



OSTIS-2014

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822:514;004.4'275;81'32

ТТР-СИСТЕМА: ИНТЕГРАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА И ИЗОБРАЖЕНИЙ

Курбатов С.С.* , Литвинович А.В.** , Лобзин А.П.* , Хахалин Г.К.*

* Научно Исследовательский Центр Электронной Вычислительной Техники, Москва, Россия

curbatow.serg@yandex.ru

lobzin@rambler.ru

gkhakhalin@yandex.ru

** ООО "Телеком-Защита", Москва, Россия

artlav@land.ru

В работе рассматривается задача преобразования естественно языкового текста в изображение. Дается типология современных ТТР-систем. Описаны этапы синтеза графических изображений по текстам на естественном языке в разрабатываемой системе. Формулируются особенности языка алгоритмического описания графики GRASP, обладающего повышенным уровнем представления графических объектов, возможностью взаимодействия с прикладной онтологией и расширяемостью. Приводятся результаты экспериментов по конструированию объектов и по созданию графических композиций

Ключевые слова: лингвистический анализ, онтология, ТТР-система, концептуальный синтезатор изображений.

Введение

Актуальность задачи синтеза графических изображений по текстам на естественном языке (ЕЯ) обусловлена существованием многочисленных предметных областей, в которых главную роль играет наглядность представления текстовой информации. Это относится к изучению родных и иностранных языков, при общении с людьми, не имеющими письменность или неграмотными людьми, с людьми с различными нарушениями речи (с глухонемыми и аутистами) и при реабилитации людей с черепно-мозговыми травмами.

Интересны приложения по реконструкции дорожно-транспортных происшествий (для страховых компаний) и восстановление сцен преступлений по их словесному описанию.

В связи с прикладными областями обучения и общения возникла даже новая парадигма для трансляции [Mihalcea et al., 2009]: трансляция текстов на ЕЯ с помощью картинок (pictorial translation). Эта парадигма основана на присущей людям способности понимать содержание картинки независимо от языка, на котором они говорят. Например, слово 'яблоко' различно в разных языках, но картинка яблока может быть понята

всеми людьми одинаково, если она расположена с множеством написаний слова *яблоко*.

Автоматическая трансляция входного текста в картинки – это нетривиальная задача. И есть ограничения присущие использованию визуальных представлений для целей коммуникации. Первое, существует сложная информация, которая не может быть представлена картинками, например, *“An inhaled form of insulin won federal approval yesterday” (Ингаляционная форма инсулина вчера получила федеральное одобрение)*, и требует более адекватного представления, которое может быть получено только кодировкой в ЕЯ. Второе, существует множество понятий, которые имеют уровень абстракции, препятствующий визуальному представлению, например, *политика* или *возрождение*, *материализм* или *схоластика*. И последнее, культурные различия могут приводить к различным уровням понимания определенных понятий. Например, базовое изображение для понятия *дом* может отличаться в разных странах.

1. Типология ТТР-систем

Любая ТТР-система реализует три этапа работы:

- Анализ входного текста.
- Выделение графических описателей, соответствующих представлению входного текста.

- Синтез изображения.

Существующие (и разрабатываемые) ТТР-системы отличаются друг от друга в зависимости от имеющихся средств реализации каждой составляющей (и области приложения).

Если анализатор текста реализует только выделение ключевых слов и фраз, важных для «рисования», то в этом случае графическими описателями являются понятия, соответствующие лексемам или стандартным формам словосочетаний, с которыми связаны заранее выделенные изображения из коллекции изображений. Тогда синтез изображений по тексту заключается в выборе из коллекции соответствующих картинок (фотографий) и их компоновки на поле визуализации в зависимости от строя ЕЯ-предложений.

