

Формализация условий эффективной визуализации*

Д.В. Манаков, В.Л. Авербух, П.А. Васёв

manakov@imm.uran.ru

Екатеринбург, Россия, Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения РАН

Работа посвящена описанию формальных подходов оценки визуального текста и эффективности визуализации. Вводятся понятия универсального пространства визуализации, масштабируемости визуализации. Предлагается рассматривать метафору визуализации, как непрерывное отображение, аналогично денотационной семантики, принятой в области программирования. Непрерывное отображение также можно определить и через малое изменение параметров визуализации. Перспективным направлением является и рассмотрение восприятия визуального текста с точки зрения теории информации.

Ключевые слова: эффективная визуализация, универсальное пространство визуализации, визуальный текст

Введение

В связи с появлением большого количества разнообразных креолизованных (смешанных) текстов возникает необходимость обобщения подобных явлений. Подобные многоязычные тексты являются не только продуктом рекламы или художественной инсталляции, но и расширенной реальности или систем визуальной отладки параллельных программ. В данной работе рассматривается визуальный текст, как универсальный (обобщенный) текст – продукт любой системы компьютерной визуализации, а под компьютерной визуализацией понимается методика перевода абстрактных представлений об объектах в визуальные образы (пространственно-временные тексты), что дает возможность исследователю наблюдать результаты компьютерного моделирования явлений и процессов. Визуализация, представляя результаты вычислений, обеспечивает интерпретацию и анализ полученных данных.

Если интерпретация изобразительных текстов возможна при наличии внешней по отношению к самому тексту информации, а так называемая беспредметная живопись является скорее живописью с неопределенными значениями изображений, то в области компьютерной визуализации рассматривалась бы модель с неопределенностью. Начиная с 2012 года, проводятся Европейские семинары по проблеме воспроизводимости, верификации и валидации в визуализации [8]. Под верификацией понимается доказательство правильности, так с точки зрения логики визуальный текст должен иметь истинное значение. Если гуманитарно-психологическое направление ограничивается декларативным определением креолизованного текста, ай-трекингом и тестированием, то для компьютерной визуализации естественным является формализация, математизация, моделирование подобных явлений. Например, в работе [4] рассмат-

ривается множественный, в частности бинарный, вид отображения, понимаемый в обычном алгебраическом смысле: два множества (два окна) между которыми заданы некоторые отношения.

Универсальное пространство визуализации

С помощью универсальных пространств можно свести изучение класса топологических пространств к изучению подпространств конкретного пространства. В области визуализации предлагается рассмотреть аналогичный подход, основанный на изучении подпространств (подмножеств) – визуальных текстов. Именно текстов, а не видов отображения или метафор визуализации. Так как текст предполагает зависимость от контекста, например, от формальной модели, и от человеческого фактора, связанного с восприятием и пониманием этого текста. К вопросу о доказательстве правильности или истинности текста можно подойти с точки зрения универсальной логики.

Обычное логическое пространство [5] определяется как пара $LS = (V, 2^V)$, где фиксированное непустое множество значений истинности – V рассматривается вместе с множеством своих подмножеств – 2^V . Иными словами, множество истинностных значений называется логическим пространством, если на нем выделены определенные подмножества.

При рассмотрении компьютерной визуализации, как самостоятельной дисциплины, необходимо построение ее ментального пространства со своей семантикой, прагматикой и базисом. Тогда любые два специалиста по визуализации смогут говорить на одном языке. Этот базис выбирается из достаточно широкой области знаний [4]. Универсальное пространство отличается от ментального пространства, не только степенью формализации, но прежде всего тем, что базисом в универсальном пространстве являются не пересекающиеся истинностные подмножества (визуальные тексты). Для лингвистического подхода базис связан с когнитивной

Работа опубликована при финансовой поддержке РФФИ, грант 16-07-20482.

размерностью, которая определяется количеством независимых эвристик или термов.

