OSTIS-2012
(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 681.3: 519.68

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ РЕСУРСНО-ЦЕЛЕВЫХ СЕТЕЙ

Дюндюков. В.С, Тарасов В.Б.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Vsd89@yandex.ru

Tarasov@rk9.bmstu.ru

В работе вводится понятие ресурсно-целевых сетей, которое позволяет учитывать типологию агентов и их целевые установки при обмене ресурсами. Предварительно изложены основные причины и характеристики взаимодействия агентов и условия формирования многоагентных систем. Проанализированы основные виды взаимодействий между агентами, представленных с помощью двусторонних знаковых графов. Даны ключевые определения, варианты классификации и свойства ресурсов. На основе выделенных по двум критериям классов агентов введено определение ресурсно-целевых сетей, рассмотрены ситуации обмена ресурсами для агентов разных типов. Сформулированы и доказаны две теоремы о предельных состояниях ресурсно-целевой сети. Построены соответствующие иллюстративные примеры. Описана программная реализация ресурсно-целевых сетей на языке Python.

Ключевые слова: интеллект искусственный, агент, система многоагентная, взаимодействие агентов, ресурс, обмен ресурсами, влияние агента, граф двусторонний взвешенный, сеть ресурсно-целевая.

Введение

Настоящая работа посвящена проблемам построения ресурсно-целевых сетей и их использования при формировании многоагентных систем. В теории графов сетью называется взвешенный граф (мультиграф, гиперграф)

$$G = \langle X, C, W\rangle, \qquad (1)$$

где X – множество вершин, C – множество дуг (ребер), а W:$C\rightarrow\mathbf{R}^+$, $\mathbf{R}^+$–множество неотрицательных действительных чисел. Например, *транспортная сеть* [Берж, 1962; Харари, 1973] – это конечный граф без петель, каждой дуге c которого поставлено в соответствие неотрицательное целое число w, называемое пропускной способностью дуги.

Пусть C_x^- – множество дуг сети G, заходящих в x, а C_x^+– множество дуг сети G, выходящих из x. Функция f, определенная на C и принимающая целочисленные значения f: $C \rightarrow \mathbf{N}^+$, называется потоком по транспортной сети, если:

$$1)\quad f(c) \geq 0;\ 2)\ \sum_{C_x^-} f(c) - \sum_{C_x^+} f(c). \qquad (2)$$

Классическим алгоритмом для решения задачи нахождения максимального потока в сети является алгоритм Форда – Фалкерсона [Форд и др., 1973].

В своей работе [Кузнецов, 2009] О.П.Кузнецов предложил формальный аппарат *ресурсных сетей.* Ресурсной сетью называется двусторонний ориентированный граф, вершинам x_i которого поставлены в соответствие неотрицательные числа $q_i(t)$, изменяющиеся в дискретном времени t и называемые ресурсами, а дугам – неотрицательные числа w_{ij}, именуемые пропускными способностями (проводимостями). В отличие от транспортных сетей и классической потоковой модели Форда-Фалкерсона, в которых ресурс течет от источников к стокам и расположен в дугах, в ресурсной сети ресурсы находятся в вершинах, а обмен ресурсами зависит от проводимостей дуг [Кузнецов, 2009; Кузнецов и др., 2010].

Создание многоагентной системы (МАС) предполагает организацию взаимодействий между агентами. Под агентом понимается открытый, активный объект, обладающий целенаправленным поведением [Тарасов, 2002]. Ядро любого агента составляет четверка «цель-ресурс-восприятие-действие». Процесс взаимодействия агентов при создании МАС зависит от следующих основных параметров: 1) тип агента; 2) совместимость целей или намерений агентов; 3) отношение агентов к ресурсам и величины имеющихся у них ресурсов; 3) опыт агентов, связанный с некоторой проблемной областью; 4) обязательства агентов друг перед другом.

Таким образом, разработка МАС требует согласованного восприятия внешней среды и формирования общих целей агентов, обмена ресурсами между агентами, реализации коллективных действий. Введение *ресурсно-целевых сетей* [Дюндюков и др., 2011] с разными типами вершин и двумя типами дуг, обозначаемыми сплошными и пунктирными линиями, позволит учитывать целевые установки агентов при их обмене ресурсами, а также отобразить асимметричность такого обмена

1. Агенты, взаимодействия и ресурсы

Главными характеристиками взаимодействия агентов являются: *направленность, взаимность, знак, сила, динамичность, адаптивность.* Будем вначале представлять область возможных взаимодействий между агентами в виде $L_3 = \{-,0,+\}$. Тогда все варианты анализа взаимодействий между двумя агентами сведутся к следующим восьми случаям, изображенным на рисунке 1 в виде двухсторонних знаковых графов (тривиальный 9-й случай отсутствия взаимодействия здесь опущен). Выделяются три класса отношений [Тарасов, 2010]:
а) взаимные (симметричные);
б) слабоконтрастные (антисимметричные);
в) контрастные (кососимметричные)

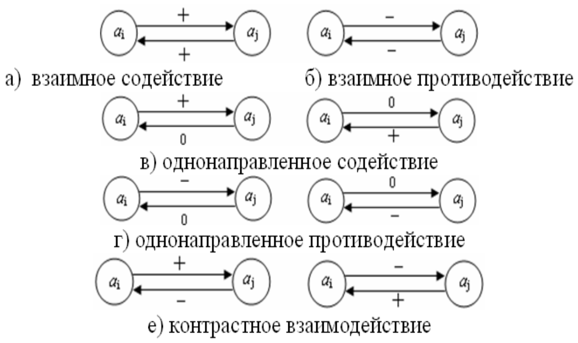

Рисунок 1 – Виды взаимодействий между агентами

В общем случае, следует говорить о степени содействия или противодействия агента другому агенту, откуда видна целесообразность применения при анализе взаимоотношений нечетких знаковых графов; примеры таких графов приведены на рисунке 2 ($w_1 > w_2$).

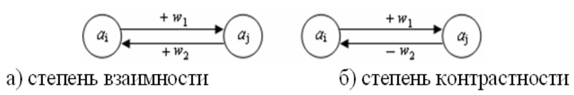

Рисунок 2 – Примеры представления силы взаимных и контрастных отношений

Любая МАС является полиструктурной и представляет собой единство экстенсивных структур, в основном развертывающихся в пространстве и интенсивных структур, развивающихся во времени [Волков, 1986;. Тарасов, 2002], При построении структур с помощью ориентированных графов развертыванию экстенсивных структур соответствует добавление новых вершин в исходный граф, а развитию интенсивных структур – добавление новых дуг.

В данной работе главное внимание уделяется исследование и моделирование взаимосвязей между типами агентов, характером формируемых или принимаемых ими целей и ситуациями обмена (совместного использования) ресурсами.

Под ресурсами здесь понимаются любые средства, полезные для достижения цели агента или МАС. Термин «ресурс» дословно означает «восполнение или восстановление источника». Величина имеющегося у агента ресурса тесно связана с такими характеристиками МАС как роль агента в МАС и взаимосвязи между ролями. Создание и функционирование МАС предполагает построение семейства процедур распределения, перераспределения и коллективного использования ресурсов отдельных агентов.

