

О.В. КАРСАЕВ, И.И. ШУКЛИН, С.П. ЮЩЕНКО  
**САМООРГАНИЗУЮЩЕЕСЯ В2В-ПРЕДПРИЯТИЕ  
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕСТНОСТИ В ЕТРИС**

*Карсаев О.В., Шуклин И.И., Ющенко С.П. Самоорганизующееся В2В-предприятие распределенной фотограмметрической обработки изображений местности в ЕТРИС.*

**Аннотация.** Рассмотрен подход к динамическому формированию (корректировке) расписаний распределенной фотограмметрической обработки изображений местности в сети наземных центров из состава Единой территориально-распределенной информационной системы приема и обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Имея целью наиболее полное удовлетворение требований потребителей к материалам космической съемки необходимых территорий, подход предусматривает формирование самоорганизующегося В2В-предприятия в указанной сети, обеспечивающего привлечение информационных, программных и аппаратных ресурсов наземных центров различной ведомственной и иной принадлежности для фотограмметрической обработки любого из поступивших в Единую территориально-распределенную информационную систему изображений местности. Показано, что поиск в узлах В2В-предприятия и заимствование требуемых ресурсов позволит наземным центрам гибко масштабировать физические и виртуальные средства фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования Земли, оперативно формировать их локальные структурно-функциональные организации в зависимости от текущих свойств потока заявок потребителей на получение данных дистанционного зондирования Земли в Единой территориально-распределенной информационной системе, характеристик потока материалов съемки местности от орбитальных средств мониторинга, а также учесть изобразительные и измерительные свойства изображений местности, подлежащих фотограмметрической обработке. Предложен способ усеечения множества потенциальных исполнителей заявки в соответствии с имеющимися семантическими и другими ограничениями на состав искомого множества исполнителей. Также предложены механизмы стимулирования наземных центров к предоставлению простаивающих ресурсов узлам В2В-предприятия. Их основой является возможность получения денежного или иного вознаграждения того или иного наземного центра за участие в распределенном обслуживании заявки. Развитие известной модели самоорганизующегося В2В-предприятия формирует условия для более эффективной организации обслуживания потока заявок в Единой территориально-распределенной информационной системе за счет привлечения незадействованных программных, информационных и аппаратных ресурсов наземных центров различной ведомственной принадлежности.

**Ключевые слова:** данные дистанционного зондирования Земли из космоса, фотограмметрическая обработка изображений местности, В2В-предприятие.

**1. Введение.** Возрастание числа, видов и сложности прикладных задач, решаемых с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), требует наращивания возможностей Единой территориально-распределенной информационной системы (ЕТРИС) [1]. В этой связи в наземные центры (НЦ) из состава ЕТРИС реализуются

возможности использования материалов съемки местности от российских и зарубежных космических аппаратов в интересах формирования и предоставления потребителям широкой номенклатуры информационных продуктов различных уровней их обработки [2]. Реализуя современные подходы к формированию инфраструктуры приема и обработки данных ДЗЗ, в ЕТРИС в ближайшей перспективе должны быть объединены в сеть стационарные и мобильные НЦ различной ведомственной принадлежности, а их информационные ресурсы интегрированы в единое геоинформационное пространство. С этой же целью в ЕТРИС создаются Центры обработки данных на базе облачных технологий (ЦОД ОТ).

В общем случае обслуживание заявки на предоставление данных ДЗЗ в ЕТРИС предусматривает прием от космических средств мониторинга материалов съемки местности, их фотометрическую, фотограмметрическую и тематическую обработки. Эти процессы реализуются в том ведомственном НЦ, в который поступила заявка. В перспективе, если ресурсов в этом НЦ окажется недостаточно, будет возможно воспользоваться услугами ЦОД ОТ.

Очевидно, что в условиях постоянного роста числа заявок на предоставление данных ДЗЗ и увеличения состава и производительности орбитальной группировки средств мониторинга Земли уже в ближайшей перспективе в ЦОД ОТ появятся очереди на обработку изображений местности. При этом имеющиеся аппаратные, программные и информационные ресурсы многих НЦ будут оставаться невостребованными (простаивать).

Объединение в сеть НЦ различной ведомственной принадлежности и формирование в ЕТРИС облачной среды открывает возможность организации взаимодействия наземных центров различной ведомственной принадлежности для совместного обслуживания любой из поступивших заявок на предоставление данных ДЗЗ. Это требует организации гибкого масштабирования физических и виртуальных средств обработки данных ДЗЗ, оперативного формирования их структурно-функциональной организации в зависимости от загрузки ЕТРИС и отдельных НЦ, требований потребителей и так далее.

В первую очередь это относится к фотограмметрической обработке (ФГО), которой в той или иной степени подвергаются все получаемые из космоса изображения местности. При этом фотометрическая обработка является прерогативой тех НЦ, которые осуществляют прием материалов съемки местности от конкретных космических средств мониторинга. Наконец, тематическая обработка

практически каждого изображения местности в силу своей специфики выполняется экспертами в той или иной предметной области и обычно за пределами ЕТРИС.

Учитывая изложенное в [3], предложена модель системы распределенной ФГО изображений местности в ЕТРИС, которая предусматривает взаимодействие НЦ различной ведомственной принадлежности при совместном обслуживании заявок на предоставление данных ДЗЗ. Показано, что организация такого взаимодействия может быть сведена к задаче динамического формирования (корректировки) расписаний распределенной ФГО с учетом приоритетов поступающих заявок, характеристик потока материалов съемки местности от орбитальных средств мониторинга, а также изобразительных и измерительных свойств изображений местности, подлежащих фотограмметрической обработке и тому подобное. Ниже рассмотрен подход к решению этой задачи.

Анализ существа процессов в предлагаемой системе распределенной ФГО показал, что их реализация возможна при формировании в ЕТРИС самоорганизующейся производственной системы [4, 5]. При этом компоненты самоорганизующейся системы должны соответствовать следующим основным требованиям:

- автономность, то есть быть в состоянии управлять собственными ресурсами для достижения своих целей без вмешательства извне;

- способность воспринимать внешний мир и локально воздействовать на него;

- наличие программных и/или физических элементов для взаимодействия с другими компонентами системы;

- поддерживать организацию системы (устанавливать отношения между различными автономными компонентами) и иметь средства и возможность координации функционирования.

Существующие подсистемы ФГО в НЦ соответствуют первым трем требованиям. Это обусловлено тем, что ЕТРИС является в целом децентрализованной системой, поскольку в каждый НЦПОР поступают заявки на получение данных ДЗЗ, которые он обслуживает. Кроме того, каждый НЦ обычно имеет в своем составе комплекс обмена данными с внешними системами. Одной из основных задач самоорганизующейся системы распределенной ФГО является координация функционирования различных НЦ. Под координацией понимается процесс согласования действий агентов в ходе решения некоторой общей задачи. В рассматриваемом случае – это процесс согласования использования ресурсов различных НЦ в ходе обслуживания потока заявок, поступающего в ЕТРИС.

К основным особенностям организации многоагентного распределенного выполнения ФГО материалов ДЗЗ можно отнести:

– все НЦ участвуют в обслуживании заявок потребителей на получение поступающих в ЕТРИС данных ДЗЗ, составляя локальные расписания использования своих ресурсов;

– ресурсы для выполнения распределенной ФГО может предоставить любой НЦ сети;

– организация взаимодействия агентов (НЦ) должна предусматривать возможность гибкого изменения связей между ними в процессе выполнения распределенной ФГО, а также динамического изменения расписания использования ресурсов;

– каждый НЦ сети обладает определенной «компетенцией» и решает «свой круг» задач при выполнении распределенной ФГО.

Особенностями таких систем являются: наличие средств формирования расписаний распределенной реализации бизнес-процессов, учет динамики изменения маркетинговой ситуации и так далее. Это определило выбор концепции В2В -сетей в качестве подхода к организации совместного функционирования НЦ различной ведомственной принадлежности.

