

УДК 007:519.816

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-5-73-78

Модель целеполагания в многоагентной системе с ограниченным ресурсом времени

И.Б. Фоминых, С.В. Романчук, Н.П. Алексеев

Рассмотрена концепция модели целеполагания при моделировании рассуждений когнитивных агентов в динамических системах жесткого реального времени. Для систем жесткого реального времени при решении задач важно уметь оценивать количество времени, имеющегося в их распоряжении на обдумывание до того момента, когда думать уже будет поздно. Для этого необходимо уметь соотносить по времени шаги и результаты проводимых рассуждений с событиями, происходящими во внешней среде. Рассуждения такого типа получили название рассуждений во времени. Для их формализации предложены формализмы активной логики.

Как модель дедукции активная логика характеризуется языком, множествами дедуктивных правил и наблюдений. Использование функции наблюдения позволяет моделировать динамическую среду, информация о которой поступает к агенту по мере происходящих в этой среде изменений. Рассуждение во времени характеризуется выполнением циклов дедукции (шагами), играющими роль временного эталона. Знания агента ассоциируются с индексом шага, на котором они были впервые получены. Наблюдения могут осуществляться на любом шаге дедуктивного процесса, результатом чего служит формула, выражающая некоторое утверждение и ассоциированная с соответствующим шагом.

Для построения модели целеполагания при решении задач в жестком реальном времени введена логическая система (металогика знаний) для формализации метарассуждений в общем случае нескольких интеллектуальных агентов о стоящих перед ними задачах, собственных знаниях и возможностях решения этих задач во взаимодействии с другими агентами с учетом имеющегося у каждого из агентов ограниченного ресурса времени. Процесс целеполагания дает ответ на вопрос о том, какие подцели и в какой последовательности в данный момент времени должны быть достигнуты для того, чтобы за приемлемое время была достигнута главная цель, стоящая перед многоагентной системой. В зависимости от текущей ситуации и по мере поступления дополнительной информации этот ответ может меняться, поскольку назначенные цели могут отменяться и назначаться новые.

Показан язык металогике знаний как объединение трех языков: языка проблемной области, агентов и метаязыка, из которых последние два являются многосортными. Язык агентов содержит специальные предикатные символы для рассуждения о целях, связанных с ними задачах, структуре этих задач, возможных способах и допустимых предельных сроках их решения. Метаязык позволяет выражать общие утверждения о рассуждениях агентов. Представлены формальные теории, образующие систему металогике знаний.

Ключевые слова: модель целеполагания, часы прогона модели, жесткое реальное время, метарассуждения, активная логика.

Для цитирования: Фоминых И.Б., Романчук С.В., Алексеев Н.П. Модель целеполагания в многоагентной системе с ограниченным ресурсом времени // Вестник МЭИ. 2018. № 5. С. 73—78. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-5-73-78.

The Goal-Setting Model in a Multiagent Hard Real-Time System

I.B. Fominykh, S.V. Romanchuk, N.P. Alekseev

The article considers the goal-setting model concept in modeling the reasoning of cognitive agents in dynamic hard real-time systems. An important issue concerned with processing tasks by means of hard real-time systems is the ability to estimate the amount of time available for processing till the moment of time it becomes too late to produce the result. To avoid such a situation, it is necessary to be able to correlate the steps and results of ongoing reasoning with the events occurring in the external environment. Reasoning of this type is called reasoning in time. To formalize such reasoning, formalisms of active logic are suggested.

When regarded as a deduction model, active logic is characterized by a language and a set of deductive rules and observations. By using an observation function, one can model a dynamic environment, information about which arrives to the agent as changes occur in that environment. Reasoning in time is characterized by accomplishment of deduction cycles (steps) serving as a time standard. The agent's knowledge is associated with the index of the step on which it was gained for the first time. Observations can be carried out at any step of the deductive process, and a formula expressing some statement and associated with the relevant step serves as its result.

