

Секция «Искусственный интеллект и анализ данных в космических исследованиях»

Решение многоцелевых оптимизационных задач для мультироботного исследования планетарных поверхностей с помощью алгоритма NSGA-II

Научный руководитель – Корянов Всеволод Владимирович

Лу С.¹, Ван Х.²

1 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет космических исследований, Москва, Россия, *E-mail: 2651111069@qq.com*; 2 - Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия, *E-mail: roar3zz@126.com*

Алгоритмы планирования пути мультиробота можно рассматривать как последовательный класс алгоритмов искусственного интеллекта, алгоритмы через моделирование естественной социальной логики работы сообщества, в соответствии с определенными ограничениями для робота, чтобы спланировать оптимальный маршрут для достижения целевого местоположения, суть проблемы оптимизации, такие как алгоритмы муравьиной колонии, генетические алгоритмы, и так далее, и некоторые ученые будут смесь алгоритмов для улучшения производительности алгоритма муравьиной колонии - генетические алгоритмы, и так далее. Хотя эти алгоритмы могут обеспечить лучшее планирование траектории, их целью оптимизации обычно является одна минимальная длина пути, что относится к одноцелевой оптимизации и не является достаточно полным. Длина пути является лишь одним из показателей при планировании маршрута робота, и традиционным алгоритмам обычно сложно решать многоцелевые оптимизационные задачи, такие как выполнение задач поиска области или построения карты области, степень покрытия маршрутов роботов, количество перекрывающихся времен планирования маршрута каждого робота, риск столкновения и глобальная длина пути. Для решения вышеуказанных задач в данной работе используется генетический алгоритм с недоминируемой сортировкой II (NSGA II), основанный на генетических алгоритмах с недоминируемой сортировкой, для решения многообъектных задач оптимизации при исследовании поверхности планеты несколькими роботами и для анализа задачи покрытия карты несколькими роботами при различных параметрах вариативной вероятности.

Генетический алгоритм с сортировкой без преобладания (NSGA-II) - это алгоритм многоцелевой оптимизации, который широко используется для решения многоцелевых оптимизационных задач. Он разработан на основе генетического алгоритма (ГА), который отбирает популяцию для оптимального решения в основном с помощью сортировки без преобладания и расстояния перегруженности. Задача многоцелевой оптимизации фактически является задачей глобальной оптимизации, но в большинстве случаев оптимизация одной цели может привести к ухудшению других результатов, поэтому отличие многоцелевой оптимизации от одноцелевой заключается в нахождении субоптимальных или оптимальных решений для нескольких целевых функций, где результаты зависят от влияния на глобальную картину. В принципе невозможно достичь оптимального решения для всех целей одновременно, и оптимальным является не то решение, при котором все функции цели достигают наибольшего значения, а решение без преобладания (также известное как решение Парето). В данной работе мы моделируем среду Марса, построив квадратную растровую карту с длиной стороны 50, где двадцать процентов карты составляют препятствия, а пять роботов движутся к заданной конечной точке при фиксированной начальной позиции, и оцениваем влияние различных параметров изменчивости на длину пути, покрытие, риск инкапсуляции и распределение нагрузки на несколько роботов с учетом определенных ограничений.

Схема работы алгоритма NSGA-II выглядит следующим образом

1. Инициализация популяции и генерация случайных путей.
2. Оценить пригодность, включая длину пути, риск столкновений, распределение нагрузки и покрытие.
3. выбор победителя с помощью упорядочивания без доминирования и расстояния до перегрузки.
4. кроссинговер и мутация особей для создания нового потомства.
5. обновление популяции с помощью операций выбора.
6. повторять шаги 2-5 до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное количество итераций или сходимость.

