

Отчет по научно-исследовательской работе на тему: «MARL ДЛЯ СЕТИ СВЕТОФОРОВ»

Т. И. Тисленко

ФГАОУ ВО «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт математики и фундаментальной информатики
Кафедра высшей и прикладной математики

Научный руководитель — к.ф.-м.н., доцент Д.В. Семенова

Красноярск, 2021

Актуальность

Проблема

оптимизации планов координации светофорных объектов в условиях городской сети.



Рисунок 1: Пробки в Красноярске

Цели и задачи

Цель работы

Разработка и исследование математической модели мультиагентной системы для задачи координации светофорных объектов в транспортной сети мегаполиса.

Задачи

1. Построить математическую модель MARL для сети двухфазных светофоров.
2. Разработать алгоритм решения задачи MARL.
3. Провести вычислительные эксперименты для одного и двух светофоров.

Основные определения и обозначения

Таблица 1: Основные обозначения

| | |
|------------------------|---|
| K | число агентов |
| k | номер агента |
| S^k | пространство состояний для k -го агента |
| A^k | множество решений для k -го агента |
| s_t | совокупное состояние среды в момент времени t |
| a_t | совокупное управление в момент времени t |
| $r(s_t, a_t; s_{t+1})$ | время, подсчитанное для машин двигающихся на фазе s_{t+1} |
| $N(k)$ | множество соседних с k агентов |
| s^{kj} | совместные состояния агентов k и j |
| a^{kj} | совместные действия агентов k и j |
| $V(\{S_t, \delta\})$ | функция суммарных доходов/вознаграждений для K агентов |

Основные определения и обозначения

Для k -го агента

- S^k определяются классом вычетов по модулю

$$S^k = n^{(k)}\mathbb{Z} = \left\{ s^{(0)} = 0, s^{(1)} = 1, \dots, s^{(n^{(k)}-1)} = n^{(k)} - 1 \right\}, \quad n^{(k)} = |S^k|,$$

где $s^{(i)}$ интерпретируется как «активна фаза i »;

- A^k определяется характеристикой кольца $n^{(k)}\mathbb{Z}$, т.е. не превышает ее, $A^k = \left\{ a^{(0)} = 0, a^{(1)} = 1, \dots, a^{(n^{(k)}-1)} = n^{(k)} - 1 \right\}$, где $a^{(j)}$ интерпретируется как «сменить фазу j раз».

В момент времени t

- $\mathbf{s}_t = \{s_t^1, s_t^2, \dots, s_t^K\} \in \mathcal{S} = S^1 \times S^2 \times \dots \times S^K$;
- $\mathbf{a}_t = \{a_t^1, a_t^2, \dots, a_t^K\} \in \mathcal{A} = A^1 \times A^2 \times \dots \times A^K$;
- $\mathbf{a}^{kj} \in A^k \times A^j$ и $\mathbf{s}^{kj} \in S^k \times S^j$;
- $V(\{\mathbf{s}_t, \delta\}) = \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t)$, где $0 \leq \gamma \leq 1$ — коэффициент переоценки, $\{\mathbf{s}_t\}$ — реализация случайного процесса при выбранной стратегии $\delta = \{\mathbf{a}_t, 0 \leq t < \infty\}$.

