

УДК 004.942

А.В. Прохоров

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ

Рассмотрены основные особенности управления ресурсами в распределенных интеллектуальных системах. Предложена агентная модель управления ресурсами в сложных динамических средах, с возможностями экономической самоорганизации и коллективной адаптации элементов модели с собственными интересами и процессами принятия решений, которая позволяет осуществлять децентрализованное планирование с гибким управлением ресурсами и нагрузкой в условиях неопределенности и динамического окружения. Описаны основные особенности поведения и взаимодействия агентов при моделировании процессов управления ресурсами.

Ключевые слова: распределенная интеллектуальная система, агентная модель, управление ресурсами, компетенции.

Введение

Главный смысл происходящих последнее десятилетие смен концепций (парадигмы) создания и использования средств искусственного интеллекта – переход от индивидуальных систем к распределенной обработке знаний и разработке мультиагентных систем. В этом случае распределенная интеллектуальная система строится из множества взаимодействующих интеллектуальных компонент (агентов), совместно решающих поставленную задачу в распределенных вычислительных средах.

Интеллектуальные компоненты могут быть неравноправны. Тогда архитектура распределенной интеллектуальной системы может быть иерархической, поскольку имеются интеллектуальные компоненты «метауровня», осуществляющие координацию распределенного решения задач другими компонентами.

Базовыми специфическими особенностями, которыми обладают распределенные интеллектуальные системы, являются следующие:

- физическая и логическая распределенность по узлам вычислительной сети, которая зависит от характера и назначения системы, характеристик обрабатываемой информации и программно-аппаратных средств реализации;

- распределенность баз знаний;

- распределенность задач, при которой выбор задач, решаемых данным интеллектуальным компонентом, зависит от доступных баз знаний, входных данных и управляющей информации;

- распределенность логического вывода решений;

- скоординированное информационное взаимодействие интеллектуальных компонент.

Мультиагентные системы с учетом предоставляемых ими преимуществ – автономности, децентрализованности, индивидуального поведения с

возможностью обучения и адаптации для составляющих их агентов – автоматизируют полный цикл управления ресурсами в реальном времени, включая согласование интересов, скоординированное взаимодействие, динамическое планирование и адаптивное перепланирование заказов/ресурсов.

Анализ последних исследований и публикаций. К базовым видам взаимодействия между агентами относятся: кооперация (сотрудничество); конкуренция (конфронтация, конфликт); компромисс (учет интересов других агентов); конформизм (отказ от своих интересов в пользу других); уклонение от взаимодействия [1]. Взаимодействие агентов обусловлено целым рядом причин и одной из важных среди них является отношение к ресурсам. В качестве ресурсов рассматриваются любые средства, используемые агентами для достижения своих целей. Наиболее сложный случай сотрудничества, когда к проблеме распределения задач добавляется проблема координации действий, обусловленная ограниченностью ресурсов.

Можно выделить класс систем с необходимостью решения задач динамического распределения ресурсов и четко прослеживающимся совместным и скоординированным взаимодействием владельцев и потребителей ресурсов. Сюда относятся системы производственной и транспортной логистики [2], управление проектами и персоналом [3], управление финансовыми ресурсами в банках [4], электронная коммерция [5], управление региональным развитием [6], GRID-системы [7] и др.

Ограниченность ресурсов, которые используются многими агентами, обычно порождает конфликты. Один из основных способов разрешения конфликтов обеспечивают переговоры, направленные на достижение компромиссов, в которых учитываются интересы всех агентов.

Агентный подход является наиболее перспективным направлением повышения эффективности

управління ресурсами. Тем більше, якщо справа йде про координування колекцій ресурсів – це завдання вищого рівня, і більшість процесів (моніторинг, діагностика, планування) вимагає інтелектуальних, автономних, соціальних здібностей.