В ситуации обмена ресурсами следует выделить два базовых типа агентов – носители ресурсов и искатели ресурсов. Носителем ресурса в момент времени t будет являться агент, который имеет определенный ресурс и может в данный момент времени удовлетворить потребности партнера в обмене, а искателем – агент, испытывающий потребности в ресурсе.

Выделяются две основные характеристики ресурса [Волков, 1986]: а) «объем ресурса» – его мера в пространстве (например, объем перерабатываемой информации, объем памяти компьютера); б) «действие ресурса» – его мера во времени. Очевидно, что один и тот же объем ресурса может оказывать различное влияние на реализацию процессов при различном его действии.

Ресурсы подразделяются на: материальные и информационные, ограниченные и неограниченные. В отличие от ограниченных материальных ресурсов, для которых в МАС действует закон сохранения суммарного ресурса, информационные ресурсы по своей природе являются бесконечными. При этом для информационных ресурсов справедливо свойство супераддитивности: ресурсы агентов в процессе обмена только увеличиваются. Поэтому суммарный ресурс МАС будет больше суммы ресурсов отдельных агентов.

Таким образом, возникают задачи расширения методов динамического структурного анализа на основе теории сетей с целью явного описания процессов обмена ресурсами в условиях приоритета индивидуальных или коллективных целей.

2. Ресурсно-целевые сети и типология агентов.

Следуя О.П.Кузнецову, для моделирования обмена ресурсами в МАС будем опираться на ресурсные сети.

Определение 1 [Кузнецов, 2009]. Ресурсной сетью для многоагентной системы называется взвешенный двусторонний ориентированный граф

$$G_{\mathrm{RES}} = \langle A, C, RES, W \rangle, \qquad (3)$$

где множество вершин A есть множество агентов, образующих МАС, множество дуг C есть множество связей между агентами, RES – множество ресурсов МАС, причем каждый агент $a_i \in A$ имеет определенный ресурс $res(a_i) \in RES$, W – множество проводимостей w_{ij} дуг $c_{ij} \in C$ в МАС. Каждой дуге (связи между агентами) $c_{ij} \in C$ приписывается неотрицательное число $w_{ij} \in W$, называемое проводимостью от агента a_i к агенту a_j.

По сути, проводимость в МАС задает предельный объем ресурса, который один агент может передавать другому в определенный промежуток времени.

Ресурсная сеть называется однородной, если все проводимости в ней равны. В общем случае, когда МАС состоит из агентов разных типов, ресурсные сети являются неоднородными, поскольку в них как объем и действие ресурса, так и проводимости зависят от типа агента. Более того, типология агентов непосредственно определяет саму возможность формирования МАС.

Рассмотрим подробнее классификацию агентов, предложенную в [Тарасов, 2002]. Она построена по двум критериям: отношение агента к себе и отношение агента к другим агентам, в простейшем случае оценки по этим критериям сводятся к двум полярным значениям + или –. Здесь критерии классификации слегка видоизменены: отношение агента к себе понимается как его способность (+) или неспособность (–) сформировать собственную цель, а отношение к другим – как желание обмениваться ресурсами с пользой (+) или вредом (–) для себя и других агентов. Основные типы агентов показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Основные типы агентов

Тип агента	Отношение к себе	Отношение к другим
Благонамеренный	+	+
Эгоистичный	+	–
Альтруистичный	–	+
Злонамеренный (Камикадзе)	–1	–1

Отсюда видно, что тип агента можно представить парой знаков:

1) Благонамеренный – (+, +);
2) Эгоистичный – (+, –);
3) Альтруистичный – (–, +);
4) Камикадзе – (–, –).

Ниже ограничимся анализом благонамеренных, альтруистичных и эгоистичных агентов и дадим их краткое описание с позиций ресурсно-целевого подхода [Тарасов, 2002].

Благонамеренный агент a_b – это агент, имеющий свои цели (интересы) и способный формировать или принимать коллективные цели. Он участвует в обмене ресурсами, если такая операция выгодна ему и другим агентам и не содержит злого умысла.

Эгоистичный агент a_e стремится к достижению исключительно своих целей, игнорирует цели других агентов и неспособен к формированию общих (коллективных) целей. Он участвует в обмене ресурсами тогда и только тогда, когда этот обмен ему необходим и выгоден; при этом наблюдается скорее не обмен, а перетекание ресурсов к эгоистичному агенту.

Альтруистичный агент a_a априори считается неспособным к построению собственных целей и принимает чужую цель как общую. Такой агент всегда участвует в обмене ресурсами, даже если обмен будет неравнозначным и он от него проиграет.

Ниже вводится вариант модификации формализма ресурсных сетей и определяются ресурсно-целевые сети, где вершины задаются двумя параметрами (типом агента и объемом ресурса), а дуги – двумя видами проводимости (по целям и по ресурсам). Тип агента полностью характеризует его цели, относящиеся к ресурсам, а входные проводимости могут отличаться от выходных.

Определение 2 [Дюндюков, 2010, Дюндюков и др.,2011]. Ресурсно-целевой сетью называется взвешенный ориентированный мультиграф (гиперграф)

$$G_{RO} = \langle A, C, K, RES, W, t \rangle, \qquad (4)$$

где множество вершин есть множество агентов A, а множество дуг C разбито на два непересекающихся подмножества: множество целевых связей C_G и множество ресурсных связей C_{RES}: $C = C_O \cup C_{RES}$, $C_O \cap C_{RES} = \varnothing$, t – множество дискретных моментов времени, t = 0, 1, 2,…, n. Будем обозначать ресурсные связи сплошными стрелками, а целевые связи – пунктирными.

Каждая вершина ресурсно-целевой сети (РЦС) $a_i \in A$ определяется следующими параметрами – тип агента $k_i \in K$ и объем ресурса $res(a_i) \in RES$, а каждая дуга $c_{ij} \in C$ взвешивается с помощью значения проводимости или пропускной способности $w_{ij} \in W$. У любых двух агентов a_i, a_j выделяются проводимости по целям $w_O(a_i, a_j)$ и проводимости по ресурсам $w_{RES}(a_i, a_j)$. В общем случае обмену целями и ресурсами соответствуют направленные навстречу друг другу стрелки орграфа, причем весовые коэффициенты дуг орграфа (значения входных и выходных проводимостей) могут быть различными.