To construct a goal-setting model for solving problems in hard real-time environment, a logic system (a metalogic of knowledge) is introduced to formalize in the general case the metareasoning of several intellectual agents about the tasks they face, about their own knowledge, and about the possibilities of solving these problems in interaction with the other agents, taking into account the limited time resource available to each of the agents. The goal-setting process gives an answer to the question of which subgoals and in what sequence at a given moment in time should be achieved for the main goal faced by the multi-agent system be fulfilled within acceptable time. It

should be noted that the response may vary depending on the current situation and as additional information becomes available, because the assigned targets may be canceled and new ones assigned.

The knowledge metalogics language is shown as a combination of three languages: the language of problem domain, the language of agents, and metalanguage, with the last two being multigrade ones. The language of agents contains special predicate symbols for reasoning about goals, about the tasks associated with them, about the structure of these tasks, and about possible methods and admissible timeframes for solving them. Metalanguage allows one to express general statements about the arguments of agents. Formal theories constituting the meta-knowledge system of knowledge are presented.

Key words: goal-setting model, model run clock, hard real time, metareasoning, active logic.

For citation: Fominykh I.B., Romanchuk S.V., Alekseev N.P. The Goal-Setting Model in a Multiagent Hard Real-Time System. MPEI Vestnik. 2018;5:73—78. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-5-73-78.

Введение

Известно, что в системах жесткого реального времени существует критический временной порог, превышение которого чревато катастрофическими последствиями и для системы совершенно неприемлемо [1, 2]. В таком случае при решении задач важно уметь оценивать количество времени, имеющегося в распоряжении системы «на размышления» до того момента, когда думать уже будет поздно. Для этого необходимо уметь соотносить по времени шаги и результаты проводимых рассуждений с событиями, происходящими во внешней среде. Рассуждения такого типа получили название рассуждений во времени (reasoning situated in time) и для их формализации предложены формализмы активной логики [3 — 6].

Как правило, эпистемические логики (логики знаний) позволяют обсуждать процесс рассуждения агента в целом, после его фактического осуществления. Активная (шаговая) логика дает возможность наблюдать за процессом рассуждения агента во время его осуществления. Как модель дедукции активная логика характеризуется языком, множествами дедуктивных правил и «наблюдений» [7, 8]. Если предположить, что агент рассуждает, находясь в статической среде, множество наблюдений может рассматриваться как часть исходной базы знаний дедуктивной системы, т.е. как множество утверждений, поддерживающих дедуктивный процесс, в результате которого порождаются новые знания. Однако, использование функции наблюдения позволяет моделировать динамическую среду, информация о которой поступает к агенту по мере происходящих в этой среде изменений.

Рассуждение во времени характеризуется выполнением циклов дедукции, называемых шагами. Поскольку в основу активной логики заложена дискретная модель времени, то эти шаги играют роль временного эталона (время измеряется в шагах) [9, 10]. Знания агента ассоциируются с индексом шага, на котором они были впервые получены. Принципиальное отличие активной логики от других темпоральных эпистемических логик состоит в том, что темпоральные аргументы введены в язык собственных теорий агентов [11, 12]. Таким образом, временной параметр связывается не только с каждым утверждением (формулой),

которое эксплицитно знает агент, но и с дедуктивными правилами вывода. То, что узнал агент на шаге t (t -знания), используется для вывода новых знаний на шаге $(t + 1)$. Дедуктивные правила вывода в активной логике включают в себя:

- конъюнкцию $\frac{t : \varphi, \psi}{t + 1 : \varphi \wedge \psi}$;
- отсоединение $\frac{t : \varphi \wedge \psi}{t + 1 : \varphi}$;
- наследование $\frac{t : \varphi}{t + 1 : \varphi}$;
- modus ponens $\frac{t : \varphi, \varphi \rightarrow \psi}{t + 1 : \psi}$.

Наблюдать можно на любом шаге дедуктивного процесса. Результатом является формула, выражающая некоторое утверждение и ассоциированная с соответствующим шагом.

