

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ЭВРИСТИК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКА РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ РЕСУРСНО-ОГРАНИЧЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LLM-ЭВОЛЮЦИИ

Филатова А. А.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Насонов Д. А.¹

¹Университет ИТМО

aafilatova@itmo.ru

Введение

Задачи ресурсно-ограниченного планирования (Resource-Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP [1]) и их расширения широко применяются в строительстве, промышленном производстве, логистике и управлении распределёнными системами. В рамках таких задач требуется сформировать расписание выполнения взаимосвязанных работ при наличии ограниченного набора возобновляемых и невозобновляемых ресурсов, минимизируя целевую функцию (например, общее время завершения проекта) при соблюдении структурных и ресурсных ограничений. Высокая комбинаторная сложность и наличие множества альтернативных режимов выполнения работ делают данные задачи NP-трудными, но при этом практически значимыми для широкого круга инженерных применений.

На практике для решения задач ресурсно-ограниченного планирования широко применяются метаэвристические методы, в том числе генетические алгоритмы, гибридные эволюционные схемы и гиперэвристики [2]. Их популярность обусловлена универсальностью и возможностью работать с произвольной структурой ограничений. Однако эффективность таких методов существенно зависит от выбора эвристик и стратегий инициализации. При отсутствии информированной начальной популяции алгоритмы требуют значительного вычислительного бюджета для исследования пространства решений, а результаты могут демонстрировать высокую вариативность. С другой стороны, ручное проектирование эвристик и глубокий анализ пространства поиска позволяют получать качественные решения, но требуют значительных экспертных усилий, плохо масштабируются и не обеспечивают переносимости знаний между классами задач.

Таким образом, остаётся открытой проблема автоматического проектирования эвристических правил для задач ресурсно-ограниченного планирования, способных адаптироваться к конкретному классу задач без необходимости трудоёмкого ручного анализа пространства решений и при сохранении обобщаемости метода. Особенно актуальной является задача интеграции накопленного экспертного опыта и выявленных закономерностей в процесс генерации эвристик без потери универсальности поисковой схемы.

Основная часть

В данной работе предлагается пайплайн автоматической генерации эвристик для задач ресурсно-ограниченного планирования, основанный на эволюционном поиске с использованием больших языковых моделей [3]. Метод ориентирован на формирование интерпретируемых приоритетных правил, которые могут быть использованы в качестве самодостаточных стратегий построения расписания или в качестве механизма инициализации метаэвристического алгоритма.

В качестве исходной точки формируется начальная популяция эвристик, включающая классические правила приоритизации, применяемые в задачах RCPSP и MRCPSP, а также их комбинированные варианты. Эти эвристики задаются в

формализованном виде и определяют порядок выбора задач и режимов их выполнения при построении решения. Далее над популяцией эвристик запускается эволюционный процесс, в котором большие языковые модели используются в качестве операторов вариации. В отличие от классических генетических операторов, работающих непосредственно с числовыми или структурными представлениями, LLM осуществляют мутации и кроссоверы на уровне семантики эвристик: выявляют их общую логику, формируют вариации на основе объединения идей и генерируют дивергентные правила, отличающиеся по структуре от родительских. Каждая сгенерированная эвристика преобразуется в исполняемую форму и оценивается на наборе задач планирования. Качество определяется по значению целевой функции и дополнительным показателям, характеризующим устойчивость и эффективность применения правила. Таким образом, селекция эвристик осуществляется на основе их реального поведения в процессе построения расписания, что обеспечивает адаптацию к рассматриваемому классу задач без явного обучения на размеченных данных.

Для повышения устойчивости эволюционного процесса применяется механизм адаптивного изменения вероятностей операторов вариации, основанный на статистике их результативности. Это позволяет постепенно усиливать те типы мутаций и кроссоверов, которые чаще приводят к улучшению качества решений, формируя направленный поиск в пространстве эвристических стратегий. Полученные в результате эволюции эвристики используются в составе метаэвристического алгоритма, в частности генетического алгоритма, в качестве механизма формирования начальной популяции решений. Такой подход не требует изменения базовой структуры поисковой схемы и может быть интегрирован в существующие реализации. При этом качество стартовых решений и их разнообразие позволяют улучшить характеристики поиска по сравнению со случайной или фиксированной экспертной инициализацией.

Выводы

Предложенный контур представляет собой шаг к автоматизированному проектированию эвристических стратегий для задач ресурсно-ограниченного планирования, сочетающий интерпретируемость правил с адаптивностью к конкретному классу задач. Использование больших языковых моделей в качестве операторов вариации позволяет формировать семантически осмысленные модификации эвристик, а их отбор по результатам применения к реальным задачам обеспечивает адаптацию без явного обучения на размеченных данных.

Предложенный подход открывает перспективы дальнейшего развития методов автоматического проектирования эвристик для сложных комбинаторных задач с ограничениями.

Литература

1. Kolisch R., Hartmann S. Heuristic algorithms for the resource-constrained project scheduling problem: Classification and computational analysis // *Project Scheduling: Recent Models, Algorithms and Applications*. – Boston: Springer, 1999. – P. 147-178.
2. Pellerin R., Perrier N., Berthaut F. A survey of hybrid metaheuristics for the resource-constrained project scheduling problem // *European Journal of Operational Research*. – 2013. – Vol. 230, No. 2. – P. 223-235.
3. Liu F., Tong X., Yuan M., Lin X., Luo F., Wang Z., Lu Z., Zhang Q. Evolution of Heuristics: Towards Efficient Automatic Algorithm Design Using Large Language Model // *Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning (ICML)*. – 2024. – P. 32201-32223.