По этой стратегии строятся дуальные словари, которые комбинируют для основных понятий лингвистическое представление и представление в картинках (например, система PicNet [Mihalcea et al., 2009]). Или системы «усиления» коммуникации, где основной акцент сделан на выделение блоков изображений и их разбивки в зависимости от структуры текста и общих правил расположения для того, чтобы сделать картинку интуитивно «читательной». [Zhu et al., 2007].

Для конвертирования текста на ЕЯ в графическую сцену необходим уже синтаксический и семантический анализ текста. Примером такой системы является система WordsEye [Coyne et al., 2001].

Преобразование текста в динамическую 3D сцену (например, для графического реконструкции дорожно-транспортного происшествия по его естественно-языковому описанию) требует модуль извлечения из текста информации, существенной для визуализации данных, и модуль визуализации, который интерпретирует эти данные и показывает в динамике трехмерную сцену ДТТ (система CarSim [Svensson et al., 2002]).

Из современных отечественных разработок интересны подходы, развитые в работах [Усталов и др., 2012; Ермилов, 2007]. В этих подходах декларируется обработка естественного языка, использование онтологий и синтез графики. Информационные ресурсы системы ТТР системы Utkus [Усталов и др., 2012] разделяются на онтологию, тезаурус, правила изображения (depiction rule — правило преобразования семантического элемента в графический описатель), и галерею графических примитивов. Основными элементами онтологии являются акторы (actor – узел-оператор), которые имеют свойства (цвет, размер и т.п.) и имеют методы — функции, определённым образом изменяющие свойства акторов: *падать*, *лежать* и др. Слова и семантические отношения между ними представлены в тезаурусе. К каждому слову в

тезаурусе может быть привязано несколько графических примитивов из галереи. Онтология содержит в себе класс Actor, экземпляры которого привязываются к синсетам тезауруса [синсет, sunset — множество синонимов]. Таким образом, для каждого набора синсетов может быть задан экземпляр класса Actor со специфичными для него свойствами. Для экземпляров класса Actor описаны свойства – объекты, привязанные к глагольным синсетам в тезаурусе, выражающие всевозможные отношения между акторами, например, *fall(actor)* и *fallTo(actor1 actor2)*. Для экземпляров класса Actor описаны свойства-значения, выражающие параметры этих акторов, например, *position* и *rotation*.

Интеграция лингвистической трансляции с онтологиями и средствами визуализации является сложной проблемой, требующей комплексного подхода [Курбатов и др., 2011]. Если программные средства визуализации получили достаточное развитие, количество онтологий весьма велико, обработка естественного языка достигла определенного уровня, то интеграция в рамках целостной системы пока далека от концептуальной и технологической зрелости. Отдельные аспекты этой проблемы исследованы в работах [Курбатов и др., 2012; Литвинович, 2013; Khakhalin et al., 2012].

В большинстве ТТР систем изображение составляется путём комбинации готовых изображений из библиотек, подобранных и взаимно расположенных по смыслу исходного естественно языкового описания. Недостатком такого подхода является его фиксированность - в подобных системах нельзя сгенерировать произвольное изображение вне библиотеки готовых картинок (галереи графических изображений) [Goldberg et al., 2009; Rouhizadeh et al., 2012; Yamada et al., 1992; [Coyne et al., 2001]; Li et al., 2008].

2. Система LAT&CSI

Система LAT&CSI (Language Analyzes of Text & Conceptual Syntheses of Images) представляет собой ТТР-систему синтеза изображений по ЕЯ-выражениям через общую, интегрированную онтологию предметной области.

Блок-схема системы LAT&CSI представлена на рис. 1.

Такой выбор схемы определен проектом, интегрирующим системы анализа/синтеза ЕЯ-текста и изображений на основе общей предметной онтологии [Khakhalin et al., 2012].



Рисунок 1 – Схема-схема системы LAT&CSI

В LAT&CSI процесс синтеза изображения по тексту проходит в три этапа:

- лингвистический анализ исходного текста — разбиение текста на составляющие, его морфологическая и синтаксическая разметка, а также получение семантического представления текста;
- генерация набора графических описателей, соответствующих семантическому представлению исходного текста;
- синтез изображения — построение растрового изображения на основе множества графических примитивов, расположенных в соответствии с описателями исходного текста.

