



Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и кибербезопасности  
Высшая школа технологий искусственного интеллекта  
02.03.01 Математика и компьютерные науки

«Генетические алгоритмы»

# Муравьиный алгоритм построения пути

Салимли Айзек, гр. 5130201/20101 (449м)

2025 г.

# Содержание

## Введение

1. Постановка задачи
2. Типы планирования пути
3. Основные компоненты планирования
4. Принципы муравьиного алгоритма
5. Этапы работы алгоритма ACS
6. Модификации муравьиного алгоритма
7. Представление среды в виде решетки
8. Сравнение с ГА
9. Гибридный муравьиный алгоритм (ГМА)
10. Описание MAKLINK-модели
11. Результаты гибридного подхода

## Заключение

## Список литературы

# Введение

Планирование пути мобильного робота является фундаментальной задачей автономной робототехники.

- отличие статической (полностью известной) и динамической (частично неизвестной) среды и связанные с этим режимы планирования;
- роль представления окружения (решётка/grid, MAKLINK-граф) для постановки дискретизированной задачи;
- Сравнение генетического алгоритма и муравьиного алгоритма



# Постановка задачи

Пусть  $\mathcal{W}$  — рабочее пространство робота,  $\mathcal{O} = \bigcup_k O_k$  — множество областей препятствий. Требуется построить дискретизированную последовательность точек

$$\mathcal{P} = \{P_0 = S, P_1, \dots, P_n = T\},$$

такую, что для каждого сегмента:

$$\text{seg}(P_{i-1}, P_i) \cap \mathcal{O} = \emptyset.$$

Цель оптимизации может формулироваться, например, как минимизация длины пути:

$$L(\mathcal{P}) = \sum_{i=1}^n \|P_i - P_{i-1}\| \rightarrow \min.$$



# Типы планирования пути

Глобальное планирование (статическая среда)

Когда мы знаем информацию о среде:

- Координаты
- Препятствия

Пример:

- MAKLINK граф

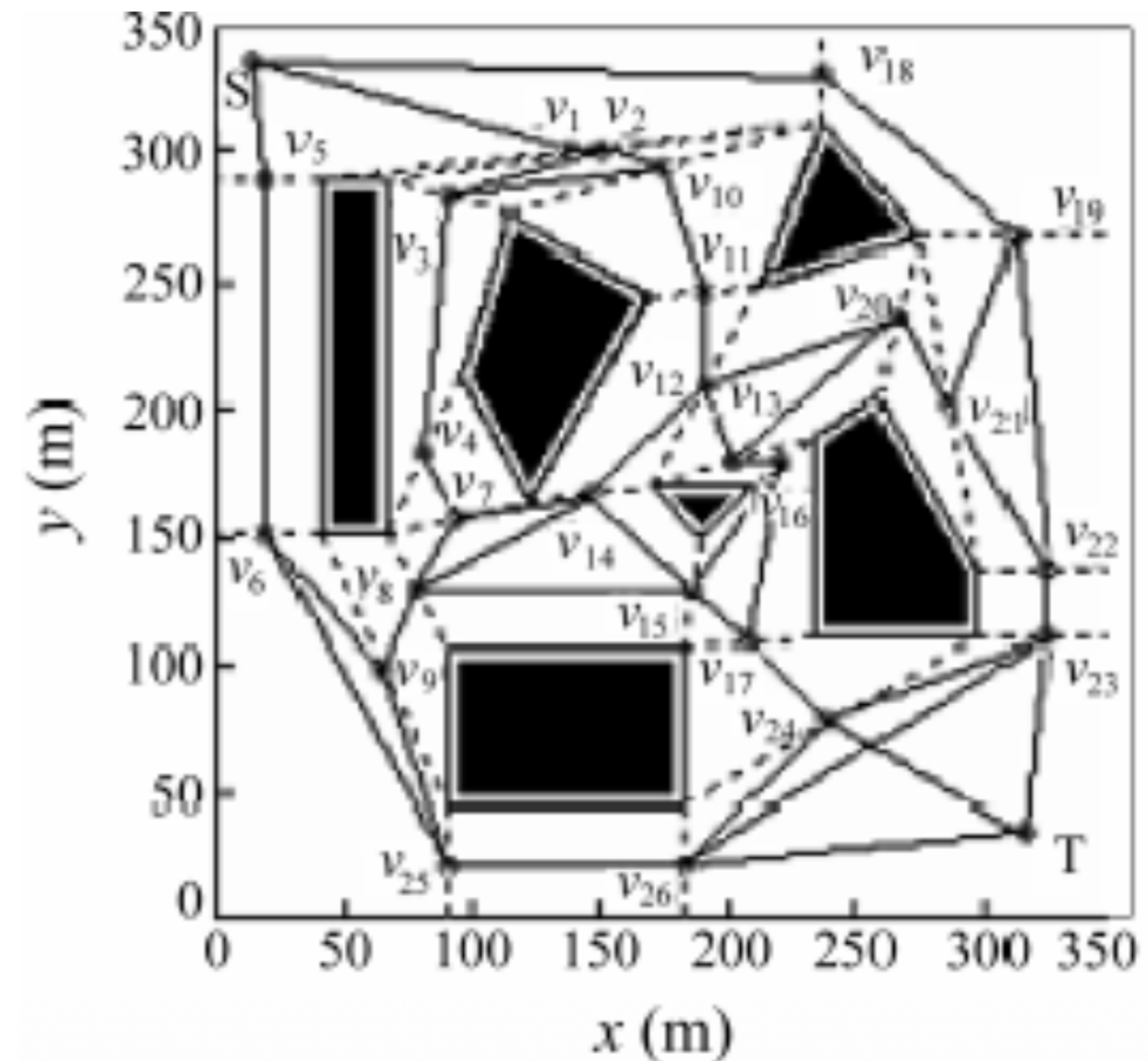


Рис.1: MAKLINK граф

# Типы планирования пути

Локальное планирование (динамическая среда)

