

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ МУЛЬТИПРОЕКТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ И СРЕДСТВА ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Клеванский Н.Н., Красников А.А.

Ключевые слова: мультипроектное планирование, комбинаторный аукцион, распределение ресурсов, методы ранжирования.

Аннотация. Многие производственные задачи в промышленности могут быть определены как задачи децентрализованного мультипроектного планирования в системах с ограниченными ресурсами (Decentralized Resource-Constrained Multi-Project Scheduling Problem (DRCMPSP)). Существующие подходы сталкиваются с проблемами формирования и выбора заявок на распределение глобальных ресурсов.

В статье представлены подходы к решению задач DRCMPSP, базирующиеся на фрагментировании проектов на подпроекты и последующем многокритериальном выборе очередного подпроекта для его включения в календарный график мультипроекта. Представлены средства визуализации рассматриваемых задач.

DECENTRALIZED MULTI-PROJECT SCHEDULING PROBLEM: NEW APPROACHES AND VISUALIZATIONS

Klevanskiy N.N., Krasnikov A.A.

Keywords: multi-project scheduling, combinatorial auction, resource allocation, ranking methods.

Abstract. In industry, many problems are considered as the Decentralized Resource-Constrained Multi-Project Scheduling Problem (DRCMPSP). The existing approaches face problems of formation and choice of bids for distribution of global resources

In this paper, we propose new approaches to solve DRCMPSP based on fragmentation of projects on subprojects and subsequent multicriteria choice of the next subproject for its inclusion in the multi-project schedule. Visualizations of the considered problems are presented

Введение

Деятельность многих бизнес-структур основана на одновременном управлении несколькими проектами, то есть, они работают в мультипроектной среде. Обычно работы (activities - деятельности) проектов имеют ограничения во времени и ограничения по объемам требуемых ресурсов [19].

Мультипроектное планирование (RCMPSP - resource-constrained multi-project scheduling problem) решает взаимосвязанные проблемы формирования календарного графика выполнения проектов и распределения ресурсов. Это может быть осуществлено, централизованно и децентрализованно.

Наиболее распространенным видом моделированию RCMPSP является использование суперсети, для формирования которой отдельные проекты предварительно обрабатываются, прежде всего, с помощью агрегирования [4], после чего агрегации проектов рассматриваются как «макро-работы» сети и для них решаются проблемы формирования календарного графика и распределения ресурсов [8, 9, 11, 15]. Можно также добавить вклад авторов с использованием разработанных схем генерации расписаний и различных

видов ранжирования [3-6], исходя из единой методологии централизованного планирования [2].

В связи с быстро растущей глобализацией и развитием информационных технологий для многих бизнес-структур характерно применение как внутреннего, так и внешнего сотрудничества для повышения эффективности и снижения затрат [18]. Эта тенденция переводит традиционное мультипроектное планирование в децентрализованное окружение, в котором проекты распределяются и управляются различными лицами, принимающими решения. Для достижения своих индивидуальных целей, эти лица должны конкурировать за получение общих ресурсов ограниченного объема. Кроме того они могут отказаться от предоставления приватной информации о проектах особенно, когда они являются конкурентами на рынке. В этой децентрализованной и асимметричной среде традиционное мультипроектное планирование трансформируется в децентрализованное мультипроектное планирование DRCMPSP (Decentralized Resource-Constrained Multi-Project Scheduling Problem)[10].

Целью данной статьи является анализ существующих и разработка новых подходов к решению многокритериальных задач DRCMPSP на основе методов ранжирования теории принятия решений [3].

Существующие подходы

Многие реальные задачи производства и обслуживания сложной продукции могут быть определены как DRCMPSP. В [12] представлен внутрифирменный сценарий, согласно которому менеджеры различной продукции электронной производственной компании должны разделять и конкурировать за общие производственные ресурсы (например, автоматизированные поточные линии) на регулярной основе. Для удовлетворения требований своих заказчиков эти менеджеры имеют дело с различными наборами работ и требований (например, время выполнения заказа, требования обработки). С точки зрения внутрифирменных сценариев типичные примеры могут быть найдены в авиационном двигателестроении [17]. В этом примере, различные менеджеры, управляющие обслуживанием авиадвигателей одной авиакомпании, конкурируют за места разборки ограниченной вместимости с другими менеджерами. Подобные примеры можно обнаружить в сервисном планировании наземного оборудования аэропортов [14], планировании систем поставок [13].

