

УДК 004 81

DOI: 10.32626/2308-5916.2020-21.25-42

А. Ф. Верлань*, д-р техн. наук, професор,

И. А. Чмырь**, д-р техн. наук, професор

*Институт проблем моделирования в энергетике

имени Г. Е. Пухова НАН Украины, г. Киев,

**Одесский государственный экологический университет, г. Одесса

ДВЕ МОДЕЛИ ВОПРОСНО-ОТВЕТНОЙ «МАШИНЫ ДИАЛОГА»

В статье описаны две модели вопросно-ответного диалога. Обе модели описывают поведение активного агента (агента, задающего вопросы) вопросно-ответного диалога в процессе решения задачи при помощи диалогового процесса. В этом смысле модели предназначены для описания сценария диалогового метода решения задачи. Предполагается, что при помощи диалоговых методов решаются задачи, относящиеся к классу плохо-формализуемых. Первая модель, базируется на идее конечного автомата Мили. Она имеет ограниченную сферу применимости, поскольку, при генерации очередного вопроса не учитывается история предыдущих ответов реактивного агента диалога. Вторая модель базируется на идее сети Петри. Модель учитывает историю предыдущих ответов реактивного агента, а также возможность нестандартной обработки вопросно-ответной транзакции при помощи процессов-демонов. Модели являются проблемно-независимыми и моделируют вопросно-ответный диалог, который не зависит от предметной области диалога и характера задач, решаемых при помощи диалогового метода. Проблемная независимость моделей обусловлена тем, что стандартные, циклически повторяющиеся действия по обработке вопросно-ответной транзакции отражают унифицированный когнитивный диалоговый цикл. Унифицированный когнитивный цикл диалога построен на основе циклической модели восприятия Найссера. В когнитивном цикле диалога, в отличие от цикла Найссера, источником потока сенсорных событий является не внешняя среда, а реактивный диалоговый агент. Модели предназначены для специфирования программной «машины диалога», имитирующей целенаправленное поведение активного агента диалога в процессе решения диалоговой задачи. Обе модели предполагают, что основные компоненты «машины диалога» отображаются не в программный код, а представляются данными, хранящимися в базе данных. Машина диалога, таким образом, является программной системой, которая реализует сценарий

диалогового метода решения задачи путем интерпретации данных, хранящихся в базе данных.

Ключевые слова: *вопросно-ответный диалог, диалоговый агент, сценарий диалога, диалоговый метод решения задачи, когнитивный цикл диалога.*

Введение. Диалог является одним из важнейших феноменов ментальной и интеллектуальной деятельности человека. Анализ практически любой когнитивной активности человека обнаруживает, что в её основе лежит диалоговый процесс. Вопросно-ответный (эротетический) диалоговый процесс является важным средством получения знаний [1], а также эффективным средством решения некоторых плохо-формализуемых задач [2, 3]. Исследования, имеющие отношения к диалоговому взаимодействию, можно обнаружить в различных, и не очень близких научных областях: искусственный интеллект, когнитивная психология, эротетическая логика, эпистемология, и др. В то же время отсутствует признанное научное направление, фокусирующее внимание на теории и практике диалогового взаимодействия. Например, в современных учебниках по Когнитивным наукам отсутствует раздел, посвященный онтологии и формальным моделям диалогового взаимодействия [4]. Отмеченное научное направление необходимо не только для лучшего понимания сущности диалога, но и как источник прагматически ценных моделей искусственных диалоговых агентов, предназначенных для встраивания в системы искусственного интеллекта.

В ряде публикаций предлагаются онтологические и формализованные модели естественного и вопросно-ответного диалога, которые могли бы служить «исходным материалом» для теории диалога [5-7]. Однако, предлагаемые модели, как правило, содержат значительное количество неопределённых описаний и их трудно отобразить в компьютерные программы искусственных диалоговых агентов. Настоящая статья посвящена развитию вопросно-ответного моделирования диалогового взаимодействия и описанию нескольких формальных проблемно-независимых моделей. Модели инвариантны к проблемной области диалога и могут генерировать протоколы вопросно-ответных диалогов при реализации диалогового метода решения плохо-формализуемой задачи.

Целью настоящей статьи является синтез двух формальных моделей вопросно-ответного диалога, которые могут быть полезны при проектировании «машины диалога», имитирующей целенаправленное поведение искусственного диалогового агента, инвариантное к предметной области диалога.

1. Когнитивный цикл вопросно-ответного диалога. При разработке формальной модели диалога важным является её адекватность

психологии диалога, или адекватность модели процессам восприятия и переработки информации человеком в процессе диалогового взаимодействия. В том случае, когда в основу формальной модели диалога положена адекватная психологическая модель, то можно ожидать, что искусственный диалоговый агент наследует антропоморфность у системы восприятия и переработки информации человеком.

Среди множества теорий и моделей, предлагаемых когнитивной психологией и имеющих отношение к диалоговому процессу, остановимся на моделях, описывающих диалог на уровне восприятия, который не зависит от предметной области диалога и от характера задачи, решаемой в процессе диалогового процесса. В этом смысле, психологическая модель диалога, полезная в прикладном аспекте, должна описывать некоторую *унифицированную когнитивную «машину диалога»*.

