

УДК 004.89, 004.94

Мультиагентная технология информационной поддержки сетцентрического управления региональной безопасностью

А.В. Маслобоев, доктор технических наук, старший научный сотрудник,
Институт информатики и математического моделирования
Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской академии наук»
(ИИММ КНЦ РАН), г. Апатиты

В работе представлены результаты исследований в области разработки прикладных мультиагентных систем поддержки принятия решений в сфере управления региональной безопасностью. Приводится общая постановка задачи информационной поддержки управления безопасностью региона. Предложены модельный инструментарий и средства автоматизации деятельности участников процессов обеспечения региональной безопасности, взаимодействующих в единой информационной среде. Разработана мультиагентная технология информационной поддержки сетцентрического управления региональной безопасностью, основанная на интеграции агентной парадигмы с методом системной динамики и использующая гибридные интеллектуальные агенты с имитационным аппаратом.

Мультиагентная система, региональная безопасность, информационная поддержка, сетцентрическое управление, виртуальная структура.

A multi-agent technology for network-centric control information support of regional security

A.V. Masloboev, Dr. Sci. Tech., Senior research fellow,
Institute for Informatics and Mathematical Modeling
of the Federal Research Center «Kola Science Center of Russian Academy
of Sciences» (IIMM KSC RAS), Apatity

The article represents research and work-out results in the field of applied agent-based decision support system development for regional security management. General problem statement of the regional security management information support is carried out. Modeling and automation tools of security manager activities within the region safeguarding process, interacting in the unified information environment, are proposed. A multi-agent technology for network-centric control information support of regional security has been developed. The technology is based on agent-oriented and system dynamics methodologies integration and use hybrid smart agents with integrated simulation toolkit.

Multi-agent system, regional security, information support, network-centric control,

virtual structure.

Введение

В современных социально-экономических и геополитических условиях особенно остро стоит проблема эффективного информационного обеспечения функционирования сети ситуационных центров региона, являющихся системообразующим элементом системы управления региональной безопасностью. Применение традиционных методов и технологий в данной области не всегда приводит к ожидаемым результатам. Богатый зарубежный и пока еще сравнительно небольшой российский опыт показывают, что эффективное управление региональной безопасностью возможно только на основе использования интеллектуальных информационных технологий и систем, основанных на знаниях. В настоящее время решение такой комплексной и динамичной задачи как информационно-аналитическая поддержка управления безопасностью региона немислимо без современных методов компьютерного моделирования, когнитивных технологий и специализированных программных средств.

Для повышения эффективности функционирования и информационного обеспечения региональных ситуационных центров в ИИММ КНЦ РАН разработана агентная технология информационной поддержки сетецентрического управления безопасностью региона. Технология имеет мультиагентную реализацию [1] и обеспечивает совместное формирование и оценку мультиагентных моделей организационных структур управления безопасностью региона в условиях кризисных ситуаций в социально-экономической сфере. В рамках технологии осуществляется интеграция и автоматизированная децентрализованная обработка распределенных информационных ресурсов, необходимых для выработки и реализации управленческих решений в области обеспечения региональной безопасности, на базе взаимодействия коалиций интеллектуальных автономных агентов, имеющих гибридную архитектуру. Технология реализована в рамках прототипа распределенной мультиагентной системы поддержки принятия решений в условиях региональных кризисных ситуаций [2], представляющей собой комплекс программных агентов, веб-сервисов и имитационных моделей управления безопасностью.

Специфика систем информационной поддержки управления региональной безопасностью

Организационная разнородность и территориальная распределенность участников процессов обеспечения региональной безопасности, в совокупности с динамичностью их состава и параметров, создают предпосылки для того, чтобы информационная инфраструктура безопасности региона была проактивной и децентрализованной. Поэтому, в отличие от существующих централизованных многоуровневых систем информационной поддержки управления безопасностью, разработанная система имеет сетецентрическую архитектуру, которая обеспечивает асинхронный характер взаимодействия и коммуникации агентов, что дает возможность их работы в условиях разнородных

и ненадежных коммуникаций, что весьма актуально для систем регионального масштаба.