Согласно своей децентрализованной сути, DRCMPSP обычно моделируется многоагентной системой, где каждый проект управляется своим проектным агентом (РА), а все РА управляются агентом-медиатором (МА). Основная задача DRCMPSP состоит в децентрализованном распределении глобальных ресурсов между РА. Рыночно-ориентированный подход, и особенно комбинаторный аукцион, являются идеальным выбором для DRCMPSP, так как это хорошо поддерживает децентрализованное принятие решения и информационную приватность для РА [16].

Подводя итоги, следует отметить, что для решения задач DRCMPSP используются мультиагентные системы, в которых окончательное решение о выделении проектам глобальных ресурсов принимается на основе многораундового комбинаторного аукциона [16]. В соответствии с этим уточним цель данной статьи – определить основные виды деятельности проектных агентов, найти замену комбинаторному аукциону в задаче распределения глобальных ресурсов системы.

Предлагаемые подходы

Фрагментирование проектов

В DRCMPSP, некоторое количество проектов, разделяющих общие ресурсы, должно быть распределено в последовательные промежутки времени - таймслоты (time slots) в пределах заданного интервала расписания T (в тактах планирования). Каждый проект P_i , $i \in \{1, \dots, N\}$, состоит из неразделяемых во время выполнения работ (preemptive activities) a_{ij} , $j \in \{1, \dots, J_i\}$. Пусть s_{ij} и d_{ij} будут временем начала выполнения и длительностью выполнения работы a_{ij} соответственно.

Ограничение предшествования/следования $a_{ij} \prec a_{ik}$ означает, что работа a_{ik} не может начинаться ранее чем завершится предшествующая работа a_{ij} (то есть $s_{ik} \geq s_{ij} + d_{ij}$). На рис.1 представлен граф сети одного из проектов тестового задания. Красным цветом выделены работы, находящиеся на критическом пути графа сети проекта. Каждый проект P_i должен иметь два атрибута: самое раннее время (earliest date) начала выполнения ed_i и установленное время завершения dd_i (due date). Для каждого проекта P_i вводится свой агент проекта PA_i , который управляет этим проектом.

Каждой работе проекта требуются некоторые количества ресурсов. Множество G глобальных ресурсов системы разделяются (shared) всеми проектами. Каждый глобальный ресурс R_g , $g \in \{1, \dots, G\}$ имеет ограниченную мощность (потактовый объем выделяемого ресурса) C_{gt} во время t , $t \in \{1, \dots, T\}$, и имеет фиксированную стоимость использования c_g за единицу в каждом таймслоте. Глобальные ресурсы распределяются агентом-медиатором (посредником) (МА). Также, у каждого агента PA_i имеется собственное множество L_i локальных ресурсов, которыми агент распоряжается. Каждый локальный ресурс R_{l_i} , $l_i \in \{1, \dots, L_i\}$, имеет ограниченный объем $C_{l_i,t}$ на такте планирования t . Каждой работе a_{ik} требуются r_{ij}^g единиц глобального ресурса R_g и $r_{ij}^{l_i}$ единиц локального

ресурса R_{i_t} на каждом такте планирования каждого таймслота в расчетном периоде.

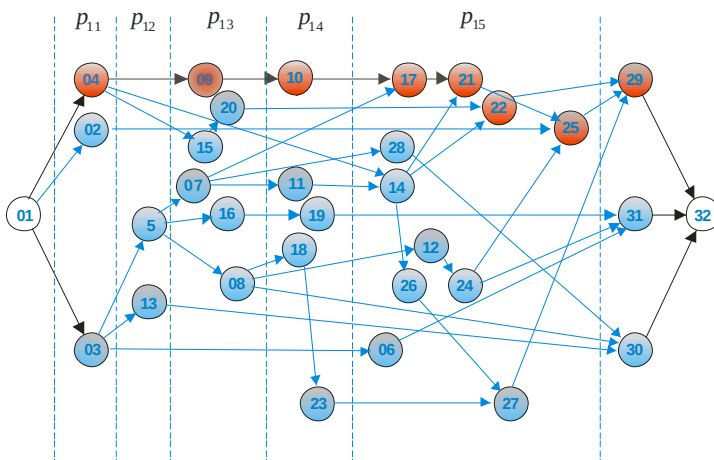


Рис. 1. Граф сети проекта с $P.start=0$

Пусть S – решение DRCMPSP и S_i – расписание (календарный график – schedule) проекта P_i . Положим, что S_i – вектор начальных времен работ $s_i = (s_{i1}, \dots, s_{ij})$. Тогда решение S может быть определено как вектор расписаний (schedules) отдельных проектов $S = (S_1, \dots, S_N)$.