Диалоговый процесс аналогичен процессу перцептивного взаимодействия человека с окружающей средой, моделируемому циклом Найсера [8, 9]. Отличие заключается в том, что в процессе диалога главные компоненты сенсорной системы человека — зрение и слух — подключены не к «естественной» окружающей среде, а к «искусственной» среде, формируемой потоками зрительных и звуковых сенсорных событий, генерируемых противоположным агентом диалога. Таким образом, в диалоговом процессе реальная окружающая среда подменяется искусственной. Однако очевидно, что перцепция и последующая переработка как сенсорных событий, порождаемых искусственной средой (диалоговым агентом), так и сенсорных событий, генерируемых естественной окружающей средой, осуществляется по одним и тем же «правилам и законам» и одной и той же цепью подсистем переработки информации человеком. Диаграмма, иллюстрирующая когнитивный цикл вопросно-ответного диалогового процесса, приведена на рис. 1.

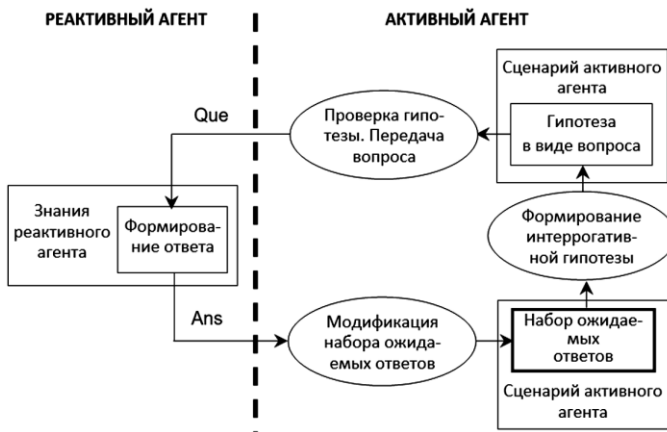


Рис. 1. Когнитивный цикл вопросно-ответного диалогового процесса

Когнитивний цикл діалогового процесу, приведений на рис. 1, моделює поведінку активного агента в діалозі з фіксованими ролями. Фіксування ролей агентів означає заборону на зміну ролей агентів в ході діалогу. Один з агентів завжди задає питання, а інший — завжди відповідає на них. Будемо вважати, для зручності, що діалоговий цикл починається з моменту, коли активний агент оперує відносно невеликим набором відповідей, названим *набором очікуваних відповідей*, а реальна відповідь реактивного агента збігається з одним з відповідей з набору очікуваних відповідей активного агента. Таким чином, однією з основних когнитивних структур, якою оперує активний агент, є схема-відповідь, або ментальне представлення відповіді. Набор очікуваних відповідей вбудований в більш обширну когнитивну структуру, названу *сценарієм активного агента*. Припускається, що сценарій активного агента включає всі необхідні для даного діалогу схеми-відповіді і що набор очікуваних відповідей — це деяке підмножество відповідей з сценарію, релевантне поточному циклу діалогового процесу. Після сприйняття і розпізнавання реальної відповіді, отриманої від реактивного агента, здійснюється модифікація поточного набору очікуваних відповідей, метою якою є підготовка набору очікуваних відповідей для наступного циклу. В результаті модифікації формується новий набор очікуваних відповідей, включаючий відповідь, очікуваний на наступному циклі. В процесі модифікації поточний набор очікуваних відповідей може бути замінений повністю або частково.

Концепція сценарію діалогу означає, що активний агент не «придумує» наступне питання з допомогою деякого «супералгоритму», а розшукує його в пам'яті питань, використовуючи як метод *метод доступу до пам'яті питань* метод досягнення мети діалогу. Таким чином, *метод доступу до пам'яті питань* є *зберігачем методу досягнення мети діалогу*, або *діалоговим методом рішення задачі*. Концепції «пам'ять питань» і «діалоговий метод рішення задачі» входять в обсяг поняття «сценарій» активного агента і деталізують його структуру.

Як інтроспекція, так і аналіз реальних протоколів запитно-відповідних діалогових процесів, виявляють, що існує неоднозначна зв'язь між поточним відповіду реактивного агента і наступним запитом, генерованим активним агентом. Іншими словами, в різних діалогових транзакціях на один і той же відповідь, отриманий від реактивного агента, активний агент може генерувати різні запити. Тому, при розробці діалогових методів рішення задач, для моделювання відміченої неоднозначності необхідно враховувати наступні три принципи.

Принцип «глубины диалога». Принцип «глубины диалога» означает, что активный агент при формировании очередного вопроса должен учитывать как воспринятый ответ, так и индекс диалогового цикла. Здесь термин «индекс» используется как синоним термина имя, или идентификатор. В различных диалоговых циклах на один и тот же ответ, полученный от реактивного агента, могут быть сформированы разные вопросы.

Принцип «истории ответов». Принцип «истории ответов» означает, что активный агент, при формировании очередного вопроса, должен учитывать как воспринятый ответ, так и историю воспринятых ответов. В одном и том же диалоговом цикле на один и тот же ответ, полученный от реактивного агента, могут быть сформированы разные вопросы в зависимости от того, какие ответы были получены в предыдущих циклах.

Принцип «истории вопросов». Принцип «истории вопросов» означает, что активный агент, при формировании очередного вопроса, должен учитывать как воспринятый ответ, так и историю ранее сформированных вопросов. В одном и том же диалоговом цикле на один и тот же ответ могут быть сформированы разные вопросы в зависимости от того, какие вопросы были сформированы в предыдущих циклах.