Хотя это и стандартные этапы ТТР-системы, однако, развиваемый в данной работе подход отличается большей общностью, наличием онтологии и возможностью действительного синтеза изображений с вкраплениями готовых картинок.

2.1. Лингвистический анализ предметно-ориентированного креолизованного текста

Креолизованный текст характеризуется сочетанием вербализованных и невербализованных (иконических) компонентов, что наблюдается в научных и особенно научно-технических текстах. К иконическим элементам в этих текстах относятся таблицы, символические изображения, формулы и т.п. С учетом такой специфики лингвистический анализ предложений креолизованного текста реализуется полным морфологическим анализом и редуцированным и контекстно-ориентированным семантическим анализатором, который по мере необходимости вызывает синтаксический анализатор.

Для лингвистического анализа креолизованных текстов нет необходимости проводить полный и последовательный синтаксический разбор предложения. Поэтому выбрана семантически-ориентированная архитектура лингвистического анализа, которая подключает соответствующий синтаксический компонент в зависимости от неопределенности и сложности самого текста.

Примером текста на предметно-ориентированном креолизованном естественном языке может быть следующее описание:

Арматура типа В с числом блоков 5. В точке 0 арматуры присоединена цистерна Tank_V через точку 0. К цистерне прикреплен солнечная панель типа С, точки сцепления 1 и 0. В точке 1 арматуры присоединена вторая цистерна Tank_V через точку 0. Через точку 16 с арматурой сцеплен стыковочный элемент типа В, точка сцепки 0. Переходник типа В соединен с арматурой, точки сцепки 8 и 0, соответственно. Через точки 1 и 0 к переходнику подцеплена арматура типа В с числом блоков 2. На эту арматуру подцеплены три стыковочных элемента типа Б, точки сцепки 2:0, 3:0 и 6:0 соответственно.

В рамках данной работы реализован работоспособный вариант лингвистической трансляции, описание которого дано ниже. Однако помимо этого варианта разработаны и реализованы элементы лингвистического обеспечения, непосредственно не включенные в текущую версию трансляции. В то же время это обеспечение является весьма важным для снятия ряда ограничений на используемый язык при предполагаемом дальнейшем развитии системы.

Реализованная версия лингвистической трансляции основана на базе концепции, аналогичной известному методу перифразирования, развитому в лаборатории Апресяна [Апресян и др., 1988] и адаптированной для данной системы.

Версия использует следующие основные ограничения на входной язык:

- каждый объект со свойствами задается именной группой, где имя объекта стоит в начале, а далее следуют свойства со значениями;
- каждое сцепление объектов описывается в отдельном предложении;
- новым считается объект либо впервые упомянутый, либо которому предшествует слово типа “новый” или “другой”. В противном случае объект считается последним ранее упомянутым;
- точки сцепления задаются явно;
- при описании множества объектов, сцепленных с другим, указывается количество объектов, а их типы и точки сцепления задаются непрерывным списком.

Вводится понятие канонического (стандартного) описания объектов и их сцеплений. Исходный текст, описывающий конструкцию, с помощью последовательного (многократного) применения правил перифразирования приводится к каноническому виду. Достоинством такого метода является наглядность процедуры перифразирования, позволяющей на каждом шаге контролировать процесс обработки (выдача диагностики на естественном языке), что существенно облегчает отладку.

2.2. Прикладная онтология

Разрабатываемая онтология характеризуется комплексом отличительных свойств:

- Естественно-языковой интерфейс для редактирования и доступа.
- Средства автоматизированного пополнения онтологии путем сканирования произвольных текстов ЕЯ.
- Наличие априорной модели высокоуровневых знаний и ее программная поддержка.
- Использование гиперграфовой организации знаний.