Исследование проводилось на примере проблем безопасности, специфичных для Мурманской области. Ключевыми особенностями этого региона, отличающими его от других территорий, являются приграничное местоположение, суровый климат, специфика хозяйственного освоения и перегруженность территории объектами оборонного и промышленного комплексов. Эти факторы в совокупности обуславливают уязвимость арктического региона в плане возникновения разнотипных кризисных ситуаций природного, техногенного и социально-экономического характера. Для нейтрализации последствий таких ситуаций необходимо принимать быстрые и эффективные управленческие решения в очень ограниченное время. Задача усложняется тем, что на практике решения на разных уровнях децентрализованного управления безопасностью принимаются изолированно. Это обусловило необходимость перехода на модель сетцентрического управления [3] безопасностью региона. Предлагаемые разработки, по сути, являются сегодня первой попыткой в направлении преодоления этих трудностей на основе применения мультиагентного подхода и принципов сетцентрического управления.

Сетцентрическое управление региональной безопасностью заключается в реализации сетевой структуры организационного управления с выделенными управляющими центрами, взаимодействие между которыми осуществляется на базе их интеграции в единое региональное информационное пространство. Для системы управления региональным развитием это предполагает создание и использование единой информационной среды для координации децентрализованного принятия управленческих решений. Формирование такой среды в большинстве регионов – открытая задача, еще далекая от реализации.

Постановка задачи и общая характеристика технологии

Управление региональной безопасностью представляет собой многоэтапный процесс и по своей структуре многофункционально. На каждом этапе для реализации соответствующих функций управления необходимы средства информационной поддержки принятия решений, адекватные решаемым задачам управления безопасностью региона.

Под информационной поддержкой понимается механизм управления, при котором управляющее воздействие носит неформализованный характер, и субъекту управления предоставляется информация о ситуации, на основе которой он получает возможность корректировать как свое поведение, так и объекта управления.

В общем случае задача информационной поддержки управления региональной безопасностью сводится к поиску такого допустимого управления, которое имеет максимальную эффективность и определяет оптимальную траекторию «движения» региональной социально-экономической системы в пространстве устойчивых состояний. Тем самым, задача обеспечения безопасности развития региона становится задачей стабилизации объекта управ-

ления в условиях параметрических возмущений. В качестве регулятора для компенсации возмущений предлагается использовать инструмент информационной поддержки, представляющий собой многофункциональную информационную среду региональной безопасности, обеспечивающую формирование условий для целенаправленного поведения объекта управления.

Основу предлагаемой технологии информационной поддержки составляют следующие разработки [4]:

- формальный аппарат и средства автоматизации, координации и имитационного моделирования процессов децентрализованного управления региональной безопасностью;
- интегрированная концептуальная модель безопасности региона;
- комплекс имитационных моделей прогнозирования и сценарного анализа динамики развития компонентов региональных систем;
- агентная рекуррентная иерархическая модель сетецентрического управления безопасностью региона;
- метод автоматизированного формирования мультиагентных моделей организационных структур управления безопасностью региона;
- метод комплексной оценки безопасности региональных социально-экономических систем;
- архитектура многоагентной среды моделирования задач управления и принятия решений в сфере обеспечения безопасности региона.

В отличие от известных результатов технология основана на интеграции методов концептуального, системно-динамического и мультиагентного моделирования сложных динамических систем и процессов, а также методов теории иерархических многоуровневых систем для координации управления этими системами и процессами.

Входной информацией для разработанной технологии являются: характеристики хозяйствующих субъектов экономики региона, система показателей безопасности региона, открытые статистические данные, экспертные оценки, описания кризисных ситуаций и компетенций субъектов безопасности и другие данные. Исходные данные могут быть представлены как в структурированном, так и в неструктурированном виде. Результирующая информация представляет собой: единое формализованное описание объектов и задач управления региональной безопасностью, интегральные оценки показателей безопасности региона, спецификации эффективных моделей организационных структур управления для каждой области региональной безопасности, параметры и структуру сетецентрической информационной среды региональной безопасности. Сбор и аналитическая обработка данных в рамках предлагаемой технологии реализуется с применением системы автономных программных агентов.