Диалоговый цикл, приведенный на рис. 1, хорошо описывает «гармоничный диалог», соответствующий циклу Найссера для случая рутинной перцепции. Под гармоничным диалогом будем понимать такой диалог, когда оба агента удовлетворены своими ролями и не хотят их изменять. Однако гармоничный диалог не всегда возможен. Каким образом учесть возможность нарушения гармоничного диалога и изменения текущих ролей диалоговых агентов на противоположные? Инициатором смены ролей обычно выступает реактивный агент, а признаком момента смены ролей является генерация и передача активному агенту информационного сообщения, имеющего статус вопроса. Поэтому одним из способов учёта возможности смены ролей может быть включение в список ожидаемых ответов *детектора вопроса*. Детектор вопроса может быть включён в каждый набор ожидаемых ответов (тогда агенты будут иметь возможность сменить роли в любом диалоговом цикле) или только в некоторые наборы ожидаемых ответов (тогда роли агентов могут быть изменены только в некоторых, заранее определенных, диалоговых циклах).

Рассмотренные, ниже, формальные проблемно-независимые модели диалога являются моделями диалогового метода доступа к памяти вопросов, рассматриваемого также как диалоговый метод решения задачи. Эти модели моделируют поведение активного агента вопросно-ответного диалога, как функционирование некоторой «машины диалога». Целью моделирования является получение структуры «машины диалога», инвариантной к цели и предметной области диалогового процесса.

2. Конечно-автоматная модель. Конечно-автоматная модель вопросно-ответного диалога моделирует гармоничный диалог и базируется на трёх предположениях: (1) задача, решаемая в ходе вопросно-ответного диалога, может быть решена за конечное количество диалоговых циклов (шагов диалога); (2) к началу решения задачи детерминированы все вопросы и ответы, необходимые для формирования диалоговых шагов; (3) модификация текущего набора ожидаемых ответов всегда порождает новый набор, отличающийся от текущего, и имеющий уникальный индекс.

Конечно-автоматная модель вопросно-ответного диалога, в виде диалогового метода доступа к памяти вопросов, базируется на идее автомата Мили [10] и описывается следующей четвёркой:

$$DiAM = (QUE, ANS, S, \varphi), \quad (1)$$

где $DiAM$ обозначает диалоговый метод доступа к памяти вопросов.

$$QUE = \{Que_i; i = 1, \dots, k. \quad (2)$$

QUE — множество индексов вопросов, используемых при решении задачи, (спецификации вопросов, находятся в памяти вопросов).

$$ANS = \{Ans_i; i = 1, \dots, l. \quad (3)$$

ANS — множество ответов, используемых при решении задачи.

$$S = \{S_i; i = 1, \dots, m. \quad (4)$$

S — множество состояний ожидания ответа. Количество элементов множества S равно общему количеству шагов.

$$\varphi: S \times ANS \rightarrow S \times QUE. \quad (5)$$

φ — функция шага, детерминирующая индекс нового вопроса и индекс следующего шага в зависимости от текущего ответа и индекса текущего шага.

При выполнении шага автомат, имитирующий вопросно-ответный диалоговый процесс, выполняет итерации, состоящие из следующей последовательности действий:

- воспринимается текущий ответ реактивного агента;
- распознаётся текущий ответ реактивного агента;
- детерминируется индекс следующего вопроса активного агента.

Если никак не структурировать множество ответов ANS , то это означает, что для распознавания текущего ответа реактивного агента, диалоговый метод доступа $DiAM$ должен, на каждом шаге, оперировать всем множеством ответов ANS . Для обширных сценариев мощность этого множества может быть значительной. Для того, чтобы уменьшить мощность множества ответов, с которым на каждом шаге оперирует $DiAM$, и сделать модель практически реализуемой, введём в модель *множество ответов, распознаваемых на i -м шаге*. Множество распознаваемых ответов содержит только те ответы, которые

ожидаются на i -м шаге, необходимы для реализации диалогового метода и, следовательно, должны быть распознаны. Все остальные ответы отнесём к классу ответов, не распознаваемых на i -м шаге. В дальнейшем будем использовать следующие обозначения: R^i — множество ответов, распознаваемых на i -м шаге; NR^i — множество ответов, не распознаваемых на i -м шаге.

К множеству ответов, не распознаваемых на i -м шаге относятся все ответы, принадлежащие множеству ANS и не принадлежащие множеству R^i , т.е.

$$NR^i = ANS - R^i. \quad (6)$$

Однако, множество ответов, не распознаваемых на i -м шаге, необходимо рассматривать шире и понимать как множество *любых мыслимых ответов* реактивного агента, не принадлежащие множеству R^i , т.е.

$$NR^i = U - R^i, \quad (7)$$

где U — универсум ответов, т.е. множество любых ответов, которые, когда-либо, может породить реактивный агент диалога.

Естественно предположить, что появление на i -м шаге любого ответа, принадлежащего NR^i , приводит к тому, что диалоговый метод доступа $DiAM$ генерирует один и тот же индекс последующего вопроса. Ибо, в противном случае, это означало бы, что ответы из NR^i относятся к классу распознаваемых ответов. Поэтому в функции *шага* φ для каждого шага диалога *весь класс нераспознаваемых ответов будем моделировать одним нераспознаваемым ответом*.

Проведенные рассуждения позволяют вернуться к циклу диалогового процесса, приведенному на рис. 1, и уточнить структуру набора ожидаемых ответов. Таким образом, на каждом шаге диалога набор ответов, который ожидает активный агент, может включать ответы из следующих классов ответов:

- класс распознаваемых ответов;
- класс нераспознаваемых ответов (моделируется одним ответом);
- класс детекторов вопроса (для определения потребности в смене ролей).

Простой пример вопросно-ответного диалога, рассмотренный ниже, преследует две цели: во-первых, оценить, насколько описанная конечно-автоматная модель вопросно-ответного диалога (формулы 1-7) полезна при конструировании диалогового метода доступа к памяти вопросов, и, во-вторых, обеспечить переход к последующей модели в виде сети Петри. Пример включает несколько шагов.

