

# ЗАДАЧА РАССТАНОВКИ УСТРОЙСТВ ОПОВЕЩЕНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ<sup>5</sup> ПРИ НЕКОТОРЫХ ОГРАНИЧЕНИЯХ

К. В. Ткачёв<sup>1,2</sup>, К.А. Волжанкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный университет*

УДК 004.94

Исследуется задача оптимальной расстановки устройств оповещения на транспортных сетях с целью передачи информации о ситуациях на дорогах максимальному количеству участников движения. В качестве модели транспортной сети рассматривается взвешенный граф. Введены некоторые ограничения: стоимость установки устройств оповещения, радиус передачи устройств и др. Предложено решение задачи с помощью генетического алгоритма. Проведены вычислительные эксперименты с использованием имитационного моделирования.

*Ключевые слова:* задачи оптимизации, транспортные сети, генетические алгоритмы.

**Введение.** Транспортной сетью (ТС) называется совокупность транспортных путей (линий, дорог) на определённой территории, соединяющих между собой узлы (населенные пункты, перекрестки, пункты досмотра и др.). Элементы ТС (узлы и линии) различаются по функциям, пропускной способности, нагрузке, интенсивности потоков. Основными характеристиками сети являются её топологическая структура, протяжённость, конфигурация, пропускная способность узлов и участков дорог.

В современных условиях интенсивного транспортного сообщения актуальной задачей является обеспечение безопасности участников движения и поддержка бесперебойности работы транспорта. Наличие сетей передачи данных, в которых связь осуществляется между устройствами, находящимися в автомобилях, а также связь этих устройств с придорожным оборудованием могут повысить безопасность дорожного движения в крупном мегаполисе. Одной из важнейших задач является оперативное оповещение участников движения о различных событиях в транспортной сети (авария, повреждение дорожного полотна, обрушение моста, снежные заносы и др.).

В последние годы в мире проводится много исследований в направлении развития беспроводных сетей, связывающих транспортные средства. Необходимость взаимодействия транспортных средств между собой и с сетью связи общего пользования привели к образованию нового технологического сегмента в телекоммуникациях. Для связи транспортных средств друг с другом, а также для их соединения с придорожным оборудованием используются беспроводные сети Vehicular Ad Hoc Network (VANET). Современные транспортные средства, как правило, оснащаются средствами связи (GPS / GLONASS приёмник), что позволяет оперативно отслеживать транспортную обстановку и управлять ею. Использование современных технологий может автоматизировать передачу коротких сообщений участникам движения о пробках, объездах, что в итоге повысит безопасность движения. Архитектура сетей VANET предполагает взаимодействие автомобиля как с другими автомобилями, так

---

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 17-47-540977 p\_a и 16-37-000345).

