением набора модельных объектов, соответствующих данной предметной области.

Введем множество модельных объектов данной предметной области. Объекты имеют наборы свойств и обладают особенностями. При этом параметры свойств и особенностей могут меняться в течение времени в соответствии с ходом вычисления, что позволяет говорить о поведении объектов вычислительной модели. Мир визуализации можно считать многомерным пространством, в котором в качестве отдельных измерений рассматриваются (вместе с традиционными пространственными измерениями и временем) изменяющиеся свойства, служащие самостоятельными значащими единицами визуального языка. Правило высечения, которое описывает подмножество мира, составляет словарь конкрет-

ного языка визуализации. При этом правило определяет и тот набор свойств визуальных объектов, который используется для создания значащих единиц языка. Вводится также набор отношений, определенных на заданном подмножестве, и набор правил, определяющий, какие из отношений допустимы и имеют смысл в данном языке визуализации. Набор отношений должен включать не только простые отношения типа “выше”, “правее” или “совпадает”, но и более сложные пространственные и топологические отношения, а также временные соотношения типа “раньше”, “позже”, “одновременно”, необходимые, в частности, для визуализации параллельных вычислений.

Данный подход к формализации предполагал использование семантики понимания и требовал анализа интерпретации визуальных сообщений системы визуализации. При этом в связи с необходимостью оценивать смыслы сообщений и “близость” смыслов появилась проблема описания их метрики и топологии. Был предложен один из подходов к такому описанию, учитывающий, в частности, субъективную семантику сообщений. Были исследованы также возможности формализованного подхода к процессу генерации метафор визуализации и языков, построенных на их базе.

На данном этапе исследований мы перешли к поиску более или менее регулярных методов конструирования метафор на основе анализа соответствующей прикладной области, модели пользователей будущей системы, а также опыта визуализации сходных объектов. При разработке специализированных систем визуализации различного назначения для представления прикладных сущностей нами был разработан и успешно использовался целый ряд новых метафор. Отметим, однако, что всякий раз метафоры визуализации появляются в результате длительного поиска или “озарения” (insight), но не в результате формального порождения.

Существуют также другие подходы к формализации понятия метафоры и ее оценкам, о которых рассказывается в следующем разделе.

8. Семиотические модели компьютерной визуализации

Вопросам использования идей семиотики в компьютерных науках, человекокомпьютерном интерфейсе и компьютерной графике посвящен целый ряд глубоких работ. Даже в кратком обзоре можно увидеть развитие идей семиотического анализа визуализации от постановки проблемы до появления математических подходов к формализации понятия метафоры.

Четкая постановка когнитивных проблем визуализации была сделана, в частности, в работах [50, 51], в которых положения классической семиотики используются для описания визуального знакового процесса в связи с компьютерной графикой и визуализацией. Понимание знаковой природы человекокомпьютерного взаимодействия, особенно при использовании визуальных и иконических методов, позволяет разработать основанные на семиотике методы проектирования интерфейса [52, 53].

Следующий этап исследований связан с попытками семиотического анализа метафоры интерфейса и создания ее семиотической модели.

Так, в работе [54] метафора рассматривается в связи с триадой Ч. Пирса (объект, знак, интерпретант). При этом сама метафора понимается как знак, вовлекающий во взаимодействие пары знаков из исходной и целевой областей (множеств). Большое внимание уделяется проблемам интерпретации метафоры, причем как проектировщиком интерактивной системы, так и ее пользователем.

В работе [55] большой интерес представляют идеи по формализации метафоры. Данный подход основан на концепции семантической визуализации, которая определяется как метод, устанавливающий и сохраняющий семантическую связь между формой и функцией в контексте метафоры визуализации. Выбор формы, как-то связанной с функцией разрабатываемой системы, требует глубокого семантического операционного анализа соответствующей прикладной области, включая скрытые (точнее, неявные для пользователей) операции. Основной задачей в этом плане является поиск виртуального мира, на который каким-то образом отображается абстрактное семантическое пространство прикладной задачи, т. е. поиск метафоры визуализации. Предлагается формальный подход к конструированию и оценке метафор — “ФОРМА — СЕМАНТИКА — ФУНКЦИЯ”, который предполагает действия, состоящие из трех шагов — анализ метафоры, формализация метафоры и оценка метафоры. Вводятся определения визуальной формы и функции и устанавливается семантическое соответствие между ними посредством взаимодействия между целевым и исходным множествами за счет смыслов соответствующих понятий из этих множеств. То есть семантический анализ метафоры проходит за счет анализа ее “лакоффовской” структуры. Формализация метафоры не предусматривает использования каких-либо формул и/или уравнений, а описывает шаги по проектированию метафоры. При этом указываются исходное и целевое множества метафоры и проводится их концептуальная декомпозиция для того, чтобы выявить наборы понятий, описывающих обе части метафоры. Далее определяются те измерения метафоры, в которых осуществляется ее действие, и устанавливаются семантические связи, отношения и преобразования между понятиями обоих множеств метафоры. Предлагается методика оценки качества метафоры.

Для наших задач важна идея взаимодействия исходного и целевого множеств в метафоре. Вспомним, что в классической теории метафоры рассматриваются два подхода к ее функционированию — сравнительный и подход взаимодействия.

В рамках сравнительного подхода считается, что метафора является актом сравнения двух объектов, служащего для того, чтобы выявить и подчеркнуть подобия между ними. Метафоры служат прежде всего средством отбора свойств в объектах целевой области, значения которых существенно независимы от сравнения.