Онтологическое представление визуализируемых объектов базируется на языке представления знаний (ЯПЗ), позволяющем описывать сущности с помощью структурированной

семантической сети и гиперграфов [Хахалин, 2009]. На этом языке описываются как предметные сущности (визуализируемые объекты), так и результаты лингвистической трансляции.

Предполагаемая для использования онтология обладает достаточным для целей данного исследования набором функциональных возможностей – создание вершин семантической сети, свойств/значений вершин, отношений между вершинами, операциями редактирования и т.д. Механизмы работы с онтологией позволяют описать в предметно-ориентированной онтологии визуализируемые объекты с учетом наследования свойств, корректности устанавливаемых между объектами отношений и т.д. Инструментальная СУБД (Progress) обеспечивает развитые средства индексации и быстрого создания приложений для отладки декларированной технологической цепочки: естественный язык → онтология → синтез и визуализация объекта.

2.3. Концептуальный синтез изображений

Основная задача интерфейса между онтологией и визуализацией:

- вычленив из онтологического описания информацию, необходимую для визуализации;
- сформировать по этой информации программу на GRASP (см. ниже);
- вызвать интерпретатор GRASP для выполнения собственно визуализации.

Язык алгоритмического описания графики GRASP (GRAphics Situation Planner) [Литвинович, 2012] обладает следующими характеристиками, совокупность которых отличает его от наиболее известных программных средств для визуализации:

- Повышенный уровень описаний, ориентация на элементы вида "объект", "отношение", "свойство".
- Тесное взаимодействие с онтологией.
- Адаптивность и расширяемость.

Подчеркнем, что описание изображения на естественном языке не влечет автоматически наличие высокого уровня представления. "Понятность" описания естественный язык обеспечивает, а вот "высокий уровень" не обязательно. Например, описание изображения на естественном языке в виде множества фраз типа "Точка N125 объекта имеет координаты $X = 2543$, $Y = 5439$, $Z = 8799$, и синий цвет" понятно большинству носителей языка, но оно отнюдь не является высокоуровневым.

Разумеется, это связано с универсальностью естественного языка, допускающего описание изображения на любом уровне сложности. Выбор же блоков, обеспечивающих разумный компромисс между универсальностью и высоким уровнем описания, является весьма нетривиальной задачей. Предлагаемый в языке GRASP подход разбивает эту задачу на две подзадачи, два подуровня,

описываемых разными способами [Литвинович, 2013].

Первый подуровень образует Д-язык, описывающий конструкцию из достаточно крупных объектов, связанных отношением "сцепление". Физически это отношение интерпретируется как прочная скрепленность объектов, образующих единое целое. Это отношение имеет более общий характер, чем отношения типа "находится справа" ("находится над" и т.д.). Действительно, если два сцепленных объекта вращаются как целый объект, то перечисленные выше отношения изменяются во времени, а отношение "сцепление" сохраняется.

При этом эти крупные объекты рассматриваются как экземпляры классов, обладающие набором различных свойств (не выходящих за пределы, определенные классом). Эти свойства могут задавать размеры объектов, особенности формы, цвет, элементы текстуры и т.д. Специальное свойство – "точка сцепки" определяет локализацию и особые характеристики (тип, ориентация) отношения "сцепление". При формировании этих экземпляров выполняется обращение к П-языку, с указанием имени класса и конкретного набора характеристик.

П-язык образует второй подуровень описания и для каждого класса содержит стандартные выполняемые операторы (например, оператор цикла – for $i = \dots$). В результате выполнения операторов формируется конкретный экземпляр объекта визуализации. Базовые элементы нижнего уровня включают цилиндр, дуга и т.д., служащих минимальными блоками для формирования экземпляра класса. Детали и нюансы, связанные с группировкой, категориями и особенностями анимации графического объекта, приводятся в описании П-языка.

