



Санкт-Петербургский государственный университет
Системное программирование

Прототип средства моделирования для сравнения стратегий управления группой роботов

Ершов Владислав Евгеньевич

Научный руководитель:

д. ф.-м. н.,

Граничин Олег Николаевич

Санкт-Петербург
2023

Введение (1)

- В последнем десятилетии появилось огромное множество задач, которые можно эффективно решать группой роботов
- Для применения группы роботов необходимо на каждом роботе иметь путь исполнения задачи
- Есть несколько вариантов для получения данного пути
 - ▶ Микро-управление – вычисляется индивидуальный путь для каждого робота
 - ▶ Макро-управление – на основе начальных данных вычисляется усредненный путь, затем он применяется на каждом роботе
 - ▶ Мезо-управление – некоторый средний вариант
- Все подходы имеют свои преимущества и недостатки

- Адаптация управления под задачу – увеличивает эффективность ее решения
- Адаптировать управление можно разными путями
 - ▶ Распределение роботов по кластерам в зависимости от начальных данных
 - ▶ Внесение возможности обхода препятствий на микро-уровне
 - ▶ Предсказание лучших путей исполнения задачи на основе результатов роботов, уже исполнивших некоторую ее часть
- Такие пути адаптации эффективны для широкого круга задач

Постановка задачи

Цель работы – разработка и реализация прототипа приложения для симуляций, который бы позволил наглядно сравнить работу стратегий микро-, мезо- и макро-управления

Задачи:

- 1 Сделать обзор средств симуляции для групп роботов
- 2 На основе обзора разработать мир симуляции
- 3 Реализовать приложение
- 4 Реализовать алгоритмы микро-, мезо-, макро-управления
- 5 Провести практический эксперимент для оценки эффективности стратегий управления
- 6 Написать разделы в статьи для CAP, IFAC, ECC

Обзор существующих решений, мультиагентные системы (1)

JADE – программное обеспечение промежуточного слоя для реализации распределенных мультиагентных систем

Включает:

- Динамическую среду
- Набор графических утилит
- Библиотеки классов

Довольно тяжеловесная платформа

Обзор существующих решений, мультиагентные системы (2)

SPADE – интеллектуальная среда разработки агента Python для реализации мультиагентных систем, основанная на обмене мгновенными сообщениями – XMPP
Предоставляет:

- Механизм подключения агентов к платформе
- Набор различных вариантов поведения
- Диспетчера сообщений, который отвечает за передачу сообщений агентам

Существует проблема связанная с потерями сообщений агентов

Обзор существующих решений, Webots

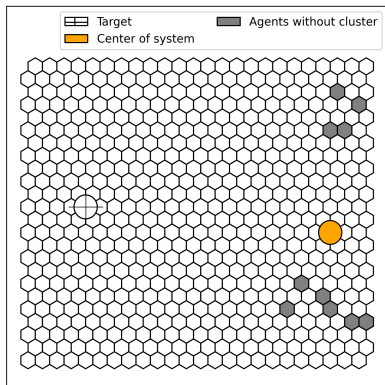
Webots – кроссплатформенная система моделирования, которая имеет множество интеграций: MATLAB, ROS, API для языков программирования Java, Python, C++
Предоставляет:

- Богатую библиотеку сенсоров, моделей и агрегатов для роботов
- Интерактивную 3D-визуализацию
- Набор готовых роботов и окружений
- Инструменты для реализации связи между роботами

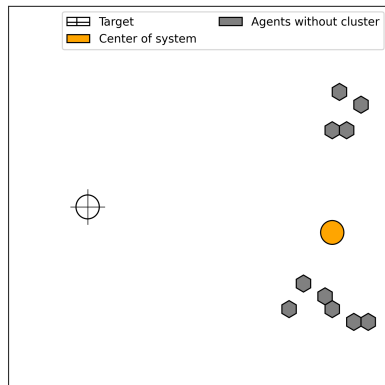
Разработка прототипа симуляции (1)

- Мир – бесконечная плоскость, состоящая из шестиугольных клеток
- Время идет дискретно
- За один такт робот может сдвинуться на соседнюю клетку
- Задача роботов – добраться до определенной клетки
- Роботы могут обмениваться сообщениями с другими роботами один раз за такт

Разработка прототипа симуляции (2)