Заметим, что к настоящему времени в рамках этой концепции предложен ряд путей распределенной реализации бизнес-процессов [4, 6]. При их практическом осуществлении обычно рассматриваются многоагентные В2В-предприятия. Вместе с тем не вполне исследованными остаются вопросы организации функционирования многоагентных В2В-предприятий с учетом специфики тех или иных приложений [7].

Так, базовая модель многоагентного самоорганизующегося В2В-предприятия предложена в [8]. Но организация на ее основе распределенной ФГО в ЕТРИС не позволяет учесть ряд особенностей рассматриваемой предметной области, а именно:

1) отсутствие механизмов стимулирования НЦ различной ведомственной принадлежности в части предоставления имеющихся информационных, программных и аппаратных ресурсов для обслуживания заявок, поступивших в другие НЦ;

2) наличие в отдельных НЦ вполне определенных ограничений на предоставление некоторых из имеющихся информационных, программных (алгоритмических) и аппаратных ресурсов для обслуживания заявок, поступивших в другие НЦ;

3) наличие в ЕТРИС коалиций НЦ, существование которых обусловлено, например, их принадлежностью одному министерству (ведомству), территории и тому подобное. Указанное

обстоятельство определяет, что наиболее высокими для этих НЦ всегда будут приоритеты заявок от организаций-участниц коалиции и тому подобное.

**2. Взаимодействие НЦ из состава ЕТРИС как узлов В2В - предприятия.** Проведенный анализ возможных путей учета указанных особенностей при формировании в ЕТРИС искомого В2В-предприятия позволил констатировать нижеследующее.

Базовая модель В2В-предприятия предусматривает использование финансовых расчетов между узлами сети за предоставленные услуги или полученные материальные ресурсы. Вместе с тем в процессе совместного обслуживания заявок любой из НЦ может передавать в другие узлы В2В-предприятия некоторые из имеющихся информационных и/или программных (алгоритмических) ресурсов, предоставлять доступ к своим аппаратным ресурсам. Другими словами, в ЕТРИС возможен обмен не только финансовыми, но и другими ресурсами. Организация взаимодействия НЦ требует формирования механизмов для информационного и иных обменов, в определенном смысле эквивалентных финансовому.

С учетом сказанного схематично представим самоорганизующееся В2В-предприятие распределенной ФГО изображений местности в виде, изображенном на рисунке 1.

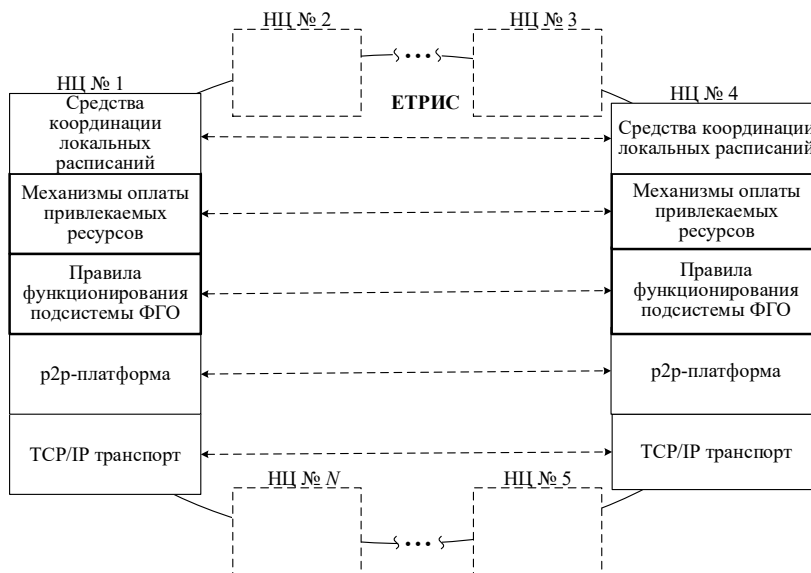


Рис. 1. Схема В2В-предприятия распределенной ФГО

Узлами В2В-предприятия являются подсистемы ФГО каждого из НЦ различной ведомственной принадлежности. Эти подсистемы формируют локальные расписания ФГО изображений при обслуживании заявок, поступающих в соответствующий НЦ. Локальное расписание корректируется при поступлении каждой новой заявки.

Количество узлов в рассматриваемом В2В-предприятии не является постоянным: в произвольные моменты узлы могут присоединяться и выходить из него. Все НЦ, присоединившиеся к предприятию и готовые к совместной обработке потока заявок на предоставление данных ДЗЗ, являются равноправными. Другими словами, будем рассматривать модель открытого В2В-предприятия, функционирующего на основе парных взаимодействий (p2p) [3, 9]. Коммуникации узлов В2В-предприятия обеспечиваются набором оверлейных сетей, составляющих среду взаимодействия НЦ в ЕТРИС (рис. 2). Эта среда формируется с использованием ресурсов НЦ и средств информационно-телекоммуникационной среды ЕТРИС.

Собственно, в узлы В2В-предприятия по территориальному, ведомственному или иному принципу поступают заявки на предоставление данных ДЗЗ. Распределенная ФГО изображений выполняется В2В-предприятием тогда, когда узел сети, в которую поступила заявка, не может ее обслужить с использованием имеющихся ресурсов.

Положим, что процессом поиска исполнителей для фотограмметрической обработки изображений местности в интересах выполнения каждой такой заявки управляет узел, в который заявка поступила. Далее будем называть его планирующим узлом. Узлы, обладающие ресурсами для обслуживания заявки, будем называть потенциальными исполнителями. Наконец, узлы, предоставляющие ресурсы для обслуживания заявок, будем называть узлами-исполнителями.

Пусть рассматриваемое В2В-предприятие включает  $N$  узлов, совокупность которых обозначим  $C = \{C_n\}_{n=1}^N$ , где  $C_n$  –  $n$ -й узел, соответствующий подсистеме ФГО  $n$ -го НЦ. Введем множество графов  $\Theta_i$  ( $\Theta_i \in \Theta$ ), которые могут быть построены при обслуживании  $i$ -й заявки. Любая дуга каждого из этих графов соответствует возможным информационным и экономическим связям между узлами в процессе обслуживания  $i$ -й заявки. Каждая дуга характеризует предоставление планирующему узлу некоторого ресурса одного из узлов предприятия [3].



Рис. 2. Схема взаимодействия узлов B2B-предприятия в процессе распределенной ФГО изображений

В процессе выполнения этих процедур выбирается граф  $\theta_i$  из  $\Theta_i$  с такой структурой, при которой значение целевой функции  $F_n^o(\theta_i)$  планирующего узла в области поиска  $\Xi$ , заданной ограничениями, является максимальным. Тогда с учетом классической постановки задачи управления ресурсами [10] задачу поиска исполнителей заявки сформулируем следующим образом:

$$F_n^o(\theta_i)_{opt} = \max_{F_n^o(\theta_i) \in \Xi} (F_n^o(\theta_i)), \theta_i \in \Theta_i, \quad (1)$$

где  $\Xi$  – область поиска потенциальных исполнителей заявки, заданная ограничениями:  $O(R_n)$  – на ресурсы, требуемые для обслуживания заявки;  $O(C)$  – на состав потенциальных исполнителей заявок;  $O(R_n \times C)$  – на привлечение (предоставление) конкретных ресурсов конкретных узлов В2В-предприятия;  $O(T)$  – на допустимые временные интервалы обслуживания заявки.

Таким образом, область поиска  $\Xi$  представляет собой совокупность таких графов  $\theta$  из  $\Theta_i$ , все центры  $C$  которых обладают ресурсами  $R_n$ , эквивалентными требуемым  $R_i$  для обслуживания заявки, свойства  $c$  всех узлов графа на предоставление/получение ресурсов не противоречивы, эти узлы могут предоставлять ресурсы, требуемые для обслуживания заявки, и эти ресурсы не заняты в слоты времени  $T_{mp}$ , необходимые для своевременного обслуживания заявки.

Тогда область, поиска  $\Xi$  примет вид:

$$\Xi = \cup \theta : \forall C \in \theta : \left( \begin{array}{l} R_n \Leftrightarrow R_i, \cap c \neq \phi, \\ \cap (R_n \times c) \neq \phi, T(R_n) \Leftrightarrow T_{mp} \end{array} \right), \quad (2)$$

где  $T(R_n)$  – слоты времени ресурсов  $R_n$  центра  $C$ .

То есть для каждой заявки планирующему узлу необходимо найти исполнителей на динамически меняющемся множестве узлов таким образом, чтобы осуществлялась оптимизация его целевой функции в условиях действующих ограничений [11, 12], выраженная в поиске исполнителей заявки, предоставляющих ресурсы, необходимые для обслуживания этой заявки, по минимальной стоимости. Ограничения  $O(R_n)$  являются технологическими, то есть определяющими наличие в узле ресурсов, которые принципиально



позволяют получить результаты ФГО, удовлетворяющие требованиям  $i$ -й заявки [13]. Ограничения  $O(C)$  и  $O(R_n \times C)$  являются организационными, то есть характеризующими соответствие некоторого узла, ресурсы которого планируется привлекать для обслуживания заявки, правилам их привлечения. Под требованиями потребителей к результатам ФГО ( $i$ -й заявки) понимаются требования к срокам предоставления этих результатов, их видам и точностным свойствам, а также другие требования.

Вопросы функционирования ТСП/ІР-транспорта, р2р-платформы и средств координации локальных расписаний узлов в В2В-предприятии рассмотрены в [7, 8], поэтому далее основное внимание уделяется учету основных особенностей ЕТРИС при взаимодействии подсистем ФГО.

В основе механизмов стимулирования ряда НЦ в предоставлении своих ресурсов центрам другой ведомственной или иной принадлежности предполагается использовать процедуры «покупки» (аренды) одной подсистемой ФГО простаивающих ресурсов других подсистем ФГО. Другие приведенные выше особенности ЕТРИС планируется учитывать посредством использования производственных правил функционирования подсистем ФГО. Блоки, регулирующие эти аспекты взаимодействия подсистем ФГО в ЕТРИС, обозначены жирной линией на рисунках 1 и 2.

Некоторые подсистемы ФГО из состава ЕТРИС, имеющие одну и ту же ведомственную принадлежность, в первую очередь будут стремиться к привлечению ресурсов «своего» ведомства для обслуживания поступающих заявок. Группы таких подсистем образуют коалиции в В2В-предприятии. Считается, что у узлов, входящих в коалицию, имеются прямые коммутационные каналы [14]. Назовем эти узлы «соседними».

В процессе обслуживания заявок у некоторого узла В2В-предприятия может сформироваться ряд исполнителей по конкретным видам ФГО, которые хорошо себя зарекомендовали при обслуживании предыдущих заявок. Очевидно, что привлечение ресурсов таких узлов предприятия с позиций рассматриваемого узла будет более предпочтительной по сравнению с остальными. Такие узлы также отнесем к «соседним».

По мере накопления каким-либо узлом опыта сотрудничества в В2В-предприятии те узлы, чьи ресурсы регулярно привлекаются для обслуживания заявок, переводятся в разряд «соседних». При поиске ресурсов, необходимых для обслуживания заявки, сначала запрос посылается «соседним» узлам. Если «соседние» узлы не могут по

каким-либо причинам предоставить эти ресурсы, то их поиск осуществляется уже в масштабе всего предприятия. Взаимодействие отдельно взятого узла с членами коалиций и «соседями» регулируется правилами функционирования этого узла.

**3. Поиск исполнителей заявки на множестве узлов В2В-предприятия.** Определение соответствия узлов В2В-предприятия области поиска  $\Xi$  осуществляется на основе обмена сообщениями между его узлами в процессе составления ими расписаний использования ресурсов [8]. В рамках этого обмена планирующий узел получает сведения о технологических и организационных ограничениях потенциальных исполнителей на участие в совместном распределенном обслуживании заявок, условиях предоставления их ресурсов и тому подобное. С другой стороны, потенциальные исполнители получают информацию о требованиях к выполнению предлагаемых заявок. Эти сообщения, ответы на них и сами ограничения формируются на основе сведений  $M_n^z$  об узле, которые в соответствии с [3] для  $n$ -го узла представим тройкой:

$$M_n^z = \langle R_n^p, \Omega_n, P_n \rangle, \quad (3)$$

где  $R_n^p$  – свойства ресурсов  $R_n$   $n$ -го узла (аппаратных, программных, информационных);  $\Omega_n$  – правила участия узла в обслуживании заявок других узлов предприятия, а также правила привлечения этих узлов для обслуживания собственных заявок;  $P_n$  – условия оплаты привлекаемых (предоставляемых) ресурсов для выполнения ФГО.

Под программными ресурсами НЦ будем понимать ресурсы, обеспечивающие реализацию в нем тех или иных алгоритмов ФГО изображений местности; под информационными – ресурсы НЦ (опорные изображения местности, данные геодезических измерений, цифровые модели рельефа местности и т.п.), используемые в процессе ФГО изображений местности; под аппаратными – ресурсы НЦ (серверы, специализированные вычислители, кластеры обработки данных и т.п.), обеспечивающие реализацию технологических цепочек ФГО.

Так, компонент  $R_n^p$  содержит описание состава имеющихся в распоряжении  $n$ -го узла ресурсов с указанием их свойств. Свойства программных ресурсов отражают: реализованные методы (алгоритмы) ФГО изображений местности, свойства потенциально достигаемых с их использованием результатов, потребные информационные ресурсы и другое. Свойства аппаратных ресурсов отражают их ориентировочную производительность при использовании тех или иных программных

ресурсов и другие сведения. Свойства информационных ресурсов содержат структурированное описание опорных изображений местности, данных геодезических измерений, цифровых моделей рельефа местности и другой информации, имеющейся в этом узле.

На основе  $M_n^z$ , а также сведений, полученных от других узлов В2В-предприятия, планирующий узел для каждой заявки должен выбрать исполнителя, то есть конкретный узел, в котором она будет обслуживаться.

Соответствие свойств потенциального исполнителя заявки технологическим ограничениям определяется по выражению:

$$\Pi^r = \begin{cases} 1, & \text{если } \rho^r(R_n^p, R_{n \text{ треб}}^p) \leq \varepsilon^r; \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases} \quad (4)$$

где  $\rho^r(R_n^p, R_{n \text{ треб}}^p)$  – функция сравнения свойств  $R_n^p$  ресурсов со свойствами  $R_{n \text{ треб}}^p$  ресурсов, требуемых для обслуживания заявки;  $\varepsilon^r$  – пороговое значение.

Отметим, что за основу в функции  $\rho^r(R_n^p, R_{n \text{ треб}}^p)$  взята модель свёртки, содержащая эвристические правила лингвистического типа [15]. Это позволяет использовать в (4) свойства ресурсов, которые нельзя задать количественно, но можно выразить качественно. Кроме того, указанная модель учитывает норму (математическое ожидание) каждого свойства и допустимое отклонение от этой нормы. В общем случае функция  $\rho^r$  может быть сведена к проверке истинности высказывания  $R_n^p \subseteq R_{n \text{ треб}}^p$ .

Компонент  $\Omega_n$  содержит продукционные правила, задающие следующие основные семантические ограничения на решение (1):

- по перечню потенциальных исполнителей заявок, регламентирующие выбор узлов предприятия на основе их организационной принадлежности и выполняемых ими видов ФГО;
- по выработке стратегии выбора потенциальных исполнителей заявок, определяющие разбиение этих исполнителей на страты (коалиции, «соседи» и т.п.) и приоритетность выбора исполнителей каждой страты в зависимости от свойств заявки;
- по приему заявок из других узлов предприятия, определяющие саму возможность обслуживания заявки, поступившей от узла той или иной принадлежности, а также набор операций ФГО, разрешенный для выполнения в интересах этого узла.

Продукционные правила выбраны для формирования компонента  $\Omega_n$ , исходя из того, что они обладают универсальностью, то есть с их помощью можно реализовать любые алгоритмы выбора, поскольку они способны отражать любое процедурное знание [16]. Каждое правило  $b \in B$  представляется в форме «если  $\alpha$ , то  $\beta$ ». То есть если потенциальный исполнитель заявки обладает свойством  $\alpha$ , то с графами, содержащими этого исполнителя в качестве узла, выполняется операция  $\beta$ , которая определяет возможность использования этих графов при решении (1). Набор правил в каждом узле предприятия формируется заранее. Каждое правило из этого набора является обобщением решений различных типовых задач выбора потенциальных исполнителей заявок [17, 18].

Тогда множество  $\hat{\Theta}_i \in \Theta_i$  графов, включающих только потенциальных исполнителей, которые соответствуют правилам  $B$ , можно представить как  $\hat{\Theta}_i \subseteq \Theta_i \times B$ . Поскольку правила  $B$  определяют состав потенциальных исполнителей  $i$ -й заявки с учетом требований  $\Omega^{mp}$ , предъявляемых к их свойствам, то  $\hat{\Theta}_i = (C, \Omega^{mp})$ . С другой стороны, поскольку каждый потенциальный исполнитель  $C_n \in C$  имеет свойства  $\Omega^{cs}$ , то справедливо выражение  $\hat{\Theta}_i = (\{\Omega^{cs}\}, \Omega^{mp})$ .

Множество  $\hat{\Theta}_i$  может быть получено  $m$ -шаговым усечением  $\Theta_i$  посредством последовательного применения правил  $B$ . При этом для каждого правила  $b$  величины  $\{\Omega^{cs}\}$  и  $\Omega^{mp}$  связаны соотношениями:

$$\omega^{mp} = b \left| \omega^{cs} \right|, \quad \omega^{cs} \subseteq \{\Omega^{cs}\} \text{ и } \Omega^{mp} \subseteq \omega^{mp}. \quad (5)$$

То есть если у множества графов узлы обладали свойствами  $\{\Omega^{cs}\}$ , то после применения правила  $b$  посредством усечения этого множества сформировано новое множество графов, узлы которых обладают свойствами  $\Omega^{mp}$ .

Тогда усечение  $\Theta_i$  представим как  $m$ -шаговую цепочку

$$\left( \{\Omega_{01}\} \cap \hat{l}_1, \{\Omega_1\} \right), \dots, \left( \{\Omega_{0j}\} \cap \hat{l}_j, \{\Omega_j\} \right), \dots, \left( \{\Omega_{0m}\} \cap \hat{l}_m, \{\Omega_m\} \right), \quad (6)$$

такую, что для каждого  $\Theta_j \left( \{\Omega_{0j}\} \cap \hat{l}_j, \{\Omega_j\} \right)$ ,  $(\Theta_j \in \Theta_i)$  имеет место

$$\{\Omega_j\} = b_j \left| \{\Omega_{0j}\} \cap \hat{l}_j \right|, \bigcup_{j=1}^m \{\Omega_{0j}\} \subseteq \{\Omega^{ca}\}, \Omega^{mp} \subseteq \{\Omega_m\}, \quad (7)$$

где  $\{\Omega_{0j}\}$  – совокупность свойств потенциальных исполнителей заявки, оцениваемых на  $j$ -м шаге;  $\{\Omega_j\}$  – совокупность свойств потенциальных исполнителей, полученных посредством усечения  $\Theta_i$  на основе правила  $b_j \in B$ ;  $m$  – мощность множества  $B$ ;  $\hat{l}_j$  – ограничения, накладываемые на свойства потенциальных исполнителей динамически возникающими возмущающими воздействиями (изменения свойств потока заявок, состава предприятия, приоритетов обслуживания заявок и т.п.).

Результатом выполнения цепочки (6) являются графы, для которых имеет смысл выражение:

$$\Omega^{mp} \subseteq \{\Omega_m\} = B \left| \bigcup_{j=1}^m (\{\Omega_{0j}\} \cap \hat{l}_j) \right|. \quad (8)$$

Отметим, что выражения (6) и (8) предполагают использование всех правил из  $B$  при проверке свойств потенциальных исполнителей заявки. Однако часто указанные свойства бывают зависимы. Так, одно свойство может комплексно характеризовать в какой-либо области этого исполнителя, тогда как ряд других свойств лишь детализируют это комплексное свойство. Тогда наиболее целесообразным представляется иерархический подход к использованию правил [19], в соответствии с которым сначала оцениваются свойства верхнего ранга, а затем – нижних рангов, соответствующих отдельным свойствам потенциальных исполнителей заявок. Это позволяет сократить цепочку (6) для случаев, когда какие-либо узлы графа, принадлежащего  $\Theta_i$ , не соответствуют требованиям  $\Omega^{mp}$  за счет исключения таких графов из  $\Theta_i$  на ранних этапах анализа свойств их узлов. Тогда (8) представим в виде:

$$\begin{aligned} \Omega^{mp} \subseteq \{\Omega_m\} = & B_1 \left| \bigcup_{j=1}^{m_1} (\{\Omega_{0j}\} \cap \hat{l}_j) \right| \cup B_2 \left| \bigcup_{j=m_1+1}^{m_1+m_2} (\{\Omega_{0j}\} \cap \hat{l}_j) \right| \cup \dots \\ & \dots \cup B_k \left| \bigcup_{j=m_1+m_2+\dots+m_{k-1}+1}^{m_1+m_2+\dots+m_k} (\{\Omega_{0j}\} \cap \hat{l}_j) \right|, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $k$  – количество рангов правил;  $B_1, B_2, \dots, B_k$  – множества правил, отнесенные к соответствующему рангу.

Отметим, что в правилах  $B_1$  осуществляется проверка потенциальных исполнителей на принадлежность их к «соседям» планирующего узла или к коалиции, в состав которой входит планирующий узел. Кроме того, правила  $B \in \Omega_n$  задают стратификацию потенциальных исполнителей, которая может осуществляться как по ведомственному, так и по функциональному признакам. Каждый узел имеет собственное множество правил  $B$ . Как следствие, состав страт у каждого узла предприятия будет индивидуален. В общем случае все предпочтения планирующего узла в выборе потенциальных исполнителей заявки учитываются в (9).

Таким образом, использование ограничений (4) и (9) позволяет осуществить усечение множества потенциальных исполнителей  $C$  заявки и, как следствие, количество рассматриваемых графов из  $\Theta_i$ . В процессе этого усечения определяется порядок взаимодействия НЦ различной принадлежности при обслуживании меняющегося потока заявок.

**4. Механизмы стимулирования НЦ к предоставлению простаивающих ресурсов узлам В2В-предприятия.** Выполнение действий, рассмотренных выше, позволяет сформировать область  $\Xi$  поиска потенциальных исполнителей заявки с учетом имеющихся ограничений. Далее решим задачу (1) посредством поиска исполнителей заявки, предоставляющих ресурсы, необходимые для обслуживания этой заявки, по минимальной стоимости.

Одним из условий повышения эффективности функционирования самоорганизующихся мультиагентных систем является использование механизмов управления, побуждающих агентов к максимальному использованию всех ресурсов. Поэтому достаточно широкую распространенность получили так называемые конкурсные механизмы. Их особенностью является то, что претенденты на ресурсы участвуют в соревновании по получению финансового (или иного) вознаграждения за предоставление своих ресурсов.

Идея любого конкурса заключается в следующем: претенденты упорядочиваются на основании имеющейся о них информации (как объективной, так и сообщаемой самими претендентами), затем победителем (или победителями) объявляется претендент, занявший первое место (или несколько первых мест – зависит от условий конкурса). Одной из реализаций такого конкурса являются рыночные механизмы самоорганизации.

Таким образом, наиболее целесообразным для организации распределенной ФГО в ЕТРИС является применение методов, использующих рыночные механизмы самоорганизации. Кроме того, применение методов данной группы позволяет «заинтересовать» различные НЦ в предоставлении своих ресурсов для обслуживания «сторонних» заявок посредством получения за это некоторой платы. Эта заинтересованность способствует изменению стратегии поведения агентов ряда НЦ с эгоистичной на благонамеренную. Тогда у каждого НЦ стимулы к предоставлению своих ресурсов для выполнения распределенной ФГО количественно измеримы и их можно представить в некотором пространстве параметров (например, в величине оплаты за предоставленные ресурсы).

Далее рассмотрим механизмы стимулирования НЦ к предоставлению своих простаивающих ресурсов центрам другой принадлежности. Их сутью является возможность получения денежного или иного вознаграждения подсистемой ФГО того или иного НЦ за участие в распределенном обслуживании заявки. В рамках реализации этих механизмов осуществляется выбор графа обслуживания заявки (и, как следствие, исполнителей заявки)  $\theta_i \in \hat{\Theta}_i$  посредством проведения аукциона по каждой заявке на множестве узлов предприятия – потенциальных исполнителей [8]. Таким образом, реализуется идея самоорганизации процессов распределенной ФГО в В2В-предприятии. Учитывая различную принадлежность НЦ в ЕТРИС, для выбора исполнителей заявок наиболее подходит следующий тип аукциона [20-23]:

- по форме проведения закрытый, поскольку отдельно взятый потенциальный исполнитель не знает, какую цену за использование аналогичных ресурсов запросили другие участники аукциона;

- по значению цены на ресурсы – дискриминационный, поскольку НЦ одной ведомственной принадлежности могут предоставлять свои ресурсы друг другу на более выгодных условиях, чем центру другого ведомства или организации;

- по определению цены за использование ресурсов – маржинальный (по первой цене), то есть привлекаются ресурсы того НЦ, который попросил за них наименьшую цену.

Планирующий узел один раз посылает запрос на получение цены предоставления требуемых ресурсов от других узлов предприятия и после получения ответов выполняет их анализ.

Заинтересованность потенциальных исполнителей в обслуживании предлагаемой заявки определяется на основе функции прибыли:

$$\pi_{ni} = (P_i - Cm_i) \cdot v_i - \phi_n(\bar{v}), \quad (10)$$

где  $\pi_{ni}$  – прибыль  $n$ -го узла от выполнения работ по  $i$ -й заявке;  $C_i$  – величина оплаты выполнения работ по  $i$ -й заявке;  $Cm_i$  – себестоимость выполнения работ по  $i$ -й заявке;  $v_i$  – объем работ, который необходимо выполнить по  $i$ -й заявке;  $\varphi_n(\tilde{v})$  – величина возможного штрафа из-за невыполнения других заявок объемом  $\tilde{v}$ , от которых исполнителю требуется отказаться в пользу обслуживания  $i$ -й заявки.

Если величина  $\pi_{ni}$  превышает некоторое положительное пороговое значение, то исполнитель берется за выполнение работ по  $i$ -й заявке. Величина  $C_i$  каждым исполнителем может задаваться декларативно для каждого вида работ либо вычисляться на основе эмпирических знаний об условиях выполнения ФГО другими узлами предприятия (в том числе и стоимостных). Указанные сведения содержатся в элементах множества  $P_n$  модели (3). Элементы этого множества могут быть представлены как отдельными значениями для каждого вида обработки, так и допустимыми диапазонами этих значений. Указанные значения могут меняться в зависимости от сложившейся конъюнктуры, финансовых, ресурсных и других возможностей  $n$ -го узла. Множеством  $P_n$  определяется возможный коммерческий эффект (прибыль)  $n$ -го узла от распределенного выполнения заявок. Следует отметить, что приоритетность обслуживания заявки, кроме прочего, определяется величиной вознаграждения за ее обслуживание, которая определяется на основе значения  $\pi_{ni}$ .

В случае, если  $C_i$  в (10) исчисляется «в не денежном» выражении, то для её определения используется финансовый эквивалент вида:

$$C_i = \hat{C}_i \cdot K_{pn} \cdot K_{on}, \quad (11)$$

где  $\hat{C}_i$  – приведенная величина оплаты, выраженная в денежной форме и характеризующая стоимость «нефинансовой» оплаты использования предоставляемых ресурсов;  $K_{pn}$  – коэффициент, характеризующий предпочтения  $n$ -го узла в типе оплаты ресурсов (денежный, взаимозачет и пр.);  $K_{on}$  – коэффициент, характеризующий ограничения на использование «нефинансовой» оплаты.

Целью проведения аукциона планирующим узлом на множестве узлов В2В-предприятия является одновременно как поиск



исполнителей  $i$ -й заявки, так и минимизация функции затрат на привлечение ресурсов других узлов, то есть:

$$\zeta_i = \min_{\hat{\Theta}_i}(\{\zeta\}_i), \quad (12)$$

где  $\zeta_i$  – величина затрат планирующего узла на привлечение ресурсов исполнителей заявок;  $\{\zeta\}_i$  – значения затрат планирующего узла на привлечение ресурсов исполнителей заявок, каждому из которых поставлен в соответствие граф из  $\hat{\Theta}_i$ .

Перепишем (12) с точки зрения величины прибыли планирующего узла:

$$\pi_i = \max_{\hat{\Theta}_i}(C_i - \{\zeta\}_i - Cm_i). \quad (13)$$

Ограничением в (13) выступает условие  $\pi_i \geq 0$ . Значением  $Cm_i$  представлены собственные затраты планирующего узла на обслуживание  $i$ -й заявки. Затраты на привлечение ресурсов  $\zeta$  могут быть получены на примере функции Кобба – Дугласа [24, 25]:

$$\zeta = C_r \cdot v_r^\alpha \cdot \tau^\beta, \quad (14)$$

где  $C_r$  – коэффициент, характеризующий стоимость использования единицы привлекаемого ресурса  $r$ ;  $\alpha, \beta$  – неотрицательные константы;  $v_r$  – объем (количество) привлекаемого ресурса  $r$ ;  $\tau^\beta$  – параметр, характеризующий длительность использования ресурса.

**5. Составление скоординированного расписания обслуживания заявок.** Ограничения на величину  $\zeta$  по отдельным видам обработки содержатся в элементе  $P_n$  модели (3). Указанные ограничения с течением времени меняются в связи с изменением финансовых и других возможностей отдельно взятых узлов предприятия.

Наиболее предпочтительным для организации распределенной ФГО является такой граф из  $\hat{\Theta}_i$ , у которого  $\zeta_i$  минимально. С использованием выражений (12), (13) и с учетом (14) в планирующем узле осуществляется ранжирование графов  $\hat{\Theta}_i$ . Далее этим узлом из  $\hat{\Theta}_i$  выбирается наиболее предпочтительный (в соответствии с (12)) граф. В случае, если узлам этого графа не удастся осуществить

координацию расписаний использования ресурсов при обслуживании  $i$ -й заявки, то выбирается следующий по предпочтительности граф.

При координации указанных расписаний каждый узел должен учитывать ранее принятые на себя обязательства по обслуживанию других заявок. Каждый узел В2В-предприятия разрабатывает свое расписание с учетом занятости своих ресурсов и координирует его с расписаниями других узлов, вовлеченных в обслуживание этой же заявки [8]. Расписания составляются с учетом ограничений  $O(T)$  на допустимые временные интервалы обслуживания заявки, которые представим в виде:

$$T_i^S \geq T_i^0, \quad T_i^F = T_i^S + \Delta T_i \leq T_i^D, \quad (15)$$

где  $T_i^S$  – момент времени начала обслуживания  $i$ -й заявки;  $T_i^0$  – момент времени ее поступления;  $T_i^F$  – момент времени завершения обслуживания  $i$ -й заявки;  $\Delta T_i$  – ориентировочное время ее обслуживания;  $T_i^D$  – директивный момент времени завершения обслуживания  $T_i^D$ , к которому все работы по этой заявке должны быть выполнены.

В соответствии с [13] формируемое расписание должно обеспечивать минимум штрафа за запаздывание обслуживания заявок. При этом требование минимизации суммарного времени обслуживания заявок не является обязательным, поскольку у каждой заявки задано директивное время завершения ее обслуживания. Тогда целевую функцию составления расписаний представим в виде [26]:

$$\sum_{i=1}^I (w_i \cdot U_i) \rightarrow \min, \quad (16)$$

где  $I$  – количество заявок;  $U_i$  – показатель запаздывания обслуживания  $i$ -ой заявки ( $U_i = 1$ , если завершение обслуживания заявки планируется или происходит позднее директивного времени ее обслуживания, в противном случае  $U_i = 0$ );  $w_i$  – весовой коэффициент, характеризующий относительную важность  $i$ -й заявки.

Построение расписаний с помощью критерия (16) изучено достаточно глубоко, например [26]. С точки зрения организации распределенной ФГО практический интерес представляет определение содержательного смысла коэффициента  $w_i$ . С учетом влияния на его значение величины штрафа  $s_{wi}$  за запаздывание обслуживания заявки

и продолжительности  $T_{ui}$  этого запаздывания выражение для получения  $w_i$  представим в виде:

$$w_i = (T_i^F - T_i^D) \cdot s_{ui} \cdot T_{ui} \cdot k_{ni}, \quad (17)$$

где  $k_{ni}$  – приоритетность  $i$ -й заявки ( $k_{ni} = 1$ , если приоритетность заявки определяется только величиной штрафа).

Приоритетность для отдельных заявок в (17) при ожидании обслуживания может меняться из-за изменения режима функционирования узлов предприятия [27], что может приводить к изменению величины  $w_i$  и необходимости перестроения расписания.

В случае возникновения запаздывания обслуживания заявок узел В2В-предприятия может: отказаться от их обслуживания; обслужить с учетом штрафов (17); дополнительно привлечь для обслуживания ресурсы других узлов.

Предложенный подход к формированию расписаний выполнения распределенной ФГО космических изображений местности в ЕТРИС позволяет найти решение задачи (1), представленное в виде графа:

$$\theta_i = \arg \left( \min_{\theta_i, O(T)} (\{\zeta\}_i) \right). \quad (18)$$

Решение (18) задачи (1) является оптимальным с точки зрения информации о потенциальных исполнителях заявки, которая имела в планирующем узле на момент времени планирования обслуживания заявки в условиях действующих ограничений. С позиций всей сети НЦ данное решение является рациональным, поскольку свойства потока заявок, возможности различных узлов по предоставлению своих ресурсов и условия их предоставления динамически меняются во времени. Как следствие, часть информации о потенциальных исполнителях заявки после получения её планирующим узлом является не актуальной.

Отметим, что после определения исполнителей для каждой заявки планирующий узел не ищет более выгодные предложения ресурсов. Этим обеспечивается снижение частоты переформирования расписаний узлов В2В-предприятия, что позволяет достичь устойчивости процессов самоорганизации обслуживания потока заявок в ЕТРИС на предоставление данных ДЗЗ.

Взаимодействие узлов В2В-предприятия на примере координации их локальных расписаний проиллюстрировано на рисунке 3. Фрагмент протокола взаимодействия узлов В2В-предприятия в части координации локальных расписаний приведен на рисунке 4.

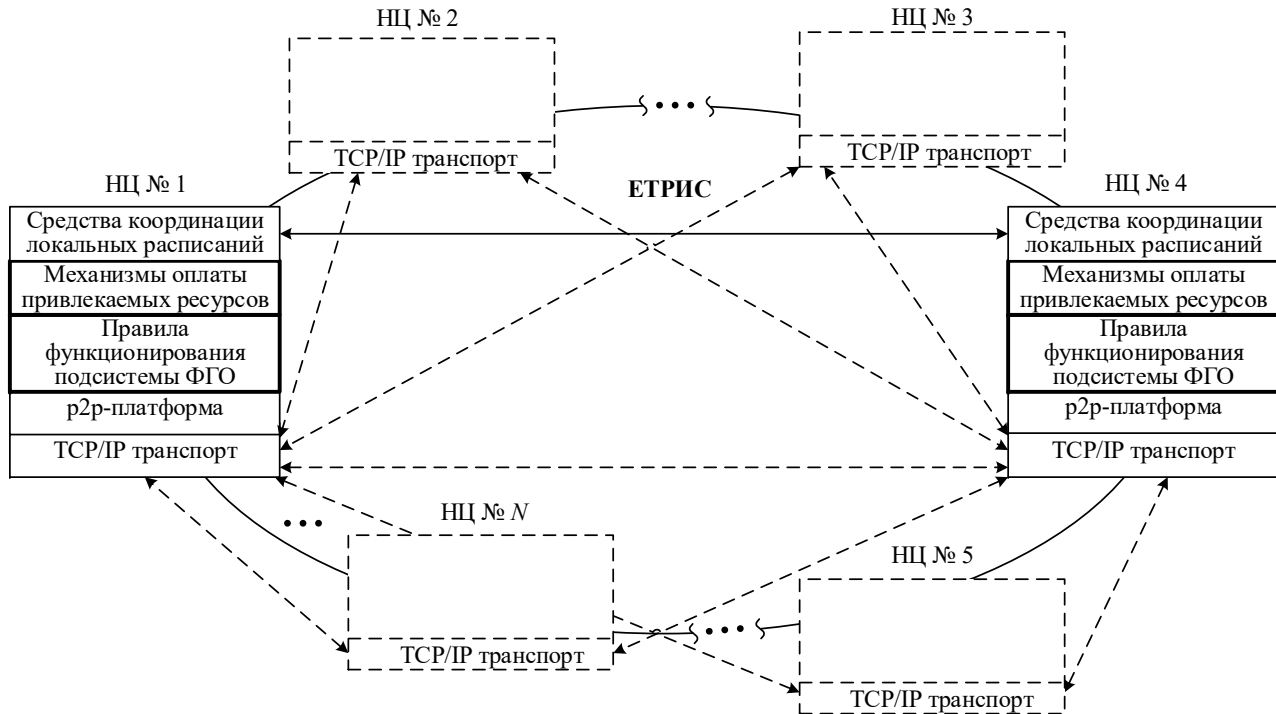


Рис. 3. Пример взаимодействия узлов В2В-предприятия при координации локальных расписаний

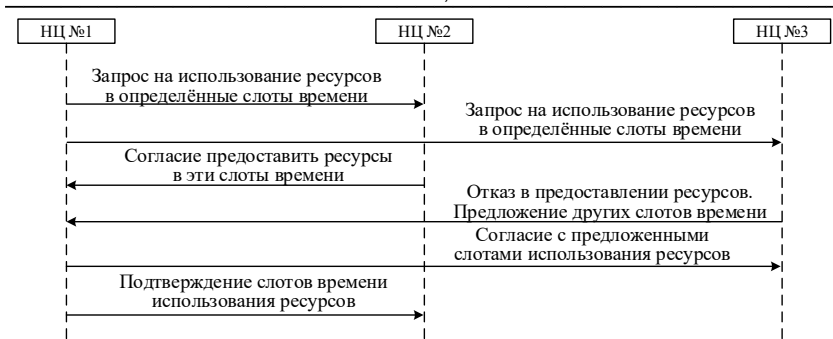


Рис. 4. Фрагмент протокола взаимодействия узлов В2В-предприятия

С точки зрения математического программирования задача составления скоординированных расписаний подсистем ФГО относится к задаче сетевого планирования. В отличие от классической постановки задачи предлагаемый подход к формированию расписаний распределенной ФГО основан на самоорганизации обслуживания заявок в сети НЦ. Координация локальных расписаний в этом случае обеспечивает поддержание в ЕТРИС организационной структуры системы распределенной ФГО.

**6. Заключение.** Предложен подход к динамическому формированию расписаний распределенной ФГО в ЕТРИС, базирующийся на использовании положений концепции В2В -сетей. Он обеспечивает рациональную организацию поиска соисполнителей для обслуживания поступающих заявок на предоставление данных ДЗЗ с учетом ограничений по составу потенциальных исполнителей, привлекаемым ресурсам, которые допустимы временным интервалам обслуживания каждой заявки.

Развитие известной модели самоорганизующегося В2В-предприятия формирует условия для более эффективной организации обслуживания потока заявок в ЕТРИС за счет привлечения незадействованных программных, информационных и аппаратных ресурсов НЦ различной ведомственной принадлежности.

### Литература

1. *Носенко Ю.И., Лошкарев П.А.* Единая территориально-распределенная информационная система дистанционного зондирования Земли – проблемы, решения, перспективы (часть 1) // Геоматика. 2010. № 3. С. 35–43.
2. *Лошкарев П. А. и др.* Развитие ЕТРИС ДЗЗ с применением облачных технологий // Геоматика. 2013. № 4. С. 22–26.
3. *Шуклин И.И., Юценко С.П.* Концептуальная модель системы распределенной фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса // Телекоммуникации. 2018. № 12. С. 24–35.

4. Бек М.А. Маркетинг B2B: учебное пособие для вузов // М.: Издательский дом ГУ ВШЭ. 2008. 327 с.
5. *Krolkowski R., Kopyś M., Jedruch W.* Self-Organization in Multi-agent systems Based on examples of Modeling economic relationships between agents // *Frontiers in Robotics and AI*. 2016. vol. 3. pp. 41.
6. *Ichinose G., Sayama H.* Invasion of cooperation in scale-free networks: Accumulated versus average payoffs // *Artificial Life*. 2017. vol. 23(1). pp. 25–33.
7. *Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В.* Агентская платформа для повсеместных вычислений // *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2008. № 4. С. 51–69.
8. *Городецкий В.И.* Многоагентная самоорганизация в b2b сетях // *Материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2014)*. 2014. С. 8954–8966.
9. *Foerster J., Assael I.A., De Freitas N., Whiteson S.* Learning to communicate with deep multi-agent reinforcement learning // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2016. pp. 2137–2145.
10. *Ризванов Д.А., Юсупова Н.И.* Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем на основе многоагентного подхода // *Онтология проектирования*. 2015. Т. 5. №3(17). С. 297–312.
11. *Adami C., Schossau J., Hintze A.* Evolutionary game theory using agent-based methods // *Physics of Life Reviews*. 2016. vol. 19. pp. 1–26.
12. *Hegselmann R. Thomas C. Sakoda S., Sakoda J.* The intellectual, technical, and social history of a model // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2017. vol. 20(3). 15 p.
13. *Шужкин И.И., Ющенко С.П.* Формализация задачи распределённой фотограмметрической обработки изображений местности в сети наземных центров приёма данных дистанционного зондирования Земли из космоса // *Телекоммуникации*. 2018. № 6. С. 36–44.
14. *Lowe R. et al.* Multi-agent actorcritic for mixed cooperative-competitive environments // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. pp. 6379–6390.
15. *Алферов В.И. и др.* Модели и механизмы управления в самоорганизующихся системах: Монография // *Научная книга*. 2008. 300 с.
16. *Павлов С.Н.* Системы искусственного интеллекта // *Эль Контент*. 2011. Т. 1. 176 с.
17. *Jaques N. et al.* Social influence as intrinsic motivation for multi-agent deep reinforcement learning // *International Conference on Machine Learning*. 2019. pp. 3040–3049.
18. *Atmanspacher H.* On Macrostates in Complex Multi-Scale Systems // *Entropy*. 2016. vol. 18. no. 12. 426 p.
19. *Воронин А.Н.* Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем // *Кибернетика и системный анализ*. 2007. № 3. С. 84–92.
20. *Аюев Б.И., Ерохин П.М., Паниковская Т.Ю.* Применение механизма аукциона для моделирования рынка электроэнергии // *Известия Томского политехнического университета*. 2005. Т. 308. № 5. С. 176–178.
21. *Van Der Laan G., Yang Z.* An Ascending Multi-Item Auction with Financially Constrained Bidders // *Journal of Mechanism and Institution Design*. 2016. № 1. pp. 107–147.
22. *Yuan Q. et al.* Descending auction model using marl considering the consumer market // *EPiC Series in Computing*. 2019. vol. 63. pp. 150–159.
23. *Einav L., Farronato C., Levin J., Sundaresan N.* Auctions versus Posted Prices in Online Markets // *Journal of Political Economy*. 2018. vol. 126. no. 1. pp. 178–215.
24. *Ломкова Е.Н., Энов А.А.* Экономико-математические модели управления производством (теоретические аспекты) // *РПК Политехник*. 2005. 67 с.

25. *Stigum B.P.* Econometrics in a formal science of economics // MIT Press. 1990. pp. 392.
26. *Лазарев А.А., Гафаров Е.Р.* Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. Учеб. Пособие // М.: Изд-во МГУ. 2011. 222 с.
27. *Зеленцов В.А., Потрясаев С.А.* Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Труды СПИИРАН. 2017. Вып. 6(55). С. 86–113.

**Карсаев Олег Владиславович** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: искусственный интеллект, логистика, многоагентные системы, планирование. Число научных публикаций – 106. [karsaev@ips-logistic.com](mailto:karsaev@ips-logistic.com); 14-я линия В.О., 39, 199178, Санкт-Петербург, Россия; р.т.: +7-812-597-37-14.

**Шуклин Игорь Игоревич** – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, научно-исследовательский испытательный центр (г. Курск), Федеральное государственное унитарное предприятия «18 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации. Область научных интересов: системы фотограмметрической обработки изображений, распределённые вычисления, многоагентные системы. Число научных публикаций – 63. [kraft148@yandex.ru](mailto:kraft148@yandex.ru); ул. Блинова, 23, 305004, Курск, Россия; р.т.: +7(4712) 58-80-90.

**Ющенко Сергей Петрович** – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, научно-исследовательский испытательный центра (г. Курск), Федеральное государственное унитарное предприятия «18 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации. Область научных интересов: обработка и анализ изображений, системы информационной поддержки управленческих решений, многоагентные системы. Число научных публикаций – 200. [serg.u132@yandex.ru](mailto:serg.u132@yandex.ru); ул. Блинова, 23, 305004, Курск, Россия; р.т.: +7(4712) 58-80-90.

O. KARSAEV., I. SHUKLIN, S. YUSHCHENKO  
**SELF-ORGANIZING B2B ENTERPRISE OF DISTRIBUTED  
PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING OF TERRAIN IMAGES IN  
ETRIS**

*Karsaev O., Shuklin I., Yushchenko S. Self-Organizing B2B Enterprise of Distributed Photogrammetric Processing of Terrain Images in ETRIS.*

**Abstract.** An approach to the dynamic formation (adjustment) of schedules for distributed photogrammetric image processing in a network of ground centers included in the United geographically distributed information system for receiving and processing Earth remote sensing data from space is considered. Having the fullest satisfaction of requirements of consumers to the satellite images of necessary areas, the approach provides the formation of self-organizing B2B enterprises in the specified network providing information, software and hardware resources of the ground-based facilities of various departmental and other accessories for photogrammetric processing of any received images of the area from the the United geographically distributed information system. It is shown, that a search in B2B enterprise nodes and borrowing the required resources will allow ground centers to flexibly scale physical and virtual means of photogrammetric processing of Earth remote sensing data, quickly form their local structural and functional organizations depending on the current properties of the consumer requests flow for receiving Earth remote sensing data in the United geographically distributed information system, characteristics of the flow of terrain survey materials from orbital monitoring tools, and also take into account the visual and measuring properties of images of the area subject to photogrammetric processing. A method for truncating the set of potential performers of the application in accordance with the existing semantic and other restrictions on the composition of the desired set of performers is proposed. Also mechanisms to encourage ground centers to provide idle resources to B2B enterprise nodes are proposed. They are based on the possibility of receiving monetary or other remuneration from a ground center for participating in distributed application servicing. The development of a well-known model of a self-organizing B2B enterprise creates conditions for a more efficient organization of servicing the flow of applications in the United geographically distributed information system by attracting unused software, information and hardware resources of ground centers of various departmental affiliations.

**Keywords:** Earth Remote Sensing Data, Photogrammetric Processing, B2B-Enterprise.

**Karsaev Oleg** – Ph.D., Senior Researcher, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling, St. Petersburg Institute for informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: artificial intelligent, logistics, agent based systems, planning and scheduling. The number of publications – 106. [karsaev@ips-logic.com](mailto:karsaev@ips-logic.com); 39, 14th Line V.O., 199178, St. Petersburg, Russia; office phone: +7-812-597-37-14.

**Shuklin Igor** – Ph.D., Leding Researcher, Research Test Center (Kursk), Federal State Unitary Enterprise "18 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Research interests: distributed data processing systems, multi-agent systems. The number of publications – 63. [kraft148@yandex.ru](mailto:kraft148@yandex.ru); 23, Blinov str., 305004, Kursk, Russia; office phone: +7(4712) 58-80-90.

**Yushchenko Sergey** – Ph.D., Dr.Sci., Professor, Chief Researcher, Research Test Center (Kursk), Federal State Unitary Enterprise "18 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Research interests: stributed data processing systems, multi-agent systems. The number of publications – 200. [serg.u132@yandex.ru](mailto:serg.u132@yandex.ru); 23, Blinova str., 305004, Kursk, Russia; office phone: +7(4712) 58-80-90.



## References

1. Nosenko Ju.I., Loshkarev P.A. [Unified geographically distributed information system for remote sensing of the Earth – problems, solutions, and prospects]. *Geomatika – Geomatic*. 2010. vol. 3. pp. 35–42. (In Russ.).
2. Loshkarev P.A. et al. [Development of ETRIS remote sensing using cloud technologies]. *Geomatika – Geomatic*. 2013. vol. 4. pp. 22–26. (In Russ.).
3. Shuklin I.I., Jushhenko S.P. [Conceptual model of a distributed photogrammetric data processing system for remote sensing of the Earth from space]. *Telekommunikacii – Telecommunications*. 2018. vol. 12. pp. 24–35. (In Russ.).
4. Bek M.A. *Marketing V2V: uchebnoe posobie dlya vuzov* [B2B marketing: studies. Handbook for universities]. M.: Izdatelskiy dom GU VSHE. 2008. 327 p. (In Russ.).
5. Krolikowski R., Kopyts M., Jedruch W. Self-Organization in Multi-agent systems Based on examples of Modeling economic relationships between agents. *Frontiers in Robotics and AI*. 2016. vol. 3. pp. 41.
6. Ichinose G., Sayama H. Invasion of cooperation in scale-free networks: Accumulated versus average payoffs. *Artificial Life*. 2017. vol. 23(1). pp. 25–33.
7. Gorodeckij V.I., Karsaev O.V., Samojlov V.V., Serebrjakov S.V. [Agent platform for ubiquitous computing]. *Informacionnye tehnologii i vychislitel'nye sistemy – Information technologies and computer systems*. 2008. vol. 4. pp. 51–69. (In Russ.).
8. Gorodeckij V.I. [Multi-agent self-organization in b2b networks]. *Materialy XII Vserossijskogo soveshchaniya po problemam upravleniya (VSPU-2014)* [Materials of the XII all-Russian meeting on management problems (VSPU-2014)]. 2014. pp. 8954–8966. (In Russ.).
9. Foerster J., Assael I.A., De Freitas N., Whiteson S. Learning to communicate with deep multi-agent reinforcement learning. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2016. pp. 2137–2145.
10. Rizvanov D.A., Jusupova N.I. [Intelligent decision support for managing resources of complex systems based on a multi-agent approach]. *Ontologija proektirovanija – Design ontology*. 2015. Issue 5. vol. 3(17). pp. 297–312. (In Russ.).
11. Adami C., Schossau J., Hintze A. Evolutionary game theory using agent-based methods. *Physics of Life Reviews*. 2016. vol. 19. pp. 1–26.
12. Hegselmann R. Thomas C. Sakoda S., Sakoda J. The intellectual, technical, and social history of a model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2017. vol. 20(3). 15 p.
13. Shuklin I.I., Jushhenko S.P. [Formalization of the problem of distributed photogrammetric processing of terrain images in the network of ground centers for receiving earth remote sensing data from space]. *Telekommunikacii – Telecommunications*. 2018. vol. 6. pp. 36–44. (In Russ.).
14. Lowe R. et al. Multi-agent actor-critic for mixed cooperative-competitive environments. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. pp. 6379–6390.
15. Alferov V.I. et al. *Modeli i mehanizmy upravleniya v samoorganizuyushchih sistemah: Monografiya* [Models and control mechanisms in self-organizing systems: Monograph]. Nauchnaja kniga. 2008. 300 p. (In Russ.).
16. Pavlov S.N. *Sistemy iskusstvennogo intellekta* [Artificial intelligence systems: studies. stipend]. El' Kontent. 2011. Issue 1. 176 p. (In Russ.).
17. Jaques N. et al. Social influence as intrinsic motivation for multi-agent deep reinforcement learning. International Conference on Machine Learning. 2019. pp. 3040–3049.
18. Atmanspacher H. On Macrostates in Complex Multi-Scale Systems. *Entropy*. 2016. vol. 18. no. 12. 426 p.
19. Voronin A.N. [Method of multi-criteria evaluation and optimization of hierarchical systems]. *Kibernetika i sistemnyj analiz – Cybernetics and system analysis*. 2007. vol. 3. pp. 84–92. (In Russ.).

20. Ayuev B.I., Erohin P.M., Panikovskaja T.Ju. [Application of the auction mechanism for modeling the electricity market]. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta – Proceedings of Tomsk Polytechnic University*. 2005. Issue 308. vol. 5. pp. 176–178. (In Russ.).
21. Van Der Laan G., Yang Z. An Ascending Multi-Item Auction with Financially Constrained Bidders. *Journal of Mechanism and Institution Design*. 2016. № 1. pp. 107–147.
22. Yuan Q. et al. Descending auction model using mari considering the consumer market. *EPiC Series in Computing*. 2019. vol. 63. pp. 150–159.
23. Einav L., Farronato C., Levin J., Sundaresan N. Auctions versus Posted Prices in Online Markets. *Journal of Political Economy*. 2018. vol. 126. no. 1. pp. 178–215.
24. Lomkova E.N., Epov A.A. *Ekonomiko-matematicheskie modeli upravleniya proizvodstvom (teoreticheskie aspekty)* [Economic and mathematical models of production management (theoretical aspects)]. RPK Politehnik. 2005. 67 p.
25. Stigum B.P. *Econometrics in a formal science of economics*. MIT Press. 1990. pp. 392.
26. Lazarev A.A., Gafarov E.R. *Teorija raspisanij. Zadachi i algoritmy: Ucheb. Posobie* [The scheduling theory. Problems and algorithms: Handbook]. M.: Izd-vo MGU. 2011. 222 p. (In Russ.).
27. Zelencov V.A., Potrjasaev S.A. [Architecture and implementation examples of an information platform for creating and providing thematic services using earth remote sensing data]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2017. vol. 6(55). pp. 86–113. (In Russ.).