



УДК 004.048;004.5;004.82

А.Ф. Верлань¹, И.А. Чмырь², доктора техн. наук, Ю.О. Фуртат¹,

¹ Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел.: +380 44 4243541, e-mail: a.f.verlan@gmail.com;
+380 50 4420113, e-mail: saodhar@ukr.net),

² Одесский государственный экологический университет
(Украина, 65016, Одесса, ул. Львовская, 15,
тел. +380 482 326735, e-mail: chimir@mail.ru)

Построение формальной модели вопросно-ответного взаимодействия пользователя с автоматизированной системой

Рассмотрена задача моделирования диалогового взаимодействия пользователя с автоматизированной системой в процессе обучения и работы с ней. Предложена логическая модель структуры вопросов и ответов для включения их в состав базы знаний диалога, а также выполнена классификация вопросно-ответного взаимодействия в зависимости от вида предпосылки вопроса.

Розглянуто задачу моделювання діалогової взаємодії користувача з автоматизованою системою в процесі навчання та роботи з нею. Запропоновано логічну модель структури запитань і відповідей для включення їх до складу бази знань діалогу, а також виконано класифікацію запитувально-відповідної взаємодії в залежності від виду передумови запитання.

К л ю ч е в ы е с л о в а: диалоговое взаимодействие, структура вопроса, предпосылка вопроса, машина диалога.

Для создания современных сложных автоматизированных систем, получающих в последнее время все большее распространение, очень важна организация взаимодействия системы с пользователем. При программной реализации такого взаимодействия необходимо создание формальной модели диалогового общения. Формальное представление диалога, в отличие от естественно-языкового, позволяет перейти от поверхностных описаний к более глубоким абстракциям и отношениям, свойственным диалоговому процессу.

Выбор модели. При разработке формальной модели диалогового процесса важным фактором является ее адекватность психологии диалога, или адекватность теории процесса восприятия и переработки информации

© А.Ф. Верлань, И.А. Чмырь, Ю.О. Фуртат, 2014

человеком. Если в основу формальной модели диалога положены «удачные» психологические модели, то можно ожидать, что искусственные диалоговые агенты наиболее естественно будут наследовать гибкость и универсальность системы восприятия и переработки информации человеком.

В классическом случае диалог представляет собой вопросно-ответное (эротематическое) взаимодействие. Искусственные агенты, как и агенты естественных диалогов, должны оперировать базами вопросов и ответов. Для построения формального описания «машины диалога» необходимо формальное описание вопросов и ответов соответствующей предметной области. Привязка к предметной области уменьшает универсальность разрабатываемых средств диалогового моделирования, так как целесообразно ориентироваться на модели, описывающие диалог на уровне, инвариантном процессу генерации вопроса и (или) ответа. Для этого необходимо создание универсальной абстрактной структуры вопросов и ответов.

Логическое моделирование структуры вопроса. При исследовании логической организации вопроса в качестве материала исследований обычно используются опубликованные в литературе естественно-языковые примеры. Однако полученные результаты следует трактовать именно в логическом, а не в лингвистическом смысле. Выделенные из естественно-языковых примеров логические компоненты, составляющие логическую модель, могут быть затем представлены в виде несимвольных образов (графических или звуковых).

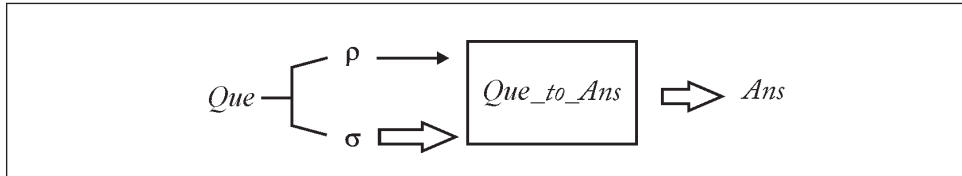
Таким образом, предлагаемая логическая модель вопроса и релевантного ему ответа имеет более широкую сферу применимости, чем естественно-языковой эротематический диалог.

Вопросы, включающие ответы. Структура вопроса и релевантного ему ответа является предметом исследования «чистых» логиков [1—3] и исследователей в области искусственного интеллекта [4—8]. В указанных работах структура вопроса рассматривается с разных точек зрения, однако общим для них является наличие явно заданного (или подразумеваемого) источника информации, используемого для формирования ответа. Вопросы, обладающие таким свойством, будем относить к классу вопросов, включающих ответы.