Металогика знаний

В основе модели целеполагания при решении задач в жестком реальном времени лежит логическая система (металогика знаний) для формализации метарассуждений в общем случае нескольких интеллектуальных агентов о стоящих перед ними задачах, собственных знаниях и возможностях решения этих задач во взаимодействии с другими агентами с учетом имеющегося у каждого из агентов ограниченного ресурса времени [13, 14]. Процесс целеполагания дает ответ на вопрос о том, какие подцели и в какой последовательности в данный момент времени должны достигаться для того, чтобы, в конечном счете, за приемлемое время была достигнута главная цель, стоящая перед многоагентной системой. В зависимости от текущей ситуации, по мере поступления дополнительной информации, этот ответ может меняться, назначенные цели могут отменяться и назначаться новые. Подцели ставятся, исходя из известной агентам общей структуры основной цели (ее декомпозиции), оценки временного ресурса, требуемого для достижения данной подцели (в сопоставлении с имеющимся ресурсом, отведенным для достижения основной цели), а также наличия агентов, способных достичь данную подцель. Основанием для отмены назначенной цели служат непредвиденные обстоятельства, влияющие на увеличение ожидаемого

временного ресурса, требуемого для достижения данной подцели, и способности агентов ее достичь.

Формальные теории, образующие систему металогик знаний, отличаются друг от друга множеством наблюдений агентов за внешней средой, представленных в виде аксиом, и часами прогона модели, определяющими длительность выполнения каждого дедуктивного цикла. Часы прогона — выражение новой для логических систем данного класса концепции внешнего времени, базирующейся на понятии часов прогона модели.

Существенным развитием данной концепции является реализация принципа множественной грануляции времени, в соответствии с которым каждому агенту назначаются индивидуальные, а не общие для всех, часы прогона модели. Процесс решения агентом задачи рассматривается как последовательность дедуктивных циклов, но в условиях множественной грануляции времени эти процессы у разных агентов асинхронны. Это дает возможность моделировать, например, разницу в вычислительных возможностях у разных агентов и другие их индивидуальные особенности.

В предлагаемом подходе, как и в остальных подходах из данного класса, время рассматривается как бесконечная последовательность натуральных чисел (глобальные часы) $\langle 0, 1, 2, \dots \rangle$. Однако, в данном случае учитывается, что основное назначение такого рода логических систем состоит в моделировании поведения многоагентной системы в различных условиях (прогонах). Поэтому каждому такому прогону в соответствии с принципом множественной грануляции времени отвечает назначение часов для всех агентов многоагентной системы. Это отражает специфику данного прогона. Часы агента — конечная или бесконечная строго возрастающая подпоследовательность глобальных часов, члены которой интерпретируются как моменты времени завершения дедуктивных циклов, например $\langle 3, 5, 7, 10, \dots \rangle$.

Каждый «тик» часов агента соответствует одному выполнению конкретного дедуктивного цикла, порядковый номер которого совпадает не с моментом времени его завершения, как это имеет место в логике TRL (Timed Reasoning Logics — логика рассуждения, спланированного во времени [15]) или других подобных формализмах, а только с порядковым номером этого момента времени на часах агента. Это обстоятельство позволяет, меняя часы агентов, имитировать различные условия работы многоагентной системы. Кроме того, различным агентам можно назначать различные локальные часы, моделируя, таким образом, их различную «сообразительность» (быстродействие) или то, что они вводятся в действие в различные моменты времени. Формально назначение часов агентов — это отображение множества всех агентов многоагентной системы во множество всех часов, т.е. всех подпоследовательностей глобальных часов.

