

УДК 621.391

**АГЕНТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫМИ
РЕСУРСАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

Филимонов А.Б., д.тех.н., профессор, МГТУ МИРЭА, E-mail: filimon_ab@mail.ru
Кромин О.А., ОАО «Спутниковая система «Гонец», oleg.kromin@gmail.com
Москва, Россия

Аннотация. Рассматривается задача управления коммуникационными ресурсами в распределенных автоматизированных информационных системах. Обсуждаются возможности применения методологии интеллектуальных агентов. Анализируется архитектура и ситуационная модель поведения агентов. Показываются перспективы применения мультиагентных технологий в спутниковых системах связи.

Ключевые слова: распределенные автоматизированные системы, оперативное управление коммуникационными ресурсами, мультиагентные технологии, архитектура агентов, ситуационная модель поведения, спутниковые системы связи.

**AGENT-BASED CONTROL BY COMMUNICATION RESOURCES
OF AUTOMATED SYSTEMS**

Filimonov Alexander. B., Dr.Sci., Prof., MSTU MIREA, E-mail: filimon_ab@mail.ru
Kromin Oleg A., GONETS Satellite Company p.c., E-mail: oleg.kromin@gmail.com
Moscow, Russia

Abstract. The problem of control by communication resources in distributed automated information systems is considered. The possibilities of application of the methodology of intelligent agents are discussed. The architecture and situational model of the behavior of agents is analyzed. The prospects of application of multi-agent technologies for satellite communication systems are shown.

Keywords: distributed automation systems, operational control by communication resources, multi-agent technologies, agents' architecture, situational model of behavior, satellite communication systems.

Введение

Современный этап эволюции автоматизированных информационных систем (АИС) характеризуется стремительным ростом сложности их технической и информационной структуры, значительным расширением состава и степени сложности задач контроля и управления. В этих условиях возникающие проблемы необходимо решать на основе методов и технологий искусственного интеллекта (ИИ), причем здесь наиболее перспективен мультиагентный подход [1-7].

Коммуникационная инфраструктура АИС обеспечивает информационное взаимодействие ее компонентов. К числу коммуникационных ресурсов относятся выделенные или коммутируемые проводные и беспроводные каналы связи, сетевое оборудование, а также устройства приема-передачи информации. Поскольку эти ресурсы ограничены, то при одновременном обращении различных процессов к общим ресурсам возникают конфликты, которые должны разрешаться в рамках принятой политики управления ресурсами системы.

В статье рассматривается задача оперативного управления коммуникационными ресурсами в распределенных АИС. Обсуждаются возможности применения агентного подхода для решения данной научно-технической задачи. Анализируются возможности применения мультиагентных технологий в низкоорбитальных спутниковых системах связи.

Стандарт сетевого управления TMN

Современная концепция управления коммуникационными средствами базируется на стандарте TMN [8], который охватывает задачи мониторинга, контроля и администрирования сетевого оборудования, позволяет управлять сетями связи по единым принципам, вне зависимости от технологических особенностей оборудования и типа систем связи.

Сеть управления телекоммуникациями (TMN - Telecommunications Management Network) осуществляет поддержание правильного функционирования и техническое обслуживание коммуникационных комплексов. Концепция TMN основана на базовых принципах управления открытыми системами.

В концепции TMN все физические и логические сетевые ресурсы расцениваются как управляемые объекты. Логическое описание ресурсов поддерживается с помощью информационных моделей, отображающей свойства ресурсов с точки зрения управления.

Управление сетью является распределенным процессом и осуществляется по схеме «менеджер-агент». Менеджер представляет собой часть управляющих программ распределенного процесса, которая направляет команды на выполнение операций управления и получает уведомления. Агент - это часть программ распределенного процесса, которая непосредственно управляет соответствующими объектами, выступая в роли посредника между менеджером и управляемым коммуникационным оборудованием. Для упрощения управления и разграничения полномочий между различными участниками процесса управления в TMN принята логическая многоуровневая архитектура.

В мультиагентных АИС задачи управления коммуникационными ресурсами должны решаться на агентной основе с учетом концепции TMN.

Мультиагентные системы

Под *агентом* понимается любая сущность, которая может воспринимать внешний мир и воздействовать на него. Минимальный набор его базовых свойств:

- *автономность* - агент является самоуправляющимся объектом;
- *реактивность* - способность реагировать на изменения во внешней среде;
- *целенаправленность* - поведение агента подчинено определенной цели;
- *коммуникативность* - способность общаться с другими агентами.

