

Сологуб Г.Б.

Gleb B. Sologub

**Построение фреймовых семантических моделей в интеллектуальной системе
тестирования**

Building frame semantic models in intelligent testing system

Сведения об авторе

Сологуб Глеб Борисович, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета), кафедра «Математическая кибернетика», glebsologub@ya.ru

Gleb B. Sologub, postgraduate of the Moscow Aviation Institute (State Technical University), Department of Applied Mathematics and Physics, glebsologub@ya.ru

Аннотация

Предложена детализированная фреймовая модель учебной дисциплины. Описано построение семантической модели студента на основе фреймовой модели предмета методом наследования. Построение семантических моделей осуществляется автоматически в процессе взаимодействия с интеллектуальной системой тестирования.

Detailed frame domain model is proposed. Building of semantic student model based on frame domain model using inheritance method is described. Semantic models are built during interaction with intelligent testing system.

Ключевые слова

Семантическая модель, модель учебной дисциплины, модель студента, компьютерное тестирование, фреймовая модель, интеллектуальная система.

Semantic model, domain model, student model, computer-based testing, frames, intelligent system.

Введение

Стремительное развитие информационных технологий позволяет внедрять в сфере образования инновационные подходы для повышения эффективности обучения и тестирования. Одним из основных направлений разработки является создание интеллектуальных обучающих и тестирующих систем [1], которые, в отличие от традиционных компьютерных учебников и тестирующих программ, имеют способность адаптироваться к студенту. Ключевым компонентом таких систем является модель студента, которая хранит всю информацию об обучаемом, в частности, представление его знаний по учебному предмету — семантическую модель студента.

Для представления знаний могут использоваться модели на основе семантических сетей, логических систем, фреймов, объектно-ориентированного программирования, а также их различные комбинации и обобщения [2].

В главе 1 рассматривается предложенная фреймовая семантическая модель учебной дисциплины, позволяющая отразить компоненты знаний на всех уровнях детализации, включая темы произвольного уровня вложенности, вопросы, их семантические элементы, а также компетенции, в контексте тестирования знаний.

Семантическая модель студента может строиться на основе модели учебной дисциплины различными способами [3]. Широко используются модели наложения, разностные модели, а также модели, основанные на ограничениях.

В главе 2 описывается новый способ построения семантической модели студента на основе фреймовой модели учебной дисциплины методом наследования.

В заключении описаны связанные работы, сделаны некоторые выводы и указаны направления будущих исследований.

1. Фреймовая модель учебной дисциплины

Простейшей моделью учебной дисциплины является оглавление, которое представляет собой древовидную структуру тем. Глубина такого дерева учебного курса потенциально не ограничена, однако на практике оно обычно содержит порядка 5-ти уровней иерархии (предмет, разделы, подразделы, главы, параграфы).

На нижнем уровне иерархии тем могут быть выделены элементарные компетенции так, что каждому вопросу (проверочному заданию) будет соотнесен набор компетенций, которые он проверяет. Одна компетенция может проверяться несколькими разными вопросами.

Сами вопросы могут также иметь довольно сложную структуру. В зависимости от постановки задачи и формы ответа можно выделить следующие типы вопросов-заданий [4]: 1) выбор одного значения из n предложенных вариантов; 2) выбор произвольного количества значений из n предложенных вариантов; 3) ввод значения; 4) подстановка в каждый из k слотов одного значения из предложенного набора n вариантов (палитры). Возможны комбинированные задания, включающие несколько подвопросов типов 1 – 4.

Таким образом, задание может содержать следующие структурные элементы: единственный выбор, множественный выбор, ввод ответа, слоты, палитра. Кроме того, могут использоваться такие вспомогательные структурные элементы, как заголовок, текст, помощь, примечание и др. Каждый структурный элемент вопроса содержит набор соответствующих терминальных текстов и директив.

Вопрос можно представить также в виде набора семантических элементов [5]. Между структурными и семантическими элементами вопроса нет однозначного соответствия: один семантический элемент может быть образован несколькими структурными элементами, при этом, одному структурному элементу может соответствовать набор семантических значений при ответе.

