

УДК 519.7

Моделирование движения транспорта при помощи многоплановых Р-сетей

А. Н. Лукин, В. А. Башкин

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

E-mail: arabicus_porte@mail.ru, v-bashkin@mail.ru

Аннотация

Рассматривается задача построения динамической модели движения транспорта с применением Р-сетей. Предлагается новый формализм многоплановых Р-сетей, его применение в решении задачи. Теорема о эквивалентности по выразительной мощности многоплановых Р-сетей и обыкновенных сетей Петри.

Ключевые слова: сети Петри, сети активных ресурсов, Р-сети, многоплановые Р-сети.

Введение

В данной работе рассматривается задача моделирования движения транспорта на автомобильном перекрестке с целью анализа уровня конфликтности данного перекрестка.

В ряде источников [1], [2] приведены некоторые оценки конфликтности автомобильных перекрестков, основанных на статических данных о количестве конфликтных точек траекторий автомобилей, а также на интенсивности автомобильных потоков. Однако данные оценки не всегда удобны, поскольку они опираются либо на эмпирические данные, либо требуют данных об интенсивности движения автомобилей на реальном перекрестке [3].

Вследствие данного факта была разработана динамическая модель движения транспорта с использованием обыкновенных сетей Петри, которая в дальнейшем была модифицирована до модели с использованием сетей автоматов, управляемых ресурсами (Р-сетей). Также данная модель была модифицирована с использованием нового формализма — многоплановых Р-сетей.

© Лукин А. Н., Башкин В. А., 2019

Моделирование движения транспорта с помощью сетей автоматов, управляемых ресурсами (Р-сетей)

Ключевым отличием Р-сетей от сетей активных ресурсов является то, что в роли фишек выступают специальные расширенные конечные автоматы — автоматы, управляемые ресурсами. Таким образом, расширяется понятие фишки путем добавления ей собственного поведения. В ходе своей работы автоматная фишка потребляет и производит фишки-ресурсы (в т.ч. автоматные), находящиеся в узлах, соседних тому, в котором она сама находится. Дуги помечаются именами портов, указывая тем самым узлы с доступными ресурсами.

В итоге Р-сети можно выделить два основных компонента: системную сеть, представляющую из себя «карту» связей (портов), описывающих всевозможные отношения, в которых могут находиться агенты, и самих агентов, реализованных с помощью конечных автоматов с переходами, помеченными специальными ресурсными выражениями, которые определяют, какие системные ресурсы должны производиться и потребляться агентом в момент срабатываний этих переходов.

Несмотря на новые возможности моделирования, Р-сети обладают теми же возможностями анализа, что и сети Петри [4].

На рис. 1 изображены элементы системного уровня Р-сети, моделирующей движение транспорта по различным траекториям с наличием конфликтных точек. Эти элементы могут соединяться друг с другом, образуя системную сеть, моделирующую карту перекрестка любой сложности. По данной сети движутся автоматные фишки $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$.

На рис. 2 Изображен автомат, моделирующий конкретный автомобиль. Он представляет из себя автомат с двумя состояниями: s_1 — не в конфликтной точке; s_2 — в конфликтной точке. Переход между состояниями осуществляется при потреблении или отдаче ресурса ключа конфликтной точки cr .

Благодаря использованию Р-сетей, в задаче моделирования движения транспорта были достигнуты следующие преимущества:

- Все поведение инкапсулировано в фишке. Системная сеть — это карта перекрестка. Следовательно при изменении поведения движения транспорта не нужно менять карту. Например, увеличение скорости автомобиля настраивается интервалом срабатывания перехода автомата (в варианте TRDA [5]).

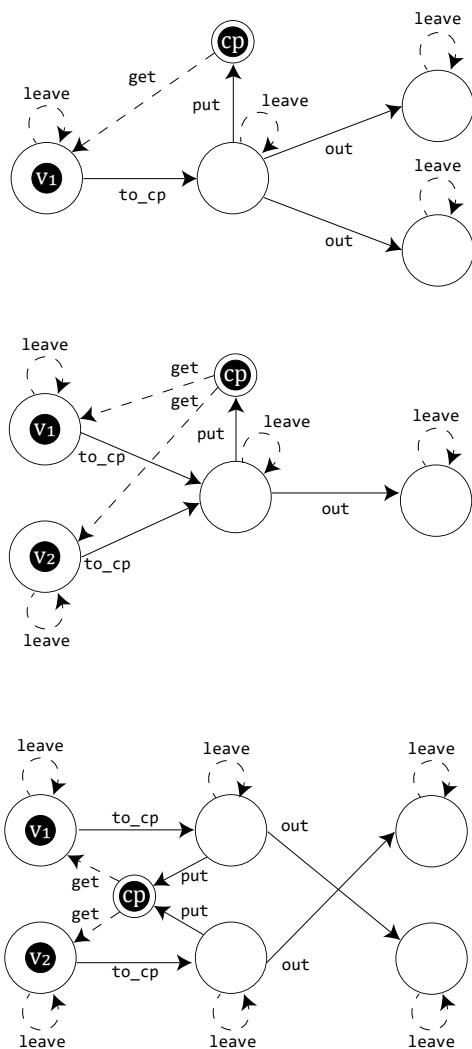


Рис. 1: Элементы системной сети: разветвление, слияние и пересечение автомобильных потоков

