



OSTIS-2011

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.892.2

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ПО ГЕОМЕТРИИ

И.Т. Давыденко, В.А. Житко, С.С. Заливако, Д.Н. Корончик, С.Г. Мошенко,
О.Ю. Савельева, С.С. Старцев, Д.В. Шункевич

(*ir.davydenko@gmail.com, zalivako@mail.ru, denis.koronchik@gmail.com,
galahard@tut.by, SavelyevaOY@mail.ru, ai@programist.ru, shu.dv@tut.by*)

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г.Минск, Республика Беларусь*

В работе приводится описание интеллектуальной справочной системы по геометрии, спроектированной на основе открытой семантической технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем.

Ключевые слова: интеллектуальная система, база знаний, поисковая операция по базе знаний, интеллектуальный решатель задач.

Введение

Одной из современных тенденций развития прикладных интеллектуальных систем является реализация интеллектуальных справочных систем, способных отвечать на различные свободно конструируемые вопросы пользователя, а также решать задачи из соответствующей предметной области. Такие системы составляют важный класс систем, осуществляющих информационное обслуживание пользователя [Рассел, Норвиг 2006], [Нильсон, 1973].

В работе рассматривается проектирование интеллектуальной справочной системы по геометрии, которая разработана на основе комплексной открытой технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems) [OSTIS, 2010].

Целью работы является разработка интеллектуальной справочной системы по геометрии, основанной на технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS.

В соответствии с технологией для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать базу знаний интеллектуальной справочной системы по геометрии [Гаврилова и др., 2001];
- разработать поисковую машину обработки знаний интеллектуальной справочной системы по геометрии;
- разработать интеллектуальный решатель задач интеллектуальной справочной системы по геометрии;
- разработать пользовательский интерфейс интеллектуальной справочной системы по геометрии [Голенков и др., 2001].

Система по геометрии имеет 2 версии реализации. Первая версия системы реализуется в виде семантически структурированного гипертекста в среде MediaWiki на SCn-коде [OSTIS, 2010] с гипертекстовой навигацией. Вторая версия системы представлена в виде семантической сети с интеллектуальным поиском, решателем задач и пользовательским интерфейсом.

Рассмотрим каждый из компонентов интеллектуальной справочной системы по геометрии.

1. База знаний интеллектуальной справочной системы по геометрии

Согласно предлагаемой методике проектирования баз знаний [OSTIS, 2010], проектирование базы знаний происходит в несколько этапов и итерационно, в ходе каждой итерации база знаний пополняется новой информацией.

В качестве предметной области была выбрана Геометрия [Метельский, 1982], [Столяр, 1982], [Столяр, 1987], т.к. она является статичной предметной областью, хорошо описана в различных источниках, а также имеет большие возможности представления иллюстративного материала.

В предметной области геометрии исследуемыми объектами являются геометрические фигуры и пространственные отношения между ними. Исходя из этого, семантическая сеть, которая представляет собой информационную модель описываемой предметной области, включает следующие ключевые узлы, являющиеся классами объектов исследования геометрии: геометрическая фигура, точка, отрезок, луч, линия, плоскость, многоугольник, треугольник, четырехугольник и др. К ключевым узлам, являющимися отношениями и составляющими предмет исследования, относятся: параллельность, перпендикулярность, пересечение, конгруэнтность, сторона, внутренний угол, лежать между, лежать против, вписанность и др.

Исходя из тесториентированности семантической технологии проектирования баз знаний, на первом этапе разрабатывается тестовый сборник вопросов для проектируемой предметной области, что предполагает выделение семантически полного набора вопросов, ответы на которые должны содержаться в первой версии базы знаний.

Ниже представлен фрагмент тестового сборника вопросов, разработанный для ИСС (интеллектуальной справочной системы) по геометрии.

Выделены следующие классы вопросов:

- Запросы основных свойств заданного объекта
 - Какими свойствами обладают прямоугольные треугольники
- Сколько-вопросы
 - Какова (чему равна) площадь Треугольника (ТА,,ТВ,,ТС)
 - Каково (чему равно) расстояние между точкой ТА и точкой ТВ
- Запросы минимального высказывания (минимального фрагмента базы знаний), описывающего семантически значимую связь между всеми объектами заданного множества объектов
 - Как связаны между собой понятия луча и прямой
- Запросы пар высказываний, описывающих сходные (похожие, аналогичные) свойства заданных двух объектов
 - В чем заключается сходство Понятия отрезка и Понятия плоского угла
- Запросы одноуровневой классификации заданного множества
 - Как разбивается (классифицируется) Понятие треугольника
- Запросы всех известных подмножеств заданного множества
 - Какие классы геометрических фигур являются подклассами Класса планарных фигур (т.е. классами, которые являются подмножествами Множества всевозможных планарных фигур)
 - Какие множества являются подклассами Отношения конгруэнтности
- Запросы надмножеств заданного множества
 - К каким классам геометрических фигур относится трапеция
- Запросы признаков классификаций заданного множества
 - По каким признакам осуществляется разбиение (классификация) множества треугольников
- Вопросы на распознавание всех объектов, принадлежащих заданному конечному множеству объектов
 - Каким классам геометрических фигур принадлежат фигуры, изображенные на указанном чертеже
- Запросы отношений, имеющих заданную область определения
 - Для каких отношений Множество отрезков является областью определения

- Запросы отношений, области определения которых являются надмножествами заданного множества
 - Привести отношения, заданные на Множестве прямых
 - Привести отношения, заданные на Множестве треугольников
- Запросы отношений, доменами которых по заданному атрибуту является заданное множество
 - Для каких отношений Множество отрезков является доменом по некоторому атрибуту
- Запросы высказываний, описывающих необходимые условия принадлежности заданному понятию
 - Какие высказывания описывают необходимые условия принадлежности произвольных объектов Понятию правильного многоугольника
- Запросы правила (способа) однозначного задания объектов, принадлежащих заданному понятию
 - Что однозначно задает любую прямую
- Запросы полной семантической окрестности указываемого элемента базы знаний
 - Что такое Понятие треугольника
- Запросы объектов, семантически смежных заданному
 - Как связана геометрическая фигура, указываемая на геометрическом чертеже, с другими фигурами, изображенными на этом же чертеже
- Запросы элемента базы знаний, аналогичного заданному, вместе с парой высказываний, уточняющих аналогичность заданного и запрашиваемого элемента
 - Что является аналогом Понятия стороны
- Запросы элемента базы знаний, являющегося антиподом заданному элементу
 - Что является антиподом Понятия закрытая полуплоскость
- Верно-ли-вопросы
 - Истинным ли является высказывание: Существует окружность и касательная к ней прямая, которые имеют по крайней мере две общие точки
- Почему-вопросы
 - Почему справедлив первый признак равенства треугольников

На все вопросы, входящие в указанный сборник, записываются ответы, тем самым будет формироваться первая версия базы знаний. В процессе записи ответов на вопросы на формальном графовом языке SCg (Semantic Code graphical) [Голенков и др., 2001], [OSTIS, 2010] выделяются ключевые узлы описываемой предметной области.

Рассмотрим процесс формализации ответа на вопрос: «К какому классу треугольников относится треугольник, один из углов которого 90 градусов?».

Для того, чтобы определить класс треугольника, необходимо знать классификацию треугольников по признаку величины углов. Выделяют следующие классы треугольников в зависимости от величины углов: остроугольный треугольник, тупоугольный треугольник, прямоугольный треугольник.

