

МЕЖМОДЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОГО ИНТЕРФЕЙСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Теленик Сергей Федорович

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, 03056, г. Киев, пр. Победы, 37, ФИВТ, кафедра АУТС, тел./факс: (044) 241 70 39, тел.: (044) 236 42 99,
telenik@acts.kiev.ua

Смичик Руслана Вадимовна

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, 03056, г. Киев, пр. Победы, 37, ФИВТ, кафедра АУТС, тел.: (044) 410 15 41
lana_smichyk@ukr.net

В статті розглянута проблема створення природномовного інтерфейсу як компоненту АСУ. Поданий короткий огляд існуючих методів вирішення та визначені тенденції сучасних досліджень. Як засіб ефективної обробки природної мови, що заснована на імітації розуміння, описаний підхід до аналізу текстів, що дозволяє гнучкі переходи між різними моделями опису мови в залежності від характеристик тексту, що аналізується. Також запропонований спосіб пошуку оптимальної послідовності побудованих моделей, що базуються на нечіткій логіці.

In this paper the problem of developing natural language interface as a computer management system component is discussed. A brief review of the existent methods for solving this problem is given and the tendencies of the modern research are defined. We describe an approach for text analysis based on understanding imitation. It allows flexible jumps between different language models depending on the properties of text to be parsed. We also propose a way of searching for optimal sequence of models to be built that is based on fuzzy logic.

Описание проблемы и существующих методов ее решения

Целью работы является создание эффективного метода построения естественно-языкового интерфейса в составе АСУ. Данный компонент рассматривается нами как альтернатива общепринятого способа взаимодействия с пользователем, которым в настоящее время является система меню и запросов на ограниченном языке.

Естественно-языковой интерфейс рассматривается как компонент, имитирующий человеческое понимание сообщения на естественном языке (ЕЯ), поступающего на вход АСУ. Имитация понимания связана с проблемой обработки ЕЯ, которая до сих пор полностью не решена.

Современные подходы к обработке ЕЯ заключаются в выделении смысловых единиц, удобных для дальнейшего хранения и анализа существующими вычислительными средствами с целью выработки ответной реакции системы или пополнения базы знаний. Проблема выделения смысловых единиц может быть решена при помощи моделирования ЕЯ. Еще до возникновения компьютерной лингвистики, в классической лингвистике существовали некоторые модели языка. Разные модели применялись при попытке создания систем обработки ЕЯ. Первые системы использовали синтаксическую модель, затем, осознав ее несостоятельность при анализе сложных конструкций, разработчики подключали семантическую и прагматическую модель.

В последних разработках отказались от одномоделных систем, они обычно построены на последовательном построении моделей от простой к более сложной. Такой подход был использован при разработке алгоритма, описанного в [4], в котором последовательно учитываются морфологический, семантический и прагматический аспекты языка.

Однако, современные исследования показали, что самым многообещающим подходом является не однопроходная стратегия, а множественные переходы по всему тексту с использованием укрупненных свойств текста (стилизованная фраза, частота появления слов и т.п.) и статистических методов [5].

Предлагаемый подход

Концептуальной новизной нашего подхода, который далее будем называть межмодельным, является идея использования:

- всех известных моделей языка (которые описывают язык в разных аспектах);
- моделей искусственного интеллекта (которые позволяют от детерминированности перейти к нечеткости).

Модели используются таким образом, чтобы, исходя из свойств текста, подаваемого на разбор, выбирать наиболее подходящие модели интерпретации с гибкой последовательностью перехода от одной модели к другой. В отличие от жесткой последовательности разбора, данный подход позволит использовать преимущества обучения - за короткое время выдавать максимальное количество полезной информации, переданной текстом на ЕЯ, благодаря выбору для построения наиболее перспективных моделей с точки зрения возможности получения значимой информации.