На шаге 1 активный агент генерирует вопрос с индексом Que_1 и ожидает получить следующие ответы:

Ans_1 — запрос на получение твёрдой копии вопроса;

Ans_3 — ответ, подразумевающий продолжение диалога и генерацию вопроса с индексом Que_3 ;

Ans_4 — ответ, подразумевающий продолжение диалога и генерацию вопроса с индексом Que_4 ;

Ans_5 — нераспознаваемый ответ (любой ответ, отличный от Ans_1, Ans_3, Ans_4). Ответ Ans_5 означает, что необходимо сформировать вопрос с индексом Que_2 .

На шаге 2 активный агент генерирует вопрос с индексом Que_2 , являющийся переформулированным вопросом с индексом Que_1 . На этом шаге активный агент ожидает получить те же ответы, что и на первом шаге, а также ответ Ans_2 , являющийся запросом на возвращение на шаг 1.

Диалоговый метод *DiAM*, для приведенного примера вопросно-ответного диалога, может быть описан при помощи следующих формул

$$ANS = \{Ans_1, Ans_2, Ans_3, Ans_4, Ans_5\}; \quad (8)$$

$$QUE = \{Que_1, Que_2, Que_3, Que_4\}; \quad (9)$$

$$S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}; \quad (10)$$

$$\varphi : \left. \begin{array}{l} (S_1, Ans_1) \rightarrow (S_1, Que_1), \\ (S_1, Ans_3) \rightarrow (S_3, Que_3), \\ (S_1, Ans_4) \rightarrow (S_4, Que_4), \\ (S_1, Ans_5) \rightarrow (S_1, Que_2), \\ (S_2, Ans_1) \rightarrow (S_2, Que_2), \\ (S_2, Ans_2) \rightarrow (S_1, Que_1), \\ (S_2, Ans_3) \rightarrow (S_3, Que_3), \\ (S_2, Ans_4) \rightarrow (S_4, Que_4), \\ (S_1, Ans_5) \rightarrow (S_2, Que_2). \end{array} \right\} \quad (11)$$

Функция шага φ , представленная отображениями (11), с одной стороны, описывает «логику» доступа к памяти вопросов, а с другой — «логику» диалогового метода решения некоторой задачи. Функцию шага можно представить в табличной форме. Табличное представление функции шага удобно тем, что позволяет легко перейти к графическому представлению вопросно-ответного диалога в форме диаграммы состояний [10]. На рис. 2 приведен пример графического представления вопросно-ответного диалога в виде диаграммы состояний.

В диаграмме состояний, приведенной на рис. 2, множество вершин соответствует множеству шагов вопросно-ответного диалога (или множеству устойчивых состояний), а каждая ветвь — одному из возможных вариантов развития диалога, определяемого ответом реактивного агента. Ветви помечены парами Ans_i, Que_i , где Ans_i — один из ожидаемых ответов; Que_i — индекс вопроса.

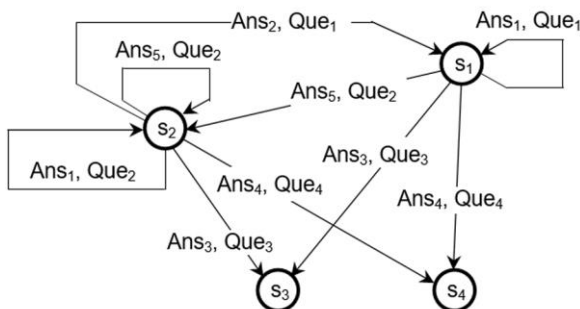


Рис. 2. Диаграмма состояний вопросно-ответного диалога для примера, описанного в тексте

Как было отмечено ранее, функция шага может рассматриваться как способ описания «логики» диалогового метода решения задачи, и в этом смысле диаграмма состояний, пример которой приведен на рис. 2, может рассматриваться как диаграмма, описывающая поведение активного агента в процессе решения задачи при помощи вопросно-ответного диалога.

3. Модель в виде сети Петри. Конечно-автоматная модель вопросно-ответного диалога имеет свою сферу применимости и может использоваться для специфицирования ряда прикладных диалоговых систем. Так, например, при помощи этой модели легко описывается метод внутреннего программирования предложенный Краудером и используемый при проектировании систем программированного обучения [11]. Однако, конечно-автоматная модель обладает рядом недостатков, проявляющихся на этапе её компьютерной реализации.

Эффективным подходом к компьютерной реализации вопросно-ответных диалоговых систем является *дatalogический подход*, который, в случае его применения к проектированию диалогового метода доступа *DiAM*, предполагает реализацию функции шага не в виде программного кода, а в виде отображения в некоторую базу данных. Решающим преимуществом *дatalogического* подхода является возможность лёгкой модификации диалогового метода при помощи полноэкранных средств редактирования. Таким образом, *дatalogический* подход исключает процесс компиляции исходных текстов при модификации системы и *позволяет выполнить модификацию диалогового метода решения задачи силами автора диалогового метода*.

С позиций *дatalogического* подхода, формализм, принятый для описания диалогового метода необходимо отождествлять с концептуальной моделью некоторой базы данных. Как отмечено в [12], проблематика концептуальной модели базы данных связана с таким представле-

нием модели, которое, с одной стороны, наиболее естественным образом отражает предметную область (в нашем случае диалоговый метод доступа к памяти вопросов), а, с другой, — может поддерживаться компьютерными средствами. Иными словами, необходим формализм, легко трансформируемый в схему данных. Опыт проектирования диалоговых приложений позволяет сделать вывод, что отмеченным свойством в ббльшей степени обладает не диаграмма состояний диалогового метода доступа, (пример которой приведен на рис. 2), а граф, моделирующий метод доступа в виде сети Петри [13].