Постановка задачи MARL

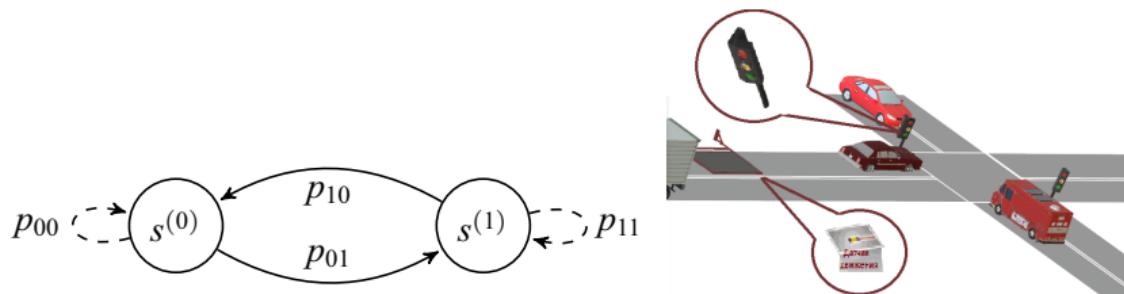


Рисунок 2: Стохастический граф управляемого процесса смены фаз для двухфазного светофора и его визуальная интерпретация. Пунктиром обозначено действие $a^{(0)}$, а сплошной — $a^{(1)}$

Постановка задачи

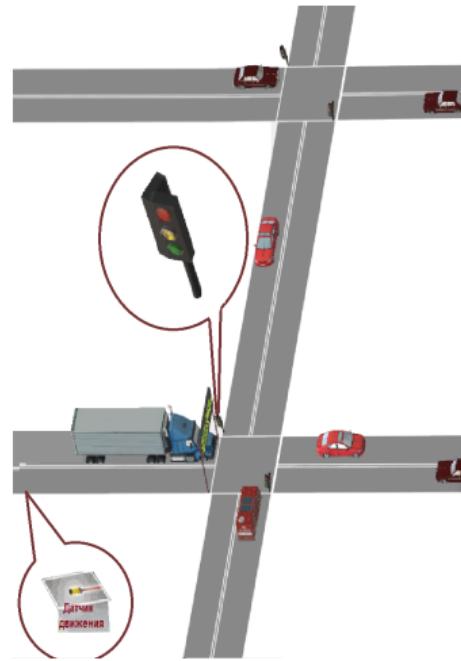
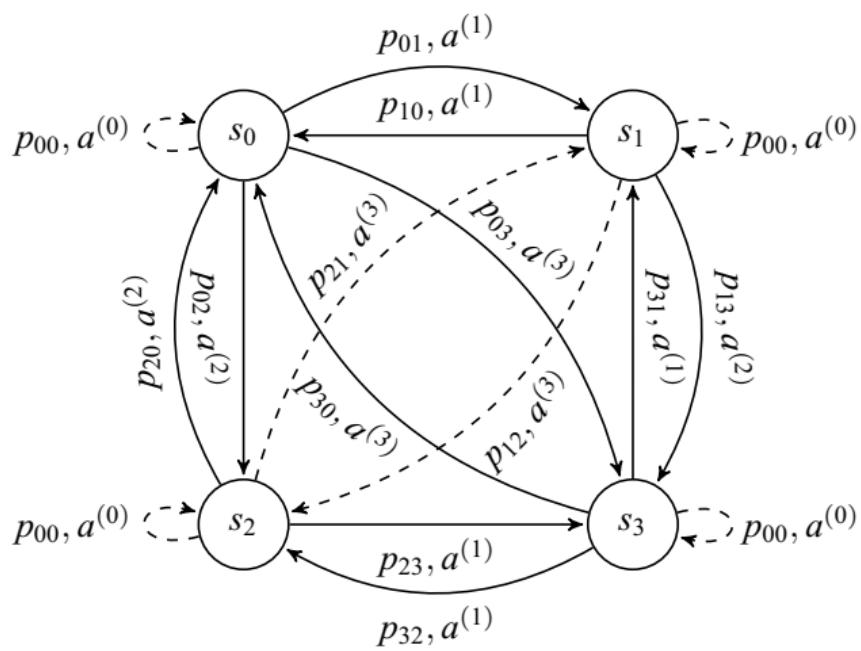


Рисунок 3: Стохастический граф сети из двух двухфазных светофоров

Задача MARL для сети светофоров

Постановка задачи MARL для сети светофоров

Требуется найти такое управление $\delta = \{\mathbf{a}_t, 0 \leq t < \infty\}$, которое доставляет максимум функции суммарных вознаграждений для K агентов

$$V(\{\mathbf{s}_t, \delta\}) = \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t) \rightarrow \max,$$

где $0 \leq \gamma \leq 1$ — коэффициент переоценки, $\{\mathbf{s}_t\}$ — реализация случайного процесса.