Семантика в математическом смысле трактуется, как семантическое правило (например, определение лингвистической переменной) или отображение. В качестве примера можно привести семиотическое определение метафоры визуализации, рассматриваемой, как непрерывное отображение исходного множества на целевое множество [4]. В стандартное определение метафоры по Лакоффу добавлено только свойство непрерывности. Топологический подход, основанный на построении замыкания с такими определяющими свойствами, как монотонность и существование супремума, является конструктивным. Наиболее известным примером в области программирования является денотационная семантика Скотта для λ -исчисления. Хотя рассмотрение подобной задачи возможно и с позиций универсальной логики и структур событий.

Аналогично прагматику можно рассматривать с точки зрения прагматической логики – логическая система, опирающаяся на ценности (полезность), оценки, нормы. Можно сравнить определения метафоры и инсайта (озарение, понимание), являющегося целью визуализации, Инсайт – процесс установления релевантных отношений между данными и существующей областью знаний (целевой областью). Инсайт одна из абстрактных метрик, связанных с процессом познания: наряду с информационным разрывом и когнитивным расстоянием. В результате сравнения можно сделать вывод, что прагматика – это навешивание некоторой метрики на отображение. Введение к рассмотрению метрики позволяет перейти от топологии к математическому анализу, в частности к рассмотрению предела. Понятие предела целесообразно использовать при анализе больших данных, а также для определения эффективности через производную.

Эффективность визуализации можно рассматривать, как одну из прагматик. Используемое в экономике определение эффективности (продуктивности) через отношение продукта к источнику продукта (ресурсам) достаточно адекватно. Формально, это скорость или полный дифференциал.

Необходимые условия эффективной визуализации

В [7] в рамках эмпирического подхода предлагается формализация понятий, связанных с масштабируемостью параллельных программ и рассматриваемых, как функции многих переменных. “Масштабируемость – свойство параллельной программы, характеризующие зависимость изменения динамических характеристик ее работы (в частности, эффективности) от изменения параметров запуска”. Аналогичным образом можно определить и масштабируемость визуализации, то есть необходимым

условием эффективной визуализации является возможность изменения параметров программы визуализации. Многопараметрическая модель основывается на выделении свойств рассматриваемого, явления или на категоризации. Формально, объекту ставится в соответствие вектор параметров. В области программирования подобный подход принято называть операционной семантикой. Возможно определение непрерывности и через малое изменение параметров. Нас, прежде всего, интересует непрерывность цикла прохождения задания и непрерывность познания, включая визуальный анализ результатов вычислений. Таким образом, для систем визуализации возможна постановка таких стандартных в математическом плане задач: Определение информативных признаков (то есть, какими свойствами должна обладать система визуализации, чтобы работа с ней была эффективной). Задача визуального анализа чувствительности решения в зависимости не только от параметров прикладной задачи (модели), но и от параметров параллельной программы, и от параметров визуализации.

Перечислим свойства, которыми должна обладать система визуализации, ставшими необходимыми де-факто и обеспечивающими непрерывность, например, через изменение параметров. Это онлайн и удаленная визуализация, возможность обработки данных большого объема, в частности применяя технологию фильтрации данных, Web-визуализация.

Эффективность в визуализации часто имеет субъективный характер. Это объясняется тем, что в визуализации выделяются, как минимум два действующих лица (актера): разработчик – автор визуального текста и пользователь – интерпретатор. В деятельностном подходе один из ключевых вопросов – это определение цели. В математическом моделировании целеполагание рассматривается как условие экстремальности. Очевидно, что у разработчика и пользователя цели могут не совпадать. Устранить возможное противоречие можно, разрабатывая специализированные системы визуализации. В работе [1] предлагается перейти к созданию средств визуального сопровождения процессов разработки, включая отладку и анализ программного обеспечения, основываясь на изучении конкретной деятельности программистов, работающих в рамках конкретной программно-аппаратной среды. Визуальное сопровождение можно рассматривать в рамках шаговой теории или структур событий.

