



FACULTY OF
COMPUTER SCIENCE

DEPARTMENT OF APPLIED
MATHEMATICS AND
INFORMATICS

Планирование движений для робота-манипулятора при помощи графа выпуклых оболочек

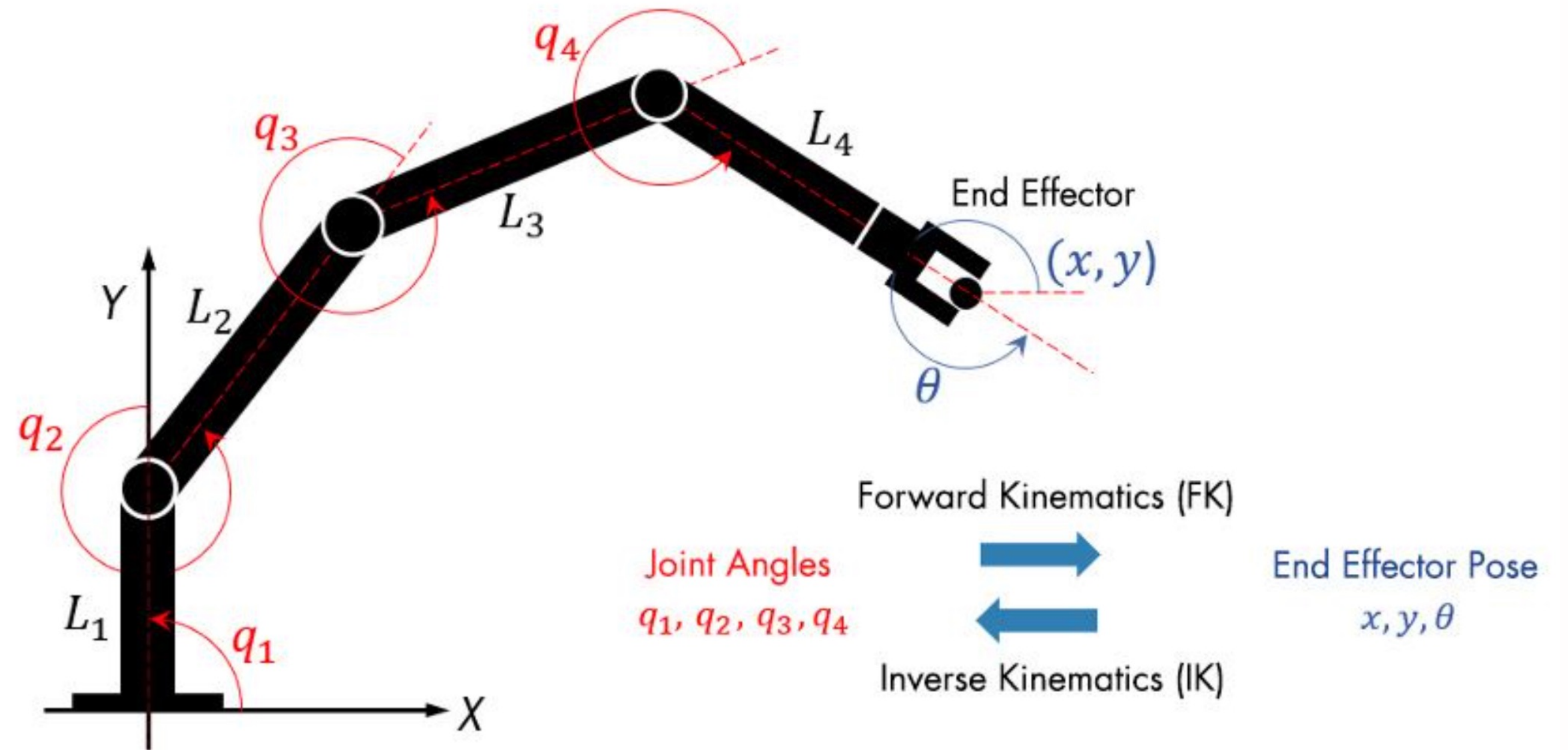
Кривова Милана (БПМИ2410)

научный руководитель: Яковлев Константин Сергеевич

- Роботы-манипуляторы
- Постановка задачи
- Описание подхода
 - Предподсчет выпуклых множеств
 - Достройка графа регионов
 - Отсеивание регионов
 - Построение подграфа
- Эксперименты