Для предотвращения таких проблем, как преждевременная сходимость алгоритма, зазоры из-за того, что несколько роботов движутся по одному и тому же маршруту, или снижение покрытия, используется алгоритм NSGA-II, который гарантирует, что в процессе оптимизации будет учтён баланс между несколькими целями. Для поддержания разнообразия популяции применяется вычисление степени плотности, а согласно данным, высокая вероятность мутации помогает исследовать новые области решения, в то время как низкая вероятность мутации способствует сохранению стабильности популяции. Однако в пределах фиксированной области высокая вероятность мутации может существенно увеличить диапазон исследования индивидуумов при относительно коротких маршрутах, что также приводит к заметной оптимизации рисков столкновений и балансировки нагрузки. При слишком высокой вероятности мутации способность к исследованию будет усилена, но это также приведёт к значительному увеличению рисков столкновений и частоты повторяющихся маршрутов, что может вызвать дисбаланс в распределении нагрузки роботов. Низкая вероятность мутации, в свою очередь, может привести к тому, что роботы не смогут выполнить задачу по исследованию области, но при этом будет найдён самый короткий маршрут. Таким образом, можно утверждать, что алгоритм NSGA-II эффективно решает задачу многокритериальной оптимизации маршрутов для роботов при исследовании поверхности планет, причём параметр вероятности мутации должен быть выбран с учётом размера карты. В будущих исследованиях следует рассмотреть возможность динамической оптимизации этого параметра для дальнейшей оптимизации многокритериальной функции.

Источники и литература

- 1) 1.XIN Pengfei, LI Delun, LIU Xin, et al. Состояние и тенденции развития малого робота для исследования поверхности звезды [J]. Journal of Aeronautics, 2021, 42(1):523897 doi:10.7527/S10006-893.2020.23897
- 2) 2.Chao-Yi Chen, Yue-Quan Yang, Zhi-Qiang Cao, Meng-Yang Zhang & Tian-Ping Zhang. (2015). Ключевая технология планирования траектории для нескольких роботов и ее вызовы..... (ред.) Материалы 34-й Китайской конференции по управлению (том E) (с. 451-457).
- 3) 3.Li X, Zhang Yali, Li Song et al. Оптимальное распределение мощности гибридной системы накопления энергии на основе улучшенного NSGA-II[J]. Thermal Power Generation, 2024,53(12):49-56.DOI: 10.19666/j.rlfed.202405113.
- 4) 4.Fang Lijin, Gao Yue, Cao Xinxing et al. Многоцелевое оптимальное назначение допусков геометрических параметров для тандемных роботов на основе NSGA-II[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science Edition), 2024,45(06):829-836.

