

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В МОДЕЛИ АДАПТИВНО-ЛОГИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Крайванова В. А. - аспирант, Крючкова Е. Н. – к. ф-м. н., профессор

Введение

Одним из прикладных вопросов семантического анализа естественного языка является перевод задания, сформулированного в фразах ЕЯ, в формальные команды исполнителя-компьютера. Вопрос имеет широкую сферу применения: от построения естественно-языковых интерфейсов к базам данных (например, отечественный коммерческий проект InBase [1]) до сред программирования сверхвысокого уровня.

На практике, как правило, для каждой подобной задачи строится своя достаточно сложная семантическая модель. Тем не менее, далеко не каждая задача требует глубокого семантического анализа текста, учитывающего структуру дискурса. Во многих прикладных областях понимание текстов на уровне простейшей логики было бы достаточным. Примерами таких областей служат запросы к базам данных, интеллектуальные справочные системы, электронные персональные секретари, системы управления «Умных домов»[2]. Заметим, что во всех этих областях сейчас используются системы управления, требующие от пользователя специальных навыков (например, знание SQL, умение пользоваться сложными графическими интерфейсами), строго говоря, неадекватных содержанию предметной области.

Цель проекта - построение модели интеллектуального адаптивного ЕЯ-интерфейса, с одной стороны, достаточно разумного и быстрого для практического использования, а с другой стороны, требующий минимальных усилий для построения базы знаний. Поскольку задача синтаксического анализа в достаточной для целей проекта степени решена[3] для широкого круга языков, в предлагаемой модели в качестве исходных данных берутся результаты синтаксического анализа.

Для иллюстрации в качестве предметной области нами выбрана модель системы управления «Умными домами». Модель применима к любому языку, синтаксис которого основан на подчинительных отношениях, для определенности в качестве примера будет использован русский язык.

Естественный язык имеет достаточно строгую грамматическую структуру, то есть содержит обширную формальную составляющую. Эта составляющая достаточно информативна. Действительно, турист с помощью нескольких стандартных фраз и разговорника может понимать незнакомый язык на бытовом уровне, не вникая в тонкости значений слов и выражений. В этом случае человек не думает на используемом языке, то есть подходит к языковым знаниям с точки зрения формальной лексико-синтаксической структуры. При этом турист в состоянии самостоятельно обучаться: встраивать в свой лексикон новые слова и узнавать новые синтаксические конструкции.

Модель, основанная на этом принципе, должна обладать знаниями о следующих внешних для нее объектах:

- объект управления, с которым происходит взаимодействие (в первую очередь – его функциональность);
- используемый пользователем естественный язык (слова и структура фраз);
- структура предметной области, в которой функционирует объект управления;
- логика предметной области.
- Предлагаемая математическая модель ЕЯ-интерфейса состоит из следующих элементов:
 - лексикон как множество известных в модели слов;
 - формальное представление фразы ЕЯ на основе ее синтаксической структуры;
 - представление команд системы управления;
 - механизм анализа фраз.

Знания о структуре предметной области

Пусть W – конечное множество известных в модели слов. Нечеткое отношение обобщения $Gen: W \times W \rightarrow [0..1]$ определяет степень уверенности модели в том, что некоторое понятие $p \in W$ обобщает слово $w \in W$. Нечеткое отношение синонимичности $Syn: W \times W \rightarrow [0..1]$ определяет степень уверенности системы в том, что некоторое слово $w_A \in W$ является синонимом к слову $w_B \in W$ [5]. Лексикон является представлением знаний системы о структуре предметной области. Выбор упрощенной в сравнении с тради-

ционными подходами (в частности, фреймами и семантическими сетями[6]) системы описания предметной области подиктован тем, что пополнение таких знаний легче автоматизировать.