В каждый дискретный момент времени t состояние сети будет определяться вектором состояния $RES(t) = (res(a_1), ..., res(a_m))$, где m – число агентов в РЦС. Если вектор состояния ресурсно-целевой сети не изменяется со временем, то такое состояние называется устойчивым. Состояние РЦС является асимптотически достижимым, если для заранее заданного малого ξ, $\xi > 0$, $\forall i = 1, ..., m$, выполняется неравенство:

$$| res(a_1(t + 1)) - res(a_1(t)) | < \xi. \qquad (5)$$

При обмене ограниченными материальными ресурсами РЦС полагается замкнутой системой, для которой справедливо равенство:

$$\sum_{i=1}^{m} res\ (a_i) = RES_{SUM},$$
$$RES_{SUM} = const. \tag{6}$$

В общем случае тип агента может описываться тройкой параметров, характеризующих степени благонамеренности, эгоизма и альтруизма, т.е. в ресурсно-целевом графе $K=\{a_b, a_e, a_a\}$. Общая схема возможных взаимодействий агентов дана на рисунке 3.

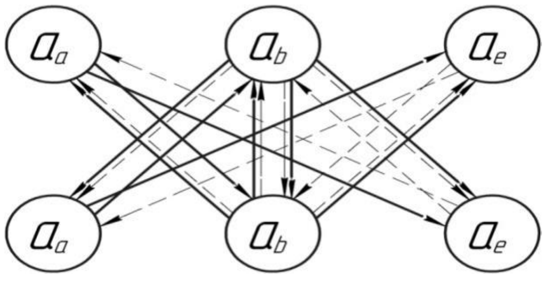

Рисунок 3 – Общая схема взаимодействий между агентами

Отсюда видно, что запрещенными являются взаимодействия между двумя эгоистичными и двумя альтруистичными агентами, поскольку при таких взаимодействиях не может быть образована многоагентная система. Поскольку эгоистичные агенты неспособны к образованию коллективных целей и равноправному обмену ресурсами, они не смогут эффективно взаимодействовать. Создание МАС только из альтруистичных агентов также невозможно из-за того, что они не имеют собственных целей и, как следствие, не смогут построить коллективную цель.

При взаимодействии агентов в МАС возможны четыре варианта взаимодействия, которые приведены на рисунке 4. Для двух агентов различных типов справедливо выражение: $w_{RES}(a_{ej}, a_{ai}) = w_{RES}(a_{ej}, a_{bi}) = \varnothing$, $w_O(a_{aj}, a_{bi}) = w_O(a_{ai}, a_{ej}) = \varnothing$.

Кратко опишем теперь возможные варианты взаимодействия агентов. В случае взаимодействия двух благонамеренных агентов происходит равноправный обмен информацией целевого характера, в результате которого формируется общая цель, а также осуществляется обмен ресурсами. Многоагентная система, состоящая из n подобных агентов, представляется наиболее эффективной для реализации стратегий децентрализованного искусственного интеллекта, когда формируется структура типа «полный граф».

При взаимодействии эгоистичного и альтруистичного агентов первый навязывает второму свою цель и использует для ее достижения чужие ресурсы. Фактически происходит перекачка ресурсов от a_a к a_e , которая может завершиться гибелью a_a , если объем ресурса $res(a_a(t)) < res_{min}$.

В случае взаимодействия благонамеренного и эгоистичного агентов возникает иллюзия обмена ресурсами между агентами. Эгоистичному агенту нужны ресурсы, но в ответ он старается ничего не отдавать. Благонамеренный агент будет избегать такого взаимодействия и участвовать в нем только в критических для себя случаях. При этом взаимодействие прекращается, если $res(a_b(t))$ близок к res_{min} (наличие «инстинкта самосохранения» у a_b).

При взаимодействии благонамеренного и альтруистичного агентов происходит эффективный обмен ресурсами, причем a_a разделяет цели a_b. В силу своей благонамеренности a_b не допускает ситуации истощения ресурсов у a_a.

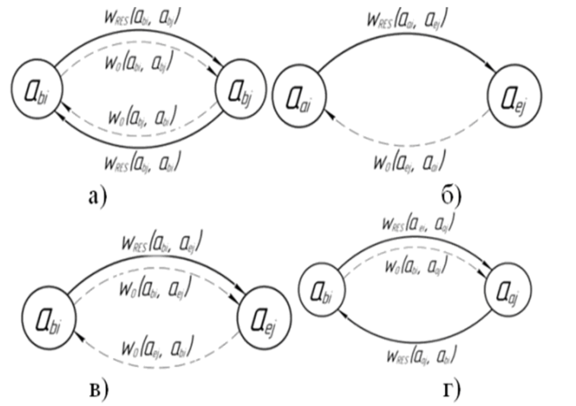

Рисунок 4 – Примеры ресурсно-целевых сетей
а) обмен между благонамеренными агентами;
б) обмен между эгоистичным и альтруистичным агентом; в) обмен между эгоистичным и благонамеренным агентами; г) обмен между благонамеренным и альтруистичным агентами.
Здесь сплошными линиями изображены ресурсные связи, а пунктирными – целевые связи между агентами

Как известно, степенью вершины неориентированного графа называется число ребер, инцидентных данной вершине. Для ресурсно-целевого орграфа следует учитывать как число выходящих из вершины дуг, так и их суммарную пропускную способность. Таким образом, влияние агента a в МАС определяется собственным ресурсом, числом связей с другими агентами (т.е. числом выходящих из вершины a дуг), а также суммарными значениями выходных проводимостей по целям w_O и ресурсам w_{RES}. Формально влияние агента a в момент времени t определяется имеющимся у него объемом ресурса $res(a(t))$, мощностью множества выходных целевых связей $|C_{Oout}(t)|$ и/или выходных ресурсных связей $|C_{RESout}(t)|$, а также соответствующими величинами суммарной проводимости $W_{Oout}(t)$ и $W_{RESout}(t)$.

Определяющим критерием влияния агента в МАС является его отношение к ресурсу. Чем большим относительным ресурсом обладает агент, тем большее влияние он оказывает на других агентов. Влияние агента в МАС заключается в способности предоставлять необходимые ресурсы, а также находить ресурсы, требуемые для достижения общих целей.

В процессе обмена объем ресурса агента изменяется. Так при уменьшении ресурса агента степень его влияния на МАС уменьшается.

В предельном случае агент может поменять свой тип, например, превратиться из благонамеренного в альтруистичного. Напротив, при значительном увеличении своего влияния благонамеренный агент может стать эгоистичным.

Можно выделить необходимые условия существования агентов в МАС: 1) $res(a_i(t)) \geq res_{min}$ – условие индивидуального выживания агента; 2) $res(a_i(t)) \leq res_{max}$ – условие социального поведения агента.

Если объем ресурса агента $res(a_i(t)) \geq res_{max}$, то возникает ситуация бесконтрольного возрастания его влияния, что может привести к асоциальному поведению в МАС. Здесь предельным состоянием МАС будет являться ее распад, так как эгоистичный агент не сможет участвовать в обмене ресурсов из-за отсутствия участников обмена.

