

УДК 621.324.21

УПРАВЛЕНИЕ ЛУЧОМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ В СИСТЕМАХ V2I НА ОСНОВЕ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗОНЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Е. А. Лопухова¹, А. И. Абдулнагимов², Г. С. Воронков³, Е. П. Грахова⁴,
Р. В. Кутлюяров⁵

¹ lopuhova.ekaterina@net.ugatu.su, ² abdulnagimov.ai@ugatu.su, ³ voronkov.gs@ugatu.su,
⁴ grakhova.ep@ugatu.su, ⁵ kutluyarov.rv@ugatu.su

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В интеллектуальных транспортных системах важной задачей является обеспечение высокоэффективного канала связи между автомобилем и элементами стационарной инфраструктуры, отвечающего требованиям энергоэффективности и низких временных задержек. В данной статье предложен метод управления лучом диаграммы направленности фазированной антенной решетки на основе интеллектуального алгоритма с целью подключения и отслеживания транспортных средств с минимальными задержками в системах vehicle-to-infrastructure без опоры на GPS-координаты.

Ключевые слова: V2I, Управление Лучом Диаграммы Направленности, Фазированная Антенная Решетка, Цифровая Модель Рельефа.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов увеличения ситуационной осведомленности водителя или беспилотного транспортного средства (ТС) для повышения безопасности движения является обмен разнородной информацией о текущей обстановке, а также применение различных интеллектуальных алгоритмов для оценки вероятности потенциальных аварий. Современная технология связи ТС со множеством объектов (vehicle-to-everything, V2X) [1], включающая в себя различные сценарии взаимодействия, например, между ТС и инфраструктурой (vehicle-to-infrastructure, V2I), позволяет реализовать указанный функционал. Критически важным требованием для приложений V2X являются гигабитные скорости передачи данных и сверхмалые задержки [2]. Перспективным решением для обеспечения данных условий служит технология управления лучом диаграммы направленности (ДН) фазированных антенных решеток (ФАР). В данной работе развивается подход, предложенный в [3], который основан на применении метода Machine Learning (ML) – алгоритма градиентного бустинга, использующего только априорную и полученную от ТС информацию.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБУЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В работе используется алгоритм наведения луча ДН на основе классификатора, предикторами для которого выступали особенности рельефа места нахождения ТС, его тип, направление движения и скорость, временные метки и уровень принятого сигнала [3]. Выходными классами алгоритма являются фиксированные углы поворота луча ДН, которые в свою очередь определяют, в какой сектор местности относительно объекта инфраструктуры будет

направлено основное излучение. В данной работе предлагаются новые алгоритмы генерации датасета и модель системы V2I.

Для моделирования дорожного движения было выбрано программное обеспечение SUMO (Simulation of Urban Mobility) [4]. Важным параметром является интенсивность трафика, которая создает кратковременную тенденцию поведения ТС. Поскольку в SUMO не реализовано управление интенсивностью трафика напрямую, необходимо было выявить ее зависимость от регулируемых параметров, таких как количество ТС и их распределение по местности. Управление интенсивностью трафика выполнялось по макроскопической модели Лайтхилла-Уи-зема-Ричардса [5]. Была выражена следующая функция интенсивности потока ТС:

$$Q(\rho) = \rho \cdot V(\rho) = \frac{\rho}{d(v)} = \frac{\rho}{L + c_1 v + c_2 v^2} \quad (1)$$

где $\rho(t, x)$ – плотность потока, $d(v)$ – безопасное расстояние между ТС при заданной скорости, L – средняя длина ТС, c_1 – время, характеризующее реакцию водителя, c_2 – коэффициент пропорциональности тормозному пути. Полученное выражение позволило контролировать среднее значение интенсивности трафика, учитывая количество ТС и дорожных полос, их протяженность и скоростной режим.

Схема работы управления лучом ДН, модель которой реализована в системе, представлена на рис. 1. Контроллер с алгоритмом ML передаёт управляющий сигнал, представляющий собой номер сектора позиционирования луча, после чего на ПЛИС осуществляется преобразование его в двоичный восьмибитный код. Код поступает на фазовращатели, обеспечивая необходимое смещение фазы согласно их таблицам истинности.