Знания о структуре фраз ЕЯ

Рассмотрим представление фраз ЕЯ. В фразах естественного языка можно выделить три основных вида синтаксических отношений:

подчинительные отношения соединяют некоторое главное слово с зависимой синтаксической конструкцией;

сочинительные отношения - это отношения между конструкциями, синтаксически не подчиненными друг другу и связанными между собой союзом и/или интонацией (например, однородные члены предложения) [4];

отношение отрицания (унарное) - это признак того, что утверждение не является истинным.

Для ЕЯ это отношение гораздо сложнее традиционного логического отрицания. В общем случае о значении фразы с признаком отрицания ничего конкретного сказать нельзя. Поэтому в дальнейшем мы не будем строить никаких предположений о семантике отрицания.

В предлагаемой модели за основу представления ЕЯ-фразы возьмем подчинительные синтаксические отношения. С точки зрения подчинительных отношений ЕЯ-фраза представляется некоторой иерархической структурой, в которой главные слова находятся над зависимыми.

В качестве представления фраз на ЕЯ нами выбрано дерево, узлы которого помечены словами из лексикона W , а ребра – подчинительными отношениями между ними. Такое помеченное дерево фразы (ПДФ) в том или ином виде строят практически все синтаксические анализаторы. Введем некоторые обозначения. $Root(\varphi)$ - корень дерева фразы φ . Пусть u - узел помеченного дерева фразы, тогда $Word(u)$ - пометка узла u , $Relation(u)$ - пометка ребра, соединяющего узел u с родительским, $Args(u)$ - множество дочерних узлов узла u , $Negation(u)$ - признак отрицания узла u .

Пусть Rel - конечное множество пометок ребер модели. Фактически, это типы возможных в языке подчинительных отношений. На практике тип аргумента может представлять собой просто некоторую морфологическую информацию. Каждому элементу $r \in Rel$ по-

ставим в соответствие некоторое натуральное число - уровень приоритета $Priority(r)$. Уровень приоритета показывает, какой из аргументов является более важным для смыслового содержания фразы. Таким образом, множество Rel представляет собой знания модели о структуре фраз на естественном языке.

Чтобы абстрагироваться от порядка слов в предложении, будем считать, что на множестве Rel всех пометок ребер и на множестве всех слов W задана гедделевская нумерация. Дочерние вершины некоторого узла упорядочены сначала по гедделевскому номеру пометки ребра, а потом - по гедделевскому номеру пометки вершины - слова.

Пример построения дерева для фразы приведен на рисунке 1.

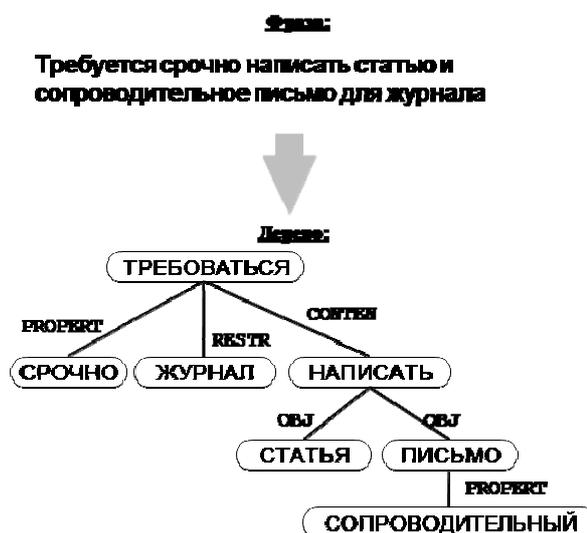


Рисунок 1 - Дерево фразы на естественном языке

Задача логического анализа фразы заключается в том, чтобы свести некоторую начальную фразу φ к множеству фраз, определяющих команды и понятных объекту управления.