Межмодельный подход базируется на следующих понятиях [1]:

- 1) модель – структура, описывающая один из аспектов языка;
- 2) элемент модели – единица языка, рассматриваемого в одной из моделей;
- 3) атрибут элемента модели – свойство элемента модели;
- 4) метод модели – процедура определения значения атрибута модели, которое он приобретает в зависимости от свойств исходного текста;
- 5) модельное правило – правило, описывающее взаимную зависимость значений атрибутов элементов в пределах модели;
- 6) межмодельное правило - правило, описывающее взаимную зависимость значений атрибутов элементов разных моделей;
- 7) метамодель – структура, содержащая правила определения состава моделей, построение которых:
 - обязательно не зависимо от свойств входного текста;
 - может дать полезные результаты, исходя из свойств входного текста;
 - необходимо опустить, исходя из свойств входного текста;
- 8) база знаний (БЗ) – структура для накопления знаний, необходимых для понимания ЕЯ, хранящая информацию о языке (прежде всего словарь) и внеязыковые знания;
- 9) структура понимания, введенная в [2] – структура для накопления знаний, содержащихся во входном высказывании ЕЯ;
- 10) алгоритм анализа текста – описание процесса заполнения структуры понимания.

В нашем подходе мы постарались учесть все известные модели. На данный момент дано формальное описание таких моделей, как:

- 1) морфологическая – объект моделирования: отдельное слово (устойчивое словосочетание) как часть речи;
- 2) семантическая – объект моделирования: отдельное слово (устойчивое словосочетание) как составляющая смысла (данная модель представляет собой развитие семантического компонента, описанного в [3]);
- 3) модель дерева подчинения - объект моделирования: слово (устойчивое словосочетание) в контексте их согласованности, подчиненности и примыкания в предложении или фразе (данная модель, наряду с семантической, представляет собой развитие семантического компонента, описанного в [3]);
- 4) синтаксическая - объект моделирования: слово (устойчивое словосочетание) в предложении или фразе как главные и второстепенные члены;
- 5) логическая:
 - независимых компонентов - объект моделирования: слово (устойчивое словосочетание) как логическая составляющая;
 - простая - объект моделирования: слово (устойчивое словосочетание) как логический элемент простого предложения или простой составляющей;
 - сложная - объект моделирования: простая составляющая сложного предложения как логический элемент;
- 6) модель определения - объект моделирования: слово (устойчивое словосочетание) в предложении, дающем определение;
- 7) продукционная - объект моделирования: слово, простая составляющая сложного предложения с условием и следствием;
- 8) модель темы и ремы - объект моделирования: слово (устойчивое словосочетание) в предложении в контексте выделения известного и нового, сообщаемого об известном;
- 9) модус + пропозиция:
 - модель объективной модальности - объект моделирования: слово/словосочетание/простая составляющая предложения в плане осуществленности, осуществяемости и неосуществленности;
 - модель субъективной модальности - объект моделирования: слово/словосочетание/простая составляющая предложения как выражение субъективной квалификации сообщаемого;
- 10) модель прагматики - объект моделирования: слово/словосочетание/простая составляющая предложения как выражение локутивного, иллюкутивного и перлокутивного акта.

Переходы между моделями, которые необходимо строить для исходного текста, определяются метамодельными правилами. Каждое правило состоит из одного или более условий, содержащих определенные значения атрибутов анализируемого текста и следствие - ссылку на модель, подлежащую построению. Межмодельные правила позволяют определить значения атрибутов строящихся моделей, имея значения атрибутов уже построенных моделей.

Неопределенность в естественном языке

Одной из сложностей естественного языка в плане автоматизированной обработки текстов является присущая ему неопределенность. Выражения ЕЯ в подавляющем большинстве случаев неточны, и могут быть интерпретированы разными получателями по-разному, причем невозможно однозначно утверждать, что какая-либо из интерпретаций неверна.

Рассмотрим пример:

Подойдите к высотному зданию в начале улицы

(1)

Это выражение содержит две неопределенности:

- 1) какое здание можно считать высотным;
- 2) где находится конечная точка, которая еще может считаться началом улицы.

Эффективным и удобным средством для интерпретации выражений, содержащих неопределенность, рассматриваемую как нечеткость понятий языка, является нечеткая логика. Предоставляя аппарат определения численных значений нечеткости, вычисления выражений с элементами неопределенности, нечеткая логика дает возможность находить решение даже в случаях нехватки данных или неуверенности в точном исходе при заданных условиях.