Программные агенты - *виртуальные объекты*, существующие только в программной среде. Они выполняются асинхронно в соответствии с предписанной целью, располагают индивидуальной моделью внешнего мира, которую строят на основе поступающей информации, и способны адаптироваться к изменениям в окружении благодаря обучению.

Мультиагентная система (МАС) строится как сообщество агентов, которые могут общаться друг с другом с помощью некоторого языка коммуникаций ACL (Agent Communication Language). Агенты объединяются в группы для совместных действий, направленных на достижение общей цели.

Архитектура МАС определяет метод взаимодействия агентов в системе. Возможные типы взаимодействия:

- *горизонтальные связи* - связи между равноправными агентами;
- *вертикальные (субординационные) связи* - связи подчинения;
- *координация* - согласованное действие агентов, подчиняющихся вышестоящему агенту-координатору;

Организационная структура МАС определяется ролевыми функциями агентов и нормами их взаимодействия. Минимальному набору функций, необходимых для построения МАС, отвечают следующие типы агентов:

- агенты-исполнители и агенты-менеджеры - первые подчиняются вторым;
- агенты-координаторы, ответственные за организацию взаимодействия агентов;
- интерфейсные агенты, служащие для связи с внешней средой;
- каналные агенты, обеспечивающие обмен информацией в системе.

Агенты можно классифицировать по степени развития внутреннего представления внешнего мира и способу реализации поведения. Исходя из этого, выделяют два типа агентов - реактивные и интеллектуальные.

Реактивные агенты имеют примитивную внутреннюю модель внешнего мира. Для них характерно использование концепции состояния и простейших механизмов поведения типа «стимул – реакция».

Интеллектуальные агенты (ИА) отличаются от реактивных агентов наличием у них встроеной *базы знаний* и развитого *механизма планирования действий*.

В наибольшей степени разумные свойства присущи делиберативным агентам (ДА), которые обладают символьной моделью внешнего мира и способны принимать решения на основе символьных рассуждений. Однако, существующий уровень развития теории и технологии проектирования ДА далек от сферы практических применений. Альтернативный путь интеллектуализации агентов может базироваться на основе ситуационной методологии и принципах вычислительного интеллекта.

Ментальные свойства агента выражают следующие категории:

- *ощущения* (perceptions) - восприятие обстановки;
- *убеждения* (beliefs) - переменная часть знаний агента о мире;
- *цели* (goals) - желаемый результат воздействий на внешний мир;
- *намерения* (intentions) - сформировавшийся план действий.

Агент ощущает окружающий мир, однако ему недоступна полная информация о его глобальном состоянии. Ситуации идентифицируются на основе ощущений и выражают убеждения агента о состоянии мира.

Цикл функционирования ИА состоит в выполнении следующей последовательности функций:

- ощущение;
- анализ ситуаций;
- планирование действий;
- исполнение плана;
- действие.

Разработка ментальной структуры агента базируется на методах и технологиях несимвольного ИИ, которые должны обеспечивать работу со слабо структурированной информацией и знаниями, а также реализовывать процессы адаптации (самонастройки, самообучения и самоорганизации). Соответствующая архитектура ИА представлена на рис. 1.

