

УДК 004.822

УЧЕТ МЕНТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АГЕНТОВ В МОДЕЛИ ГИБРИДНОГО АВТОМАТА

Клебанов Б.И., Антропов Т.В.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: kbi11@yandex.ru

Одним из основных способов цифровизации общества является внедрение киберфизических и киберсоциальных систем, а также интегрированных кибер-физических-социальных систем. Цифровые двойники объектов действительности являются основой систем данного класса. Самыми сложными являются двойники интеллектуальных динамических объектов (агентов): отдельных людей, сообществ, организаций. В статье рассматривается возможность применения модели гибридного (непрерывно-дискретного) автомата для описания процессов поведения и развития агентов, обладающих внутренней структурой, включающей управляющую систему, эффекторы и рецепторы взаимодействия с внешней средой. Агенты обладают определенными наборами потребностей, а также знанием типовых рецептов (паттернов) их реализации. Модель учитывает наличие альтернатив реализации потребностей агентов и функции выбора при переходе автомата из одного состояния в другое, а также ментальные особенности принятия решений активными агентами в процессе реализации потребностей. Определены условия и содержание переходов процесса исполнения отдельных потребностей и всего автомата из одного состояния в другое. Разработанная модель может быть положена в основу интегрированного комплекса цифровых двойников активных и пассивных объектов городской структуры, предназначенного для поддержки процессов управления «умным городом».

Ключевые слова: активный агент, потребность, гибридный автомат

ACCOUNTING OF MENTAL PROPERTIES OF INTELLIGENT AGENTS IN THE MODEL OF A HYBRID AUTOMATIC

Klebanov B.I., Antropov T.V.

Ural Federal University n.a. the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg,
e-mail: kbi11@yandex.ru

One of the main ways of digitization of society is the introduction of cyber-physical and cyber-social systems, as well as integrated cyber-physical-social systems. Digital counterparts of reality objects are the basis of cyber-physical-social systems. The most complex digital doubles are the twins of intellectual dynamic objects (agents): individuals, communities, organizations. The article discusses the possibility of applying the model of a hybrid (continuous-discrete) automaton to describe the processes of behavior and development of agents with an internal structure. The internal structure of agents includes the control system, effectors and receptors of interaction with the external environment, certain sets of needs, as well as knowledge of typical recipes (patterns) of their implementation. The model takes into account the availability of alternatives for realizing the needs of agents and the selection function when the automaton transitions from one state to another. The model takes into account the mental features of decision-making by active agents in the process of realizing needs. The model defines the conditions and content of transitions of the process of fulfillment of the need and the whole machine from one state to another. The developed model can be used as the basis for an integrated complex of digital twins of active and passive objects of an urban structure designed to support the management processes of a «smart city».

Keywords: active agent, need, hybrid machine

Одним из основных путей цифровизации общества является внедрение киберфизических и киберсоциальных систем, а также комплексных киберфизических-социальных системы [1, 2]. Главным направлением исследований в этой области является создание мультиагентных систем, состоящих из цифровых двойников, имитирующих поведение и взаимодействие реальных интеллектуальных агентов и других объектов среды обитания [3, 4].

Особый интерес данная задача представляет для разработки цифровой платформы стратегического развития «умного города». В основу платформы должны быть положены модели, учитывающие динамическую актуализацию и исполнение потребностей различных типов стейкхолдеров (агентов)

города, а также других динамических и статических объектов городской и взаимодействующей внешней среды. Такого типа модели относятся к классу гибридных непрерывно-дискретных систем, состоящих из большого числа распределенных и параллельно функционирующих элементов различной природы, поведение которых описывается непрерывными процессами, имеющими конечную длительность, и элементов, поведение которых описывается дискретными процессами, время реакции на события в которых несущественно для анализа системы [5].

Целью данной работы является формализация жизни интеллектуальных агентов на основе модели гибридного (непрерывно-дискретного) автомата [5–7], которая может

быть использована для описания процессов поведения и развития агентов, обладающих определенными наборами потребностей, ресурсов и средств их реализации.