Введем некоторые определения. Имеется некоторое множество проектов P_i , для каждого из которых задано время его возможного запуска $P.start$. Каждый проект включает некоторое количество работ с отношениями следования. Характеристики работы – длительность выполнения в тактах планирования и потактовые величины требуемых ресурсов. Каждый проект P_i будет представлен последовательностью подпроектов $p_{i,j}$, включающих одну или несколько работ проекта P_i . Разделение проектов на подпроекты – путь к оптимизации получаемого решения. Стратегия децентрализованного мультипроектного планирования заключается в следующем.

1. Вводится внутрисистемное время планирования T , измеряемое в тактах планирования, начиная от 0 и до последнего такта завершения последней работы последнего включаемого проекта.

2. При переходе к очередному значению T , производится проверка на наличие проекта, который может быть включен ($P.start=T$)

Функции проектного агента

Основной задачей проектного агента PA_i перед запуском проекта P_i является агрегирование [4] проекта P_i на основе RACP-модели (RACP – resource availability cost problem задача минимизации стоимости доступных ресурсов). Агрегирование проектов осуществляется в пределах критического пути проекта и выделенных объемов ресурсов.

Слева (рис. 2) находятся диаграммы Ганта работ проекта. Работы критического пути окрашены красным цветом. Оставшиеся работы размещены внутри интервалов их возможного перемещения. Справа от диаграмм Ганта показано тактовое потребление каждого из ресурсов, максимальные значения которых показаны цифрами. Для каждого ресурса красной линией с цифровым обозначением показаны уровни выделяемых проекту объемов ресурса на каждом такте.

Дальнейшая деятельность проектно агента PA_i связана с потактовым анализом выполнения проекта P_i . До той поры, пока для его выполнения достаточно локальных ресурсов, проект реализуется параллельно с другими проектами. В случае потери возможности параллельного выполнения при превышении хотя бы в одном проекте на данном такте планирования уровня потребления по любому локальному ресурсу проектные агенты осуществляют фрагментирование соответствующих проектов на подпроекты (рис.2). На базе полученных подпроектов проектные агенты формируют заявки (bids), подаваемые агенту-медиатору для выделения глобальных ресурсов.

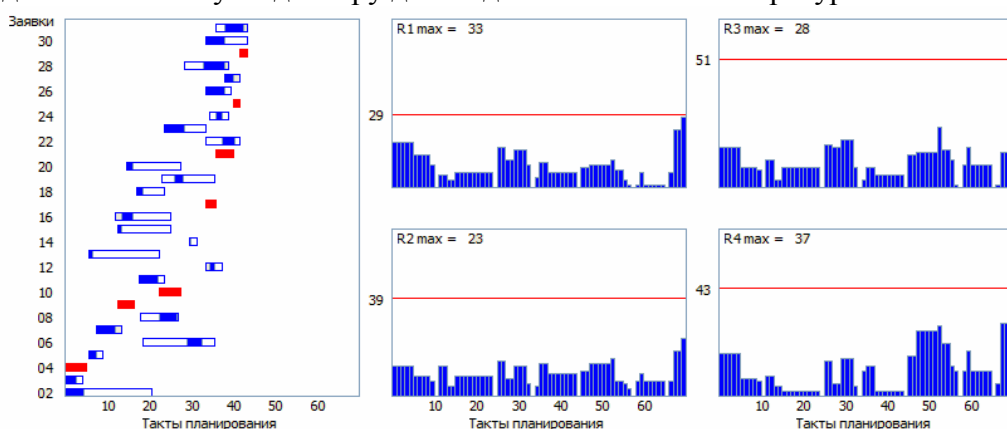


Рис. 2. Агрегация проекта ($P.start=0$) с выделенными подпроектами

Функции агента-медиатора

Основной задачей агента-медиатора является выбор проекта для предоставления ему глобальных ресурсов. Вместо комбинаторного аукциона предлагается многокритериальное ранжирование заявок для чего необходимо установление соответствующих критериев. По примеру [32] возможно использование многораундового ранжирования с выдачей проектным агентам рекомендаций по модификации заявок.

Для численных экспериментов будет использовано выбранное из библиотеки тестовых задач MPSPLib тестовое задание ..., включающее 10 проектов с разными временами запуска и определенными объемами выделяемых глобальных ресурсов. Каждый проект состоит из 30 заявок работ, каждой из которых требуется до 4 типов локальных ресурсов в течение их выполнения. Иницируемая заявкой работа характеризуется своей

длительностью в тактах планирования. Внутри проекта заявки связаны отношениями предшествования/следования.