При обмене ресурсами благонамеренный агент отдает для обмена весь ресурс, который превышает прожиточный минимум, $res(a_i(t)) - res_{min}$. Вершины ресурсно-целевой сети, которым соответствуют благонамеренные агенты, могут рассматриваться как вершины с петлями. Для упрощения дальнейшего рассмотрения взаимодействия агентов примем:

$$res^*(a_i(t)) = res(a_i(t)) - Res_{min},\ RES^*_{SUM} = RES_{SUM} - \sum_{i=1}^{m} RES_{\min i} \quad (7)$$

Теорема 1. Если ресурсно-целевая сеть состоит из благонамеренных агентов и для каждой из дуг w_O и w_{RES} равны между собой и $RES_{SUM} \leq W_{RES}$, где W_{RES} – максимально отдаваемый агентами сети ресурс за одну-единственную итерацию, $W_{RES} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{m} w_{RES}(a_i, a_i) = w_{RES}m(m-1)$, то с течением времени ресурс системы распределится между агентами равномерно и $RES(t) = \left(\frac{RES_{SUM}}{m}, \ldots, \frac{RES_{SUM}}{m}\right)$.

В противном случае, если хотя бы у двух агентов ресурсы не будут равны в начальный момент времени, то выравнивание ресурса в сети не произойдет.

Доказательство. 1) Если $RES_{SUM} > w_{RES}m(m-1)$, то выравнивания не произойдет, так как агенты будут получать и передавать одинаковое количество ресурса.

2) Упорядочим агентов сети таким образом, чтобы $res(a_k(0)) > w_{RES}(m-1)$ и $res(a_{k+1}(0)) \leq w_{RES}(m-1)$, тогда в результате получим:

$$\begin{gathered} res(a_1(0)) \geq \cdots \geq res(a_k(0)) \geq \\ \geq res(a_{k+1}(0)) \geq \cdots \geq res(a_m(0)), \\ res(a_1(0)) = w_{RES}(m-1) + car(a_1(0)), \ldots \\ \ldots, res(a_k(0)) = w_{RES}(m-1) + car(a_k(0)), \\ res(a_{k+1}(0)) = w_{RES}(m-1) - sel(a_{k+1}(0), \ldots \\ \ldots, res(a_m(0)) = w_{RES}(m-1) - sel(a_m(0)), \end{gathered} \quad (8)$$

где $car(a_1(0)), \ldots, car(a_k(0)) > 0$ – излишки ресурса, которые остаются у i-го агента после обмена ресурсами, а $sel(a_{k+1}(0)), \ldots, sel(a_m(0)) > 0$ – ресурс, которого не хватает i-му агенту для удовлетворения потребности в обмене в полной мере.

Назовем множество агентов, которые имеют определенный ресурс и могут удовлетворить потребность в обмене, множеством носителей CAR. Данное множество определяется набором первых k агентов упорядоченного множества, для которых $res(a_i(0)) > w_{RES}(m-1)$. Тогда множество искателей SEL есть множество таких агентов, испытывающих потребность в ресурсе, которые в данный момент времени не могут удовлетворить потребности других агентов в обмене ресурсами, $res(a_i(0)) \leq w_{RES}(m-1)$.

Если сложить суммарный излишек у агентов из множества носителей, то получим суммарный профицит носителей $CAR(t)$.

$$CAR(t) = \sum car(a_i(t)).$$

Величину общего ресурса агентов сети в момент времени t, которого не хватает для удовлетворения потребности в обмене, назовем дефицитом искателей $SEL(t)$.

Пример 1. $m = 5$, $w_{RES} = 2$, $w_{RES}(m-1) = 8$, $w_{RES}m(m-1) = 40$, $RES(0) = (17, 14, 7, 5, 2)$,

$RES_{SUM} = 45$. Так как $RES_{SUM} > w_{RES}m(m-1)$, то суммарный ресурс сети не распределится равномерно среди агентов. k=2, $car(a_1(0)) = 9$, $car(a_2(0)) = 6$, $sel(a_3(0)) = 1$, $sel(a_4(0)) = 3$,

$$sel(a_5(0)) = 6.$$

Просуммировав выражения ресурсов агентов, определенные через величины излишка и необходимого ресурса, получим:

$$\begin{gathered} \sum_{i=1}^{k} res(a_i(0)) = k\,w_{RES}(m-1) + \sum_{i=1}^{k} car(a_i(t)) = \\ = kw_{RES}(m-1) + CAR(0) \\ \sum_{i=k+1}^{m} res(a_i(0)) = (m-k)\,w_{RES}(m-1) - \\ - \sum_{i=k+1}^{k} sel(a_i(t)) = (m-k)w_{RES}(m-1) \\ -SEL(0) \end{gathered} \quad (9)$$

Таблица 2 – Изменение ресурсов у агентов

Номер итерации	Номер агента				
	1	2	3	4	5
1	17	14	7	5	2
2	14,5	11,5	5,75	6,25	7
3	13,25	10,25	7,31	7,19	7
4	12,63	9,62	7,55	7,58	7,62
5	12,3	9,3	7,8	7,8	7,8
6	12,16	9,16	7,89	7,89	7,9
7	12,08	9,07	7,95	7,95	7,95
8	12,04	9,05	7,97	7,97	7,97
9	12,015	9,015	7,99	7,99	7,99
10	12	9	8	8	8

Просуммировав эти выражения, получим:

$$\begin{gathered} \sum res(a_i(0)) + \sum res(a_i(0)) = \sum res(a_i(0)) = \\ = RES_{SUM} = mw_{RES}(m-1) + CAR(0) - SEL(0). \end{gathered} \quad (10)$$

Если k не изменяется с течением времени t, то

$SEL(t) - CAR(t) = const = \Delta$. Причем $\Delta = 0$, если $w_{RES}m(m-1) = RES_{SUM}$.

Рассмотрим обмен ресурсами между множеством носителей и множеством искателей. В момент времени t=1 *CAR* отдает *SEL* величину ресурса $w_{RES}k(m-k)$, а получает от *SEL* $\frac{w_{RES}k(m-k)(m-1)-kSEL(0)}{(m-1)} = w_{RES}k(m-k) - k\frac{SEL(0)}{(m-1)}$. Найдем зависимости профицита носителей и дефицита искателей в произвольный момент времени *t* от их начального значения.

$$CAR(1) = CAR(0) - w_{RES}k(m-k) + w_{RES}k(m-k) - k\frac{SEL(0)}{(m-1)} = CAR(0) - k\frac{SEL(0)}{(m-1)} = CAR(0) - k\frac{\Delta - CAR(0)}{(m-1)} = CAR(0)\frac{m-k-1}{m-1} - \frac{k\Delta}{m-1} \quad (11)$$

$$CAR(t) = CAR(0)\left(\frac{m-k-1}{m-1}\right)^t - \frac{k\Delta}{m-1}\sum_{i=1}^{t-1}\left(\frac{m-k-1}{m-1}\right)^i, \quad (12)$$

$$SEL(1) = SEL(0) - k\frac{SEL(0)}{(m-1)} = SEL(0)\frac{m-k-1}{(m-1)}, \quad (13)$$

$$SEL(2) = SEL(1)\frac{m-k-1}{(m-1)} = SEL(0)\left(\frac{m-k-1}{(m-1)}\right)^2, \quad (14)$$

$$SEL(t) = SEL(0)\left(\frac{m-k-1}{(m-1)}\right)^t. \quad (15)$$

Рассмотрим 3 возможных случая: *k*=0, *k*=1, *k* >1.