Аналогично создание конструкторов (визуализации) можно рассматривать, как достижение некоторого компромисса между универсальными и с специализированными системами, например, в рамках диалоговой логики. В работе [2] предлагается декларативно-императивный подход, близкий

к комбинации денотационной и операционной семантик соответственно. Конструктор Viewlang [9] (рис. 1.) обладает всеми перечисленными свойствами, являющимися необходимыми для того чтобы работа с системой визуализации была эффективной. Применение бинарного вида отображения и простых примеров, рассматриваемых в качестве базиса, обеспечивает непрерывное обучение языку: изменения текста программы в одном окне, приводит к изменению визуального представления в другом окне. Конструктор визуализации может рассматриваться как интеллектуальный агент, одной из целей которого является обучение визуальному языку с учителем-агентом.

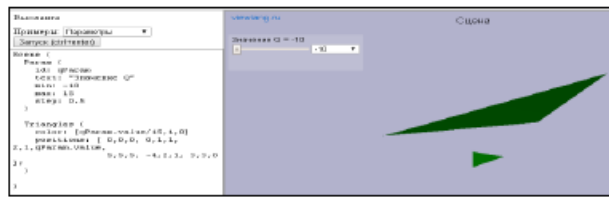


Рис. 1: Конструктор Viewlang. Бинарный вид отображения

В работе [3] рассматривается аналогичный (бинарный) подход, ориентированный на конечного пользователя – дизайнера (рис. 2), поэтому его можно назвать декларативно- *дизайнерским*. Текст программы может быть заменен любым гомеоморфным визуальным отображением (например, метафорой визуализации, используемой для статического или динамического анализа программ), в данном случае выделен логический уровень (предметная онтология).



Рис. 2: Проект виртуальной химической лаборатории

Поскольку графические библиотеки, в том числе ориентированные на Web-визуализацию, позволяют выделить интересующий объект или графический примитив, полезной с точки зрения обучения является организация обратной связи (отображение графического объекта на текст программы) [10] – рис. 3

Несмотря на то, что целесообразность применения бинарного вида отображения в системах и конструкторах визуализации можно обосновать с эм-

пирических позиций, все же формальная верификация позволяет подчеркнуть ряд важных особенностей (необходимых условий эффективной визуализации). Так в разрабатываемом конструкторе Viewlang существенной особенностью является возможность изменения параметров, что позволяет рассматривать непрерывное отображение.

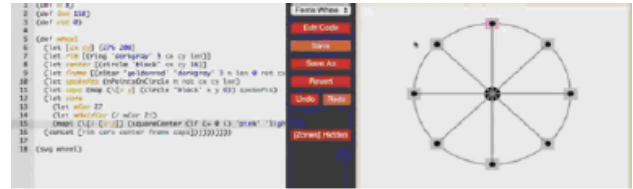


Рис. 3: Система программной манипуляции sketch-n-sketch

В приведенном примере рис. 1. изменение слайдера связано с изменением параметра, в частности координат вершины треугольника. Многопараметрическая модель, примененная для определения необходимых условий эффективной визуализации оправданна и при рассмотрении визуального текста.

Визуальный текст

Определение визуального текста может основываться на категоризации, в частности на сравнение с текстом естественного языка, являющегося линейным, как последовательность знаков, и многозначным по смыслу. Визуальный текст по своей природе нелинеен, необходимо учитывать не только пространственно-временные характеристики, но и неопределенность информации.

Итак, предлагается к рассмотрению следующее определение визуального текста: Визуальный текст (VT) есть произведение метаонтологии (MONT) и интеллектуального агента (I) со своим индивидуальным восприятием (Per) и пониманием (Cog).

$$VT = MONT * I(Per, Cog) \quad (1)$$

Метаонтология определяет семейство математических теорий, используемых для формализации онтологий. Она обеспечивает как точную, математическую спецификацию онтологий, так и формальный анализ их свойств. В частности, она включает методы и формы представления, интеграции и слияния различных онтологий. Принятие той или иной метаонтологии непосредственно определяет состав онтологий, взаимосвязи между ними, выбор формальных моделей и языков для представления онтологий как верхнего, так и нижнего уровня[5].