РОБОТЫ-МАНИПУЛЯТОРЫ

3



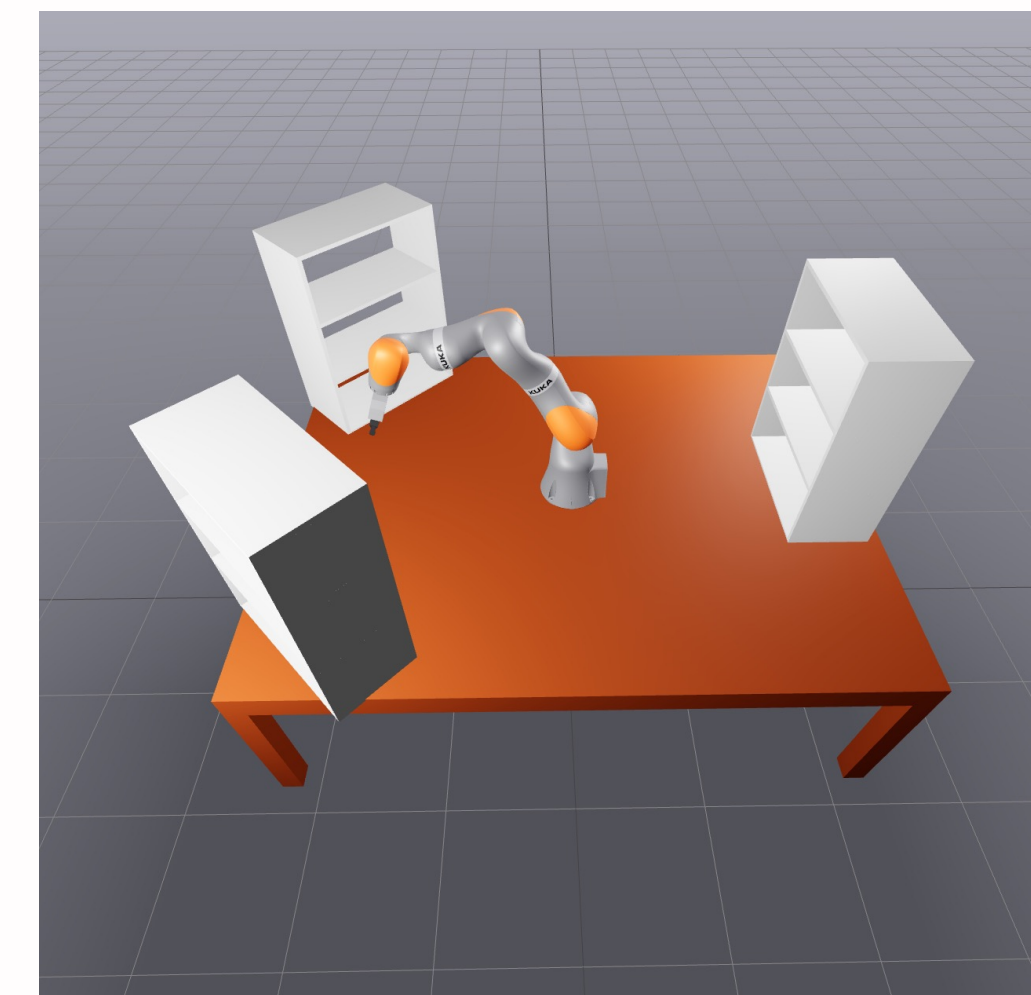
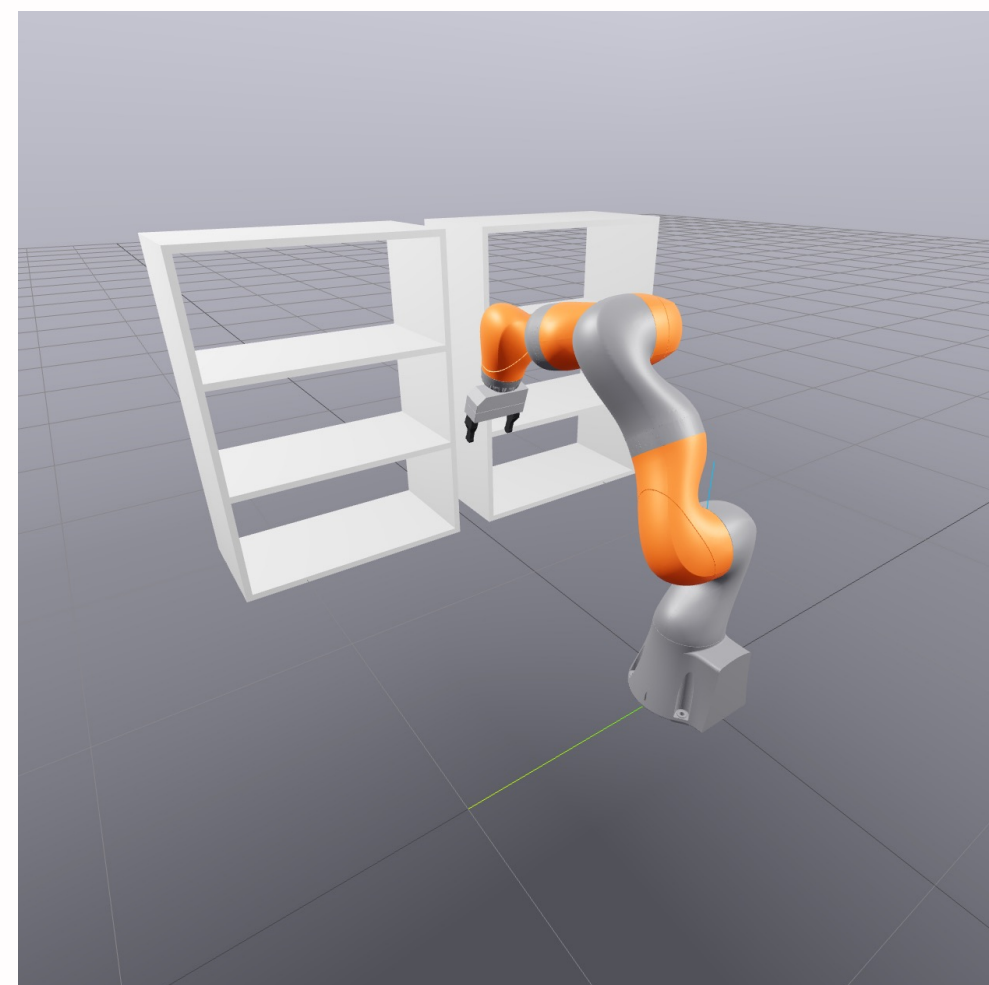