Петри-модель диалогового метода, так же, как и автоматная модель, базируется на трёх предположениях: (1) задача, решаемая в процессе диалога, может быть решена за конечное количество шагов диалога, (2) к началу решения задачи детерминированы все вопросы и ответы, необходимые для её решения; (3) модификация текущего набора ожидаемых ответов реактивного агента, в любом случае, порождает набор ответов, отличающийся от текущего и, следовательно, имеющий уникальный индекс. Петри-модель диалогового метода доступа опишем следующей четвёркой

$$DiAM = (QUE, ANS, NextQue, NextAns); \quad (12)$$

$$QUE = \{Que_i; i = 1, \dots, n. \quad (13)$$

QUE — комплект индексов вопросов, составленный из элементов множества (2), который допускается присутствие нескольких экземпляров одного и того же элемента [13].

$$ANS = \{Ans_i; i = 1, \dots, p. \quad (14)$$

ANS — комплект ответов, составленный из элементов множества (3).

$$NextQue : ANS \rightarrow QUE. \quad (15)$$

NextQue — функция индексов последующих вопросов. Поскольку на каждом шаге *активный агент генерирует только один вопрос*, функция *NextQue* для каждого ответа детерминирует индекс единственно го вопроса.

$$NextAns : QUE \rightarrow ANS. \quad (16)$$

NextAns — функция последующих ответов, отображающая комплект индексов вопросов в комплект ответов.

Для иллюстрации Петри-модели представим, описанный ранее, пример формулами (12)-(16).

$$ANS = \{Ans_1, Ans_2, Ans_3, Ans_4, Ans_5\}, \quad (17)$$

$$QUE = \{Que_1, Que_2, Que_3, Que_4\}. \quad (18)$$

$$\left. \begin{aligned} NextAns(Que_1) &= \{Ans_1, Ans_3, Ans_4, Ans_5\}, \\ NextAns(Que_2) &= \{Ans_1, Ans_2, Ans_3, Ans_4, Ans_5\}, \\ NextAns(Que_3) &= \{\}, \\ NextAns(Que_4) &= \{\}. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{NextQue}(\text{Ans}_1) &= \{\text{Que}_1\}, \\ \text{NextQue}(\text{Ans}_2) &= \{\text{Que}_1\}, \\ \text{NextQue}(\text{Ans}_3) &= \{\text{Que}_3\}, \\ \text{NextQue}(\text{Ans}_4) &= \{\text{Que}_4\}, \\ \text{NextQue}(\text{Ans}_5) &= \{\text{Que}_2\}. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Формулы (19) и (20) можно использовать для табличного задания функций *NextAns* и *NextQue* соответственно. Правая часть *i*-ой строки функции *NextAns* задает множество ответов реактивного агента, ожидаемых на *i*-ом шаге.

$$\text{NextAns}(\text{Que}_i) = R^i U NR^i. \quad (21)$$

Правая часть *i*-ой строки функции *NextQue* состоит из одного элемента комплекта *QUE*, что является следствием отмеченного ограничения вопросно-ответного диалога, заключающегося в том, что для каждого ответа из комплекта ожидаемых ответов функция индексов последующих вопросов детерминирует индекс одного единственного вопроса.

При графической интерпретации Петри-модели диалогового метода, комплект индексов вопросов *QUE* и комплект ответов *ANS* представлены множествами позиций (окружности) и переходов (прямоугольники) соответственно. Множество ожидаемых на *i*-ом шаге ответов $R^i U NR^i$ представлено совокупностью переходов инцидентных *i*-ой позиции и соединённых с ней исходящими ветвями.

Для Петри-модели шаг является естественным «строительным блоком» диалогового метода доступа и для *i*-го шага может быть определён, как совокупность

$$\text{Que}_i, (R^i U NR^i). \quad (22)$$

На рис. 3 приведен граф Петри-модели диалогового метода, соответствующий примеру, описанному в тексте.

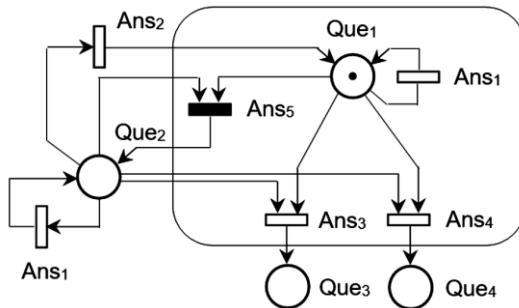


Рис. 3. Граф Петри-модели диалогового метода для примера, описанного в тексте. Зачернённый переход моделирует нераспознаваемые ответы

При графической интерпретации Петри-модели шаг диалога представляет собой позицию и совокупность переходов, соединённых с ней исходящими ветвями. На рис. 3 выделены элементы, входящие в объём понятия «шаг диалога».

Граф Петри-модели маркирован единственной фишкой, отмечающей текущий активный шаг. Начальная разметка, в этом случае, должна пониматься, как указание на первый шаг, с которого начинается реализация диалогового метода. Условием запуска перехода является совпадение ответа, кодируемого данным переходом, и ответа, полученного от реактивного агента. Иными словами, переход запускается и «пропускает» фишку, если от реактивного агента получен ответ, совпадающий с ответом, кодируемым данным переходом.