Знания о функциональности объекта управления

Команда объекта управления представляет собой параметризованную синтаксическую конструкцию $k(p_1, p_2, \dots, p_n)$ на формальном языке, где p_1, p_2, \dots, p_n – набор параметров. В формальной системе параметр p_i операции o однозначно идентифицируется парой $\langle i, t \rangle$, где i – номер параметра, t – формальный тип параметра. Назовем семантическим типом $SemType(p_i)$ параметра p_i операции o набор $\langle o, i, t \rangle$. В рамках предло-

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В МОДЕЛИ АДАПТИВНО-ЛОГИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

женной модели существует два возможных подхода к представлению формального языка.

Первый подход заключается в том, что лексикон модели дополняется словами формального языка: $W = N_w \cup F_w \cup P_w$, где N_w – множество слов естественного языка, F_w – множество функциональных и терминальных символов формального языка, P_w – множество семантических типов параметров формального языка. Пусть $D \subseteq F_w$ – множество слов формального языка, описывающих допустимые значения некоторого параметра p_i операции o . Тогда $d \in \text{Gen SemType}(p_i) = 1$, где $d \in D$. Команда объекта управления представляется в виде ПДФ, вершины которого помечены словами из F_w или параметрами. Представление такого дерева в виде скобочной структуры непосредственно будет являться командой объекту управления. В этом подходе требуется создать правила-определения для каждого слова из F_w и отношение Gen для допустимых значений параметров из P_w . Такие манипуляции трудоемки, увеличивают размер базы знаний модели и тяжело автоматизируются.

Второй подход заключается в том, что представлением команды объекта управления считается описание этой команды на ЕЯ. В этом случае требуется дополнительный, внешний по отношению к модели, механизм интерпретации результатов вывода, так как значения параметров в этом случае представляют собой не слова формального языка, а некоторые ПДФ, помеченные ЕЯ-словами и содержащие в себе избыточную информацию.

Оба подхода не нарушают общность модели вывода, и могут быть использованы в программной реализации.

Для большей определенности будем считать, что команда объекта управления представлена ее описанием на ЕЯ. Тогда $e = \langle v, \text{Parameters} \rangle$ - команда системы управления, v - определение команды на ЕЯ, $\text{Parameters} = \{p_i \mid p_i = \langle \text{name}_i, N_i \rangle, N_i \subseteq W\}$ - множество параметров команды, где name_i - имя параметра, N_i - множество понятий. Параметр name_i может принимать в качестве значения некоторое дерево фразы ϕ_i , если $\exists n: \text{Gen}(\text{Word}(\text{Root}(\phi_i)), n) > 0, n \in N_i$, при этом $\tau(p_i) = \text{Gen}(\text{Word}(\text{Root}(\phi_i)), n)$ - уровень достоверности унификации параметра.

Пример представления для команды «Включить прибор в некотором режиме» представлен на рисунке 2.

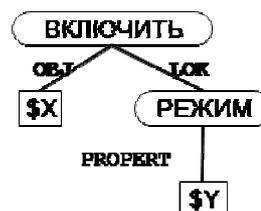


Рисунок 2. Пример представления команды

Проверка наличия в некоторой фразе ϕ команды e и вычисление параметров команды производится с помощью операции унификации: $\langle \gamma, \text{Values} \rangle = \text{Unification}(\phi, e)$.

Результатом унификации являются:

уровень релевантности γ , который определяет степень уверенности системы в наличии команды;

множество $\text{Values} = \{ \langle p_i, \phi_i \rangle \}$, где p_i - параметры команды e , ϕ_i - значения параметров. Причем для каждого параметра p_i должно существовать единственное значение ϕ_i . Обозначим $\text{Value}(p_i) = \phi_i$.

Поддерево $\eta \subseteq \phi$ унифицируется с деревом v команды e , если $\exists \text{Values} = \{ \langle p_i, \phi_i \rangle \}$ такие, что при их подстановке $\text{Root}(\eta)$ унифицируется с $\text{Root}(v)$.