Когда информация о среде частично неизвестна и/или динамична

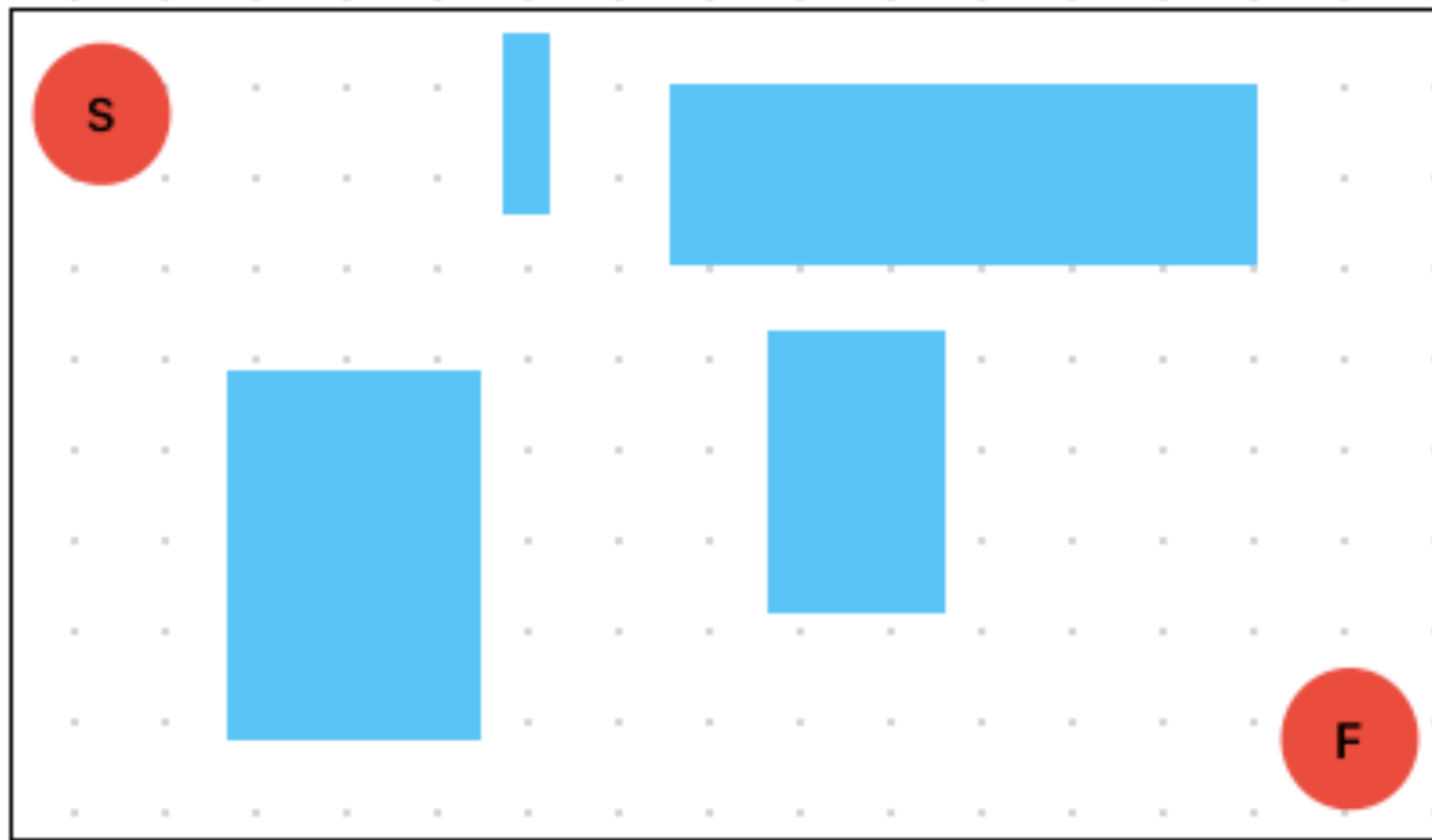


Рис. 2: Среда в момент времени  $t$

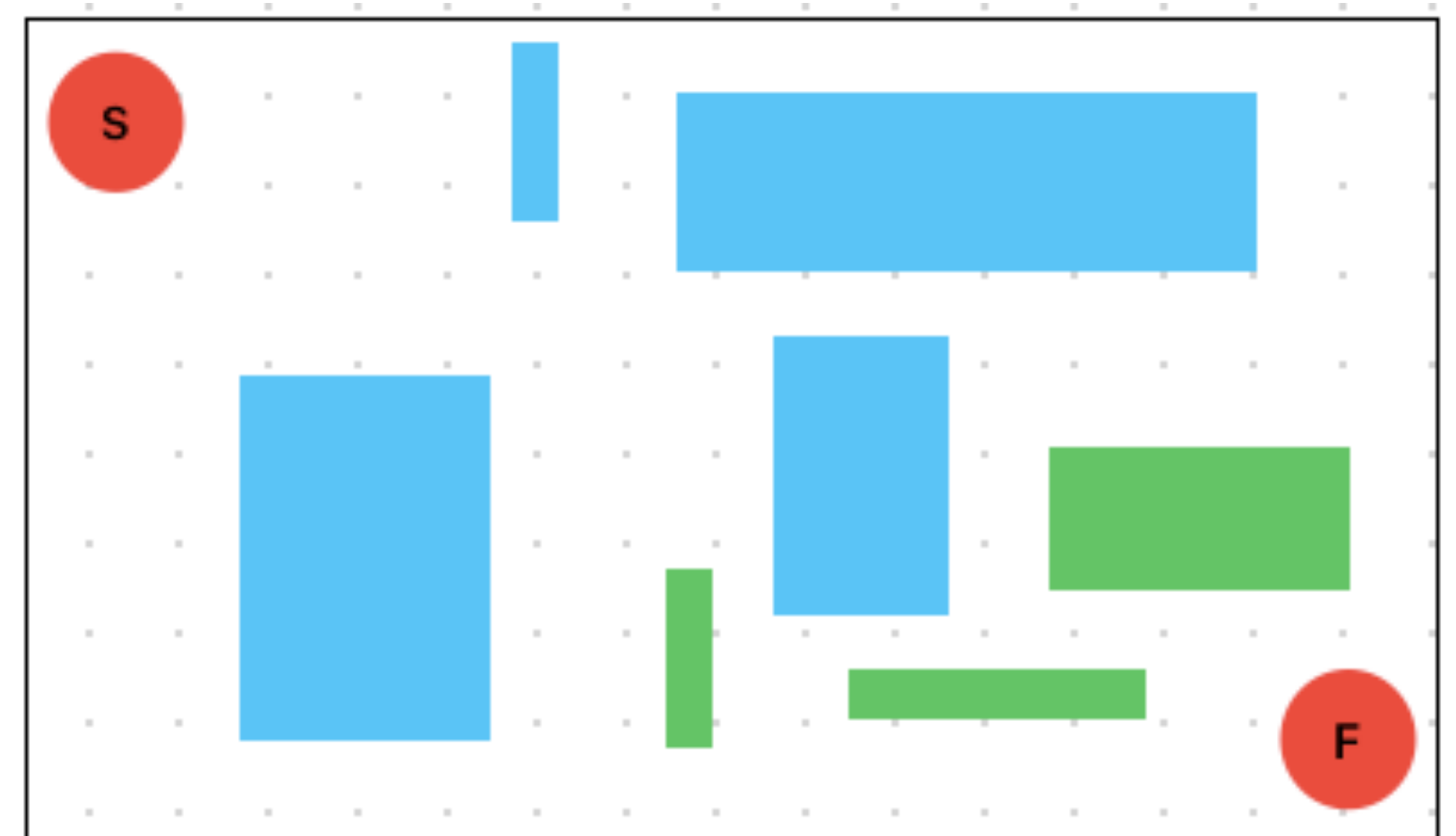


Рис. 3: Среда в момент времени  $t+n$

# Типы планирования пути

Локальный + глобальный = гибридный подход

- Чаще всего применим на практике
- Глобальный план - ориентировочная траектория
- Локальный планировщик - обработка и коррекция