С точки зрения существующей классификации, сеть Петри, граф которой приведен на рис. 3, является ординарной (все дуги имеют одну и ту же кратность, равную единице) и не автоматной, поскольку Петри-модель допускает несколько входов для одного и того же перехода.

Теория сетей Петри предоставляет удобный аппарат для отслеживания динамики моделируемого процесса, состоящий из маркировки позиций и условий запуска переходов. Поскольку, в Петри-модели вопросно-ответного диалога, имеется единственная фишка, то маркировка может быть представлена вектором, количество компонентов которого равно количеству элементов комплекта индексов вопросов — числу n :

$$\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n). \quad (23)$$

Каждый компонент вектора μ принимает значения на двухэлементном множестве $\{0,1\}$. $\mu_i = 0$ в том случае, если фишка отсутствует в i -ой позиции, соответствующей i -му элементу комплекта *QUE*. $\mu_i = 1$ в том случае, если фишка находится в i -ой позиции, соответствующей i -му элементу комплекта *QUE*.

Вопросно-ответный диалоговый процесс сопровождается перемещением фишки по сети без её уничтожения или размножения. Следовательно, в любой момент диалога имеет место $\sum \mu_i = 1$. Таким образом, в процессе вопросно-ответного диалога, диалоговый метод доступа характеризуется непрерывно изменяющимся вектором μ , который указывает на текущий, активный шаг диалога. Для сети, приведенной на рис. 3, вектор μ указывает на шаг номер один и имеет значение: $\mu = (1, 0, 0, 0)$. Для того, чтобы фишка переместилась в последующую позицию, необходимо, чтобы запустился один из переходов шага.

Представление диалогового метода в виде сети Петри (формулы 12-16) моделирует его пространственную структуру и не отражает динамики диалогового процесса, задаваемой, в общем случае, когнитивным циклом вопросно-ответного диалогового процесса, изобраа-

женным на рис. 1. Дополним структурное описание диалогового метода компонентами, моделирующими динамику диалогового процесса. С этой целью рассмотрим, каким образом в рамках предложенной Петри-модели реализуется цикл вопросно-ответного диалогового процесса. Моделирование цикла диалогового процесса будем рассматривать, исходя из предположения, что функции *NextAns* и *NextQue* представлены таблично.

Можно предположить, что отдельная строка таблицы функции *NextAns* соответствует одному шагу диалога. Каждая строка начинается с индекса вопроса, генерируемого на данном шаге, за которым следует множество ответов, ассоциированных с данным шагом. В этом случае таблица функции *NextAns* состоит из n строк, где n — количество элементов комплекта индексов вопросов. Количество столбцов таблицы функции *NextAns* определяется наибольшим возможным количеством ответов, ожидаемых от реактивного агента в процессе диалога. Поскольку множество ответов, ассоциированных с шагом, индивидуально для каждого шага и определяется количеством ожидаемых на данном шаге ответов, то часть ячеек в таблице *NextAns* остаются незаполненными.

Таблица функции *NextQue* имеет более простую структуру. Она состоит из p строк, где p — количество элементов комплекта ответов. Каждая строка таблицы функции *NextQue* содержит два элемента: ожидаемый ответ и связанный с ним последующий вопрос.

Введем в модель *унифицированный процесс DiMC*, моделирующий циклически повторяющуюся динамику диалога:

$$DiMC(\mu, NextAns, NextQue). \quad (24)$$

Унифицированный процесс *DiMC* управляет переходом от предыдущего шага диалога к последующему, что эквивалентно открытию одного из переходов шага и перемещению фишки. Унифицированность процесса *DiMC* означает, что для выполнения любого шага диалога необходимо выполнить одну и ту же последовательность действий, и, что эта последовательность действий не зависит от предметной области диалогового процесса. На содержательном уровне отдельную итерацию цикла *DiMC* опишем следующим образом.

1. При помощи вектора маркировки μ определяется текущий активный шаг диалогового процесса, который соответствует номеру строки в таблице функции *NextAns*.
2. Определяется и передаётся в память вопросов индекс текущего вопроса. При помощи спецификаций вопроса, находящихся в памяти вопросов, активный агент генерирует и передаёт реактивному агенту текущий вопрос. Активный агент переходит в состояние ожидания ответа реактивного агента.
3. Активный агент воспринимает текущий ответ реактивного агента.

4. Обрабатывается текущий ответ реактивного агента. Последовательно сравнивается воспринятый ответ со всеми, ожидаемыми на данном шаге ответами, хранящимися в ячейках выбранной строки таблицы функции *NextAns*. Для совпавшего ответа определяется строка таблицы функции *NextQue*.
5. При помощи таблицы функции *NextQue* определяется компонент вектора μ , который детерминирует следующий шаг диалога. Значение этого компонента изменяется с нулевого на единичное, и процесс возвращается к пункту 1.

Среди действий, итерационно выполняемых унифицированным процессом *DiMC*, есть два действия, требующие более детального рассмотрения и уточнения: (1) генерация текущего вопроса; (2) обработка текущего ответа. Поскольку *DiMC* является унифицированным процессом, который «единообразно» обрабатывает любой шаг, то, как генерация вопроса, так и обработка ответа осуществляются *DiMC* по одним и тем же правилам для любого шага диалога. Эти правила определяют некую *стандартную модель функционирования активного агента диалога*. Иными словами, *DiMC* неким стандартным способом генерирует вопрос и обрабатывает ответ. Ясно, что даже при достаточно обширном стандарте могут встретиться случаи, когда стандартных средств недостаточно. Например, при генерации вопроса, в том случае, когда он представлен не вербально, невозможно учесть все многообразие небинарной презентации информации, а при обработке ответа может понадобиться специфическая численная обработка. Поэтому, кроме базового процесса *DiMC*, в модель целесообразно ввести «внешние», по отношению к *DiMC*, процессы. Эти процессы должны вызываться из *DiMC* и возвращать ему управление после завершения. Назовём такие процессы процессами-демонами и введём в модель *два класса процессов-демонов*

QueDemon и *AnsDemon*,

которые осуществляют «дообработку» вопроса или ответа на любом шаге диалогового процесса в том случае, когда стандартных средств *DiMC* недостаточно [14].