В агентному підході часто використовується принцип «виртуальної» торгівлі за ресурси, коли кожному агенту-замовнику виділяється частина робочого часу агента-ресурса. Такий спосіб дозволяє здійснювати планування в реальному часі, тобто враховувати несподівані відмови або виникнення нових ресурсів і замовлень додаванням, видаленням або зміною параметрів агентів моделі.

Постановка задачі дослідження. В межах цього дослідження пропонується агентна модель управління ресурсами в складних динамічних середовищах, з можливостями економічної самоорганізації і колективної адаптації елементів моделі до власних інтересів і процесів прийняття рішень, яка дозволяє здійснювати де-

централизованне планування з гнучким управлінням ресурсами і навантаженням в умовах неопределенності і динамічного оточення.

Агентна модель управління ресурсами

Множество ресурсів і замовлень/завдань моделюються в вигляді агентів (рис. 1).

Таким чином, в складі мультиагентної моделі управління ресурсами кожен агент *TaskAgent* представляє собою конкретний замовлення/завдання і характеризується своїми цілями, пріоритетом, строками, вартістю. Ціллю для кожного агента *TaskAgent* є пошук контрактів з ресурсами, які можуть виконати необхідні роботи з мінімальними витратами. Ресурси є елементом з індивідуальним поведінкою, тому моделюються агентом *ResourceAgent*. Його завдання полягає в тому, щоб збільшити рівень завантаження ресурсів, а з точки зору економічного підходу і доходів.

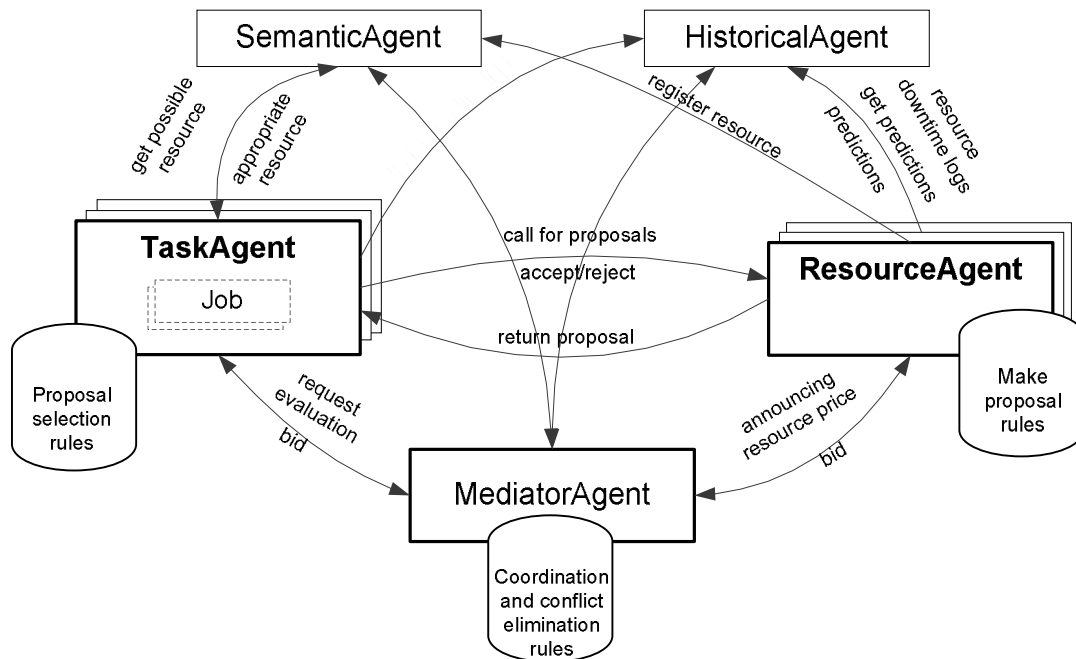


Рис. 1. Мультиагентна модель управління ресурсами

Розглянемо основні складові моделі.

Множество ресурсів $R = \{R_1, R_2, \dots, R_M\}$.