Случай 1. Пусть $k = 0$. В данном случае множество носителей пусто и ∀i = 1, ..., *m*, $res(a_i(0)) \le w_{RES}(m-1)$. Все агенты сети отдают свой ресурс для обмена. Поэтому в каждый последующий момент времени ресурс агента будет состоять из того, что он получит от других агентов:

$$res(a_1(1)) = \frac{RES_{SUM} - res(a_1(0))}{(m-1)}, \ \ldots, res(a_m(1)) = \frac{RES_{SUM} - res(a_m(0))}{(m-1)} \quad (16)$$

Так как $res(a_1(0)) \ge \cdots \ge res(a_m(0))$, то $res(a_m(1)) \ge \cdots res(a_1(1))$. Максимальная разность между ресурсами РЦС в момент времени *t*=1 будет равна:

$$res(a_m(1)) - res(a_1(1)) = \frac{res(a_1(0)) - res(a_m(0))}{(m-1)}. \quad (17)$$

$$\lim res(a_m(1)) - res(a_1(1)) = = \lim \frac{res(a_1(0)) - res(a_m(0))}{(m-1)^t} = 0. \quad (18)$$

Пример 2. $m = 5$, $w_{RES} = 2$, $w_{RES}(m-1) = 8$, $w_{RES}m(m-1) = 40$, $RES(0) = (7, 5, 4, 3, 2)$,

RES_{SUM} = 21.

Таблица 3 – Изменение ресурсов у агентов

Номер итерации	Номер агента				
	1	2	3	4	5
1	7	5	4	3	2
2	3,5	4	4,25	4,5	4,75
3	4,38	4,25	4,19	4,12	4,06
4	4,16	4,19	4,2	4,22	4,23
5	4,21	4,2	4,2	4,195	4,195
6	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2

Случай 2. $k = 1$. В этом случае $res(a_1(0)) = w_{RES}(m-1) + car(a_1(0))$, а для всех остальных агентов сети справедливо условие $res(a_i(0)) \le w_{RES}(m-1)$. Причем $car(a_1(t)) = CAR(t)$.

В данном случае необходимо рассмотреть два возможных варианта: $RES_{SUM} = w_{RES}m(m-1)$ и $RES_{SUM} > w_{RES}m(m-1)$.

Случай 2.1. $RES_{SUM} = w_{RES}m(m-1)$, ∆= 0.

Профицит носителей и дефицит искателей равен:

$$CAR(t) = CAR(0)\left(\frac{\cdots}{\cdots}\right), \quad (19)$$

$$SEL(t) = SEL(0)\left(\frac{\cdots}{\cdots}\right). \quad (20)$$

$$res(a_1(0)) = w_{RES}(m-1) + car(a_1(0)) \quad (21)$$

$$res(a_i(0)) = w_{RES}(m-1) - sel(a_i(0)), \quad (22)$$

,∀i=2, ..., *m*. $\lim_{t\to\infty} CAR(t) = \lim SEL(t) = 0$, $\lim RES(t) = (w_{RES}(m-1), \ldots, w_{RES}(m-1))$.

Причем $res(a_1(0))$ стремится к 0 сверху, а $res(a_i(0))$ – снизу.

Пример 3. $m = 5$, $w_{RES} = 2$, $w_{RES}(m-1) = 8$, $w_{RES}m(m-1) = 40$, $RES(0) = (15, 8, 7, 6, 5)$,

RES_{SUM} = 41.

Таблица 4 – Изменение ресурсов у агентов

Номер итерации	Номер агента				
	1	2	3	4	5
1	15	8	7	9	5
2	13,5	6,5	6,75	7	7,25
3	12,38	7,25	7,19	7,12	7,06
4	11,53	7,34	7,36	7,38	7,39
5	10,9	7,53	7,53	7,52	7,52
6	10,42	7,64	7,64	7,65	7,65
...	...	...	...	...	...
22	9,012	7,997	7,997	7,997	7,997
23	9	8	8	8	8

Случай 2.2. $RES_{SUM} > w_{RES}m(m-1)$. Число носителей *k* не меняется, если $CAR(t) = SEL(t) - \Delta$. В выражении $CAR(t) = CAR(0)\left(\frac{m-k-1}{m-1}\right)^t - \frac{k\Delta}{m-1}\sum_{i=1}^{t-1}\left(\frac{m-k-1}{m-1}\right)^i$ первый член с течением времени стремится к 0, а второй возрастает. Наступит такой момент времени *t*, для которого $CAR(t) \le 0$ и число агентов в множестве носителей будет равно 0. Следовательно, будет выполнено условие случая 1.

Пример 4. $m = 5$, $w_{RES} = 2$,

$w_{RES}(m-1)=8, w_{RES}m(m-1)=40,\ RES(0)=(12, 5, 4, 3, 2)$,

$RES_{SUM}=26$.

Таблица 5 – Изменение ресурсов у агентов

Номер итерации	Номер агента				
	1	2	3	4	5
1	12	5	4	3	2
2	7,5	4,25	4,5	4,75	5
3	4,62	5,38	5,38	5,31	5,31
4	5,34	5,14	5,16	5,17	5,19
5	5,16	5,21	5,21	5,21	5,21
6	5,208	5,198	5,198	5,198	5,198
7	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2

Случай 3. $k>1$. Возможны два варианта: $car(a_1(0))=car(a_2(0))=\dots=car(a_k(0))$ и $car(a_1(0))\geq car(a_2(0))\geq\dots\geq car(a_k(0))$.

Случай 3.1. $k>1$.

$car(a_1(0))=car(a_2(0))=\dots=car(a_k(0))$.

Обмен между агентами из множества носителей будет равновесным, агенты отдают друг другу и получают ресурс $w_{RES}(m-1)$. Обмен между множествами искателей и носителей описывается формулами:

$$CAR(t)=CAR(0)\left(\frac{m-k-1}{\ldots}\right)^t-\frac{k\ldots}{\ldots}\sum_{i=1}^{t-1}\left(\frac{m-k-1}{\ldots}\right)^i, \quad (23)$$

$$SEL(t)=SEL(0)\left(\frac{m-k-1}{\ldots}\right)^t. \quad (24)$$

Если $RES_{SUM}=w_{RES}m(m-1)$, $\Delta=0$. Тогда:

$$CAR(t)=CAR(0)\left(\frac{m-k-1}{\ldots}\right), \quad (25)$$

$$SEL(t)=SEL(0)\left(\frac{m-k-1}{\ldots}\right)^t. \quad (26)$$

$$\lim CAR(t)=\lim SEL(t)=0, \quad (27)$$

$$\lim RES(t)=(w_{RES}(m-1),\dots,w_{RES}(m-1)). \quad (28)$$

Если $RES_{SUM}>w_{RES}m(m-1)$, то в выражении $CAR(t)=CAR(0)\left(\frac{m-k-1}{\ldots}\right)^t-\frac{k\ldots}{\ldots}\sum_{i=1}^{t-1}\left(\frac{m-k-1}{\ldots}\right)$ наступит такой момент времени t, для которого $CAR(t)\leq 0$. Число агентов в множестве носителей будет равно 0. Следовательно, будет выполнено условие случая 1.