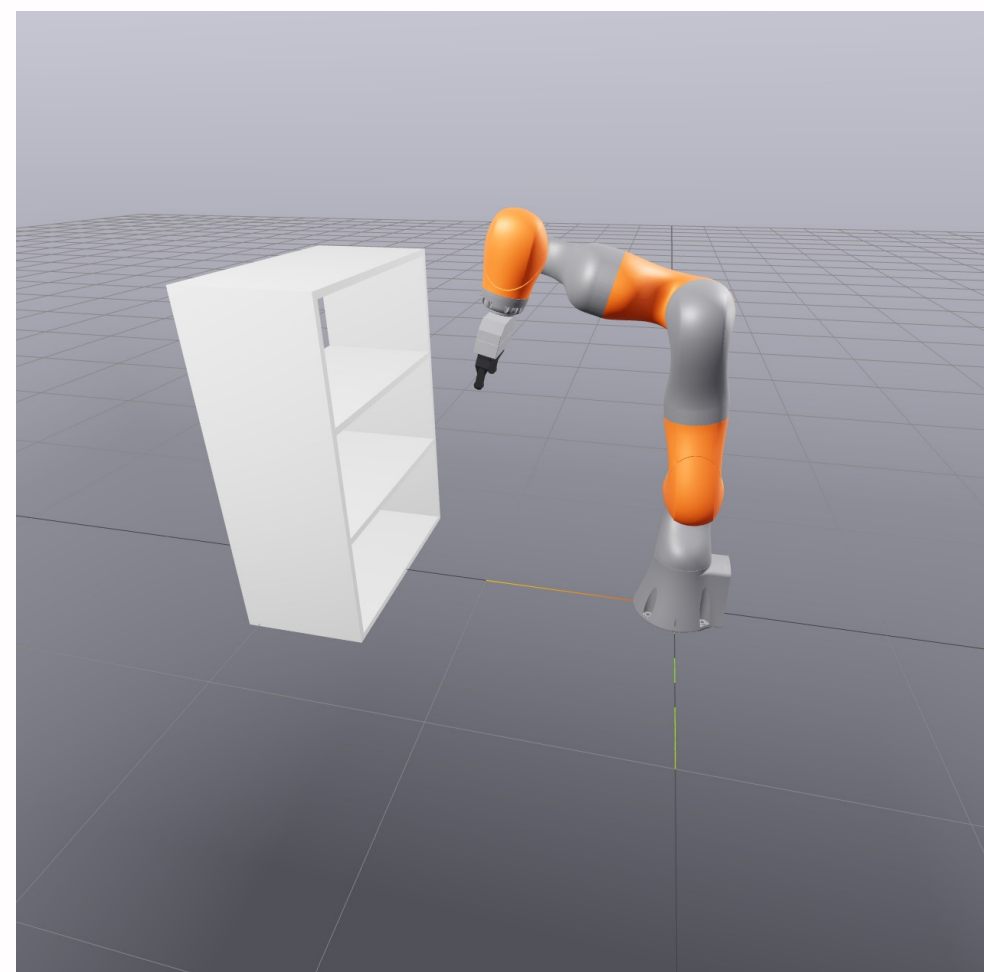
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