Рассмотрим сферу применимости Петри-модели вопросно-ответного диалога. Под сферой применимости будем понимать разделение задач, решаемых в ходе диалогового процесса, на два класса: (1) легко реализуемых в рамках Петри-модели и (2) сложно реализуемых в рамках Петри-модели.

К сложно реализуемым, в рамках Петри-модели, задачам относятся, например, задачи, решаемые при проведении психодиагностических тестов. Как правило, на первом этапе психодиагностического тестирования (в процессе диалогового взаимодействия с субъектом диагностики)

формируется первичный набор данных, который затем используется для формирования заключения об интеллектуальных способностях или структуре интеллекта субъекта. Примером психодиагностического теста может служить методика прогрессивных матриц Равена, используемая для тестирования интеллектуальных способностей [15]. Диалоговый процесс, реализующий методику прогрессивных матриц Равена, обладает двумя специфическими особенностями. Во-первых, на каждом шаге диалога, реактивному агенту (субъекту тестирования) предъявляются *вопросы в невербальной форме*. Во-вторых, последовательность вопросов, передаваемых реактивному агенту, формируется активным агентом *без учёта ответов реактивного агента*.

Простой психодиагностический тест опишем следующим образом. На первом шаге генерируется вопрос Que_1 , на который ожидается один из ответов Ans_1 или Ans_2 . На втором шаге, *вне зависимости от полученного ответа*, генерируется вопрос Que_2 , на который ожидается один из ответов Ans_3 или Ans_4 . Заключение определяется в зависимости от комбинации полученных ответов. Петри-модель диалогового метода, реализующего описанный тест, изображена на рис. 4.

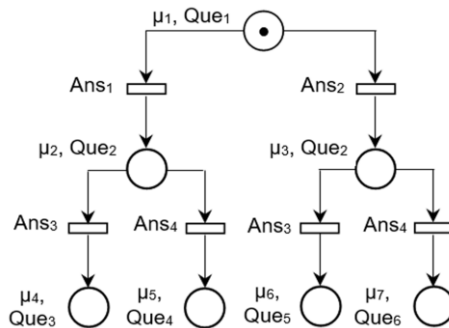


Рис. 4. Петри-модель диалогового метода, трудно реализуемого в рамках Петри-модели

В нижней части рис. 4 находятся *целевые позиции*, соответствующие окончанию диалога и формированию заключения. Трудность реализации Петри-модели проявляется в быстром увеличении количества шагов. Если на каждом шаге ожидается a ответов, и последующие вопросы не зависят от предыдущих ответов, то общее количество шагов определяется формулой

$$n = a^0 + a^1 + a^2 + \dots + a^{a-1}, \quad (25)$$

где a — количество вопросов. Петри-модель методики прогрессивных матриц Равена состоит из 2^{61} шагов.

Древовидная форма Петри-модели и большое количество шагов определяются тем, что модель учитывает комбинацию ответов путем

формирования в сети *уникальной траектории прохождения фишки*. Способом борьбы с этим недостатком является введение в модель памяти «истории ответов». Наличие такой памяти означает учёт сформулированного в разделе 1 принципа истории ответов, который означает, что диалоговый метод при формировании очередного вопроса должен учитывать как только что воспринятый ответ, так и ранее воспринятые ответы. Для упрощения изложения будем считать, что модель включает память *Mem*, хранящую *только один ответ, полученный на предыдущем шаге диалога*. Таким образом, содержимое памяти *Mem*: (1) автоматически обновляется при переходе к следующему шагу; (2) процесс *DiMC* при определении индекса следующего вопроса учитывает содержимое *Mem*. На рис. 5 приведена Петри-модель с памятью *Mem*, хранящей ответ, полученный на предыдущем шаге.

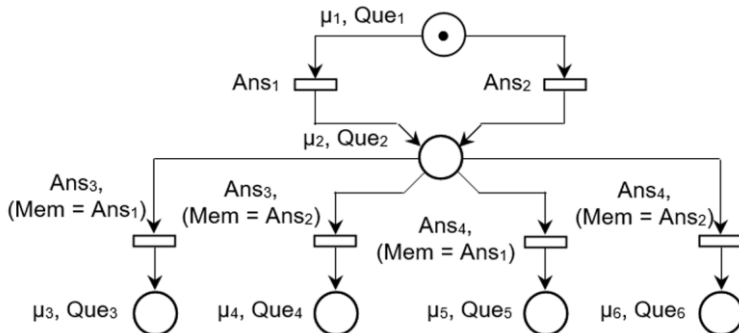


Рис. 5. Петри-модели при наличии памяти предыдущего ответа *Mem*

Включение в модель памяти предыдущего ответа не требует формирования уникальной траектории для каждого заключения. Уникальными остаются целевые позиции, а траектории, приводящие к целевым позициям, имеют общую часть.