Случай 3.2. $k>1$, $car(a_1(0))\geq car(a_2(0))\geq\dots\geq car(a_k(0))$. Так как в процессе обмена ресурсами между агентами разность $car(a_i(0))-car(a_j(0))$ не изменяется, а $\lim CAR(t)=0$, то это приведет к тому, что число носителей k уменьшится и случай 3.2 сведется к случаю 3.1.

Теорема 2. Если $RES_{SUM}>w_{RES}m(m-1)$, то предельному состоянию ресурсно-целевой сети будет соответствовать вектор состояния

$$RES(t)=\left(res(a_1(0))-p,\dots,res(a_l(0))-p,\dots,w_{RES}(m-1),\dots,w_{RES}(m-1)\right), \quad (29)$$

где $p=\frac{SEL(0)}{\ldots}$, $l=k$, если $car(a_k(0))\geq\frac{SEL(0)}{\ldots}$, иначе $p=\frac{\sum_{i=1}^{\ldots} car(a_i(0))+SEL(0)}{\ldots}$, $l\leq k$ и $car(a_l(0))\geq\frac{SEL(0)}{\ldots}$.

Доказательство. Множество носителей CAR не может увеличиваться со временем, но может уменьшаться, если часть агентов перейдет из множества CAR в SEL. В каждый момент времени агенты из множества носителей передают агентам множества искателей одинаковый ресурс $w_{RES}(m-1)$ и получают одинаковый ресурс. Поэтому из ресурсов агентов множества носителей в каждый момент времени вычитается одинаковый ресурс. Для доказательства теоремы необходимо доказать, что предельному состоянию РЦС будет соответствовать вектор состояния $RES(t)$, вид которого определен выше. Рассмотрим 2 случая.

Случай 1. Число агентов в множестве носителей не меняется со временем, $l=k$. Рассмотрим выражение для дефицита искателей, выраженного для произвольного момента времени t. $SEL(t)=SEL(0)\left(\frac{m-k-1}{\ldots}\right)^t$. Так как k не изменяется, то $\lim_{t\to\infty}SEL(t)=0$.

Пример 5. $m=5$, $w_{RES}=2$, $w_{RES}(m-1)=8, w_{RES}m(m-1)=40, RES(0)=(20, 15, 7, 5, 4)$,

$RES_{SUM}=51$, $SEL(0)=8$.

Множество искателей стремится к выравниванию ресурса и предельное состояние существует. В предельном состоянии дефицит искателей увеличится на величину $SEL(0)$, а профицит носителей уменьшится на величину $SEL(0)$. Поскольку носители в процессе обмена отдают одинаковый ресурс, то из ресурса каждого агента будет вычтена величина $p=\frac{SEL(0)}{k}$. Первая часть теоремы доказана.

Таблица 6 – Изменение ресурсов у агентов

Номер итерации	Номер агента				
	1	2	3	4	5
1	20	15	7	5	4
2	18	13	6,25	6,75	7
3	17	12	7,44	7,31	7,25
4	16,5	11,5	7,64	7,67	7,69
5	16,25	11,25	7,84	7,83	7,83
6	16,13	11,13	7,91	7,91	7,92
…	…	…	…	…	…
22	16	11	8	8	8

Случай 2. Если $car(a_k(0))<\frac{SEL(0)}{k}$, то в некоторый момент времени агент a_k перейдет из множества носителей в множество искателей. Множество носителей уменьшится на одного агента, данный процесс будет продолжаться до тех пор, пока число агентов из множества носителей не станет равным l. Новое состояние РЦС можно рассматривать как сеть с множеством искателей, состоящим из l агента. Для данной сети будут выполнены условия случая 1.

Пример 6. $m=5$, $w_{RES}=2$, $w_{RES}(m-1)=8, w_{RES}m(m-1)=40, RES(0)=(20,10,7,5,4)$,

$RES_{\mathrm{SUM}} = 46$, $SEL(0) = 8$.

Таблица 7 – Изменение ресурсов у агентов

Номер итерации	Номер агента				
	1	2	3	4	5
1	20	10	7	5	4
2	18	8	6,25	6,75	7
3	17	7	7,44	7,31	7,25
4	16,25	7,5	7,39	7,42	7,44
5	15,69	7,56	7,59	7,58	7,58
6	15,27	7,69	7,68	7,68	7,68
...	...	...	...	...	...
22	14,012	7,997	7,997	7,997	7,997
23	14	8	8	8	8

3. Программная реализация.

Программа поддержки построения ресурсно-целевых сетей была реализована на языке Python. Ее интерфейс представлен на рисунке 5. В качестве вводимых параметров берутся количество агентов, участвующих в процессе обмена, величины минимального и максимального ресурса у агентов, что соответствует условиям индивидуального выживания и асоциального поведения. Также пользователю предлагается ввести типы агентов, начальное распределение ресурсов у них и величины проводимостей по ресурсам и целям.

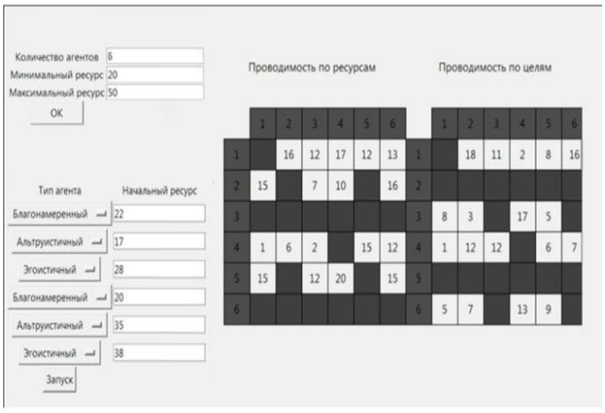

Рисунок 5 – Интерфейс программы поддержки построения ресурсно-целевых сетей на языке Python

На рисунке 6 приведен алгоритм реализованной программы. Процесс обмена ресурсами в данной программе зависит от типа агента, имеющегося у него ресурса и значений ресурсной и целевой проводимостей. Благонамеренный агент отдает для обмена ресурс $Res(a_i(t)) - Res_{\min}$. Альтруистичный агент для обмена жертвует весь имеющийся ресурс, даже если на следующей итерации его ресурс окажется меньше прожиточного минимума, что приведет к его гибели. Эгоистичный агент не отдает ресурс для обмена. Величина отдаваемого агентом a_i агенту a_j ресурса $Res(a_i,a_j)$ распределяется пропорционально проводимостям по целям:

$$Res\,(a_i,a_j) = \frac{w_O\ \ a_i,a_j}{\sum_{j=1}^{n}(w_O\ \ a_i,a_j\ )} Res\,(a_i(t))$$

В случае равенства проводимостей по целям между агентами, ресурс распределяется пропорционально проводимости по ресурсам.