Step number: 0



Step number: 0

Рис.: Мир симуляции

Реализация прототипа симуляции

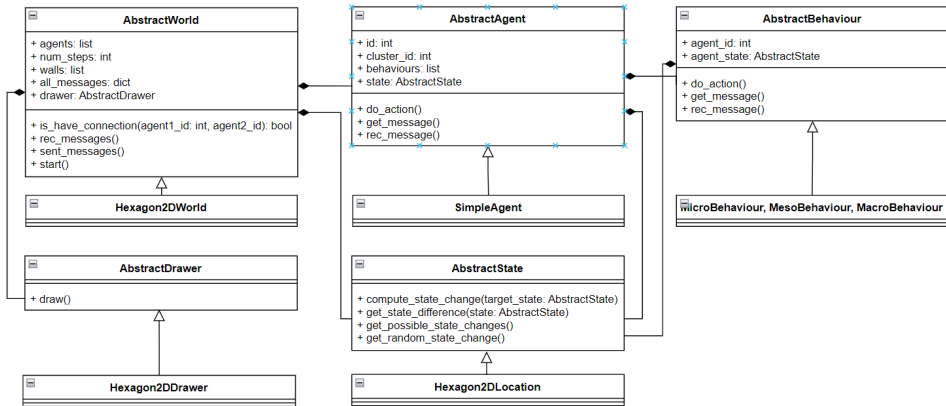


Рис.: Мир симуляции

Эксперимент (1)

Реализация стратегий управления для эксперимента:

- Стратегия микро-управления – агенты движутся к цели, за каждое столкновение агенты получают 1 штрафной шаг
- Стратегия макро-управления – агенты находят общий центр масс, вычисляют траекторию от центра масс к цели и перемещаются параллельно ей
- Стратегия мезо-управления – агенты движутся к цели, по группам, если агент окажется рядом с препятствием, то он может внести небольшое искажение в общий контроль кластера, чтобы обойти препятствие

Эксперимент (2)

- Метрика точности выполнения задачи – точность группы
- Метрика групповой точности – диаметр

Эксперимент (3)

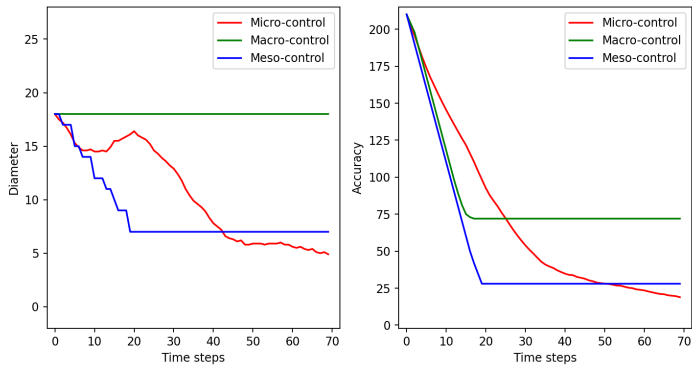


Рис.: Диаметр и точность группы для 10 агентов

Эксперимент (4)

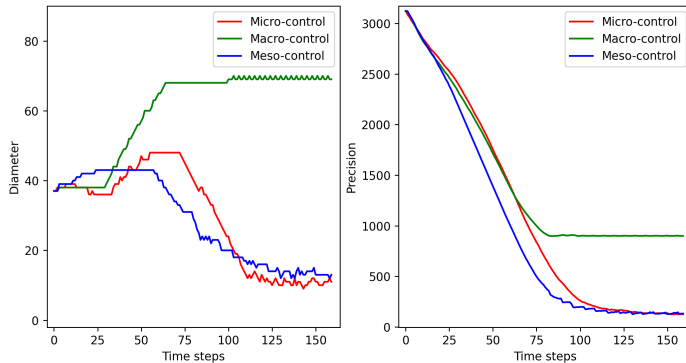


Рис.: Диаметр и точность группы для 40 агентов

Эксперимент (5)

- Если целей несколько, то мезо-управление даст лучшую динамику исполнения задачи
- Микро-управление очень сильно растягивает группу, что приводит к ухудшению групповой точности

- 1 Сделан обзор средств симуляции для групп роботов
- 2 Разработан мир симуляции
- 3 Реализовано приложение
- 4 Реализованы алгоритмы микро-, мезо-, макро-управления
- 5 Проведен практический эксперимент для оценки эффективности стратегий управления
- 6 Написаны разделы в статьи для CAP, IFAC, ECC