В [1] исследованы два представителя класса вопросов, включающих ответы: ли-вопрос и какой-вопрос. Для формального представления этих вопросов в [1] предложена конструкция, называемая интеррогатив и записываемая в виде

$$Que \stackrel{def}{=} ?p\sigma, \quad (1)$$

где p — предпосылка вопроса; σ — субъект вопроса; $?$ — признак интеррогатива (в дальнейшем не используется).



Модель реактивного агента Re-agent в виде системы вход—процесс—выход

Под субъектом вопроса понимается фрагмент базы знаний активного агента, который передается или называется реактивному агенту и в котором содержится ответ:

$$Ans \in \sigma. \quad (2)$$

Следовательно, ответ не генерируется реактивным (предоставляющим информацию в ответ на вопрос) агентом заново и не отыскивается во всей памяти, а содержится в субъекте вопроса. Поэтому субъект вопроса можно рассматривать как ответ с большой степенью неопределенности.

Предпосылка вопроса содержит сведения, позволяющие реактивному агенту снять неопределенность и сформировать ответ с помощью процедуры, которую обозначим *Que_to_Ans*. Описанная структура вопроса позволяет моделировать поведение реактивного агента в виде системы вход—процесс—выход, получающей на входе субъект и предпосылку, а на выходе генерирующей ответ с помощью процедуры *Que_to_Ans*. На рисунке представлена модель реактивного агента в виде системы вход—процесс—выход.

В [1] приведено множество примеров естественно-языковых вопросов, подтверждающих справедливость выражений (1) и (2). Например в вопросе «курение табака — это порок, добродетель, причуда, сумасбродство или панацея от всех невзгод?» субъект представлен списком $\sigma = \{\text{порок, добродетель, причуда, сумасбродство, панацея от всех невзгод}\}$, а предпосылка есть предположение о том, что в качестве ответа должен быть выбран только один элемент списка, т.е. субъект представлен списком альтернатив.

При описании конечно-автоматной модели метода доступа к памяти вопросов используется понятие множества ответов R^i , распознаваемых на i -м шаге, и содержащее только те ответы реактивного агента, которые ожидаются на этом шаге и необходимы для реализации диалогового метода, а следовательно, должны быть распознаны. Концепция интеррогатива и процедура *Que_to_Ans* позволяют сформировать множество R^i не произвольно, а состоящим из ответов, логически следующих из вопроса. Напри-

мер для приведенного выше вопроса о курении табака в случае, когда предпосылка подразумевает выбор только одного элемента из списка субъекта, множество распознаваемых ответов R^i представляется в следующем виде:

$Ans_1 =$ Курение табака — это порок;

$Ans_2 =$ Курение табака — это добродетель;

$Ans_3 =$ Курение табака — это причуда;

$Ans_4 =$ Курение табака — это сумасбродство;

$Ans_5 =$ Курение табака — это панацея от всех бед.

В работе [1, с. 45] отмечено следующее: «...вопрос через свой субъект задает область альтернатив, а затем «предпосылает» имеющемуся списку альтернатив инструкцию, по которой отвечающему предлагается изготовить из этих альтернатив конкретный тип прямого ответа...». Таким образом, авторы [1] предполагают, что субъект — это список объектов, переходящих в ответ, представленный в реальной или номинальной категориях. При таком представлении субъекта автоматически предполагается, что структура ответа — тоже список. Представление структуры ответа в виде списка объектов является упрощенным.

В отличие от авторов [1] под субъектом будем понимать единичный объект в категории *вещь* или *свойство* и ассоциированный с ним расширенный список соответственно свойств или вещей. Следовательно, будем полагать, что в качестве субъекта вопроса активный агент передает реактивному агенту одну из следующих конструкций:

$$\sigma \stackrel{def}{=} \langle \text{объект} — \text{вещь} \rangle \{ \text{расширенный список свойств} \}, \quad (3)$$

$$\sigma \stackrel{def}{=} \langle \text{объект} — \text{свойство} \rangle \{ \text{расширенный список вещей} \}. \quad (4)$$

Процедура *Que_to_Ans* выделяет из расширенного списка подсписок и формирует ответ в виде одной из следующих конструкций:

$$Ans \stackrel{def}{=} \langle \text{объект} — \text{вещь} \rangle \text{ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВАМИ} \{ \text{список свойств} \}, \quad (5)$$

$$Ans \stackrel{def}{=} \langle \text{объект} — \text{свойство} \rangle \text{ПРИСУЩЕ ВЕЩАМ} \{ \text{список вещей} \}. \quad (6)$$

Представление субъекта вопроса и соответствующего ему ответа в виде (3)—(6) справедливо для большого круга естественно-языковых вопросов [1].