Данная программа позволяет рассматривать различные типовые структуры ресурсно-целевых графов (рисунок 7), такие как «кольцо», «центр», «колесо», «полный граф», а также произвольные структуры. При структуре типа «кольцо» обмен ресурсами между агентами происходит по цепочке. Каждый агент имеет возможность обмениваться только с двумя соединенными с ним агентами. Перераспределение ресурсов при данной организационной структуре замедляется. Система распадается на отдельные составляющие, если в ней появляются эгоистичные агенты.

При организационной структуре типа «центр» головным агентом для благоприятного развития сети должен стать благонамеренный агент, рационально перераспределяющий ресурсы.

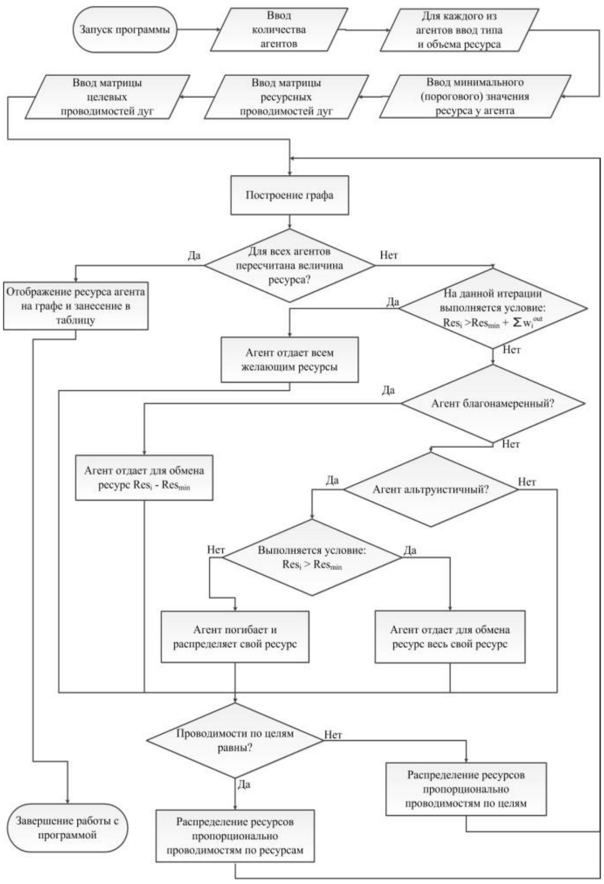

Рисунок 6 – Алгоритм программы поддержки построения ресурсно-целевых сетей

В случае организационной структуры типа «колесо» выбор в качестве центра эгоистичного агента приведет к ее быстрому превращению в структуру «звезда» и захвату ресурсов всех узлов центральным узлом.

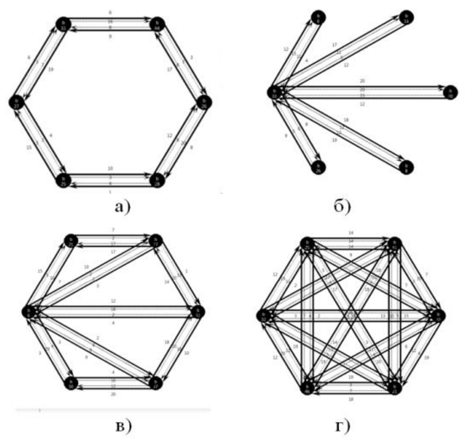

Рисунок 7 – Примеры структур ресурсно-целевых сетей: а) «кольцо»; б) «центр»; в) «колесо»; г) «полная сеть»

Наиболее благоприятными организационными структурами являются структура «полная сеть» и близкие к ней структуры, когда агент, стремясь максимизировать свои связи, имеет право выбора того, с кем обмениваться ресурсами в зависимости от своих целей. Данная структура «горизонтальной организации» лучше всего работает при комбинации благонамеренных и альтруистичных агентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложены варианты наглядного представления процессов взаимодействия агентов, формирования и развития многоагентных систем с помощью аппарата ресурсно-целевых сетей. Показано, что этот аппарат может стать удобным средством семантико-прагматического анализа и онтологического моделирования различных систем группового (коллективного, децентрализованного, централизованного) искусственного интеллекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №10-01-00844 и №11-07-13165-офи-м-2011-РЖД

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[Берж, 1962] Берж, К. Теория графов и ее применения: Перевод с франц. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1962.

[Волков, 1986] Волков, А.М. Основы структурно-функционального анализа операторской деятельности. – М.: Изд-во МАИ, 1986.

[Дюндюков, 2010] Дюндюков, В.С. Моделирование взаимодействия интеллектуальных агентов: применение ресурсных графов/ В.С.Дюндюков// Труды международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям (AIS-IT'2010, Дивноморское, 2-9 сентября 2010 г.). – М.: Физматлит, 2010. – Т.1. – С.204-210.

[Дюндюков и др., 2011] Дюндюков, В.С. Ресурсно-целевые сети: использование в многоагентных системах/ В.С.Дюндюков, В.Б. Тарасов// Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник трудов VI-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 16-19 мая 2011 г.). – М.: Физматлит, 2011. – Т.1. – С.483-495.

[Кузнецов, 2009] Кузнецов, О.П. Однородные ресурсные сети. I. Полные графы/ О.П.Кузнецов// Автоматика и телемеханика. – 2009. – № 11. – С.136-147.

[Кузнецов и др., 2010] Кузнецов, О.П. Двусторонние ресурсные сети – новая потоковая модель/ О.П.Кузнецов, Л.Ю.Жилякова// Доклады Академии наук. – 2010. – Т.433, №5. – С.609-612.

[Тарасов, 2002] Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. – М.: Эдиториал УРСС, 2002.

[Тарасов В.Б., 2010] Тарасов, В.Б. Методы и модели алгебраической логики в анализе взаимоотношений и переговоров агентов в многоагентных системах/ В.Б.Тарасов// Сборник трудов X-й международной научной конференции им. Т.А.Таран «Интеллектуальный анализ информации» (ИАИ-2010, Киев, 18-21 мая 2010 г.). – Киев: Просвіта, 2010. – С.304-316.

[Форд и др., 1973] Форд, Л.Р., Фалкерсон, Д.Р. Потоки в сетях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1973.

[Харари Ф., 1973] Харари, Ф. Теория графов: Пер. с англ. –М.: Мир, 1973.

GENERATION OF MULTI-AGENT SYSTEMS BY USING RESOURCE-GOAL NETWORKS

Dyundyukov V.S. , Tarassov V.B.

