



ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант № 19-01-00103 А

В статье рассматриваются вопросы совершенствования интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем (ИИТС), связанные с концепцией управления сетями связи на основе принципов самоорганизации. Приводятся обобщающие теории исторической формализации ИИТС. Определены требования к модели агентных сообществ, пространства поведения и эволюции в теоретико-категорном представлении функционирования ИИТС, приводится их функциональное описание.

Информационно-телекоммуникационные системы, самоорганизация, модели интеллектуальных агентов, категории, морфизмы, функторы, пространство эволюции.

Функционирование ИИТС, содержащих множества интеллектуальных агентов (ИА), направлено на обеспечение качественной работы информационных сервисов, удовлетворяющих определенным критериям качества. Основные принципы функционирования и задачи построения ИИТС рассмотрены в [1].

Увеличение сложности мультиагентного взаимодействия и управления, вызываемое ростом объемов ИТС, изменением топологии связей, запаздываниями при определении состояния ИА и ИТС, предполагает исследование возможностей взаимодействия, организации и самоорганизации ИА в саморазвивающемся сообществе, управляющие функционированием и развитием ИТС с обеспечением требуемых показателей качества обработки информации, на основе моделей нечетких и нейронных ИА.

Многоуровневая системная организация ИТС включает программные, программно-аппаратные и аппаратные компоненты, подлежащие и восприимчивые к программному и программно-аппаратному управлению, настройке и модификации.

В процессе развития ИТС может изменяться архитектура сети (добавление и удаление сегментов), меняться состав телекоммуникационного оборудования, количество и состав рабочих станций, параметры и характер трафика, приоритеты решаемых задач, глобальные и локальные критерии оптимизации.

Масштабы и скорость желаемых изменений требуют снижения влияния человеческого фактора на процессы модернизации и совершенствования ИТС.

Таким образом, возникает проблема постоянного и своевременного совершенствования ИТС, реконфигурации архитектуры вычислительных сетей, адаптации к изменяющимся требованиям как внутренней, так и внешней информационной среды.

Пути решения проблем адаптации и реконфигурации следует искать в области самосовершенствования и саморазвития в процессе эксплуатации и модернизации ИИТС, в развитии новых функциональ-

ных возможностей в соответствии с требованиями пользователей, структурой и характеристиками решаемых задач.

Самоорганизующиеся системы обладают рядом признаков, обусловленных наличием в системе активных элементов, обеспечивающих приспособляемость системы к изменяющимся условиям внешней среды, но формирующих неопределенности, препятствующие детерминированному управлению такой системой [2, 3]. Особенности класса ИИТС являются:

- нестационарность многих параметров ИИТС и стохастический характер поведения;
- необходимость и способность адаптироваться к изменяющимся условиям внешней инфокоммуникационной среды и противостоять воздействию помех и целенаправленному внешнему противодействию;
- принципиальная неравновесность и неопределенность глобальных состояний системы, основные параметры которой имеют нечеткий характер;
- способность противостоять энтропийным процессам, разрушающим систему, и формировать неэнтропийные процессы, обеспечивающие восстановление структуры и основных показателей функционирования ИИТС;
- способность формировать сценарии поведения активных компонентов ИТС, изменять программно-аппаратную структуру системы, обеспечивая установленные показатели эффективности;
- способность формировать внутренние цели активных компонентов ИИТС, соответствующие общим целям функционирования системы и задачам, поставленным пользователями ИИТС.

Результатом современного развития искусственных интеллектуальных систем является новая агентно-ориентированная структура, использование которой возможно для совершенствования ИИТС, – искусственные сообщества виртуальных сущностей (программных интеллектуальных агентов) и искусст-

венных автономных агентов (интеллектуальных роботов, способных функционировать в реальном мире).

Таким образом, при изучении агентных сообществ применительно к задачам совершенствования ИИТС подлежат исследованию следующие вопросы:

- каким образом формируются структура и состав сообществ ИА в иерархической структуре ИИТС, являются ли сообщества ИА конечными множествами или возможно использование потенциально бесконечного множества агентов;

- как следует классифицировать и какими формально-математическими средствами целесообразно описать ситуации взаимодействия агентов, определяющие возникновение и тип сообщества агентов в зависимости от таких параметров, как совместимость целей, наличие взаимных обязательств и ответственности, ограниченность ресурсов, недостаток индивидуального опыта, и пр.;

- каков состав и какова мощность множества факторов, обеспечивающих установление локальных пространственных и временных отношений между агентами (непосредственное общение или телекоммуникация, совпадение целей или столкновение интересов и пр.);

- как определить множество ресурсов взаимодействия, обеспечивающих поддержание необходимых отношений между агентами и их трансформацию в процессах самоорганизации и саморазвития ИИТС;

- каковы множества возможных индивидуальных действий и совместных действий агентов?