Концептуальная модель сетецентрической виртуальной среды безопасности региона

Для структуризации и единого формализованного представления знаний об объектах и задачах обеспечения региональной безопасности и связан-

ных с ними информационных процессах разработана интегрированная концептуальная модель виртуальной среды региональной безопасности. В модели совмещаются формализованные модели предметной области и исполнительной среды информационно-аналитической поддержки задач в данной предметной области. Модель представляет собой разновидность неоднородной семантической сети.

Схема и состав модели имеют вид:

$$KM = \{ O, S, R, RC, RF, A, CS, CSC, Z, P, SS, U, I, Attr \}.$$

Основными элементами модели являются: O, S, P, Z, R – множества объектов, субъектов, процессов, задач и ресурсов обеспечения безопасности соответственно; RC – множество классов ресурсов; RF – иерархический классификатор предметных областей кризисных ситуаций, построенный на базе ОКВЭД; SS – множество организационных структур управления безопасностью; A – множество агентов, представляющих интересы субъектов безопасности в виртуальной среде; CS и CSC – множества кризисных ситуаций и их классов соответственно; U – множество клиентских и серверных узлов, на которых развернута распределенная агентная платформа для исполнения агентов системы информационной поддержки управления региональной безопасностью; I – отношения на множествах объектов модели; $Attr$ – множество атрибутов объектов модели.

Программная реализация модели выполнена в виде прикладной онтологии региональной безопасности, которая предназначена для обеспечения семантической интероперабельности информационно-управляющих систем региональных ситуационных центров в процессе интеграции компонентов этих систем в единую информационную среду региональной безопасности и их совместного использования. Онтология создана средствами языка онтологического моделирования OWL в инструментальной среде разработки онтологий Protégé.

Комплекс имитационных моделей управления региональной безопасностью

Для прогнозирования динамики показателей безопасности региона при заданных параметрах и ограничениях разработана комплексная системно-динамическая модель региональной безопасности. Модель создана на основе разработанной концептуальной модели и библиотеки типовых имитационных шаблонов с применением метода синтеза имитационных моделей сложных систем [5], предложенного в ИИММ КНЦ РАН и обеспечивающего синтез моделей системной динамики из соответствующих концептуальных моделей.

Модель представляет собой комплекс функциональных модельных блоков, позволяющих оценить состояние и тенденции развития региональных элементов и подсистем: демография, производство, рынок труда, наука и образование, окружающая среда и других. Для каждого компонента на модели формализованы основные риски. Модель отличается композитной структурой, то есть структура модели динамически формируется из конечного числа типовых модельных шаблонов, что повышает корректность модели и сокра-

щает время на ее конфигурацию «под задачу».

В модели используется оригинальная система показателей безопасности, созданная в результате формирования интегральных показателей, полученных путем свертки ряда групп общепринятых индикаторов безопасности. Модель включает также индивидуальные показатели региона, отражающие специфику Мурманской области.

Агентная многоуровневая рекуррентная иерархическая модель управления безопасностью региона

Показатели региональной безопасности различны по природе и содержанию и, как правило, оптимизируются различными элементами многоуровневой системы управления региональной безопасностью. При этом эти показатели являются параметрами локальных целевых функций субъектов управления безопасностью и определяют их предпочтения и сферы интересов. В условиях децентрализованного управления безопасностью региона это обуславливает необходимость координации процессов принятия решений по оптимизации и согласованию этих показателей на разных уровнях управления.

Для решения этой задачи разработана многоуровневая рекуррентная иерархическая модель управления региональной безопасностью. Модель построена на основе функционально-целевой технологии и математического аппарата теории иерархических многоуровневых систем. Модель является аналогом оператора структурно-функционального синтеза исполнительской среды информационно-аналитической поддержки.

Другой отличительной особенностью модели является то, что в ней совмещаются координация путем развязывания взаимодействий и создание коалиций между агентами на разных уровнях управления. Самоорганизация агентов в коалиции и согласование локальных решений сетецентрического управления обеспечивают сокращение времени на выработку и реализацию решений системы организационного управления региональной безопасностью.

Метод формирования и оценки эффективности виртуальных организационных структур управления безопасностью

Для реализации сетецентрического управления безопасностью региона в рамках распределенной виртуальной среды должны формироваться проблемно-ориентированные организационные структуры управления для каждой области региональной безопасности. Для этих целей разработан метод автоматизированного формирования спецификаций мультиагентных моделей виртуальных организационных структур управления безопасностью региона. Метод основан на совместном анализе семантического описания решаемых задач, информационных ресурсов, сервисов агентов и веб-сервисов.

Структура метода приведена на рисунке 1 и включает шесть этапов:

1. Формализация описаний критических ситуаций и компетенций субъектов управления безопасностью в терминах концептуальной модели информационно-аналитической среды (ИАС РБ).

2. Генерация допустимых вариантов виртуальных организационных структур управления безопасностью (ВОСБ).
3. Анализ эффективности сформированных вариантов виртуальных структур управления.
4. Доопределение параметров виртуальных структур управления в автоматизированном режиме, либо в режиме диалога с пользователем.
5. Оценка показателей безопасности, оптимизируемых элементами организационных структур управления.
6. Доопределение параметров локального контекста агентов и реконфигурация виртуальных структур при изменении ситуации.

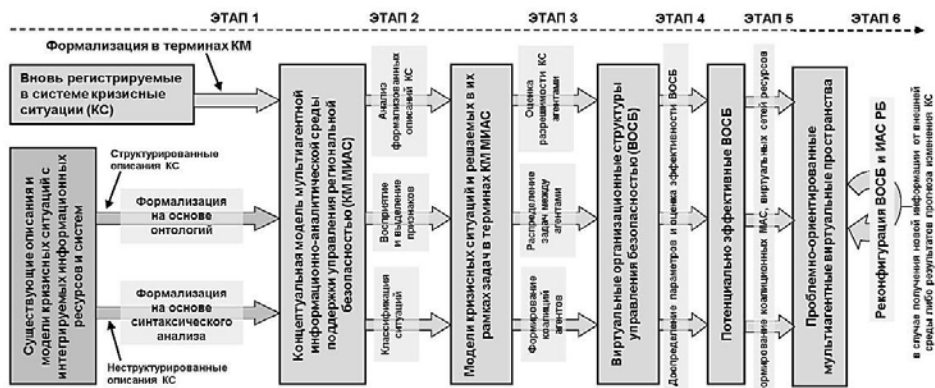


Рисунок 1 – Схема метода формирования мультиагентных сетцентрических виртуальных структур управления безопасностью

Метод отличается совмещением фаз формирования и оценки качества конфигурации структур и обеспечивает динамическое формирование коалиций агентов и связанных с ними информационных ресурсов, адекватных решаемым задачам управления безопасностью.

При формировании сетевых виртуальных структур управления необходимо оценивать качество их конфигурации. Для оценки качества конфигурации элементов структур предложены следующие критерии: 1) связность (целостность) структуры; 2) деловая репутация субъектов безопасности, образующих структуру; 3) совместимость и согласованность взаимодействия элементов структуры; 4) показатели качества функционирования элементов структуры.

Метод интегральной оценки региональной безопасности

Для синтеза сценариев управления безопасностью региона, как в стабильных, так и в критических ситуациях разработан метод комплексной оценки безопасности региональных социально-экономических систем. Метод отличается формированием матричного показателя региональной безопасности и позволяет оценить состояние и тенденции развития региона за счет комбинированного использования системно-динамических, нечетких и вероятностных моделей оценки индикаторов безопасности.

Матрица показателей безопасности выступает в качестве обобщенной меры интегральной оценки региональной безопасности. Количество столбцов матрицы соответствует числу учитываемых в интегральной оценке безопасности региона составляющих региональной безопасности (экономическая, экологическая, социальная и др.), а число строк – количеству показателей каждой составляющей с максимальным набором параметров. Каждый элемент матрицы представляет собой скалярную или векторную величину.

Модель функциональной организации интеллектуальных агентов с имитационным аппаратом

Применение мультиагентного подхода для построения системы информационной поддержки управления региональной безопасностью обусловлено тремя решающими факторами: высокой динамичностью среды функционирования субъектов безопасности, необходимостью координации децентрализованного принятия решений и учета человеческого фактора в процессе управления. Агентные технологии являются средством реализации сетецентрического управления.

Отличительной особенностью предлагаемой в работе технологии и основанной на ней системы информационной поддержки является применение автономных программных агентов с внутренней подсистемой имитационного моделирования – имитационным аппаратом. Этим обеспечивается адаптивное моделирование поведения субъектов безопасности с учетом их активности и кооперативности в условиях различных кризисных ситуаций.

Гибридная архитектура такого агента представлена на рисунке 2.

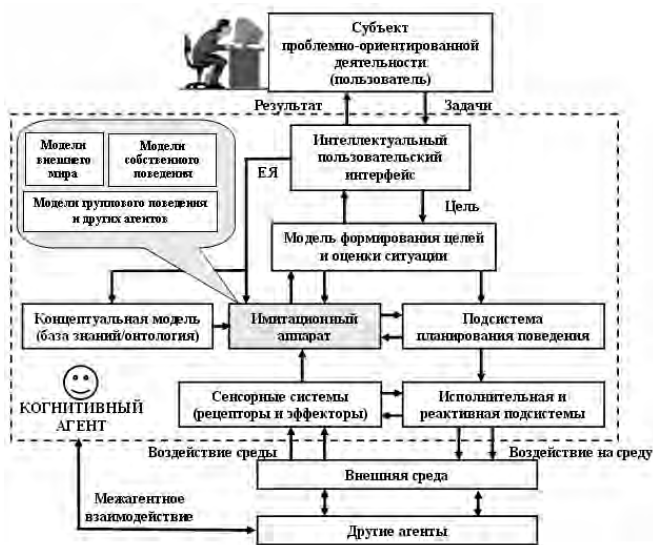


Рисунок 2 – Гибридная архитектура интеллектуального (когнитивного) агента с имитационным аппаратом

Имитационный аппарат представляет собой полную или упрощенную

модель среды функционирования агента, рекуррентно вызываемую в процессе моделирования, и обеспечивает локальный прогноз результатов его деятельности. В качестве средств реализации имитационного аппарата использованы системно-динамические модели. Такое решение существенно повышает автономность агента, расширяет его адаптационные и функциональные возможности.

Отличие предложенного способа функциональной организации агентов от известных подходов заключается в механизме оценки альтернатив дальнейшего поведения. В существующих моделях выбор определяется параметрами анализируемой альтернативы и текущими и/или предшествующими значениями параметров среды функционирования агента. Агенты с имитационным аппаратом при выборе варианта собственных действий на некотором шаге учитывают не только текущее и предшествующие состояния среды, но и предполагаемые будущие значения ее параметров, а также влияние на эти значения деятельности других агентов.

Технология формирования агентной среды моделирования задач управления региональной безопасностью

Технология реализуется в четыре основных этапа, схематично показанных на рисунке 3.

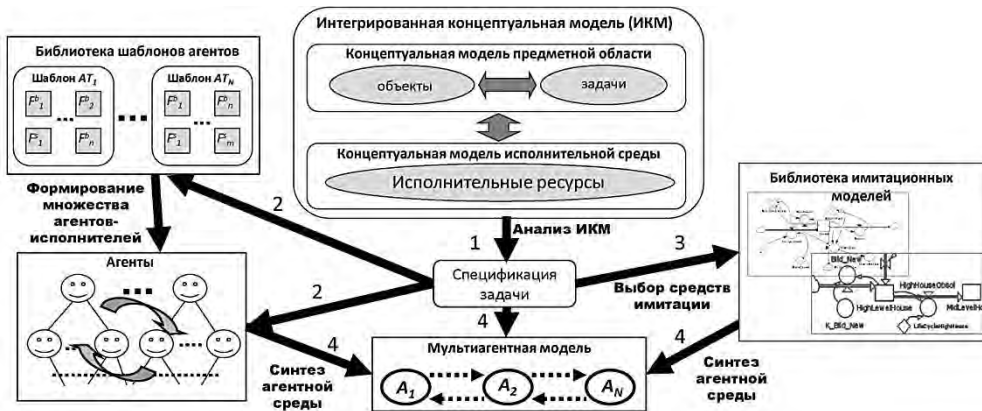


Рисунок 3 – Структура и этапы технологии формирования агентной среды моделирования задач управления региональной безопасностью