Множество всех возможных ответов на вопрос, в общем случае, имеет вид: $V = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_k$, где S_i – область возможных значений i -го семантического элемента вопроса, $i = 1 \dots k$.

Для вопросов единственного выбора $V = S$, где S – множество предложенных вариантов. Для вопросов множественного выбора $V = \{\text{выбран, не выбран}\}^k$, $k = |S|$, S – заданное множество вариантов. В задачах на ввод ответа $V = S$, где S – множество текстов. В задачах на подстановку $V = S_k$, $k \leq n = |S|$, где S – палитра. В случае комбинированного задания для каждого j -го подвопроса можно указать множество вариантов ответа V_j , $j = 1, \dots, m$, тогда для задания в целом $V = V_1 \times \dots \times V_m$.

Для каждого семантического элемента вопроса может быть задано его верное значение.

Постановки задач могут быть параметризованы [6]. Задачи вычислительного характера могут содержать числовые параметры. Часто применяется детерминированная параметризация по номеру студента, группы, факультета. Кроме того, одни параметры могут вычисляться по заданной формуле в зависимости от других параметров той же задачи. Параметры могут генерироваться случайным образом. В этом случае область возможных значений параметров задается их списком или диапазоном.

Для построения семантических моделей оказывается возможным [7] применить формальный аппарат т.н. семантического программирования, имеющий фреймовую структуру и включающий три типа элементарных фреймов: классификационные фреймы, смысловые связки и директивные фреймы.

Классификационные фреймы имеют имя и набор возможных значений. Они позволяют упорядочивать ключевые понятия предметной области по категориям, которым соответствуют имена фреймов. Директивный фрейм представляет собой инструкцию для пользователя на проведение какого-либо действия. Смысловая связка содержит сказуемое, подлежащее (входной аргумент) и дополнения (выходные аргументы), образуя каркас предложения на естественном языке.

Указанные фреймы могут быть иерархическими, отражая древовидную семантическую структуру предметной области. Возможные значения фреймов могут объединяться логическими операциями конъюнкции и дизъюнкции. Элементарные фреймы

объединяются во фразы, совокупность которых представляет собой семантическую модель на естественном языке.

Полное формализованное описание языка представления знаний для семантического программирования содержится в [8].

Предлагается следующий набор фреймов для семантической модели учебной дисциплины (см. листинг 1).

Листинг 1. Фреймовая семантическая модель учебной дисциплины

```
TN <тема>
  a — включает темы:
    A: <тема 1>
    B: <тема 2>
    ...
  b — включает компетенции:
    A: <компетенция 1>
    B: <компетенция 2>
    ...
CN <компетенция>
  a — проверяется вопросами:
    A: <вопрос 1>
    B: <вопрос 2>
    ...
QN <вопрос>
  a — включает структурные элементы вопроса:
    A: <структурный элемент 1>
    B: <структурный элемент 2>
    ...
  b — включает семантические элементы вопроса:
    A: <семантический элемент 1>
    B: <семантический элемент 2>
    ...
  c — включает параметры:
    A: <параметр 1>
    B: <параметр 2>
    ...
EN <структурный элемент вопроса>
  a — имеет тип: <тип структурного элемента>
  b — содержит терминальные тексты:
    A: <терминальный текст 1>
    B: <терминальный текст 2>
    ...
  c — содержит директивы:
    A: <директива 1>
    B: <директива 2>
    ...
D <директива>
  1 (если K1:=5 ∨ 9, то) <выбрать один из вариантов>
  2 (если K1:=6, то) <выбрать несколько вариантов>
  3 (если K1:=7, то) <ввести ответ>
  4 (если K1:=8, то) <подставить выбранный вариант>
```