Для формализации данного фактографического высказывания необходимо выделить следующие ключевые узлы: «треугольник», «остроугольный треугольник», «тупоугольный треугольник», «прямоугольный треугольник», «разбиение*» (теоретико-множественное отношение).

Формальная запись данного высказывания представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация треугольника по величине углов

Далее необходимо дать определения понятиям «остроугольный треугольник», «прямоугольный треугольник» и «тупоугольный треугольник». Определения понятий «остроугольный треугольник», «прямоугольный треугольник» и «тупоугольный треугольник» на формальном языке представлены на рисунках 2, 3 и 4 соответственно.

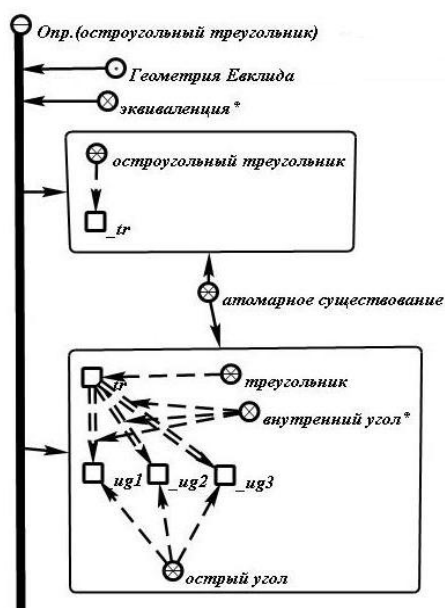


Рисунок 2 – Определение остроугольного треугольника

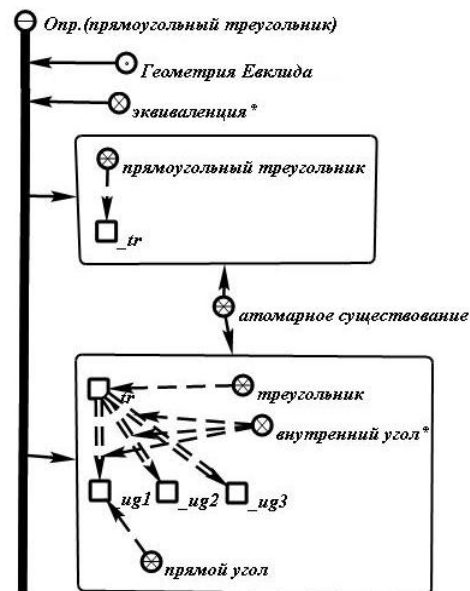


Рисунок 3 – Определение прямоугольного треугольника

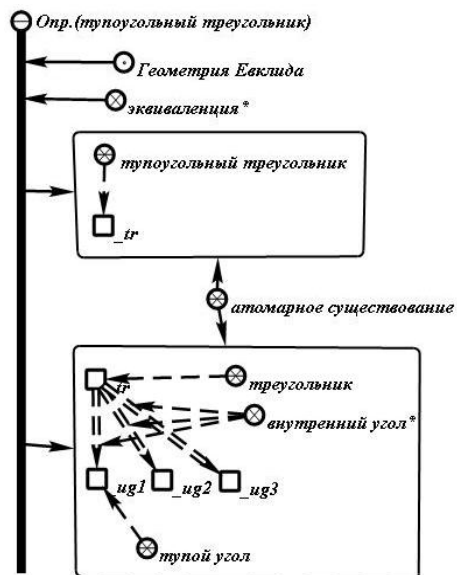


Рисунок 4 – Определение тупоугольного треугольника

Таким образом, формируется стартовая версия базы знаний, представляющей собой формальные записи ответов на все вопросы из тестового сборника.

Рассмотрим предметную область как совокупность некоторых более частных предметных областей, каждая из которых представляет собой набор ключевых понятий и отношений между ними. В Геометрии была выделена следующая иерархия частных предметных областей.

- Ядро геометрии – описывает основные понятия, лежащие в основе Геометрии
- Планиметрия – описывает теорию планарных геометрических фигур

- Теория прямолинейных фигур
- Теория многоугольников
 - Теория треугольников
 - Теория остроугольных треугольников
 - Теория прямоугольных треугольников
 - Теория тупоугольных треугольников
 - и другие
 - Теория четырехугольников
 - Теория правильных четырехугольников
 - Теория квадратов
 - Теория неправильных четырехугольников
 - Теория прямоугольников
 - Теория ромбов
 - и другие
- Теория кругов и окружностей
- Стереометрия – описывает теорию непланарных геометрических фигур
 - Теория плоскости в пространстве
 - Теория многогранников
 - Теория пирамид
 - Теория параллелепипедов
 - и другие
 - Теория шара
 - Теория конусов
 - и другие
- Тригонометрия – описывает тригонометрические функции и их приложения к Геометрии
 - Теория синусов
 - Теория косинусов
 - Теория тангенсов
 - и другие
- Аналитическая геометрия – описывает свойства геометрических фигур с точки зрения алгебры.

Рассмотрим дальнейшие этапы проектирования базы знаний ИСС по геометрии на примере раздела, описывающего Теорию треугольников.

После построения иерархической системы частных теорий, в каждом из разделов уточняется семантическая сеть, т.е. те ключевые понятия, которые описывают рассматриваемую теорию. Для теории треугольников выделены следующие понятия: треугольник, остроугольный треугольник, тупоугольный треугольник, прямоугольный треугольник, равнобедренный треугольник, разносторонний треугольник, равносторонний треугольник, строго равнобедренный треугольник. К ключевым узлам, являющимся отношениями, относятся: сторона, внутренний угол, медиана, высота, биссектриса, средняя линия, серединный перпендикуляр, периметр, площадь, быть вписанным, быть описанным и др.

После выделения ключевых узлов, строится теоретико-множественная онтология понятий. Для этого используются такие теоретико-множественные отношения, как включение, разбиение, пересечение, объединение, принадлежность и др.

На рисунке 5 приведен фрагмент статьи SCn-кода, описывающего Понятие треугольник. На данном рисунке представлены теоретико-множественные отношения Понятия треугольника с другими понятиями рассматриваемой предметной области.

треугольник
 = *Класс треугольников*
 = *Понятие треугольника*
 = *Множество всевозможных треугольников*
 = *Множество знаков всевозможных треугольников*
 = *triangle*
 С *многоугольник*
 С *планарная фигура*
 – Разбиение по признаку *размерности*:
 • *линейный треугольник*
 • *плоский треугольник*
 – Разбиение по признаку *конгруэнтности сторон*:
 • *разносторонний треугольник*
 • *строго равнобедренный треугольник*
 • *равносторонний треугольник*
 – Разбиение по признаку *величины углов*:
 • *остроугольный треугольник*
 • *прямоугольный треугольник*
 • *тупоугольный треугольник*

Рисунок 5 – Фрагмент статьи SCn-кода, описывающий теоретико-множественные отношения Понятия треугольника

На следующем этапе онтология была дополнена определениями каждого из введенных понятий. Каждое определение было проанализировано на предмет того, какие ключевые понятия входят в определение указанного понятия. Такие понятия будем называть используемыми в определении константами. Основываясь на данной информации была построена логико-иерархическая система понятий Геометрии. В ней выделены понятия нулевого логического уровня (или неопределяемые понятия), к ним относятся понятия геометрической точки, прямой, линии, лежат между, конгруэнции и др. Понятия 1-ого логического уровня – это понятия, в основе определения которых лежат неопределяемые понятия, к таким понятиям относятся понятия геометрической фигуры, луча, конгруэнтности и др. Таким образом, понятия более высоких логических уровней определяются через понятия более низких логических уровней.