Наличие этих под-языков позволяет, с одной стороны, предложить весьма высокий уровень описания, а с другой стороны, обеспечить большое разнообразие изображений. Это разнообразие тем больше, чем удачнее выбраны базовые объекты и чем мощнее комбинаторика значений синтезируемых объектов.

GRASP – полноценный язык программирования с синтаксисом, результат интерпретации которого визуализируется средствами OpenGL. Процедурная часть (П-язык) задаёт алгоритм синтеза объекта, по элементам которого он синтезируется; декларативная часть (Д-язык) задаёт связи (сцепки) между элементами и параметры элементов для процедурной части.

3. Эксперименты

Эксперименты велись в двух направлениях, одно связано с синтезом графического объекта по описанию на предметно-ориентированном ЕЯ, другое – с визуализацией разных композиций.

3.1. Конструирование объекта по ЕЯ-описанию

Для экспериментов была выбрана предметная область, содержащая классы объектов, ориентированных на визуализацию. Каждый объект имеет свойства и может находиться в отношении с другими объектами. Объекты и их свойства имеют естественно-языковые описания: *арматура, цистерна, адаптер, переходной элемент, число блоков, радиус* и т.п. Основным отношением между объектами является *сцепление*. Каждый объект имеет несколько точек, через которые осуществляется сцепление. К каждой точке может быть подцеплен только один объект. В онтологии классы объектов представлены концептами, допускающими произвольные свойства и отношения, а не только те, которые доступны для визуализации.

Приведенный в разделе 2.1 текст является одним из реальных тестовых примеров, демонстрирующих возможности лингвистического транслятора и языка GRASP. Синтезированное по этому описанию изображение и текст на GRASP приведены на рис. 2. Ряд других тестовых примеров и возможности лингвистической адаптации приведены в [Сайт результатов экспериментов, 2013]. В частности, средства лингвистической адаптации позволяют пользователю вводить конкретную перифразировку, по которой система формирует новое обобщенное правило перифразирования.

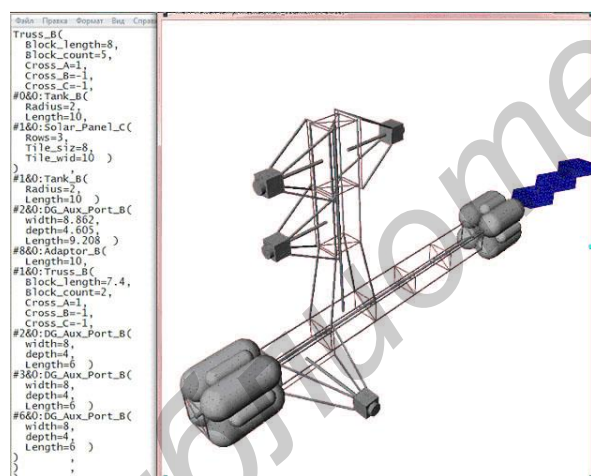


Рисунок 2 – Текст на языке GRASP и результат статической визуализации

3.2. Создание графических композиций

Как отмечалось выше, в большинстве ТТР-систем изображение составляется путем комбинации готовых изображений из библиотек, подобранных и взаимно расположенных по смыслу исходного естественно языкового описания.

Система концептуального синтеза, представленная в данном исследовании, на наш взгляд позволяет снять некоторые ограничения присущие системам трансляции «ЕЯ → картинка».

На рисунке 3 приведен результат экспериментов

по визуализации композиции, которая может соответствовать предложению на естественном языке: *В центре домик, слева чуть впереди одноколесная тачка, справа от домика большая ромашка.*

Эксперименты показывают, что изображения удовлетворяют, по крайней мере, трем требованиям (точность, разнообразие, компактность), предъявляемым для систем преобразующих слова в изображения.