ИИТС являются динамическими и трудно предсказуемыми системами, поэтому невозможно определить полную априорную спецификацию всех действий, которые необходимо выполнять, всех необходимых знаний и способов их организации. Информационные и коммуникационные технологии, которые используются для поддержки организаций, действующих в открытых средах, сталкиваются с новыми ограничениями и требованиями для моделирования и поддержки открытых обществ. Традиционные методы моделирования, основанные на абсолютном и априорном знании предметной области и ее требований, неприменимы к открытым сообществам, включающим гетерогенные компоненты и динамические среды. Поэтому при формализации ИИТС необходимо отразить открытость информационно-программной среды и разнородность входящих в нее компонентов.

Модели агентных сообществ в ИИТС, по нашему мнению, должны удовлетворять следующим требованиям:

- внутренней автономии: структура сообщества и взаимодействие ИА внутри него должны описываться моделями, независимыми от конкретного внутреннего строения участвующих в нем сущностей и способов их программно-технической реализации;

- автономии сотрудничества: возможные активности и взаимодействия в сообществе должны быть определены без жесткой фиксации структур взаимодействия, оставляя возможность последующего формирования новых протоколов взаимодействия ИА в рамках сообщества.

Первое требование учитывает тот факт, что теоретически открытое сообщество ИА допускает уча-

стие в нем множественных, различных и гетерогенных ИА, количество, характеристики и архитектура которых могут быть заранее неизвестны разработчикам ИИТС.

Второе требование позволяет агентам иметь некоторую степень свободы в выборе их собственных путей достижения сотрудничества и, таким образом, увеличивает гибкость и адаптивность. Преимущества автономии сотрудничества заключаются в следующем:

- обеспечивается потенциальная расширяемость: не все должно быть, и часто не может быть известно заранее. Сообщество ИА может эволюционировать, при этом могут возникать новые виды взаимодействий и/или протоколы выполнения этих взаимодействий;

- гибкость: агенты получают возможность делать свой выбор самостоятельно, в зависимости от конкретной ситуации;

- возможность многократного использования на разных уровнях иерархии ИИТС: предусматривается возможность возникновения новых структур взаимодействия внутри сообщества и последующее создание структур взаимодействия между сообществами на более высоких уровнях иерархии.

Главными аспектами в определении сообщества являются цель, структура, правила и нормы. Структура определяется ролями, правилами взаимодействия и языком коммуникации. Правила и нормы описывают желаемое поведение членов и устанавливаются и приводятся в жизнь институтами, которые часто имеют легальные основания и, таким образом, придают членам легитимность и секретность.

Существенное преимущество организационно-ориентированного взгляда на проектирование ИИТС состоит в том, что он учитывает гетерогенность языков, приложений и архитектур в течение реализации. Организации можно рассматривать как множества сущностей, регулируемых механизмами социального порядка и порождаемых более или менее автономными действующими субъектами (актерами) для достижения общих целей. ИИТС, которые моделируют и поддерживают организации, должны базироваться на координационных структурах, которые приспособляют структуру частной организации и способы динамически адаптироваться к изменяющимся в организационной структуре целям и взаимодействиям. Структура организации определяет важные автономные действия, которые должны быть явно организованы внутри автономных сущностей и отношений в концептуальной модели агентного сообщества.

Проблемы исследования, описания и формализации скоординированного самоорганизующегося поведения были поставлены на рубеже 1990-х годов и рассмотрены в целом ряде работ. К настоящему времени известны следующие теоретические подходы и формализмы описания совместного поведения сообществ ИА.

В работах Philip R. Cohen, Hector J. Levesque [4, 5] были заложены основы теории взаимосвязанного поведения сообществ ИА на базе модели «Belief-Goal-Commitment» (убеждение–цель–обязательство), в которой намерения определены не как примитивные ментальные характеристики, а как внутренние обязательства агента выполнять определенные действия во время определенного ментального состояния.

В этих работах были поставлены проблемы перехода от общих к индивидуальным намерениям, с тем чтобы впоследствии перевести их в комплексное действие, сформулирована задача изучения функциональной роли общих намерений, а также обозначена проблема коммуникации в сообществе ИА. Коммуникация подразумевает, что ИА могут вовремя узнать о необходимости совместной активности, должны понять, когда совместные действия начинаются, когда отдельные агенты завершают свои частные действия, когда совместное действие завершается или оно становится ненужным.

Для построения теории общих намерений используется модальный квантифицированный язык с учетом семантик возможных миров, использующий следующие базовые понятия: событие, цель, убеждение, взаимное убеждение. Предполагается, что возможные миры распространяются на прошлое и будущее время и что каждый такой мир содержит бесконечную последовательность простых событий, каждое из которых имеет свой тип и связано с определенным агентом. События обычно связаны с конкретными агентами или объектами внешнего мира и отражают то, что с ними происходит в реальном времени.

Убеждения рассматриваются как знания агента об окружающем его внешнем мире. Они являются утверждениями, в истинности которых во всех достижимых мирах агент убежден в текущий момент времени. Убеждения могут изменяться со временем, но считается, что агенты в состоянии правильно сохранять память о своих прошлых убеждениях.

Наиболее желаемые агентом миры, выбираемые из множества возможных миров, называются доступными мирами. Предполагается, что этот выбор осуществим на основе имеющихся убеждений.

Цели же агента – это некоторые состояния, характеризующиеся утверждениями, истинными в этих состояниях, которые агент стремится достичь в пространстве доступных миров. Если существует убеждение, что некоторая цель может быть достигнута позднее, то такая цель называется достижимой целью. Считается, что агент знает все свои достижимые цели.

В реально существующих ИИТС возможны ситуации, когда ИА не в состоянии довести до членов сообщества информацию о статусе цели. Причинами этого могут быть отсутствие связи с некоторыми ИА, ошибки при передаче и кодировании/декодировании информации в ИТС, выход процессов оповещения агентов сообщества о статусе цели за границы предустановленных временных интервалов и т.п.

В процессе выполнения совместных действий ИА сообщества или команды должны осуществлять процессы коммуникации, понимать, когда совместное действие начинается, когда индивидуальные агенты могут выйти из него, когда совместное действие завершается. Остается неясным, как общие намерения соединить с процессами коммуникации ИА. Однако эти аспекты, связанные с динамикой планирования командной работы, в теории общих намерений не отражены.

Теория общих планов (ТОП) – «Shared Plans Theory». – представленная в работах Grosz B., Kraus S., Hunsberger L., [6, 7], строится на других основани-

ях. Авторы данной теории предполагают, что для индивидуального и мультиагентного планирования возможно создание начальных неполных планов, которые затем могут быть изменены и расширены.

В ТОП не используются общие для команды агентов ментальные понятия «общее намерение», «общая долговременная цель». Общий план (ОП) рассматривается как формальная спецификация требований ментального состояния участников совместной групповой деятельности, направленной на групповое принятие решений. ОП определяется в терминах намерений, убеждений и взаимных убеждений участников группы.

Формализация ОП включает множество аксиом, которые устанавливают различные свойства намерений и ограничений для них. Из этих аксиом выводятся условия кооперации и координации агентов, требуемые для выполнения коллективной деятельности.

В работе [7] первоначальные положения ТОП были развиты до модели CCSP (Coordinated Cultivation of Shared Plans), определяющей динамику отношений между процессами группового принятия решений, обновления намерений и разрешения конфликтов между индивидуальными и коллективными намерениями.

Недостатки теорий командной работы на практике обычно компенсируются некоторыми дополнительными средствами. Часто возникающие проблемы могут быть успешно разрешены благодаря использованию коммуникаций. Другой потенциально эффективный путь разрешения потенциальных проблем выполнения командной миссии – это обогащение знаний, которые используются агентами для построения плана и специальных структур их представления.

Формализация процессов самоорганизации в ИИТС может быть выполнена на основе аппарата теории категорий [8] и теоретико-категорного представления моделей ИА [9].

Пространство поведения ИА, включающее возможные интерпретации для конкретных предметных областей, определяется структурой $\Pi = (\Omega, \Sigma, \Psi, \Theta, \Phi)$, где Ω – категория входящих сообщений, Σ – категория внутренних состояний ИА, Ψ – категория атрибутов ИА, Θ – категория выходящих сообщений, Φ – категория логических формул.

В пространстве поведения ИА выделяются состояния пространства $\hat{\Pi}_i$, определяемые конкретными комбинациями пар объектов и морфизмов в соответствующих категориях:

$$\hat{\Pi}_i = \langle (Ob_{i\Omega}, Hom_{i\Omega}), (Ob_{i\Sigma}, Hom_{i\Sigma}), (Ob_{i\Psi}, Hom_{i\Psi}), (Ob_{i\Theta}, Hom_{i\Theta}), (Ob_{i\Phi}, Hom_{i\Phi}) \rangle.$$

В пространстве поведения определенного ИА формируются подмножества допустимых состояний $\hat{\Pi}_D$, в которых ИА может находиться в процессе своего функционирования, и недопустимых состояний $\hat{\Pi}_N$, в которых ИА не должен находиться.