На рисунке 6 приведен фрагмент статьи SCn-кода, описывающий определение и константы, входящие в определение, для Понятия треугольник.

треугольник
 – Определение:
 • *Отр. (треугольник)*
 ≡ [**треугольник** = линейный треугольник ∪ плоский треугольник]
 ≡ [Понятие треугольника является результатом объединения понятия линейного треугольника и понятия плоского треугольника.]
 – Используемые константы:
 • *линейный треугольник*
 • *плоский треугольник*
 • *объединение множестве**
 = *(линейный треугольник ∪ плоский треугольник)*
 = *линейный треугольник или плоский треугольник*
 ∈ *Предметная область Геометрии Евклида в роли понятия 4-го логического уровня*

Рисунок 6 – Фрагмент статьи SCn-кода, описывающий определение Понятия треугольника

На следующем этапе разработки база знаний дополняется выявленными для каждого понятия утверждениями, описывающими свойства понятий, а также их доказательствами и схемами доказательств. Среди утверждений выделяются различные их классы: утверждения определяющего типа (те утверждения, которые наряду с определением определяют описываемое понятие, однако понятия, входящие в это утверждение, ставят описываемое

понятие на более высокий логический уровень в логической иерархии понятий), утверждения об однозначном задании и утверждения, описывающие свойства понятия.

На рисунке 7 приведен фрагмент статьи SCn-кода, описывающий утверждение определяющего типа и утверждение об однозначном задании Понятия треугольника.

треугольник

- Утверждение определяющего типа:
 - *Утв. (треугольник)*
 - ≡ [$ki \in \text{треугольник}$ в том и только том случае, если конъюнкция:
 - $ki \in \text{многоугольник}$;
 - существуют три li такие, что $\langle ki, li \rangle \in \text{сторона}^*$]
 - ≡ [Многоугольник является треугольником в том случае, если у него три стороны.]
- = *многоугольник с тремя сторонами*
- Утверждение об однозначном задании:
 - *Утв. (непрямойлинейная тройка точек, линейный треугольник, плоский треугольник, вершина*)*
 - ≡ [Каждый линейный и каждый плоский треугольник однозначно задается непрямойлинейной тройкой точек, каждая из которых является вершиной этого треугольника.]
 - ≡ [Для каждой непрямойлинейной тройки точек существует единственный линейный треугольник и единственный плоский треугольник, вершинами которых являются указанные три точки.]

Рисунок 7 – Фрагмент статьи SCn-кода, описывающий утверждение определяющего типа Понятия треугольника

На рисунке 8 приведен фрагмент статьи SCn-кода, содержащий утверждения, описывающие свойства Понятия треугольника.

треугольник

- Утверждения:
 - *Утв. (треугольник, тройка точек, вершина*, непрямойлинейная фигура)*
 - ≡ [Для каждого треугольника тройка точек, являющихся вершинами этого треугольника, принадлежит классу непрямойлинейных фигур.]
 - *Утв. (треугольник, внутренний угол*, мера угла*, сумма*)*
 - ≡ [Сумма мер углов треугольника равна 180 угловых градусов.]
 - *Утв. (треугольник, внутренний угол*, острый угол, тупой угол, прямой угол)*
 - ≡ [В любом треугольнике либо все углы острые, либо два угла острые, а третий тупой или прямой.]
 - *Утв. (треугольник, окружность, вписанность*, центр*)*
 - ≡ [Центр окружности, вписанной в треугольник, есть точка пересечения биссектрис треугольника.]
 - *Утв. (треугольник, сторона*, угол многоугольника*, конгруэнтность*)*
 - = *Признак равенства треугольников по 2-м сторонам и углу между ними*
 - ≡ [Если две стороны и угол между ними одного треугольника равны соответственно двум сторонам и углу между ними другого треугольника, то такие треугольники равны (конгруэнтны).]
 - *Утв. (треугольник, сторона*, угол многоугольника*, прилежащий угол*, конгруэнтность*)*
 - = *Признак равенства треугольников по стороне и прилежащим к ней углам*
 - ≡ [Если сторона и прилежащие к ней углы одного треугольника равны соответственно стороне и прилежащим к ней углам* другого треугольника, то такие треугольники равны (конгруэнтны).]

Рисунок 8 – Фрагмент статьи SCn-кода, описывающий утверждения Понятия треугольника

На рисунке 9 в SCg-коде представлена теорема о совпадении медианы, высоты и биссектрисы, проведенных к основанию, в равнобедренном треугольнике.

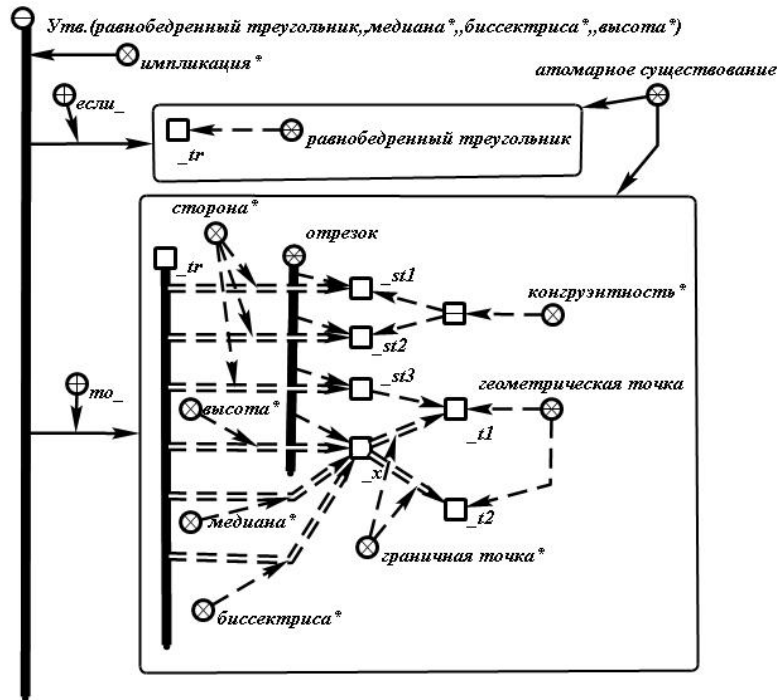


Рисунок 9 – Фрагмент статьи SCg-кода, описывающий утверждение о равнобедренном треугольнике

Все утверждения строятся в логико-иерархическую систему утверждений на основе утверждений, входящих в их доказательство. Выделяют утверждения 0-го логического уровня, или аксиомы (т.е. утверждения, не требующие доказательства), утверждения 1-го логического уровня доказываются на основе аксиом и т.д.

В базе знаний также содержится описание различных классов задач и способов их решений, которые соотносятся между по принципу «общая-частная» задача.