Так метаонтология визуализации должна включать не только онтологию визуализации, но и специализированную онтологию предметной области

(например, гидрогазодинамики или математической статистики) со своими часто пересекающимися формальными моделями. Во множестве формальных определений онтологий наиболее общими (универсальными) определениями являются, те, которые построены на моделях с неопределенностью (так Тарасов разделяет онтологии на сингулярные и гранулярные). Например, в основе лингвистической онтологии лежит определение лингвистической переменной Заде. Расширение лингвистической онтологии – полностью нечеткая онтология включает I – множество индивидов (агентов) и поэтому может быть интересной для определения визуального текста.

Под агентом понимают открытую, активную, целенаправленную систему, которая способна сама формировать собственное поведение в не полностью определенной среде [6]. Интеллектуальный агент – агент способный к самопознанию. В связи с этим определением представляют интерес такие направления, как автономные вычисления и синергетика. Неопределенность интеллектуального агента связана с неполнотой формализации познания, поэтому $I(Per, Cog)$ будем рассматривать, как некоторую переменную – x , что приводит к наложению дополнительных требований, как на метаонтологию, так и на операцию произведения в определении визуального текста.

В формуле (1) заменим метаонтологию на логическую матрицу A , например, метаонтология может рассматриваться, как нечеткая когнитивная карта (частный случай нейронной сети), отслеживающая причинно-следственные связи.

$$VT = Ax \quad (2)$$

Данная формула аналогична хорошо изученной модели первого приближения, то есть визуальный текст можно рассматривать, как производную носителя языка – интеллектуального агента. Возможно рассмотрение, как прямой задачи – по множеству визуальных текстов построить агента способного их интерпретировать, например, программу, так и обратной задачи – под конкретного агента построить систему визуализации, например, задача визуального сопровождения. В обоих случаях предполагается изучение свойств интеллектуального агента. Так для модели с насыщением известно, что начальные данные необходимо находить, так чтобы они были близки к равновесному состоянию, которое в визуальной форме может быть представлено логистической кривой. В то же время для модели с неопределенностью можно предположить, что равновесное состояние существует, но оно не известно. В данном случае конструктивным подходом является рассмотрение относительной эффективности или скорости сближения двух решений [4].

Несмотря на высокую синонимичность формальных моделей, используемых в компьютерной визуализации, в том числе и при рассмотрении визуального текста, можно сделать выводы, что информативными признаками данных моделей являются непрерывность, непротиворечивость, бинарность, эффективность. Как уже отмечалось, интерпретация визуального текста зависит от индивидуального восприятия и понимания интеллектуального агента (1), поэтому восприятие больших объемов визуальной информации представляет особый интерес.

Метафора восхода солнца

Визуальный анализ данных связан с восприятием и пониманием визуальной информации. Широкое распространение получили различные методики тестирования, в основе которых лежит наивный байесовский подход, пригодный для проверки адекватности модели. В тоже время, для того чтобы объяснить природу сложных явлений, необходимо разрабатывать эти математические модели.

Нами был проведен достаточно простой эксперимент по взаимной оценке информативности фотореалистического изображения с элементами динамической визуализации и стереоизображения. Предложена метафора восхода солнца – вращение точечного источника света вокруг трехмерного объекта. Практически рассматривались два объекта: 3d-сетка, узлы которой отображаются в виде тетраэдров и граница сетки (результат моделирования работы сердца – рис. 4.). Методика основана на выделении попарно ортогональных свойств: много маленьких объектов или один большой, экран или очки виртуальной реальности, применяется метафора или нет. Таким образом, анализировалось восемь изображений.