Решение ищется методом динамического программирования на основе принципа оптимальности Беллмана. Функцию суммарных вознаграждений при оптимальном управлении на шаге t :

$$V^*(\{\mathbf{s}_{t'}\}_{t'=0}^{t'=t}) = \max_{\mathbf{a} \in \mathcal{A}} Q_t(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}), \quad (1)$$

где

$$Q_t(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}) = \sum_{\mathbf{s}_{t+1} \in \mathcal{S}} p(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}; \mathbf{s}_{t+1}) \left(r(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}; \mathbf{s}_{t+1}) + \gamma \max_{\mathbf{a}' \in \mathcal{A}} Q_{t-1}(\mathbf{s}_{t+1}, \mathbf{a}') \right). \quad (2)$$

Решение задачи MARL для двух светофоров

- Множество соседних агентов $N(k) = \{j\}$, $k \neq j$, $k, j = 0, 1$.
- Функция обучения агента k

$$Q_t^k(\mathbf{s}_t, a_t^k) = \sum_{a_j \in A^j} \underbrace{p(a_t^k; \mathbf{a}_t^{kj}) Q_t(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t^{kj})}_{Q_t^{kj}(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t^{kj})} = \sum_{a^j \in A^j} Q_t^{kj}(\mathbf{s}, \mathbf{a}_t^{kj}). \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Q_t^k(\mathbf{s}_t, a_t^k) &= \sum_{a_j \in A^j} p(a_t^k; \mathbf{a}_t^{kj}) \left(\sum_{\mathbf{s}_{t+1} \in \mathcal{S}} p(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t^{kj}; \mathbf{s}_{t+1}) \left(r(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t^{kj}; \mathbf{s}_{t+1}) + \gamma \max_{\mathbf{a}' \in \mathcal{A}} Q_{t-1}(\mathbf{s}_{t+1}, \mathbf{a}') \right) \right) = \\ &= \sum_{\mathbf{s}_{t+1} \in \mathcal{S}} \sum_{a_j \in A^j} p(\mathbf{s}_t, a_t^k; \mathbf{s}_{t+1}) \left(r(\mathbf{s}_t, \mathbf{a}_t^{kj}; \mathbf{s}_{t+1}) + \gamma \max_{\mathbf{a}' \in \mathcal{A}} Q_{t-1}(\mathbf{s}_{t+1}, \mathbf{a}') \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Оптимальное решение для агента k на шаге t

$$a_t^k = \arg \max_{a^k \in A^k} \sum_{a^j \in A^j} Q_t^{kj}(\mathbf{s}, \mathbf{a}^{kj}). \quad (5)$$

Решение задачи MARL для сети светофоров

Имея алгоритм решения задачи для двух светофоров, можно получить решение для любого их количества в сети.

Алгоритм MARLIN: основная идея

Оптимальное управление для фиксированного агента k будем искать как решение задачи MARL в виде:

$$a_t^k = \arg \max_{a^k \in A^k} \sum_{j \in N(k)} \sum_{a^j \in A^j} Q_t^{kj}(\mathbf{s}, \mathbf{a}^{kj}) p(\mathbf{s}' | (\mathbf{s}, \mathbf{a}^{kj})) \quad (6)$$

El-Tantawy S., Abdulhai B. and Abdelgawad H., Multiagent Reinforcement Learning for Integrated Network of Adaptive Traffic Signal Controllers (MARLIN-ATSC) // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, no. 3. 2013. — Р. 1140-1150.