Структура языка

Язык предлагаемой металогик знаний может рассматриваться как объединение трех языков: языка проблемной области, языка агентов и метаязыка. Все они являются языками первого порядка. Язык проблемной области имеет в своем алфавите константы, переменные, функциональные и предикатные символы, а также кванторы и логические связки для описания предмета рассуждений агентов. Язык агентов содержит помимо этого специальные предикатные символы для рассуждения о целях, связанных с ними задачах и их структуре (отношение «задача — подзадача»), возможных способах и допустимых предельных сроках их решения, способности других агентов решать задачи к заданному сроку и т. д. Метаязык позволяет выражать общие утверждения о рассуждениях агентов, например, что агенты применяют правило вывода «modus ponens» всегда, когда это возможно, и формировании намерений агентов в течение времени.

В частности, метаязык позволяет выразить:

- условия, необходимые для того, чтобы у агента появилось намерение достичь поставленную перед ним цель (возможно, с помощью других агентов);
- условия, необходимые для того, чтобы агент отказался от намерения достичь цель;
- действия агента по достижению поставленной цели. В данном случае имеется два возможных варианта: достичь ее самостоятельно и привлечь к этому другого агента.

В отличие от языка проблемной области язык агентов и метаязык — многосортные. Язык агентов включает шесть сортов для переменных, представляющих:

- объекты предметной области;
- имена агентов;
- имена задач;
- моменты времени;
- порядковые номера;
- формулы.

Последний сорт используется для выражения того, что агенты знают, что они не знают и что передают друг другу, осуществляя коммуникацию.

Метаязык содержит шесть сортов для переменных, представляющих:

- имена агентов;
- имена задач;
- моменты времени;
- имена формул;
- последовательности переменных;
- последовательности основных термов (элементов универсума Эрбрана).

Последние два сорта нужны для представления унифицирующих подстановок.

Для того, чтобы выразить события, связанные с выполнением дедуктивных циклов, атомарные формулы метаязыка маркируются специальными темпоральными

ми метками. При этом они имеют вид: $first\ next\dots next\ P$, где $first$ и $next$ — темпоральные операторы, содержательно интерпретируемые, соответственно, как «в первый момент времени на часах агента i » и «в следующий момент времени на часах агента i »; P — атом метаязыка, одним из аргументов которого является имя агента i (для любой формулы F , если i является одним из аргументов всех атомов, входящих в формулу F , это обстоятельство запишем, как $F[i]$). Такие формулы называют темпоральными атомами с фиксированным моментом времени. Для краткости они записываются как $first\ next\ [n]\ P$, где n — количество применений оператора $next$. Содержательно они интерпретируются как события: «в n -й момент времени (на часах агента i) в результате его рассуждений была выведена некоторая формула языка агентов (имя которой также является одним из аргументов P)».

Для того, чтобы рассуждать о времени, в языке агентов имеются два бинарных функциональных символа: $clock\ (..)$ и $rank\ (..)$. Первый именуется функцией, определенной для множества пар аргументов сорта имен агентов, сорта порядковых номеров и имеющую в качестве области значений сорт моментов времени. Терм $clock\ (i, n)$ интерпретируется как момент времени, имеющий порядковый номер n на часах агента i . Вторым символом означает функцию, определенную для множества пар аргументов сортов имен агентов и моментов времени и имеющую в качестве области значений сорт порядковых номеров. Терм $rank\ (i, t)$ интерпретируется как порядковый номер момента времени t' на часах агента, где $t' = t$, если t является моментом времени на часах агента i или t' наименьший из всех моментов времени на часах агента i , больших, чем t .

Систему металогики знаний, отвечающую концепции множественной грануляции времени, образуют формальные теории, представляющие собой пары вида $\langle A, CK \rangle$, где A — множество, состоящее из аксиом и схем аксиом; CK — назначение часов агентов для данного прогона модели. Схемы аксиом бывают двух видов:

- $Q(F[i] \rightarrow next\ G[i])$, где Q — кванторный префикс; $F[i]$ — конъюнкция так называемых чистых атомов или их отрицаний; $G[i]$ — чистый атом [16];
- $Q(P[i] \rightarrow next\ G[j])$, где $P[x]$ — чистый атом; i, j — различные имена агентов.