Формалізовано представити ресурс R_m ($m = \overline{1..M}$) можна в вигляді сукупності таких компонентів:

$$R_m = \langle P_m^R, H_m^R, E_m^R, PV_m^R, S_m^R \rangle,$$

де P_m^R – вектор початкових характеристик m -го ресурса; H_m^R – множина компетенцій ресурса; E_m^R – вектор економічних характеристик ресурса; PV_m^R – вектор індивідуальних уподобань ресурса; S_m^R – вектор, описуючий стан ресурса.

Відмінною особливістю запропонованої моделі є введення в складі характеристик ресурсів множини компетенцій, якими володіє той чи інший ресурс, а в складі агентів-замовлень множини компетенцій, які необхідні для їх виконання.

Множина компетенцій ресурса H_m^R складається з набору пар для кожної i -ї компетенції (h_{mi}^R, e_{mi}^R) , де h_{mi}^R характеризує доступний рівень по кожній компетенції, e_{mi}^R представляє собою ефективність (здатність) ресурса при виконанні компетенції так, що $0 \leq e_{mi}^R \leq 1$.

Целью каждого агента ресурса является максимизация прибыли.

Для этого они пытаются продать свои ресурсы по более высоким ценам и конкурируют друг с другом за получение большего числа работ.

Множество заданий $O = \{O_1, O_2, \dots, O_N\}$. Каждое задание O_n ($n = \overline{1..N}$) можно представить в виде совокупности следующих компонентов:

$$O_n = \langle P_n^O, Y_n^O, H_n^O, PV_n^O, S_n^O \rangle,$$

где P_n^O – вектор начальных характеристик n -го задания; Y_n^O – комплекс работ; H_n^O – множество компетенций, необходимых для выполнения задания; E_n^O – вектор экономических характеристик задания; PV_n^O – вектор индивидуальных предпочтений задания; S_n^O – состояние выполнения задания.

Комплекс работ $Y_n^O = \{y_{nj}\}$, где $j = \overline{1..p_n}$ где p_n – количество работ n -го задания. Каждая работа задания характеризуется $y_{nj} = (l_{nj}, s_{nj}, t_{nj}^k)$, где l_{nj} – размерность j -й работы, s_{nj} – объём финансовых ресурсов (бюджет), выделенный для выполнения работы, т.е. максимальная стоимость, которую агент готов заплатить за выполнение работы, t_{nj}^k – желаемый срок завершения работы.

Максимально стоимость определяется

$$\varphi = s_{nj} / l_{nj}.$$

Подмножество $H_n^O = (h_{n1}^O, h_{n2}^O, \dots, h_{nk}^O)$ – набор компетенций, которые необходимы для выполнения задания, h_{ni}^O – характеризует требуемый уровень по каждой компетенции. Вектор экономических характеристик задания включает:

– объём средств r_n , которые задание может потратить на выполнение работ $r_n = \sum_j s_{nj}$;

– прибыль задания $SV(O_n) = \sum_i (r_n(R_i) - s_i)$ определяется как сумма денежных средств от использования ресурсов для выполнения задания, т.е. разница между объемом средств $r_n(R_i)$, имеющих на покупку i -го ресурса и его текущей ценой s_i , принятой заданием.

Вектор индивидуальных предпочтений $PV(O_m)$ – это предпочтения задания относительно желательного и предельно допустимого срока завершения, объема, штрафа за невыполнение задания и т.д.

Целью каждого агента задания является выполнение своих работ в срок и с минимальными затратами.

Особенности взаимодействия агентов модели управления ресурсами

Наибольшую сложность в теоретических исследованиях и практических реализациях современных мультиагентных систем представляют вопросы, связанные с процессами взаимодействия агентов при коллективном решении задач реальной практической сложности и значимости, поскольку каждый агент, решающий конкретную подзадачу, имеет лишь частичное представление об общей задаче и должен постоянно взаимодействовать с другими агентами.