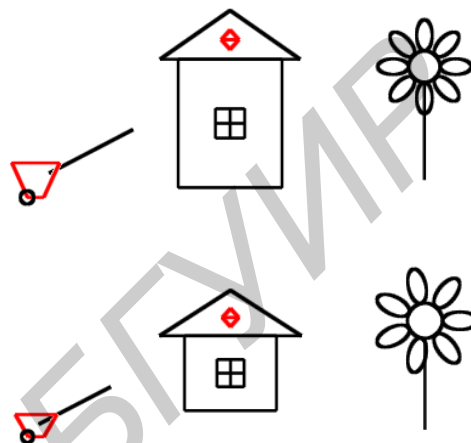


Рисунок 3 – Вариант графической композиции

Каждая графическая композиция представляет собой единое целое (следовательно, к нему можно применять команды сдвига, масштабирования, поворота), что разные композиции могут учитывать различные нюансы ЕЯ-текста (*домик* и *тачка* разных размеров, *цветок* с разным количеством лепестков и т.п.) и что на изображениях нет ничего лишнего. Само же описание на GRASP'e достаточно компактно.

Заключение

Одним из перспективных направлений дальнейших исследований является развитие возможностей данной системы для интеграции с реальными САПР. В этом случае будет интересным как визуализация конструкции по ЕЯ-описаниям из фрагментов технического задания на конструкцию, так и использование онтологии для поиска аналогичных конструкций.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 12-07-00531а.

Библиографический список

- [Coyne et al., 2001] Bob Coyne and Richard Sproat. Wordseye: an automatic text-to-scene conversion system. In Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 487-496. ACM Press, 2001
- [Goldberg et al., 2009] Goldberg A., Rosin J., Zhu X. Dyer C. Toward Text-to-Picture Synthesis //In NIPS 2009 Mini-Symposia on Assistive Machine Learning for People with Disabilities. — 2009.
- [Khakhalin et al., 2012] Khakhalin G., Kurbatov S., Naidenova K., Lobzin A. Integration of the Image and NL-text Analysis/Synthesis Systems. In book: "Intelligent Data Analysis for

Real-Life Applications: Theory and Practice" (Eds. Rafael Magdalena at al.) – USA: IGI Global, 2012.

[Li et al., 2008] Haojie Li, Jinhui Tang, Guangda Li, Tat-Seng Chua. Word2Image: Towards Visual Interpreting of Words. School of Computing, National University of Singapore // MM'08, October 26–31, 2008.

[Mihalcea at al., 2009] Rada Mihalcea, Chee Wee Leong. Toward communicating simple sentences using pictorial representations. Springer Science+Business Media B.V. 2009.

[Rouhizadeh at al., 2012] Masoud Rouhizadeh, Richard Sproat, Bob Coyne. Collecting Spatial Information for Locations in a Text-to-Scene Conversion System. Department of Computer Science, Columbia University, 2012.

[Svensson et al., 2002] Hans Svensson & Ola Akerberg. Development and Integration of Linguistic Components for an Automatic Text-to-Scene Conversion System. Department of Computer Science Lund Institute of Technology, Sweden, August 2002.

[Yamada et al., 1992] Atsushi Yamada et al. Reconstructing Spatial Image from Natural Language Texts // Proc. OF COLING-92, NANTES, AUG. 23-28, Kyoto University, Japan, 1992, 1279-1283.

[Zhu at al., 2007] Zhu X., Goldberg A., Eldawy M., Dyer C. A text-to-picture synthesis system for augmenting communication // Proceedings of The National Conference of the Artificial Intelligence. — 2007. — Vol.22 — P.1590–1595.

[Апресян и др., 1988] Апресян Ю.Д. и др. Лингвистическое обеспечение системы ЭТАП-2 - М.: Наука, 1988.

[Дональд и др., 2005] Дональд Херн, М. Паулин Бейкер. Компьютерная графика и стандарт OpenGL = Computer Graphics with OpenGL. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1168 с.