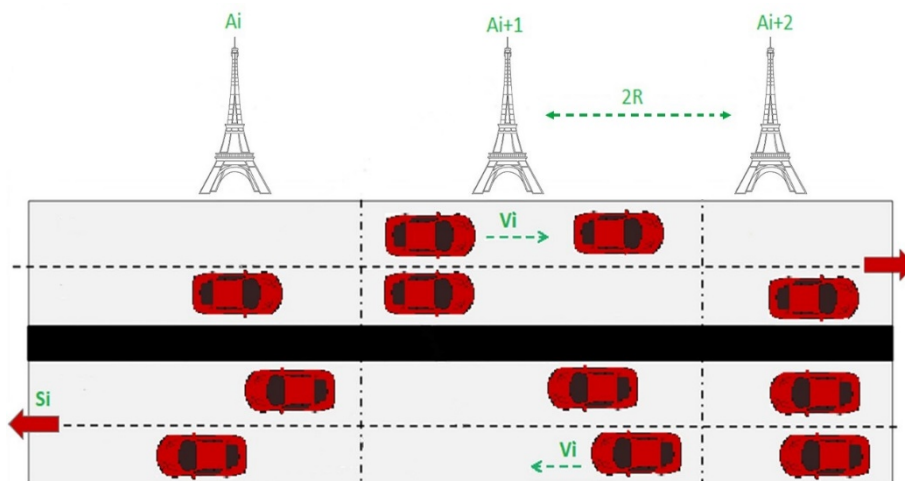


Рис. 1. Транспортная сеть с расставленными устройствами оповещения  $A_i$

и с придорожной сетью [1], т.е. устройствами оповещения, расположенными в стационарных объектах. Далее в статье рассматривается задача распространения сообщения всем участникам движения в заданном сегменте только от узлов, расположенных в стационарных участках транспортной сети (населенные пункты, придорожное оборудование, другие неподвижные узлы транспортной сети). Рассылка сообщений может производиться широковещательным методом либо многоадресным [2].

**1. Задача расстановки систем оповещения в ТС.** Задачи передачи данных в VANET-сетях связаны с системой оповещения транспортных средств на определенном участке ТС. Рассмотрим задачу расстановки устройств оповещения в узлах транспортной сети таким образом, чтобы максимизировать количество автомобилей, которые получают сообщение о произошедшем событии не позднее, чем за «пороговое» время.

В качестве модели транспортной сети рассмотрим неориентированный граф  $G=(V, E)$ , в котором в каждом узле есть возможность разместить устройство оповещения. На рис. 1 показан прямолинейный участок сети, на котором устройства оповещения расположены в пунктах  $A_i$  таким образом, что радиусы действия этих устройств покрывают всю дорогу, т.е. сообщение может получить каждый автомобиль, движущийся по этому участку сети.

Для решения задачи на транспортной сети с более сложной топологией, чем прямолинейный участок, использовалась имитационная модель. Основными характеристиками модели являются:

- $G$  – граф транспортной сети;
- $R$  – радиус действия каждого устройства оповещения - на какое расстояние может передаваться сообщение (транспортное средство, попавшее в радиус действия, получает сообщение);
- $S_i$  – пропускные способности рёбер, позволяющие определить по максимальной нагрузке возможное число транспортных средств на данном ребре;
- $V_i$  – скорость движения транспорта на каждом ребре графа (фиксированное значение для проводимого эксперимента);
- $A_i$  – узлы, в которых размещены устройства оповещения;
- $T$  – пороговое значение времени для оповещения транспортных средств;
- $C_i$  – стоимость установки устройств оповещения в узлах сети;
- $C^*$  – ограничение стоимости установки всех устройств.

Требуется расставить оптимальное количество устройств оповещения таким образом, чтобы максимизировать количество транспортных средств, которые получают сообщение, при ограничении на общую стоимость всех устройств.

$$\begin{cases} F(G, A_1, \dots, A_n, R) \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^m C_i \leq C^* \end{cases},$$

$F$  – функция подсчета количества транспортных средств, получивших сообщение.

**2. Использование генетического алгоритма.** Многие задачи оптимизации в исследовании анализа функционирования современных сетей являются NP-трудными из-за большого пространства решений, поэтому для таких задач часто используют бионические методы, например, генетические алгоритмы, алгоритмы клонирования и др. [3-4].

Для задачи расстановки устройств оповещения применялась следующая схема генетического алгоритма. Каждая хромосома представляет собой решение, т. е. расстановку передающих устройств в некоторых узлах ТС. Хромосомы задаются битовой строкой  $X = (0, 1, 0, \dots, 0)$  размера  $m$ , где 1 в  $i$ -м гене означает, что устройство оповещения установлено в  $i$ -ом узле ТС. Из этих особей произвольно набирается популяция размера  $h$ . Далее, определяются самые пригодные особи (по значению целевой функции  $F$  с ограничением) и с помощью турнирной селекции происходит отбор особей для последующего скрещивания. Скрещивание осуществляется следующим образом: те гены, которые у родителей совпадают, наследуются потомками, остальные наследуются с вероятностью 0,5. После скрещивания выполняется мутация: с очень маленькой вероятностью меняет своё значение любой ген потомка. Затем, у нового поколения опять пересчитывается пригодность и идет эволюция уже нового поколения. Алгоритм останавливается либо при превышении заданного времени работы ( $T^*$ ), либо по количеству поколений ( $Iter$ ).

Подсчет функции  $F$ , введенной в п. 1, осуществляется с помощью проведения имитационного моделирования. Программная реализация имитационной модели выполнена в среде разработки Microsoft Visual Studio 2015 с использованием языка C++.

Большинство параметров задаются в самой модели пользователем и во время моделирования остаются неизменными. Для моделирования движения транспортных средств, не попавших в радиусы вещания устройств в начальный момент времени, необходимо установить, успеет ли это транспортное средство получить сообщение за пороговое время  $T$ . С учетом максимальной скорости движения на каждом участке ТС вычисляется, сколько времени понадобится транспортному средству, чтобы добраться до ближайшего узла вещания. Это время сравнивается с пороговым значением  $T$ , превышение которого считается неудачей – т.е. сообщение не получено. Для каждого нового подсчёта функции пригодности значение  $T$  одинаково.

**3. Результаты проведенных экспериментов.** Были проведены расчеты с использованием имитационного моделирования. Это удобный инструмент для анализа в случае, когда проведение экспериментов на реальной системе невозможно или непрактично [5].

Эксперимент проводился при следующих параметрах, приближенных к условиям для областных дорог: граф транспортной сети из 13 узлов и 20 ребер; количество узлов, в которых расположены устройства, распространяющие информацию – 5; на каждом ребре случайным образом задана пропускная способность (в диапазоне 500–700 машин/час) и скорость (40–80 км/час); радиус действия устройств оповещения – 1000 м; временной порог для оповещения – 2 час. Расчёт занял менее 3 мин. на процессоре Intel Pentium G4400 2 ГБ DDR4.

Полученное значение функции  $F$  равно 9471 (т.е. распространяемые устройствами сообщения получили более 9000 транспортных средств, что составляет 78 % от их общего числа). Это подтверждает работоспособность принятого подхода. Улучшение полученного значения после работы генетического алгоритма по сравнению с начальной расстановкой устройств (выбранной случайным образом) составило более 30 %.

**Заключение.** Предложенный метод использования генетического алгоритма позволяет получить эффективную по количеству оповещённых транспортных средств расстановку устройств в сети. Экспериментальные расчеты показали, что при такой расстановке более 75 % от общего числа автомобилей получили посланные сообщения о ситуации на участке сети. Результаты исследований могут быть использованы для решения прикладных задач: улучшение обеспечения водителей информацией о состоянии дорог, мониторинг транспортных потоков с помощью придорожного оборудования.

Дальнейшая разработка программного обеспечения позволит смоделировать движение транспорта в мегаполисе и области, решить задачу оптимальной расстановки систем наблюдения на трассах, отработать механизм передачи коротких сообщений движущимся объектам.

### Список литературы

1. Wischhof L. Self-Organizing Communication in Vehicular Ad Hoc Networks / Lars Wischhof // Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing), Dissertatyion. Braunschweig, 2007.
2. Safonov A., Lyakhov A., Urgenson A., Sokolova O. Wireless groupcast routing with palette of transmission methods // Lecture Notes in Computer Science. 2012. T. 7642 LNCS. C. 97-108.
3. Alexey S. Rodionov, Hyunseung Choo, Kseniya A. Nechunaeva Framework for biologically inspired graph optimization // In Proceedings of ICUIMC'2011, Article №11.
4. Alexey S. Rodionov, Kseniya A. Nechunaeva Network structure optimization: genetic operators: mutation and crossover // Proc. of the 7th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, Kota Kinabalu, Malaysia, 2013, Article №52.
5. Ткачёв К.В. Метод повышения эффективности исполнения распределенных имитационных моделей с массированным потоком событий // в сборнике: Обработка информации и математическое моделирование. Материалы Российской научно-технической конференции. 2016. С. 150-155.

*Кирилл Валерьевич Ткачёв – аспирант Новосибирского национального исследовательского государственного университета; инженер Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; 630090, Новосибирск, e-mail: tkachev@sscc.ru;*  
*Ксения Александровна Волжанкина (Нечунаева) – мл. науч. сотр. Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН; 630090, Новосибирск, e-mail: ksu.nech@rav.sccc.ru*