Иллюстрации

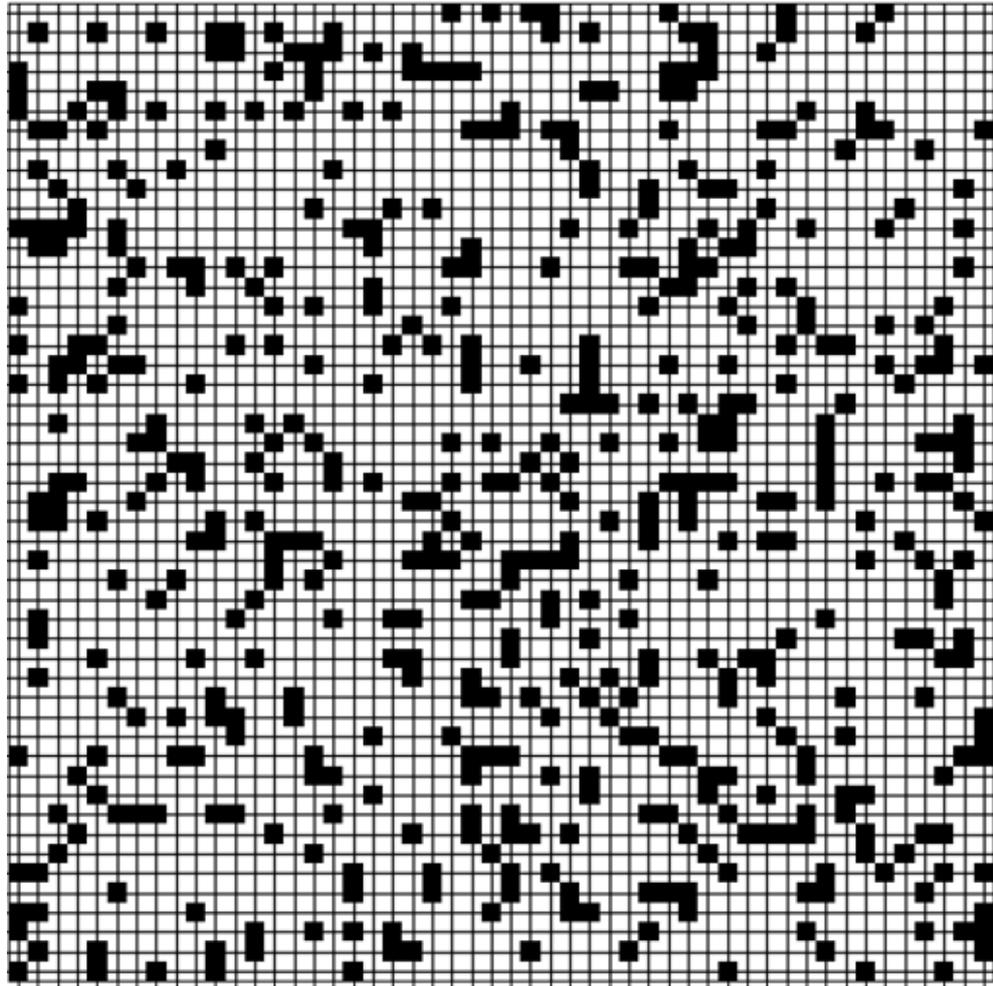


Рис. : среда моделирования

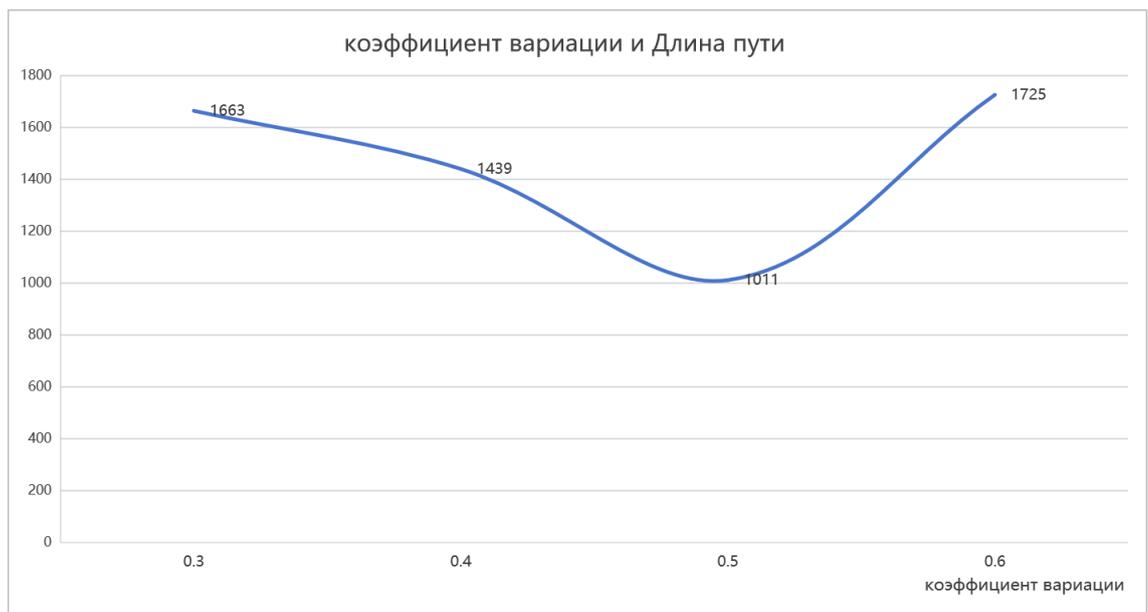


Рис. : коэффициент вариации и Длина пути