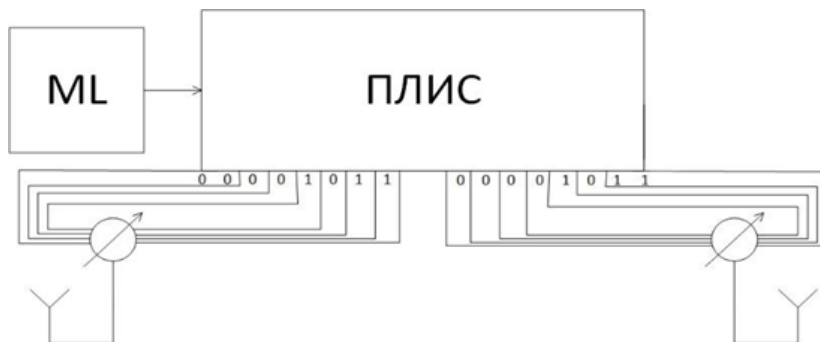


Рис. 1. Схема работы системы управления лучом ДН

Коэффициент массива для ФАР был рассчитан как:

$$A(\theta) = \sum_{j=0}^{n-1} \omega_j e^{jkd \sin(\theta)} \quad (2)$$

$$\omega_j = 1 \cdot e^{-j \cdot i \Delta \varphi} = e^{-j \cdot i k d \sin(\theta_{main})} \quad (3)$$

где ω_j – комплексный вес элемента, k – волновое число, d – расстояние между элементами, θ_{main} – угол наклона лепестка основного излучения, n – число элементов, i – мнимая единица. ДН была рассчитана как квадрат модуля коэффициента массива.

Для каждого из углов наклона рассчитывалась своя разность фаз $\Delta \varphi$, по которым была определена таблица истинности для фазовращателей. Эти данные приведены в таб. 1. Параметры ФАР при моделировании ее работы были следующими: длина решетки 0,388 м; расстояние между элементами 26 мм; число элементов 14; сектор сканирования ФАР в горизонтальной плоскости $\theta_{max} = \pm 45^\circ$; ширина лепестка основного излучения по половинной мощности $\theta_{0.5} = 9^\circ$. Для обзора на 360° требуются 4 ФАР, обслуживаемые одним алгоритмом ML. В пределах угла сканирования выделяются 10 секторов вещания.

Таблица 1

Значение разности фаз элементов при различных углах наклона							
Номер сектора	θ_{main} , град.	$\Delta\phi$, град.	Код	Номер сектора	θ_{main} , град.	$\Delta\phi$, град.	Код
1	-40,5	-116,9	00001011	7	13,5	42,02	00110000
2	-31,5	-94,05	00001001	8	22,5	68,88	01010000
3	-22,5	-68,88	00000101	9	31,5	94,05	10010000
4	-13,5	-42,02	00000011	10	40,5	116,9	10110000
5	-4,5	-14,12	00000001	6	4,5	14,12	00010000

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В качестве алгоритма ML был выбран XGBoost, поскольку он показал наименьшее время отклика [3], удовлетворяющее установленным ограничениям в C-V2X [6]. После обучения алгоритма ML процент верно определенных классов от общего числа примеров составил 94%. Учитывая высокий уровень влияния эффекта многолучевого распространения, обусловленный высокой плотностью застройки смоделированного участка трассы, число верно выбранных секторов возросло по сравнению с полученными ранее в работе [3] 75%.

Далее была оценена вероятность снижения мощности на входе приемника более чем на 3 дБ и среднее отклонение уровня принятого сигнала от целевого при различных значениях интенсивности трафика. Для оценки влияния нестандартного поведения водителей на процент верно определенных секторов алгоритма в параметры движения определенной доли ТС внеслась девиация. Результаты работы алгоритма наведения луча ФАР на участника движения при моделировании часа динамики трафика в зоне обслуживания приведены в таб. 2.

Таблица 2

Результаты работы системы управления лучом ДН			
Интенсивность трафика, авт/ч	ТС с нетипичным поведением, %	Среднее отклонение уровня принятого сигнала, дБ	Вероятность снижения мощности более чем на 3 дБ
1222.95	0	-2,43	0,1
1220.13	40	-3,01	0,135
2552.52	0	-2,14	0,078
2840.12	20	-3,11	0,13
3256.17	0	-2,05	0,061
3535.34	10	-3,21	0,134

Среднее значение отклонений уровня сигнала на приеме всегда отлично от нуля ввиду неравномерности коэффициента усиления в пределах сектора. За время работы системы, в случае малой интенсивности трафика, ТС успевают подъезжать к границам секторов, что соответствует снижению мощности на приеме вдвое. При высокой интенсивности трафика большее влияние оказывает частотность нетипичного поведения ТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были улучшены показатели сформированной в [3] системы управления лучом ДН для подключения ТС к сети V2I. Было реализовано моделирование работы ФАР, управляемой алгоритмом ML, путем передачи кодовой последовательности отклонения фазы фазовращателям, и произведена оценка точности системы. Существенной проблемой являются случаи нахождения ТС на границе секторов вещания, что более выражено при малой интенсивности трафика. Случаи нетипичного поведения ТС более значительны при высокой интенсивности трафика. Эта проблема потенциально решается путем обучения алгоритма ML на примерах