SN <семантический элемент вопроса>

a — имеет область возможных значений: <область возможных значений>

b — имеет правильное значение: <значение>

PN <параметр вопроса>

a — равен глобальному параметру: <глобальный параметр>

b — имеет область возможных значений: <область возможных значений>

K1 <классификация типа структурного элемента вопроса> :=

√ 1 <заголовок>

√ 2 <текст>

√ 3 <помощь>

√ 4 <примечание>

√ 5 <единственный выбор>

√ 6 <множественный выбор>

√ 7 <ввод ответа>

√ 8 <слоты>

√ 9 <палитра>

K2 <классификация типа области возможных значений семантического элемента вопроса> :=

√ 1 <список значений>

√ 2 <индикатор> :=

√ 2.1 <выбран>

√ 2.2 <не выбран>

√ 3 <текст>

K3 <глобальный параметр> :=

√ 1 <номер студента>

√ 2 <номер группы>

√ 3 <номер факультета>

K4 <классификация типа области возможных значений параметра> :=

√ 1 <формула>

√ 2 <список>

√ 3 <диапазон>

Фреймы тем, компетенций, вопросов, их элементов и параметров представляют собой фреймы-связки. Они заполняются по слотам следующих друг за другом смысловых связей. При невозможности заполнения слот пропускается.

Такая фреймовая модель легко может быть расширена или перестроена для отображения дополнительных элементов иерархической структуры знаний и их качественных и количественных признаков.

Разработана компьютерная авторская среда [4], предоставляющая визуальный интерфейс для создания тестов преподавателем. Построение фреймовой модели для конкретного учебного предмета осуществляется автоматически в процессе работы преподавателя.

2. Построение семантической модели студента методом наследования

Семантическая модель студента представляет собой персонифицированную модель знаний по учебной дисциплине. Построение этой модели осуществляется в процессе тестирования студента [4].

При тестировании студент отвечает на последовательно задаваемые вопросы. Параметры вопросов принимают конкретные значения при генерации вопроса в тесте. При ответе на вопрос студент заполняет семантические элементы вопроса выбранными значениями. Таким образом, каждый семантический элемент вопроса получает оценку правильности. Сам вопрос получает интегральную оценку правильности ответа, в зависимости от правильности указанных значений его семантических элементов.

Методически важной задачей тестирования является определение уровня знаний по теме и уровня владения компетенцией. Эти величины не поддаются непосредственному измерению. Но при ответе на вопрос студентом мы получаем косвенное свидетельство о том, знает ли он тему, к которой относится этот вопрос, владеет ли студент компетенцией, которая проверяется этим вопросом. На основе таких свидетельств можно построить оценки знания по темам и владения компетенциями для данного студента.

Оценки ответов, знания тем и владения компетенциями в зависимости от методики тестирования и оценивания могут быть качественными или количественными. Последние, в свою очередь, могут иметь вероятностный характер или принимать значения по балльной шкале.

В процессе тестирования студент отвечает только на сравнительно небольшую часть множества вопросов учебного предмета. Ответы на незадаанные студенту вопросы можно спрогнозировать [9]. В зависимости от метода прогнозирования можно строить как прогнозы оценок правильности значений семантических элементов вопросов, так и, непосредственно, прогнозы оценок ответов. Полученные прогнозные оценки можно использовать для определения оценок знания тем и владения компетенциями.

Предлагается строить модель текущих знаний студента методом наследования на основе модели учебной дисциплины.

Метод наследования предполагает, что новая фреймовая модель: 1) сохраняет все фреймы исходной модели, их смысловые связки и слоты; 2) может расширять исходную модель за счет добавления новых фреймов, смысловых связок и слотов; 3) может иметь другой набор экземпляров фреймов.

Предлагается следующий набор фреймов для семантической модели студента (см. листинг 2).