Упомянутые выше правила метамоделей, модельные и межмодельные правила представляют собой выражения импликации разной сложности, которые задаются экспертами. С одной стороны, в этих правилах участвуют понятия ЕЯ, которые, как было показано, могут быть нечеткими. Поэтому, они могут иметь больше одного возможного следствия. Каждому из следствий, в свою очередь, может быть дана оценка уверенности в том, что будет иметь место именно это следствие. С другой стороны, сложные структуры, из которых сформирован ЕЯ, делают процесс формирования точных правил слишком творческим: у эксперта ушло бы много времени на выявление всех частных случаев, которые дали бы только одно следствие, имеющее единичную (т.е. точную) оценку определенности. Имея аппарат нечеткой логики, эксперт получает возможность формулирования правил даже в случае неуверенности в точном результате.

Таким образом, при разработке системы понимания имеется по крайней мере два аспекта, где необходимо применение нечетких логик:

- 1) оценка понятий, содержащих неопределенность, таких как *высотный* и *начало*, приведенные в примере (1);
- 2) оценка следствий правил метамоделей, модельных и межмодельных правил.

Второй аспект является более сложным и критичным для успешного анализа. Рассмотрим его подробнее.

Определение оптимальной последовательности применения модельных, межмодельных и метамоделных правил

Предположим, что имеется множество правил формата:

$$(A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n) \rightarrow (B_1 \vee B_2 \vee \dots \vee B_n)$$

A_1, A_2, \dots, A_n – это условия правила, B_1, B_2, \dots, B_n – возможные следствия. Для каждого следствия экспертами дана оценка уверенности в том, что оно имеет место для выражения ЕЯ, удовлетворяющего условиям правила. Следствия правил могут являться условиями для других правил, и таким образом мы получаем цепочки правил разбора входного текста. Каждому следствию дана оценка уверенности в интервале $[0,1]$. Если условие имеет одно следствие, его значение не обязательно равно 1.

Рассмотрим пример, состоящий из двух возможных последовательностей применения правил (рис.1).

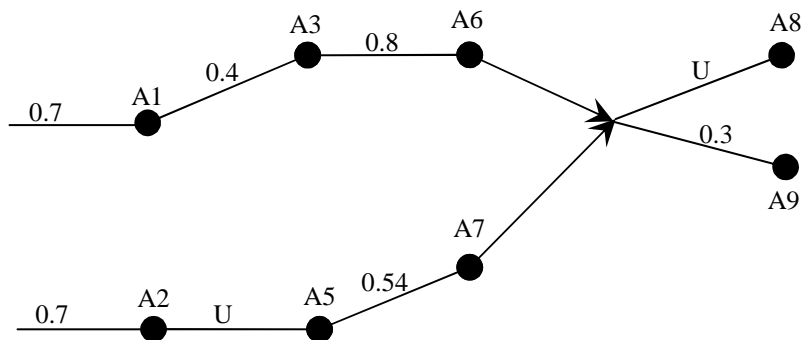


Рис.1 Пример цепочек применения правил системы понимания

Чтобы определить, какая из них даст конечный результат с большей степенью уверенности, необходим метод вычисления промежуточных результатов на основе данных о степени уверенности условия и степени уверенности того, что некое условие даст некое следствие. Другими словами, если известно, что уверенность в A_1 равна k , а уверенность в $A_1 \rightarrow A_2$ равна l , то для дальнейшего расчета по цепочке или (в случае, если A_2 –

конечная точка) получения конечной уверенности в целесообразности применения данной цепочки правил нужно иметь оценку уверенности в A_2 .

Итак, наша задача – получение оценки для A_2 - промежуточного результата применения правил системы понимания ЕЯ.