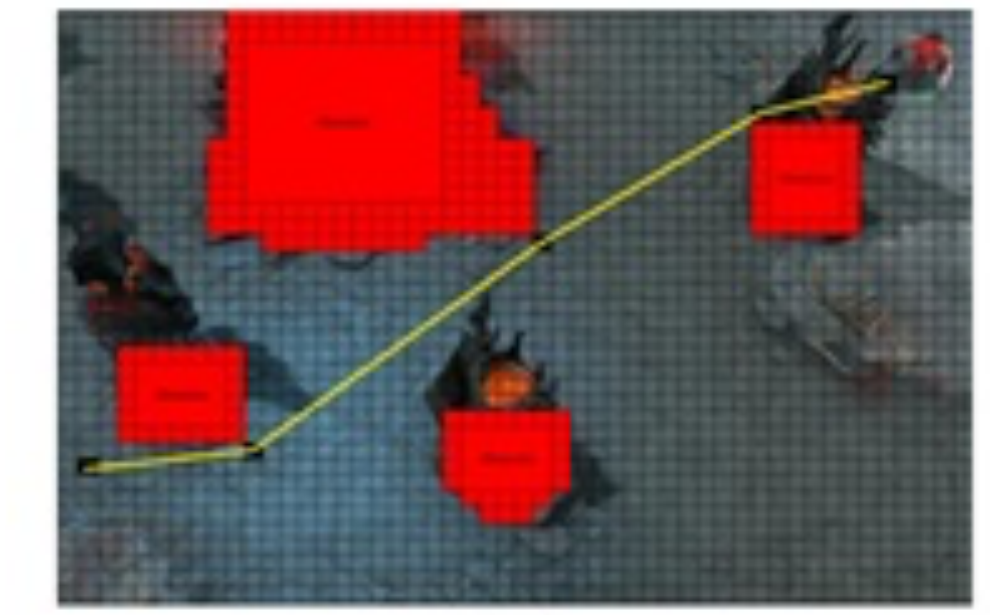
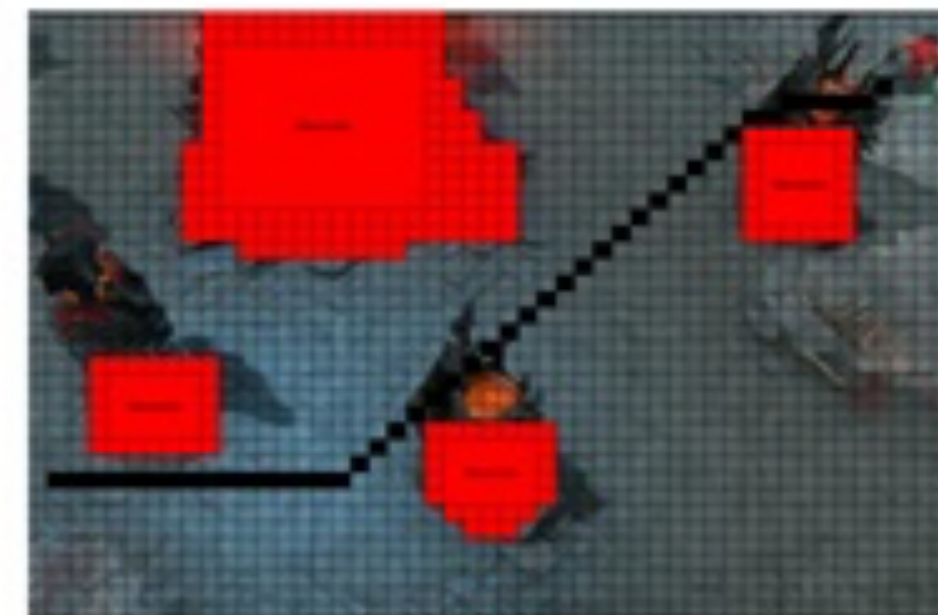
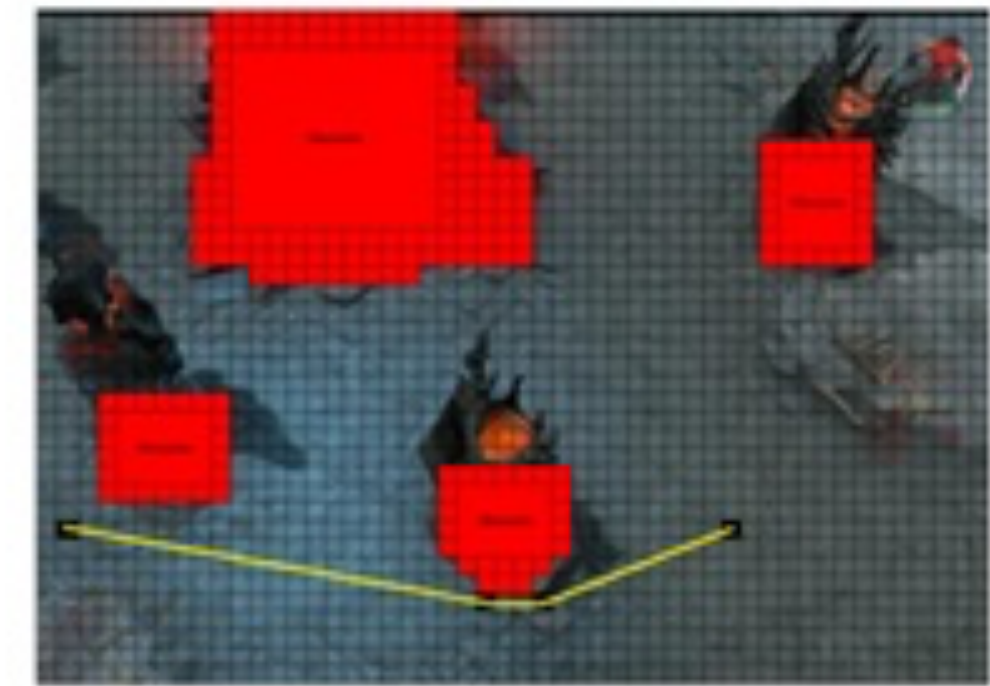
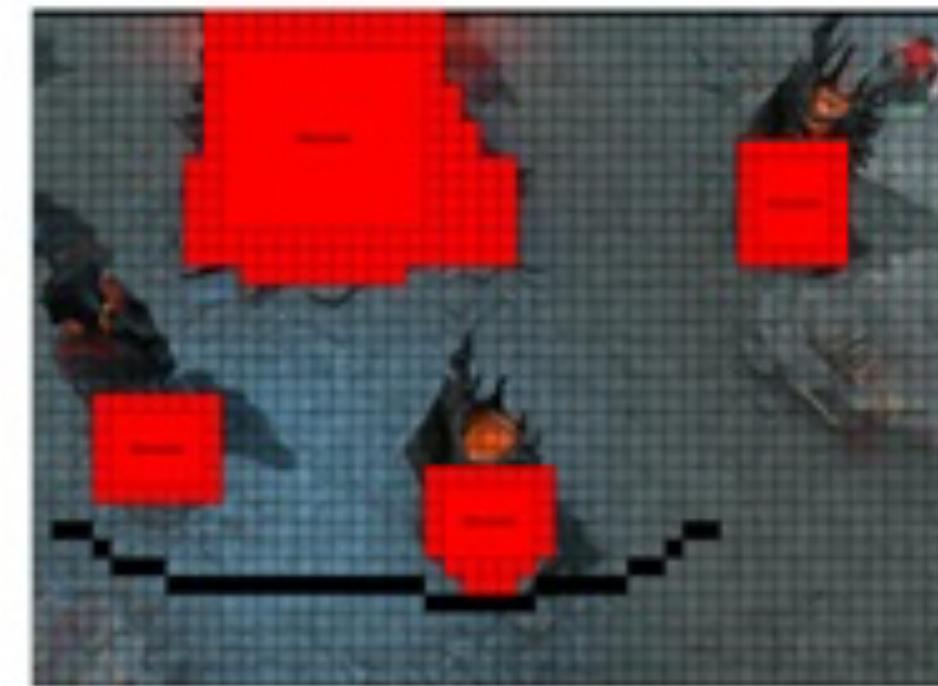