Неотъемлемой частью интеллектуальной системы по Геометрии является использование системы когнитивных иллюстраций [Зенкин, 1991]. Это обусловлено тем что всю предъявляемую пользователю информацию можно разделить на прямую и ассоциативную. Ассоциативная информация – информация, восприятие которой основано на ассоциациях, возникающих у человека под действием ранее усвоенной информации. К этому виду информации можно отнести текст, речь, SCg-конструкции и, возможно, рисунки и мультфильмы. Прямая информация непосредственно передает важные, в том числе и с точки зрения целей обучения, свойства объектов. К такому виду информации могут быть отнесены фотографии, видеофильмы, интерактивные когнитивные иллюстрации, произвольный звук. Из-за того, что практически вся предъявляемая справочной системой по Геометрии информация является ассоциативной, для однозначности восприятия пользователем информации необходимо использовать большое количество когнитивных иллюстраций в различной форме.

Когнитивные иллюстрации классифицируются на статические и динамические. К статическим изображениям относится рисунки, единичные кадры анимированных роликов, анимированные ролики, в которых с течением времени конфигурация изображенных объектов остается неизменной. К динамическим изображениям относятся анимированные ролики, в которых с течением времени происходит изменение конфигурации нарисованных объектов по заранее определенному сценарию.

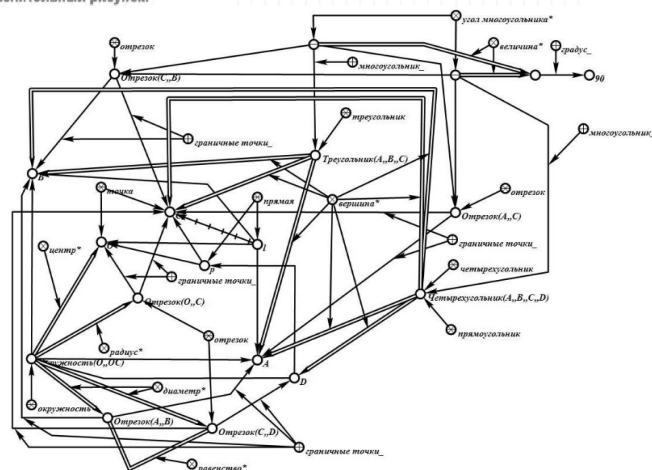
Классификация когнитивных изображений возможна на интерактивные и не интерактивные иллюстрации. Интерактивные когнитивные иллюстрации – иллюстрации, при работе с которыми между пользователем и системой ведется диалог. Результатом диалога является изменение иллюстрации и получение пользователем интересующей его информации или новых

Когнитивные иллюстрации так же классифицируются на трехмерные и двухмерные изображения. Из-за особенности зрения человека любое статическое изображение на экране воспринимается как двухмерное, так как отсутствует стереоэффект. Современные технологии позволяют создавать объемные изображения, но для этого необходимо специальное оборудование. В интеллектуальной справочной системе по геометрии, для создания иллюзии объема изображенного объекта, пользователю предоставлена возможность вращать этот объект.

	Трёхмерные		Двухмерные	
	Статические	Динамические	Статические	Динамические
Не интерактивные	Статическая трехмерная иллюстрация без интерактива	Динамическая трехмерная иллюстрация без интерактива	Статическая двухмерная иллюстрация без интерактива	Динамическая двухмерная иллюстрация без интерактива
Интерактивные	Статическая трехмерная интерактивная иллюстрация	Динамическая трехмерная интерактивная иллюстрация	Статическая двухмерная интерактивная иллюстрация	Динамическая двухмерная интерактивная иллюстрация

Не все когнитивные иллюстрации интуитивно понятны пользователю. Без дополнительной текстовой или аудио информации, поясняющих иллюстрацию, понимание пользователем смысловой нагрузки, которую несут эти иллюстрации, затруднено, поэтому все иллюстрации необходимо дополнять поясняющей информацией.

Пояснительный рисунок:



Доказательство:

- 1) Проведем прямую r через T и O до пересечения с окружностью.
 - 2) Точка D - пересечение прямой r и окружности. Построим BD и AD .
 - 3) $ABCD$ - четырехугольник.
 - 4) Отрезок CD - диаметр.
 - 5) $AB = CD$
 - 6) $ABCD$ - прямоугольник.
 - 7) Угол ACB - прямой в прямоугольнике $ABCD$.
 - 8) Угол ACB - прямой в треугольнике ABC .
 - 9) Треугольник ABC - прямоугольный.
- Теорема доказана.

Теорема доказана.

471

2. Поисковые операции интеллектуальной справочной системы по геометрии

Одним из главных компонентов ИСС, определяющих функциональные возможности конкретной ИСС, являются информационно-поисковые и навигационные операции [Голенков и др., 2001], [OSTIS, 2010].

Перечень информационно-поисковых операций разрабатываются на основе тестового сборника вопросов, приведенного выше. Исходя из тестового сборника вопросов, для системы по геометрии выделены такие поисковые операции, как поиск определения, пояснения, свойств, классификации, примера указанного объекта, поиск высказываний, связанных с указанным объектом, поиск доказательства указанного утверждения и др.

В качестве примера рассмотрим операцию поиска свойств указанного объекта. Под свойством объекта понимается высказывание, в которое явно входит данный объект. Условие выполнения данной операции приведено на рисунке 11.

Операция осуществляет поиск в два этапа. На первом этапе ищется связка отношения основные утверждения*, связывающая указанный объект и множество его свойств. Если такая связка найдена, то происходит генерация ответа, иначе осуществляется переход на второй этап поиска, на котором поиск происходит во множестве всех высказываний заданной теории (узел y_{-}). Каждое высказывание проверяется на наличие в нем искомого элемента (узел x_{-}). Проверка осуществляется посредством рекурсивного просмотра всего высказывания и проверки вхождения искомого элемента в проверяемое множество. При нахождении такого вхождения высказывание добавляется в результирующее множество, а дальнейший его просмотр прекращается. В завершение, операция генерирует в памяти системы полный и краткий ответ.

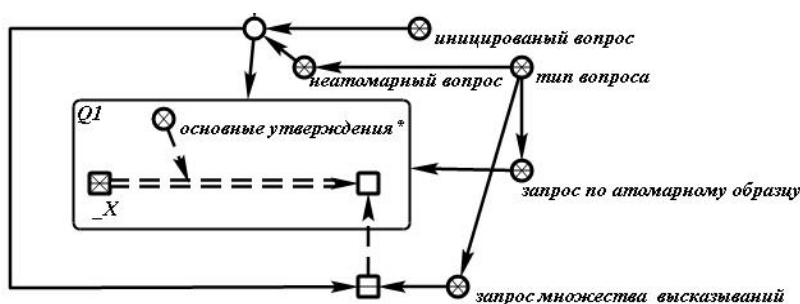


Рисунок 11 - Условие инициализации операции поиска свойств объекта

Примером вопроса, для поиска ответов на который используется данная операция является вопрос «Какими свойствами обладают прямоугольные треугольники».

3. Интеллектуальный решатель задач по геометрии

Рассмотрим процесс проектирования системы операций и использования технологии в рамках интеллектуальной справочной системы по геометрии Евклида [Столяр, 1971], [Поспелов, 1989], [Пойа, 1975].

Так как технология проектирования интеллектуальных решателей задач основана на задачно-ориентированной методологии, то для разработки интеллектуального решателя задач по геометрии необходимо составить классифицированный тестовый сборник задач.