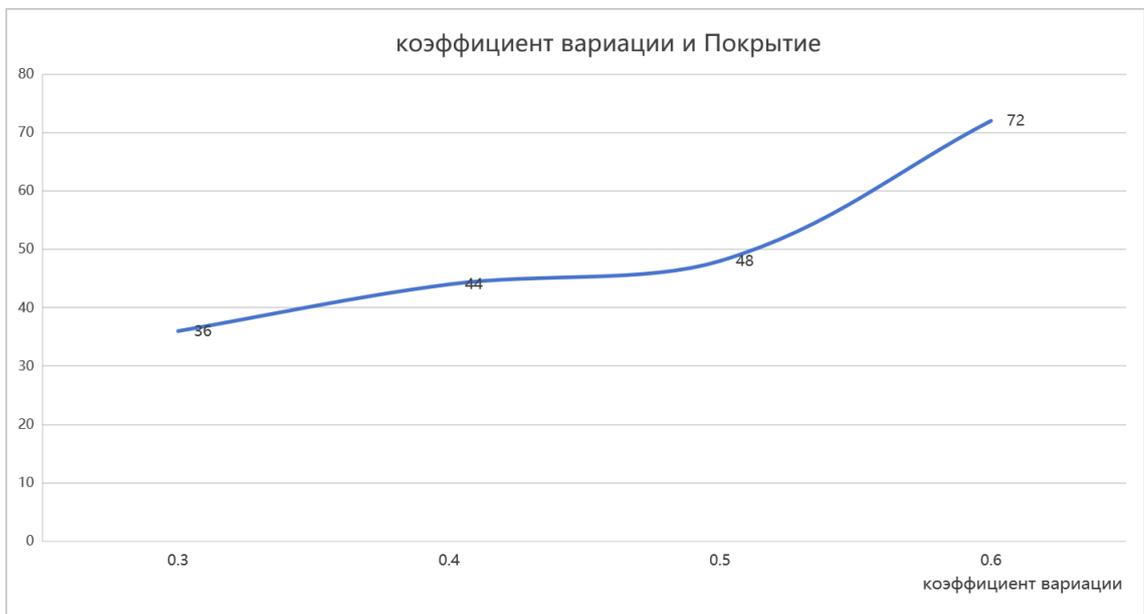


Рис. : коэффициент вариации и Покрытие

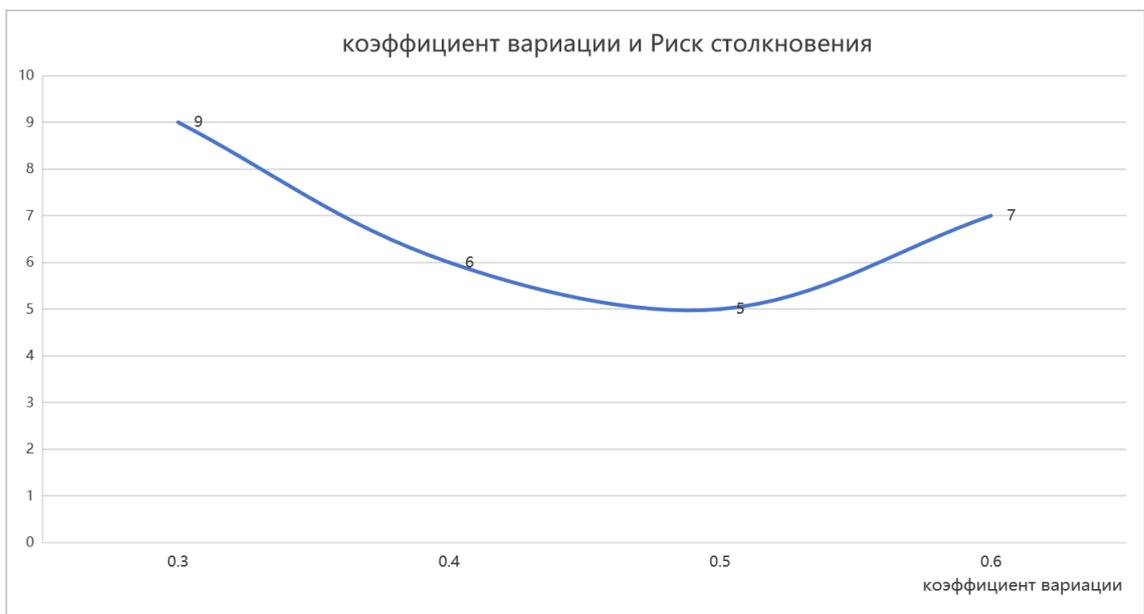


Рис. : коэффициент вариации и Риск столкновения