На рис. 3 представлена визуализация результатов формирования начального календарного графика децентрализованного мультипроектного планирования.



Рис. 3. Календарный график децентрализованного мультипроектного планирования и потребляемые ресурсы

В верхней части рисунка находится диаграмма Ганта для проекта с $P.start=0$.

Список литературы

1. Гончаров Е.Н. Стохастический жадный алгоритм для задачи календарного планирования с ограниченными ресурсами // Дискретный анализ и исследование операций. – 2014. – Т. 21, №3. – С. 11-24.
2. Клеванский Н.Н. Парадигма формирования расписаний // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2017. – № 6. – С. 70-75.
3. Клеванский Н.Н., Антипов М.А., Красников А.А. Многокритериальная обработка в задачах расписаний // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2016. – №2. – С. 62-67.
4. Клеванский Н.Н., Красников А.А. Алгоритмы агрегирования проектов // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2-3. – С. 482-486.
5. Клеванский Н.Н., Красников А.А. Алгоритмы формирования расписаний для сетевых структур заявок/работ // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 4-3. С. 495-500.

6. Клеванский Н.Н., Ткачев С.И., Красников А.А. Гипервекторное ранжирование в мультипроектном планировании // Современные наукоемкие технологии – 2017. – № 5. С. 30-34.
7. Klevanskiy, N.N., Antipov, M.A., Krasnikov, A.A. Cognitive aspects of timetable visualization: support decision making // 12th International Symposium Intelligent Systems, INTELS'2016". 2017, № 103. P. 94-99.
8. Browning T. R., Yassine A.A. Resource-Constrained Multi-Project Scheduling: Priority Rule Performance Revisited // International Journal of Production Economics. 2010. №126 (2). P. 212-228.
9. Chakraborty R.K., Sarker R.A., Essam D.L. Resource Constrained Multi-project Scheduling: A Priority Rule Based Evolutionary Local Search Approach. In: Leu G., Singh H., Elsayed S. (eds) Intelligent and Evolutionary Systems. Proceedings in Adaptation, Learning and Optimization, vol 8. 2017. Springer, Cham. P. 75-86.
10. G. Confessore, S. Giordani, and S. Rismondo. A market-based multi-agent system model for decentralized multi-project scheduling. Annals of Operations Research, 150(1):115{135, 2007.
11. Dalfard V.M., Ranjbar V. Multi-Projects Scheduling with Resource Constraints & Priority Rules by the Use of Simulated Annealing Algorithm // Tehnički vjesnik. 2012. №19(3), pp. 493-499.
12. J. S. Lau, G. Q. Huang, K.-L. Mak, and L. Liang. Agent-based modeling of supply chains for distributed scheduling. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 36(5):847{861, 2006.
13. D. Lehmann, L. I. O'callaghan, and Y. Shoham. Truth revelation in approximately efficient combinatorial auctions. Journal of the ACM, 49(5):577{602, 2002.
14. K. Neumann, C. Schwindt, and J. Zimmermann. Project scheduling with time windows and scarce resources: temporal and resource-constrained project scheduling with regular and nonregular objective functions. Springer Science & Business Media, 2003.
15. Singh A. Resource Constrained Multi-Project Scheduling with Priority Rules & Analytic Hierarchy Process // Proc. of 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013, Procedia Engineering, 2014, № 69, pp. 725 – 734.
16. W Song, D. Kang, J. Zhanga, H. Xi. Decentralized Multi-Project Scheduling via Multi-Unit Combinatorial Auction. In Proceedings of the 15th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2016), J. Thangarajah, K. Tuyls, C. Jonker, S. Marsella (eds.), May 9{13, 2016, Singapore.
17. Stranjak, P. S. Dutta, M. Ebden, A. Rogers, and P. Vytelingum. A multi-agent simulation system for prediction and scheduling of aero engine overhaul. In Proceedings of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'08): Industrial Track, pages 81{88, 2008.

18. W. E. Walsh and M. P. Wellman. Decentralized supply chain formation: A market protocol and competitive equilibrium analysis. *Journal of Artificial Intelligence Research*, pages 513{567, 2003.
19. H. Xi, C. K. Goh, P. S. Dutta, M. Sha, and J. Zhang. An agent-based simulation system for dynamic project scheduling and online disruption resolving. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'15)*, pages 1759{1760, 2015.