Рис.4: Пример применения МА

# Представление окружающей среды

Решетка (grid)

Один из простых способов

Классика:

- 4-соседство
- 8-соседство

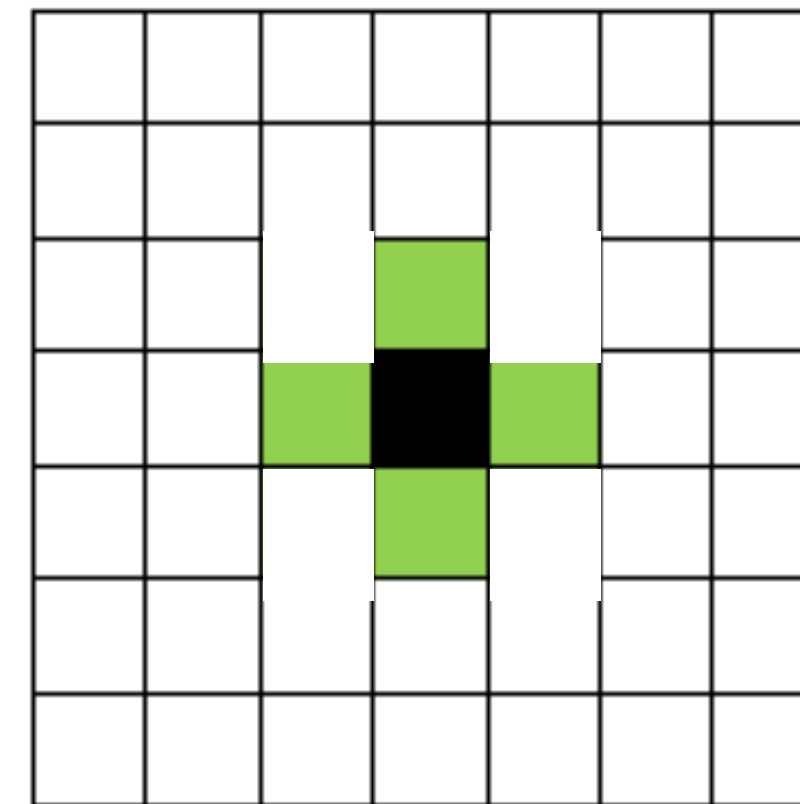


Рис.5: Окрестность фон Неймана

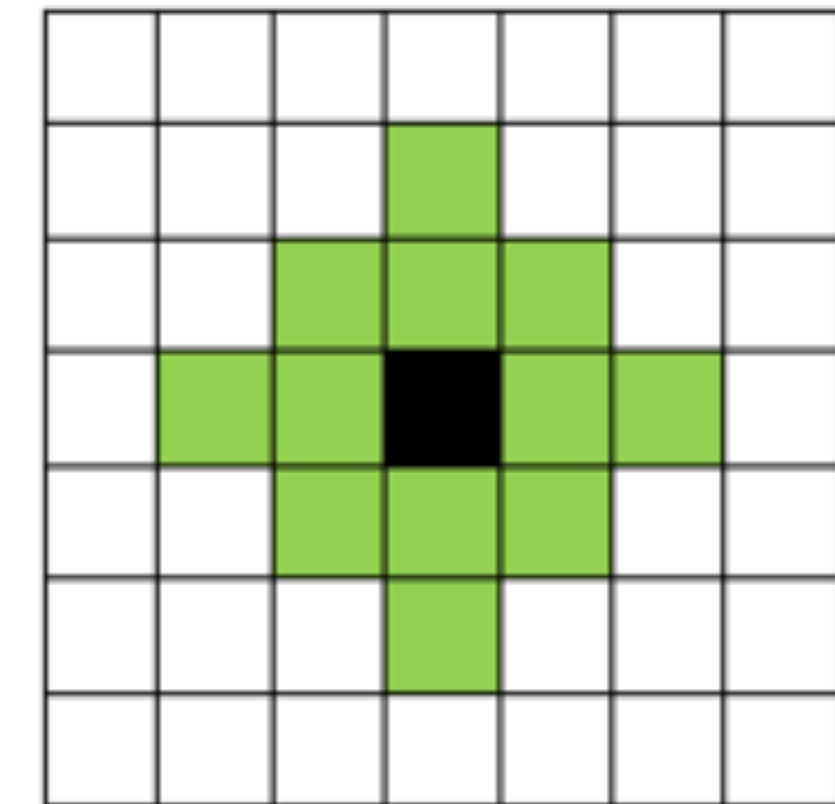


Рис.6: Окрестность Мура

Расширенный вариант: 16, 24, 30 направлений (увеличение степени свободы)



# Представление окружающей среды

MAKLINK - представления свободного пространства через набор свободных линий, соединяющих вершины окаймлённых препятствий и границы среды