В рамках подхода взаимодействия метафора рассматривается как сложное взаимодействие между системами отношений в целевом и исходном множествах, которое может вести к фундаментальным изменениям в нашем понимании обеих областей. При этом значение метафорических понятий не установлено заранее, но постепенно развивается посредством их участия в последовательности метафор. Метафора может фактически заставить значение метафорического понятия переместиться путем изменения окружающей ее системы отношений. Метафора не только обнаруживает подобия, но и может также создавать их между объектами, бывшими ранее совершенно несходными. Предусматривается, что метафора вовлекает полные системы отношений как в целевом, так и в исходном множествах. Структура отношений исходного множества действует как фильтр, преобразующий наше понимание целевого множества. Считается, что существует влияние и переход информации не только из целевого множества на исходное множество, но и обратно из исходного множества на целевое. Причем изменения происходят в обоих компонентах метафоры [56].

Анализ реальных ситуаций использования метафоры приводит к рассмотрению более сложных моделей, которые включают кроме традиционных исходного и целевого множеств (пространств) еще два — прототипное (*generic*), содержащее скелетные структуры, приложимые к обоим (исходному и целевому) множествам, и смешанное (*blended*), объединяющее структуры из этих множеств [57]. Данная работа представляется важным этапом

в современной теории метафоры. На ней основываются интересные попытки выявления математических оснований семиотики. На сайте [58] приведен список работ Дж. Гогена, в которых рассмотрены принципы алгебраической семиотики, разрабатываемые на базе теории категорий. (В целом ряде работ, например [53], эти принципы также применяются к проектированию человекокомпьютерного интерфейса.) С наших позиций важно также то, что в этих работах имеет место понимание системности воздействия знаков в случае человекокомпьютерного интерфейса. Описывается морфизм между знаковыми системами, связанными с множествами, возникающими в связи с функционированием метафоры. Подчеркивается связь метафоры человекокомпьютерного интерфейса с другими типами метафоры.

Наши собственные описанные в предыдущих разделах исследования и анализ результатов зарубежных коллег позволяют выделить следующие положения:

— знаковая природа человекокомпьютерного взаимодействия и визуализации позволяет использовать методы семиотики для анализа их различных аспектов, включая понятие метафоры;

— потребность в конструктивной семиотической модели метафоры, способной помочь в проектировании систем визуализации и человекокомпьютерного взаимодействия, приводит к необходимости расширения классической модели Дж. Лакоффа;

— формализация понятия метафоры может вестись как с использованием качественного описания функционирования метафоры, так и с использованием математических формализмов.

По поводу математических формализмов отметим следующее.

Кроме подходов алгебраической семиотики [53] и рассмотренных в предыдущем разделе наших подходов к формализации понятия метафоры визуализации в литературе можно найти также ряд других более или менее формальных подходов к описанию метафоры и ее генерации. Существуют примеры использования этих методов для создания систем информационной визуализации и человекокомпьютерного интерфейса в той или иной степени удачным выбором метафор. Однако успехи в этих случаях носят частный характер и зачастую могут быть получены в результате обычных процедур проектирования. В общем случае попытки генерации метафор и языков с заданными свойствами не увенчались успехом. Также кажутся несколько преждевременными очень интересные попытки строгой, но (по нашему мнению) неконструктивной формализации с использованием теории категорий для описания алгебраической семиотики в [53]. Использованный математический аппарат, хотя и дает возможность “правильно” назвать основные рассматриваемые сущности, однако не позволяет построить по-настоящему полезные механизмы порождения метафор. Представляется, что на данном этапе исследований более полезен качественный анализ метафоры (в частности, метафоры визуализации) и ее действий по отображению объектов соответствующих пространств.

Кроме того, причина неудач, по нашему мнению, состоит в том, что в основе рассмотренных попыток лежала идея формализованного описания метафоры визуализации как отображения исходного множества объектов модели прикладной области на целевое множество визуальных объектов. Рассмотренные в этом разделе модификации базовой модели также не решают проблемы. В разделе “Метафора визуализации” мы описали более сложный механизм, который лежит в основе функционирования метафоры. От других наш подход отличается тем, что в его рамках метафора порождает некоторое самостоятельное метафорическое пространство. Повторим наши рассуждения по данному поводу.

Как и в традиционных подходах, мы исходим из существования исходного и целево-

го множеств. Действие метафоры состоит из выборки некоторых структур из целевого множества на основе определенных структур исходного множества и помещения их в метафорическое пространство. Объект целевого множества вместе с объектом из исходного множества помещается в новое, тем самым порождая метафорическое пространство. Теперь это новые объекты нового пространства, которое приобретает автономность от породивших его множеств. Свойства его объектов лишь опосредованно связаны со свойствами объектов исходного множества. За счет проекции некоторых характеристик целевого множества на исходное множество появляется своя логика развития метафорического пространства.

Возникают вопросы: какова же природа и структура метафорического пространства; как идет его порождение? Естественный ответ на них связан с пониманием того, что рассмотрение метафоры как знака или как пары знаков не является плодотворным. Прежде всего метафора генерирует некоторую знаковую систему, т. е. цельный набор знаков, в котором существующие внутренние отношения между знаками каким-то образом отображают отношения между обозначаемыми. Наше метафорическое пространство по сути и есть знаковая система. Такой подход, кстати, применим ко всем рассмотренным ранее пониманиям метафоры — и к аристотелевскому украшению речи, и к научной метафоре, и к метафоре визуализации. В первом случае на базе новой знаковой системы генерируется некоторый вспомогательный язык, например язык поэзии, во втором — основной язык новой дисциплины, в третьем — язык визуализации. Понимание метафоры как знаковой системы дает и основу для оценки предлагаемой для конкретного случая метафоры. Если использованное сравнение (или набор сравнений) отвечает требованиям системности, то тогда можно говорить о существовании полезной метафоры. Если нет, если изменения состояния объектов исходного множества слабо связаны с изменениями целевого, то использование таких сравнений не поможет в понимании изучаемой ситуации (или не даст ничего нового в плане выразительности литературного текста).