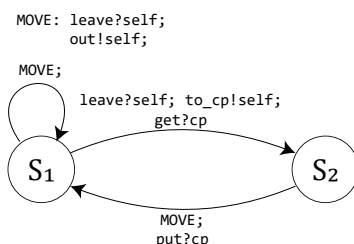


Рис. 2: Модель агента — конечный автомат

- Легко моделировать несколько видов автомобилей. Например, легковые, автобусы или грузовики, которые, в зависимости от модификаций портов на карте могут или не могут перемещаться по определенным траекториям. Другой пример: быстрые и медленные, маленькие и большие (большие лучше видно соседям по потоку).

Однако в Р-сетях не хватает инструмента для моделирования «глобальных переменных». Например, информации о пробках. В реальности сейчас автомобили очень часто выбирают маршрут на основе динамически изменяющейся дополнительной информации, а не только статической карты местности.

Но это неудобно реализовать и в сетях Петри, и в обычных Р-сетях, так как в них все взаимодействие «локальное» — переходы и фишки могут «видеть» только соседние узлы.

Можно было бы ввести специальные «глобальные» позиции с флагами (есть/нет пробка на том или ином направлении), но тогда их бы пришлось соединить со всеми переходами принятия решения, что очень сильно бы загромодило «карту».

Для решения этой проблемы вводится понятие *многоплановых Р-сетей*.

Моделирование движения транспорта с помощью многоплановых Р-сетей (MRDA)

Основная идея многоплановой Р-сети — использование не одной системной сети, а нескольких системных «планов» («плоскостей», «planes»). При этом один из планов будет выполнять роль основной

карты как в Р-сетях, а остальные планы будут являться вспомогательными, предназначаться для моделирования дополнительных факторов. Синтаксис у всех планов одинаковый (узлы и порты двух типов).

Экземпляр моделируемого объекта (фишка-автомат) может находиться в узлах сразу нескольких планов (но на каждом конкретном плане — только в одном узле данного плана).

Фишка-автомат может производить или потреблять любого плана, на котором она присутствует.

Таким образом, она может использовать информацию, получаемую на одних планах, при своем функционировании на других планах, тем самым обеспечивая синхронность работы нескольких системных сетей в рамках одной модели.

Для задачи моделирования движения транспорта модифицируем автомат так, чтобы для каждого направления движения на перекрестке соответствовал уникальный переход из конфликтной точки разветвления потоков (рис. 3), и составим сеть (рис. 4), содержащую два плана: MAP — карту перекрестка, где для каждой конфликтной точки указано направление движения, и вспомогательный план TRAFFIC_INFO — сеть с данными о пробках, где все фишки-авто находятся в одном узле, к которому подсоединены узлы с фишками-флажками (N_free, S_free, и т. д.), которые моделируют наличие или отсутствие пробок по различным направлениям. Фишки-авто, таким образом, видят куда ехать не нужно и могут менять свое поведение на плане MAP. Для обновления данных о пробках дополнительно вводятся специальные фишки-агенты, находящиеся одновременно в планах MAP и TRAFFIC_INFO, и при изменении накопления трафика на конечных узлах направлений в плане MAP меняют состояния флажков в плане TRAFFIC_INFO.

Многоплановые Р-сети — новый формализм, являющийся расширением обыкновенных сетей автоматов, управляемых ресурсами (Р-сетей). Для многоплановых сетей помимо прикладных моментов интерес представляет также теорема:

Теорема 1. *Многоплановые Р-сети (MRDA) эквивалентны по выразительной мощности обыкновенным сетям Петри.*

Так как по [4] Р-сети эквивалентны обыкновенным сетям Петри, нам достаточно доказать эквивалентность многоплановых Р-сетей обычным Р-сетям.

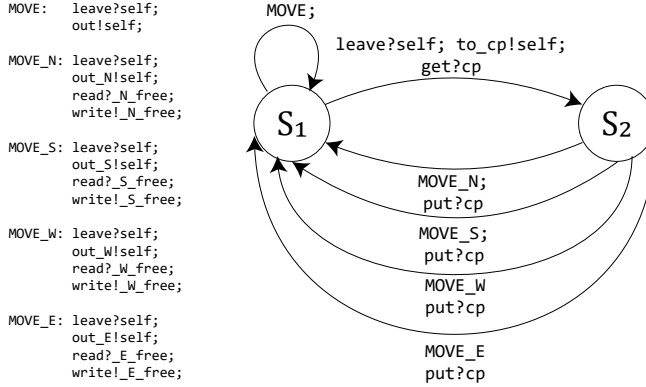


Рис. 3: Модифицированный конечный автомат для многоплановой Р-сети, моделирующий перекресток с четырьмя направлениями

Доказательство $RDA \subseteq MRDA$ очевидно, так как любая Р-сеть является многоплановой Р-сетью, состоящей из одного плана.