На первом этапе на основе анализа представленных в концептуальной модели предметной области субъектов и ассоциированных с ними задач проводится определение базового множества классов агентов, которые будут функционировать в синтезируемой системе. К одному классу будет относиться множество агентов, играющих однотипные роли. Например, при моделировании процессов принятия решений в чрезвычайных ситуациях определялись такие классы, как координатор, исполнитель, эксперт в области безопасности. С каждым классом связывается набор общесистемных F^b и специфических F^s (определяемых однотипными задачами класса) функций агента.

На втором этапе с использованием процедур анализа интегрированной концептуальной модели и выбора проблемно-ориентированных фрагментов концептуального описания формируется множество экземпляров агентов каждого класса, а также их коалиции. Возможны ситуации, когда субъект, представленный в концептуальной модели предметной области, играет в системе несколько различных ролей. В этом случае для него формируется несколько агентов различных классов. В конкретном сеансе имитационного моделирования может быть задействован как один ассоциированный с субъектом агент, так и несколько. Агенты интерпретируются как алгоритмические исполнители нетерминального уровня. База знаний агента формируется на основе соответствующих фрагментов концептуальной модели.

Третий этап заключается в создании компонентов, обеспечивающих реализацию имитационного моделирования – комплекса системно-динамических моделей, отвечающих как за имитацию динамики среды, так и за «поведение» агентов. Структура каждой имитационной модели синтезируется на основе совместного анализа интегрированной концептуальной модели и синтезированной на предыдущем этапе структуры агентов. Процедуры формального контроля обеспечивают проверку декларативной целостности мультимодельной среды имитации и «покрытия» ею представленных в концептуальной модели задач предметной области.

Четвертый этап заключается в интеграции синтезированных компонент в единую мультиагентную среду моделирования и окончательной настройке этой среды.

Заключение

Анализ проблематики информационной поддержки управления региональной безопасностью позволяет говорить о том, что в современных условиях задача эффективного информационного обеспечения ситуационных центров региона еще не полностью решена. Информационная поддержка, в основном, сводится к созданию и поддержанию в более или менее актуальном состоянии (достаточном для принятия решений) специализированных информационных ресурсов соответствующей тематики. При этом повсеместно используются централизованные технологии создания и функционирования информационных систем. Ситуация по-прежнему напоминает 90-е годы прошлого века, когда существовало большое количество разрозненных, технологически и семантически разнородных баз данных, используемых локально. Разного рода попытки создания централизованных реестров информационных ресурсов не принесли большого успеха. Сегодняшнее повсеместное распространение технологий Интернет и создание информационных ресурсов с веб-доступом для обеспечения безопасности решает лишь половину проблемы. Таким способом обеспечивается лишь распределенный доступ к информации, при этом информационные ресурсы по-прежнему остаются централизованными, что обуславливает их не всегда достаточную актуальность, высокую избыточность, технологическую и семантическую разнородность.

В этой связи перспективной представляется задача создания полно-

стью децентрализованных комплексных систем информационной поддержки управления безопасностью региона, позволяющих гибко интегрировать в логически единое целое существующие и вновь появляющиеся информационные ресурсы и сервисы для поддержки и координации группового принятия управленческих решений.

Представленные в статье разработки могут найти применение для синтеза новых систем распределенного управления безопасностью сложных социально-экономических объектов, а также для повышения оперативности функционирования и точности уже существующих систем обеспечения безопасности критически важных инфраструктур.

Результаты использованы при реализации «Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г.» на территории Мурманской области.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-07-00167-а).

Литература

1. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition. John Wiley & Sons. 2009. 484 p.
2. Маслобоев А.В. Система поддержки принятия решений в условиях региональных кризисных ситуаций // Информационные ресурсы России. 2017. № 4(158). С. 25-32.
3. Игнатъев М.Б. Просто Кибернетика // СПб: «Страта». 2016. 248 с.
4. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике // Апатиты: КНИЦ РАН. 2016. 222 с.
5. Олейник А.Г. Концептуальное моделирование региональных систем // Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2011. 204 с.