4

ОБЩАЯ ИДЕЯ

Рассматривается задача планирования движений для робота-манипулятора.

- Робот закреплен на одном месте
- Сцены статические
- Целевые конфигурации поступают итеративно (online-планирование)



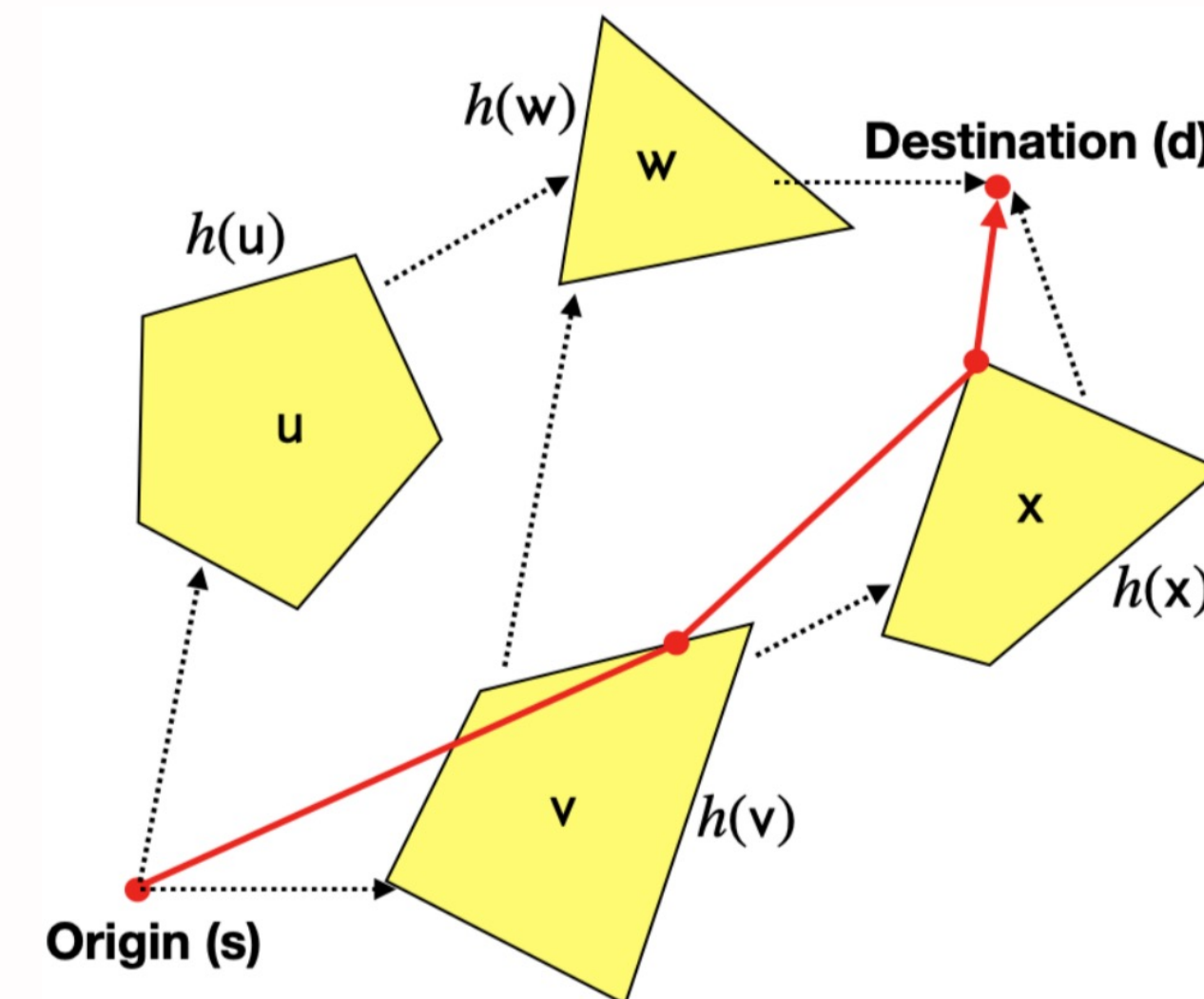
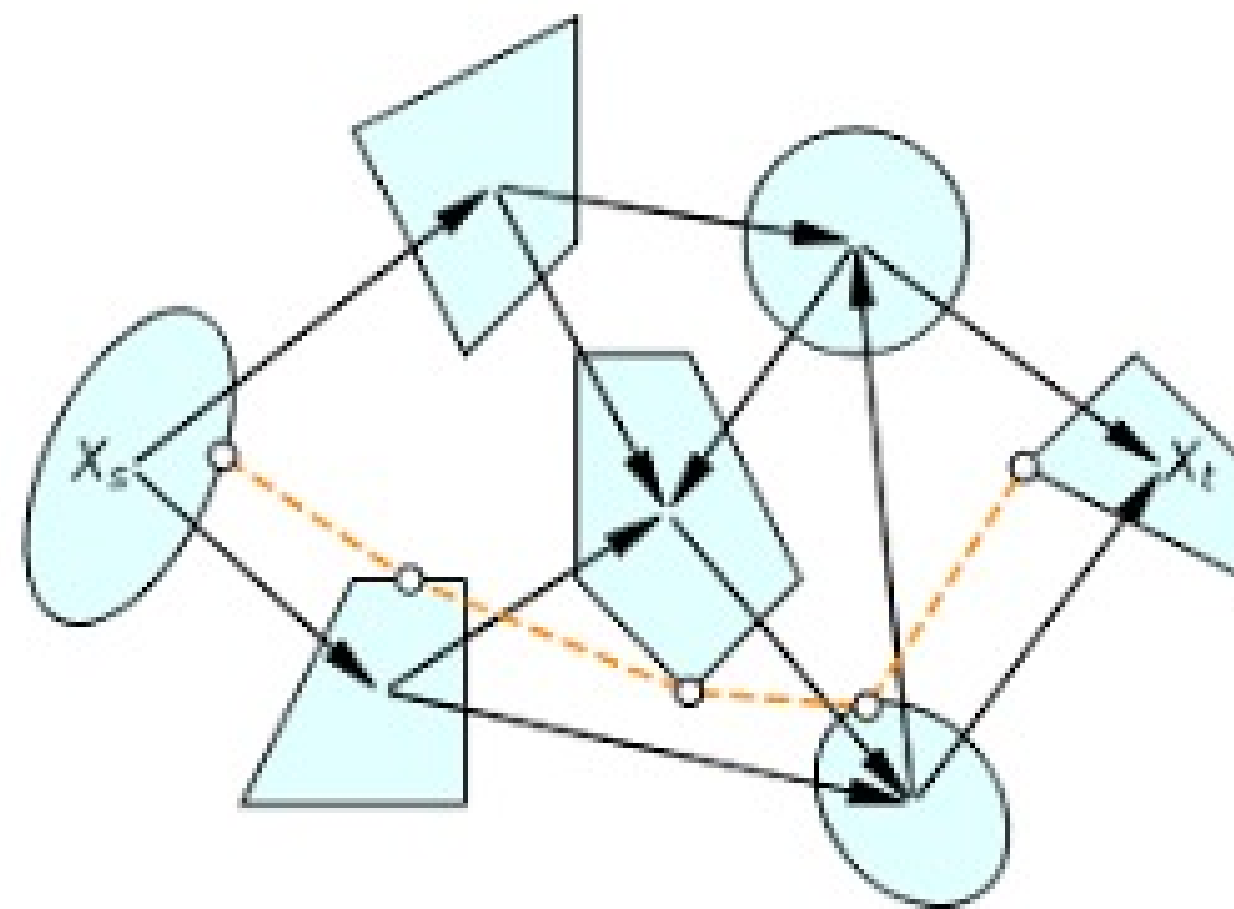
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