Рассмотрим общую идею доказательства $MRDA \subseteq RDA$. Для этого приведем алгоритм, преобразующий произвольную MRDA в RDA.

Пусть MRDA содержит n планов с множествами «автоматных» узлов V_1, V_2, \dots, V_n . Автоматные узлы новой Р-сети будут соответствовать возможным комбинациям «автоматных» узлов различных планов исходной сети, то есть элементам множества

$$\bigcup_{I \subseteq \{1, 2, \dots, n\}} \prod_{i \in I} V_i, \quad I \neq \emptyset$$

где $\prod_{i \in I} V_i$ — декартово произведение всех множеств с индексами из I .

Если в исходной многоплановой Р-сети автоматная фишка находилась одновременно в узлах v плана V_i и u плана V_j , то в Р-сети мы поместим ее в узел с индексом (v, u) . Поскольку в исходной сети ни в одном из планов ни одна из автоматных фишек не находилась в более чем одном узле, такое размещение будет однозначным и не приведет к коллизиям.

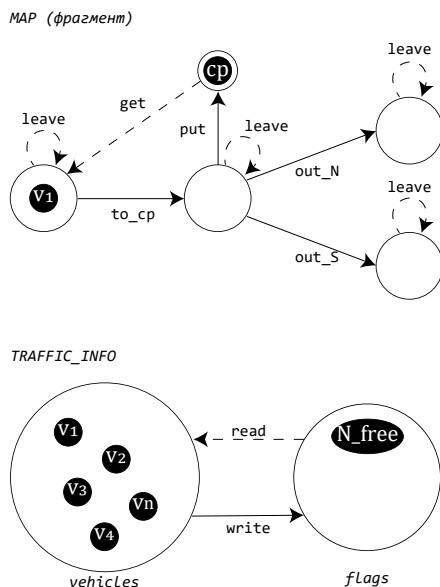


Рис. 4: Многоплановая Р-сеть, содержащая два плана: MAP и TRAFFIC_INFO

Далее добавим в системную сеть все неавтоматные узлы всех планов исходной многоплановой Р-сети со всем их содержимым.

Далее добавим в системную сеть все порты таким образом, чтобы они соответствовали индексам узлов исходной сети. При этом если в исходной сети порт в плане V_i связывал узлы u и v , то в новой многоплановой Р-сети он будет связывать все пары, в индексах которых есть u и v .

Таким образом, срабатыванию перехода в автоматной фишке исходной сети, задействующему ресурсы нескольких планов, будет соответствовать срабатывание перехода Р-сети, все ресурсы которого распределены по единственной системной сети. Если срабатывание «перемещало» саму фишку в одном из планов, то оно будет перемещать ее и в Р-сети.

Заключение

В данной статье был введен и продемонстрирован на примере моделирования движения транспорта новый формализм многоплановых Р-сетей, расширяющий понятие сетей автоматов, управляемых ресурсами.

Использование многоплановых Р-сетей позволяет динамически моделировать движение транспорта с учетом фактора наличия или отсутствия пробок на различных направлениях. Добавление в модель нового фактора не требует глобального изменения сети, так как его можно описать в отдельном вспомогательном плане, который будет работать синхронно с существующими планами.

Также было доказано, что многоплановые Р-сети по выразительной мощности равны Р-сетям и обыкновенным сетям Петри, что представляет интерес для дальнейшего исследования этого формализма.

Список литературы

1. *Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б.* Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. М. : Транспорт, 2001. 247 с.
2. *Schnabel W., Lohse D.* Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Berlin, Wien, Zürich : Kirshbaum Verlag, 2011. 619 p. (in German).
3. *Башкин В. А., Башкин М. А.* О прикладной задаче анализа безопасности перекрестков в курсе дискретной математики // Математика и естественные науки. Теория и практика. Межвузовский сборник научных трудов. Ярославль, 2017. С. 112—115.
4. *Башкин В. А.* Некоторые методы ресурсного анализа сетей Петри : дис. ... канд. физ.-мат. наук / Башкин Владимир Анатольевич. Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, 2014.
5. *Bashkin V. A., Lomazova I. A., Novikova Y. A.* Timed Resource Driven Automata Nets for Distributed Real-Time Systems Modelling // 12th International Conference on Parallel Computing Technologies / ed. by V. Malyskin. Springer, 2013. P. 13–25.