References

1. Goncharov E.N. Stochastic greedy algorithm for a resource-constrained project scheduling problem // *Discrete analysis and research of operations* - 2014. Vol 21, №3. P. 11 – 24.
2. Klevanskiy N.N. Timetable generation paradigm. // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2017. - № 6. – P. 70-75.
3. Klevanskiy N.N., Antipov M.A., Krasnikov A.A. Multicriteria decision processing in timetabling problem. // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2016. №2. P. 62-67.
4. Klevanskiy N.N., Krasnikov A.A. Aggregate Project Algorithms // *Fundamental Research*, Moscow, 2016, №2-3, pp. 482 – 486.
5. Klevanskiy N.N., Krasnikov A.A. Demand/Activity Networks Scheduling Techniques // *Modern High Technologies*, Moscow, 2016, №4-3, pp. 495 – 500.
6. Klevanskiy N.N., Tkachev S.I., Krasnikov A.A. Hypervector Ranking in Multi-Project scheduling // *Modern High Technologies*, Moscow, 2017, № 5, pp. 30-34.
7. Klevanskiy, N.N., Antipov, M.A., Krasnikov, A.A. Cognitive aspects of timetable visualization: support decision making // *12th International Symposium Intelligent Systems, INTELS'2016*. 2017, № 103. P. 94-99.
8. Browning T.R., Yassine A.A. Resource-Constrained Multi-Project Scheduling: Priority Rule Performance Revisited // *International Journal of Production Economics*. 2010. №126 (2). P. 212-228.
9. Chakraborty R.K., Sarker R.A., Essam D.L. Resource Constrained Multi-project Scheduling: A Priority Rule Based Evolutionary Local Search Approach. In: Leu G., Singh H., Elsayed S. (eds) *Intelligent and Evolutionary Systems. Proceedings in Adaptation, Learning and Optimization*, vol 8. 2017. Springer, Cham. P. 75-86.
10. G. Confessore, S. Giordani, and S. Rismondo. A market-based multi-agent system model for decentralized multi-project scheduling. *Annals of Operations Research*, 150(1):115{135, 2007.
11. Dalfard V.M., Ranjbar V. Multi-Projects Scheduling with Resource Constraints & Priority Rules by the Use of Simulated Annealing Algorithm // *Tehnički vjesnik*. 2012. №19(3), pp. 493-499.

12. J. S. Lau, G. Q. Huang, K.-L. Mak, and L. Liang. Agent-based modeling of supply chains for distributed scheduling. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 36(5):847{861, 2006.
13. D. Lehmann, L. I. O'callaghan, and Y. Shoham. Truth revelation in approximately efficient combinatorial auctions. Journal of the ACM, 49(5):577{602, 2002.
14. K. Neumann, C. Schwindt, and J. Zimmermann. Project scheduling with time windows and scarce resources: temporal and resource-constrained project scheduling with regular and nonregular objective functions. Springer Science & Business Media, 2003.
15. Singh A. Resource Constrained Multi-Project Scheduling with Priority Rules & Analytic Hierarchy Process // Proc. of 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013, Procedia Engineering, 2014, № 69, pp. 725 – 734.
16. W Song, D. Kang, J. Zhanga, H. Xi. Decentralized Multi-Project Scheduling via Multi-Unit Combinatorial Auction. In Proceedings of the 15th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2016), J. Thangarajah, K. Tuyls, C. Jonker, S. Marsella (eds.), May 9{13, 2016, Singapore.
17. Stranjak, P. S. Dutta, M. Ebden, A. Rogers, and P. Vytelingum. A multi-agent simulation system for prediction and scheduling of aero engine overhaul. In Proceedings of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'08): Industrial Track, pages 81{88, 2008.
18. W. E. Walsh and M. P. Wellman. Decentralized supply chain formation: A market protocol and competitive equilibrium analysis. Journal of Artificial Intelligence Research, pages 513{567, 2003.
19. H. Xi, C. K. Goh, P. S. Dutta, M. Sha, and J. Zhang. An agent-based simulation system for dynamic project scheduling and online disruption resolving. In Proceedings of the 2015 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'15), pages 1759{1760, 2015.

Клеванский Николай Николаевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры экономической кибернетики, nklevansky@yandex.ru	Klevanskiy, Nikolay, Nikolaevich – candidate of technical sciences, associated professor, professor of Department of economic cybernetics, nklevansky@yandex.ru
Красников Андрей Алексеевич – аспирант	Krasnikov, Andrey, Alekseevich – postgraduate
Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия	Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Received 06.04.2019