GCS

5

GCS (Graph of Convex Sets) - граф выпуклых множеств. Описывает свободное пространство в C-соре робота.

- Вершины - выпуклые множества свободного пространства.
- Ребра - допустимые переходы между этими множествами.



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

6

На каждой итерации имеем:

- Сцена
- C-space робота
- GCS

На каждой итерации подается
на вход:

- целевое положение
манипулятора

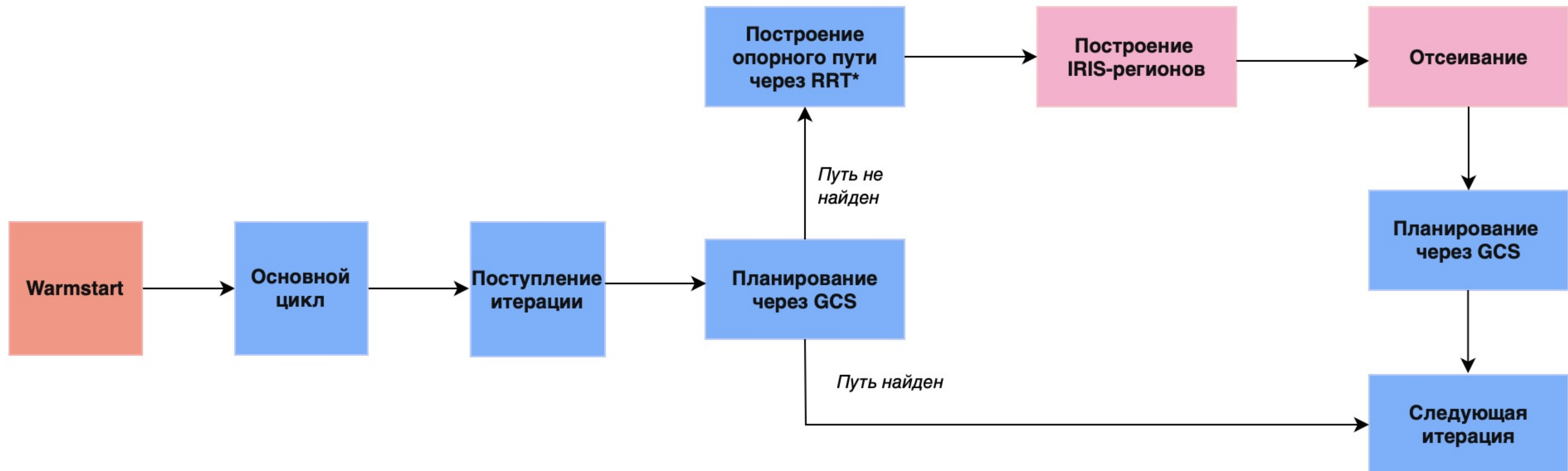
На каждой итерации
возвращается
на выходе:

- траектория движения
робота

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

ОБЩАЯ СХЕМА

7



ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

8

ПРЕДПОДСЧЕТ ВЫПУКЛЫХ МНОЖЕСТВ

Построение выпуклых
регионов самая
трудоемкая часть
алгоритма



Выполняем предподсчет
начального покрытия
свободного пространства

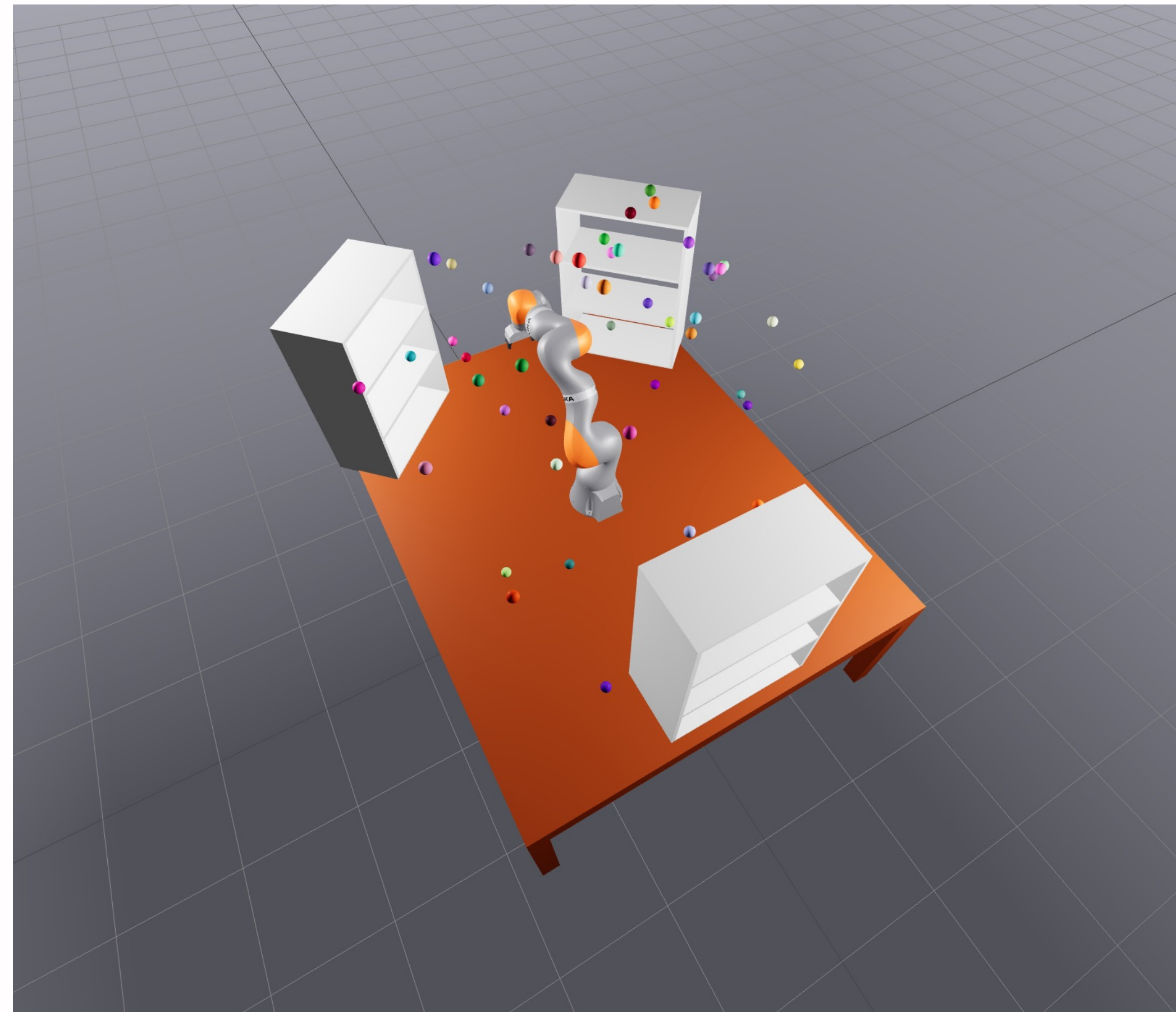
Таким образом, предподсчет решает две задачи:

1. уменьшает число обращений к онлайн-достройке графа на первых запросах
2. формирует более разнообразное начальное покрытие, не ограниченное только регионами, построенными впоследствии по траекториям RRT