Moscow Bauman State Technical University

Vsd89@yandex.ru
Tarasov@rk9.bmstu.ru

The concept of resource-goal network is introduced for taking into account various agents types and theirs goals while exchanging resources. Primarily main reasons and characteristics of agents interaction together with some conditions for generating multi-agent systems are stated. Basic cases of interactions between agents are analyzed by using bilateral signed graphs. Some resource definitions, classifications and properties are discussed. The definition of resource-goal network (RGN) is introduced on the basis of earlier specified agent classes; some key situations of exchanging resource by agents of various classes are considered. Two theorems concerning RGN boundary states are formulated and proved. Some appropriate illustrative examples are constructed. Finally the software tools to support the development of RGN with using Python language are presented.

Keywords: Artificial Intelligence, Agent, Multi-Agent System, Agents Interaction, Resource, Resource Exchange, Agent Influence, Bilateral Weighted Graph, Resource-Goal Network

INTRODUCTION

This paper faces the problems of building resource-goal networks and their using in Artificial Intelligence to construct multi-agent systems. Usually in graph theory network is defined as a weighted graph (multigraph, hypergraph) $G = \langle X, C, W\rangle$, where X is a vertex set, C is an arc set, and $W{:}C\to\mathbf{R}^+$, $\mathbf{R}^+$ is the set of all non-negative real numbers. For instance, transportation set is given as a finite graph without loops, where each arc is equipped with a non-negative integer w, called arc conductivity. A classical algorithm to solve the problems of calculating flows in the networks is Ford-Fulkerson's algorithm.

Recently O.P.Kuznetsov has suggested the formalism of resource networks defined as bilateral oriented graphs, in which vertices are equipped with non-negative numbers $q_i(t)$ called resources (t is discrete time) and arcs are characterized by non-negative numbers seen as conductivities. To differ from transportation networks and classical Ford-Fulkerson's flow model, where the flows are located in the arcs, the resources are placed in the vertices, and the resource exchange depends on arc conductivity.

The development of multi-agent systems (MAS) supposes organizing the interactions between agents. Here agent is viewed as an open active goal-directed object possessing its own behavior. The kernel of any agent is given by a quadruple «goal-resource-perception-action». The interaction between agents to create multi-agent system depends on the following basic parameters: 1) agent type; 2) compatibility of agent goals or intentions; 3) statute of agents and amount of available resources; 4) agents experience related to some problem area; 5) agents commitments.

Thus, the development of MAS requires distributed perception of external environment, joint goals generation, resource exchange and concerted actions. So the introduction of resource-goal networks with various types of vertices and two types of arcs denoted by continuous lines and dotted lines respectively allows us to take into account agents' goals while exchanging resources and reflect asymmetries in these exchanges.

MAIN PART

The paper considers interactions between agents from the viewpoint of purposeful resource sharing and exchanging. First of all agents interaction area is represented by a simple bi-polar scale $L_3 = \{-, 0, +\}$. Generally, three classes of relations between agents are revealed: a) mutual (symmetrical) relations; b) weakly contrasting (anti-symmetrical) relations; c) contrasting (oblique symmetrical) relations.

A crucial idea of RGN is based on the agents classification by two criteria: agent relation to himself and agent relation to other agents. Here these criteria are re-interpreted: first one is seen as agent's possibility (+) or impossibility (–) of generating his individual goal and second one as agent's will to exchanging resources or agent's possibility (+) – impossibility (–) to form collective goal. So four types of agents appear: 1) benevolent agent given by (+,+); 2) self-interested (egoist) agent denoted by (+, –); 3) altruistic agent (–, +); 4) destroyer (kamikaze) agent (–, –). In other words, benevolent agent has his own goal and is capable to participate in forming collective goal and mutual resource exchanges necessary for multi-agent system effective work. Self-interested agent is focused in his proper goal and neglects goals and interests of other agents; hence, in interaction processes he tends to impose his goal and appropriate all resources. It is obvious that multi-agent system cannot exist in case of many self-interested agents. Altruistic agent is ready to give his resources even in dangerous situations; on the contrary, he is not able to generate his own goal and easily accepts the goal of other agent. Like the selfish team including only self-interested agents, the society of altruistic agents cannot develop any collective goal. The properties of kamikaze agent are omitted in this paper.

This classification of agents underlies the definition of RGN below. By resource-goal network we mean a weighted directed multigraph (hypergraph)

$$G_{RO} = \langle A, C, K, RES, W, t\rangle,$$

where the set of vertices A is interpreted as the set of agents, the set of arcs C consists of goal connections C_O and resource connections C_{RES}, i.e. it is a partition $C = C_O \cup C_{RES}$, $C_O \cap C_{RES} = \varnothing$, t is the discrete time, t = 0, 1, 2,…, n. Each agent $a_i \in A$ being RGN-vertex is given by the following parameters – agent type $k_i \in K$ and the amount of available resources $res(a_i) \in RES$, whereas each arc $c_{ij} \in C$ is weighted by the value of conductivity $w_{ij} \in W$. Here two types of conductivity are specified: conductivity by goal $w_O(a_i, a_j)$ and conductivity by resources $w_{RES}(a_i, a_j)$. The resource exchange and goal exchange are modeled by directed graph arrows, where arc weights (input or output conductivity values) may be different.

The state of the resource-goal network for each discrete time t is given by a state vector $RES(t) = (res(a_1), ..., res(a_m))$, where m is the number of agents in RGN. If this state vector does not change, then the network state is called stable.

In course of resource exchange process RGN is supposed to be a closed system, where the conservation law for material resources holds. Contrarily, in case of information resources synergetic (superadditivity) phenomena arise.

Generally agent type may be viewed as a triple $K=\{a_b, a_e, a_a\}$, where a_b, a_e, a_a stand for degrees of benevolence, self-interest and altruism respectively.

Let us present basic cases of interactions between agents. The interaction between benevolent agents supposes individual goal information exchange to generate collective goal. Here mutually profitable resource exchange is performed. Multi-agent system constructed on the basis of such interacting agents seems to be very effective from the viewpoint of decentralized artificial intelligence strategies; the corresponding structure is a complete network.

In course of interaction between self-interested and altruistic agents the first one imposes his goal and tends to capture all resources. In fact, we observe resource transfer from a_a to a_e; it can bring about the death of a_a, if $res(a_a(t)) < res_{min}$.

The interaction scenario for benevolent and self-interested agents is similar. Self-interested agent tends to appropriate all resources, but in response he mainly disseminates his beliefs and goal. So benevolent agent is not interested in such interactions and accepts them only in critical situation. In any case, he is provided with the mechanism of self-preservation: the interaction is interrupted is case of $res(a_b(t)) \rightarrow res_{min}$

Finally, the interaction between benevolent and altruistic agents, when a_a shares the goal of a_b, supposes an efficient resource exchange. Here a_b does not accept the resource extinction for a_a.due to his benevolence.

Another important agent characteristic in RGN is his influence degree. Here we need taking into account both vertex degree and total conductivity. Hence, agent influence in MAS is given by agent's own resource, the number of connections with other agents and sum values of resource conductivities and goal conductivities.

As a result, two theorems about resource distribution in MAS have been proved.

The software program to support the construction of resource-goal network has been developed with using Python language.