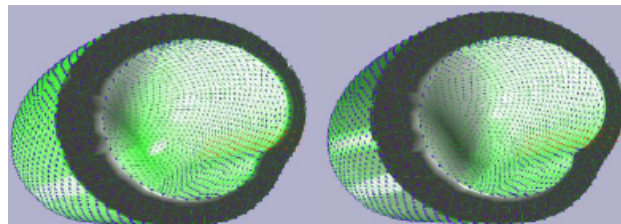


Рис. 4: Вращение источника света вокруг границы сетки

Если на плоском экране при применении этой метафоры можно говорить о возникновении некоторого стереоэффекта, то влияние изменения освещенности на стереоизображение практически незаметно. Таким образом, можно предположить, что результирующая информативность есть сумма двух рядов, один из которых результат применения лапласиана к функции многих переменных (для по-

строения стереоизображения и выделения границ подобный подход является стандартным), причем суммируются, те члены ряда, относительная мощность которых наибольшая. Рассматривая взвешенную сумму, которая не может быть больше суммы поглощенных и отраженных лучей, можно объяснить, почему наблюдатель воспринимает окружающий мир практически одинаково, что одним глазом, что двумя глазами или, почему один сигнал частично подавляется другим сигналом. Таким образом, на основании проведенного эксперимента и соответствующей ему полумодели можно предположить, что виртуальная реальность не является необходимым условием эффективной визуализации, но, возможно, описывающий это явление ряд быстрее сходится. Конечно, это только гипотеза уровня ментальной модели. Необходимо проведение более точных исследований, включая верификацию и валидацию визуализации совместно со специалистами нейрофизиологии и когнитивной психологии.

Заключение

В настоящее время отмечается определенный интерес к формальной верификации визуализации. Наравне с лингвистическим подходом рассмотрение визуального текста, как истинного подмножества универсального пространства является одним из направлений. К сожалению, нет общепринятых подходов, так как наследуются они из разных математических дисциплин, а обзоры практически отсутствуют. Материалы, изложенные в данной работе, следует рассматривать, как постановки задач, требующие дальнейшей детализации и направленные на формирование ментального пространства визуализации

Литература

[1] Авербух В.Л., Анненкова О.Г., Бахтерев М.О., Мананков Д.В. Анализ и оценка систем визуализации программного обеспечения параллельных вычислений // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ), серия Математическое моделирование физических процессов, 2015, вып.4, с. 58–70.

- [2] Васёв П.А., Бахтерев М.О. Декларативно-императивный метод конструирования сцен научной визуализации // XV Международная конференция «Супервычисления и Математическое Моделирование». Тезисы. ФГУП «РФЯЦ ВНИИЭФ». Саров. 2014, с. 46.
- [3] Грибова В.В., Федорищев Л.А. Визуализация виртуальных сред в облачных сервисах // Научная визуализация 2016. Кв.1. Том 8. № 1. С. 133–145.
- [4] Мананков Д., Авербух В. Верификация визуализации // Научная визуализация 2016. Кв.1. Том 8. № 1. С. 58–94.
- [5] Тарасов В.Б. Универсальная логика, грануляция информации и искусственный интеллект. <http://www.raai.org/news/pii/ppt/2015/tarasov2015.ppt>.
- [6] Тарасов В.Б., Калущкая А.П., Святкина М.Н. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для Обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами // Материалы II Междунар. науч.-техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS–2012). Минск: БГУИР. 2012. С. 267–278.
- [7] Теплов А.М. Об одном подходе к сравнению масштабируемости параллельных программ // Вычислительные методы и программирование. 2014. Т. 15. Выпуск 4. С. 697–711.
- [8] The EuroRV3: EuroVis Workshop on Reproducibility, Verification, and Validation in Visualization. <http://www.eurorvvv.org/>.
- [9] Viewlang-конструктор <http://viewlang.ru/code/c.html>
- [10] Sketch-n-sketch. <https://ravichugh.github.io/sketch-n-sketch/blog/03-user-study-videos.html>

Об авторах Владимир Авербух – ктн, зав. сектором компьютерной визуализации ИММ УрО РАН, доцент УрФУ. averbukh@imm.uran.ru

Павел Васёв – научный сотрудник ИММ УрО РАН. pavel.vasev@gmail.com

Дмитрий Мананков – ведущий программист ИММ УрО РАН. manakov@imm.uran.ru