Заключение. В статье описаны две формальные модели вопросно-ответного диалога: конечно-автоматная модель и модель в виде сети Петри. Модели могут быть использованы при проектировании «машины диалога», имитирующей целенаправленное поведение искусственного активного агента, не зависящее от предметной области диалога. Функционирование машины диалога основано на реализации унифицированного когнитивного цикла диалога. Модель вопросно-ответного диалога в виде сети Петри имеет более широкую сферу применимости, чем конечно-автоматная модель. Её преимущество в том, что она моделирует стандартный цикл диалогового процесса при помощи унифицированного процесса *DiMC*, а также возможность нестандартной обработки вопросов и ответов при помощи уникальных процессов *QueDemon* и

AnsDemon. Модель в виде сети Петри, также, позволяет учитывать принцип истории ответов реактивного агента.

Предполагается направить дальнейшие исследования на развитие главных идей описанных моделей, но отталкиваться не от математических структур в виде автомата Мили или сети Петри, а от идеи представления диалогового метода в виде сети, состоящей из *разнотипных узлов*. А priori предполагается, что сеть отображается в реляционную базу данных. В такой сетевой модели существенным должно быть следующее: (1) должны учитываться два из трёх, сформулированных в разделе 1, принципов организации вопросно-ответного диалога: принцип глубины диалога и принцип истории ответов реактивного агента; (2) должен развиваться диалогический подход и, следовательно, диалоговый метод решения задачи (диалоговый метод доступа к памяти вопросов), а также вопросы активного агента представляться данными, хранящимися в базе данных..

Список использованных источников:

1. Hintikka, J. Socratic Epistemology: Explorations of Knowledge Seeking by Questions. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 239 p.
2. Чмырь И. А. Принципы организации интеллектуальной САПР на основе диалоговой базы знаний. *Математические машины и системы*. Киев, 2014. № 3. С. 29-38.
3. Чмырь И. А. Электронный текст со встроенным интеллектуальным компонентом. *Математические машины и системы*. Киев, 2015. № 1. С. 72-83.
4. Bermudez J. Cognitive Science. An Introduction to the Science of the Mind. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 520 p.
5. Чмырь И. А. Естественный диалог: моделирование диалоговой транзакции в контексте представления знаний. *Интеллектуальные системы*. М.: Издательство Московского государственного университета. 2012. Т. 16. Вып. 1-4. С. 73-99.
6. Чмырь И. А. Моделирование активного агента эротетического диалога. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки : збірник наукових праць*. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2014. Вип. 10. С. 206-217.
7. Asher N., Lascarides A. Logics of Conversation. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 220 p.
8. Найссер У. Теория восприятия. В сборнике Психология внимания / под ред. Ю. Б. Гиппенрейтера, В. Я. Романова. М.: Московский психолого-социальный институт, 2001. С. 640-648.
9. Чмырь И. А., Верлань А. Ф., Ус М. Ф. Когнитивные основы и концептуальный базис диалогового процесса. *УСiМ*. Киев, 2002. № 6. С. 54-60.
10. Брауэр В. Введение в теорию конечных автоматов. М.: Радио и связь, 1987. 219 с.
11. Ричмонд У. К. Учителя и машины. Введение в теорию и практику программированного обучения. М.: Мир, 1968. С. 57-64.

12. Цикридис Д., Лоховски Ф. Модели данных. М.: Финансы и статистика, 1985. 254 с.
13. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирования систем. М.: Мир, 1984. 264 с.
14. Chmyr I. Dialogue of Partners as a Method of Non-Formal Problem Solving. In Maddy D. Brouwer-Janse and Thomas Harrington (eds). Human- Machine Communication for Educational Systems Design. NATO ASI Series F129. Berlin: Springer-Verlag, 1994. P. 222-228.
15. Raven J. Mental tests used in genetic studies: The performance of related individuals on tests mainly educative and mainly reproductive. *MSc Thesis, University of London*. 1936.

TWO MODELS OF QUESTION-ANSWERING «DIALOGUE MACHINE»

The article describes two models of question-answering dialogue. Both models describe the behavior of an active agent (an agent, who is asking questions) of a question-answering dialogue in the process of solving a problem by means of a dialogue process. In this sense, the models are intended to describe the script of a dialogue method for solving a problem. It is assumed that with the help of dialogue methods it is possible to solve problems, which belong to the class of ill-formalized. The first model is based on the idea of the Mealy state machine. It has a limited applicability, since when generating the next question, the history of previous answers of the reactive agent is not taken into account. The second model is based on the idea of a Petri net. The model takes into account the history of previous answers of the reactive agent, as well as the possibility of non-standard processing of the question-answering transaction using processes-daemons. The models are problem-independent and model a question-answering dialogue, which does not depend on the subject area of the dialogue and the nature of the problems solved by means of the dialogue method. The problem-independence of the models is due to the fact that the standard, cyclically repeated actions for processing a question-answering transaction reflect a unified cognitive dialogue cycle. The unified cognitive dialogue cycle is built on the basis of Neisser's cyclical model of perception. In the cognitive dialogue cycle, in contrast to the Neisser's cycle of perception, the source of the flow of sensory events is not the external environment, but the reactive agent. The models are designed to specify «dialogue machine» software that simulates the purposeful behavior of an active dialogue agent in the process of solving a problem. Both models assume that the main components of the «dialogue machine» are not mapped into a program code, but represented by data stored in a database. A dialogue machine is thus a software system that implements a script of a dialogue method by interpreting the data stored in a database.

Key words: *Question-answering dialogue, Dialogue agent, Dialogue script, Dialogue problem solving method, Cognitive cycle of dialogue.*

Отримано: 28.08.2020