

УДК 519.168+519.687

# ФОРМИРОВАНИЕ СООБЩЕСТВ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАДАЧ В СРЕДЕ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

**Э.В. Мельник**

*Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук*  
344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41  
E-mail: [Evm17@mail.ru](mailto:Evm17@mail.ru)

**А.Б. Клименко**

*Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем им. А.В. Каляева  
(НИИ МВС) Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Южный федеральный университет»*  
347922, ЮФО, Ростовская область, г. Таганрог, ул. Чехова, 2  
E-mail: [anna\\_klimenko@mail.ru](mailto:anna_klimenko@mail.ru)

**Ключевые слова:** информационно-управляющая система, распределение задач, сообщества, оптимизация, туманные вычисления, облачные вычисления.

**Аннотация:** при размещении множества вычислительных задач в среде туманных вычислений с учетом информационной связи размещаемых задач с «облачным» слоем возникает вопрос о решении задачи составления расписания (распределения вычислительной нагрузки) для подмножества вычислительных устройств, которое, во-первых, не статично, во-вторых, может оказаться слишком велико, что приводит к отсутствию каких-либо гарантированных сроков получения решений, удовлетворительных по качеству. Динамическое формирование сообществ устройств позволяет, во-первых, сократить время решения задачи размещения за счет существенного сокращения пространства поиска, во-вторых, изложенный в статье метод опирается на формирование сообществ на основе локальных групп устройств, что гарантирует наличие между устройствами коммуникационной среды необходимого качества.

## 1. Введение

Рассматривая процедуру размещения задач в распределенных информационно-управляющих системах (ИУС) на основе туманных вычислений, необходимо отметить следующее. Во-первых, в постановках, предложенных в [1-5], с учетом возможности размещения нескольких задач на устройстве, задача относится к классу пр-сложных, что порождает проблему получения решений приемлемого качества за фиксированное время. Именно получение гарантированного решения в процессе размещения задач ИУС является важным при формировании решений в процессе функционирования системы, поскольку ИУС в большинстве своем являются системами реального времени [1]. В то же время фиксированное время поиска решений может не дать решения, которое бы удовлетворяло по качеству, либо вообще не дать решения, удовлетворяющего ограничениям задачи. Одним из подходов, решающих данную проблему, является разработка всех допустимых конфигураций системы на этапах проектирования и разра-

ботки, однако, для сред туманных вычислений этот подход едва ли применим за счет наличия некоторой динамики узлов туманного слоя и их количества.

Вторым немаловажным аспектом размещения задач ИУС является выход за пределы «облака». Как правило, облачная инфраструктура размещается в датацентре [6], где вычислительные узлы имеют между собой каналы связи достаточной пропускной способности. Это невозможно гарантировать в пределах «туманного» слоя, и поэтому коммуникационная среда обладает свойством гетерогенности. Этот фактор вносит дополнительные ограничения в формулировку задачи распределения задач ИУС по вычисляющим устройствам (ВУ): необходимо учитывать еще и расстояние между узлами, где будут функционировать задачи. Чем дальше узлы разнесены друг от друга, тем большее количество раз передаваемые данные подлежат передаче через транзиторные узлы, и это соответственно вносит изменения во время доставки информации от задачи к задаче.

В-третьих, при этом также учитывается дополнительная нагрузка, порождаемая передачей транзиторных данных, которая подсчитывается алгоритмически и не может быть выражена аналитической формулой в процессе формирования математической модели задачи [7].

И, наконец, в четвертых, если вести речь о надежности показателей узлов туманного слоя (ВБР, например), в работе [8] показано, что размещение задач по узлам системы, сформированное в момент времени  $t_1$  не гарантирует, что такое же размещение, примененное в момент времени  $t_2$  будет столь же целесообразно.