Эксперимент (6)

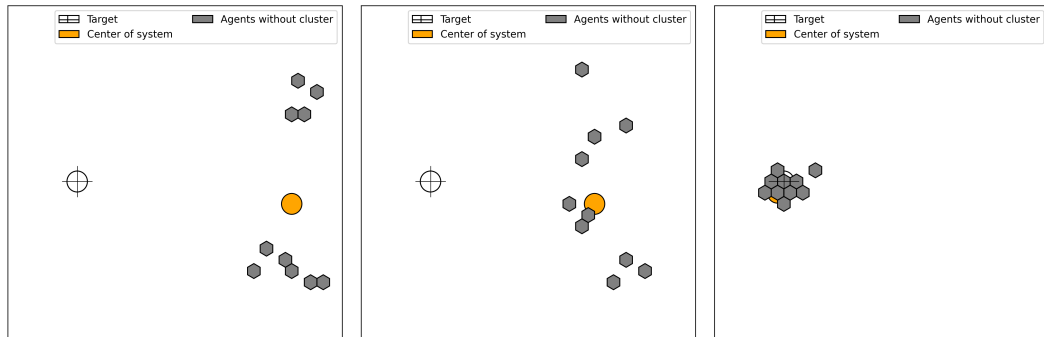


Рис.: Состояния группы для стратегии микро-управления

Эксперимент (7)



Рис.: Состояния группы для стратегии макро-управления

Эксперимент (9)

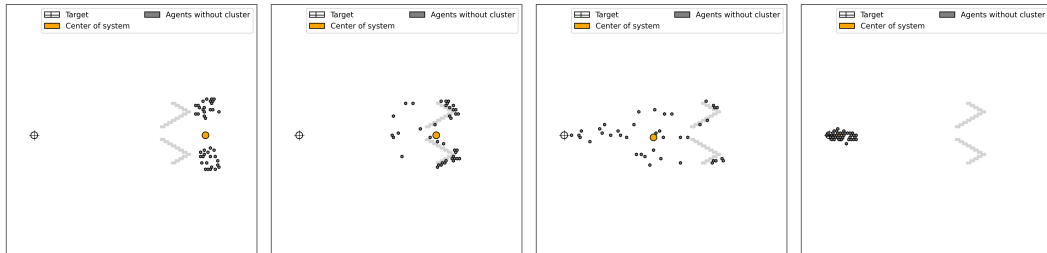


Рис.: Состояния группы для стратегии микро-управления с препятствиями

Протокол локального голосования (1)

Рассмотрим сеть как граф $G = (N, E)$, где узлы это вершины, а связи между узлами – дуги:

- У каждого узла i есть состояние x^i в момент времени t – представление о состоянии системы
- Задача – синхронизация состояний всех узлов, достижение консенсуса
- Узлы системы достигают ϵ – консенсуса в момент времени t , если $|x_t^i - x_t^j| < \epsilon, \forall i, j \in N, i \neq j$
- Динамика узла:

$$x_{t+1}^i = x_t^i + f_t^i + u_t^i,$$

где f_t^i – обновление информации с агрегатов и датчиков узла, а u_t^i – управляющий сигнал

Протокол локального голосования (2)

- Узел i получает информацию о представлениях своих соседей с некоторым шумом и задержкой:

$$y_t^{i,j} = x_{t-d_t^{i,j}}^j + w_t^{i,j}$$

- Управляющий сигнал:

$$u_t^i = \gamma \sum_{j \in N_t^i} (y_t^{i,j} - x_t^i),$$

где γ – коэффициент чувствительности алгоритма

Проект «Рой из 100 роботов»

- 1 Каждый робот имеет 4 фоторезистора с углом обзора сто градусов каждый и инфракрасный дальномер с небольшим углом обзора
- 2 У каждого робота есть возможность определить свой курс в одной для всех системе координат
- 3 Каждый робот имеет уверенность в своем курсе, которая вычисляется, исходя из показаний датчиков
- 4 Все роботы обмениваются свои курсом и уверенностью в курсе
- 5 Роботы корректируют свой курс, ориентируясь на своих соседей
- 6 Представлением о состоянии системы в данном случае будут два числа – курс и уверенность в курсе