Конкретные аксиомы, отвечающие данной схеме аксиом, выглядят как $first\ next\ [n]\ F'[i] \rightarrow first\ next\ [n + 1]\ G'[i]$ или $first\ next\ [n]\ H'[i] \rightarrow first\ next\ [n + 1]\ G'[j]$, где F' , G' , H' — конъюнкция чистых атомов и чистые атомы, являющиеся основными примерами соответствующих чистых атомов в формулах F , G , H . Таким образом, аксиомы первого вида имеют следующее прочтение: «если в результате выполнения n -го по счету дедуктивного цикла агентом с именем i произошло событие, выражаемое формулой F' , то в результате выполнения следующего дедуктивного цикла произойдет событие, выражаемое формулой G' ». Аксиомы второго вида чи-

таются так: «если в результате выполнения n -го по счету дедуктивного цикла агентом с именем i произошло событие, выражаемое формулой H' , то в результате выполнения дедуктивного цикла в момент времени (на часах агента j) $clock\ (j, (rank\ (j, clock\ (i, n)) + 1))$ произойдет событие, выражаемое формулой G' ».

Множество аксиом и схем аксиом разбито на подмножества («группы»), среди которых есть группа аксиом, определяющих целеполагание, формирование намерений и кооперацию агентов при достижении общей цели. При этом реализуется следующий сценарий. Агент, получив запрос на решение задачи к определенному сроку, оценивает принципиальную возможность достижения этой цели. Такая возможность имеется (с точки зрения агента), если для решения данной задачи ему известен «рецепт», позволяющий ее решить к требуемому сроку. Если это задача базового (самого низкого) уровня, то «рецепт» указывает способ ее решения (самостоятельно или с привлечением другого агента), если нет, то «рецепт» указывает подзадачи, решение которых приведет к решению более общей задачи. Установив принципиальную возможность решения поставленной задачи, агент приобретает намерение ее решить. После этого он информирует о своем намерении агента, от которого пришел запрос на решение задачи («заказчика»), и приступает к ее решению. В противном случае агент информирует заказчика о своей неспособности решить данную задачу. От уже имеющегося намерения решить задачу агент может отказаться в следующих случаях:

- от заказчика поступил «отбой»;
- от агента, привлеченного к решению какой-либо подзадачи («подрядчика»), пришло сообщение о его неспособности ее решить;
- срок решения какой-либо подзадачи превышает заданное (в соответствии с рецептом) допустимое значение.

Если агент отказывается от намерения решить данную задачу, он информирует об этом заказчика и дает «отбой» всем подрядчикам. Если задача успешно решена, агент информирует об этом заказчика. Данный сценарий отличается от сценариев, реализованных в других логических системах, тем, что:

- знания агентов о других агентах в части их способности решить конкретную задачу к заданному сроку могут не совпадать с их знаниями о самих себе;
- отказ от намерения решить задачу может произойти по причине слишком долгого ее решения.

Среди других групп схем аксиом наиболее важные определяют часы, восприятие агентами информации посредством наблюдения за внешней средой, применение ими правила вывода *modus ponens* и его варианта с умолчанием, позитивную и негативную интроспекции. Отметим, что в множестве A отсутствуют схемы аксиом, определяющие наследование знаний во времени, используемые во всех известных вариантах активной

логики. Благодаря этому без потери общности удается избежать результатов, противоречащих интуиции в тех случаях, когда знания агентов вступают друг с другом в прямое противоречие. Собственно аксиомы (а не схемы аксиом), входящие в множество A , относятся к группе аксиом наблюдения и имеют вид *first next* $[n]$ *Obs* (i , ' H '), где *Obs* ($..$) — двухместный предикат, читающийся как «агент наблюдает формулу»; i — константа из сорта имен агентов; ' H ' — константа из сорта имен формул, соответствующая формуле H языка агентов. Заметим, что различные формальные теории металогики знаний помимо часов прогона модели отличаются друг от друга только множествами аксиом наблюдения.