нестандартного поведения ТС. Дополнительные отклонения уровня принятого сигнала связаны со спецификой применения фазовращателей на управляемых линиях задержки, поскольку в процессе их работы происходит округление отклонения фазы. Решением данной проблемы может быть использование нескольких строк линейных ФАР для более точного контроля за разностью фаз элементов или применение диаграммообразующей схемы с непрерывными фазовращателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Vukadinovic et al., '3GPP C-V2X and IEEE 802.11p for Vehicle-to-Vehicle communications in highway platooning scenarios', undefined, vol. 74, pp. 17–29, May 2018, doi: 10.1016/J.ADHOC.2018.03.004.
2. M. Agiwal, A. Roy, and N. Saxena, 'Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey', IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 18, no. 3, pp. 1617–1655, Jul. 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2532458
3. E. A. Lopukhova, A. I. Abdalnagimov, G. S. Voronkov, E. P. Grakhova, and R. V. Kutluyarov, 'Gradient Boosting Algorithms Application for Beamsteering in V2X Systems', Int. Conf. Young Spec. Micro/Nanotechnologies Electron Devices, EDM, vol. 2022-July, 2022.
4. P. A. Lopez et al., 'Microscopic Traffic Simulation using SUMO', IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC, vol. 2018-November, pp. 2575–2582, Dec. 2018, doi: 10.1109/ITSC.2018.8569938.
5. M. Treiber and A. Kesting, 'The Lighthill–Whitham–Richards Model', Traffic Flow Dyn., pp. 81–126, 2013, doi: 10.1007/978-3-642-32460-4_8.
6. 5GAA, '5GAA P-190033: V2X Functional and Performance Test Report; Test Procedures and Results', Apr. 2019. https://5gaa.org/wp-content/uploads/2018/11/5GAA_P-190033_V2X-Functional-and-Performance-Test-Report_final-1.pdf (accessed Jul. 08, 2022).

ОБ АВТОРАХ

ЛОПУХОВА Екатерина Александровна, аспирант 3-го курса, инженер-исследователь НИЛ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники», инженер кафедры ТС, ИЭТИ.

АБДУЛНАГИМОВ Ансаф Ирекович, к.т.н., доцент, начальник УНИР, старший научный сотрудник кафедры ТС, ИЭТИ.

ВОРОНКОВ Григорий Сергеевич, к.т.н., старший научный сотрудник НИЛ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники», старший научный сотрудник, доцент кафедры ТС, ИЭТИ.

ГРАХОВА Елизавета Павловна, к.т.н., заведующий НИЛ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники», старший научный сотрудник, доцент кафедры ТС, ИЭТИ.

КУТЛУЯРОВ Руслан Владимирович, к.т.н., старший научный сотрудник НИЛ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники», старший научный сотрудник, доцент кафедры ТС, ИЭТИ.

METADATA

Title: Beamsteering in V2I systems based on a-priori service area information

Authors: ¹E. A. Lopukhova, ²A. I. Abdalnagimov, ³G.S. Voronkov, ⁴E. P. Grakhova, ⁵R.V. Kutluyarov

Affiliation:

¹⁻⁵ Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

E-mail: ¹ lopuhova.ekaterina@net.ugatu.su, ² abdalnagimov.ai@ugatu.su, ³ voronkov.gs@ugatu.su, ⁴ grakhova.ep@ugatu.su, ⁵ kutluyarov.rv@ugatu.su

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (30), pp. 71–75, 2024. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: In intelligent transportation systems, an important task is to provide a highly efficient communication channel between vehicles and other infrastructure objects that meets the requirements of energy efficiency and low time delays. The paper proposes a beamsteering technique of a phased antenna array based on gradient boosting algorithm to connect and track vehicles with minimal delays in vehicle-to-infrastructure systems without relying on GPS coordinates.

Keywords: V2I, Beamsteering, Phased Antenna Array, Digital elevation model

About the authors:

LOPUKHOVA Ekaterina Aleksandrovna, 3-rd year postgraduate student, engineer-researcher, engineer, Ufa, University of Science and Technology (UUST).

ABDULNAGIMOV Ansaf Irekovich, Ph.D., associate professor, senior researcher, Ufa, University of Science and Technology (UUST).

VORONKOV Grigoriy Sergeevich, Ph.D., senior researcher, Ufa, University of Science and Technology (UUST).

GRAKHOVA Elizaveta Pavlovna, Head of research laboratory, Senior Researcher, Associate Professor, Ufa University of Science and Technology (UUST).

KUTLUYAROV Ruslan Vladimirovich, Ph.D., senior researcher, Ufa, University of Science and Technology (UUST).