Согласно общепринятым правилам, определим следующие записи логических выражений:

a'	“не а”
$a \vee b$	“или”
$a \wedge b$	“и”
$a \rightarrow b$	импликация - “если а, то b”

В теории нечетких множеств $a' = 1 - a$. Логическому выражению “и” соответствует операция \otimes , а выражению “или” - операция \oplus . Эти операции определяются через Т-нормы (обозначаются знаком $*^T$) и Т-сонормы (обозначаются знаком $+^T$) соответственно. Самыми распространенными являются следующие определения Т-норм и Т-сонорм:

$$a *^T b = ab; a +^T b = a + b - ab \quad (2)$$

$$a *^T b = \min(a, b); a +^T b = \max(a, b) \quad (3)$$

Так как $a \rightarrow b = a' \vee b$, обобщая выражение импликации на случай нечетких множеств [7]:

$$(A_1 \rightarrow A_2)(x) = A_1'(x) \vee A_2(x) \quad (4)$$

где через x обозначены конкретные условия, накладываемые свойствами текста, подаваемого на анализ системе понимания, а $A_i(x)$ - численные оценки степени уверенности в условии/следствии A_i .

Неизвестное значение - численная оценка A_2 . Обозначим:

$$A_1(x) = k$$

$$(A_1 \rightarrow A_2)(x) = l$$

Применяя определения операторов (2), и преобразовывая выражение (4), получим:

$$l = 1 - k + A_2(x) - (1 - k) A_2(x); l = 1 - k + A_2(x)(1 - (1 - k)); l = 1 - k + A_2(x) k$$

$$A_2(x) = (l - 1 + k) / k \quad (5)$$

Формула (5) может дать отрицательные числа, если $(k+l) < 1$. Поэтому она не подходит для вычисления уверенности.

Применяя определения операторов (3), и преобразовывая выражение, получим:

$$l = \max((1 - k), A_2(x)) \quad (6)$$

Исходя из формулы (6), $A_2(x)$ можно вычислить подбором, который может дать более одного результата.

Таким образом, традиционным подходом задача вычисления $A_2(x)$ решается не однозначно и не во всех случаях. Кроме того, такой подход оперирует одинаково со всеми численными значениями уверенности, не принимая в расчет то, что логическое значение 0.5 не дает никакой оценки верности/возможности. По этой причине оно часто заменяется знаком u (undefined) с целью избежания путаницы.

Вышеуказанные недостатки исключаются в методе вычисления уверенности, описанный в [6]. Через

$$\vdash_k A$$

обозначается утверждение о том, что A имеет место со степенью уверенности k . Предложен набор аксиом:

$$[\text{comp}_\wedge] \frac{\vdash_k P, \vdash_l Q}{\vdash_{k \otimes l} P \wedge Q}, [\text{comp}_\vee] \frac{\vdash_k P, \vdash_l Q}{\vdash_{k \oplus l} P \vee Q}, [\text{MP}] \frac{\vdash_k P, \vdash_l P \rightarrow Q}{\vdash_{(k \oplus l) \otimes l} Q} \quad (7)$$

Применяя данные аксиомы с учетом нечетких оценок для P и $P \rightarrow Q$, мы можем вычислить оценку Q .

Для целей обработки естественного языка нам могут понадобиться все три аксиомы. В случае использования аксиомы MP из двух способов определения операций \otimes и \oplus приемлемы только определения (2). Определения (3) предполагают сравнение, которое не может быть выполнено между k (число в диапазоне $[0,1]$) и u , так как u не относится ни к уверенности, ни к неуверенности.

При выборе определений (2) необходимо убедиться, что результаты не будут давать чисел, выходящих за диапазон $[0,1]$.

Для $a *^T b = ab$ наибольшее возможное значение a и b равно 1, и их произведение даст 1. Это значение не выходит за пределы обозначенного диапазона. Для $a +^T b = a + b - ab$ наибольшее возможное значение a и b равно 1, и $1 + 1 - (1 \cdot 1) = 1$. Это значение не выходит за пределы обозначенного диапазона.