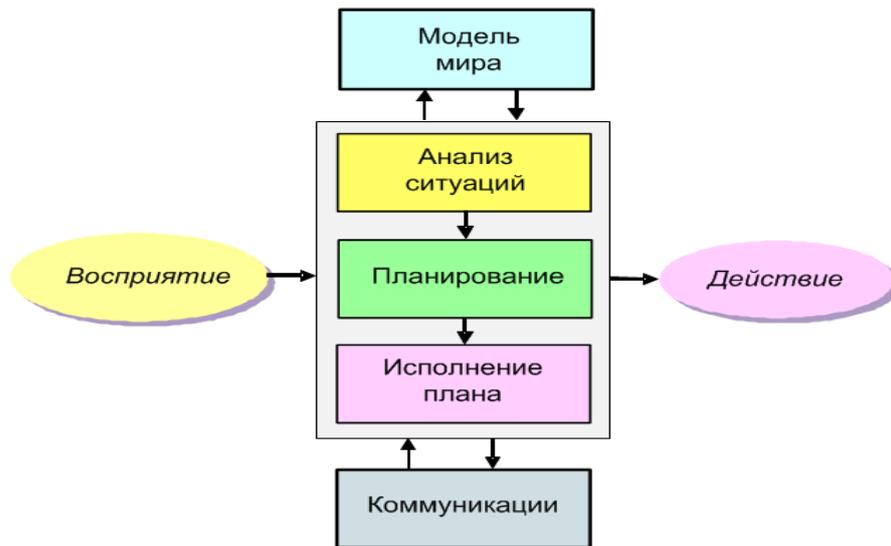


Рис. 1. Архитектура интеллектуального агента

Для этих целей можно применять инструменты конвенционного и вычислительного ИИ [2]: методы машинного самообучения, основанные на формализме и статистическом анализе; рассуждения на основе прецедентов (Case-Based Reasoning); байесовские сети доверия; нейросетевые алгоритмы; нечеткую логику; эволюционные вычисления.

Онтологическая поддержка агентных технологий

Для того, чтобы агенты понимали друг друга в процессах взаимодействия, они должны располагать общими локальными онтологическими базами знаний.

Онтология - это эксплицитная, т.е. явная спецификация концептуализации предметной области [9]. Онтологии состоят из операторов, определяющих понятий, связей и ограничений. Они аналогичны схемам баз данных или объектно-ориентированным диаграммам классов.

Онтологии включают следующие компоненты:

- *концепты* (понятия, классы);
- *свойства* концептов (атрибуты, роли);
- *отношения* между концептами (зависимости, функции);
- *дополнительные ограничения*, которые определяются аксиомами.

Посредством онтологий можно описывать не только предметную область МАС, но и задавать ее функционирование, т.е. логику поведения входящих в систему агентов.

Ситуационная модель планирования действий

Простейшая ситуационная модель поведения агентов является статической и строится на основе продукций «ситуация – действие». Однако, для планирования действий необходима динамическая ситуационная модель, дополненная событийным механизмом описания изменений внешней среды. Дадим общее описание такой модели.

Введем обозначения:

S - множество контролируемых ситуаций внешнего мира;

E - множество событий, происходящих во внешней среде;

A - множество действий агента.

Взаимодействие агента с внешним миром описывается уравнениями:

$$s(t+1) = \lambda(s(t), e(t), a(t)) \quad (1)$$

$$a(t) = \delta(s(t)), \quad (2)$$

где $s \in S$ - ситуация, $e \in E$ - событие, $a \in A$ - действие; $\lambda : S \times E \times A \rightarrow S$, $\delta : S \rightarrow A$.

Процессы (1), (2) протекают в абстрактном времени $t \in \{0, 1, 2, \dots, t_F\}$ и определяются следующими факторами:

1) начальной ситуацией - $s(0)$;

2) происходящими событиями - $e(0), e(1), e(2), \dots$

3) действиями агента - $a(0), a(1), a(2), \dots$.

Цель действий агента можно выразить некоторым предикатом:

$$G(s(t_F)). \quad (3)$$

Однако, данному условию могут отвечать различные ситуации, вследствие чего необходимо также учитывать эффективность конечного результата посредством некоторого критерия $F : S \rightarrow \mathbf{R} = (-\infty, \infty)$. Тогда наряду с терминальным требованием (3) действия агента можно подчинить требованию оптимальности

$$F(s(t_F)) \rightarrow \text{extr}. \quad (4)$$

Модель (1)-(4) можно представить *ситуационной сетью* - оргграфом, узлы которого представляют ситуации, а дуги графа отражают смену ситуаций и вызывающие ее обстоятельства (события в среде и действия агента).

Планирование действий агента основано на анализе возможных сценариев будущего развития ситуаций. Пусть горизонт планирования равен T шагам.

T -шаговая итерация уравнения (1) дает схему прогноза ситуаций:

$$\hat{s}(t+T | t) = \Phi(T, s(t), v, u).$$

Здесь $\hat{s}(t+T | t)$ - прогноз ситуации в момент времени t на T шагов вперед, u и v - цепочки возможных действий и событий на интервале $[t, t+T)$:

$$u = \{\tilde{a}(t), \tilde{a}(t+1), \dots, \tilde{a}(t+T-1)\}, \dots v = \{\tilde{e}(t), \tilde{e}(t+1), \dots, \tilde{e}(t+T-1)\}, \quad (5)$$

$$\tilde{a}(\theta) \in A, \tilde{e}(\theta) \in E \quad (t < \theta < t+T-1).$$

Планирование должно базироваться на анализе сценариев развития ситуаций на интервале планирования, формируемых варьируемыми процессами (5).

Применение технологии Workflow

В MAC задачи разбиваются на типовые подзадачи, выполняемые командой программных агентов. Каждая из них инициируется периодически либо при возникновении определенных ситуаций. Для анализа и организации работы сети агентов можно применять методологию потока работ - workflow [10] - как инструмент анализа реактивности системы, планирования и диспетчеризации задач.

Workflow-модели позволяют связать в единый процесс несколько заданий. Зависимости между заданиями удобно представлять в виде ориентированного графа, ребра которого определяют порядок выполнения заданий и потоки данных между заданиями. Модель потока работ описывает типовые шаблоны поведения и взаимодействия процессов: передачу управления, обмен информацией, общий доступ к ресурсам, обработке исключений. Она является эффективным инструментом компьютерных параллельных технологий и применяется в распределенных информационных системах: для управления и координации объектов, представляющих некоторый рабочий процесс, управления бизнес-транзакциями, организации поэтапного выполнения сложных приложений и т.п.

Положим алгоритм решения целевой задачи G можно разбить на множество работ:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}.$$

Представим его (рис. 2) информационным графом $IGraph(G)$, отражающим обязательный порядок следования работ (заданий, процедур) и их информационную взаимосвязь.

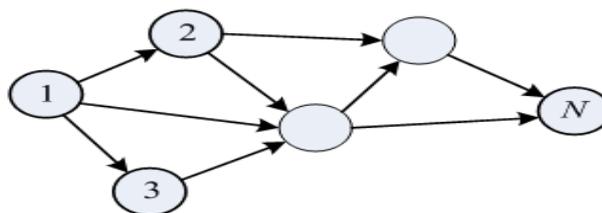


Рис. 2. Информационный граф задачи

Положим, что известны временные и ресурсные оценки этих работ. Тогда выполнение алгоритма можно подчинить следующей оптимизационной задаче.

Задача. Найти минимальное время T_w и оптимальный план выполнения алгоритма.

В случае задач реального времени время предобработки входной информации, время на принятие решения и время реакции не должны превышать допустимый предел.

Граф $I\text{Graph}(G)$ отражает оценки трудоемкости (временные и другие ресурсные) работ, а также необходимую специализацию *агентов-исполнителей* для их выполнения. Требуемые оценки трудоемкости могут быть получены как экспериментально - в результате набора и обработки статистики, так и теоретически - на основе анализа алгоритмической сложности вычислений.

Поскольку известны времена выполнения каждой работы, то время выполнения задачи G рассчитывается по критическому пути в информационном графе. Реактивность системы определяется временем ее реакции на некоторую тестовую смесь целевых задач.

Оперативное планирование направлено на оптимизацию загрузки агентов для каждого комплекса работ и осуществляется *агентом-планировщиком*. Последний задает расписание работы агентам-исполнителям. *Агент-диспетчер* осуществляет параллеливание и распределение работ между агентами-исполнителями. Он также контролирует ход работ посредством обратных связей от агентов-исполнителей и отвечает за оперативное перераспределение ресурсов между работами.

Агентное управление коммуникационными ресурсами

Авторами предлагается следующая архитектура системы агентного управления коммуникационными ресурсами. Система имеет многоуровневую иерархическую структуру. Нижний уровень образован реактивными агентами, контролирующими состояние коммуникационных ресурсов и оперативные запросы на коммутационные услуги абонентов. Верхние уровни образованы интеллектуальными агентами, осуществляющими распределение ресурсов между абонентами с учетом релевантных факторов: структуры запросов, приоритетов передаваемых сообщений, данных об интенсивности трафика и т.п.

Перспективы применения мультиагентных технологий в низкоорбитальных спутниковых системах связи

Использование космического сегмента связи играет важную роль для многих отраслей народного хозяйства России - промышленных, логистических, добывающих компаний и т.п., для военных и государственных структур.

Для спутников связей (СС) применяют два типа орбит:

- *Геостационарные* - круговые орбиты, расположенные над экватором Земли (0° широты), находясь на которых искусственный спутник обращается вокруг Земли с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси. Такой спутник «висит» неподвижно относительно Земли, что упрощает задачу передачи данных. Однако геостационарные спутники не покрывают всю поверхность Земли и оставляют зоны, где нет связи.

- *Низкоорбитальные* - высота орбит СС находится в пределах 700-1500 км. Низкоорбитальная группировка может содержать от одного до нескольких десятков малых спутников массой до 500 кг. Для охвата связью большой территории Земли применяют орбиты, на которых могут находиться несколько СС, лежащих в различных плоскостях. Их положение постоянно меняется, что затрудняет передачу данных.

Благодаря геостационарным и низкоорбитальным спутниковым группировкам возможен мониторинг и управление подвижными объектами на территориях, труднодоступных для наземных средств связи.

В России в настоящее время в стадии опытной эксплуатации находится низкоорбитальная система персональной спутниковой связи (СПСС) «Гонец», включающая спутниковую группировку и наземную инфраструктуру.

Технические характеристики СПСС «Гонец»: высота орбиты спутников - 1500 км, скорость передачи данных одного канала (на одном спутнике) - 2,4 Кбит/с.

Состав наземной части системы:

- *Центр управления полетом (ЦУП)* - осуществляет управление космическими аппаратами (КА), корректировку орбит, планирование сеансов связи, мониторинг работоспособности КА;

- *Центральная станция (ЦС)* - приемопередающий комплекс, обеспечивающий передачу пользовательских данных, прием и обработку оперативных данных о состоянии КА, а также ретрансляции данных в сети массового пользования (Internet, телефонные сети связи);

- *Региональные станции (РС)* - выполняют те же функции что и ЦС, но на региональном уровне;

- *Абонентские терминалы (АТ) - приемопередающие (мобильные и стационарные) технические средства пользователей.*

Основным назначением данной системы связи является передача между абонентами коротких однопакетных сообщений (до 2 Кбайт). Система предназначена для сбора данных с подвижных и стационарных объектов, голосовой связи и передачи пользовательских сообщений. Оборудование и программное обеспечение космических аппаратов и абонентских терминалов спроектировано таким образом, что для работы системы не требуется непрерывное нахождение абонентов в зоне радиовидимости КА. При отсутствии радиовидимости сообщение буферизуется в АТ или КА и передаётся при первой предоставленной возможности.

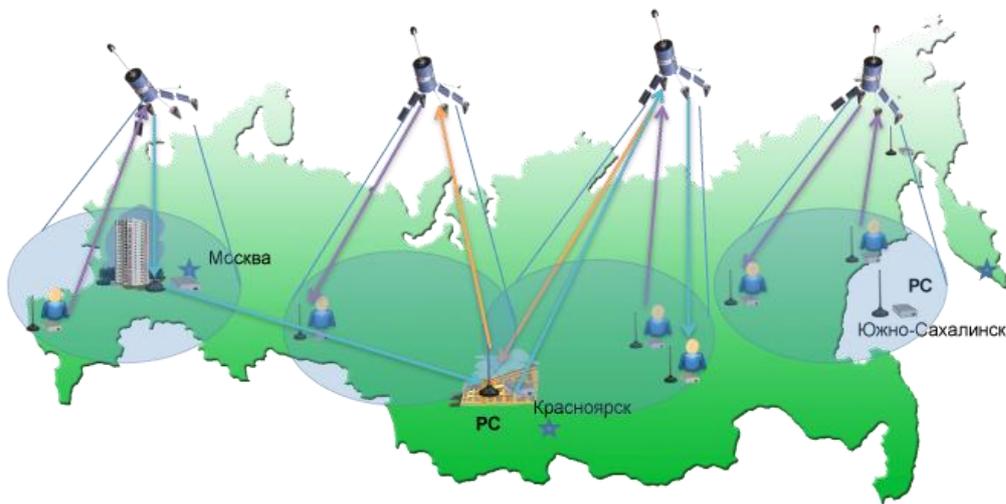


Рис. 3. Схема космического комплекса СПСС «Гонец»

На рис. 3 представлено схематичное изображение наземного и космического комплекса СПСС «Гонец»: ЦС и ЦУП расположены в Москве, две РС в Красноярске и Южно-Сахалинске. Передача данных с СПСС осуществляется от объектов контроля через спутник на станцию ретрансляции для дальнейшей передачи по наземным средствам связи или напрямую на другой абонентский терминал пользователя.

На рис. 4 изображены возможные пути доставки данных. Данные от контроллера поступают на АТ, который выбирает канал передачи данных. Этот канал в зависимости от наличия доступа будет относиться к СПСС или к сети мобильной сотовой связи GSM (Groupe Special Mobile). Терминал разбивает данные на пакеты и передает их по выбранному каналу. В случае выбора каналов связи в СПСС «Гонец» данные поступают на борт спутника, откуда в процессе маршрутизации передаются либо на ЦС либо

поступают на другой АТ. Если ресурсы СПСС и GSM недоступны, то АТ будет временно хранить данные пользователя.