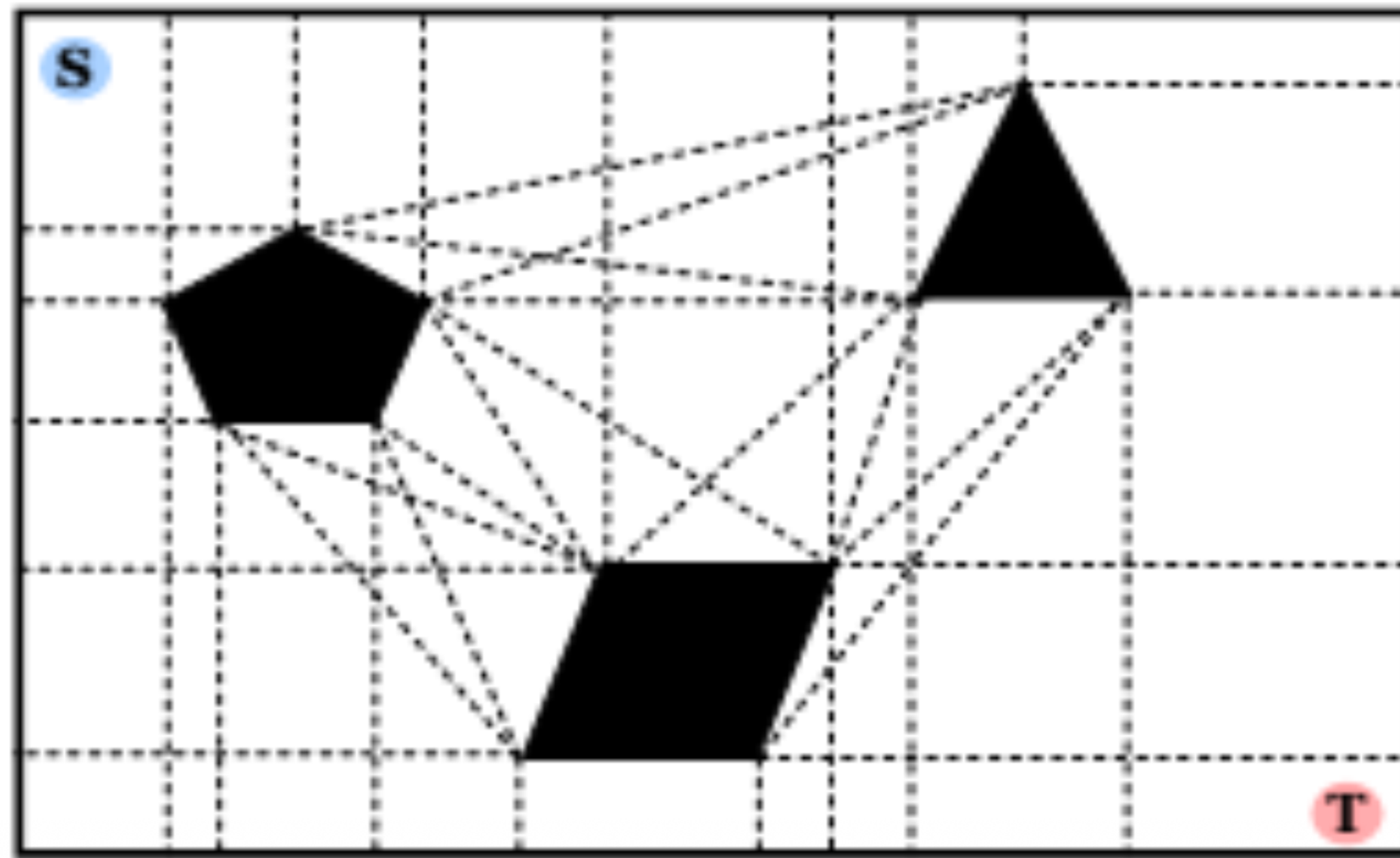


Рис.7: Без избыточных свободных линий

# Представление окружающей среды

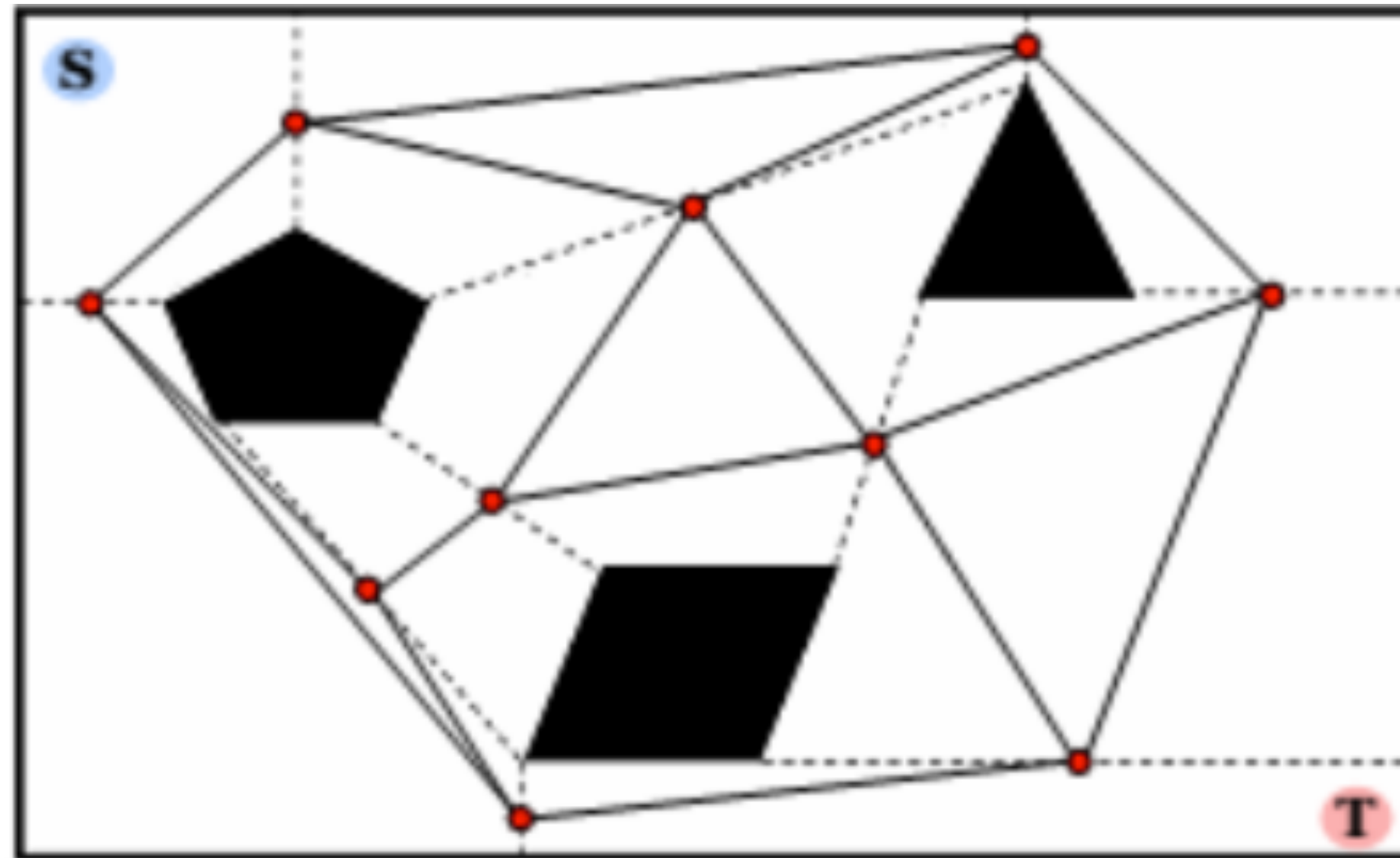


Рис.8: Соединенные средние точки

# Представление окружающей среды

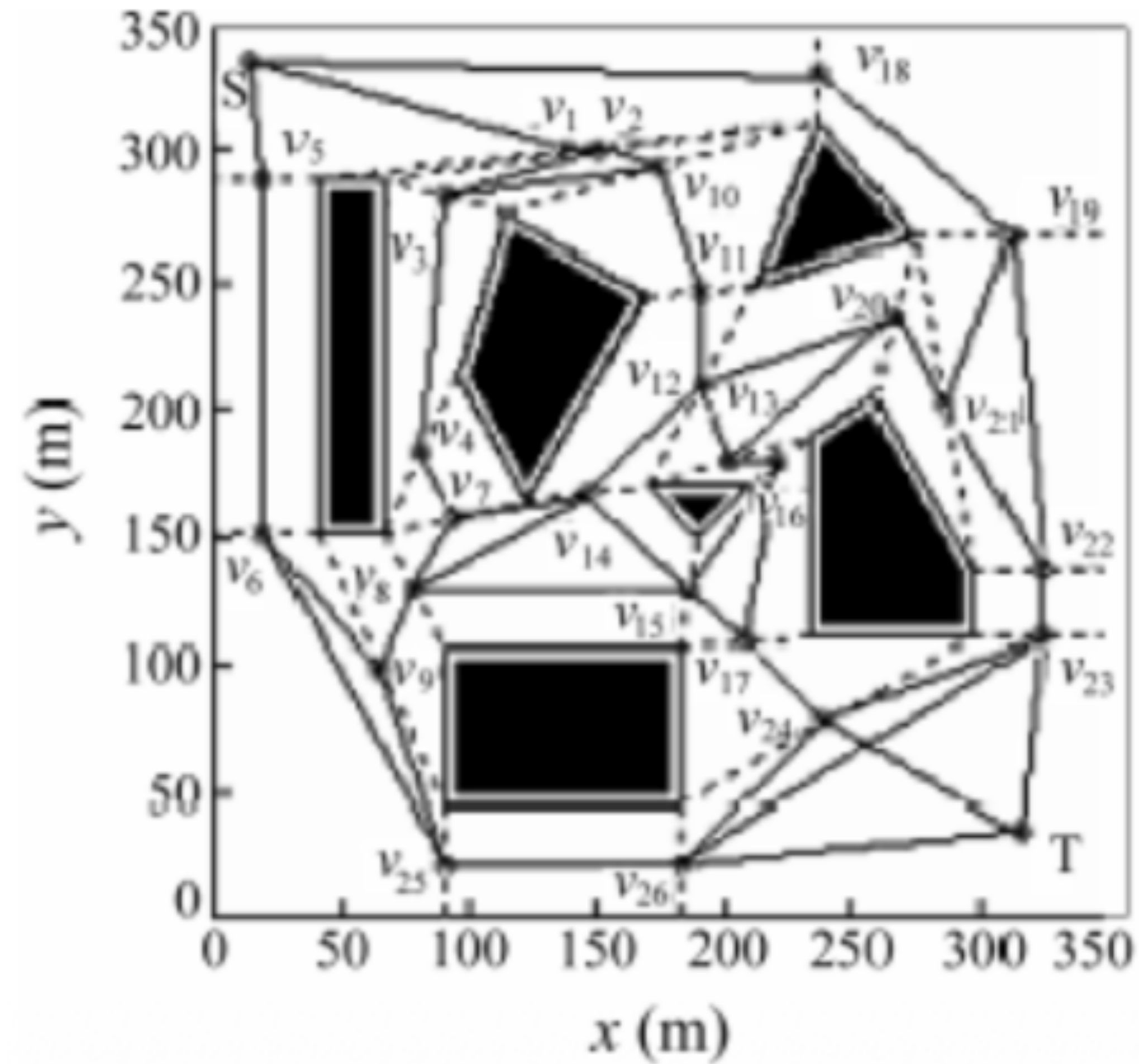


Рис.9: Граф пути

# Базовые принципы и интуиция

- Испарение феромона — снижение значений  $\tau$  во времени, что предотвращает преждевременную конвергенцию и способствует исследованию;
- Подкрепление лучших решений — увеличение  $\tau$  на ребрах/узлах, входящих в хорошие по качеству пути.