Учитывая перечисленное, можно сделать следующие выводы: задача размещения задач ИУС по узлам туманного слоя является задачей высокой вычислительной сложности. При этом сформированные на этапе проектирования размещения не всегда дают должный результат в аспекте надежности характеристик. Это приводит к необходимости разработки методов динамического формирования сообществ узлов для решения задач ИУС, что и является целью данной статьи.

## 2. Формирование сообществ устройств

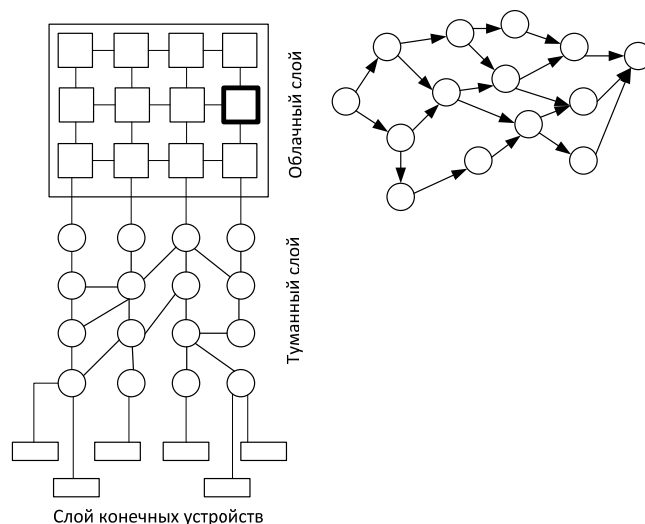
Одной из типовых схем функционирования инфраструктуры туманных вычислений является перемещение нагрузки из «облачного» слоя в «туманный» с целью разгрузки устройств [9]. Также возможны варианты перемещения нагрузки между устройствами «туманного» слоя и перемещения нагрузки с конечных устройств в «туманный» слой.

Процедура переноса нагрузки в трех случаях может быть описана в виде общей схемы:

- определение подграфа взаимосвязанных вычислительных задач, которые необходимо переразместить;
- составление плана размещения (решение задачи размещения);
- запуск задач на узлах, за которыми они закреплены в соответствии с новым планом размещения.

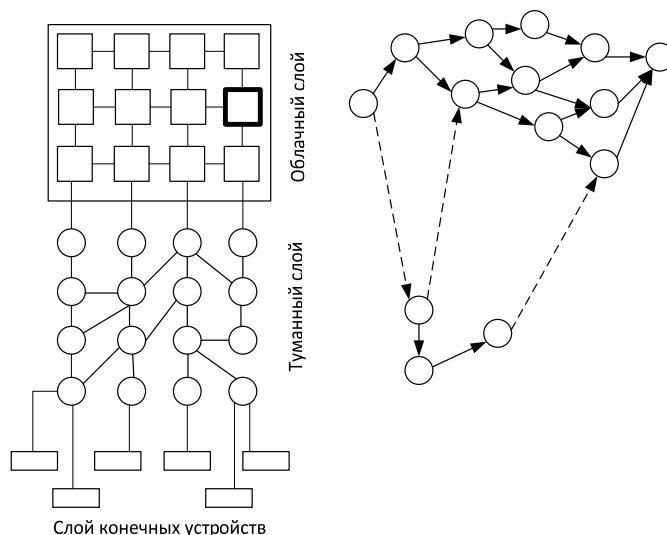
Поскольку приведенная схема применима для различных вариантов переноса вычислительной нагрузки, далее будем рассматривать процесс формирования сообществ устройств на примере переноса нагрузки из «облака» в «туманный» слой.

На рис. 1 и рис. 2 приведен пример ситуации, когда происходит переразмещение задач.



**Рис. 1.** Схема начального размещения задач ИУС.

На рис. 1 выделен узел облачного слоя, с которого необходимо переместить задачи. Будем полагать, что все прочие узлы облачного слоя не могут принять дополнительную нагрузку, соответственно, нагрузка перемещается в «туманный» слой (рис. 2).



**Рис. 2.** Выделенный подграф для размещения в туманном слое.

В соответствии с концепцией «туманных» вычислений, далее устройство туманного слоя должно определить, на какие устройства могут быть размещены задачи. Следует отметить следующее: поскольку за пределами «облачного» слоя сетевая инфраструктура может носить ярко выраженный гетерогенный характер, она может быть представлена как множество связанных друг с другом кластеров. В рамках гранта РФФИ №14-08-00776 в основу распределения решаемых подзадач легло понятие локальной группы устройств. Локальная группа формируется на основе следующих правил:

- в локальную группу входят все ВУ одного кластера;
- все ВУ других кластеров, на которых решаются подзадачи, связанные с подзадачами, решаемыми на данном ВУ;
- ВУ других кластеров, с которыми у данного ВУ есть прямые каналы связи.

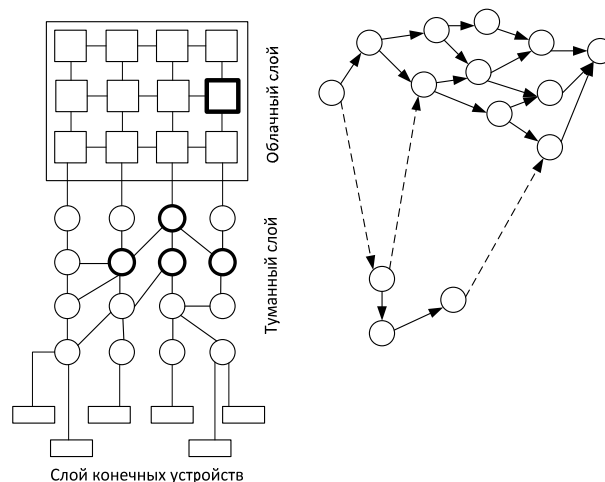
При динамическом формировании сообществ устройств необходимо ввести ограничение на количество узлов-кандидатов в сообщество (что пространство поиска должно быть ограничено), поэтому целесообразно при расширении сообщества опираться на понятие локальных групп. Иными словами, смежные локальные группы устройств позволяют из всего множества узлов «туманного» слоя выбрать узлы, коммуникация между которыми является наиболее доступной и легко реализуемой.

Определим в рамках данной работы понятие «сообщество»: сообществом является совокупность узлов, решающих подзадачи одной ЗУ. Сообщество строится на основе локальных групп, но если ближайшие локальные группы не в состоянии предоставить требуемые ресурсы, происходит расширение сообщества за счет подключения узлов, инцидентных узлам текущей локальной группы. Необходимо отметить, что поскольку сообщество строится по признаку решения связанных подзадач, один узел может входить в несколько сообществ в зависимости от имеющихся ресурсов.

## 2. Метод формирования сообщества устройств на основе локальных групп

После того, как узел получил подграф комплекса задач, он должен принять решение о формировании сообщества ВУ для дальнейшего их размещения. Формирование сообщества является двухфазным: первая фаза – определение кандидатов для вступления в сообщество (на основе локальных групп), вторая фаза – формирование сообщества и размещение задач.

Будем считать целесообразным иницирующее выделение кандидатов в сообщество из числа ВУ, составляющих локальную группу с ВУ принимающим решение и помимо этого находящихся в одном ярусе с ним. Если ситуация такова, как представлена на рис. 10, т.е. ВУ «облачного» слоя не составляет ни с одним ВУ туманного слоя локальной группы, то принимающий решение иницирующий узел выбирается по результатам анализа критериев загруженности, производительности и скорости передачи данных входящих и исходящих каналов связи. Если принимающий решение узел не составляет локальной группы ни с одним узлом того же яруса относительно облачного слоя, то целесообразно выбрать в кандидаты для формирования группы любые имеющиеся ВУ, составляющие локальную группу, как показано на рис. 3.



**Рис. 3.** Кандидаты на формирование сообщества, не составляющие локальную группу с исходным узлом.

Далее ВУ принимает решение о включении узлов-кандидатов в сообщество.

Для этого производится опрос кандидатов на предмет их участия в других сообществах. Если узел-кандидат не участвует в других сообществах, он не может отклонить приглашение. Если узел-кандидат участвует в других сообществах, то он может принять участие в группе в сообществе, если полученная дополнительная нагрузка не превысит допустимую в соответствии с необходимым уровнем значений ВБР.

При таком подходе возможны следующие варианты развития событий:

- 1) Сформировано сообщество. Далее решается задача размещения задач. Если получено решение удовлетворительного качества, то задачи размещаются в соответствии с полученным вариантом размещения.
- 2) Сформировано сообщество, но задача размещения не может быть решена или же решения получаются неудовлетворительного качества в силу отсутствия достаточных вычислительных ресурсов.
- 3) Сообщество не может быть сформировано по причине отсутствия узлов с достаточными ресурсами, входящими в локальную группу.

В случае 1, когда сформировано сообщество, задача размещения, поскольку является NP-сложной, может быть решена параллельно на всех ВУ сообщества с выбором наилучшего решения. Как показали эксперименты, проводимые ранее и опубликованные в работах [10, 11], применение параллельных реализаций алгоритмов поисковой оптимизации (например, имитации отжига), позволяют существенно ускорить процесс получения приемлемого по качеству решения.

В случае 2, когда сообщество сформировано, но задача размещения не может быть решена, каждый член сообщества выполняет процедуру дополнения сообщества путем опроса собственной локальной группы и ее присоединения к сообществу. Производится повторное решение задачи размещения. Данная ситуация проиллюстрирована на рис. 4.

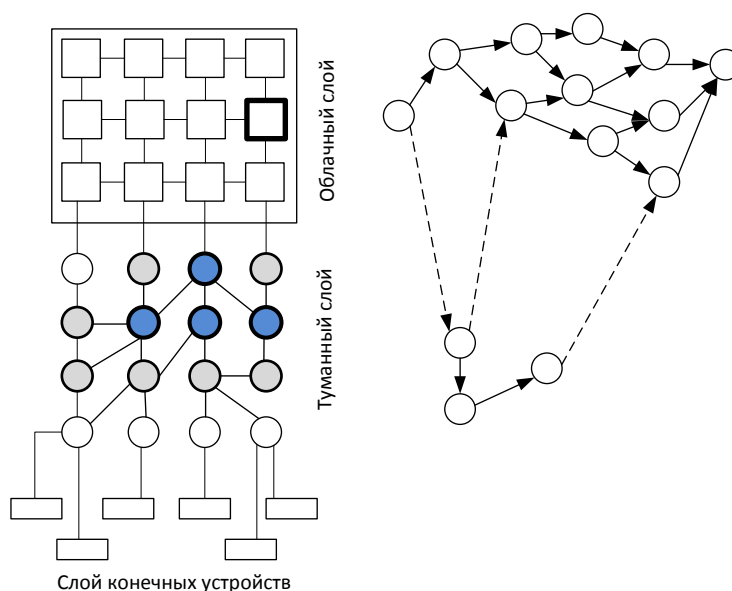
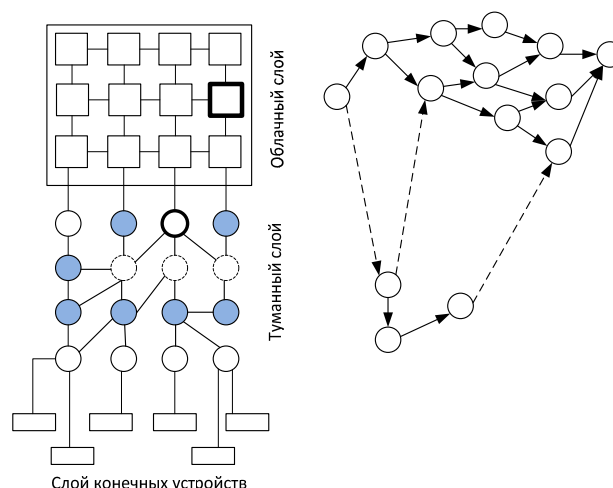


Рис. 4. Дополнение сообщества за счет членов локальных групп.

В случае 3, когда сообщество не может быть сформировано, каждый член локальной группы узла, принимающего решение, выполняет процедуру дополнения сообщества путем опроса собственной локальной группы, после чего решается задача распределения задач (рис. 5).



**Рис. 5.** Формирование сообщества из членов локальных групп узлов, которые не вступили в сообщество.

Таким образом, происходит поэтапное расширение круга кандидатов в сообщество, при этом их множество остается ограниченным, что позволяет решать задачу размещения на меньшем пространстве решений, чем это было бы в случае, например, рассмотрения в качестве кандидатов всех узлов туманного слоя домена.

### 3. Заключение

В данной статье предложен метод динамического формирования сообществ устройств для решения вычислительных задач ИУС. В условиях нецелесообразности и невозможности проектирования допустимых конфигураций ИУС на основе туманных вычислений, динамическое формирование сообществ на основе локальных групп позволяет ограничить число узлов – кандидатов в сообщество и тем самым делает задачу размещения разрешимой. Характерная особенность локальных групп – наличие надежной и высокоскоростной коммуникационной среды – целесообразна с точки зрения обеспечения информационного обмена внутри сообщества, в то время как новое, расширенное сообщество включает не только узлы, на которых продолжается решение не подлежащих перераспределению вычислительных задач, но и узлы, на которые были перенесены задачи ИУС.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (17-08-01605, 18-29-22086) и ГЗ ЮНЦ РАН № гр. проекта АААА-А19-119011190173-6.

### Список литературы

1. Каляев И.А., Мельник Э.В. Децентрализованные системы компьютерного управления. Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2011. 196 с.
2. Барский А.Б. Параллельные процессы в вычислительных системах. Планирование и организация. М.: Радио и связь, 1990.
3. Pinedo M.L. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems / Fifth Edition. 2016. doi: 10.1007/978-3-319-26580-3.

4. Melnik E., Klimenko A. Agent-Based Approach to Distributed Information and Control System Reconfiguration // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. doi: 10.1007/978-3-319-67618-0\_18.
5. Melnik E.V., Klimenko, A. B. Informational and control system configuration generation problem with load-balancing optimization // *Application of Information and Communication Technologies AICT 2016. Conference Proceedings*. 2016. doi: 10.1109/ICAICT.2016.7991750.
6. Hu P. et al. Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues // *Journal of Network and Computer Applications*. 2017. P. 27-42. doi: 10.1016/j.jnca.2017.09.002.
7. Мельник Э.В., Клименко А.Б. Модели задач распределения вычислительной нагрузки в среде туманных вычислений // *Сборник научных трудов V Международной конференции «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». В 2-х частях. Часть 2 / Под ред. О.Г. Берестневой, А.А. Мицеля, В.В. Спицына, Т.А. Гладковой. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. 487 с.*
8. Melnik E., Klimenko A., Klimenko V. A Recovery Technique for the Fog-Computing-Based Information and Control Systems // Silhavy R., Silhavy P., Prokopova Z. (Eds.) *Intelligent Systems in Cybernetics and Automation Control Theory CoMeSySo 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 860. Springer, 2019.
9. Moysiadis V., Sarigiannidis P., Moscholios I. Towards Distributed Data Management in Fog Computing // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2018. doi: 10.1155/2018/7597686.
10. Klimenko A.B., Klimenko V.V., Melnik E.V. The parallel simulated annealing-based reconfiguration speedup algorithm for the real time distributed control system fault-tolerance providing // *9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies AICT 2015. Conference Proceedings*. 2015. doi: 10.1109/ICAICT.2015.7338562.
11. Alba E. *Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms*, *Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms*. 2005. doi: 10.1002/0471739383.