В простейшем случае цифровой двойник интеллектуального активного агента, действующего в определенных условиях внешней среды, может быть представлен следующей структурой (рис. 1).

Эффекторы – модели средств перемещения агента и выполнения различных физических действий над самим собой и объектами внешней среды, т.е. его физические возможности, рецепторы – приемники информации о состоянии среды. Внутренние параметры определяются процессами, происходящими внутри агента.

Управляющая система занимается планированием удовлетворения потребностей и управляет эффекторами и рецепторами. В ней формируется реестр потребностей, определяются приоритеты их исполнения и порядок использования эффекторов и рецепторов. В каждый момент времени эффекторы, рецепторы, управляющая система могут находиться как минимум в одном из трех состояний: свободен, занят (участвует в выполнении действия) и неработоспособен.

Как известно [8], цикл реализации потребности включает этапы генерации, актуализации обстановки, выбор пути реализации потребности и, собственно, ее удовлетворение. В качестве модели выбора пути исполнения потребности агента, используемой управляющей системой, чаще всего используется модель убеждений, желаний и намерений (англ. belief, desire, and intention (BDI) model), которая слабо отражает сами процессы генерации и непосредственного удовлетворения потребности.

Задачей данной работы является выделение и формализация выбранных агентом рецептов исполнения потребностей с учетом его ментальных представлений о себе и окружающей среде, а также возможного параллелизма выполнения действий.

Базовая модель

На наш взгляд, в качестве наиболее подходящей модели поведения интеллектуального агента может быть использована модель расширенного гибридного автомата, представленная следующей структурой.

$$H = (Q, X, F, Init, Inv, E, G, R, P, S),$$

где Q – множество дискретных состояний автомата;

$F: Q^*X \rightarrow X$ – векторное поле, описывающее динамику изменения непрерывных переменных автомата в рамках конкретных дискретных состояний, которое включает функции генерации потребностей и процессы их реализации;

$Init \subseteq Q^*X$ – множество начальных состояний;

$E \subseteq Q^*Q$ – множество дуг-переходов между дискретными состояниями;

$G: E \rightarrow 2^X$ – предикаты перехода по соответствующей дуге между парой дискретных состояний;

$R: E^*X \rightarrow 2^X$ – множество правил, определяющее изменение функций генерации потребностей и типовых рецептов (действий) по их реализации;

P – множество потребностей;

S – множество событий, влияющих на переходы внутри автомата, в том числе возникновения потребностей, готовности рецептов реализации потребностей к исполнению, запуска, окончания и прерывания действий, освобождения и захвата ресурсов и т.п.

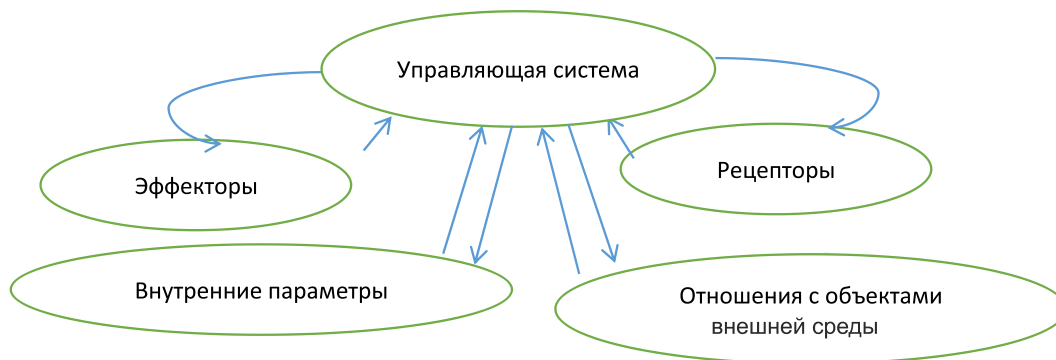


Рис. 1. Структура интеллектуального агента

Учет ментальных особенностей

В нашем случае модели должны учитывать следующие обстоятельства:

- данные, накапливаемые в управляющей системе агента, поступают от его рецепторов, которые не являются идеальными и могут искажать реальность,
- разные агенты в силу особенностей характера могут по-разному воспринимать одну и ту же информацию,
- рецепторы агентов имеют ограниченный радиус действия и не могут отразить всю полноту картины, доступную внешнему наблюдателю,
- принятие решений в момент t на основе ранее в $(t - dt)$ наблюдаемых агентом или известных состояний объектов внешней среды также может быть неверным, так как объект к следующему моменту может измениться.

Отсюда следует, что управляющая система агента на основе недостоверной информации, доступной агенту, может принимать неверные решения о приоритетах потребностей и выборе конкретных рецептов их удовлетворения. Кроме того, на выбор решения оказывает влияние характер агента. Это ведет к тому, что окончательный выбор рецепта удовлетворения потребности может осуществляться методом «проб и ошибок».

С точки зрения глобального внешнего наблюдателя (исследователя) состояние агента $Q(t)$ в каждый момент времени определяется его действительным (реальным) физическим состоянием $QP(t)$ и ментальным представлением самого агента о его физическом состоянии и состоянии внешней среды $QM(t)$. Другими словами $Q(t)$ можно представить выражением

$$Q(t) = QP(t) + QM(t).$$

Реальное физическое состояние $QP(t)$ агента в момент времени (t) включает:

- действительные знания агента: о структуре агента, типах характеристик, внутренних процессах организма, типах потребностей и возможных способах их удовлетворения (рецептах), выборе решений;
- действительные знания агента об объектах внешней среды: их структуре, типах характеристик, внутренних процессах, способах использования для удовлетворения потребностей агента;
- действительные знания агента о типах отношений и взаимодействиях объектов с внешней средой;
- действительные способности агента.

Текущие физические данные определяют в момент t : место расположения и по-

требности агента; принятые решения и их результаты; состояние процессов реализации действующих потребностей; состояние рецепторов, эффекторов и организма агента; установленные отношения агента с внешними объектами; состояние процессов, протекающих внутри организма и генерирующих базовые потребности; доступную текущую информацию об объектах внешней среды, в том числе «попутную»; историю поведения агента.

Ментальное представление $QM(t)$ включает те же составляющие информации только с точки зрения агента, т.е. его представление о своих знаниях, возможностях, внутреннем состоянии и состоянии внешней среды.

При появлении каждой новой потребности и возможности ее удовлетворения параллельно с другими процессами происходит интеграция действующих процессов с процессами цикла реализации новой потребности. После реализации потребности ее процессы удаляются из будущего состояния.

Условно процесс интеграции и дезинтеграции процессов и их влияние на состояние агента можно представить выражением

$$Q(t + dt) = Q(t) - QPvip(t) + QPnov(t) + FP(t) + FM(t),$$

где $QPvip(t)$ – изменение реального текущего состояния агента за счет освобождения ресурсов и средств, задействованных во всех законченных в данный момент рецептах удовлетворения потребности [8–10]; $QPnov(t)$ – изменение реального текущего состояния за счет захвата ресурсов и средств, задействованных во всех новых, запущенных в данный момент рецептах; $FP(t)$ – изменения реального состояния внутренних параметров агента, внешних ресурсов и отношений, связанных с окончанием исполнения рецептов в текущий момент времени, а также изменения попутной информации; $FM(t)$ – изменения ментального представления агента.

Модель цикла реализации потребности

Цикл реализации каждой из параллельно существующих и исполняемых потребностей, которые в сумме определяют состояние агента $Q(t)$, может быть представлен графом переходов (рис. 2). Переключения между состояниями происходит в результате возникающих внутренних и внешних событий. Каждая потребность после генерации проходит стадии планирования и исполнения.