Диалоговый процесс можно рассматривать как двунаправленный процесс перераспределения знаний между активным и реактивным агентами.

Так, например, в [9] отмечено: «...диалог может быть описан как процесс перераспределения знаний по отношению к некоторой исходной точке общения...». Если рассматривать диалоговый процесс как метод переноса знаний от реактивного агента к активному, то на каждом шаге активный агент получает в виде ответа новые, ранее отсутствующие у него, знания и, в соответствии с (5) и (6), они выражаются либо в приписывании некоторой вещи новых атрибутов, либо в приписывании некоторого атрибута группе вещей.

Формальное представление вопросно-ответных отношений. Запишем выражения, характеризующие структуру вопроса и релевантного ему ответа в более строгой нотации, используя концептуальный базис логики предикатов первого порядка. Согласно определению узкого исчисления предикатов [10] свойство — это одноместный предикат, или пропозициональная функция одной переменной. Субъект вопроса в терминах пропозициональных функций представим в виде

$$\sigma = x, \{P_\alpha(x)\}, \alpha = 1, \dots, m, \quad (7)$$

где $P_\alpha(x)$ — одноместный предикат, интерпретируемый как « X ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ P_α ». Выражение (7) является аналогом выражения (3), аналог выражения (4) запишем в виде

$$\sigma = P(x), \{x_\alpha\}, \alpha = 1, \dots, m, \quad (8)$$

где x_α — значения переменной x .

С точки зрения реактивного агента, субъект вопроса содержит как истинные, так и ложные высказывания, порожденные предикатом $P(x)$. Заметим, что истинность и ложность элементов субъекта вопроса следует понимать не в абсолютном, а в относительном смысле, по отношению к реактивному агенту. Так, например, для одного реактивного агента курение табака — сумасбродство, а для другого — панацея от всех невзгод. Таким образом, на один и тот же вопрос можно получить не один, а несколько истинных ответов.

Ответ можно трактовать как часть субъекта, из расширенного списка которого удалены ложные (по отношению к реактивному агенту) компоненты. Поэтому ответ также можно представить выражениями типа (3), (7) и (3), (8). Однако число элементов списка ответа меньше, чем число элементов субъекта вопроса:

$$Ans = x, \{P_\alpha(x)\}, \alpha = 1, \dots, n, \quad (9)$$

$$Ans = P(x), \{x_\alpha\}, \alpha = 1, \dots, n, \quad n < m. \quad (10)$$

Необходимость в предпосылке хорошо видна из следующих двух вопросов с тождественными субъектами:

«Какие простые числа расположены между числами 10 и 24?»

«Какой можно привести пример простого числа, расположенного между числами 10 и 24?»

Очевидно, что ответы на эти вопросы различны, а именно:

«Между числами 10 и 24 расположены простые числа 11, 13, 17, 19».

«Примером простого числа, расположенного между числами 10 и 24, является число 11».

В логике вопросов и ответов предполагается, что предпосылка может включать три типа спецификаций [1]: спецификации выбора, полноты и различения. Однако, если игнорировать проблему различения именных и реальных категорий при описании расширенных списков субъектов (спецификации различения), то спецификации выбора и полноты можно рассматривать как средства задания числа элементов списка в ответе. Поэтому будем считать, что предпосылка задает только полноту (число элементов) выбора из расширенного списка субъекта вопроса.

Анализ естественно-языковых примеров позволяет разделить все предпосылки на семь классов. Предлагаемая классификация предпосылок приведена в таблице.

Наличие предпосылки в структуре вопроса предопределяет не один, а несколько ответов на один и тот же вопрос. Например на вопрос «Какой можно привести пример простого числа, расположенного между числами 10 и 24?» возможны следующие ответы:

Классы предпосылки, задающие полноту ответа

Номер класса (индекс) предпосылки	Полнота ответа	Формулировка на естественном языке
ρ_1	Один элемент	—
ρ_2	Несколько элементов, число которых указано точно	—
ρ_3	Неопределенное число элементов от нижней границы $\langle n.г \rangle$ до верхней $\langle v.г \rangle$	«...не менее, чем $\langle n.г \rangle$, но не более, чем $\langle v.г \rangle$...»
ρ_4	Неопределенное число элементов от нижней границы до всего списка	1. «...не менее, чем $\langle n.г \rangle$...» 2. «...по крайней мере, $\langle n.г \rangle$...»
ρ_5	Неопределенное число элементов от одного до верхней границы	«...не более, чем $\langle v.г \rangle$...»
ρ_6	Неопределенное число элементов от одного до всего списка	«...хотя бы один...»
ρ_7	Весь список	—

«Примером простого числа, расположенного между числами 10 и 24, является число 11».

