

ПРОБЛЕМА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РОЛЕЙ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЕ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

THE PROBLEM OF OPTIMAL DISTRIBUTION OF ROLES IN A MULTI-AGENT SYSTEM WITH A HIERARCHICAL STRUCTURE

**S. Orekhov
V. Masyuk
K. Troshkin
A. Gerasimova**

Summary. The article deals with topical issues related to one of the areas of intelligent systems — multi-agent systems. The concept of “multi-agent systems” is revealed, and their difference from systems with “rigid” logic is emphasized. Outlines the main areas of application of multi-agent systems. Their classification by degree of order is given. The problem of optimal distribution of roles within a multi-agent system is formulated and solved.

Keywords: multi-agent system, agent-leader, agent-slave, hierarchical structure.

Орехов Сергей Юрьевич

Старший преподаватель, Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)»
serg31057@mail.ru

Масюк Владимир Михайлович

К.т.н., доцент, Калужский ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)»
masuyk77@mail.ru

Трошкин Константин Геннадьевич

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)»
tr_konst@bk.ru

Герасимова Анна Павловна

Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)»
Annklg@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены актуальные вопросы, связанные с одним из направлений интеллектуальных систем — мультиагентными системами. Раскрывается понятие «мультиагентные системы», а также подчёркивается их отличие от систем с «жесткой» логикой. Излагаются основные сферы применения мультиагентных систем. Приводится их классификация по степени упорядоченности. Формулируется и решается задача оптимального распределения ролей внутри мультиагентной системы.

Ключевые слова: мультиагентная система, агент-лидер, агент-подчинённый, иерархическая структура.

Введение

Мультиагентные системы (МАС) — одно из новых перспективных направлений создания интеллектуальных систем, основанных на знаниях, которое сформировалось на основе результатов исследований в области распределенного искусственного интеллекта, компьютерных сетей и распределенного решения задач [1].

Задачи управления и распределенного взаимодействия в сетях динамических систем привлекают в последнее десятилетие внимание все большего числа исследователей [2]. Во многом это объясняется широким

применением мультиагентных систем в разных областях, включая разработку автоматизированных систем управления, автоматическую подстройку нейронных сетей распознавания, управление формациями, роение, распределенные сенсорные сети, управление перегрузкой в сетях связи, взаимодействие групп БПЛА, относительное выравнивание групп спутников, управление движением групп мобильных роботов, синхронизации в энергосистемах и др.

На практике все чаще используются распределенные системы, выполняющие определенные действия параллельно, для которых актуальна задача разделения пакета заданий между несколькими вычислительными

потоками (устройствами). Подобные задачи возникают не только в вычислительных сетях, но также и в производственных сетях, сетях обслуживания, транспортных и логистических сетях. Оказывается, что при естественных ограничениях на связи, децентрализованные стратегии способны эффективно решать оценки ситуации, подготовки и реализации решения в условиях неопределенности.

В мультиагентных системах вся область проблем делится по конкретному принципу между всеми агентами организации или группы [3]. Каждый агент получает задание в зависимости от своих возможностей, а затем играет определенную роль в решении проблемы. В этом и состоит суть распределения обязанностей в организации: каждый агент играет свою роль, но вместе они получают общий результат. Обычно в мультиагентных системах используются программные агенты [4]. Тем не менее, составляющими мультиагентных систем могут быть также роботы, люди или команды людей.

В мультиагентных системах могут проявляться самоорганизация и сложное поведение, даже если стратегия поведения каждого агента достаточно проста. За счет особенности распределения между агентами обязанностей каждый агент выполняет свое задание, по принципу инстинктов роя пчёл или большого муравейника. Эти возможности радикально отличают МАС от существующих «жестко» организованных систем, обеспечивая им принципиально важное новое свойство, как способность к самоорганизации и кооперации [1].