Порождение основы знаковой системы в случае метафоры можно представить себе за счет применения двух операторов метафоры,

основного:

“пусть А подобно В”,

и оператора:

“следующие атрибуты/элементы/свойства А выбираются для уподобления следующим атрибутам/элементам/свойствам В”,

где **А** — исходное, а **В** — целевое множества.

9. Анализ удач и неудач визуализации

Теперь сделаем предположение о знаковой природе компьютерного моделирования. Можно утверждать, что процесс компьютерного моделирования есть процесс создания знаковых систем. Действительно, в той или иной модели можно легко вычленить в качестве набора *означаемых* объекты моделируемого явления или процесса, а в качестве *знаков* рассматривать объекты модели. Правда, для целей самого моделирования это рассмотрение не нужно, однако нам оно позволяет делать дальнейшие построения. Далее можно говорить об иерархии моделей, используя это понятие несколько не в том смысле, как было введено в [59], а скорее в смысле иерархии по уровням моделирования, т. е. физическому, математическому, алгоритмическому, программному уровням [60].

На каждом уровне иерархии естественным образом повышается уровень абстракции моделирования.

Выше мы также отмечали, что метафору (и, в частности, метафору визуализации) можно рассматривать как научную модель. Визуализация при моделировании обеспечивает интерпретацию и анализ полученных данных, а также поддержку работы на всех этапах цикла компьютерного моделирования. При этом метафора визуализации, а точнее порожденная ей визуализация, является последней в иерархии моделей знаковой системой. После целой серии абстракций, которые присущи процессу моделирования, необходимо обеспечить конкретику, присущую визуальным (т. е. реально воспринимаемым при помощи зрения) образам. В общем случае визуализация должна уменьшать, а не увеличивать общий уровень абстрактности всей иерархии моделей.

Наиболее удачный и всем известный пример (докомпьютерной) универсальной методики визуализации — рисование двумерного графика функции в декартовых координатах. Если разобраться, то в основе самого понятия функции одного переменного лежит целая серия очень абстрактных идей, которые могут быть описаны как иерархия физических и математических моделей. Еще более абстрактными являются идеи декартовой плоскости и представления на ней значений аргумента и функции, по сути являющиеся методами геометрического моделирования явлений. Однако рисование графика функции, позволяющего ясно показать все ее особенности, делает результирующее (визуальное) моделирование намного более конкретным и доступным для более четкой интерпретации результатов всей серии моделирования. Отметим, что в основе этого рисования лежит полноценная, хотя и почти незаметная для привыкших к ней с детства людей, метафора визуализации.

Имеет место идея “*разабстрагирования*” посредством визуализации. В терминах семиотики можно говорить о “разозначивании”, т. е. о снятии при визуализации нескольких уровней означивания, полученных за счет серии знаковых систем, присущей данной иерархии моделей. Особенно четко видно это “разозначивание” при непосредственной визуализации исходного объекта моделирования. Визуализация должна поддерживать непосредственную связь между картинкой, которая в данном случае является иконическим знаком (в смысле Ч. Пирса), и обозначаемыми объектами. Цель визуализации — в снятии хотя бы одного слоя абстракции для нужд лучшей (более адекватной) интерпретации результатов моделирования, а не в появлении дополнительных слоев. Существуют также удачные примеры использования визуализации для поддержки самого процесса моделирования без увеличения или уменьшения при этом уровня абстрактности.

Можно ввести оценку качества метафоры системы визуализации за счет учета уровня абстрактности, задаваемую по числу слоев (уровней иерархии), отделяющих рассматриваемую модель от первой моделируемой сущности. Тогда для оценки качества метафоры визуализации нужно оценить, на сколько слоев визуализация понизила абстрактность модели. (Отметим, что график функции понижает уровень абстрактности сразу на несколько слоев.) Таким образом, можно получить оценку качества метафоры через ее возможность понижать уровень абстрактности модели. Однако так можно оценивать лишь метафоры, а не сами системы визуализации, так как в конкретных системах есть много привходящих деталей, связанных с реализацией.

Удачи и неудачи систем визуализации могут быть объяснены с помощью именно этих оценок.

Так, вспомним в этой связи историю развития визуальных языков программирования, которая началась с конца 70-х — начала 80-х годов. Основной идеей тогда было, что “визуальный язык программирования — язык, который использует некоторые визуальные

представления (в добавление или вместо слов и чисел) для обеспечения того, что в противном случае было бы выражено в традиционной форме” [61]. Были предприняты попытки создать максимально подробные визуальные нотации, описывая все программные конструкции, типы данных и пр. Однако ни один визуальный язык программирования универсального назначения не получил серьезного распространения. Определенным успехом пользуются только специализированные языки, описывающие при помощи пиктограмм и диаграмм достаточно конкретные объекты, например схемы измерительного комплекса или структуры организации процесса визуализации в соответствующих пакетах.

В то же время в учебниках, справочниках и словарях по визуальному программированию резко подчеркивается, что очень популярные системы типа Visual C, Visual BASIC и Delphi, которые осуществляют визуальную поддержку процесса объектно-ориентированного проектирования и программирования, не могут претендовать на звание классических систем визуального программирования, несмотря на распространение такого наименования.

Использование абстрактных нотаций для описания абстрактных объектов программирования не снижает, а увеличивает общий уровень абстракции процесса создания программ. Языки визуального программирования удачны только тогда, когда специализация позволяет прямо рисовать конкретные объекты и тем самым непосредственно программировать процессы, например сборку электрических схем. В случае универсальных систем попросту вводится еще одна нотация для абстракций программирования. Широкое распространение визуальных сред, кроме всего прочего, связано с тем, что в них имеет место успешная поддержка процесса разработки программного обеспечения (хотя они и не являются полноценными системами визуального программирования).