Фрагмент тестового сборника задач приведен ниже:

- Задача поиска обобщения высказывания "Диагонали квадрата равны"
- Задача определения истинности высказывания "Треугольник является равносторонним, если и только если он является равноугольным"

- Задача определения истинности высказывания "Если две параллельные прямые пересечены третьей, то соответственные углы равны"
- Задача определения истинности высказывания "Если две параллельные прямые пересечены прямой, то сумма односторонних углов равна 180° "
- Задача определения истинности высказывания "В треугольнике против большей стороны лежит больший внутренний угол тогда и только тогда, когда против большего внутреннего угла лежит большая сторона"
- Задача определения истинности высказывания "Если в любом треугольнике один из внутренних углов тупой, то два других внутренних угла являются острыми"
- Задача доказательства подобия двух треугольников из трех
- Задача определения истинности высказывания "В прямоугольном треугольнике гипотенуза больше катета"
- Задача определения истинности высказывания "Если два внутренних угла треугольника равны, то треугольник равнобедренный"
- Задача определения истинности высказывания "Сумма двух острых внутренних углов прямоугольного треугольника равна 90° "
- Задача определения значения величины суммы внутренних углов выпуклого пятиугольника.
- Задача определения значения величины внутренних углов параллелограмма при условии, что один из внутренних углов равен 30° .
- Задача доказательства равенства двух треугольников по двум сторонам и углу между ними.
- Задача доказательства равенства двух внутренних углов в равнобедренном треугольнике.
- Задача генерации связки отношения включения на основании его транзитивности между понятиями четырехугольник и квадрат.
- Задача генерации связки отношения на основании его транзитивности между понятиями четырехугольник и квадрат для отношения включения.
- Задача генерации связки отношения (с проверкой о его транзитивности) между понятиями четырехугольник и квадрат для отношения включения.
- Задача генерации всех связок отношения на основании его транзитивности для понятия квадрат для отношения включения.
- Задача определения истинности высказывания "Прямоугольный треугольник вписан в окружность тогда и только тогда, когда данная окружность описана около данного прямоугольного треугольника".

Классификация задач тестового сборника будет выглядеть следующим образом:

- По способу решения:
 - Вычислительные задачи
 - Задачи на доказательство
 - Задачи на построение
 - Задачи на уточнение
 - Комбинированные задачи
- По объекту решения:
 - Точки
 - Прямые и отрезки
 - Треугольники
 - Многоугольники
 - Окружности
 - и другие
- По размерности пространства:
 - Планиметрические
 - Стереометрические

Интеллектуальный решатель по геометрии включает следующие операции:

- операции интерпретатора арифметических выражений:
 - операция сложения
 - операция произведения

- операция возведения в степень
- операция интерпретации арифметического выражения
- операции дедуктивного вывода
 - вывод обобщенного высказывания;
 - операция установления истинности логического высказывания на основании его наличия в базе знаний;
 - генерация определения на основании двух импликаций;
- операции, реализующие продукционную модель
 - генерация знаний на основании определения (эквиваленции);
 - получение значения некоторой продукции;
 - генерация связки отношения на основании логического утверждения;
- операции, реализующие стратегию поиска в глубину
 - операция, организующая поиск в глубину;
 - операция поиска в глубину;
 - операция поиска значения величины;
 - операция поиска формулы.

Рассмотрим пример задачи.

Исходные данные: Треугольник ABC. Длина стороны AB = 9. Длина стороны BC = 12. Длина стороны AC = 15. Задача: Определить площадь треугольника, образованного точками A, B и C.

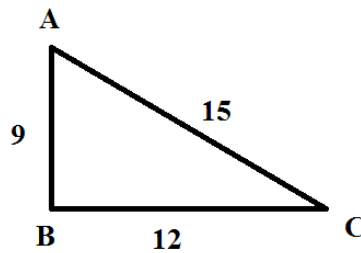


Рисунок 12 – Иллюстрация к задаче

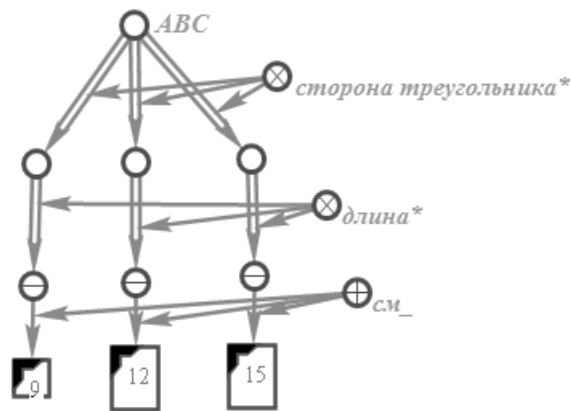


Рисунок 13 – Формальное описание условия задачи

Содержимое базы знаний системы (контекст решения задачи): Формула Герона.

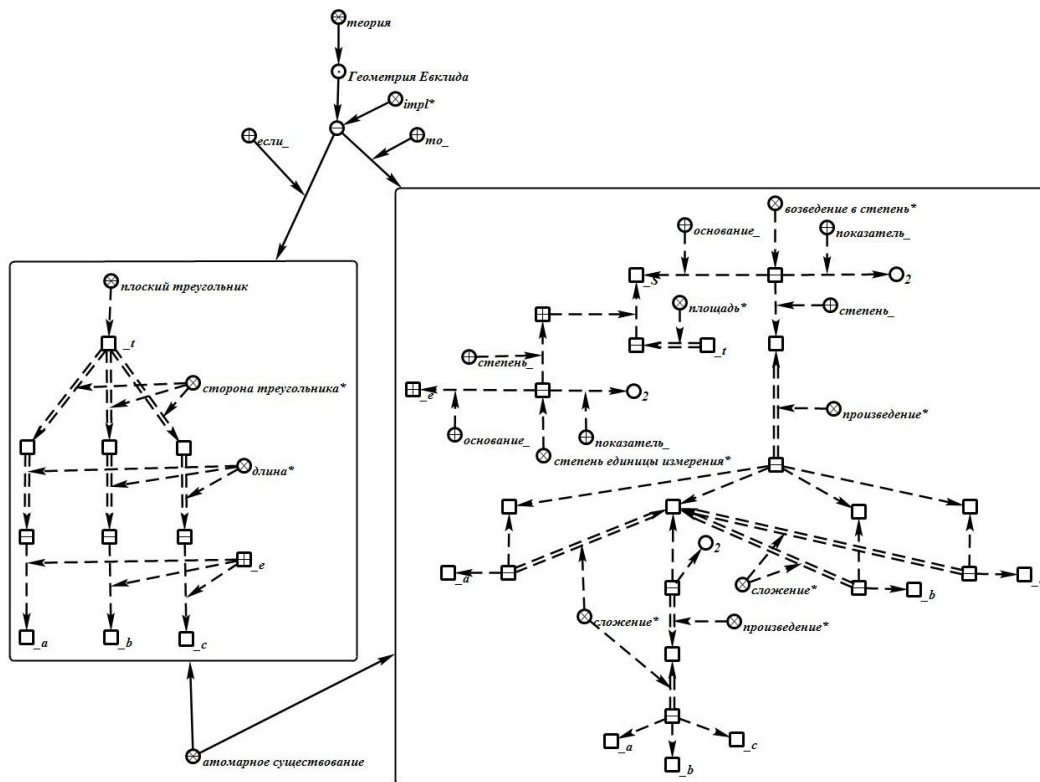


Рисунок 14 – Теорема Пифагора

Для активизации требуемого набора операций необходимо создать в памяти вопросную ситуацию:

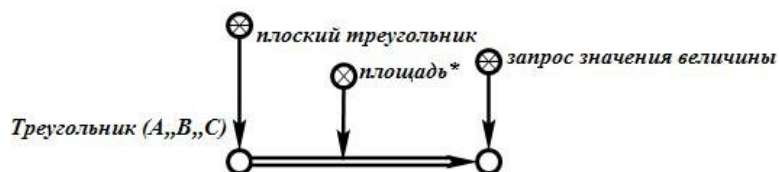


Рисунок 15 – Формат вопроса

Опишем протокол решения вышеописанной задачи. Протокол отражает последовательность запуска и выполнения операций, текущие условия их запуска, а также результаты выполнения каждой из операций.