Вычислительные эксперименты

Вычислительные эксперименты проводились в системе имитационного моделирования Anylogic. Алгоритмы реализованы на языке программирования Java 8. Построены модели перекрестка с фиксированной длительностью фаз (рис. 4а) и управляемого марковским процессом (рис. 4б).

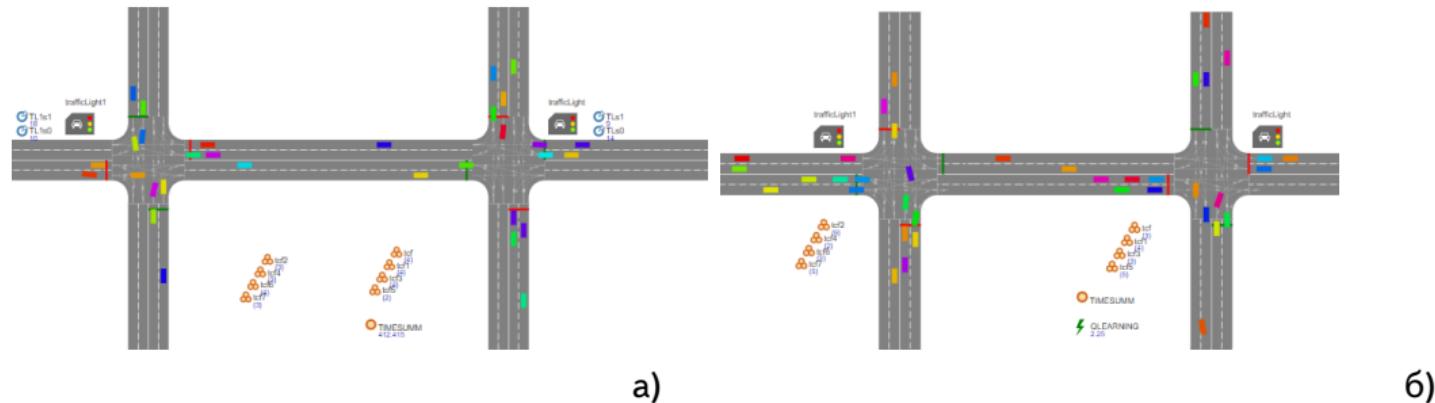


Рисунок 4: а) модель перекрестка с фиксированной длительностью фаз, б) модель перекрестка управляемого марковским процессом