Отметим также наличие хорошо развитой формальной теории визуальных языков, их синтаксиса и семантики. Этой теории посвящена обширная литература, в частности интересные работы М. Эрвига, например [62]. Однако опыты формализации визуальных языков показывают отсутствие значимых результатов для реальных проектов. Нам видится, что в данном случае причина заключается в увлечении формальными проблемами синтаксиса и семантики по образцу традиционных алгоритмических языков и языков программирования. Действительно, с позиций логики интерес в большей мере вызывает чистый синтаксис, он дает возможность разрабатывать правила объединения знаков в предложения наряду с правилами для дальнейших дедукций. Чистая семантика — также полностью аналитическая наука, не связанная с личным опытом и реальными фактами. Можно сказать, что семантика в смысле знаков и их отношений к содержанию, будучи абстрагированной от прагматики и поэтому от действительных коммуникаций, имеет отдаленное отношение к связи между людьми [63].

В языках визуализации основной потребитель визуальных текстов — человек, а не компьютер, являющийся лишь посредником в случае визуальных коммуникаций и производителем визуализации в других случаях. В визуальных языках программирования визуальные тексты также предназначены прежде всего человеку, их автору или читателю. Поэтому основное внимание следует уделять проблемам прагматики языков визуализации.

Вопросы прагматики нельзя обсуждать на языке синтактики или семантики. Прагматические свойства любого сообщения зависят от прошлого опыта и личных качеств отправителя и получателя, от контекста коммуникации и пр. На этом уровне следует рассматривать все психологические аспекты процесса коммуникации, такие как проблемы восприятия и интерпретации сообщений, изучение вербальной и зрительной памяти, воздействия окружающей среды на воспринимающего сообщения, и все те особенности,

благодаря которым одно событие коммуникации отличается от другого при одном и том же классе символов [63]. В этом, кстати, заключается еще одна причина нашего внимания к проблемам восприятия и интерпретации визуализации пользователем.

В плане семантики необходим качественный операционный анализ той прикладной области, для которой создается система визуализации. В случае научной визуализации необходимо выявление семантики визуализируемого явления или процесса. В любых интерактивных визуальных системах нужно описать семантику операций пользователя (математика, проектировщика программного обеспечения, медика и т.п.), которая должна прояснить семантику метафоры визуализации.

На каждом шаге этого операционного анализа нужно ответить на вопросы:

- что должны выполнить субъекты процесса?
- что происходит с объектами процесса по его ходу?
- что получается в результате данного шага?

Использованные до нас подходы предлагали семантический анализ метафоры, тогда как необходим тщательный семантический анализ прикладной области и/или деятельности пользователя проектируемой системы до этапа создания метафоры. Именно этот анализ должен помочь в поиске метафоры. А быть может, в процессе анализа и заключается ее поиск. Только затем можно вернуться к анализу самой метафоры. Однако кроме семантического анализа “лакоффовских” структур, как предлагается в [55], нужен анализ результата метафоризации, для чего может понадобиться введенное выше понятие “работа метафоры”.

В случае научной визуализации накоплен значительный опыт поиска метафор и соответствующих им видов отображения для специализированных систем визуализации. Практика проектирования четко проявила роль метафоры при создании системы. В свою очередь, при создании метафоры результат получается после тщательного анализа вычислительной модели. Проектирование системы видов отображения включает в себя предварительный анализ математической структуры отображаемых объектов и изучение представлений пользователей об этих объектах, что и позволяет осуществить поиск образности. При этом необходимо получить не просто первое более или менее удачное, а экспериментально проверенное решение. Очень значительна роль пользователя, являющегося в данном случае и разработчиком вычислительной модели (вплоть до самой программы), и участником проектирования визуализации, и потребителем готовой системы [65–68].

При разработке программного обеспечения активно используются системные метафоры, служащие средством взаимодействия и взаимопонимания между проектировщиком и заказчиком — пользователем системы. Системная метафора обеспечивает поддержку ментальной модели участников модели и формирует логическую архитектуру будущей системы [69]. Проблема поиска подходящей системной метафоры особенно обостряется для случая сред визуальной поддержки проектирования. По нашему мнению, и в этом случае необходим предварительный операционный анализ работы проектировщика программного обеспечения, который и поможет в поиске визуальной метафоры.

Многие сложности визуального представления информации и запросов к современным информационным системам состоят в том, что (естественно) абстрактные представления проектировщиков о структуре файловых систем и систем баз данных (как правило, это структуры типа “дерево”) предлагаются пользователям в качестве основы для организации запросов. Большинство запросов в визуальных информационных системах (или системах с элементами визуализации) основано на меню и дальнейшей детализации запроса за счет “спуска” по структуре дерева. Существуют примеры информационных визуальных систем,

где запрос осуществляется за счет десятка (и более) манипуляций с объектами, переключений между окнами и выбора из меню.

Таким образом, сложная и абстрактная логическая модель данных представляется пользователю посредством не менее абстрактных визуальных видов отображения и методик взаимодействия.

Необходимо добиться “*разабстрагирования*” посредством визуализации и непосредственного указания на запрашиваемые сущности. Для этого необходим выбор метафоры визуализации, позволяющей описать данное информационное пространство и предусмотреть в него “*семантическое погружение*”. (Термин выбран по аналогии с семантическим зумингом из [70].)

Под семантическим погружением понимается методика выделения при запросе семантически связанных между собой объектов. При этом принципы задания связи зависят от задач конкретной специализированной системы.

Такое (может быть, почти буквальное) погружение в информационное пространство, представленное как некоторый мир визуализации, может быть осуществлено и при помощи технологий виртуальной реальности, используемой в той или иной специализированной системе. Так, в макетной информационной системе, разработанной с целью анализа возможностей технологий виртуальной реальности, реализован “полет” над таблицей Менделеева. Затем пользователь может “погрузиться” в таблицу, чтобы подробнее ознакомиться с конкретным элементом [71].

Примером приложения идей выбора метафоры для представления информационного пространства и семантического погружения может служить проект информационной визуализации для медицинских целей.

Для занесения медицинских данных при диагностировании и организации запросов к информационной системе [72] использовалась традиционная интерфейсная методика, основанная на меню и последовательном уточнении области интереса. Это приводило к необходимости большого количества пользовательских манипуляций для любой информационной операции. В системе был предусмотрен удачный, по нашему мнению, набор видов отображения, показывающих по отдельности кровеносную систему, скелет, внутренние органы и пр. Пользователь мог прямо указать на соответствующем рисунке точки ввода диагностирующих данных. Однако, несмотря на наглядное представление отдельных частей организма, трудоемкость работы с системой, обилие манипуляций и переключений оказались неприемлемыми для конечного пользователя-медика.

Поиск эффективного интерфейса для этой системы привел к предложению метафоры для описания состояния человека — “фигура в стеклянном кубе” [73]. При “погружении”, т. е. запросе на вывод информации, могут быть показаны, в частности, кровеносные органы или отдельный желудочек сердца и т.п. Получается нечто вроде набора фильтров или специальных виртуальных (волшебных) очков, позволяющих увидеть, например, больной орган вместе с прилегающей пораженной тканью.

Запросы можно организовывать за счет информационных агентов, программ, автономно ведущих поиск данных в базах данных в компьютерных сетях [74]. Эти агенты могут быть настроены на определенного пользователя. Например, для версии системы, стоящей в кабинете врача-невропатолога, агент автоматически настроен на вывод данных о нервной системе и хорошо знает неврологию. А задание имени больного вызовет загрузку данных о нем из базы или запрос на ввод новых данных, т. е. информационный агент будет настраиваться моделью пользователя данной системы и одновременно формировать ее по ходу своей работы [75].

В принципе этот подход (при правильной метафоре) можно распространить на многие задачи информационной визуализации. В подобающей метафоре можно найти некоторые манипуляторы, используя которые можно также реализовать запросы без увеличения уровня абстракции. Ими могут быть специальные визуальные объекты, не имеющие соответствия среди модельных (информационных) объектов, но обеспечивающих их анализ и интерпретацию [68].

Семантическое погружение в информационное пространство предлагает при проектировании пользовательского интерфейса вместо иерархии, заданной структурой файловой системы, использовать семантические связи между объектами. Подобный подход уже активно используется в гипертекстовых технологиях.

Конечно, полностью избавиться от меню, детализации запросов и т.п. нельзя, да, наверное, и не нужно. Также следует отметить, что метафора представления информационного пространства может оказаться достаточно абстрактной. Пример FORMAL, языка визуального программирования на базе формуляров [76], это успешно показывает.

В этом языке (который по сути является оболочкой для системы баз данных) информация, например о сотрудниках какой-либо фирмы, представляется в виде таблицы (формуляра) с большим числом граф. Весьма сложные структуры данных описываются при помощи стилизованных заголовков формуляров. Работа по обработке данных представляется в языке как обработка формуляра (или серия таких обработок). Также и программа, представленная в виде формуляров, является способом описания того, что пользователю необходимо получить. Результат работы также представляется в виде таблицы (формуляра). За счет серьезной работы в области реляционных баз данных, удачного выбора метафоры, а также четкого определения семантики решаемых задач в узкой прикладной области удалось добиться значимых результатов в информационной визуализации и визуальном программировании.

Таким образом, абстрактные методы визуализации бесполезны (если не вредны) в качестве нотации для описания других абстракций. Однако возможно и полезно использование абстрактной образности для показа абстрактных объектов или поддержки процесса создания этих абстракций.

С 80-х годов в среде специалистов идет спор — хороша ли визуализация сама по себе за счет большей информативности зрения или для ее успеха требуется еще что-либо. По нашему мнению, успех приходит тогда, когда при визуализации имеет место показ или указание, а не визуальное кодирование или описание при помощи той или иной графической нотации.

Заключение

В заключении приведем рассмотренные нами положения, которые могут служить предпосылками для создания теории компьютерной визуализации.

Показана знаковая природа компьютерной визуализации, понимаемой как методика перевода абстрактных представлений об объектах компьютерного моделирования в геометрические образы.

Знаковая природа визуализации позволяет применить к ней семиотический анализ, приводящий к выделению языка компьютерной визуализации.

Для выделения языковых составляющих в визуализации необходимы описание полного словаря, пространственных синтаксиса и семантики и, главное, учет прагматики языка для

его потенциальных пользователей.

Смена значимых и значащих картинок (графических выводов) при возможном взаимодействии с изображением является внешней стороной визуализации.

Графические выводы являются воплощением абстрактного понятия вида отображения. Виды отображения понимаются как методики визуального представления данных, своего рода визуальные процедуры, которые при реализации в конкретных визуальных средах и при подстановке реальных данных выводятся на те или иные графические устройства. В понятии обобщенного вида отображения дополнительно предусматриваются возможные изменения изображений, включая анимацию, и допустимые способы взаимодействия с картинкой.

Набор обобщенных видов отображения служит словарем языка визуализации, тогда как в качестве грамматики можно рассматривать правила образования конкретных выводов, задающие последовательность смены изображений.

При проектировании языка визуализации требуется основная идея сближения и уподобления для модельных сущностей и сущностей визуализации, понимаемая нами как метафора визуализации. Таким образом, именно для разработки набора видов отображения и необходима соответствующая метафора.

Метафора визуализации определяется как отображение, ставящее в соответствие понятиям и объектам моделируемой прикладной области систему сближений и аналогий и порождающее набор обобщенных видов отображения.

Существует потребность в конструктивной семиотической модели метафоры, способной помочь в проектировании систем визуализации. Эта модель должна строиться с учетом полной картины действия метафоры.

Рассматривается иерархия компьютерных моделей, понимаемая в смысле иерархии по физическому, математическому, алгоритмическому, программному уровням. Указывается, что на каждом уровне иерархии естественным образом повышается уровень абстракции моделирования.

Успех при визуализации обеспечивается за счет “разабстрагирования”, т. е. непосредственного показа, четкого выделения рассматриваемых сущностей. Визуализация за счет кодирования или описания при помощи той или иной графической нотации лишь увеличивает общий уровень абстрактности моделирования.

Выбор метафоры, предполагающей выбор методов визуального представления компьютерной модели и ее объектов, а также визуального взаимодействия с ними, может понизить уровень абстракции и тем самым способствовать лучшей интерпретации результатов моделирования.

Изучение метафоры визуализации требует появления каких-либо подходов к ее формализации, необходимой для генерации новых метафор и оценки их качества. Формализация понятия метафоры может вестись как с использованием качественного описания функционирования метафоры, так и с использованием математических формализмов.

До настоящего времени математические подходы к формализации и оценке качества метафоры не дали значимых результатов. Формализация на данном этапе носит характер качественного анализа прикладной области вместе с задачами, требованиями и особенностями потенциальных пользователей.

В связи с этим возникает необходимость использования методов моделирования проблемной области, моделирования задач и моделирования пользователей [77, 78].

Разработка полноценной теории визуализации требует привлечения результатов исследований целого ряда дисциплин, как сравнительно близких, например теории визуальной

коммуникации, так и кажущихся достаточно далекими, как психология или искусствоведение.

В свою очередь, такая теория может быть положена в основание практики разработки систем компьютерной визуализации различного назначения.

Список литературы

- [1] VISUALIZATION in scientific computing, Special Issue // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. 1987. Vol. 21, N 6, November.
- [2] FREGE F. *Über Sinn und Bedeutung* // Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik. 1892. S. 25–50. Цитируется по русскому переводу Фреге Г. *Смысл и денотат*.
- [3] ЛОТМАН Ю.М. *Структура художественного текста*. М., 1970.
- [4] МОРРИС Ч. *Основание теории знаков* // Семиотика. М.: Радуга, 1983. С. 37–89.
- [5] ХОМСКИЙ Н. *Аспекты теории синтаксиса*. М., 1972.
- [6] ЯКОВСОН Р. *В поисках сущности языка* // Семиотика. М.: Радуга, 1983. С. 102–117.
- [7] СЕМИОТИКА / Под ред. Ю.С. Степанова. М.: Радуга, 1983.
- [8] СТЕПАНОВ Ю.С. *Семиотика*. М.: Наука, 1971.
- [9] ТЮХТИН В.С. *О природе образа*. М.: Высш. шк., 1963.
- [10] ЧЕРТОВ Л.Ф. *Знаковость. Опыт теоретического синтеза идей о знаковом способе информационной связи*. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1993.
- [11] ШРЕЙДЕР Ю.Л. *Логика знаковых систем. (Элементы семиотики.)* М.: Знание, 1974.
- [12] KUMMEL P. *Formalization of Natural languages*. Berlin: Springer-Verlag, 1979.
- [13] CHANG S.K. *Visual languages: a tutorial and survey* // Visualization in Programming. (Lecture Notes in Computer Science 282.) Berlin: Springer-Verlag, 1987. P. 1–23.
- [14] БОУМЕН У. *Графическое представление информации*. М.: Мир, 1971.
- [15] ЛОТМАН Ю., ЦИВЬЯН Ю. *Диалог с экраном*. Таллинн: Александра, 1994.
- [16] ШКЛОВСКИЙ В.Б. *Семантика кино* // За 60 лет работы в кино. М.: Искусство, 1985. С. 30–32.
- [17] ШКЛОВСКИЙ В.Б. *О киноязыке* // Там же. С. 33–35.
- [18] РАЕВСКИЙ Д.С. *К методике интерпретации изобразительных текстов* // Матер. научной конф. “Невербальные коммуникации в культуре.” Москва, 6–8 июня 1995 г. М.: РГГУ, 1995. С. 144–145.
- [19] LAKOFF G., JOHNSON M. *Metaphors we Live by*. Chicago: Univ. of Chicago Press, 1980.
- [20] LAKOFF G. *The contemporary theory of metaphor* // Metaphor and Thought. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1993. P. 202–251.

- [21] HEATH M., MALONY A., ROVER D. The visual display of parallel performance data // IEEE Computer. 1995. Vol. 28, N 11. P. 21–29.
- [22] ROBERTS J.C. Display models — ways to classify visual representations // Intern. J. of Computer Integrated Design and Construction. 2000. Vol. 2, N 4. P. 241–250.
- [23] ОРТЕГА-И-ГАССЕТ Х. Две великие метафоры // Теория метафоры. М.: Прогресс, 1990. С. 68–81.
- [24] ТАЛЫЯГАМБЕ С. Зрительное восприятие как метафора // Вопр. философии. 1985. № 10. С. 123–131.
- [25] BRUNING R., LOHMANN G., CHARLES S. Peirce on creative metaphor: a case study on the conveyor belt metaphor in oceanography // Foundations of Sci. 1999. Vol. 4(4). P. 389–403.
- [26] ГУСЕВ С.С. Наука и метафора. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984.
- [27] СЕДОВ А.Е. Метафоры в генетике // Вест. РАН. 2000. Т. 70, № 6. С. 526–534.
- [28] SAMB R.D. Metaphor theory // Reports on Mathematical Logic. 1978. N 1.
- [29] JOHNSON G.J. Of metaphor and the difficulty of computer discourse // Communication of the ACM. 1994. Vol. 37, N 12. P. 97–102.
- [30] MADSEN K.H. A guide to metaphoriacal design // Ibid. P. 57–62.
- [31] RIVA G. From technology to communication: psicho-social issues in developing virtual environments // J. of Visual Languages and Computing. 1999. N 10. P. 87–97.
- [32] BLACKWELL A.F. Metaphor in diagrams: Dissertation Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy University of Cambridge Darwin College. Cambridge, 1998.
- [33] TSCHELIGI M., MUSIL S. An information manipulation environment for monitoring parallel programs // Proc. of the Workshop on Advanced Visual Interfaces, June 1–4, 1994, Bari, Italy. ACM, 1994. P. 246–248.
- [34] MUSIL S. Monitoring Parallel Programs with INHOUSE // <http://www.ani.univie.ac.at/ani/research/Monit.html>
- [35] RICHARDS S., BARKER P., BANERJI A. ET.AL. The use of metaphors in iconic interface design // Intelligent Tutoring Media. 1994. Vol. 5, N 2. P. 73–80.
- [36] САМОФАЛОВ В.В., ШАРФ С.В. Визуальный процесс: проектирование, использование и роль в параллельном программировании // Алгоритмы и программные средства параллельных вычислений: Сб. науч. тр. ИММ УрО РАН. Екатеринбург, 1995. С. 170–181.
- [37] REISS S.P. Visual languages and the GARDEN system // Visualization in Programming. (Lecture Notes in Computer Science 282.) Berlin: Springer-Verlag, 1987. P. 178–198.
- [38] NARDI B.A., ZARMER C.L. Beyond models and metaphors: visual formalism in user interface design // J. of Visual Languages and Computing. 1993. N 4. P. 5–33.
- [39] REPENNING A. Agensheets: A Tool for Building Domain-Oriented, Dynamics, Visual Environment: PhD Dissertation. Univ. of Colorado at Boulder. Department of Computer Science. CU-CS-693-93. Dec. 1993.

- [40] BLACKWELL A. GREEN T.R.G. Does metaphor increase visual language usability? // IEEE Symp. on Visual Languages VL'99, Tokyo, Japan, Sept. 1999.
<http://www.cl.cam.ac.uk/~afb21/publications/VL99.pdf>
- [41] GAZENDAM H.W.M. Information System Metaphors. Groningen Univ. NL & Twente Univ. NL.
<http://www.econ.uba.ar/servicios/publicaciones/journal3/contents/HGazendam/methaphors.htm>
- [42] ВАЛЬКМАН Ю.Р. Графическая метафора — основа когнитивной графики // IV Нац. конф. с междунар. участием “Искусств. интеллект-94”: Сб. науч. тр. Т. I. Рыбинск, 1994. С. 94–100.
- [43] ВАЛЬКМАН Ю.Р. Когнитивные графические метафоры: когда, зачем, почему и как мы их используем // Тр. междунар. конф. “Знания — Диалог — Решение” (KDS-95). Ялта, 1995. С. 261–272.
- [44] ВАЛЬКМАН Ю.Р. Когнитивные графические метафоры // Тр. Междунар. сем. “Диалог’1999” по компьютерной лингвистике и ее приложениям. Таруса, 1999. С. 87–101.
- [45] РОУЗ С. Устройство памяти: От молекул к сознанию. М.: Мир, 1995.
- [46] АВЕРБУХ В.Л. Метафоры визуализации // Программирование. 2001. № 5. С. 3–17.
- [47] АВЕРБУХ В.Л., ВОРЗОПОВ В.В., КОНОВАЛОВ А.В. Оценка визуальных языков и метафор для систем визуализации параллельного программирования / ИММ УрО РАН. Екатеринбург, 1996.
- [48] AVERBUKH V.L., KONOVALOV A.V., VORZOPOV V.V. An approach to evaluations of software visualization // Human Factors in Computing Systems. CHI 97 Extended Abstracts. Atlanta, Georgia USA, 22–27 March 1997. ACM, 1997. P. 42.
- [49] AVERBUKH V.L. Toward formal definition of conception “adequacy in visualization” // Proc. 1997 IEEE Symp. on Visual Languages, Sept. 23–26, 1997. Isle of Capri, Italy. S. l.: IEEE Comput. Soc. 1997. P. 46–47.
- [50] NADIN M. Visual semiosis applied to computer graphics // Annual Conf. Proc. of the ASEE. Hanover, PA: The Sheridan Press, 1986.
http://www.nadin.name/pdf/visual_semiosis_applied.pdf
- [51] NADIN M. Cognitive Aspects of Visualization.
http://www.code.uni-wuppertal.de/uk/all_pdf_files/cognitive.pdf
- [52] NADIN M. Interface design: A semiotic paradigm // Semiotica. 1988. Vol. 69. P. 269–302.
http://www.code.uni-wuppertal.de/uk/all_pdf_files/interfac.pdf
- [53] GOGUEN J. Semiotic Morphisms, Representations, and Blending for User Interface Design.
<http://www.cs.ucsd.edu/users/goguen/pps/uid.ps>
- [54] BARR P., NOBLE J., BIDDLE R. A semiotic model of user-interface metaphor // Chapter in Virtual Distributed and Flexible Organisations / Proc. of the Sixth Intern. Workshop on Organisations Semiotics in Reading, UK. Kluwer Acad. Publ., 2003.
http://www.mcs.vuw.ac.nz/~chikken/research/papers/iwos2003/barr_iwos2003.pdf
- [55] SIMOFF S.J. Towards the development of environments for designing visualisation support for visual data mining // Proc. Intern. Workshop on Visual Data Mining, 2001. P. 93–106.
http://www-staff.it.uts.edu.au/~simeon/vdm_pkdd2001/web_proceedings/08_simoff.pdf