«Примером простого числа, расположенного между числами 10 и 24, является число 13» и так далее.

Следовательно, с одним и тем же вопросом связан список ответов:

$$Ans = \{Ans_{\beta}\}, \beta = 1, \dots, k. \quad (11)$$

В списке Ans каждый ответ удовлетворяет предпосылке вопроса, а ответы отличаются только значениями списка вещей или свойств. Если предпосылка требует, чтобы на вопрос был дан только один ответ (класс ρ_1), то список Ans является альтернативным, и процедура Que_to_Ans из k ответов списка Ans выбирает только один. Таким образом, предпосылка вопроса детерминирует:

число элементов в списке свойств (вещей) для отдельного ответа (число n в выражениях (9) и (10));

число элементов в списке допустимых ответов (число k в выражении (11)).

Представление предпосылки в виде совокупности классов является одним из решений проблемы ее конструктивной формализации. В этом случае задание предпосылки эквивалентно заданию ее индекса ρ_{γ} , $\gamma = 1, \dots, l$, где l — число классов предпосылки. При этом необходимо также указать значения нижней и верхней границ для классов ρ_3, ρ_4, ρ_5 (см. таблицу). Вместо класса предпосылки ρ_{γ} можно задавать пару чисел (n и k).

Представляет интерес исследование связи числа элементов расширенного списка субъекта вопроса (m), числа элементов списка ответа (n) и числа элементов множества ответов (k). Ясно, что такая связь существует. Анализ примеров свидетельствует о том, что чем меньше значение n (чем глубже неравенство $n < m$), тем большее число альтернативных ответов k можно получить.

Выводы

Предложенная структура вопросов и ответов, а также классификация предпосылок вопросов по категориям в зависимости от значений границ могут быть использованы для построения формализованного описания «машины диалога», пригодного для дальнейшей программной реализации. Универсальность предложенной структуры позволяет предположить, что созданные на ее основе средства моделирования диалогового взаимодействия будут применимы в различных областях деятельности как в качестве элементов сложных автоматизированных систем, так и в виде самостоятельных решений для организации взаимодействия между различными участниками рабочего процесса.

The article is dedicated to the problem of modeling the user dialogue interaction with the automated system in the process of training and work with the system. Logical model of the question and answer structure for their inclusion in the dialogue knowledge base, as well as the classification of question-answer interaction depending on the type of the question precondition are proposed.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белнап Н., Стил С. Логика вопросов и ответов. — М. : Прогресс. — 1981. — 288 с.
2. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. — М. : Наука, 1983. — 359 с.
3. Хинтикка Я. Вопросы о вопросах // Сб. статей «Философия в современном мире». — М. : Наука, 1974. — С. 303—362.
4. Слэйгл Дж. Искусственный интеллект. — М. : Мир, 1973. — 320 с.
5. Green C.C., Bertram R. Research on intelligent question answering systems // Proc. Association for Computing Machinery 23rd Nat. Conf. Princeton, N.J. : Brandon Systems Press, 1968. — P. 169—181.
6. Simmons R.F. Natural Language Question-Answering Systems: 1969 // Communication of the ACM. — 1970. — № 1. — P. 15—30.
7. Rosenbaum P.S. A Grammar Base Question-Answering Procedure // Ibid. — 1967. — № 10. — P. 630—635.
8. Fiksel J.R., Bower G.H. Question-Answering by a Semantic Network of Parallel Automata // Journal of Mathematical Psychology. — 1976. — № 13. — P. 1—45.
9. Янко Т.Е. Информационная модель диалога. Науч.-тех. информация. Сер. 2 // Информационные процессы и системы. — 1990. — № 12. — С. 30.
10. Клини С. Математическая логика. — М. : Мир, 1973. — 480 с.

Поступила 07.11.13

ВЕРЛАНЬ Анатолий Федорович, д-р техн. наук, зав. отделом Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 1956 г. окончил Киевский политехнический ин-т. Область научных исследований — методы математического и компьютерного моделирования в задачах исследования динамических систем, электрических цепей; численные методы и алгоритмы решения интегральных уравнений.

ЧМЫРЬ Игорь Алексеевич, д-р техн. наук, профессор кафедры информатики Одесского государственного экологического университета. В 1971 г. окончил Одесский политехнический ин-т. Область научных исследований — интеллектуальные системы обучения, когнитивные процессы и системы.

ФУРТАТ Юрий Олегович, мл. науч. сотр. Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 2007 г. окончил Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический ин-т». Область научных исследований — интеллектуальные сложные системы, пользовательские интерфейсы.