Заключение

Изложена концепция и даны некоторые средства формализации для моделирования рассуждений когнитивного агента в динамических системах жесткого реального времени. Особое внимание уделено модели целеполагания, в основе которой лежит металогика знаний для формализации метарассуждений. Предлагаемый подход может быть использован при проектировании стратегически значимых сложных динамических систем жесткого реального времени, в том числе, при проектировании систем управления транспортными средствами (кораблями, летательными аппаратами), энергосистемами, блоками электростанций и их тренажерами.

Тем не менее, вопросы целеполагания в системах жесткого реального времени нельзя считать изученным в полном объеме. Представляется также, что и в научной литературе эти вопросы затронуты лишь фрагментарно и далеко не полностью. В частности, это касается проблем реализации предложенного подхода и соответствующего языка.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 15-07-02320, № 16-07-00222).

Литература

1. **Фоминых И.Б., Виньков М.М., Пожидяев А.К.** Активная логика и логическое программирование // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 42—48.
2. **Фоминых И.Б., Виньков М.М.** Функционирование когнитивного агента при возникновении аномальных ситуаций в жестком реальном времени // Вестник РГУПС. 2013. № 3 (51). С. 50—53.
3. **Bhatia M. e. a.** Handling Uncertainty with Active Logic // Proc. AAAI Fall Symp. Uncertainty of Communication. 2001. Pp. 84—107.
4. **Anderson M.L., Lee B.** Empirical Results for the use of Meta-language in Dialog Management // Proc. 26th Annual Conf. Cognitive Sci. Soc, 2004.
5. **Cox R.** Metareasoning: a Manifesto // BBN Techn. Memo TM-2028. 2007. V. 2028. Pp. 1—4.
6. **Elgot-Drapkin J.** Step Logic: Reasoning Situated in Time. Colledge-Park: University of Maryland, 1988.

7. **Виньков М.М.** Активная логика с точки зрения фундированной семантики логических программ с приоритетами // КИИ-2004: Сб. науч. трудов IX Национал. конф. с междунар. участием. М.: Физматлит, 2004. Т. 1. С. 86—94.

8. **Vinkov M.M., Fominykh I.B.** Argumentation Semantics for Active Logic Step Theories with Granulation of Time // Proc. Sci. and Techn. Information. 2016. V. 43. No. 5—6. Pp. 346—350.

9. **Fagin R., Halpern J.Y.** Belief, Awareness and Limited Reasoning // Artificial Intelligence. 1988. V. 34. Pp. 39—76.

10. **Purang K. e. a.** Practical Reasoning and Plan Executing with Active Logic // Proc. IJCAI'99 Workshop on Practical Reasoning and Rationality. 1999. Pp. 30—38.

11. **Perlis D., Purang K., Purushothaman D., Andersen C., Traum D.** Modeling Time and Meta-reasoning in Dialog Via Active Logic // Working Notes AAAI Fall Symp. Psychological Models of Communication. 2005. Pp. 84—93.

12. **Purang K.** Systems that Detect and Repair Their Own Mistakes. Colledge-Park: University of Maryland, 2001.

13. **Barwise J.** On the Model Theory of Common Knowledge, the Situation in Logic // CSLI lectures notes. Center of the Study of Language and Information, 1989. Pp. 201—220.

14. **Levesque H.** A logic of Implicit and Explicit Belief // Proc. AAAI-84 (Austin, TX). 1984. Pp. 198—202.

15. **Alechina N., Logan B., Whitsey M.** A Complete and Decidable Logic for Resource-bounded Agents // Proc. Third Intern. Joint Conf. on Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 2004. V. 2. Pp. 606—613.

16. **Liu C., Orgun M.A.** Verification of Reactive Systems Using Temporal Logic with Clocks // Theoretical Computer Sci. 1999. V. 220. Pp. 377—408.