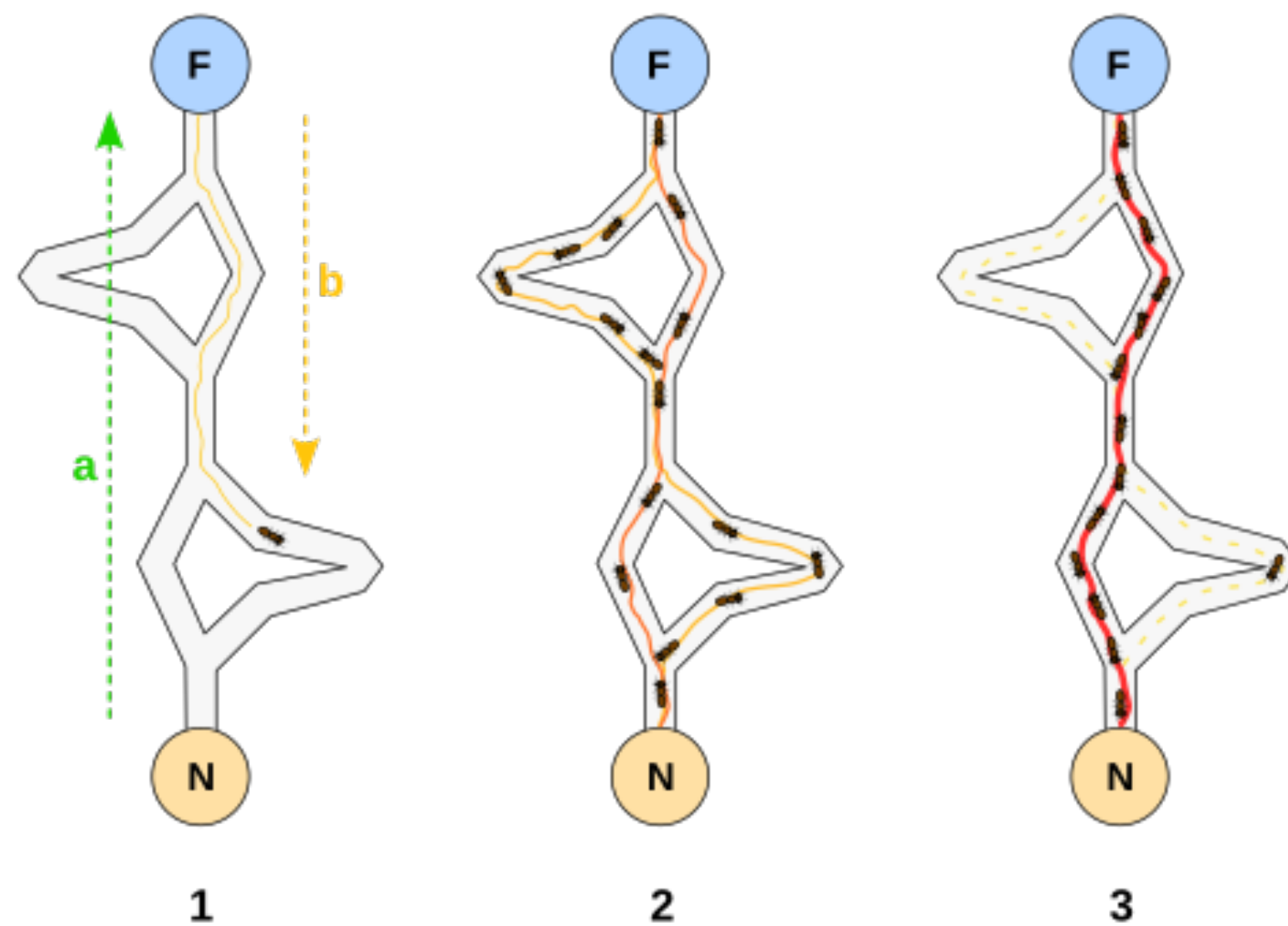


Рис.10: Визуализация



# Формальное описание (Параметры)

$\alpha$  степень влияния феромона в правиле перехода;

$\beta$  степень влияния эвристики  $\eta$ ;

$\rho$  коэффициент испарения/локальной коррекции феромона;

$Q$  количество феромона, вносимого лучшим муравьём;

$\tau_0$  начальная концентрация феромона;

$m$  число муравьёв (мощность популяции);

$N$  максимальное число итераций.

# Формальное описание

Вероятность перехода

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{k \in \mathcal{N}_i \setminus \text{BlackList}} [\tau_{ik}(t)]^\alpha [\eta_{ik}(t)]^\beta}. \quad (1)$$

феромоновая метка  $\tau_{ij}(t)$ ,  $\eta_{ij}$  - эвристическая характеристика

Локальное обновление феромона

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{ij} + \rho \tau_0, \quad (2)$$

$\tau_0$  - базовый уровень феромона

Глобальное обновление феромона

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \tau_{ij}(t) + \frac{Q}{L^+}, \quad (3)$$

$Q$  - константа масштабирующая вклад феромона от лучшего пути

$$\eta_{iu} = \frac{1}{1 + |y_{iu} - y_{iu}^*|} \quad (4)$$

Эвристика отклонения координат по  $y$  (для MAKLINK)

# Формальное описание

Критерий останова:

- достижение предельного числа итераций  $N$
- все муравьи построили один и тот же путь
- достижение требуемого уровня качества решения.

# Генетический алгоритм / муравьиный алгоритм

- МА достигает оптимума примерно на 38-й итерации;
- ГА даёт оптимум примерно на 240-й итерации;
- МА требует меньше время на построение пути при равной мощности популяции.

	ACS Algorithm	Real-coded GA
Average CPU time per iteration (sec.)	0.00059	0.00067
Average number of iterations needed for convergence	175	912
Average CPU time needed for obtaining optimal solution (sec.)	0.1033	0.6110

Рис. 11: Результаты проведения анализа (с методического материала)



# Генетический алгоритм / муравьиный алгоритм

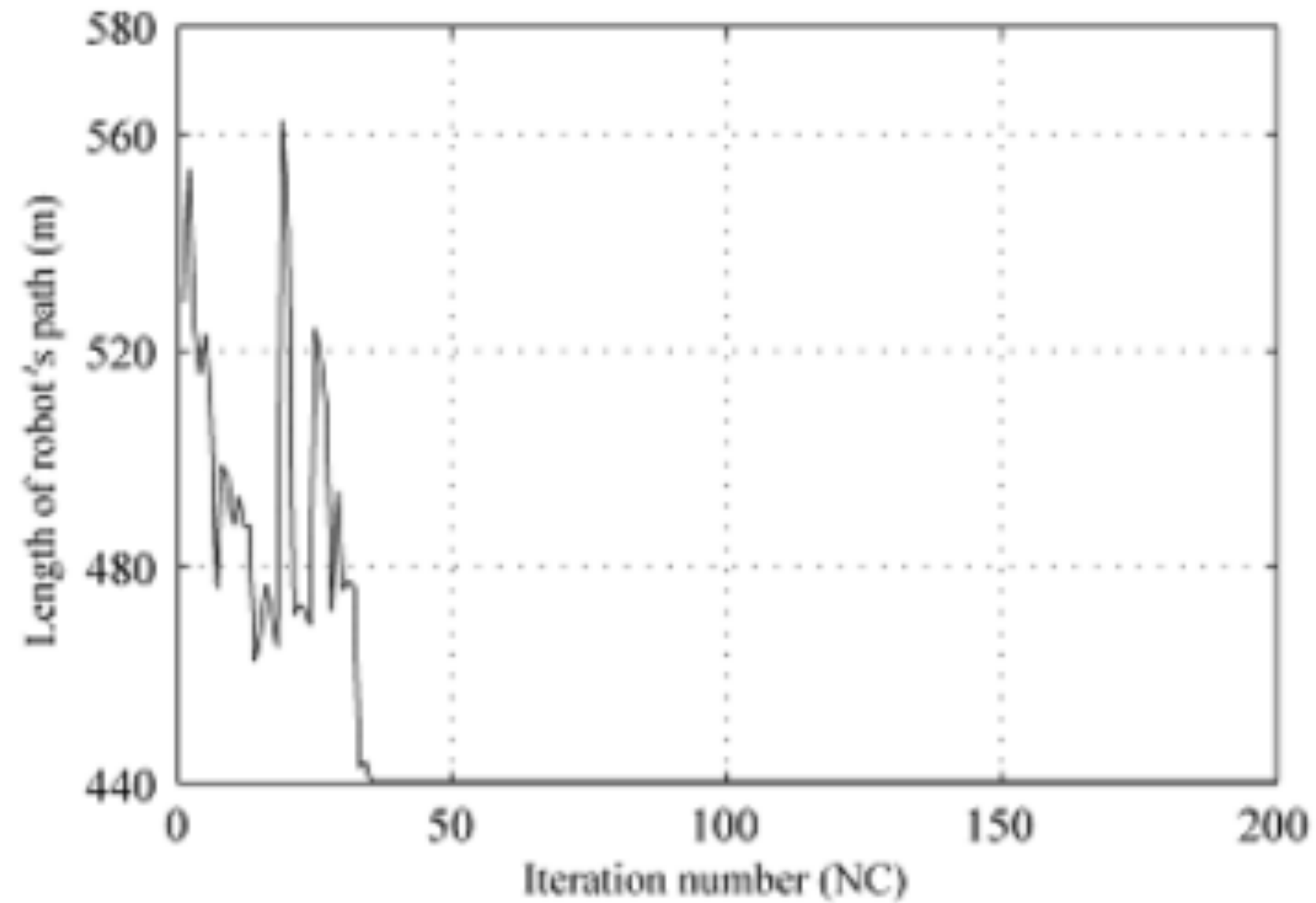


Рис. 12: Муравьиный алгоритм (сходимость)