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

ПРЕДПОДСЧЕТ ВЫПУКЛЫХ МНОЖЕСТВ

9



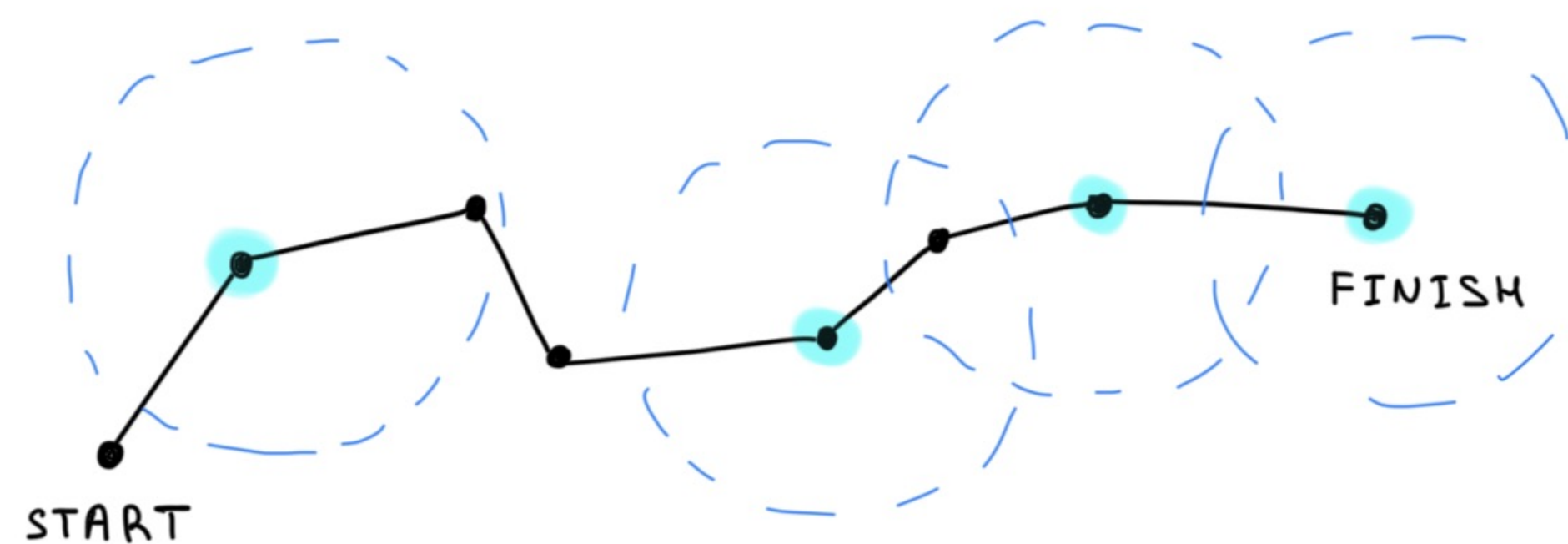
ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

ДОСТРОЙКА ГРАФА РЕГИОНОВ

10

На каждой итерации проверяется, возможно ли спланировать траекторию до целевого положения, используя GCS.

Если это невозможно, то запускается RRT* и по нескольким точкам найденной траектории строятся выпуклые множества.



ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

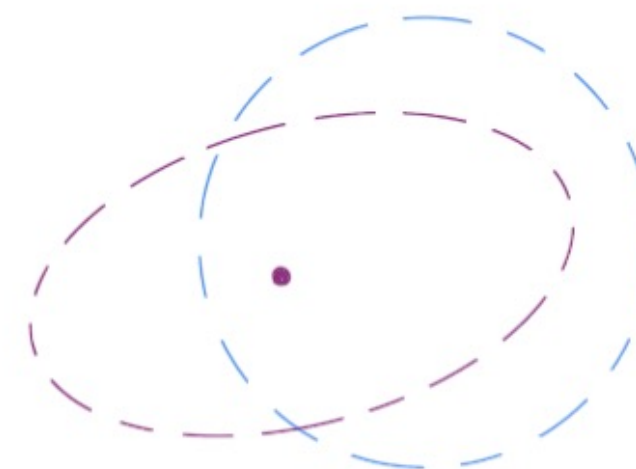
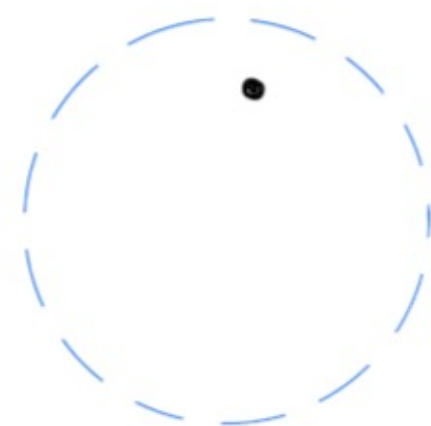
ОТСЕИВАНИЕ ВЫПУКЛЫХ РЕГИОНОВ

11

1. Еще до запуска построения региона отбрасываются те конфигурации, которые уже покрыты одним из существующих регионов.

2. После построения новых регионов выполняется проверка на избыточность.

Для каждого региона рассматривается его центр Чебышева. Если этот центр принадлежит другому региону, дополнительно проверяется принадлежность этому региону нескольких случайных точек, сгенерированных из рассматриваемого региона.



ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

ПОСТРОЕНИЕ ПОДГРАФА

12

При слишком большом числе регионов соответствующая оптимизационная задача существенно усложняется и может не сходиться.



Выделяем подграф, по которому будет производиться оптимизация.