По прогнозам специалистов, агентно-ориентированный подход в ближайшем будущем займет центральное место при развитии средств управления информацией и знаниями, развитии глобальных компьютерных сетей, в особенности, сети Интернет. В этой связи в области информационных технологий становится актуальной задача автоматизация разработки программных систем на основе агентов. Агентный подход требует применения новых методологий и инструментальных средств.

Постановка проблемы и обозначение подходов к решению

Мультиагентная система подразумевает, что каждый ее элемент относительно независим и самодостаточен (в плане обеспечения энергетическими ресурсами). Самоорганизующиеся системы характеризуются также взаимодействием (пассивным или активным) между элементами системы, направленным на поддержание целостности и живучести (для биологических систем) или выполнения заданной функциональности (социальные, мехатронные, робототехнические, компьютерные и кибернетические системы).

Классифицируем мультиагентные системы по степени упорядоченности:

1) Неиерархические — подразумевают отсутствие единого или распределенного центра управления (логистического, информационного), отдельные элементы не дифференцированы по свойствам и выполняемым функциям и взаимодействуют между собой только для поддержания целостности системы. Примером могут послужить такие биологические системы как колония одноклеточных водорослей, стадо слонов или стая ворон.

2) Иерархические — подразумевают наличие центра управления или системы принятия решений, ролевой дифференциацией элементов. В высокоорганизованных системах наступает функциональная дифференциация элементов вплоть до потери системой однородности и разделения на несколько подсистем, элементы которых значительно различаются и выполняют различные задачи, причем функционал определен «с рождения» и изменению практически не подлежит. Как пример — любой многоклеточный организм со своей сложной дифференцированной структурой клеток и тканей или автоматизированная промышленная линия из нескольких производственных ячеек (далее будем рассматривать однородные системы как частный случай неоднородных систем). Иерархическая структура, с точки зрения биологической эволюции, логистики и кибернетики, является более эффективной и устойчивой к внешним воздействиям.

Создание максимально работоспособных полуавтономных и автономных систем — перспективное направление современной логистики и теории автоматического управления, причем это справедливо как для социологии (от построения модели государственного управления до модели устойчивого гражданского общества), так и информационно-технической сферы (от агентов обработки больших объемов данных [BigData] до группы робототехнических устройств, исследующих внешнюю среду). Естественной становится проблема оптимального распределения ролей среди агентов, поиск отношения лидер/подчиненный (чиновник/рабочий, программа высокого ранга/программа низкого ранга, робот-лидер/робот-разведчик), которое позволит системе наиболее эффективно выполнять свои функции. Под нахождением оптимального распределения понимается определение такого количества агентов-«лидеров», которое, с одной стороны, не допустит простоя системы из-за нехватки агентов-подчиненных. Одним из методов решения следует назвать использование математического подхода с применением компьютерного моделирования.

Аналитическое решение

Сформулируем задачу. Имеется система, состоящая из N агентов, цель которой — исследовать

n -мерную часть пространства, содержащую объем информации V . Внутри системы агентов существует два класса — лидеры и подчиненные, причем каждый агент однозначно принадлежит к одному из этих классов, т.е. агент принадлежит только одному классу; появление «локального лидера» или «локального подчиненного» или переход агента из одного класса в другой невозможен. Каждый подчиненный снабжен k датчиками. Количество лидеров определяется извне и происходит до начала выполнения системой поставленных задач. Требуется определить соотношение количества агентов-лидеров к количеству агентов-подчиненных для обеспечения оптимальной работы системы.

При решении задачи воспользуемся технической терминологией, как более простой, однако используемые термины могут быть свободно заменены на социологические или информационные, причем выведенные закономерности сохраняют свою справедливость для большинства искусственных систем. Для биологических и социальных систем использование выведенных закономерностей требует введение поправки на «эффект джокера» (появление фактора, скачкообразно меняющего развитие системы). Для самообучающихся систем — не применимо вовсе из-за недостаточной проработанности вопроса их поведения в реальном мире, даже с использованием синергетического и футурологических подходов.