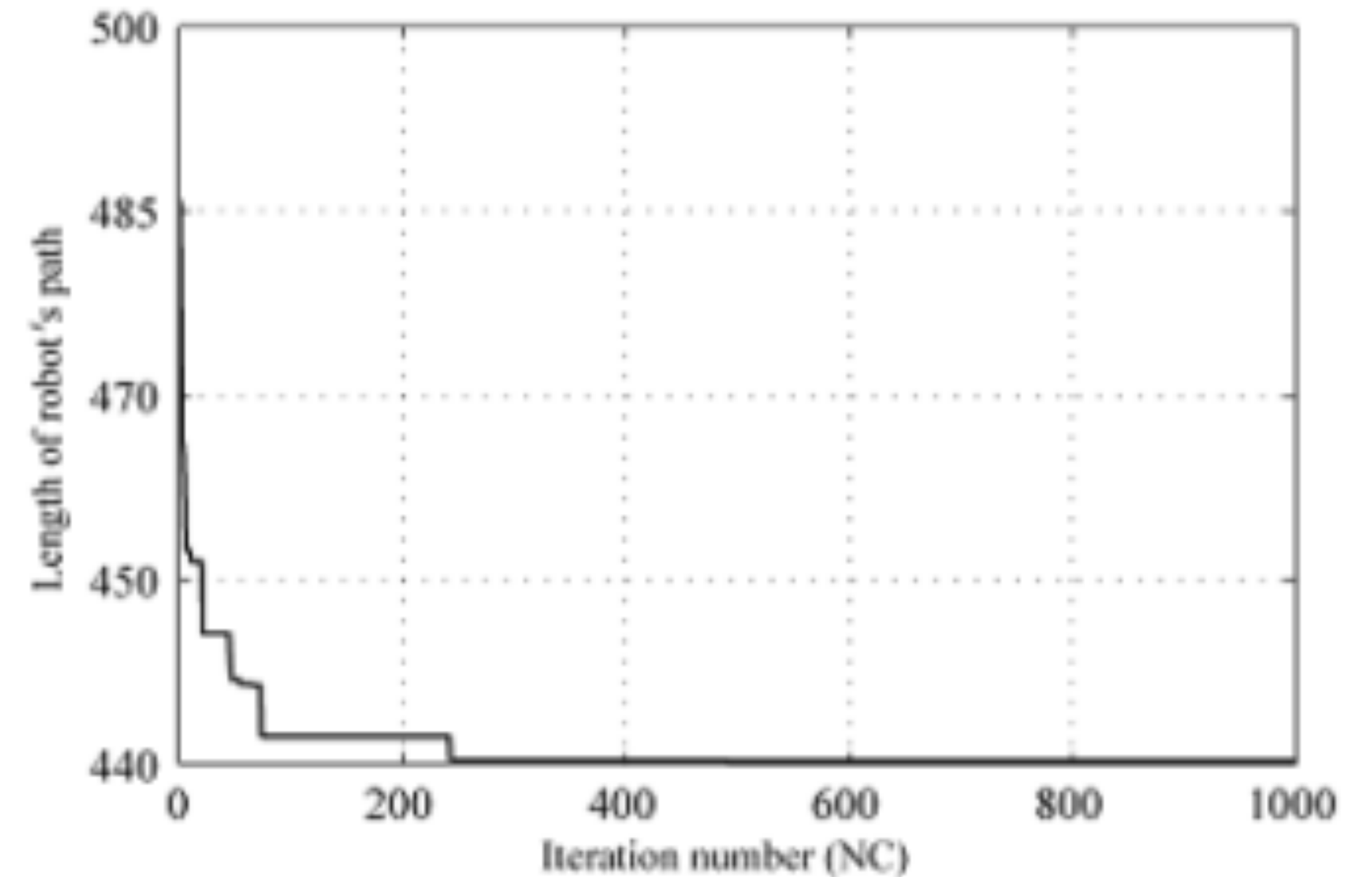


Рис. 13: Генетический алгоритм (сходимость)

# Заключение

Муравьиный алгоритм (ACS) является эффективным стохастическим методом для задачи планирования пути, демонстрирующим хорошую сходимость и качество решений на тестовых средах;

- гибридные схемы, комбинирующие детерминированные алгоритмы (Дейкстра, MAKLINK) и МА, дают значительное улучшение начальных субоптимальных решений и обеспечивают безопасность (отсутствие столкновений);
- корректная настройка параметров ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\rho$ ,  $Q$ ,  $m$ ,  $N$   $C$ ) и выбор представления пространства (grid/MAKLINK) критично влияют на производительность и качество;
- практические реализации должны учитывать динамику среды, интеграцию с сенсорными данными и требования к сглаживанию траекторий.

# Список литературы

- [1] Скобцов Ю. А. ГА: Планирование пути МА. СПбПУ. 1-59 с.
- [2] DORIGO, M., BIRATTARI, M., STUTZLE, T. Ant Colony Optimization. IEEE Computational Intelligence Magazine. 2006. Vol. 1, no. 4. pp. 28–39.
- [3] МАЛЬГИНА, Майя. Графы и муравьиные алгоритмы. Skillbox Media. Доступно по ссылке: <https://skillbox.ru/media>.
- [4] ЦУРИКОВ, А. Построение маршрутов с использованием муравьиных алгоритмов. Доступно по ссылке: <https://example.com>.
- [5] Amazon Robotics. Применение муравьиных алгоритмов в логистике. [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://example.com/amazon>.
- [6] ВАСИЛЬЕВ, С. В., ПЕТРОВ, А. А. Моделирование свободного пространства с использованием теории MAKLINK. Известия вузов. Технические науки. 2015. №3. С. 56–64.
- [7] ACS Ant Colony System: A new heuristic optimization approach for solving TSP. Elsevier Science. 1997. Vol. 6, no. 4. pp. 321–333.
- [8] FedEx Logistics. Оптимизация маршрутов на основе муравьиных алгоритмов. [Электронный ресурс]. Доступно по ссылке: <https://example.com/fedex>.
- [9] BONABEAU, E., DORIGO, M., THERAULAZ, G. Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press. 1999.

Спасибо за внимание !