[Ермилов, 2007] Ермилов В. В. Вариационное параметрическое геометрическое моделирование в САПР на основе онтологий, Дис. . канд. техн. наук – Н.Новгород, 2007. - 170 с.

[Курбатов и др., 2011] Курбатов С.С., Литвинович А.В., Хахалин Г.К. Синтез визуальных объектов по естественно-языковому описанию // Труды второй Международной научно-технической конференции «Компьютерные науки и технологии» (КНиТ-2011). – Белгород: БГУ, 2011. С. 595-600.

[Курбатов и др., 2012] Курбатов С.С., Литвинович А.В., Лобзин А.П., Хахалин Г.К. Концептуальный синтез графических образов по структурам прикладной онтологии // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2012), Т. 2.. – Белгород: БГУ, 2012. – С. 120-127.

[Литвинович и др., 2011] Литвинович А.В., Курбатов С.С., Хахалин Г.К. Синтез выражений русского жестового языка по естественно языковому тексту // XIV международная конференция «Речь и компьютер». SPECOM-2011. – Казань, 2011, С. 420-425.

[Литвинович, 2012] Литвинович А.В. Язык описания графических объектов GRASP // ейрокомпьютеры: разработка, применение, № 10, 2012, С. 26-30.

[Литвинович, 2013] Литвинович А.В. Система синтеза изображений по тексту на естественном языке // Динамика сложных систем — XXI век, № 1, 2013, С. 65-68.

[Сайт результатов экспериментов, 2013] – Электронный ресурс: <http://www.eia-dostup.ru/RFFI-12-14.htm>.

[Усталов и др., 2012] Усталов Д., Кудрявцев А. Применение онтологии при синтезе изображения по тексту, ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 2012.

[Хахалин, 2009] Хахалин Г.К. Прикладная онтология на языке гиперграфов // Труды второй Всероссийской Конференции с международным участием "Знания-Онтологии-Теории" (ЗОНТ-09), Новосибирск, 2009, с. 223-231.

TEXT-TO-PICTURE SYSTEM: INTEGRATION OF NATURAL LANGUAGE AND IMAGES

Kurbatov S.S. *, Litvinovich A.V. **,

Lobzin A.P. *, Khakhalin G.K. *

* *Research Centre of Electronic Computing Engineering, Moscow, Russia*

curbatow.serg@yandex.ru

lobzin@rambler.ru

gkhakhalin@yandex.ru

** *“Telecom-Guard”, Moscow, Russia*

artlav@land.ru

Subject of this work is the problem of synthesizing images by description in natural language. We describe the stages in conversion of natural language expression into the corresponding image. Among them is the description and specifics of GRASP algorithmic image description language – a high level image description language, designed for extensibility and ease of integration with applied ontologies. We also describe the results of the object modeling and image composition construction experiments, performed with the said system

Introduction

Importance of image synthesis from natural language description lies in multitude of tasks where the obviousness and appearance of the data, represented by textual information, is important. We provide the typology of TTP systems and outline the stages of the system for image synthesis from natural language texts.

Main Part

Synthesis of image from text consists of three stages. Linguistic analysis of the input text; generating a set of graphical descriptors, corresponding to the semantic presentation of the input text; constructing an image based on a set of graphical primitives, positioned based on the descriptors from the input text.

Implemented version of the linguistic analysis is based on the known concept of rephrasing, adapted for the given task.

Ontological presentation of the synthesized objects is based on a knowledge representation language that allows object description in structured semantic networks and hypergraphs.

An algorithmic graphics description language, GRASP, was developed for the image synthesis subsystem. It converts the part of the ontological description that is graphically interpretable into an intermediate vector representation, compatible with OpenGL graphics system. Procedural part of GRASP describes a parametric algorithm for synthesizing an element; the declarative part defines the relations between elements, and their parameters.

In the experimental section we provide the results for modeling an object and for image composition.

Conclusion

We consider intellectual-assist virtual prototyping to be one of the promising applications for this class of systems and research.