В каждую единицу времени, агенты-задания и агенты-ресурсы подают заявки и запросы аукционисту (*MediatorAgent*). Аукционист ведет список текущих предложений и запросов и контрактует два предложения, когда цена лота превышает или равна самому низкому запросу. Определение значений ставки и запроса для агентов-заданий и агентов-ресурсов можно сделать автономным и на основе их целей. В работе мы рассматриваем два способа принятия решений для определения значений ставок и запросов.

Рассмотрим поведение агента *TaskAgent*.

Агент задания определяет значение заявки в каждую единицу времени на основе двух параметров: среднее оставшееся время для проведения торгов и оставшиеся ресурсы для заявки.

1. *Определение значения заявки, основанное на количестве оставшихся ресурсов на участие в аукционе.*

В этом варианте, в каждую единицу времени, агент задания определяет значение ставки в зависимости от количества оставшихся ресурсов, которые могут предложить цену за их использование. Задание может претендовать на ресурс, если он может выполнять работу в пределах срока и цена резервирования ресурса меньше или равна максимальному значению, которое агент может заплатить за работу.

Формально работа i задания n может торговаться за ресурс j

$$t_{ni}^k - L_j - \frac{l_{ni}}{c_j} \geq 0,$$

где l_{ni} / c_j – время выполнения работы i задания n на ресурсе j .

Число оставшихся ресурсов уменьшается (из-за принятия новых работ ресурсами на выполнение).

В каждый момент времени, значение ставки для работы i задания n основывается на оставшихся ресурсах и определяется

$$V_{pi} = \left(\frac{s_{min}}{\varphi_i} + \left(1 - \frac{s_{min}}{\varphi_i} \right) \left(1 - \frac{M^t - 1}{M} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \right) \cdot \varphi_i$$

где s_{\min} - минимальная цена резервирования среди оставшихся ресурсов; M^t - число оставшихся ресурсов в момент времени t для работы i задания n ; α - полиномиальный коэффициент ($0.01 \leq \alpha \leq 100$).

Когда $\alpha < 1$ агент задания поддерживает низкую стоимость покупки, пока число оставшихся ресурсов не станет близким к нулю. С другой стороны, когда $\alpha > 1$ агент задания начинает со значения ставки близким к ϕ_i , т.е. максимальным значением заявки. Когда число оставшихся ресурсов уменьшается, значение заявки увеличивается.

2. *Определение значения заявки, основанное на среднем оставшемся времени для проведения торгов.*

Здесь в каждый момент времени, агент задания определяет значение ставки на основе среднего оставшегося времени для проведения торгов с ресурсами. Пусть заявка работы i задания n подается в момент времени t . Оставшееся время для агента задания, когда он может сделать заявку ресурсу j , определяется

$$rt_{nij} = \left(t_{ni}^k - L_j - \frac{I_{ni}}{c_j} \right) \cdot x,$$

$$\text{где } x = \begin{cases} 1, & \text{если } \phi_i \geq s_j \\ 0, & \text{если } \phi_i < s_j \end{cases}.$$

Если $rt_{ij} < 0$, то это означает, что ресурс j не может выполнить работу i задания n в желаемый срок.

Среднее оставшееся время для подачи заявки может быть получено следующим образом

$$rt_{ni} = \frac{\sum_j (rt_{nij} \cdot y)}{M},$$

$$\text{где } y = \begin{cases} 1, & \text{если } rt_{nij} > 0 \\ 0, & \text{если } rt_{nij} \leq 0 \end{cases}$$

На момент подачи работы, среднее оставшееся время для подачи заявки имеет максимальное значение rt_{ni}^{\max} .

Значение заявки на основе среднего оставшегося времени для торгов может быть получено следующим образом

$$V_{rt} = \left(\frac{s_{\min}}{\phi_i} + \left(1 - \frac{s_{\min}}{\phi_i} \right) \left(1 - \frac{r_{ni}}{rt_{ni}^{\max}} \right)^{\beta} \right) \cdot \phi_i,$$

где $0.01 \leq \beta \leq 100$. Здесь параметр β аналогичен α и используется для управления степенью выпуклости кривой.