Основные результаты работы

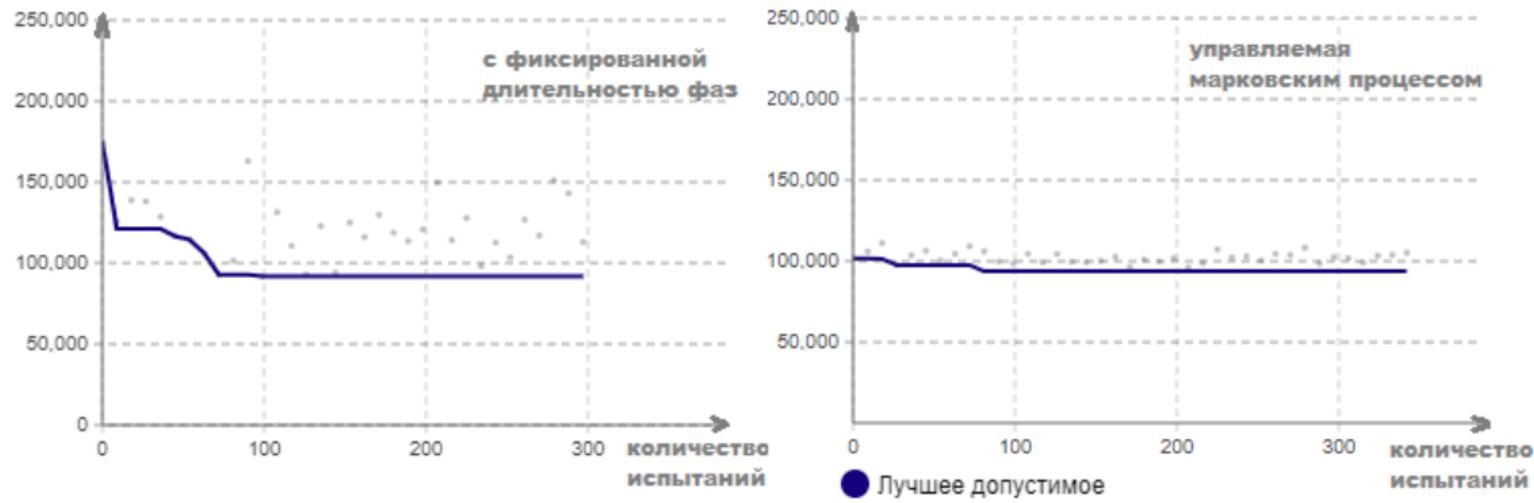


Рисунок 5: Сравнение задержки *TIMESUMM*

Основные результаты

- Построена математическая модель процесса выбора фазы для сети светофоров, отличающаяся учетом текущего расположения светофоров и их загрузки и позволяющая сформулировать оптимизационные задачи, целью которых является минимизация задержки трафика автомобилей.
- Разработана структура мультиагентной системы — сети сферетофоров участка дороги.
- Проведены вычислительные эксперименты в системе имитационного моделирования Anylogic для одного и двух сферетофоров.

Аппробация работы



Рисунок 6: Дипломы конференции

Планы

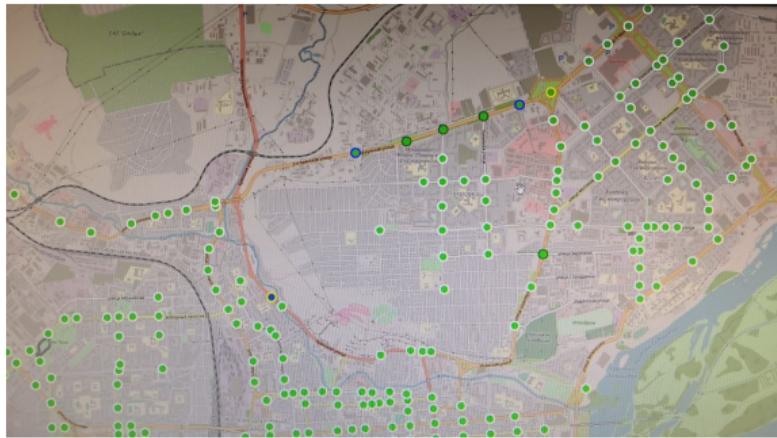


Рисунок 7: Карта перекрестков, предоставленная УдиБ г. Красноярска

Планы



Рисунок 8: Модель перекрестка проспект Свободный – ул. Годенко

Планы

В следующем семестре планируется:

- проверить эффективность модели на реальных объектах,
- разработать инструменты обучения модели, требующие меньших вычислительных ресурсов.

Основная литература

-  El-Tantawy S., Abdulhai B. and Abdeltawab H., Multiagent Reinforcement Learning for Integrated Network of Adaptive Traffic Signal Controllers (MARLIN-ATSC) // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 14, no. 3. 2013. — P. 1140-1150.
-  Лекции по случайным процессам: учебное пособие / А. В. Гасников, Э. А. Горбунов, С. А. Гуз и др.; под ред. А. В. Гасникова. – «Москва»: МФТИ, 2019. — 285 с.
-  Марковские процессы принятия решений. / Майн Х., Осаки С. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1977. — 176 с.
-  Sandholm T.W. Contract Types for Satisficing Task Allocation: I Theoretical Results // AAAI Spring Symposium Series: Satisficing Models. 1998. — P. 68-75.
-  Управляемые марковские процессы с конечными пространствами состояний и управлений, Теория вероятностей и ее примен., Том 11. /В. В. Рыков. 1966. — 343-351 с.