В памяти появляется конструкция вида:



Рисунок 16 - Запрос значения площади треугольника ABC

Запускаются операции find_value и find_formula, при этом выполнение find_formula завершается, т.к. конструкция не полностью соответствует условиям запуска. find_value проверяет наличие значения указанной величины и, не найдя его, заявляет о его отсутствии:



Рисунок 17 - Результат работы операции find_value

Снова запускаются операции find_value и find_formula, при этом выполнение find_value завершается, т.к. конструкция не полностью соответствует условиям запуска.

Операция find_formula производит поиск в базе знаний подходящей формулы, которая позволила бы вычислить значение требуемой величины у указанного объекта. Под формулой понимается некоторое имплицативное логическое высказывание, справедливое для произвольного класса объектов, которому принадлежит рассматриваемый объект (в данном случае - треугольник), в посылке которого описаны требуемые для вычисления значения, а в заключении – собственно арифметическое выражение, вычисление которого приводит к получению требуемого результата. В данном случае также используется сокращенная форма высказывания о всеобщности, т.е. по умолчанию квантором всеобщности связываются те переменные, которые присутствуют в обеих частях высказывания.

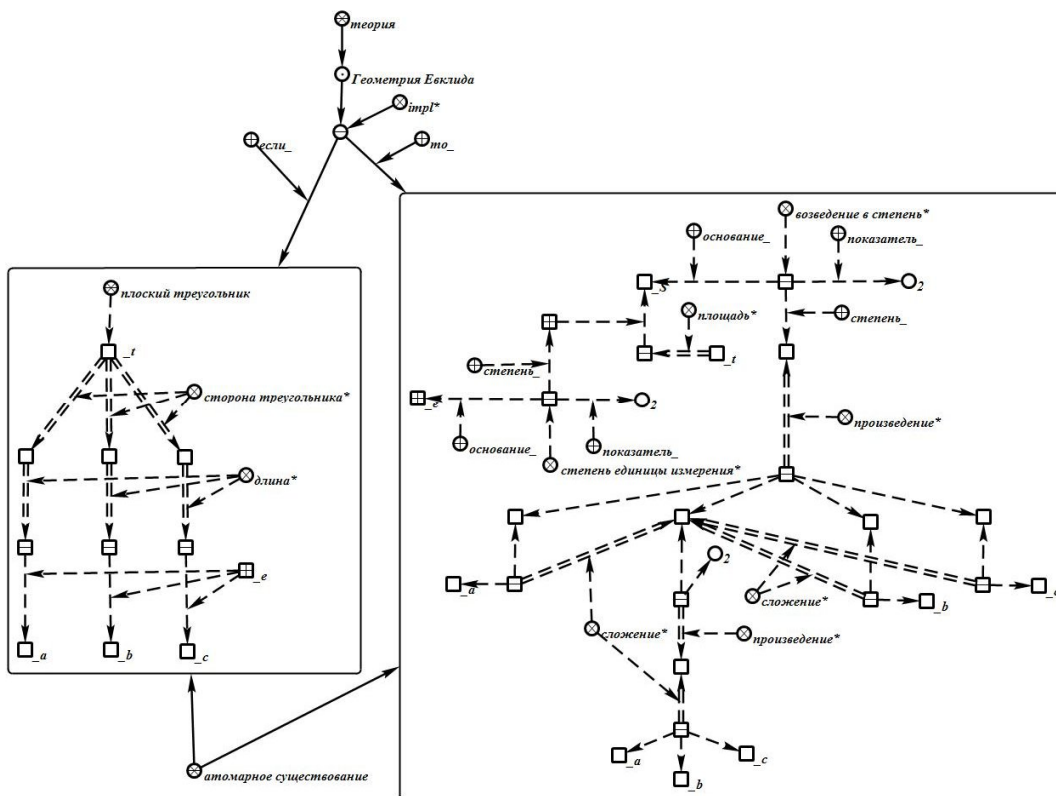


Рисунок 18 - Пример формулы – формула Герона для вычисления площади треугольника

При просмотре каждой из формул производится проверка на соответствие предполагаемого результата желаемому и проверка наличия в базе знаний всей необходимой информации. Например, в данном случае проверяется тот факт, что формула Герона позволяет вычислить именно площадь (а не периметр) треугольника (а не четырехугольника или круга). Далее проверяется тот факт, что в базе присутствуют длины всех трех сторон данного треугольника, что позволит воспользоваться именно формулой Герона. В противном случае перебор формул продолжается. В данном случае перебор формул заканчивается на формуле Герона. В памяти генерируется запрос на подстановку конкретных значений в формулу:



Рисунок 19 - Запрос на унификацию формулы

Запускается операция `find_value_production`, задачей которой является унификация предложенной формулы константами из базы знаний. Операция использует посылку формулы для поиска значений, соответствующих именно указанному объекту (в данном случае - длин треугольника ABC, а не какого-либо другого треугольника). После этого отбираются значения переменных, связанных квантором всеобщности, и производится генерация арифметического выражения с подстановкой в него значений связанных переменных из формулы. Результатом работы является константное арифметическое выражение, требующее вычисления, о чем сообщается путем генерации соответствующей конструкции.

Далее запускается операция `calculation`, алгоритм и условия срабатывания которой подробно рассмотрены выше.

В результате последовательного выполнения указанного набора операций у указанного объекта явно указывается значение требуемого параметра.

4. Пользовательский интерфейс интеллектуальной справочной системы по геометрии

4.1. Формы и языки представления информации

В справочной системе по геометрии пользовательский интерфейс позволяет пользователю работать со следующими внешними языками:

- **sc.g-конструкций** – использует представления информации с помощью SCg-кода;
- **графическая иллюстрация по геометрии (язык геометрических чертежей)** – позволяет пользователю работать со знаниями, представленными в виде геометрического чертежа. По размерности такие иллюстрации разбиваются на 2D и 3D. Кроме того, они могут быть как динамическими, так и статическими;
- **речевое сообщение** – позволяет пользователю получать информацию от системы в виде речевых сообщений, а также управлять системой, задавать вопросы с помощью речевых сообщений;
- **текст естественного языка** – позволяет отображать информацию в текстовом виде. Тексты могут быть как форматированные, так и не форматированные. Кроме того тексты могут быть представлены на разных языках.
- Информация может быть представлена в следующих формах:

- в текстовом виде;
- в виде статического изображения;
- в виде динамического изображения – видео (со звуком или без него);
- в виде интерактивного flash-ролика.