Общее количество агентов:

$$N = L + R, \tag{1}$$

где $L \in Z$ — количество агентов-лидеров; $R \in Z$ — количество агентов-подчиненных.

В условии не указано, является ли n -мерное пространство статичным или динамически изменяющимся по всем n измерениям. Поэтому примем, что

$$v_{uc} \gg v_{изм} \tag{2}$$

где v_{uc} — условная скорость уменьшения неопределенности исследуемого пространства, бит/с

$v_{изм}$ — условная скорость изменения неопределенности пространства, бит/с.

В случае $v_{изм} \rightarrow v_{uc}$ будем считать, что заданная система агентов не может быть использована для исследования заданной части n -мерного пространства.

Объем информации, получаемый одним агентом-подчиненным с датчиков:

$$V^d = \sum_{i=1}^k V_i^d = \sum_{i=1}^k v_i \cdot t \cdot f_i = t \cdot \sum_{i=1}^k v_i \cdot f_i, \tag{3}$$

где t — время исследования, с
 v_i — объем информации за одно измерение с i -ого датчика, бит
 f_i — частота опроса i -ого датчика, Гц
 k — количество датчиков.

Объем информации, записываемый в память агента-подчиненного:

$$V^M = V^d + \sum_{i=1}^k b \cdot t \cdot f_i = t \cdot \sum_{i=1}^k (v_i + b) \cdot f_i, \tag{4}$$

где b — количество бит, занимаемое именем датчика, бит.

От каждого агентов-подчиненных агентам-лидерам поступает V_R информации:

$$V_R = \sum_{j=1}^k V_j^M \cdot z \cdot r \cdot e_j = z \cdot r \cdot \sum_{j=1}^k V_j^M \cdot e_j, \tag{5}$$

где z — коэффициент, характеризующий увеличение информации при шифровке, $1 \leq z < \infty$: $z = 1$ соответствует прямой передаче лидеру без шифровки (не используется из-за возможности возникновения необратимой потери информации);

r — степень обработки информации самим подчиненным, $0 \leq r < \infty$: $r = 0$ — подчиненный сам проводит анализ информации и принимает решения, $r = 1$ — подчиненный всю полученную информацию переводит лидеру без обработки, $r > 1$ — агент-подчиненный передает вместе с информацией о пространстве результаты собственного анализа; e — коэффициент потерь информации при передаче, $0 \leq e < 1$: $e = 0$ — полная потеря данных, $e = 1$ — передача без потерь.

Система рассчитана с условием, что

$$\overline{t_{uc}} \geq \overline{t_{неп}}, \tag{6}$$

где $\overline{t_{uc}}$ — среднее время исследования пространства агентом-подчиненным, с
 $\overline{t_{неп}}$ — среднее время передачи информации агенту-лидеру, с.

Измерения разными датчиками происходят в один отрезок времени, но при этом перегрузки вычислительного центра агента-подчиненного не происходит. Это достигается путем эмпирического подбора частот измерений f_i . Время исследования t_{uc} и время передачи $t_{неп}$ не суммируются, так как считается, что сбор данных и передача происходят одновременно.

Найдем время передачи:

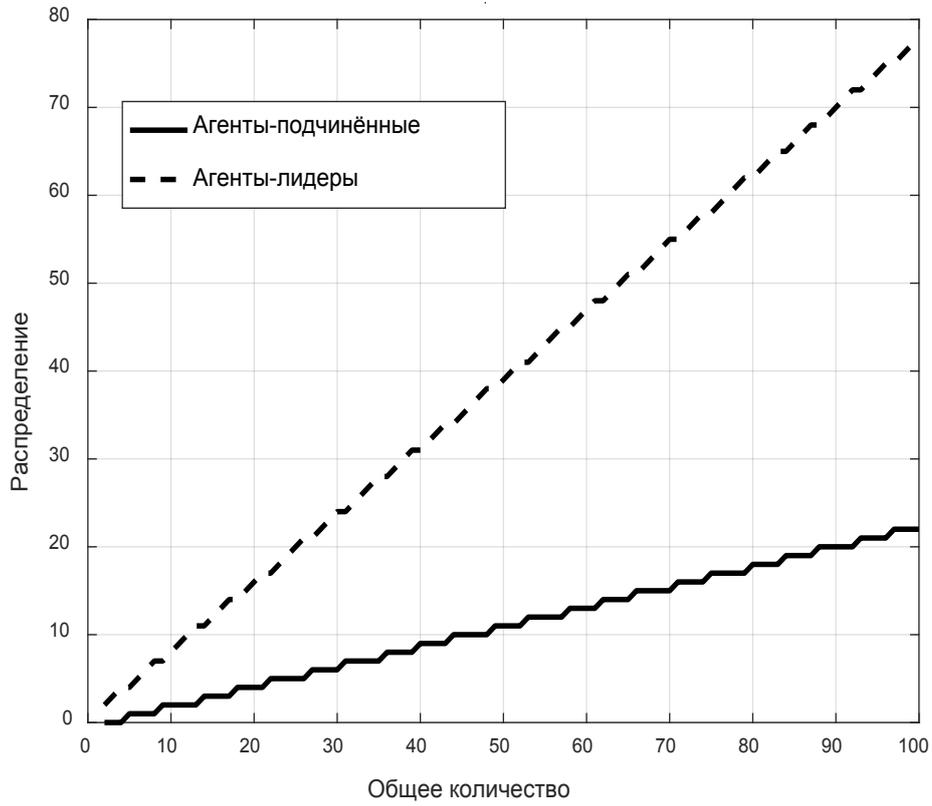


Рис. 1. Распределение агентов при $v_{обр} = 1$ Кбит/с

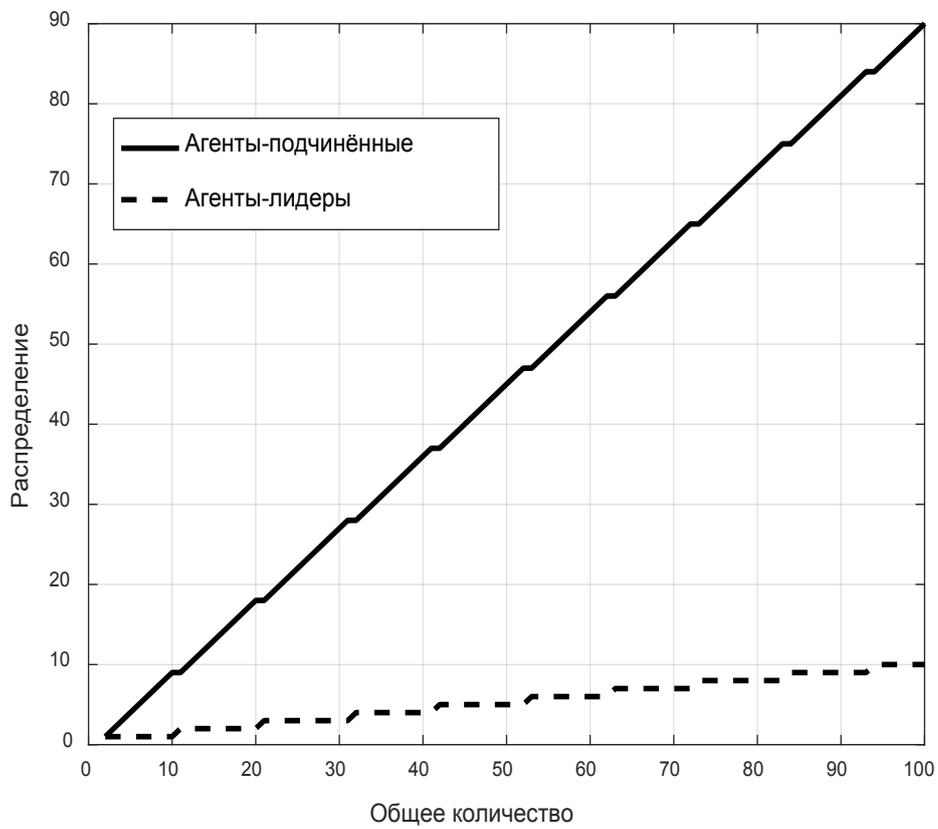


Рис. 2. Распределение агентов при $v_{обр} = 32$ Кбит/с

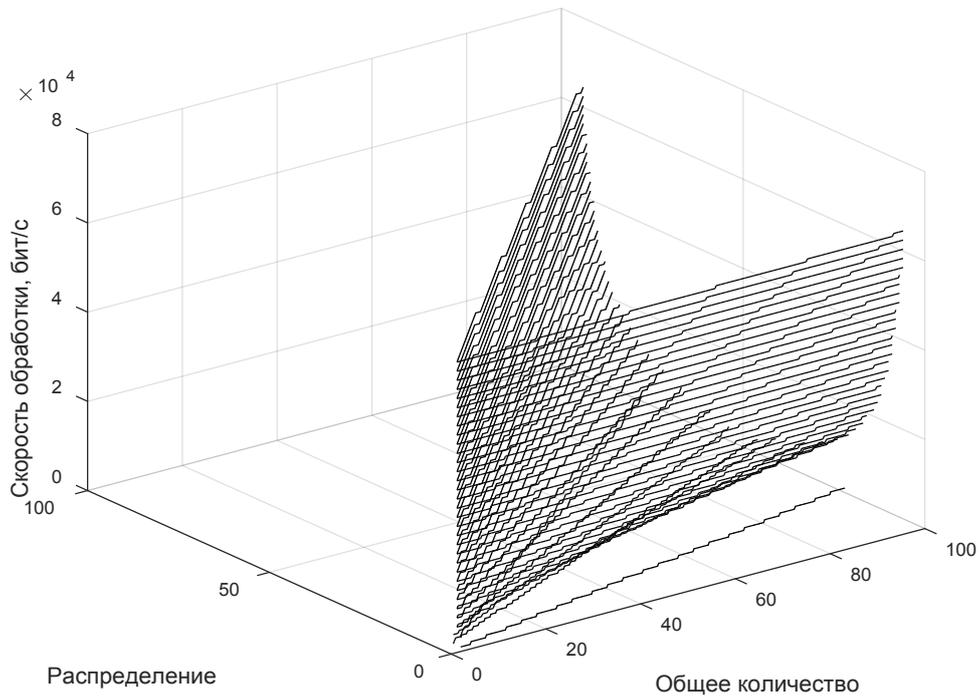


Рис. 3. Распределение агентов в промежутке скоростей обработки $v_{обп}$ от 1 до 64 Кбит/с

$$t_{неп} = \frac{V_R}{R \cdot v_{неп}}, \tag{7}$$

где $v_{неп}$ — средняя скорость передачи информации от подчиненного к лидеру, бит/с.

Найдем время обработки информации каждым лидером:

$$t_{обп} = \frac{V_R}{L \cdot v_{обп}} \tag{8}$$

где $v_{обп}$ — скорость обработки данных лидером, бит/с.

Агент-лидер будет успевать обработать информацию при выполнении условия:

$$t_{обп} \leq t_{неп}, \tag{9}$$

Из (9) получим искомое отношение L/R :

$$\frac{V_R}{L \cdot v_{обп}} \leq \frac{V_R}{R \cdot v_{неп}} \Rightarrow \frac{L}{R} \geq \frac{v_{неп}}{v_{обп}}. \tag{10}$$

Для нахождения средней скорости передачи данных принимаем $e_j = const$, тогда

$$\sum_{j=1}^R V^M \cdot e_j = R \cdot V^M \cdot e = R \cdot t \cdot e \cdot \sum_{i=1}^k (v_i + b) \cdot f_i; \tag{11}$$