Фраза на естественном языке может содержать конструкции, не влияющие на результат анализа, однако зашумляющие входное ПДФ. Для пропуска таких незначимых конструкций введем понятие главной семантической цепочки поддерева $\text{SemanticSeq}(\eta) = \langle v_0, v_1, \dots, v_n \rangle$, где $v_0 = \text{Root}(\eta)$, $v_i = u: u \in \text{Args}(v_{i-1})$ и

$$\text{Priority}(\text{Relation}(u)) = \max_{q \in \text{Args}(v_{i-1})} \text{Priority}(\text{Relation}(q))$$

Узел $u \in \eta$ унифицируется с узлом $u_r \in v$, если:

$$\text{Negation}(u) = \text{Negation}(u_r);$$

$$\text{Relation}(u) = \text{Relation}(u_r);$$

$$\exists v \in \text{SemanticSeq}(u): \quad \text{Syn}(\text{Word}(v),$$

$$\text{Word}(u_r)) > 0;$$

$\forall q_r \in \text{Args}(u_r) \exists q_u \in \text{Args}(u) : q_u$ унифицируется с q_r .

Обозначим $\tau(u_r) = \text{Syn}(\text{Word}(v), \text{Word}(u_r))$ - уровень достоверности унификации узла u_r

Итоговый уровень релевантности результата вычисляется по формуле:

$$\gamma = \frac{\sum_{u_r \in v} \tau(u_r) + \sum_{\langle p_i, \phi_i \rangle \in \text{Values}} (\tau(p_i) - |\phi_i|)}{|\nu| - \sum_{\langle p_i, \phi_i \rangle \in \text{Values}} (|\phi_i| - 1)}$$

Команды представляют знания модели интерфейса об объекте управления.

Знания о логических связях в предметной области

Механизм преобразования фраз в команды объекта управления описывается конечным множеством правил контекстной замены Rules. В общем виде правило задается парой $r = \langle H \rightarrow C, Parameters \rangle$, где H и C – гипотеза и следствие правила, представленные двумя ПДФ, некоторые вершины которых, возможно, помечены не словами из W, а параметрами. Parameters – множество параметров правила. Значением параметра p_i может стать ПДФ, корень которого помечен словом, обобщаемым некоторым множеством понятий N_i из множества всех понятий предметной области.

Правила контекстной замены могут иметь следующие семантические толкования:

- если H, то C – правило логического заключения;
- если H, то надо C – правило выбора действия;
- H – это C – правило, определяющее понятие;
- H – вывод завершен – заключительное правило, представляющее собой шаблон команды для объекта управления или фразу-ответ на ЕЯ. Этот тип правил определяется особенностями объекта управления.

В общем случае команда объекта управления представляет собой заключительное правило, для которого C – пустое дерево. Заключительное правило также может представлять фразу-ответ на ЕЯ, что позволяет реализовывать возможность диалога.

Далее приведен пример логического анализа нескольких фраз. Объект управления в примере умеет только включать известные ему приборы (светильник и чайник), расположенные в известном помещении (на кухне) и запускать известные программы (блокнот и проигрыватель). Для краткости будем записывать деревья в виде скобочных структур и опускать обозначение пометок ребер. Пусть лексикон состоит из всех используемых в примере слов (для краткости не будем приводить его полностью), и на нем заданы следующие отношения:

Gen(СТАТЬЯ,"ТЕКСТОВЫЙ ДОКУМЕНТ") = 1;
 Gen(ПИСЬМО,"ТЕКСТОВЫЙ ДОКУМЕНТ")=1;
 Gen(БЛОКНОТ,ПРОГРАММА) = 1;
 Gen(БЛОКНОТ,ПРОИГРЫВАТЕЛЬ) = 1;
 Gen(СВЕТИЛЬНИК,ПРИБОР) = 1;
 Gen(ЧАЙНИК,ПРИБОР) = 1;