4.2. Вид пользовательского интерфейса и система элементарных пользовательских действий и пользовательских команд

Пользовательский интерфейс включает в себя следующие классы команд:

- Редактирование:
 - SCg-редактирование:
 - Генерация:
 - генерация sc.g-рамки;
 - генерация sc.g-узла;
 - генерация sc.g-пары;
 - генерация sc.g-контура;
 - генерация sc.g-шины;
 - Удаление:
 - удаление sc.g-элемента;
 - удаление sc.g-контура без удаления дочерних элементов;
 - Правка:
 - изменение инцидентного элемента sc.g-пары;
 - изменение идентификатора sc.g-элемента;
 - изменение типа sc.g-элемента;
 - изменение содержимого sc.g-рамки;
 - изменение формы sc.g-пары;
 - изменение формы sc.g-шины;
 - изменение формы sc.g-контура;
 - перемещение sc.g-элемента;
 - Редактирование геометрического чертежа:
 - Генерация:
 - генерация геометрической точки;
 - генерация отрезка;
 - генерация прямой;
 - генерация луча;
 - генерация треугольника;
 - генерация четырехугольника;
 - генерация трапеции;
 - генерация параллелограмма;
 - генерация ромба;
 - генерация окружности;
 - генерация геометрической фигуры являющейся геометрическим пересечением двух других геометрических фигур;
 - генерация геометрической фигуры являющейся геометрическим объединением двух других геометрических фигур;
 - генерация геометрической фигуры являющейся геометрической разностью двух других геометрических фигур;
 - Удаление:
 - удаление объекта геометрического чертежа;
 - Правка:
 - изменение идентификатора геометрического объекта;
 - перемещение геометрической точки;
 - перемещение отрезка;
 - перемещение геометрической фигуры;

- Установка отношений:
 - установка отношения пересечения между двумя геометрическими объектами;
 - установка отношения параллельности между прямыми и отрезками;
 - установка отношения равенства длины между прямыми, отрезками, углами;
 - установка отношения граничной точки отрезка;
 - установка отношения принадлежности;
 - установка отношения конгруэнтности между двумя геометрическими объектами;
 - Просмотр базы знаний:
 - Стандартные вопросы:
 - поиск позитивных выходящих sc-дуг;
 - поиск позитивных входящих sc-дуг;
 - поиск негативных выходящих sc-дуг;
 - поиск негативных входящих sc-дуг;
 - Запросы высказываний:
 - запрос свойств указанного объекта;
 - запрос локализации текстов высказывания;
 - запрос истинности высказывания;
 - Запросы, связанные с классификацией:
 - запрос декомпозиции;
 - запрос признаков классификации;
 - Запросы, связанные с отношениями:
 - запрос отношений;
 - запрос связок с атрибутами;
 - запрос определенных отношений;
 - запрос выходящих пар;
 - запрос входящих пар;
 - запрос входящих пар строгого включения;
 - запрос локализации текстов связок;
 - Запросы, связанные с внешней идентификацией:
 - запрос иллюстрации;
 - запрос идентификаторов;
 - запрос условных символов;
 - Запросы, связанные с определениями:
 - запрос констант, входящих в определение;
 - Запросы фрагментов семантических окрестностей:
 - запрос основной семантической окрестности;
 - запрос библиографических ссылок;
 - запрос пояснения;
 - запрос примера;
 - запрос синонимов;
 - запрос этимологии;
 - запрос базовых подразделов раздела;
 - запрос авторов;
 - Запросы, связанные с доказательствами:
 - запрос доказательства;
 - запрос высказываний из доказательства;
 - Запросы фрагментов логических спецификаций:
 - запрос логической схемы;
 - запрос определения высказывания;
 - запрос полной логической схемы;
 - запрос утверждений, о указанном понятии;
 - Пользовательский интерфейс:
 - Работа с командами:
 - добавление новой команды в состав неатомарной команды;
 - удаление команды из неатомарной команды;

- Работа с окнами:
 - открытие указанного окна;
 - закрытие указанного окна;
 - получение списка всех окон;
 - добавление окна в список окон, в которые необходимо вывести ответ;
 - удаление окна из списка окон, в которые необходимо вывести ответ;
- Справочная информация:
 - Запрос видео роликов демонстрирующих примеры работы с системой;
 - Запрос видео роликов демонстрирующих примеры работы с указанной командой;
 - Запрос интерактивного примера работы с указанной командой;
 - Запрос примера выполнения команды (система сама выполняет пользовательские действия);
 - Запрос примера диалога с системой.

4.3. Структура и ключевые узлы базы знаний пользовательского интерфейса

База знаний пользовательского интерфейса интеллектуальной справочной системы по геометрии состоит из следующих разделов:

- Справочная информация – содержит в себе видео ролики, демонстрирующие работу с командами пользовательского интерфейса и самой системой. Кроме этого в данном разделе содержатся протоколы демонстрации работы с командами в интерактивном режиме;
- Описание команд редактирования – в разделе содержатся описания классов команды редактирования;
- Протокол пользовательских действий – раздел включает в себя весь протокол пользовательских действий, который состоит из команд пользовательского интерфейса;
- Портрет пользователя – раздел, в котором хранится информация собранная пользовательским интерфейсом о пользователе и используемая им при адаптации к пользователю;
- Описание ip-компонентов – в данном разделе содержится описание ip-компонентов, которые используются интерфейсом. Основываясь на этих знаниях, пользовательский интерфейс осуществляет взаимодействие с пользователем.
- Кроме перечисленных выше разделов база знаний пользовательского интерфейса включает в себя базы знаний используемых ip-компонентов. К примеру, для естественно языкового общения используется база знаний по русскому языку.

4.4. Функциональные компоненты пользовательского интерфейса

Пользовательский интерфейс интеллектуальной справочной систем по геометрии состоит из следующих ip-компонентов пользовательских интерфейсов:

- редактор sc.g-конструкций;
- просмотрщик sc.g-конструкций;
- транслятор из SC-кода в SCg-код;
- транслятор из SCg-кода в SC-код;
- редактор геометрических чертежей;
- просмотрщик геометрических чертежей;
- транслятор из SC-кода в геометрический чертеж;
- транслятор из геометрического чертежа в SC-код;
- редактор текстов;
- просмотрщик текстов;
- транслятор из SC-кода в текстовое сообщение;
- транслятор из текстового сообщения в SC-код;
- просмотрщик речевых сообщений;
- транслятор из SC-кода в речевые сообщения;
- транслятор речевых сообщений в SC-код;
- просмотрщик статических изображений;

- просмотрщик динамических изображений (видео);
- просмотрщик интерактивных flash роликов.

Заключение

В результате данной работы была спроектирована и разработана интеллектуальная справочная система по геометрии с использованием технологии компонентного проектирования интеллектуальных систем. В дальнейшем предполагается развитие системы в следующих направлениях:

- расширение базы знаний путем добавления в нее новых видов знаний;
- разработка новых поисковых операций, операций интеллектуального решателя задач, компонентов пользовательского интерфейса;
- разработка help-системы для пользователя.

Данная работа выполнялась в рамках открытого международного проекта OSTIS [OSTIS, 2010] и поддержана грантом Министерства образования Республики Беларусь «Семантическая технология проектирования интеллектуальных help-систем» и грантом БРФФИ-РФФИ № Ф10Р-149.