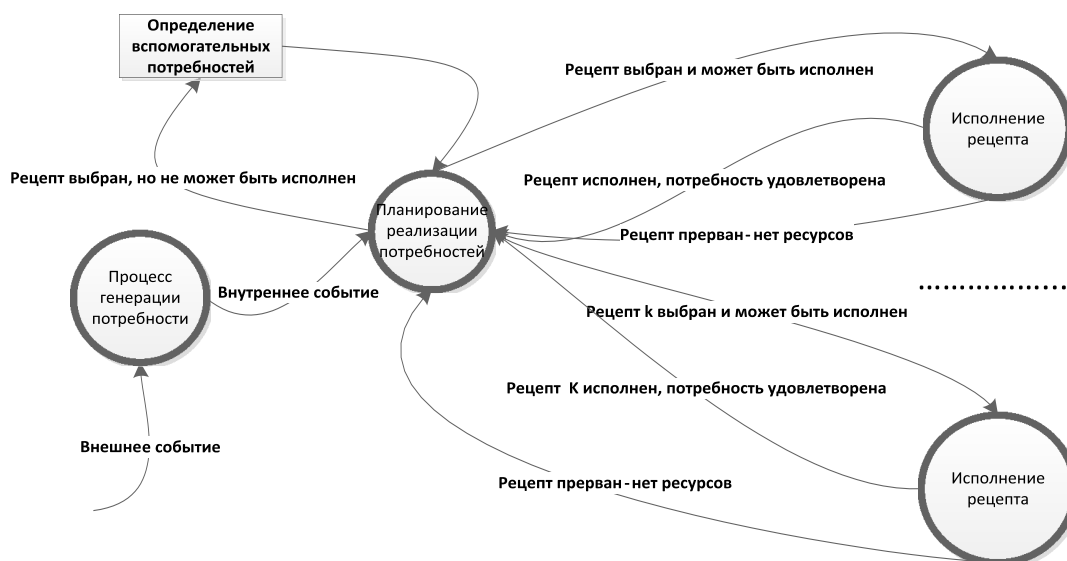


Рис. 2. Граф переходов процесса реализации потребности

В случае нехватки ресурсов и/или средств, а также условий для исполнения потребностей в процессе планирования может быть определена необходимость реализации вспомогательных потребностей. Появление более приоритетной потребности или изменение условий может вызвать прерывание стадии исполнения потребности с возможностью ее продолжения при появлении необходимых ресурсов и средств.

Для процесса реализации потребности определены следующие состояния:

$qgenP(i)$ – состояние генерации потребности;

$qplan$ – состояние планирования процессов реализации потребностей;

$qR(i, k)$ – состояние процесса исполнения потребности i с использованием выбранного рецепта k , включающего множество захватываемых ресурсов и средств, а также необходимых отношений, устанавливаемых перед началом исполнения рецепта и расторгаемых по окончании.

Определим:

$BegP(i)$ – булева функция – индикатор возникновения потребности i ;

$TypeP(i)$ – тип потребности i ;

$TypeoutR(k)$ – тип результата исполнения рецепта k ;

$GotRM(k, i)$ – булева функция готовности рецепта k к исполнению потребности i на основе $QM(t)$;

$ViborRM(k, i)$ – булева функция выбора рецепта k для реализации потребности i на основе $QM(t)$;

$GenPM(k, i)$ – функция генерации вторичных потребностей рецепта k для реализации потребности i на основе $QM(t)$;

$EndR(k, i)$ – булева функция-индикатор окончания выполнения рецепта k при реализации потребности i ;

$IntR(k, i)$ – булева функция-индикатор прерывания выполнения рецепта k при реализации потребности i в случае невозможности его дальнейшего исполнения или необходимости использования его средств или ресурсов для реализации более приоритетной потребности;

$qPvip(t, k, i)$ – изменение реального текущего состояния агента за счет освобождения ресурсов и средств, задействованных при выполнении рецепта k для потребности i ;

$qPnov(t, k, i)$ – изменение реального текущего состояния за счет захвата ресурсов и средств, задействованных в запущенном в данный момент рецепте для потребности i .