Листинг 2. Фреймовая семантическая модель студента

| |
|---------------------------|
| TN <тема> |
| a — включает темы: |
| A: <тема 1> |
| B: <тема 2> |
| ... |
| b — включает компетенции: |

А: <компетенция 1>
 В: <компетенция 2>
 ...
 с — имеет оценку знания: <оценка знания>
 CN <компетенция>
 а — проверяется вопросами:
 А: <вопрос 1>
 В: <вопрос 2>
 ...
 б — имеет оценку владения: <оценка владения>
 QN <вопрос>
 а — включает структурные элементы вопроса:
 А: <структурный элемент 1>
 В: <структурный элемент 2>
 ...
 б — включает семантические элементы вопроса:
 А: <семантический элемент 1>
 В: <семантический элемент 2>
 ...
 с — включает параметры:
 А: <параметр 1>
 В: <параметр 2>
 ...
 д — получил оценку ответа: <оценка ответа на вопрос>
 е — имеет прогнозную оценку ответа: <оценка ответа на вопрос>
 EN <структурный элемент вопроса>
 а — имеет тип: <тип структурного элемента>
 б — содержит терминальные тексты:
 А: <терминальный текст 1>
 В: <терминальный текст 2>
 ...
 с — содержит директивы:
 А: <директива 1>
 В: <директива 2>
 ...
 D <директива>
 1 (если K1:=5 ∨ 9, то) <выбрать один из вариантов>
 2 (если K1:=6, то) <выбрать несколько вариантов>
 3 (если K1:=7, то) <ввести ответ>
 4 (если K1:=8, то) <подставить выбранный вариант>
 SN <семантический элемент вопроса>
 а — имеет область возможных значений: <область возможных значений>
 б — имеет правильное значение: <значение>
 с — принял значение при ответе: <значение>
 д — имеет полученную оценку правильности: <оценка правильности>
 е — имеет прогнозную оценку правильности: <оценка правильности>
 PN <параметр вопроса>
 а — равен глобальному параметру: <глобальный параметр>
 б — имеет область возможных значений: <область возможных значений>
 с — принял значение при генерации вопроса: <значение>
 K1 <классификация типа структурного элемента вопроса> :=
 ∨ 1 <заголовок>

- √ 2 <текст>
- √ 3 <помощь>
- √ 4 <примечание>
- √ 5 <единственный выбор>
- √ 6 <множественный выбор>
- √ 7 <ввод ответа>
- √ 8 <слоты>
- √ 9 <палитра>

К2 <классификация типа области возможных значений семантического элемента вопроса> :=

- √ 1 <список>
- √ 2 <индикатор> :=
 - √ 2.1 <выбран>
 - √ 2.2 <не выбран>
- √ 3 <текст>

К3 <глобальный параметр> :=

- √ 1 <номер студента>
- √ 2 <номер группы>
- √ 3 <номер факультета>

К4 <классификация типа области возможных значений параметра> :=

- √ 1 <формула>
- √ 2 <список>
- √ 3 <диапазон>

К5 <классификация оценки знания> :=

- √ 1 <качественная> :=
 - √ 1.1 <знает>
 - √ 1.2 <частично знает>
 - √ 1.3 <не знает>
- √ 2 <вероятностная>
- √ 3 <балльная>

К6 <классификация оценки владения> :=

- √ 1 <качественная> :=
 - √ 1.1 <владеет>
 - √ 1.2 <частично владеет>
 - √ 1.2 <не владеет>
- √ 2 <вероятностная>
- √ 3 <балльная>

К7 <классификация оценки ответа на вопрос> :=

- √ 1 <качественная> :=
 - √ 1.1 <верно>
 - √ 1.2 <частично верно>
 - √ 1.2 <неверно>
- √ 2 <вероятностная>
- √ 3 <балльная>

К8 <оценка правильности> :=

- √ 1 <верно>
- √ 2 <неверно>

Разработанная компьютерная среда [4] содержит средства для проведения автоматизированного тестирования студентов. В процессе тестирования семантическая модель студента строится автоматически.

Заключение

Ценность построенных фреймовых моделей состоит в том, что они не зависят от компьютерной реализации. Интерфейсы человеко-машинного взаимодействия постоянно модернизируются. Еще сравнительно недавно единственной возможностью реализации компьютерных тестов были консольные программы для терминалов ЭВМ, рассчитанные на текстовый ввод вариантов ответов. Сейчас стандартным является графический интерфейс с возможностью интерактивного взаимодействия пользователя с системой при помощи компьютерной мыши или сенсорного экрана. И кто знает, какими будут интерфейсы в ближайшем будущем?