Библиографический список

- [Башмаков, 1999] Башмаков, А.И. Технология и инструментальные средства проектирования компьютерных тренажерно-обучающих комплексов для профессиональной подготовки и повышения квалификации. Часть 1. / А.И. Башмаков // Информационные технологии, №6,1999, - с.40-45.
- [Башмаков, 1999] Башмаков, А.И. Технология и инструментальные средства проектирования компьютерных тренажерно-обучающих комплексов для профессиональной подготовки и повышения квалификации. Часть 2. / А.И. Башмаков // Информационные технологии, №6,1999, - с.40-45.
- [Башмаков, 2003] Башмаков, А. И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. / Башмаков А. И., Башмаков И. А., М.: Информационно-издательский дом “Филинь”, 2003. — 616 с.
- [Башмаков, 2004] Башмаков, А.И. Интеллектуализация как средство повышения доступности технологий разработки компьютерных средств обучения / А.И. Башмаков // Образовательная среда сегодня и завтра: материалы Всероссийской научно-практической конференции [Электронный ресурс]. – 2004. - Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/vconf/index.php>. – Дата доступа: 10.10.2009
- [Вагин и др., 2008] Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Вагин В.Н. [и др.]; – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008.
- [Владимиров и др., 2008] Программный комплекс «УДАВ»: практическая реализация активного обучаемого логического вывода с линейной вычислительной сложностью на основе миварной сети правил / Владимиров А.Н., Варламов О.О., Носов В.В., Потапова Т.С. // Конгресс по интеллектуальным системам и технологиям. Труды конгресса; – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010.
- [Гаврилова и др., 2001] Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Учебник / Гаврилова Т.А.. [и др.]; – СПб. : Изд-во «Питер», 2001.
- [Голенков и др., 2001] Голенков, В.В. Представление и обработка знаний в графодинамических ассоциативных машинах / Голенков В.В. [и др.]; под ред. В.В. Голенкова – Минск, 2001.
- [Голенков и др., 2001] Интеллектуальные обучающие системы и виртуальные учебные организации / Голенков В.В. [и др.]; под ред. В.В. Голенкова – Минск, 2001. – 488с.
- [Голенков, Гулякина, 2010] Голенков В.В., Гулякина Н.А. Применение технологий искусственного интеллекта в обучении // Сборник научных статей: материалы Международной научной конференции “Четвёртые чтения, посвященные 70-летию со дня рождения В.А. Карпова” (19 – 20 марта 2010 г.). В 2-х частях. Минск, РИВШ, 2010, Ч.1.-Минск:РИВШ,2010
- [Градштейн, 1965] Градштейн, И.С. Прямая и обратная теоремы / И.С. Градштейн; - М. : Наука, 1965.
- [Давыденко, 2010] Давыденко, И.Т. Разработка базы знаний интеллектуальной справочной системы по геометрии / И.Т. Давыденко; - Информационные системы и технологии (IST’10): Сборник статей международной конференции-форума. Информационные системы и технологии. IST’2010. Мн.:Вараксин, 2010. С. 462-465
- [Давыденко, 2010] Давыденко, И.Т. База знаний интеллектуальной справочной системы по геометрии, / Давыденко И.Т., Лазуркин Д.А., Самодумкин С.А., Сборник статей II международной научно-практической конференции «Современные информационные компьютерные технологии» (mcIT-2010), Гродно, 2010
- [Загоруйко и др., 2008] Загоруйко, Ю.А., Боровикова, О.И. Подход к построению порталов

- чных знаний / Ю.А. Загорулько [и др.] // Автометрия. – 2008 – № 1, Т. 44, – С. 100–110.
- [Зенкин, 1991] Зенкин, А.А. Когнитивная компьютерная графика/ А.А. Зенкин; - М. : Наука, 1991.
- [Ефимов, 1982] Ефимов, Е. И. Решатели интеллектуальных задач / Е. И. Ефимов; - М. : Наука, 1982.
- [Курбатов и др., 2010] Курбатов С.С., Найденова К.А., Хахалин Г.К. О схеме взаимодействия в комплексе «анализ и синтез естественного языка и изображений» // Труды XII национальной конференции по Искусственному Интеллекту с международным участием – КИИ-2010 (Тверь, 20-24 сентября 2010) в 4-х томах, т. 1. – М.: Физматлит, 2010, С. 234-242
- [Метельский, 1982] Метельский, Н.В. Дидактика математики: Общая методика и ее проблемы / Н. В. Метельский; - Мн. : Изд-во БГУ, 1982.
- [Найденова, 2010] Найденова К.А. Принципы организации правдоподобных рассуждений в интеллектуальных системах / Найденова К.А. // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции; - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010.
- [Нильсон, 1973] Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений. Нильсон Н.; – М. :Мир, 1973.
- [Нильсон, 1985] Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. Н. Нильсон; – М. : «Радио и связь», 1985.
- [Открытая математика, 2010] Открытая математика. Планиметрия [Электронный ресурс]. Минск, 2010. – Режим доступа: <http://mathematics.ru/courses/planimetry/design/index.htm> – Дата доступа: 17.11.2010.
- [Плесневич, 2006] Плесневич Г.С. Силлогистика для семантических сетей / Плесневич Г.С.; // Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции; - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006, т.1. – с. 321-330.
- [Поспелов, 1981] Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления / Д.А.Поспелов; – М. :Изд-во «Энергоиздат», 1981.
- [Поспелов, 1989] Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов / Д.А.Поспелов; – М. :Изд-во «Радио и связь», 1989.
- [Пойа, 1975] Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения / Пойа Д.; – М. :Изд-во «НАУКА», 1975.
- [Пойа, 1976] Пойа Д. Математическое открытие / Пойа Д.; – М. :Изд-во «НАУКА», 1976.
- [Рассел, Норвиг 2006] Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход / Рассел С., Норвиг П. ; - М. : Вильямс, 2006.
- [Столяр, 1965] Столяр А.А. Логические проблемы преподавания математики / Столяр А.А.; – Минск. : Изд-во «Высшая школа», 1965.
- [Столяр, 1971] Столяр А.А. Логическое введение в математику / Столяр А.А.; – Минск. :Изд-во «Высшая школа», 1971.
- [Столяр, 1982] Столяр А.А. Как математика ум в порядок приводит / Столяр А.А.; – Минск. :Изд-во «Высшая школа», 1982.
- [Столяр, 1987] Столяр А.А. Зачем и как мы доказываем в математике / Столяр А.А.; – Минск. :Изд-во «Народная асвета», 1987.
- [Стрельчяня, 2004] Стрельчяня В.М. Геометрия. Справочник школьника/ Стрельчяня В.М.; – Минск. :Изд-во «Универсал-Пресс», 2004.
- [Тарасов, 2002] Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям / В.Б. Тарасов; – М. :Изд-во УРСС, 2002.
- [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.
- [Хорошевский, 2008] Хорошевский, В.Ф. Пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web (Часть 1) / В. Ф. Хорошевский // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2008. - № 1. - С.80-97.
- [Шенк, 1980] Шенк, Р. Обработка концептуальной информации / Р. Шенк ; - М. : Изд-во «Энергия», 1980
- [Финн, 2010] Финн, В.К. Индуктивные методы милевского типа в системах искусственного интеллекта / Финн В.К.; // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции; - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010.
- [ЭЗОП, 2007] Web-сервер онтологий системы ЭЗОП [Электронный ресурс]. Минск, 2010. – Режим доступа: <http://ezop-project.ru/drupal5/>. – Дата доступа: 14.11.2010.
- [Geometry Expressions, 2010] Geometry Expressions [Электронный ресурс]. Минск, 2010. – Режим доступа: <http://www.geometryexpressions.com/>. – Дата доступа: 11.11.2010.
- [OSTIS, 2010] Проект OSTIS [Электронный ресурс]. Минск, 2010. – Режим доступа: <http://ostis.net/>. – Дата доступа: 11.11.2010.