Gen(КОМНАТА,ПОМЕЩЕНИЕ) = 1;
 Gen(КУХНЯ,КОМНАТА) = 1;
 Syn(НАПЕЧАТАТЬ,НАБРАТЬ) = 1;
 Syn(НАБРАТЬ,НАПЕЧАТАТЬ) = 1;
 Множество правил Rules= {
 ЗАПУСТИТЬ (\$X), Parameters={{\$X, "ПРОГРАММА" }};
 ВКЛЮЧИТЬ (\$X, \$Y), Parameters={{\$X, "ПОМЕЩЕНИЕ" }, {\$Y, "ПРИБОР" }};
 НАПИСАТЬ (\$X) → НАБРАТЬ (\$X), Parameters={{\$X, "ТЕКСТОВЫЙ ДОКУМЕНТ" }};
 НАБРАТЬ (\$X) → ЗАПУСТИТЬ (БЛОКНОТ), Parameters={{\$X, "ТЕКСТОВЫЙ ДОКУМЕНТ" }};
 ТЕМНО (\$X) → ВКЛЮЧИТЬ (\$X, СВЕТИЛЬНИК) Parameters = {{ \$X, "ПОМЕЩЕНИЕ" }};

Рассмотрим анализ фразы "Нужно срочно написать статью для журнала". Заметим, что эта фраза не является явной командой объекту управления. Дерево, представляющее фразу, в виде скобочной структуры:

НУЖНО (СРОЧНО, ЖУРНАЛ, НАПИСАТЬ(СТАТЬЯ)).

Применение правила 3 к дереву фразы:

НУЖНО (СРОЧНО, ЖУРНАЛ, НАБРАТЬ (СТАТЬЯ)).

Применение правила 4:

НУЖНО (СРОЧНО, ЖУРНАЛ, ЗАПУСТИТЬ (БЛОКНОТ)).

Применение заключительного правила 1 дает команду:

ЗАПУСТИТЬ (БЛОКНОТ).

Аналогичным образом фраза "В кухне слишком темно" приведет к команде ВКЛЮЧИТЬ (КУХНЯ, СВЕТИЛЬНИК). Таким образом, предложенная модель позволяет описывать принципиально более сложную логику, чем простая интерпретация команд, вроде "Включи чайник".

Пример показывает, что адекватность результатов логического вывода определяется наполнением множества правил и отношениями на лексиконе, и не зависит от используемого языка.

Заключение

Несмотря на сравнительную простоту, предлагаемое представление знаний обладает достаточно широкими описательными возможностями. Кроме того, лексические и логические знания построенной модели легко пополняются непосредственно в процессе функционирования системы [7].

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В МОДЕЛИ АДАПТИВНО-ЛОГИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Предложенная математическая модель реализована в виде ядра программной архитектуры AL SYSTEM [5]. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009610579

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт Российского НИИ искусственного интеллекта. \ Режим доступа: <http://artint.ru>
2. Сайт компании House Control. \ Режим доступа: <http://www.housecontrol.ru>
3. Хорошевский, В.Ф. Оценка систем извлечения информации из текстов на естественном языке: кто виноват, что делать} // Труды Десятой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2006). - М.: Физматлит. - 2006. - Т. 2. - С. 464-478.
4. Розенталь, Д.Э. Словарь лингвистических терминов.

5. Крайванова В.А., Крючкова Е.Н. Технология AL SYSTEM в человеко-машинных интерфейсах на естественных языках - Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов VII Всероссийской научно-практич. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Ч.1. Томск: изд-во СПб Графикс - С. 291-293.

6. Блувштейн, Д.В. К вопросу о создании интеллектуального интерфейса с организацией обработки запроса на естественном языке \ Труды международной конференции Диалог'2004 - [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.dialog-21.ru/Archive/2004/Bluvshstein.pdf>, свободный.

7. Крайванова В.А., Крючкова Е.Н. Концепция адаптивного управления интеллектуальными объектами на основе логического вывода \ Ползуновский альманах №4/2008. - С. 26-30