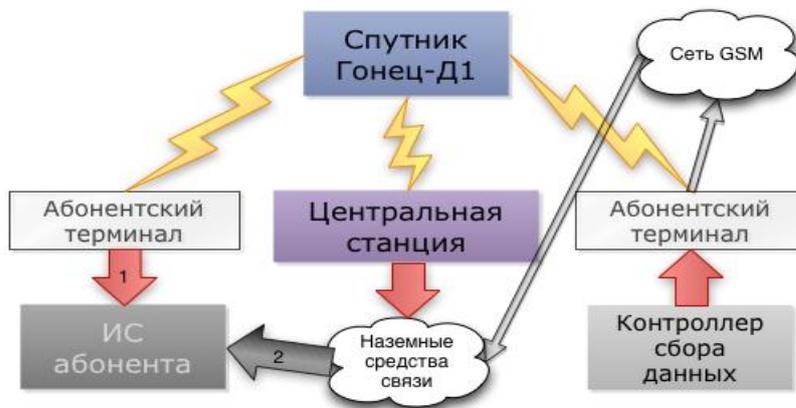


Рис. 4. Схема доставки данных

Управление телекоммуникациями в СПСС является сложной проблемой в силу действия ряда факторов: постоянно меняющемся положении спутников, ограниченным временем сеансов связи, низкой скоростью передачи данных, распределенностью узлов наземной части, многоплановой маршрутизацией по различным каналам. Наземный комплекс должен оперативно выбирать каналы передачи данных, собирать информацию с контроллеров посредством различных протоколов обмена данными. Перспективным способом решения данной проблемы является применение агентных технологий в информационно-управляющей структуре СПСС.

Применение агентных технологий в инфраструктуре СПСС

Функциональная структура СПСС включает три компонента: ЦС, абонентские ИС и абонентские терминалы. Соответственно необходимы три типа агентов, осуществляющих управление информационными потоками в данных компонентах системы. Функции агентов ЦС: планирование сеансов связи, интеллектуальная маршрутизация данных от АТ к абонентским ИС, прогнозирование износа космического сегмента, баллистическое управление группировкой. Функции агентов АТ - выбор каналов связи для передачи данных. Функции агентов абонентских ИС - взаимодействие с различными каналами передачи данных.

На функционирование СПСС влияет множество факторов. Применение агентных решений позволяет адаптировать систему к действию этих факторов, решает проблему масштабируемости и модернизации инфраструктуры СПСС.

Онтологическая поддержка агентных решений в СПСС предполагает выделение различных групп онтологий для описания различных аспектов функционирования СПСС.

Заключение

Агентный подход, несомненно, в перспективе должен стать базисным для интеллектуализации автоматизированных систем различного назначения. Это в полной мере относится и к коммуникационной инфраструктуре АИС.

Применение агентных технологий в СПСС закладывает возможность совершенствования и развития информационно-управляющей структуры систем данного типа в процессе их эксплуатации, позволяет объединять в единую сеть связи различные наземные и космические ресурсы, создает предпосылки увеличения эффективности космического сегмента за счет агентных механизмов адаптивного управления каналами передачи данных.

Список литературы

1. Wooldridge M.J. An Introduction to MultiAgent Systems. John Wiley&Sons Ltd, 2002. – 366 p.
2. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегия и методы решения сложных проблем. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. – 864 с.
3. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. 1998. № 2. – С. 64-116.
4. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
5. Швецов А.Н. Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям / Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. – 101 с.
6. Теряев Е.Д., Петрин К.В., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Агентные технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах. Ч. I. Основы агентного подхода // Мехатроника, автоматизация, управление, 2010, № 7. – С. 11-27.
7. Теряев Е.Д., Петрин К.В., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Агентные технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах. II. Агентные решения в задачах контроля и управления // Мехатроника, автоматизация, управление, 2010, № 10. – С. 25-34.

8. Гребешков А.Ю. Управление сетями электросвязи по стандарту TMN. – М.: Радио и связь, 2004. – 155 с.
9. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер. 2001. – 384 с.
10. Workflow Management Coalition documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wfmc.org> (дата обращения: 8.12.13).