После определения значений заявки для каждого из ограничений, упомянутых выше, агент задания объединяет их для расчета окончательной суммы заявки

$$V_b = \lambda \cdot V_{rt} + (1 - \lambda) \cdot V_{rt},$$

где $0 \leq \lambda \leq 1$ - используется для регулирования эффективности параметров, используемых в этом уравнении. Если $\lambda = 1$, то это означает, что только ограничение на оставшиеся ресурсы рассматривается в окончательной стоимости тендерного предложения, а $\lambda = 0$ означает, что учитывается только ограничение на оставшееся время. Значение $\lambda \in (0,1)$ означает, что учитываются оба параметра.

Рассмотрим поведение агента *ResourceAgent*.

Агент ресурса направлен на получение большей прибыли. Для этого он пытается продать свой ресурс по более высокой цене и конкурирует с другими ресурсами для получения новых работ на выполнение.

Будем считать, что в момент появления ресурса, его загруженность L_m равна нулю и ресурс устанавливает цену на свое резервирование. После закрепления работы он обновляет свою рабочую нагрузку (т.е. по сути время начала новой работы) и устанавливает свою цену по максимальному значению ms_m . Постепенно загруженность ресурса L_m уменьшается и приближается к нулю.

С уменьшением загруженности агент ресурса уменьшает свою стоимость и в случае, когда загруженность равна нулю, он устанавливает цену резервирования s_m . Максимальная цена может быть определена либо владельцем ресурса или агентом через сотрудничество с другими агентами. Агент ресурса определяет свою цену следующим образом

$$V_r = \left(\frac{s_j}{ms_j} + \left(1 - \frac{s_j}{ms_j} \right) \left(\frac{L_j}{L_j^t} \right)^{1/\gamma} \right) \cdot ms_j,$$

где L_j^t - загруженность ресурса j после последнего размещения работы; L_j - текущая загруженность или время начала новой работы. Здесь параметр γ аналогично используется для управления степенью выпуклости кривой.

В каждый момент времени агенты заданий и агенты ресурсов определяют свои заявки и запросы и отправляют их аукционисту (*MediatorAgent*). Аукционист сортирует значения заявок в порядке возрастания, а значения запросов в порядке убывания. Если заявка больше или равна самому низкому запросу, то сделка происходит по следующей цене

$$V_c = \frac{(V_b^{\max} + V_r^{\min})}{2}.$$

Заключення

В роботі пропонується агентна модель управління ресурсами в складних динамічних середовищах, з можливостями економічної самоорганізації та колективної адаптації елементів моделі з власними інтересами і процесами прийняття рішень, що дозволяє вирішувати задачі децентралізованого планування з гнучким управлінням ресурсами і навантаженням в умовах неопределенності і динамічного оточення.

Список літератури

1. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика [Текст] / В.Б. Тарасов. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
2. Соуд Абдалазез Мохаммед Амен. Координация взаимодействий агентов при моделировании процессов нефтепродуктообеспечения [Текст] / Соуд Абдалазез Мохаммед Амен, А.В. Прохоров, О.Е. Федорович // Радиоелектронні та комп'ютерні системи. – 2012. – №4(56). – С. 185-192.
3. Федорович О.Е. Имитационная модель анализа процессов управления проектами с учетом рисков [Текст] / О.Е. Федорович, А.В. Прохоров, Е.М. Жигулина // Авиационно-космическая техника и технология. – Вып. 1 (37). – Харьков: ХАИ, 2007. – С. 75-84.
4. Прохоров А.В. Знаниеориентированная агентная модель анализа процессов управления финансовыми ресурсами банка [Текст] / А.В. Прохоров, Ю.Н. Страшненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 1. № 2 (49). – С. 42-46.
5. Прохоров А.В. Концептуальная модель мультиагентной системы управления контекстной рекламой [Текст] / А.В. Прохоров, Е.Н. Владимирская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 46(4/9). – С. 44-52.
6. Прохоров А.В. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень з управління регіональними ресурсами [Текст] / А.В. Прохоров, А.О. Матюшко // Радиоелектронні та комп'ютерні системи. – 2015. – №1(71). – С. 110-114.
7. Прохоров А.В. Мультиагентные технологии управления ресурсами в распределенных вычислительных средах [Текст] / А.В. Прохоров, Е.М. Пахнина // Proc. of Second Int. Conf. «Cluster Computing». – Lviv, 2013. – P. 184-190.

МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ВЗАЄМОДІЇ АГЕНТІВ

О.В. Прохоров

Розглянуто основні особливості управління ресурсами в розподілених інтелектуальних системах. Запропоновано мультиагентну імітаційну модель управління ресурсами в складних динамічних середовищах, з можливостями економічної самоорганізації та колективної адаптації елементів моделі з власними інтересами і процесами прийняття рішень, яка дозволяє здійснювати децентралізоване планування з гнучким управлінням ресурсами і навантаженням в умовах невизначеності і динамічного оточення. Описано основні особливості поведінки та взаємодії агентів при моделюванні процесів управління ресурсами.

Ключові слова: розподілена інтелектуальна система, агентна модель, управління ресурсами, компетенції.

AGENT-BASED MODEL OF RESOURCE MANAGEMENT IN DISTRIBUTED INTELLIGENT SYSTEMS

A.V. Prokhorov

The main features of the resource management in distributed intelligent systems are considered. We propose a multi-agent simulation model of resource management in complex dynamic systems with the possibility of economic self-organization and collective adaptation model elements. It allows implement decentralized planning with flexible management of resources and its utilization under conditions of uncertainty and dynamic environment. We describe the detail of behavior and agents interaction in the simulation process of resource management.

Keywords: distributed intelligent system, agent-based model, resource management, competence.

References

1. Tarasov V. B. *От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика* [From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, computer science], Jeditorial URSS, 2002, 352 p.
2. Soud Abdalazez Mohammed Amen, Prokhorov A. V., Fedorovich O. E. *Koordinacija vzaimodejstvij agentov pri modelirovanii processov nefteproduktobespechenija* [Coordination of agents interaction in modeling processes petroleum products]. *Radioelektronni ta komp'juterni sistemi*, 2012, №4(56), pp. 185-192.
3. Fedorovich O. E., Prokhorov A. V., Zhigulina E. M. *Imitacionnaja model' analiza processov upravlenija proektami s uchetom riskov* [A simulation model for the analysis of project management processes with risks account]. *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*, 2007, Vol. 1(37), pp. 75-84.
4. Prokhorov A. V., Ju. N. Strashnenko *Znaniorientirovannaja agentnaja model' analiza processov upravlenija finansovymi resursami banka* [Knowledge-agent model analysis of the bank's financial management processes]. *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2011. Vol 1. № 2(49), pp. 42-46.
5. Prokhorov A. V., Vladimirskaja E. N. *Konceptual'naja model' mul'tiagentnoj sistemy upravlenija kontekstnoj reklamoj* [Conceptual model of the multi-contextual advertising management]. *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2010, № 46(4/9), pp. 44-52.
6. Prokhorov A. V., Matjushko A. O. *Intelektual'na sistema pidtrimki prijnattja rishen' z upravlinnja regional'-nimi resursami* [Intelligent decision support system for regional resources management]. *Radioelektronni ta komp'juterni sistemi*, 2015. №1(71), pp. 110-114.
7. Prokhorov A. V., Pakhnina E. M. *Mul'tiagentnye tehnologii upravlenija resursami v raspredelennyh vychislitel'nyh sredah* [Multi-agent management technology in distributed computing environments]. *Proc. of Second International Conference «Cluster Computing» CC 2013. Lviv, 2013*, pp. 184-190.

Надійшла до редколегії 1.03.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є.А. Дружиніг, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків.