

# Компьютерная визуализация как самостоятельная дисциплина

Владимир Лазаревич Авербух  
ИММ УрО РАН, УрФУ  
г. Екатеринбург  
averbukh@imm.uran.ru

В работе рассмотрены история и проблемы становления компьютерной визуализации как самостоятельной дисциплины.

**Ключевые слова:** компьютерная визуализация

## 1. Введение

Цель данной работы - выявить подходы к описанию компьютерной визуализации как самостоятельной дисциплины, входящей в состав вычислительных наук. Сразу же отметим, что в литературе представлены различные точки зрения на определение визуализации и понимание её места в ряду других дисциплин. Традиционный подход выделяет, прежде всего, процесс формирования в мозгу зрительных образов и интерпретацию явлений на визуальном языке. Современный, связанный с компьютерами подход к определению визуализации описывает её как инструмент или метод интерпретации введенных в компьютер графических данных и генерации образов на основе сложных многомерных наборов данных.

Визуализация с одной стороны представляется связанной с мышлением человека и с интерпретацией им сложных данных, а с другой с современными вычислениями (*computing*) и с использованием компьютеров для моделирования в науке, технике, экономике и пр.

Очевидно, что **визуализация, понимаемая как зримое представление ментальных моделей**, существовала задолго до появления современной вычислительной техники. Более того, визуализацию, то есть перевод данных и информации в некоторые графические образы, можно рассматривать как составную часть нашей повседневной жизни. Первоначально, сразу после создания первых ЭВМ под визуализацией результатов счета понимался любой вывод цифр или символов на ленту примитивного печатающего устройства, лист АЦПУ или экран дисплея. Постепенно под визуализацией стал пониматься лишь графический вывод, например, рисование двумерных графиков или трехмерных поверхностей. Публикация доклада "Визуализация в научных вычислениях" в ноябрьском номере журнала ACM SIGGRAPH Computer Graphics за 1987 год [1] положила начало новой эре в истории компьютерной визуализации. Отметим, что в нашей стране научное сообщество быстро отметило появление новой дисциплины. Одним из первых (если не самым первым) в этом плане было выступление С.В. Клименко в 1988 году на весьма представительной конференции по компьютерной графике с докладом, посвященном значению визуализации в научных исследованиях.

## 2. Место визуализации в процессе компьютерного моделирования

Цикл компьютерного моделирования содержит три основные стадии:

- подготовка к анализу,
- вычисления,
- визуализация и анализ результатов. [2]

В полном виде этот цикл (известный также как цикл Самарского, схема численного моделирования или схема

численного эксперимента) предусматривает следующие стадии:

- сбор и накопление первичных данных;
- разработка физической модели;
- разработка математической модели;
- алгоритмизация;
- программирование;
- вычисление по программе;
- визуализация;
- интерпретация и анализ результатов. [3]

Так определяется место визуализации в цикле компьютерного моделирования - **визуализация, представляя результаты вычислений, обеспечивает интерпретацию и анализ полученных данных**. Вместе с тем, делая не совсем строгое обобщение схемы компьютерного моделирования, можно говорить о физическом, математическом, алгоритмическом и программном уровнях вычислительной модели и о модельных объектах разного уровня или о физических, математических, алгоритмических и программных объектах, которым могут соответствовать визуальные объекты. В связи с численным моделированием представление объектов физического и математического уровня следует отнести к научной визуализации, а объектов алгоритмического, программного и вычислительного уровня к визуализации программного обеспечения. В связи с визуализацией результатов счета можно говорить о визуализации данных (хотя обычно этот термин понимается несколько шире, так как данные могут и не быть связанными ни с наукой, ни с техникой). Наконец, исходя из функции компьютера как машины, обрабатывающей и порождающей информацию (а не только мельницы для перемалывания чисел), следует рассматривать еще один вид визуализации - информационную визуализацию.

Из большого количества определений визуализации, выделяющие те или иные её аспекты, мы выбираем не слишком формальные и строгие, но достаточные для дальнейшей работы. Эти определения имеют следующий вид:

**Под компьютерной визуализацией понимается методика перевода абстрактных представлений об объектах в геометрические образы, что дает возможность исследователю наблюдать результаты компьютерного моделирования явлений и процессов.**

Традиционно выделяются следующие подобласти компьютерной визуализации:

- **научная визуализация;**
- **визуализация программного обеспечения;**
- **информационная визуализация.**

Под научной визуализацией понимается использование средств машинной графики и человеко-машинного взаимодействия для представления данных об объектах, процессах и явлениях, моделируемых при научных вычислениях.

Под визуализацией программного обеспечения понимается совокупность методик использования графики и средств человеко-машинного взаимодействия, применяемых для лучшего уяснения понятий и эффективной эксплуатации программного обеспечения, а также для спецификации и представления программных объектов в процессе создания программ.

Термин информационная визуализация относится к визуальному описанию и представлению абстрактной информации, получаемой в результате процесса сбора и обработки данных различного типа и назначения. Как правило, эти данные не имеют естественного и очевидного графического представления. Информационная визуализация объединяет методы научной визуализации и человеко-машинного взаимодействия. Методы информационной визуализации в значительной мере связаны с такими дисциплинами как получение новых знаний из баз данных (*data mining* или *knowledge discovery*) и визуальная аналитика (*visual analytics*).

Отметим также, что зачастую визуализация несколько упрощенно понимается лишь как непосредственное отображение трехмерных образов (рендеринг) на некоторую плоскость вывода или даже как простой набор визуальных и иконических интерактивных методов. Эти (кстати, весьма важные) вопросы следует скорее отнести к проблематике компьютерной графики и человеко-машинного взаимодействия соответственно.

Несмотря на различные области приложения визуализации, имеет место глубокое единство всех её 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. Все это позволяет выделить компьютерную визуализацию как самостоятельную дисциплину со своим предметом и методом исследования.

Приведём также определения заимствованных из когнитивной психологии понятий **ментальной модели** и **ментального пространства**, используемых при дальнейшем изложении в этом и последующих разделах.

Под **ментальной моделью** понимается когнитивная конструкция, описывающая то, как человек понимает некоторую область знаний. Например, это личное представление пользователя о том, как работает та или иная система. На базе этого представления пользователь способен понять и объяснить работу системы, делать предсказания её поведения. По ходу своего существования ментальные модели обычно развиваются от неточных к сравнительно верным картинам явлений.

**Ментальные пространства** обеспечивают среду, в которой может иметь место когнитивная активность. Когнитивные модели, созданные за счет создающих образы процессов, структурируют эти ментальные пространства. Можно считать, что сам процесс мышления связан с подключением и взаимодействием различных ментальных пространств, структурирующих такие функции, понимание или предсказание. Ментальные пространства, в свою очередь, связаны с *когнитивными структурами*, возникающими у человека в процессе мышления и речи.

Выше уже указывалось, что визуализация как средство представления ментальных моделей исследователей существует очень давно. Всем известны методы графического представления

информации, используемые в картографии, инженерной графике, дизайне и рекламе. В связи с научными вычислениями важны методики визуализации, используемые в математике и естественных науках, такие как двумерные и трехмерные графики функций, изолинии и изоповерхности, гистограммы и т.п. В системах компьютерной визуализации различного назначения также активно используются схемы и диаграммы, заимствованные из статистической графики.

Другая предпосылка возникновения научной визуализации связана с резким ростом с начала 80-ых годов совокупных вычислительных мощностей. Именно в это время начали работать настоящие суперЭВМ, например, всем известные компьютеры типа CRAY, способные генерировать очень большие (*large or huge*) по объему файлы с данными. Проблема анализа и интерпретации данных встала во весь рост, прежде всего, в связи с исследованиями в научной сфере.

Последняя по месту, но не по значению предпосылка выделения компьютерной визуализации в качестве самостоятельной дисциплины связана с резким развитием аппаратных и программных возможностей машинной графики. В 80-ые годы были разработаны мощные графические станции, например, изделия фирм SUN Microsystems и Silicon Graphics. Одновременно (тоже, во многом, благодаря развитию аппаратуры) были разработаны мощные алгоритмы (точнее методы) формирования фотореалистических трехмерных сцен, такие как трассировка лучей, излучательность и др.

Итак, предпосылки формирования дисциплины "компьютерная визуализация" в середине 80-ых годов описываются тремя пунктами:

- интеллектуальные предпосылки, то есть наличие богатой традиции визуальных методов представления данных;
- потребности, возникшие в связи с появлением суперЭВМ и необходимостью анализа и интерпретации огромных объемов данных;
- техническая возможность, основанная на создании мощных аппаратных и программных средств машинной графики.

При определении предмета дисциплины необходимо осознать проблемы, которые стоят перед ее исследователями. В известном докладе по визуализации 1987 года сказано, что "**визуализация есть способ увидеть невидимое**". Авторы одного из электронных учебных пособий, перефразируя известное высказывание Р. Хэминга "цель вычислений - понимание (инсайт), а не числа" для случая визуализации, сформулировали следующее: "**цель визуализации - понимание (инсайт), а не картинки**" [4].

Важная задача компьютерной визуализации - создание методов визуального представления основных сущностей вычислительных моделей для полноценной интерпретации результатов моделирования. Цель визуализации - обеспечить интерпретацию, а картинка (правильнее обобщенный вид отображения) является средством этого.

Важной задачей компьютерной визуализации является изучение методов создания видов отображения для конкретных компьютерных моделей. При проектировании систем визуализации необходимо:

- Выделить, что надо показывать;
- Определить то, как это должно выглядеть;

- Решить, каким образом, при помощи каких методик машинной графики сгенерировать изображения.

Необходимо изучение модельных объектов, их особенностей, событий особого интереса, и т.п. Далее нужен поиск и/или построения видов отображения, адекватных проблеме и мышлению пользователей. Кроме стандартных требований к алгоритмам машинной графики (скорость работы, уровень реализма и т.п.) важно, чтобы они могли сами находить интересные особенности в данных, описывающих математические объекты, а затем на них могло бы концентрироваться внимание пользователей.

В основе концепции визуализации лежит идея о том, что наблюдатель может формировать ментальную модель, визуальные атрибуты которой представляют атрибуты данных определенным способом. Отсюда следует несколько вопросов:

Какие ментальные модели наиболее эффективно передают различные виды информации?

Какие определяемые и распознаваемые визуальные атрибуты этих моделей наиболее полезны для передачи специфической информации как самостоятельно, так и вместе с другими атрибутами?

Как наиболее эффективно породить выбранные ментальные модели в мозгу наблюдателя?

Как обеспечить “ручное” или автоматическое проектирование видов отображения, соответствующих выбранным моделям и их атрибутам.

Проблема эффективности интерпретации очень важна для проектировщика систем визуализации, также как и вся проблематика, порождаемая ролью пользователя, и как потребителя результатов процесса моделирования, и как участника этого процесса.

Тот факт, что проблема генерации изображения, проблема рендеринга относится непосредственно к машинной графике, подтверждается всей историей её развития. Вследствие постоянной смены аппаратных платформ графики, перевода графических алгоритмов с программной реализации на аппаратный уровень происходит замена методов генерации изображения, методик рендеринга. Можно ожидать, что появление трехмерных графических дисплеев полностью изменит весь набор графических алгоритмов, но мало заденет проблематику проектирования видов отображения, их интерпретации и анализа.

Предметом компьютерной визуализации как самостоятельной дисциплины является изучение методов и средств визуальной поддержки процессов анализа и интерпретации. При этом можно выделить, по крайней мере, следующие пункты:

- определение объектов, подлежащих анализу, их основных состояний и особенностей, других важных характеристик;
- поиск и проектирование видов отображения, соответствующих объектам особого интереса, их состояниям, особенностям и характеристикам, а также моментам перехода из одного состояния в другое;
- выбор или проектирование методик рендеринга (то есть отображения визуальных объектов на плоскость вывода);
- поиск, выбор и проектирование методик человеко-машинного интерфейса, необходимого в процессе визуализации;
- изучение методик интерпретации визуальных видов отображения пользователем во время анализа, как результатов моделирования, так и самих моделей.

Описание предмета дисциплины позволяет уяснить характерные для нее методы исследования. Традиционно при проектировании систем визуализации применяются методы, основанные на машинной графике, человеко-машинном

интерфейсе и системном программировании. Визуализация, то есть процесс отображения абстрактных представлений в образы, описывается как знаковый процесс, хорошо известный из определений семиотики. Поэтому семиотика играет важную роль в становлении дисциплины. Кроме того, следует отметить в связи с задачами проектирования необходимость изучения проблем восприятия визуальных образов, что вызывает необходимость привлечения методов психологии и психофизики. Полезным оказывается также привлечение знаний и методов из таких областей как художественный дизайн и искусствоведение. Необходимо изучение нужных при визуализации аспектов самих вычислительных моделей и прикладных областей. Наконец, требуется анализ и моделирование поведения пользователей, оценка и измерение качества, визуальных и интерактивных свойств соответствующих систем. Частично методы исследования компьютерной визуализации, как самостоятельной дисциплины, предстоит синтезировать из набора методов, присущих смежным отраслям знаний.

### 3. Определение понятий компьютерной визуализации

При определении понятия визуализации важно рассмотреть этап отображения компьютерной модели изучаемой сущности на некоторое визуальное представление, основанное на ментальной модели этой сущности в мозгу пользователя и/или разработчика данной системы визуализации.

Между вычислительной и визуальной моделями, модельными и визуальными объектами, операциями над модельными объектами и действиями над визуальными объектами существует соответствие, хотя и не однозначное.

**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 (view) 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** (graphical display), точно идентифицирующем все визуальные свойства, в которые переходят атрибуты соответствующего вида отображения.

Существует несколько способов спецификации графического вывода, которые определяют, как связываются данные о модельной сущности, ее атрибутах и элементах особого интереса с атрибутами и составляющими вида отображения при создании конкретного графического вывода.

Для правильного и эффективного визуального представления необходимо описание модельной сущности как в плане того, какой именно объект подлежит изучению, так и в плане описания этого объекта на уровне компьютерной реализации. То есть следует получить качественное, аналитическое и компьютерное (в том числе программное) описание того, что надо визуализировать.

**Необходимо четко уяснить какие именно состояния и особенности данного объекта нас интересуют, так как представление особенностей, состояний и смены состояний и есть одна из основных задач визуализации.**

Важны также ответы на следующие вопросы - какими графическими и неграфическими средствами сам объект, его атрибуты и особенности можно и нужно представить, как следует визуально выделить элементы особого интереса (интересные объекты) данной модельной сущности. Визуализируемые объекты часто имеют абстрактную природу, но в тоже время пользователь, например, математик-исследователь хочет получить визуальные образы, отражающие имеющиеся у него представление об изучаемых явлениях.

Мы уже указывали, что визуализация служит для обеспечения анализа и интерпретации результатов компьютерного моделирования и данных, полученных при других типах компьютерной обработки.

Существующие универсальные средства поддержки визуализации не всегда могут удовлетворить потребности пользователей в изучении принципиально новых модельных сущностей, обладающих не до конца ясными свойствами. Часто универсальные системы требуют от пользователя для представления этих сущностей слишком больших усилий. Следовательно, необходима разработка специализированных систем визуализации, при проектировании которых максимально учитываются нужды конкретных пользователей, решающих конкретный класс задач. Одной из важнейших задач проектирования является обеспечение прагматических свойств систем визуализации, которые должны оцениваться с субъективных, пользовательских позиций. Можно сформулировать субъективный, ориентированный на пользователя подход к проектированию специализированных систем визуализации.

Уже указывалось, что выделяются три аспекта разработки систем компьютерной визуализации - собственно компьютерная графика, инженерия программного обеспечения и набор "человеческих", когнитивных факторов, связанных с проблематикой мышления и восприятия пользователя. В связи с нашим подходом нас интересует когнитивная составляющая, а два остальных аспекта, в основном, рассматриваются как обеспечивающие адекватность в визуализации. (Это, конечно, вовсе не означает, что проблемы непосредственной реализации графических систем являются маловажными.)

Рассмотрение когнитивных аспектов визуализации естественно приводит к необходимости анализа знаковой природы визуализации. При этом необходим анализ прикладной области, служащий для выявления подлежащих визуализации сущностей и их особенностей. Чрезвычайно важным представляется также изучение пользователей систем

визуализации и создание моделей пользователей, пригодных для описания требований к специализированным системам.

Виды отображения понимаются как методики визуального представления данных, своего рода, визуальных 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.