Из (6) и (11) найдем $v_{неп}$:

$$t \geq \frac{z \cdot r}{v_{неп}} \cdot t \cdot e \cdot \sum_{i=1}^k (v_i + b) \cdot f_i \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{неп} \geq z \cdot r \cdot e \cdot \sum_{i=1}^k (v_i + b) \cdot f_i. \tag{12}$$

Таким образом, соотношение (10) примет вид:

$$\frac{L}{R} \geq \frac{z \cdot r \cdot e}{v_{обп}} \cdot \sum_{i=1}^k (v_i + b) \cdot f_i. \tag{13}$$

Из (1) и (13) найдём количество агентов-лидеров и агентов-подчинённых:

$$L \geq N \frac{z \cdot r \cdot e \cdot \sum_{i=1}^k (v_i + b) \cdot f_i}{v_{обп} + z \cdot r \cdot e \cdot \sum_{i=1}^k (v_i + b) \cdot f_i} \tag{14}$$

$$R \leq \frac{v_{обп} N}{v_{обп} + z \cdot r \cdot e \cdot \sum_{i=1}^k (v_i + b) \cdot f_i}. \tag{15}$$

Для определения распределения количества агентов необходимо знать их общее количество. Введём следующие произвольные условия: $z = 2$; $r = 0,7$; $e = 0,97$; $v_i = v = 16$ бит; $b = 16$ бит; $f_i = f = 10$ Гц; $k = 8$. Скорость обработки зададим $v_{обп} = 2^{10}$ бит/с = 1 Кбит/с. Построим

график в среде Matlab (рисунок 1), показывающий распределение агентов (N примем от 2 до 100). Как видно, при выбранной скорости количество агентов-лидеров превосходит количество агентов-подчинённых.

При увеличении скорости обработки до 32 Кбит/с (рисунок 2) количество агентов-подчинённых превосходит количество агентов-лидеров.

Таким образом, варьируя скорости обработки данных, можно получить график распределения агентов при определённом промежутке скоростей обработки (рисунок 3).

Вывод

В ходе работы была установлена функциональная зависимость отношения количества агентов-лидеров к количеству агентов-подчинённых для мультиагентной системы с иерархической структурой распределения ролей. Решение данной задачи даёт возможность задавать для системы количество агентов-лидеров. При дальнейшей разработке возможно совершенствование системы путем создания агентов-лидеров, изначально отличающихся от агентов-подчинённых, то повысит организованность системы и эффективность решения поставленных перед системой задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукина Ю.Ю., Федяев О. И. Технология создания мультиагентных систем в инструментальной среде MADKIT. — ДонНТУ, 12.04.2011. — 5 с. [Электронный ресурс] URL: <http://ea.donntu.org/handle/123456789/12676> (дата обращения: 25.11.2018).
2. Лекция 13: Управление на базе мультиагентных систем. — Курс лекций по предмету «Информационные технологии в управлении предприятием», Национальный открытый университет «ИНТУИТ». [Электронный ресурс] URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/4115/1230/lecture/24081> (дата обращения: 18.11.2018).
3. Нефёдова А.О., Погорелова Е. В. Мультиагентные системы как способ актуализации информации в сфере государственного управления. — Международный научно-технический журнал «ТЕОРИЯ. ПРАКТИКА. ИННОВАЦИИ», сентябрь 2017 год. — 7 с. [Электронный ресурс] URL: <http://www.tpinauka.ru/2017/09/Nefedova2.pdf> (дата обращения: 20.11.2018).
4. Малыгина М.П., Герасимов Д. А. Мультиагентные системы искусственного интеллекта. — Научные труды КубГТУ, № 3, 2018 год. — 9 с. [Электронный ресурс] URL: <https://ntk.kubstu.ru/file/2074> (дата обращения: 14.11.2018).

© Орехов Сергей Юрьевич (serg31057@mail.ru), Масюк Владимир Михайлович (masuyk77@mail.ru),
Трошкин Константин Геннадьевич (tr_konst@bk.ru), Герасимова Анна Павловна (Annklg@yandex.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана