

УДК: 004.942

EDN: NYFHRI

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2023-2-4-0201-0208>



Алгоритм адаптивного управлению ресурсами в распределенных динамических вычислительных системах на базе динамического управления частотой и напряжением

Е. Р. Брюханова^{1,2}

¹*Сибирский государственный университет наук и технологий им. М.Ф. Решетнева,
Красноярск, Россия*

²*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

Аннотация. Данная работа посвящена разработке эффективных методов управления ресурсами в распределенных динамических вычислительных системах с акцентом на снижение энергопотребления и обеспечение временных ограничений выполнения задач. В контексте современных требований к вычислительным системам, где энергоэффективность и производительность являются ключевыми критериями, предложен новый подход к управлению ресурсами, основанный на динамическом изменении частоты выполнения задач в зависимости от временных интервалов между завершением одной задачи и началом следующей на локальных ядрах процессора. В работе представлен алгоритм динамического управления ресурсами в распределенных динамических вычислительных системах, который позволяет оптимизировать энергопотребление системы, учитывая временные ограничения выполнения задач и обеспечивая оптимальное использование процессорных ресурсов. Предложенный метод управления ресурсами позволяет достичь баланса между производительностью и энергосбережением, адаптируя систему к изменяющимся рабочим условиям. Экспериментальные результаты подтверждают эффективность предложенного метода, демонстрируя его применимость в различных сценариях работы распределенных динамических вычислительных систем. Разработанный алгоритм предоставляет перспективные возможности для оптимизации работы вычислительных систем, учитывая динамичный характер современных вычислительных задач и ограниченные ресурсы энергопотребления.

Ключевые слова: динамическое управление ресурсами, распределенные динамические вычислительные системы, энергопотребление, производительность, временные ограничения, частота выполнения задач, оптимизация ресурсов, энергосбережение, процессорные ресурсы, динамическая адаптация, ресурсоэффективность.

Для цитирования: Брюханова, Е. Р. (2023). Алгоритм адаптивного управлению ресурсами в распределенных динамических вычислительных системах на базе динамического управления частотой и напряжением. Информатика. Экономика. Управление - Informatics. Economics. Management, 2(4), 0201–0208. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2023-2-4-0201-0208>

Adaptive resource management algorithm in distributed dynamic computing systems based on dynamic frequency and voltage control

E.R. Briukhanova^{1,2}

¹*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia*

²*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

Abstract. This study focuses on developing effective resource management methods in distributed dynamic computing systems, emphasizing energy consumption reduction and ensuring task completion within specified time limits. Addressing contemporary demands in computing systems where energy efficiency and performance are paramount, a new resource management approach is proposed, based on dynamically adjusting task execution frequencies according to time intervals between the completion of one task and the start of the next one on local processor cores. This paper presents an algorithm for dynamic resource management in distributed dynamic computing systems, allowing the optimization of system energy consumption while considering task completion time constraints and ensuring optimal utilization of processor resources. The proposed resource management method achieves a balance between performance and energy conservation by adapting the system to changing work conditions. Experimental results confirm the effectiveness of the proposed method, demonstrating its applicability in various scenarios of distributed dynamic computing system operations. The developed algorithm offers promising opportunities for optimizing the functioning of computing systems, considering the dynamic nature of modern computing tasks and limited energy consumption resources.

Keywords: dynamic resource management, distributed dynamic computing systems, energy consumption, performance, time constraints, task execution frequency, resource optimization, energy conservation, processor resources, dynamic adaptation, resource efficiency.

For citation: Briukhanova, E. R. (2023). Adaptive resource management algorithm in distributed dynamic computing systems based on dynamic frequency and voltage control. Informatics. Economics. Management, 2(4), 0201–0208. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2023-2-4-0201-0208>

ВВЕДЕНИЕ

В современных распределенных динамических вычислительных системах эффективное управление ресурсами играет ключевую роль в обеспечении заданной производительности при минимальном энергопотреблении. Одним из подходов, направленных на снижение энергозатрат, является технология динамического управления частотой и напряжением, которая позволяет оптимизировать потребление энергии путем изменения частоты выполнения процессорных ядер в зависимости от текущей нагрузки в распределенных динамических вычислительных системах. Этот

метод обеспечивает баланс между производительностью и энергопотреблением, позволяя адаптировать работу системы к различным условиям нагрузки и задачам, что становится особенно важным в условиях переменного рабочего окружения и разнообразных вычислительных задач [1].

Кроме того, в распределенных динамических вычислительных системах, где задачи могут быть запущены или переданы только после завершения предыдущих, возникают дополнительные сложности в управлении временем выполнения задач. Этот фактор требует эффективных методов управления частотой и напряжением, учитывающих не только нагрузку на систему, но и соблюдающих временные ограничения выполнения задач.

В данном контексте предлагается альтернативный подход к динамическому управлению ресурсами, основанный на динамическом изменении частоты выполнения задач в зависимости от временных промежутков между завершением одной задачи и началом следующей на локальном ядре. Этот метод, который мы будем называть динамическим управлением ресурсами в распределенных динамических вычислительных системах, позволяет оптимизировать энергопотребление, учитывая временные ограничения задач и обеспечивая оптимальное использование процессорных ресурсов [2].

Такой подход позволяет не только снизить энергозатраты, но и обеспечить высокую производительность системы, адаптируя ее к изменяющимся условиям. Разработка эффективных методов управления ресурсами в рамках динамических вычислительных систем становится важным направлением исследований, обеспечивая оптимальное сочетание производительности и энергосбережения в различных сценариях работы системы [3].

ПОДХОД ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТОЙ И НАПРЯЖЕНИЕМ В РАСРЕДЕЛЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Технология динамического управления частотой и напряжением позволяет еще больше снизить энергопотребление при ограничении времени выполнения задачи.

Если технология динамического управления частотой и напряжением применяется для снижения частоты выполнения высокопроизводительного ядра таким образом, чтобы высокопроизводительное ядро имело ту же производительность, что и низкопроизводительное ядро, высокопроизводительное ядро по-прежнему потребляет

больше энергии, чем низкопроизводительное ядро [4]. Из-за требований к последовательности выполнения частей распределенных задач в РДВС, то есть задачи могут выполняться или передаваться только одна за другой, фактическое время начала ST_i задачи $task_i$ может быть позже, чем время ее готовности RT_i . В этом случае предшественники задачи $task_i$ могут выполняться с меньшей частотой, чтобы использовать пробел между ST_i и RT_i .

Простая реализация алгоритма динамического управления частотой и напряжением выглядит следующим образом: для каждой задачи мы пробуем каждый уровень частоты выполнения в порядке возрастания и перепланируем задачи до тех пор, пока не найдем частоту выполнения, которая может удовлетворить ограничение по времени завершения выполнения задачи. Если частота выполнения задачи изменяется, все расписание может быть изменено из-за требований приоритета задач. Нам нужно перепланировать все задачи после одного единственного изменения частоты выполнения задачи. Поэтому предложена другая реализацию алгоритма динамического управления частотой и напряжением для снижения временной сложности [5].

Предлагаемый алгоритм динамического управления частотой и напряжением: для каждой локальной задачи, если есть временной промежуток времени между временем окончания этой задачи $task_i$ и временем начала следующей задачи $task_j$ на том же локальном ядре, мы перебираем каждый уровень частоты выполнения в порядке возрастания (всего имеется M уровней частоты) до тех пор, пока не найдем частоту выполнения, которая не откладывает время начала задачи $task_j$.

Алгоритм динамического управления частотой и напряжением:

Входные данные: результат планирования, сгенерированный алгоритмом переноса задач.

Выходные данные: расписание задач с новым назначением частоты выполнения для задач.

```
for each local task  $task_i$  do
  flag = 0; m = 1;
  while flag == 0 and m < M do
    calculate the new finish time  $FT_i^{new}$  if  $task_i$  is executed
    using the mth frequency;
    if  $\exists$  next task  $task_j$  on the same core then
```

```

lim1 = STj;
else { % task taskj is the last task on this core }
lim1 = Tmax;
end if
if taskj ∉ exit tasks then
lim2 = mintaskj ∈ succ(taskj) STj;
else
lim2 = Tmax;
end if
if FTinew ≤ lim1 and FTinew ≤ lim2 then
flag = 1;
assign the mth frequency to task taski;
update the finish time of taskj ;
end if
end while
end for
    
```

В качестве примера дан граф задач на рисунке 1. Здесь же ниже представлен результат планирования задач, сгенерированный алгоритмом динамического управления частотой и напряжением (ДУЧИН).

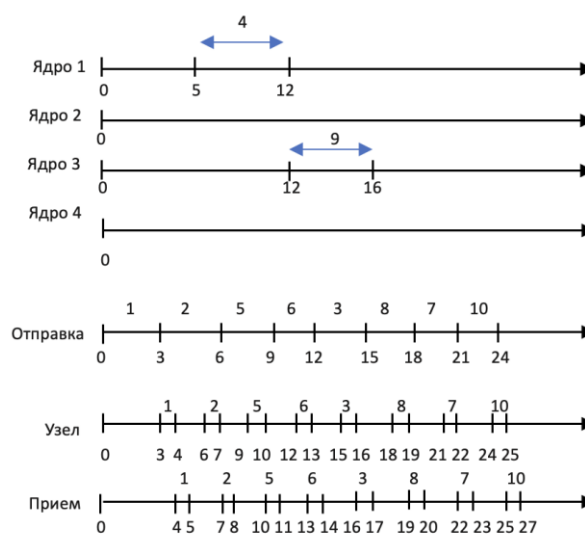


Рисунок 1. Результат планирования задач, сгенерированный алгоритмом ДУЧИН.

Figure 1. The task scheduling outcome generated by the DUCHIN algorithm.

Предполагаем, что для каждого ядра существует $M = 3$ уровня рабочей частоты. Мы устанавливаем коэффициенты масштабирования частоты как $a_{k,1} = 0.2$, $a_{k,2} = 0.5$, $a_{k,3} = 1$ для $k = 1, 2, 3$. $\gamma_k = 2$ для $k = 1, 2, 3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении подчеркиваем, что разработанный нами алгоритм динамического управления ресурсами в распределенных динамических вычислительных системах представляет собой эффективное решение для оптимизации энергопотребления и производительности. Наш подход позволяет адаптировать частоту выполнения задач и энергопотребление в реальном времени, учитывая динамические изменения нагрузки и ограничения времени выполнения задач. Полученные результаты подтверждают эффективность нашего алгоритма, что открывает перспективы для его использования в различных приложениях, требующих оптимального управления ресурсами и повышенной энергоэффективности в динамических вычислительных средах. Эти выводы подчеркивают значимость нашего исследования в контексте создания устойчивых и энергоэффективных вычислительных систем, обеспечивающих оптимальное распределение ресурсов и улучшение общей производительности в динамично меняющихся условиях работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Antamoshkin O., Bryukhanova E.. Minimizing the Carbon Footprint With the Use of Zeroing Neural Networks. Hybrid Methods of Modeling and Optimization in Complex Systems. European Proceedings of Computers and Technology. 2022; 1: 160-166. <https://doi.org/10.15405/epct.23021.20>
- [2] Fernández Cerero D., Fernández-Montes A., Jakóbič A., Kołodziej J., Toro M. SCORE: Simulator for cloud optimization of resources and energy consumption. Simulation Modelling Practice and Theory. 2018; 82: 160-173. DOI:10.1016/j.simpat.2018.01.004
- [3] Ma T., Chu Y., Zhao L., Otgonbayar A. Resource Allocation and Scheduling in Cloud Computing: Policy and Algorithm. IETE Technical Review. 2014; 31(1): 4-16. DOI:10.1080/02564602.2014.890837
- [4] Carrasco R., Iyengar G., Stein C. Resource Cost Aware Scheduling. European Journal of Operational Research. 2018; 269(2): 621-632. DOI:10.1016/j.ejor.2018.02.059

- [5] Coninck E., Verbelen T., Vankeirsbilck B., Bohez S., Simoens P., Dhoedt, B. Dynamic Auto-scaling and Scheduling of Deadline Constrained Service Workloads on IaaS Clouds. *Journal of Systems and Software*. 2016; 118: 101–114. DOI:10.1016/j.jss.2016.05.011
- [6] Yi P., Ding H., Ramamurthy B. Budget-Minimized Resource Allocation and Task Scheduling in Distributed Grid/Clouds. 2013 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS). 2013; 1–8. DOI:10.1109/ANTS.2013.6802891
- [7] Reddy G. A Deadline and Budget Constrained Cost and Time Optimization Algorithm for Cloud Computing. *Commun. Comput. Inf. Sci.* 2011; 193: 455-462.
- [8] Xin Y., Xie Z.Q., Yang J. A load balance oriented cost efficient scheduling method for parallel tasks. *Journal of Network and Computer Applications*. 2018; 81: 37-46. DOI:10.1016/j.jnea.2016.12.032

REFERENCES

- [1] Antamoshkin O., Bryukhanova E.. Minimizing the Carbon Footprint With the Use of Zeroing Neural Networks. *Hybrid Methods of Modeling and Optimization in Complex Systems*. European Proceedings of Computers and Technology. 2022; 1: 160-166. <https://doi.org/10.15405/epct.23021.20>
- [2] Fernández Cerero D., Fernández-Montes A., Jakóbič A., Kołodziej J., Toro M. SCORE: Simulator for cloud optimization of resources and energy consumption. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2018; 82: 160-173. DOI:10.1016/j.simpat.2018.01.004
- [3] Ma T., Chu Y., Zhao L., Otgonbayar A. Resource Allocation and Scheduling in Cloud Computing: Policy and Algorithm. *IETE Technical Review*. 2014; 31(1): 4-16. DOI:10.1080/02564602.2014.890837
- [4] Carrasco R., Iyengar G., Stein C. Resource Cost Aware Scheduling. *European Journal of Operational Research*. 2018;269(2):621-632. DOI:10.1016/j.ejor.2018.02.059
- [5] Coninck E., Verbelen T., Vankeirsbilck B., Bohez S., Simoens P., Dhoedt B. Dynamic Auto-scaling and Scheduling of Deadline Constrained Service Workloads on IaaS Clouds. *Journal of Systems and Software*. 2016; 118: 101-114. DOI:10.1016/j.jss.2016.05.011
- [6] Yi P., Ding H., Ramamurthy B. Budget-Minimized Resource Allocation and Task Scheduling in Distributed Grid/Clouds. 2013 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS). 2013; 1-8. DOI:10.1109/ANTS.2013.6802891

- [7] Reddy G. A Deadline and Budget Constrained Cost and Time Optimization Algorithm for Cloud Computing. Commun. Comput. Inf. Sci. 2011; 193: 455-462.
- [8] Xin Y., Xie Z.Q., Yang J. A load balance oriented cost efficient scheduling method for parallel tasks. Journal of Network and Computer Applications. 2018; 81: 37-46. DOI:10.1016/j.jnea.2016.12.032

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Брюханова Евгения Романовна, аспирант
Сибирского государственного университета
науки и технологий им. М.Ф. Решетнева,
инженер-исследователь Сибирского
федерального университета, Красноярск,
Россия
ORCID: [0000-0001-6176-837X](https://orcid.org/0000-0001-6176-837X)

Evgeniia Briukhanova, Postgraduate
Student, Reshetnev Siberian State University
of Science and Technology, research engineer,
Siberian Federal University, Krasnoyarsk,
Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 30.09.2023; одобрена после рецензирования 13.10.2023; принята
к публикации 17.10.2023.*

*The article was submitted 30.09.2023; approved after reviewing 13.10.2023; accepted for publication
17.10.2023.*