Однако, состав знаний, изучаемых в вузах, например, по общим математическим дисциплинам, почти не изменяется на протяжении десятилетий. Поэтому важной задачей является сохранение накопленного преподавательского опыта в виде некоей универсальной структуры, пригодной для реализации в любом из потенциально возможных компьютерных обучающих средств.

Описанные фреймовые модели представляют собой достаточно строгое, стандартизованное решение этой задачи. Они могут быть записаны в машиночитаемом виде с использованием любого фреймового языка или языка разметки; их удобно изменять, расширять, хранить и переносить, анализировать и визуализировать.

Применение формального аппарата семантического программирования в задачах обучения и тестирования было предложено в работе [10]. Вариант семантической модели предметной области для компьютерной обучающей системы описывается в [7]. В нем выделены два типа фреймов: фрагментные и целевые, каждый информационный фрагмент описывается в виде экземпляра фрагментного фрейма, детализация не включает уровни отдельных вопросов и их элементов.

Построенные нами фреймовые семантические модели имеют естественную древовидную структуру. Для наглядного представления и эффективной обработки таких моделей можно применять различные сетевые методы, в частности, основанные на байесовских, Марковских и нейронных сетях различных типов [11].

В дальнейшем мы планируем разработать метод построения байесовской сети на основе имеющихся фреймовых моделей.

Важной методической проблемой является анализ полученных моделей студентов, их сравнение, кластеризация и/или классификация. Мы планируем применить в этих целях новые методы инженерии знаний [9].

Отдельной технической задачей является оптимальная визуализация построенных моделей [12], разработка удобного и информативного интерфейса для преподавателя.

Результатом этих исследований и разработок должна стать новая версия компьютерной среды [5].

Библиографический список

1. Foundations of intelligent tutoring systems / ed. by M.C. Polson, J.J. Richardson. — Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1988. — 296 p.
2. *Brachman R.J., Levesque H.J.* Knowledge Representation and Reasoning. — Morgan Kaufmann, 2008. — 381 p.
3. *Wolf B.P.* Building intelligent interactive tutors: student-centered strategies for revolutionizing e-learning. — Morgan Kaufmann, 2008. — 480 p.
4. *Сологуб Г.Б.* Компьютерная среда создания систем имитационного тестирования знаний // Электронный журнал «Труды МАИ» — 2010. — №38. — <http://www.mai.ru/science/trudy/>.
5. *Сологуб Г.Б.* Разработка системы имитационного тестирования // Вестник МАИ. — 2009. — Т. 16, № 2. — С. 28–33.
6. *Сологуб Г.Б.* Развитие среды создания систем имитационного тестирования знаний // Тезисы докладов 8-й международной конференции «Авиация и космонавтика — 2009». — 2009. — С. 195–196.
7. *Летова Т.А., Кондаков В.К.* Конструирование компьютерных курсов по математическим дисциплинам. — М.: МАИ, 2008. — 84 с.
8. *Семенов В.В.* Семантическое программирование в САПР систем управления. — М.: МАИ, 1983. — 64 с.
9. *Сологуб Г.Б., Пантелеев А.В.* Моделирование знаний студента с помощью современных методов машинного обучения // Труды научно-практической конференции студентов и молодых ученых МАИ «Инновации в авиации и космонавтике — 2011». — 2011. — С. 113.
10. *Семенов В.В.* Информационные основы кибернетической компьютерной технологии обучения. // Информатика и вычислительная техника. — 1997.
11. *Cowell R.G.* Probabilistic networks and expert systems. — Springer, 1999. — 321 p.
12. *Сологуб Г.Б.* Визуализация результатов компьютерного тестирования знаний // Труды VII Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». — 2010. — С. 142–143.