

Мартынова Любовь Александровна – Акционерное общество «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»; e-mail: martynowa999@bk.ru; 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30; тел.: 89219411395; д.т.н.; с.н.с.; в.н.с.

Martynova Liubov Alexandrovna – Concern CSRI Elektropribor, JSC; e-mail: martynowa999@bk.ru; 30, Malaya Posadskaya street, Saint Petersburg 197046, Russia; phone: 89219411395; dr. of eng. sc.; leading researcher.

УДК 004.75; 519.687.1

DOI 10.23683/2311-3103-2018-8-83-94

А.Б. Клименко, И.Б. Сафроненкова

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ В СРЕДАХ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА БАЗЕ ОНТОЛОГИЙ*

Концепция туманных вычислений относительно нова, но внедряется практически повсеместно. Это связано с интенсивным ростом объемов обрабатываемых данных, поскольку используемые прежде классические, «облачные» архитектуры становятся недостаточными в условиях Интернета Вещей. Задача распределения вычислительной нагрузки в гетерогенной вычислительной среде не нова и решалась неоднократно. Однако, известные модели задачи, как правило, не учитывают особенностей сред туманных вычислений, таких, как: – неравноправность вычислительных узлов; – обязательное участие облачного слоя в решении вычислительных задач. Данная статья акцентирует внимание на формальной постановке задачи распределения вычислительной нагрузки с учетом особенностей среды туманных вычислений в случае применения стратегии «разгрузки» устройств. В этом случае предполагается перераспределение части графа задач на некоем подмножестве вычислительных устройств туманного слоя. К постановке задачи распределения вычислительной нагрузки в гетерогенной среде добавляется ограничение, свойственное среде туманно вычислений. Задача является многокритериальной, с многими ограничениями, определяемыми спецификой проектируемой системы, и потому относится к классу сложных, что ставит вопрос о получении качественных решений в ограниченные временные сроки. В данной статье предлагается подход на базе уменьшения пространства поиска для сформулированной задачи оптимизации путем усечения множества кандидатов вычислительных устройств. Для этого используется онтологический подход: разработана структура онтологии, позволяющей классифицировать перераспределяемый подграф относительно имеющихся ресурсов. На основе разработанной онтологии сформированы правила, применяемые к выбору узлов-кандидатов для размещения подграфа задач, что в итоге позволяет значительно сократить пространство поиска решений.

Распределение вычислительной нагрузки; туманные вычисления; распределенные вычисления; Интернет Вещей; онтология; задача оптимизации.

A.B. Klimenko, I.B. Safronenkova

ONTOLOGY BASED WORKLOAD ALLOCATION PROBLEM SOLVING IN FOG COMPUTING ENVIRONMENT

Fog computing concept is quite new but applied almost everywhere. This is due to the fact of intensive processed data capacity growth, so the cloud computing architectures, which were used successfully before, become insufficient in the conditions of Internet of Things (IoT). A workload allocation problem in heterogeneous computing environment is not new and has been solved many times. However, the known problem models neglect some special aspects of fog computing such as: inequality of computation nodes; mandatory participation of cloud layer in the computing

* Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 17-08-01605 и в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН на 2018г., № гр. проекта 01201354238.

process. The current paper focuses on the problem formalizing the workload allocation problem in view of fog computing special aspects by using the device "offload" strategy. In this case the task subgraph reallocation on some computing device subsets of fog layer takes place. A constraint which is peculiar to the fog computing is added to the workload allocation problem in heterogeneous computing environment. This is a multicriteria optimization problem with multiple constraints, which are determined by the system peculiarities, so the optimization problem is NP-hard. It puts a question of quality decisions getting in the limited time conditions. In this paper an approach based on the optimization problem search space reduction through the candidate computing device set selecting is proposed. An ontological approach is used for this purpose: ontology structure that classifies the reallocated subgraph respectively to available resources has been developed. The rules, which are based on developed ontology, apply to candidate nodes choosing for task subgraph allocation. This allows to efficiently reduce the solution search space.

Workload allocation; fog computing; distributed computing; Internet of Things, ontology; optimization problem.

Введение. В настоящее время концепция туманных вычислений получает повсеместное применение. Это связано с необходимостью оперативной обработки больших данных, порождаемых использованием концепции Интернета Вещей [1, 2]. Одной из известных в настоящее время моделей вычислений в туманных средах является разгрузка устройств, будь то конечное, пользовательское устройство, или облако [3].

В этом случае возникает необходимость перераспределения части вычислительной нагрузки на других устройствах, которые могут принадлежать к туманному слою. При этом к перераспределению назначается подграф информационно связанных подзадач, и возникает вопрос о наиболее оптимальном размещении данного подграфа относительно остаточного графа с учетом всех наложенных ограничений и критериев оптимальности.

Наложение графа задач на систему исполнителей не нова и тесно связана как с задачей построения расписаний [4, 5], так и с планированием вычислительного процесса для параллельных вычислительных систем (варианты оптимизации стоимости, времени, и т.д.) [6–9].

Однако, модель гетерогенной системы исполнителей не соответствует особенностям, характерным средам туманных вычислений:

- ♦ в среде туманных вычислений вычислительные узлы неравноправны, и одни могут быть предпочтительнее других в задаче размещения вычислительной нагрузки [10, 11];

- ♦ особенностью среды туманных вычислений является то, что туманные вычисления неотделимы от облачных, т.е. вычислительный процесс строится таким образом, чтобы часть вычислений обязательно выполнялась в облачном слое.

В данной статье предлагается модифицированная модель задачи распределения вычислительной нагрузки, учитывающая особенности среды туманных вычислений, для процедуры разгрузки устройств. Следует отметить, что формализованная задача является пр-сложной, что ставит вопрос о возможности ее решения в условиях дефицита времени.

Для сокращения времени решения задачи предлагается использовать подход, основанный на сокращении пространства поиска, а именно – выделение узлов-кандидатов на размещение задач посредством использования онтологического подхода [12, 13], для чего разработана онтология, определяющая специфику размещаемого подграфа задач с точки зрения возможных вариантов размещения. Разработанная онтологическая модель позволяет сформировать набор предварительных требований к вычислительным узлам и таким образом сократить пространство поиска в процессе решения оптимизационной задачи.

Постановка задачи. Сформулируем задачу разгрузки устройств (конечных или облачного слоя) следующим образом: при заданном ограничении на время решения всего комплекса задач и заданном подграфе задач, который необходимо разместить на устройствах туманного слоя, необходимо найти такое множество устройств туманного слоя, чтобы обеспечить минимальный разброс в значениях загрузки устройств туманного слоя в пределах выбранного домена и, помимо этого, обеспечить минимально возможную загрузку коммуникационной сети. Выбранные целевые функции обоснованы следующим: во-первых, выравнивание нагрузки устройств способствует повышению общей надежности системы [14–16], во-вторых, минимизация нагрузки коммуникационной сети соответствует основным положениям концепции туманных вычислений [17].

Пусть имеется ациклический направленный граф задач G , каждая вершина которого взвешена вычислительной сложностью x_i , а ребра объемами передаваемых между задачами данных w_{kl} . В графе G выделен подграф G' , который необходимо переразместить, при этом $G' \subset G$. Также имеется множество вычислительных устройств (ВУ), связанных коммуникационной средой, что образует ациклический ненаправленный граф P . При этом, в соответствии с концепцией туманных вычислений, граф G разбивается на три непересекающихся подграфа: P_{edge} – подграф конечных устройств, P_{fog} – подграф устройств туманного слоя, P_{cloud} – подграф устройств, входящих в облако. $P_{edge} \cup P_{fog} \cup P_{cloud} = P$; $P_{edge} \cap P_{fog} \cap P_{cloud} = \emptyset$. Каждая вершина графа P характеризуется производительностью, ребра взвешены значениями пропускной способности сетевой инфраструктуры.

Пусть имеется некоторое начальное распределение задач A , которое определяется матрицей:

$$A = \begin{pmatrix} \langle u_{11}, t_{11} \rangle & \langle u_{xy}, t_{xy} \rangle & \langle u_{1M}, t_{1M} \rangle \\ \langle u_{21}, t_{21} \rangle & & \\ \langle u_{N1}, t_{N1} \rangle & & \langle u_{NM}, t_{NM} \rangle \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где u_{NM} – доля вычислительного ресурса, занимаемая задачей N у ВУ M , t_{NM} – время назначения задачи N на ВУ M .

Новое размещение задач будет A' , определяемое другой привязкой задач к ВУ.

Введем ограничение, определяемое спецификой среды туманных вычислений.

$$\forall j, p_j \in P_{cloud}, \sum_{j=1}^{|P_{cloud}|} u_{ij} > 0, \quad (2)$$

что означает обязательное участие облачного слоя в вычислительном процессе.

Также введем ограничение на время выполнения комплекса задач:

$$\forall i, j: t_{ij} + \frac{x_i}{u_{ij} p_j} \leq T. \quad (3)$$

Еще одним важным ограничением является ограничение на суммарную загрузку ВУ:

$$\forall i, j: \sum_{i=1}^N u_{ij} \leq 1. \quad (4)$$

Кроме того, поскольку рассматривается задача размещения части графа задач, необходимо соблюдение следующего условия: задачи, находящиеся на выполнении, не подлежат перемещению.

Введем операцию сравнения элементов двух матриц A и A' :

$$\text{comp}(a_{ij}, a'_{ij}) = \begin{cases} 0, & g_j \equiv g'_j \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

То есть, функция $\text{comp}(a_{ij}, a'_{ij})=0$ только в том случае, если задача g_i размещенная на ВУ j не изменила своего расположения после перераспределения нагрузки.

Изложим это в виде ограничения для модели задачи:

$$\forall g_i \notin G': \forall i, j \text{ comp}(a_{ij}, a'_{ij}) = 0. \quad (6)$$

Целевая функция выравнивания нагрузки будут иметь следующий вид:

$$\forall j, k : F_1 = \sum_{i=1}^N u_{ij} - \sum_{i=1}^N u_{ik} \rightarrow \min, \quad (7)$$

что соответствует минимальному разбросу в значениях загрузки ВУ.

Сформулируем целевую функцию, описывающую коммуникационную нагрузку.

Рассмотрим следующий простейший случай (рис. 1):

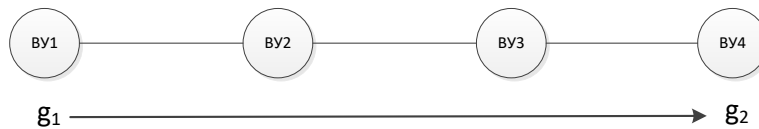


Рис. 1. Коммуникационная нагрузка на маршруте ВУ1-ВУ4

Пусть задачи g_1 и g_2 связаны передачей данных от g_1 до g_2 . В случае, когда g_1 расположена на ВУ1, как показано на рисунке, данные передаются через ВУ2 и ВУ3 и таким образом проходят весь путь до места размещения g_2 . Коммуникационная нагрузка, таким образом, может быть описана следующим образом:

$$L_0 = L_1 + L_2 + L_3,$$

где L_0 – суммарная коммуникационная нагрузка на маршрут ВУ, выраженная в объеме передаваемых данных;

L_1 – объем данных, передаваемых от ВУ1 к ВУ2;

L_2 – объем данных, передаваемых от ВУ2 к ВУ3;

L_3 – объем данных, передаваемых от ВУ3 к ВУ4.

В случае, если задачи g_1 и g_2 разместить другим образом, можно получить следующее (рис. 2):

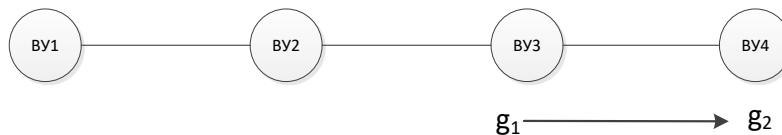


Рис. 2. Коммуникационная нагрузка на маршруте ВУ3-ВУ4

Тогда $L_0 = L_3$, что меньше, чем в рассмотренном перед этим случае.

Таким образом, опираясь на приведенные выше рассуждения, можно сформулировать требование распределения нагрузки в коммуникационной среде следующим образом: для каждой задачи, где в соответствии с информационным графом G суммарный поток входящих данных превышает суммарный поток исходящих, целесообразно производить размещение на ВУ таким образом, чтобы минимизировать расстояние до источника максимального потока данных.

Чтобы представить данное высказывание формально, введем следующие функции:

$j = get_CU(i)$, которая возвращает номер ВУ j , на котором размещена задача i ,

$D_{fh} = Dest_CU(f, h)$, которая возвращает расстояние между ВУ f и h в хопах.

Тогда критерий оценивания близости расположения будет иметь следующий вид:

$$Task_dest(g_i, g_l) = Dest_CU(get_CU(i), get_CU(l)), \quad (8)$$

а целевая функция с учетом (8) примет следующий вид:

$$\forall i, g_i \in G, w_{ki} = \max(W_i): F_2 = Dest_CU(get_CU(k), get_CU(i)) \rightarrow \min, \quad (9)$$

где W_i – множество входящих дуг в вершину i , w_{ki} – поток данных максимальной интенсивности.

Таким образом, приведем модель задачи размещения вычислительной нагрузки в случае решения задачи «разгрузки» конечных устройств.

При заданных G, G', P, A необходимо найти новое размещение A' , такое, что:

$$\forall j, k: F_1 = \sum_{i=1}^N u_{ij} - \sum_{i=1}^N u_{ik} \rightarrow \min;$$

$$\forall i, g_i \in G, w_{ki} = \max(W_i): F_2 = Dest_CU(get_CU(k), get_CU(i)) \rightarrow \min.$$

При выполнении ограничений:

$$\forall j, p_j \in P_{cloud}, \sum_{j=1}^{|P_{cloud}|} u_{ij} > 0;$$

$$\forall i, j: t_{ij} + \frac{x_i}{u_{ij} p_j} \leq T;$$

$$\forall i, j: \sum_{i=1}^N u_{ij} \leq 1$$

$$\forall g_i \notin G': \forall i, j: comp(a_{ij}, a'_{ij}) = 0.$$

И соблюдении следующих граничных условий:

$$i > 0; j > 0; t_{ij} > 0; 0 < u_{ij} < 1.$$

Сформулированная задача является многокритериальной с ограничениями и относится к классу NP-трудных, для которых не существует эффективных алгоритмов решения в условиях ограничения по времени. В то же время в процессе разгрузки устройств время является критичным фактором, в связи с чем поднимается актуальность вопроса о сокращении времени решения задачи.

В настоящее время разработано достаточное количество метаэвристик, универсальных и применяемых практически во всех предметных областях [18–21].

Однако при пространстве поиска большой размерности хорошие решения могут быть получены либо за большее количество итераций, либо посредством распараллеливания алгоритмов поисковой оптимизации. В рамках данной работы предлагается введение средств интеллектуального анализа данных в процедуру поиска решений с целью сокращения пространства поиска.

Онтологический подход к решению задачи распределения вычислительной нагрузки в средах туманных вычислений. Анализируя работы [22–25], были сделаны выводы о том, что в настоящее время применение различных механизмов эвристик позволяет произвести сокращение времени, необходимого для размещения задач по ВУ. Примерами эвристических правил могут служить следующие: сильно связанные информационно задачи целесообразно размещать на одном ВУ, задачи высокой вычислительной сложности целесообразно размещать на ВУ с более высокой производительностью и т.п. Иными словами, размещение задач следует производить с учетом структуры и вычислительной сложности размещаемых задач.

В данной работе предлагается использование онтологий для усечения множества узлов-кандидатов для размещения, учитывая структуру и особенности размещаемого подграфа G' .

Разработаем базовую онтологию, в соответствии с которой может быть принято решение о включении в пространство поиска того или иного ВУ.

Во-первых, подграф размещаемых задач целесообразно классифицировать по признаку связности подзадач: в случае, если G' является сильно связным, для его размещения целесообразно рассматривать устройства-кандидаты, расположенные близко друг к другу или даже на одном узле. В случае, если G' является слабо связанным, допускается размещение подзадач на узлах, расположенных на некотором расстоянии друг от друга (но при этом обязательно выполнение комплекса задач в срок). Кроме того, необходимо учитывать пропускную способность каналов связи, объединяющих узлы, и их текущую загрузку, равно как и текущую загрузку узлов.

Во-вторых, подграф размещаемых задач следует классифицировать не только по признаку связности задач, но и по объемам передаваемой информации между узлами. Если объемы передаваемой информации высоки, тогда целесообразно размещение подзадач либо на расположенных близко узлах. Либо на узлах, объединенных каналами связи с высокой пропускной способностью.

В-третьих, имеет значение интенсивность входящего и исходящего из G' потока данных. Очевидно, что в том случае, если входящий поток данных интенсивный, нецелесообразно размещать G' удаленно от входящих данных. Аналогичные рассуждения применимы к исходящему из G' потоку данных.

И, наконец, имеет значение первоначальное размещение G : если исходный граф выполнялся в облачном слое. Нецелесообразно переносить нагрузку на устройства туманного слоя, близкие к краевым устройствам и наоборот: в случае разгрузки пользовательских устройств нецелесообразно переносить G' в облачный слой.

На основе выделенных признаков классификации размещаемого подграфа была построена онтология, описывающая G' (рис. 3).

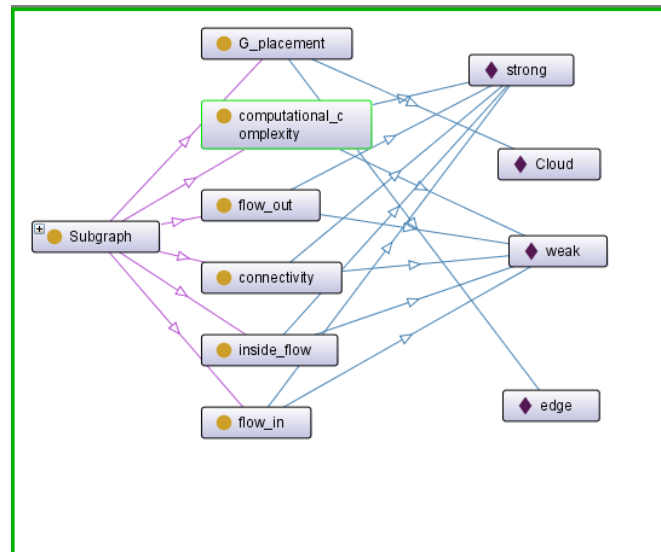


Рис. 3. Онтология размещаемого подграфа G'

На основе предложенной онтологии сформулируем требования к ВУ, которые будут включены в поисковое пространство:

1. Если $G_placement=cloud$, тогда включить в поисковое пространство ВУ, расположенные ближе к облачному слою, чем к краю сети.
2. Если $G_placement=edge$, тогда включить в поисковое пространство ВУ, расположенные ближе к краю сети.
3. Если $Computational_complexity=high$, тогда включить в поисковое пространство узлы с высокой производительностью.
4. Если $Computational_complexity=low$, тогда включить в поисковое пространство узлы с произвольной производительностью.
5. Если $flow_out=high$, тогда включить в поисковое пространство узлы, расположенные близко к узлам, где размещены задачи графа G приемники информации.
6. Если $flow_out=low$, тогда включить в поисковое пространство произвольные узлы.
7. Если $flow_in=high$, тогда включить в поисковое пространство узлы, расположенные близко к узлам, где размещены задачи-источники информации.
8. Если $flow_out=low$, тогда включить в поисковое пространство произвольные узлы.
9. Если $connectivity=high$, тогда включить в поисковое пространство узлы расположенные рядом.
10. Если $connectivity=low$, тогда включить в поисковое пространство произвольные узлы.
11. Если $inside_flow=high$, тогда включить в поисковое пространство узлы расположенные рядом и объединенные высокоскоростными каналами связи.
12. Если $inside_flow=low$, тогда требование 11 снимается.

Таким образом, опираясь на простые эвристики, можно сократить пространство поиска, выбирая для решения сформулированной задачи распределения нагрузки вполне определенные кандидаты-узлы.

Применение онтологического подхода для размещения задач в среде туманных вычислений. Рассмотрим возможность применения онтологического подхода на примере.

Например, будем считать, что задача, описанная графом G , выполнялась в облачном слое, как показано на рис. 4. При этом с целью разгрузки облачного слоя появилась необходимость перемещения части вычислительной нагрузки (подграф отмечен темным цветом) в туманный слой.

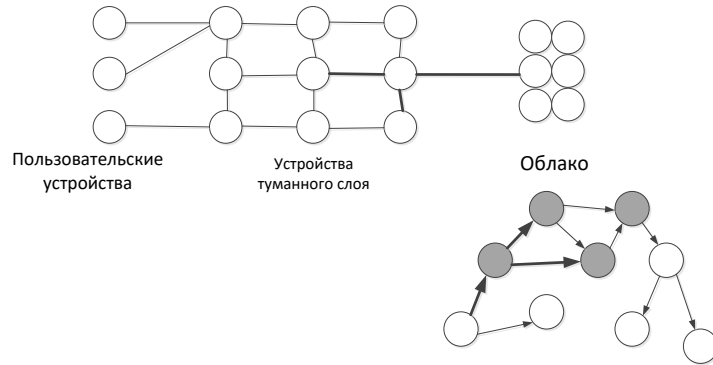


Рис. 4. Перераспределение нагрузки из облачного слоя в туманный

При этом для выделенного подграфа известно, что $flow_in=high$, также часть $inside_flow=high$, $computational_complexity=high$, $flow_out=low$.

В случае решения задачи размещения вычислительной нагрузки на полном наборе доступных узлов, должны быть оценены решения для всех узлов туманного слоя. В случае, если применить онтологический подход в совокупности с предварительной проверкой доступных ресурсов, изначальный набор кандидатов-узлов для размещения может быть уменьшен, например, как показано на рис. 5.

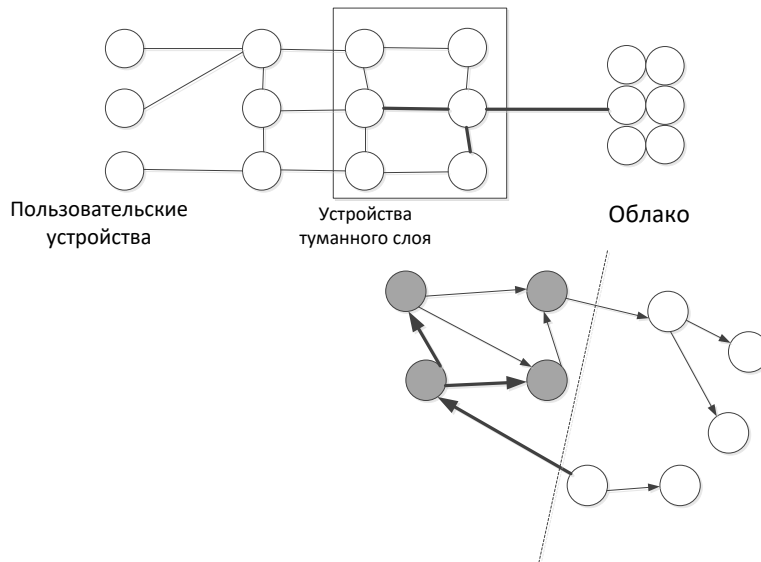


Рис. 5. Перераспределение подзадач на усеченном множестве узлов

При этом требование к узлам-кандидатам будет сформировано в соответствии с приведенными выше правилами:


```

    flow_in=high&    inside_flow=high&    computational_complexity=high&
flow_out=low ->
    {
        включить в поисковое пространство узлы, расположенные близко к узлам,
где размещены задачи-источники информации
    &
        включить в поисковое пространство узлы расположенные рядом и объеди-
ненные высокоскоростными каналами связи
    &
        включить в поисковое пространство узлы с высокой производительностью
    &
        включить в поисковое пространство произвольные узлы
    }

```

Иными словами, множество поиска ВУ для размещения подграфа сокращается путем наложения дополнительных ограничений и, таким образом, достигается сокращение перебора возможных вариантов размещения.

Следует отметить, что приведенный механизм выбора узлов-кандидатов для размещения подзадач может быть использован напрямую для начального размещения задач как точка инициации метаэвристических методов поисковой оптимизации.

Выводы. Данная статья посвящена вопросам распределения вычислительной нагрузки в средах туманных вычислений. Была сформулирована задача размещения нагрузки с учетом особенностей сред туманных вычислений для стратегии «разгрузки» вычислительных ресурсов. Предлагаемая модель задачи отличается от известных наличие ограничения, характерного для систем туманных вычислений и относится к классу пр-сложных, когда поиск удовлетворительного по качеству решения может занять недопустимо длительный промежуток времени. В связи с этим актуален вопрос ускорения поиска решений. В данной статье авторы предлагают онтологический подход, на основе которого возможно сокращения поискового пространства задачи оптимизации.

В статье разработана онтология, описывающая подграф размещаемых подзадач в соответствии с признаками, критичными при размещении нагрузки по вычислительным узлам, что также является новым.

На основе предлагаемой онтологии производится сокращение поискового пространства и тем самым сокращается время перебора узлов-кандидатов.

Также отобранные предварительно узлы могут использоваться для начального размещения задач в случае наличия вычислительных ресурсов при решении задачи размещения вычислительной нагрузки метаэвристическими методами поисковой оптимизации.

Направлением дальнейшей работы является экспериментальное исследование предложенного подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chiang M. and Zhang T. Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities // IEEE Internet of Things Journal. – 2016. – P. 854-864. Doi: 10.1109/JIOT.2016.2584538.
2. Bonomi F. et al. Fog Computing and Its Role in the Internet of Things // Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing. – 2012. – P. 13-16. Doi: 10.1145/2342509.2342513.
3. Moysiadis V., Sarigiannidis P. and Moscholios I. Towards Distributed Data Management in Fog Computing // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2018. Doi: 10.1155/2018/7597686.

4. *Pinedo M. L.* Scheduling: Theory, algorithms, and systems, fifth edition // Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Fifth Edition. – 2016. Doi: 10.1007/978-3-319-26580-3.
5. *Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В.* Теория расписаний. – М.: Наука, 1975. – 360 с.
6. *Барский А.Б.* Параллельные процессы в вычислительных системах: планирование и организация. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с.
7. *Хорошевский В.Г.* Архитектура вычислительных систем. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана. 2008. – 520 с.
8. *Гончар Д.Р., Фуругян М.Г.* Эффективные алгоритмы планирования вычислений в многопроцессорных системах реального времени // УБС. – 2014. – № 49. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnyye-algoritmy-planirovaniya-vychisleniy-v-mnogoprotseornyyh-sistemah-realnogo-vremeni> (дата обращения: 19.11.2018).
9. *Костенко В.А.* Задачи синтеза архитектур: формализация, особенности и возможности различных методов для их решения // Программные системы и инструменты: Тематический сборник. – 2000. – № 1. – М.: МАКС Пресс. – С. 31-41.
10. Cisco, Affiliates, and/or its affiliates. Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are. – 2015. Available at: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/computing-overview.pdf (дата обращения: 19.11.2018).
11. *Wang Y., Uehara T. and Sasaki R.* Fog computing: Issues and challenges in security and forensics // in Proceedings - International Computer Software and Applications Conference. – 2015. – P. 53-59. Doi: 10.1109/COMPSAC.2015.173.
12. *Noy N., McGuinness D.* Ontology development 101: a guide to creating your first ontology. stanford knowledge systems laboratory Technical report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical report SMI-2001-0880. – 2001.
13. *Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.* Инженерия знаний. Модели и методы: учебник. – СПб.: Лань, 2016. – 324 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/81565>.
14. *Melnik E.V., Klimenko A.B. and Ivanov D.Y.* Distributed Information and Control system reliability enhancement by fog-computing concept application // in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/2/022070.
15. *Melnik E.V. and Klimenko A.B.* Informational and control system configuration generation problem with load-balancing optimization // in Application of Information and Communication Technologies, AICT 2016 - Conference Proceedings. – 2017. Doi: 10.1109/ICAICT.2016.7991750.
16. *Klimenko A.B., Ivanov D. and Melnik E.V.* The configuration generation problem for the informational and control systems with the performance redundancy // in 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings. – 2016. Doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7910901.
17. *David Linthicum.* Edge computing vs. fog computing: Definitions and enterprise uses // CISCO. – URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/edge-computing.html>.
18. *Ingber L.* Very fast simulated re-annealing // Mathematical and Computer Modelling. – 1989. – No. 12 (8). – P. 967-973. Doi: 10.1016/0895-7177(89)90202-1.
19. *Dorigo M., Maniezzo V. and Colomi A.* Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics. – 1996. Doi: 10.1109/3477.484436.
20. *Iba H. and Aranha C.C.* Introduction to genetic algorithms // Adaptation, Learning, and Optimization. – 2012. Doi: 10.1007/978-3-642-27648-4_1.
21. *Goldberg D.E. and Holland J.H.* Genetic Algorithms and Machine Learning // Machine Learning. – 1988. Doi: 10.1023/A:1022602019183.
22. *Холод И.И.* Метод определения возможностей параллельного выполнения функций алгоритмов анализа данных // Программные продукты и системы. – 2018. – № 2. – С. 268-274.
23. *Холод И.И., Каршиев З.А.* Метод построения параллельных алгоритмов интеллектуального анализа данных из потоконезависимых функциональных блоков // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2013. – № 8. – С. 38-45
24. *Холод И.И.* Модели и методы построения параллельных алгоритмов анализа распределенных данных: дисс. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2018.
25. *Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г.* Самоорганизация в мультиагентных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 3 (104). – С. 14-20.

REFERENCES

1. Chiang M. and Zhang T. Fog and IoT: An Overview of Research Opportunities, *IEEE Internet of Things Journal*, 2016, pp. 854-864. Doi: 10.1109/JIOT.2016.2584538.
2. Bonomi F. et al. Fog Computing and Its Role in the Internet of Things, *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, 2012, pp. 13-16. Doi: 10.1145/2342509.2342513.
3. Moysiadis V., Sarigiannidis P. and Moscholios I. Towards Distributed Data Management in Fog Computing, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018. Doi: 10.1155/2018/7597686.
4. Pinedo M. L. Scheduling: Theory, algorithms, and systems, fifth edition, *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Fifth Edition*, 2016. Doi: 10.1007/978-3-319-26580-3.
5. Konvey R.V., Maksvell V.L., Miller L.V. Teoriya raspisaniy [Theory of scheduling]. Moscow: Nauka, 1975, 360 p.
6. Barskiy A.B. Parallelnye protsessy v vychislitel'nykh sistemakh: planirovanie i organizatsiya [Parallel processes in computing systems: planning and organization]. Moscow: Radio i svyaz', 1990, 256 p.
7. Khoroshevskiy V.G. Arkhitektura vychislitel'nykh sistem [Architecture of computing systems]. Moscow: Izd-vo MGTU imeni N.E. Baumana. 2008, 520 p.
8. Gonchar D.R., Furugyan M.G. Effektivnye algoritmy planirovaniya vychisleniy v mnogoprotssessornykh sistemakh real'nogo vremeni [Effective algorithms of calculation planning in multiprocessor real-time systems], *UBS [Large-Scale Systems Control]*, 2014, No. 49. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnye-algoritmy-planirovaniya-vychisleniy-v-mnogoprotssessornykh-sistemah-realnogo-vremeni> (accessed 19 November 2018).
9. Kostenko V.A. Zadachi sinteza arkhitektur: formalizatsiya, osobennosti i vozmozhnosti razlichnykh metodov dlya ikh resheniya [Problems of synthesis of architectures: formalization, features and possibilities of different methods for their solution], *Programmnye sistemy i instrumenty: Tematicheskii sbornik [Software systems and tools: Thematic collection]*, 2000, No. 1. Moscow: MAKS Press, pp. 31-41.
10. Cisco, Affiliates, and/or its affiliates. Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are, 2015. Available at: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/computing-overview.pdf (accessed 19 November 2018).
11. Wang Y., Uehara T. and Sasaki R. Fog computing: Issues and challenges in security and forensics, in *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference*, 2015, pp. 53-59. Doi: 10.1109/COMPSAC.2015.173.
12. Noy N., McGuinness D. Ontology development 101: a guide to creating your first ontology. stanford knowledge systems laboratory Technical report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical report SMI-2001-0880, 2001.
13. Gavrilova T.A., Kudryavtsev D.V., Muromtsev D.I. Inzheneriya znaniy. Modeli i metody: uchebnik [Knowledge engineering. Models and methods: tutorial]. Saint Petersburg: Lan', 2016, 324 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/81565>.
14. Melnik E.V., Klimenko A.B. and Ivanov D.Y. Distributed Information and Control system reliability enhancement by fog-computing concept application, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018. Doi: 10.1088/1757-899X/327/2/022070.
15. Melnik E.V. and Klimenko A.B. Informational and control system configuration generation problem with load-balancing optimization, in *Application of Information and Communication Technologies, AICT 2016 - Conference Proceedings*, 2017. Doi: 10.1109/ICAICT.2016.7991750.
16. Klimenko A.B., Ivanov D. and Melnik E.V. The configuration generation problem for the informational and control systems with the performance redundancy, in *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings*, 2016. Doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7910901.
17. David Linthicum. Edge computing vs. fog computing: Definitions and enterprise uses // CISCO. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/edge-computing.html>.
18. Ingber L. Very fast simulated re-annealing, *Mathematical and Computer Modelling*, 1989, No. 12 (8), pp. 967-973. Doi: 10.1016/0895-7177(89)90202-1.
19. Dorigo M., Maniezzo V. and Colomi A. Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 1996. Doi: 10.1109/3477.484436.

20. Iba H. and Aranha C.C. Introduction to genetic algorithms, *Adaptation, Learning, and Optimization*, 2012. Doi: 10.1007/978-3-642-27648-4_1.
21. Goldberg D.E. and Holland J.H. Genetic Algorithms and Machine Learning, *Machine Learning*, 1988. Doi: 10.1023/A:1022602019183.
22. Kholod I.I. Metod opredeleniya vozmozhnostey parallel'nogo vypolneniya funktsiy algoritmov analiza dannykh [Method for determining the capabilities of parallel functions of data analysis algorithms], *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems], 2018, No. 2, pp. 268-274.
23. Kholod I.I., Karshiev Z.A. Metod postroeniya parallel'nykh algoritmov intellektual'nogo analiza dannykh iz potokonezavisimykh funktsional'nykh blokov [A method of constructing parallel algorithms for data mining from photocontainer functional blocks], *Izvestiya SPbGETU «LETI»* [Izvestiya SPbGETU «LETI»], 2013, No. 8, pp. 38-45.
24. Kholod I.I. Modeli i metody postroeniya parallel'nykh algoritmov analiza raspredelennykh dannykh: diss. ... d-ra tekhn. nauk [Models and methods of construction of parallel algorithms for analysis of distributed data: dr. of eng. sc. diss.]. Saint Petersburg, 2018.
25. Kalyaev I.A., Gayduk A.R., Kapustyan S.G. Samoorganizatsiya v mul'tiagentnykh sistemakh [Self-organization in multi-agent systems], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2010, No. 3 (104), pp. 14-20.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н. А.В. Никитина.

Клименко Анна Борисовна – Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем им. А.В. Каляева; e-mail: anna_klimenko@mail.ru; г. Таганрог, пер. Смирновский 121, кв. 3; тел.: 89085067014; с.н.с.; к.т.н.

Сафроненкова Ирина Борисовна – Южный федеральный университет; e-mail: safronenkova050788@yandex.ru; г. Таганрог, ул. Чехова, 43, кв. 9; тел.: 89604678753; кафедра САПР; аспирант.

Klimenko Anna Borisovna – Research Institute of Multiprocessor Computation Systems n.a. A.V. Kalyaev; e-mail: anna_klimenko@mail.ru; Taganrog, Smirnovskiy street, 121, 3 apart.; phone: +79085067014; senior research; cand. of eng. sc.

Safronenkova Irina Borisovna – Southern Federal University; e-mail: safronenkova050788@yandex.ru; Taganrog, Chekova street, 43, 9 apart.; phone: +79604678753; the department of CAD; postgraduate student.

УДК 624.131:577.4

DOI 10.23683/2311-3103-2018-8-94-103

**Э.В. Мельник, М.В. Орда-Жигулина, А.А. Родина, Д.В. Орда-Жигулина,
Д.Я. Иванов**

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ*

В настоящее время мониторинг и прогнозирование опасных явлений осуществляется различными организациями и ведомствами, каждое из которых применяет свои собственные системы. Эти системы отличаются номенклатурой исходных данных и методами их сбора, обработки и хранения, имеют разную архитектуру, правовое обеспечение. В данной работе рассмотрены вопросы организации сбора и обработки данных в системе мониторинга и прогнозирования опасных явлений и обеспечения безопасности населения и береговой инфраструктуры на базе таких технологий цифровой экономики, как туманные вычисления, промышленный интернет вещей и распределенный реестр. Показано, что в рамках реализации ранее предложенного авторами «комбинированного» метода организации сис-

* Публикация подготовлена в рамках реализации проекта РФФИ №18-05-80092.