- [56] STUBBLEFIELD W.A. Source Selection for Analogical Reasoning an Interactionist Approach: Dissertation. Univ. of New Mexico, 1995.
<http://www.wmstubblefield.com/dissertation/dissertation.pdf>
- [57] TURNER M., FAUCONNIER G. Conceptual integration and formal expression // J. of Metaphor and Symbolic Activity. 1995. Vol. 10, N 3. P. 183–204.
- [58] GOGUEN J. Algebraic Semiotics. <http://www.cs.ucsd.edu/users/goguen/projs/semio.html>
- [59] САМАРСКИЙ А.А., МИХАЙЛОВ А.П. Математическое моделирование. М.: Физматлит, 2002.
- [60] САМАРСКИЙ А.А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент // Вест. АН СССР. 1979. № 5. С. 38–49.
- [61] SHU N.C. Visual programming languages: a perspective and dimension analysis // Visual Languages. N.Y.: Plenum Publ. Corporation, 1986. P. 11–34.
- [62] ERWIG M. Semantics of visual languages // Proc. 1997 IEEE Symp. on Visual Languages, Sept. 23–26, 1997. Isle of Capri, Italy. [IEEE Comput. Soc. 1997. P. 304–311.]
- [63] ЧЕРРИ К. О логике связи (синтактика, семантика, прагматика) // Инженерная психология. М.: Прогресс, 1964. С. 226–266.
- [64] АВЕРБУХ В.Л., ЮРТАЕВ Д.А. Методика разработки специализированных систем визуализации на примере задачи построения мостов в линейных дифференциальных играх // Алгоритмы и программные средства параллельных вычислений. Вып. 2. Екатеринбург: ИММ УрО РАН, 1998. С. 3–9.
- [65] АВЕРБУХ В.Л., ЗЕНКОВ А.И., ИСМАГИЛОВ Т.Р. и др. Разработка специализированных систем научной визуализации // Алгоритмы и програм. средства параллельных вычислений: Сб. науч. тр. / ИММ УрО РАН. Вып. 4. Екатеринбург, 2000. С. 3–23.
- [66] ЗЕНКОВ А.И. The specialized systems of scientific off-line visualization // Тр. 11-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению “Графикон’01”. Нижегородский гос. ун-т. Нижний Новгород, 2001. С. 86–87.
- [67] АВЕРБУХ В.Л., БАЙДАЛИН А.Ю., ГОРБАШЕВСКИЙ Д.Ю. и др. Разработка видов отображения в специализированных системах компьютерной визуализации // Тр. 12-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению “ГрафиКон’2002”, 16–21 сент. 2002 г. Нижегородский гос. ун-т. Нижний Новгород, 2002. С. 184–189.
- [68] ВАСЕВ П.А., ПЕРЕВАЛОВ Д.С. О создании методов многомерной визуализации // Там же. С. 431–437.
- [69] KHALED R., BARR P., NOBLE J., BIDDLE R. System Metaphor in “Extreme Programming”: A Semiotic Approach. Presented at OrgSem 2004. Portugal. <http://www.orgsem.org/papers/13.pdf>
- [70] SPENCE R. Information Visualization. L. Addison — Wesley, 2001.
- [71] АВЕРБУХ В.Л., БАЙДАЛИН А.Ю., ИСМАГИЛОВ Д.Р. и др. Использование трехмерных метафор визуализации // Тр. 14-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению “ГрафиКон’2004”, 6–10 сент. 2004 г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2004. С. 295–298.

- [72] АВЕРБУХ В.Л., ГРЕБЕННИКОВА И.В., КИЛИНА С.В., РЯБИНИНА Л.Б. Специализированная система информационной визуализации для нужд онкогематологического центра // Мат. методы в медицине и биологии: Матер. 3-й Урал. науч.-практ. конф., 11 мая 2001 г. Екатеринбург: УрМА, 2001. С. 9–11.
- [73] АВЕРБУХ В.Л., БАЙДАЛИН А.Ю., КАЗАНЦЕВ А.Ю., РЯБИНИНА Л.Б. Метафоры и комплексные виды отображения для систем информационной визуализации // Тр. XXXVI Регион. молодежной конф. “Проблемы теоретической и прикладной математики”. Екатеринбург, ИММ УрО РАН, 2005. С. 314–315.
- [74] КРИЧЕЛ Т., ЛЕВИН Д., ПАРИНОВ С. Активный информационный робот как сетевой агент исследователя (на примере сети онлайн-ресурсов по экономике RePEc/RuPEc). <http://rvles.ieie.nsc.ru/parinov/papers/repec-robots.htm>
- [75] SHARIFI G., DETERS R., VASSILEVA J. Agent-Based User and Task Modelling for Seamless Information Access via Personal Digital Assistants MADMUC Lab Technical Report 2004-01. <http://julita.usask.ca/Texte/MADMUC-TR-2004-01.pdf>
- [76] SHU N.C. Visual programming: perspectives and approaches // IBM System J. 1989. Vol. 22, N 4. P. 525–547.
- [77] ТРАЕТТЕБЕРГ Н. Modeling work: workflow and task modeling // Computer-aided Design of User Interfaces II. Kluwer Acad. Publ., 1999. P. 275–280.
- [78] BRUSILOVSKY P., COOPER D.W. Domain, task, and user models for an adaptive hypermedia performance support system // IUI 2002, Proc. of the 2002 Intern. Conf. on Intelligent User Interfaces, Jan. 13–16, 2002, San Francisco, California, USA. ACM, 2002. P. 23–30.

Поступила в редакцию 31 января 2005 г.