Используя метод из [6], вычислим степени уверенности для каждой из двух цепочек из нашего примера. Пусть экспертами даны следующие оценки:

$$\mapsto_{0.7} A_1$$

$$\mapsto_{0.4} (A_1 \rightarrow A_3)$$

$$\mapsto_{0.8} (A_3 \rightarrow A_6)$$

$$\mapsto_u ((A_6 \wedge A_7) \rightarrow A_8)$$

$$\mapsto_{0.7} A_2$$

$$\mapsto_u (A_2 \rightarrow A_5)$$

$$\mapsto_{0.54} (A_5 \rightarrow A_7)$$

$$\mapsto_{0.3} ((A_6 \wedge A_7) \rightarrow A_9)$$

Применяя определения операций (2) и аксиомы (7):

1) вычислим $\mapsto_{(0.7 \oplus u) \otimes 0.4} A_3$:

$$(0.7 \oplus u) \otimes 0.4 = 0.4 (0.7 + u - 0.7u) = 0.4 (0.7 + 0.3u) = 0.28 + 0.12u,$$

т.е. $\mapsto_{0.28+0.12u} A_3$;

2) вычислим $\mapsto_{(0.28+0.12u \oplus u) \otimes 0.8} A_6$:

$$(0.28 \oplus 0.12u \oplus u) \otimes 0.8 = 0.8 (0.28+0.12u+u-(0.28+0.12u)u) = 0.8 (0.28 + 0.12u + u - 0.28u - 0.12u) =$$

$$= 0.8 (0.28 + 0.72u) = 0.22 + 0.58u,$$

т.е. $\mapsto_{0.22+0.58u} A_6$;

3) вычислим $\mapsto_{(0.7 \oplus u) \otimes u} A_5$:

$$(0.7 \oplus u) \otimes u = u (0.7 + u - 0.7u) = u (0.7 + 0.3u) = u,$$

т.е. $\mapsto_u A_5$;

4) вычислим $\mapsto_{(u \oplus u) \otimes 0.54} A_7$:

$$(u \oplus u) \otimes 0.54 = 0.54 (2u - u) = 0.54u$$

т.е. $\mapsto_{0.54u} A_7$;

5) вычислим $\mapsto_{(0.22 \oplus 0.58u) \otimes 0.54u} (A_6 \wedge A_7)$:

$$(0.22 \oplus 0.58u) \otimes 0.54u = 0.22 \cdot 0.54u + 0.58u \cdot 0.54u = 0.12u + 0.31u = 0.43u,$$

т.е. $\mapsto_{0.43u} A_6 \wedge A_7$;

6) вычислим $\mapsto_{(0.43u \oplus u) \otimes u} A_8$:

$$(0.43u \oplus u) \otimes u = u (0.43u + u - 0.43u) = u,$$

т.е. $\mapsto_u A_8$;

7) вычислим $\mapsto_{(0.43u \oplus u) \otimes 0.3} A_9$:

$$(0.43u \oplus u) \otimes 0.3 = 0.3 (0.43u + u - 0.43u) = 0.3u$$

т.е. $\mapsto_{0.3u} A_9$;

Получаем: $\mapsto_u A_8$; $\mapsto_{0.3u} A_9$

С целью выработки точной интерпретации анализируемого текста, для сравнения полученных оценок применим „безопасный” метод упорядочивания, в соответствии с которым

$$a_1 + b_1u \leq a_2 + b_2u \text{ если } a_1 \leq a_2 \text{ или } (a_1 = a_2 \text{ и } b_1 \leq b_2) \quad (8)$$

Таким образом, при данном порядке нижняя цепочка из рис. 1 (заканчивающаяся получением результата A_9) дает более надежный результат.

Определенность конечного результата отвечает за правильную интерпретацию входного текста. Оптимальность последовательности применения правил должна определяться также полнотой заполнения структуры понимания, так как очевидно, что при равных значениях оценок более короткая цепочка получит большее значение уверенности, однако дает меньшее количество заполненных элементов в структуре понимания. Для исключения неоднородности конкурирующих цепочек будем рассматривать отдельно:

- последовательности метамодельных правил, в которых фактор полноты учитывать не будем, так как каждая последовательность в итоге должна дать однородные результаты – оценку уверенности в успехе построения той или иной модели;

- когда оптимальная модель для построения найдена, будем рассматривать последовательности модельных и межмодельных правил, в которых будем учитывать фактор полноты.