#### 4. Задачи развития теории

Результатом дальнейших исследований должно явиться появление подходов к формированию теории компьютерной визуализации. Отметим, что при обосновании теоретических исследований в данной области часто приходится сталкиваться с сомнениями в их необходимости. (См. в [5] обсуждение необходимости теории визуализации и постановку целей при её разработке.) В этой связи говорят и то, что визуализация, как вспомогательная дисциплина, не нуждается в теории, и то, что такая теория давно существует, смешивая при этом визуализацию и компьютерную графику. Указывается также, что разработки систем визуализации успешно осуществляются без всякой теории уже несколько десятков лет. Однако мы, со своей стороны, можем указать на примеры того, как немалые усилия разработчиков сред визуализации для серьезных приложений не дали должного результата из-за неудачных способов графического представления информации. Успехи же той или иной разработки системы моделирования далеко не всегда зависят от факторов, связанных с визуализацией. Повторение успешной визуализации для новых приложений всегда под вопросом, так как без теории нет методов сохранения и передачи действительно ценного опыта, а не случайных идей, появившихся в связи с определенным уровнем развития компьютерной графики и/или инженерии программного обеспечения.

Теория нужна, во-первых, для анализа существующих систем, во-вторых, для обучения новых специалистов и, в-третьих, (и это, по нашему мнению, главное) для использования в практических разработках. (В нашем случае для быстрого и правильного проектирования новых систем.) Научная теория должна удовлетворять некоторому набору требований, среди которых структурирование дисциплины, обеспечение аналитических функций в её рамках, предсказание новых явлений. В этой связи говорят об объяснительной и предиктивной силе теории. Таким образом, на основе удовлетворительной (на данный период развития дисциплины) теории анализируются и объясняются все известные явления, предсказывается появление новых явлений, понятий и фактов, дается систематическое изложение дисциплины, как некоего целого. Тем самым появляется возможность закрепить имеющиеся достижения, передать их в виде учебных курсов, создать условия для дальнейшего развития дисциплины.

Важным результатом создания удовлетворительной теории визуализации должно стать появление научных оснований для качественного и надежного проектирования, разработки и оценки визуальных систем.

## 5. Вместо заключения

Как уже указывалось, в 80-ых годах в нашей стране адекватно оценивались роль и место визуализации в научных исследованиях. Передовыми в этом отношении всегда были физические научные институты. И сейчас многие интересные результаты по визуализации получены в соответствующих отечественных исследовательских центрах. Правда, развитию дисциплины в нашей стране мешало (и мешает сейчас) плохое снабжение необходимой техникой компьютерной графики. Совершенно недостаточно обеспечение аппаратурой, позволяющей использовать среды виртуальной реальности, давно уже ставшие во всем мире основой современной визуализации. В организационном плане следует отметить отсутствие в нашей стране специализированных конференций по этой, бурно развивающейся в мире дисциплине. Вероятно, этим можно объяснить то, что до сих пор даже среди специалистов существует путаница в терминологии, связанная со смешением задач компьютерной графики и компьютерной визуализации. Отметим, что в последнее время важную роль объединяющего центра начал играть журнал «Научная Визуализация».

## Литература

1. Visualization in Scientific Computing, Special Issue, ACM SIGGRAPH Computer Graphics, V. 21, N 6, November 1987.
  2. Heermann Ph. D. Production Visualization for the ASCI One TeraFLOPS Machine // Proceedings of the 9th Annual IEEE Conference on Visualization (VIS-98), Oct 18-23 1998, ACM Press, New York, 1998, pp. 459-482.
  3. Самарский А.А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент // Вестник АН СССР 1979, N 5. Стр. 38-49.
  4. HyperVis - Teaching Scientific Visualization Using Hypermedia. Project Director: G. Scott Owen; Contributors to HyperVis: Gitta Domik, Theresa-Marie Rhyne, Ken W. Brodli, Beatriz Sousa Santos. 1999.
- [www.siggraph.org/education/materials/HyperVis/hypervis.htm](http://www.siggraph.org/education/materials/HyperVis/hypervis.htm)
5. Liu Zhicheng, Stasko John T. Theories in Information Visualization: What, Why and How // Workshop on The Role of Theory in Information Visualization, InfoVis '10, Salt Lake City, UT, October 2010.