References

1. **Fominykh I.B., Vin'kov M.M., Pozhidayev A.K.** Aktivnaya Logika i Logicheskoe Programirovanie. Programmnye Produkty i Sistemy. 2015;3:42—48. (in Russian).
2. **Fominykh I.B., Vin'kov M.M.** Funktsionirovanie Kognitivnogo Agenta pri Vozniknovenii Anomal'nykh Situatsiy v Zhestkom Real'nom Vremeni. Vestnik RGUPS. 2013;3 (51):50—53. (in Russian).
3. **Bhatia M. e. a.** Handling Uncertainty with Active Logic. Proc. AAAI Fall Symp. Uncertainty of Communication. 2001:84—107.
4. **Anderson M.L., Lee B.** Empirical Results for the use of Meta-language in Dialog Management. Proc. 26th Annual Conf. Cognitive Sci. Soc, 2004.
5. **Cox R.** Metareasoning: a Manifesto. BBN Techn. Memo TM-2028. 2007;2028:1—4.
6. **Elgot-Drapkin J.** Step Logic: Reasoning Situated in Time. Colledge-Park: University of Maryland, 1988.

7. **Vin'kov M.M.** Aktivnaya Logika s Tochki Zreniya Fundirovannoy Semantiki Logicheskikh Programm s Prioritetami. KII-2004: Sb. Nauch. Trudov IX Natsion. Konf. s Mezhdunar. uchastiem. M.: Fizmatlit, 2004;1:86—94. (in Russian).

8. **Vinkov M.M., Fominykh I.B.** Argumentation Semantics for Active Logic Step Theories with Granulation of Time. Proc. Sci. and Techn. Information. 2016;43; 5—6:346—350.

9. **Fagin R., Halpern J.Y.** Belief, Awareness and Limited Reasoning. Artificial Intelligence. 1988;34:39—76.

10. **Purang K. e. a.** Practical Reasoning and Plan Executing with Active Logic. Proc. IJCAI'99 Workshop on Practical Reasoning and Rationality. 1999:30—38.

11. **Perlis D., Purang K., Purushothaman D., Andersen C., Traum D.** Modeling Time and Meta-reasoning in Dialog Via Active Logic. Working Notes AAAI Fall Symp. Psychological Models of Communication. 2005:84—93.

12. **Purang K.** Systems that Detect and Repair Their Own Mistakes. Colledge-Park: University of Maryland, 2001.

13. **Barwise J.** On the Model Theory of Common Knowledge, the Situation in Logic. CSLI lectures notes. Center of the Study of Language and Information, 1989:201—220.

14. **Levesque H.** A logic of Implicit and Explicit Belief. Proc. AAAI-84 (Austin, TX). 1984:198—202.

15. **Alechina N., Logan B., Whitsey M.** A Complete and Decidable Logic for Resource-bounded Agents. Proc. Third Intern. Joint Conf. on Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 2004;2:606—613.

16. **Liu C., Orgun M.A.** Verification of Reactive Systems Using Temporal Logic with Clocks. Theoretical Computer Sci. 1999;220:377—408.

Сведения об авторах

Фоминых Игорь Борисович — доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики НИУ «МЭИ», e-mail: igborfomin@mail.ru

Романчук Сергей Владиславович — аспирант кафедры прикладной математики НИУ «МЭИ», e-mail: theerror133@gmail.com

Алексеев Николай Павлович — аспирант, ассистент кафедры прикладной математики НИУ «МЭИ», e-mail: alekseevnp@list.ru

Information about authors

Fominykh Igor B. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Applied Mathematics Dept., NRU MPEI, e-mail: igborfomin@mail.ru

Romanchuk Sergey V. — Ph.D.-student of Applied Mathematics Dept., NRU MPEI, e-mail: theerror133@gmail.com

Alekseev Nikolay P. — Ph.D.-student, Assistant of Applied Mathematics Dept., NRU MPEI, e-mail: alekseevnp@list.ru

Статья поступила в редакцию 01.09.2017