Тогда переходы между состояниями процесса исполнения потребности i и соответствующие изменения состояния Q агента определяются в виде псевдокода следующими выражениями:

1. IF $BegP(i)$ THEN $qgenP(i) \rightarrow qplan$;

$qPnov(t, k, i) = qplan$;

/*При возникновении потребности происходит переход к планированию, параллельно выполняются ранее запущенные процессы реализации потребностей*/

2. IF $TypeP(i) = TypeoutR(k) \& GotRM(k, i) \& ViborRM(k, i)$ THEN $qplan \rightarrow qR(i, k)$;

$qPvip(t, k, i) = qplan$;

$qPnov(t, k, i) = qR(i, k)$

/*При выборе подходящего рецепта, который может быть выполнен в данный момент времени, происходит переход к исполнению рецепта*/

3. IF $TypeP(i) = TypeoutR(k)$ ($GotRM(k, i)$ & $ViborRM(k, i)$) THEN $\{GenPM(k, i), qplan \rightarrow qplan\}$

/*Если выбранный рецепт не готов к исполнению, генерация вторичных потребностей и повторение планирования*/

4. IF $EndR(k)$ THEN $qR(i, k) \rightarrow qplan$

/*Когда исполнение рецепта окончено, переход к планированию следующей потребности*/

$qPnov(t, k, i) = qplan;$

$qPvip(t, k, i) = qR(i, k)$

5. IF $IntR(k)$ THEN $\{GenPM(k); qR(i, C) \rightarrow qplan\}$

/*Если исполнение рецепта прервано, то генерация потребности для окончания рецепта k и переход в состояние планирования*/

Выводы

В рамках проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Предложена обобщенная модель гибридного автомата, учитывающая ментальные особенности принятия решений активными агентами в процессе реализации потребностей.

2. Приведенная модель может быть положена в основу интегрированного комплекса цифровых двойников активных и пассивных объектов городской структуры, предназначенной для поддержки процессов управления «умным городом».

Список литературы

1. Liu Z. et al. Cyber-physical-social systems for command and control. IEEE Intelligent Systems. 2011. Т. 26. № 4. P. 92–96.

2. Домрачев А.А., Евтушенко С.Н., Куприяновский В.П., Намиот Д.Е. Об инновационных инициативах государств членов ЕАЭС в области построения глобальной цифровой экономики // International Journal of Open Information Technologies. 2016. vol. 4. no. 9. [Электронный ресурс]. URL: <http://viperson.ru/uploads/attachment/file/950158/334-931-1-PB.pdf> (дата обращения: 15.04.2019).

3. Гаранин М.А. Влияние «цифровых двойников» на экономику общественного сектора // Креативная экономика. 2018. Т. 12. № 11. С. 1733–1758.

4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование нового компьютерного прорыва (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013. 296 с.

5. Парийская Е.Ю. Сравнительный анализ математических моделей и подходов к моделированию и анализу непрерывно-дискретных систем // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 1997. № 1. С. 91–120.

6. Сениченков Ю.Б. Численное моделирование гибридных систем. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 206 с.

7. Смирнов А.В., Кашевник А.М., Пономарев А.В., Савосин С.В. Онтологический подход к организации взаимодействия сервисов интеллектуального пространства при управлении гибридными системами // Интеллектуальные системы и технологии. 2014. № 04. С. 42–51.

8. Клебанов Б.И., Парфенов Ю.П., Антропов Т.В. Рецепт поиска и выбора в мультиагентной модели развития общества // Фундаментальные исследования. 2017. № 9–2. С. 317–321.

9. Klebanov B.I., Antropov T.V. Cycle of the needs satisfaction, and information support of the society development simulation system // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1836. Issue 1. P. 020039.

10. Klebanov B., Antropov T., Riabkina E. Bases of imitation model of artificial society construction accounting of the agents' needs recursion. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. Book 2. Vol. 1. P. 101–108.