Для изменения модели поведения ИА к категориям пространства $\Pi = (\Omega, \Sigma, \Psi, \Theta, \Phi)$ применяются функторы, преобразующие исходные категории в но-

вые, необходимые для решения задач целесообразного поведения ИА. Таким образом, совокупность возможных пространств поведения ИА описывается как возможное пространство эволюции E :

$$E = \bigcup_{i=1}^n \Pi_i \text{ – при конечном числе возможных пространств поведения ИА,}$$

пространств поведения ИА,

$$E = \bigcup_{i=1}^{\infty} \Pi_i \text{ – при бесконечном числе возможных}$$

пространств поведения ИА.

Вводится в рассмотрение и пространство функторов $F = (F_{\Omega}, F_{\Sigma}, F_{\Psi}, F_{\Theta}, F_{\Phi})$,

где $F_{\Omega} = (F_{j\Omega} | j = 1, \dots, m_{\Omega})$, $F_{\Sigma} = (F_{j\Sigma} | j = 1, \dots, m_{\Sigma})$,

$F_{\Psi} = (F_{j\Psi} | j = 1, \dots, m_{\Psi})$, $F_{\Theta} = (F_{j\Theta} | j = 1, \dots, m_{\Theta})$,

$F_{\Phi} = (F_{j\Phi} | j = 1, \dots, m_{\Phi})$.

Конкретное состояние пространства функторов определяется кортежем $\hat{F}_j = \langle F_{j\Omega}, F_{j\Sigma}, F_{j\Psi}, F_{j\Theta}, F_{j\Phi} \rangle$, индекс j может быть различным для разных групп функторов.

Построение возможных траекторий поведения интеллектуальных агентов ИИТС позволит исследовать модели эволюционирующих и саморазвивающихся сообществ в информационно-телекоммуникационных системах на различных уровнях системной иерархии.

Литература

1. Швецов, А. Н. Модель интеллектуального агента информационно-телекоммуникационных систем на основе теории категорий / А. Н. Швецов, С. В. Дианов // Перспективное развитие науки, техники и технологий : сборник научных статей материалы 9-й Международной научно-практической конференции (Курск, 1 ноября 2019 г.) / редколлегия: Горохов А. А. (ответственный редактор) ; Юго-Западный государственный

университет. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 338–343.

2. Пригожин, И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой : перевод с английского / И. Пригожин, И. Стенгерс. – Москва : Едиториал УРСС, 2003. – 312 с.

3. Князева, Е. Н. Синергетика: Нелинейность времени и ландшафты коэволюции / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов – Москва : КомКнига, 2007. – 272 с.

4. Philip R, Cohen Teamwork / Philip R, Cohen, Hector J. Levesque // Nous. – 1991. – Vol. 25. – P. 487–512.

5. Philip R, Cohen. Foundation of Collaborative Task-Oriented Dialogue: What's in a Slot? / Philip R, Cohen // Proc. of the SIGDial Conference (Stockholm, Sweden, 11-13 September 2019). – Stockholm, 2019. – P. 198–209.

6. Grosz, B. Collaborative Plans for Complex Group Actions / B. Grosz, S. Kraus // Artificial Intelligence. – 1996. – Vol. 86. – P. 269–358.

7. Grosz, B. The dynamic of intentions in collaborative intentionality / B. Grosz, L. Hunsberger // In Cognition, Joint Action and Collective Intentionality, Special Issue, Cognitive Systems Research 7(2-3): 259-272. – URL: <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:2579645> (дата обращения: 26.11.2020). – Text : Electronic.

8. Маклейн, С. Категории для работающего математика / С. Маклейн ; перевод с английского под редакцией В. А. Артамонова. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 352 с.

9. Швецов, А. Н. Формализация интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем средствами математического аппарата теории категорий / А. Н. Швецов // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производства: технология и надежность машин, приборов и оборудования. Материалы XIV Международной научно-технической конференции. – Вологда, 2020. – С. 236–244.

A.N. Shvetsov

Vologda State University

FORMATION OF SELF-ORGANIZING INTELLIGENT INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS MODEL

The article considers the issues of improving intelligent information and telecommunication systems (IITS) related to the concept of communication network management based on the principles of self-organization. Generalizing theories of historical formalization of IITS are given. The author defines the requirements for the model of agent communities, the space of behavior and evolution in the theoretical and categorical representation of the functioning of IITS and gives their functional description.

Information and telecommunication systems, self-organization, models of intelligent agents, categories, morphisms, functors, space of evolution.