- алгоритм Йена для поиска k кратчайших путей

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

13

- Оранжевые траектории - планировщик RRT*
- Зеленые траектории - планировщик GCS

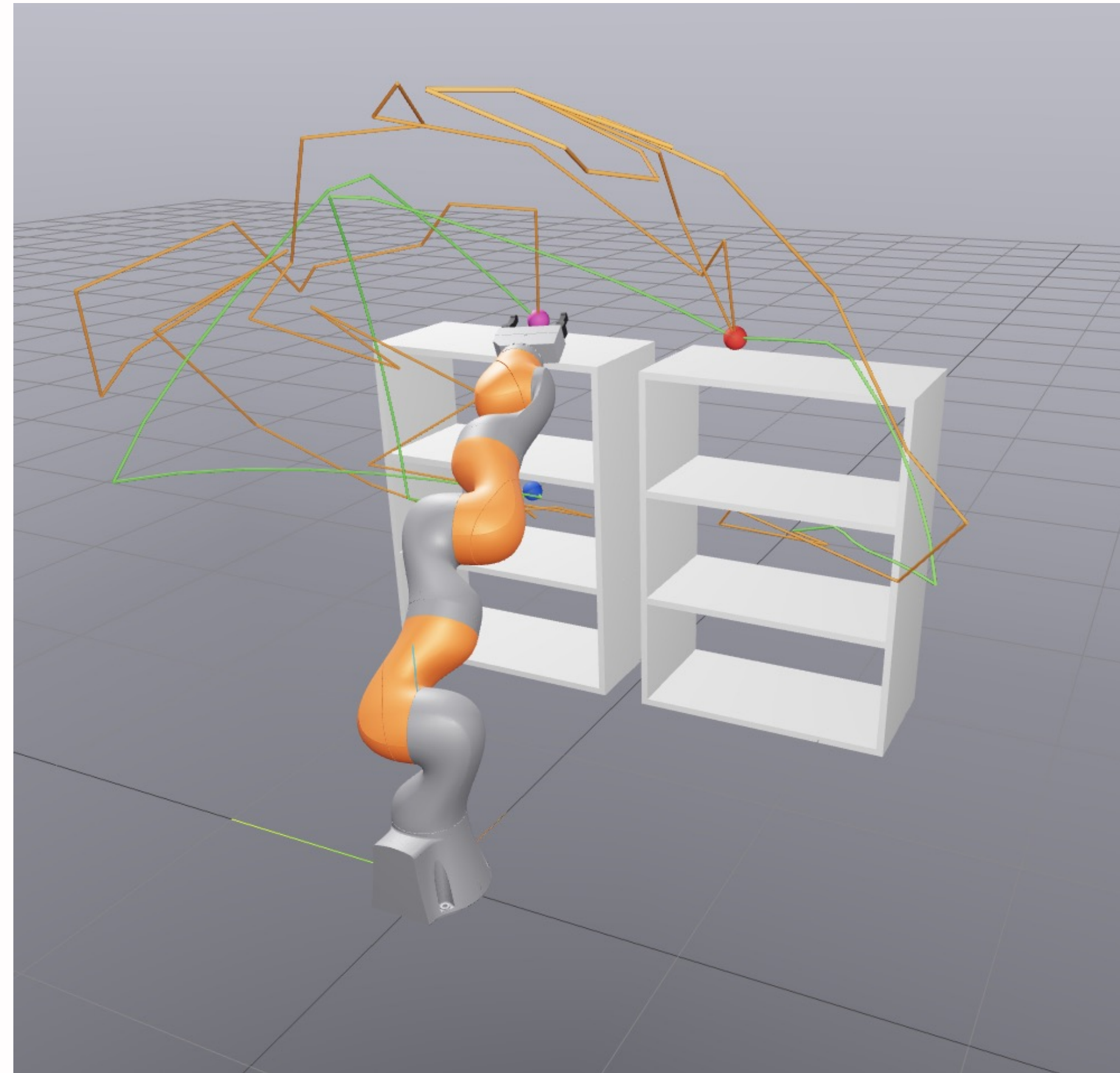


Таблица 5.1: Сравнение по общему времени работы

Scene	RRT (s)	GCS (s)	Opt (s)	IRIS (s)	GCS sum (s)	Warmstart (s)	GCS SR (%)	Opt SR (%)
Single shelf	4.23	17.5	94.79	25.76	46.58	16.3	88.0	50.0
Two shelves	12.00	16.7	94.58	27.54	47.74	16.1	88.0	40.6
Three shelves	8.13	87.8	89.14	120.51	221.68	52.9	82.0	10.3

Таблица 5.2: Средняя длина пути (только запросы, где оба метода нашли путь)

Scene	GCS mean len.	Opt mean len.	Queries
Single shelf	0.97	1.06	10
Two shelves	1.69	1.26	9
Three shelves	1.56	1.03	3

Таблица 5.3: Средние метрики качества (только запросы, где оба метода нашли путь)

Scene	GCS curv.	Opt curv.	GCS tors.	Opt tors.	Queries
Single shelf	1.53	1.65	598.3	604.9	10
Two shelves	3.18	3.13	1288.2	1587.7	9
Three shelves	1.77	1.64	334.4	537.1	3

ИСТОЧНИКИ

1. Tobia Marcucci, Jack Umenberger, Pablo A. Parrilo и Russ Tedrake. "Shortest Paths in Graphs of Convex Sets". В: SIAM Journal on Optimization (2021).
2. Peter Werner, Alexandre Amice, Tobia Marcucci, Daniela Rus и Russ Tedrake. "Approximating Robot Configuration Spaces with Few Convex Sets using Clique Covers of Visibility Graphs" В: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Yokohama, Japan, 2024, с. 10359—10365.
3. Ramkumar Natarajan, Chenning Liu, Howie Choset и Maxim Likhachev. "Implicit Graph Search for Planning on Graphs of Convex Sets". В: Robotics: Science and Systems (RSS). 2024.

Спасибо за внимание!

<QA>