Рассмотрим пример обработки входного текста, состоящего из одного предложения:

Это он обнаружил ошибку.

Пусть все шаги по построению обязательных моделей выполнены. Это значит, в частности для нашего примера, что связывание слов по правилам присоединения в модели дерева подчинения уже сделано, и при описании конструкций мы учитываем только присоединяющие и дуальные (которые могут и присоединять и быть присоединенными) слова.

Пусть экспертами даны следующие оценки:

$\mapsto_1 A0$; $\mapsto_0 A3$; $\mapsto_1 A4$; $\mapsto_1 A6$; $\mapsto_1 A7$; $\mapsto_1 A9$

$\mapsto_{0.7} (A0 \rightarrow A1)$; $\mapsto_0 (A3' \rightarrow A1)$; $\mapsto_{0.8} (A0 \rightarrow A2)$; $\mapsto_{0.7} (A9 \rightarrow A10)$

$\mapsto_{0.9} (A4 \rightarrow A11)$; $\mapsto_{0.85} (A6 \rightarrow A11)$; $\mapsto_{0.95} (A7 \rightarrow A12)$,

где для утверждений введены следующие обозначения:

A0: в предложении есть слово *это*;

A1: построение модели определения целесообразно;

A2: построение модели темы и ремы целесообразно;

A3: в предложении есть хотя бы одно существительное в именительном падеже;

A4: в предложении есть конструкция *это* <слово>, где <слово> в семантической модели является сущностью или деятельностью;

A6: в предложении есть последнее слово;

A7: в предложении есть конструкция *это* <слово>, где <слово> в семантической модели является действием;

A9: в предложении у каждого присоединяющего слова менее двух присоединенных слов;

A10: построение синтаксической модели целесообразно;

A11: <слово> является ремой;

A12: <слово> является темой.

Метамодельными правилами являются $(A0 \rightarrow A1)$, $(A3' \rightarrow A1)$, $(A0 \rightarrow A2)$, $(A9 \rightarrow A10)$

Схематически цепочки правил для разбора нашего примера представлены на рис.2.

Рассмотрим цепочки метамодельных правил:

При анализе цепочек метамодельных правил необходимо сравнивать конечные результаты целесообразности построения моделей. В нашем примере мы должны сравнить оценки для A1, A2 и A10. При вычислении оценки целесообразности построения модели, если решение может быть принято несколькими способами, дающими разную степень уверенности, необходимо брать максимальную оценку по указанному выше „безопасному” правилу сравнения (8) за исключением случаев, когда один из способов даст оценку, равную нулю (как в нашем примере в случае оценки A1). В этом случае нужно выбирать оценку, равную нулю.

При анализе цепочек модельных и межмодельных правил необходимо сравнивать оценки последних точек каждой цепочки по указанному выше „безопасному” правилу.

Производя вычисления, аналогичные подробно описанным вычислениям из примера, изображенного на рис.1, получим для метамодельных правил:

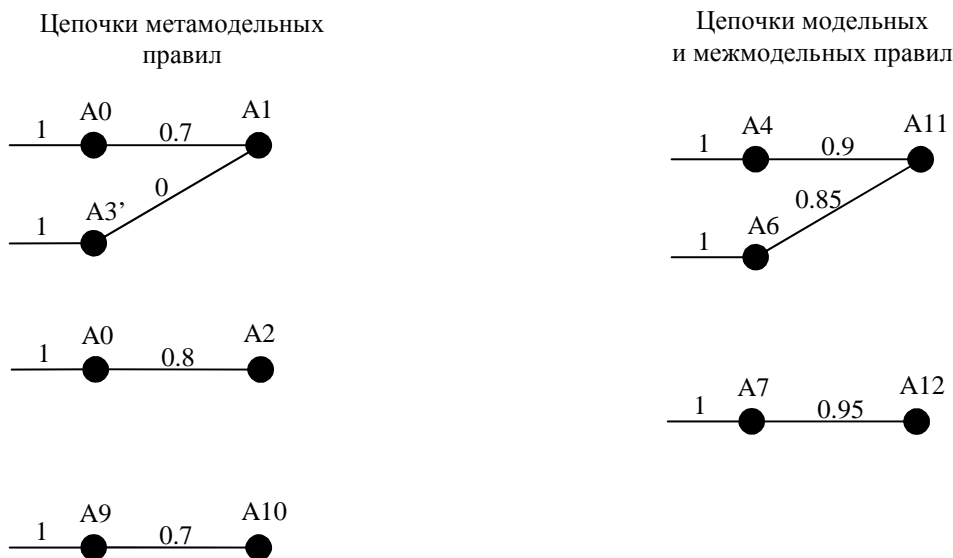


Рис. 2 Цепочки правил для разбора предложения *Это он обнаружил ошибку*

$\mapsto_{0,7} A1$ - по первому варианту

$\mapsto_0 A1$ – по второму варианту.

Таким образом, выбираем:

$\mapsto_0 A1$

$\mapsto_{0,8} A2$

$\mapsto_{0,7} A10$.

Иными словами, вариант A2 (построение модели темы и ремы) оценен как наиболее перспективный. Аналогично для модельных и межмодельных правил получим:

$\mapsto_{0,9} A11$ (из оценки $A4 \rightarrow A11$);

$\mapsto_{0,85} A11$ (из оценки $A6 \rightarrow A11$).

$\mapsto_{0,95} A12$

Для A12 имеем единственную альтернативу, для A11 выбираем цепочку ($A4 \rightarrow A11$), так как она дает более уверенную оценку.

Другими словами, благодаря тому, что в предложении

Это он обнаружил ошибку

присутствует слово *это*, мы получили, что оптимальной для построения будет модель темы и ремы. Определившись с оптимальной моделью, строим модель темы и ремы, применяя оптимальные цепочки модельных и межмодельных правил (в нашем случае присутствуют только межмодельные правила):

A4: конструкция *это* <слово>, где <слово> в семантической модели является сущностью или деятельностью присутствует в данном предложении (<слово> = *он*). Значит, с уверенностью 0.9 можно сказать, что *он* является ремой.

A7: в предложении есть конструкция *это* <слово>, где <слово> в семантической модели является действием (<слово> = *обнаружил*). Значит, с уверенностью 0.95 можно сказать, что *обнаружил* является темой.

Выводы

Межмодельный подход обработки текстов является удобным средством создания естественно-языкового интерфейса, сочетающим гибкость, учет и оценку альтернатив анализа, а также простоту формулирования правил разбора входного текста. Подход позволяет легко производить наращивание моделей и множества всех типов правил. Дальнейшие исследования предполагают развитие уже введенных моделей, ввод новых и создание средства автоматизированной генерации правил и наполнения базы знаний.

Литература

1. Межмодельный подход к имитации понимания естественного языка в автоматизированных системах управления / Смичик Р.В.; Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политехн. ин-т". – Киев, 2003. – 144 с. – Библиогр.: 9 назв. – Рус. – Деп в ГНТБ Украины. - 04.08.03, № 128-Ук2003.
2. Теленик С.Ф., Сичная А.А., Сичной А.Н. Естественно языковой интерфейс в адаптивной технологии / Проблемы программирования.- 1999.- №1.- С.118-129.
3. Смичик Р.В. Представлення семантики для оброблення природної мови в автоматизованих системах управління // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - 2003. - Вип.1/2003 (18). – с.37-40.
4. Теленик С.Ф., Смичик Р.В. Оброблення текстів природної мови на основі моделей розуміння в автоматизованих системах управління // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. Технічні науки. – 2002. - № 4(23). - с. 222-230.
5. Jacobs P.S., Rau L.F. Innovations in text interpretation / Artificial Intelligence. – 1993. – Vol. 63. – p. 143-189.
6. Jamroga W. Extending Fuzzy Logics to Support Decisions / <http://wwwhome.cs.utwente.nl/~jamroga/research.html>
7. Nguyen H.T, Walker E.A. A First Course in Fuzzy Logic. – CHAPMAN & HALL/CRC. – 2000.