

Влияние параметров выбора ресурсов в сетях NR-V2X на возраст информации

Д.Ю. Стрельников
Национальный исследовательский
университет «Высшая школа
экономики»
Москва, Россия
dyustrelnikov@edu.hse.ru

К.Г. Омельченко
Национальный исследовательский
университет «Высшая школа
экономики»
Москва, Россия
kgomelchenko@edu.hse.ru

А.Ю. Ролич
Национальный исследовательский
университет «Высшая школа
экономики»
Москва, Россия
arolich@hse.ru

Аннотация — В режиме работы №2 сетей NR-V2X за автономный выбор ресурсов отвечает механизм полупостоянного планирования. В данном исследовании уделяется внимание изучению возможности оптимизации этого механизма относительно возраста информации, одной из ключевых метрик безопасности движения.

Ключевые слова — NR-V2X, Vehicle-to-Everything, возраст информации, Age of Information, Semi-Persistent Scheduling

I. ВВЕДЕНИЕ

Технология Vehicle-to-Everything (V2X) [1] является одной из самых перспективных в области автономного взаимодействия автомобилей. Современные сети V2X направлены на объединение транспортных средств и автоматизацию их присутствия на дорогах.

Режим работы №2 сетей New Radio (NR)-V2X предоставляет возможность коммуникации между узлами автомобильной сети через канал прямой связи без взаимодействия с базовой станцией, что позволяет рассматривать сценарии движения вне зоны покрытия сети. В данном режиме основное положение занимает механизм полупостоянного планирования для управления ресурсами, то есть моментами времени и частотой канала для передачи сообщения. В работе [2] авторы оценивают режим работы №2 для периодического трафика и предлагают некоторые изменения.

Оценка производительности сетей может опираться не только на традиционные метрики, но и на более информационно-ориентированные, к числу которых относится возраст информации (AoI) [3], характеризующий актуальность данных для V2X-коммуникаций, что важно для оценки безопасности при кооперативном маневрировании.

Поскольку существующие стандарты не предполагают необходимости установления одинакового значения вероятности сохранения ресурсов для всех узлов, для каждого автомобиля может быть задано свое значение. В данной работе изучается влияние различных вероятностных распределений этого параметра на возраст информации в режиме работы №2 сетей NR-V2X.

II. РЕЖИМ РАБОТЫ №2

Участники сети NR-V2X используют определенные частоты, которые вместе называются подканалами. Подканалы состоят из конфигурируемого количества ресурсных блоков и используются для передачи данных и служебной информации. Передаваемые данные помещаются в транспортный блок, который может

занимать один или несколько подканалов в зависимости от размера передаваемого пакета и самого подканала. Минимальной единицей времени для планирования передачи является слот.

Существует два возможных подхода к выделению ресурсов в режиме работы №2 — динамическое планирование и полупостоянное планирование. В режиме динамического планирования ресурсы выбираются каждый раз, когда генерируется новый транспортный блок. В режиме полупостоянного планирования ресурсы выбираются для нескольких последовательных передач, количество которых регулируется счетчиком перебора ресурсов (RC). Период времени между последовательными передачами в такой схеме определяется интервалом резервирования ресурсов (RRI). Согласно стандарту, RC выбирается случайным образом в пределах [5;15].

После доставки каждого сообщения счетчик уменьшается на единицу. При достижении нуля вычисляется новое значение счетчика. Но даже в этом случае существует вероятность сохранения одного и того же ресурса. Согласно стандарту, она ограничена пределами [0, 0,8].

Алгоритм полупостоянного планирования состоит из двух частей: сканирование и выбор ресурсов. В процессе сканирования узел просматривает предыдущие приемы транспортных блоков из периода, называемого окном сканирования, и определяет, какие ресурсы были зарезервированы другими участниками сети и будут недоступны для использования. Затем узел произвольно выбирает из списка доступных ресурсов частоты и временные слоты для передачи, а также резервирует их для следующих сообщений.

III. ВОЗРАСТ ИНФОРМАЦИИ

Возраст информации (AoI) — возраст самого последнего пакета с информацией, полученного от отправителя. По определению, среднее значение возраста информации выражается по формуле:

$$E[AoI] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^N \frac{1}{2} Y_k^2}{\sum_{k=1}^N Y_k} = \frac{E[Y^2]}{2E[Y]}. \quad (1)$$

IV. МОДЕЛЬ СИМУЛЯЦИИ

Данное исследование проводится с использованием модели симуляции для языка программирования MATLAB, предложенной в [4]. Модель реализует механизм полупостоянного планирования для следующего сценария: все узлы имеют прямую связь друг с другом; каждый узел использует идентичный интервал резервирования ресурсов; окно сканирования

охватывает ровно один RRI; периодический трафик сообщений; подканал имеет размер, позволяющий вместить полное сообщение, включающее транспортный блок и связанную с ним служебную информацию; счетчик перевыбора ресурсов может иметь равномерное распределение вероятностей или принимать фиксированное значение, равное единице; число узлов меньше, чем количество подканалов (ресурсов), доступных в пределах одного RRI.

В рамках данной работы интервал резервирования ресурсов принимает значение по умолчанию, равное 0,1 с. Среднее значение возраста информации нормируется к этому интервалу. В качестве аргумента функции минимального среднего возраста информации выступает загруженность канала связи, которая равна отношению числа узлов к количеству подканалов за период распределения.

Параметр вероятности сохранения ресурсов варьируется по следующим распределениям:

- Для P используется равномерное распределение вероятности выбора значений на отрезке от 0 до 0,8 – P_{unif} ;
- Для P используется геометрическое распределение вероятности выбора значений на отрезке от 0 до 0,8 при вероятности успеха 0,1 – P_{geom} ;
- Для P используется геометрическое распределение вероятности выбора значений на отрезке от 0,8 до 0 при вероятности успеха 0,1 – P_{geom2} .

Для сравнения берется сценарий, где для P (вероятности сохранения ресурсов) используются оптимальные значения, при которых возраст информации для заданной загруженности является минимальным – P_{opt} .

V. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты при равномерном распределении значений RC на отрезке от 5 до 15 можно видеть на рис. 1. Можно выделить, что при геометрическом распределении вероятности сохранения ресурсов, где большинство значений смещено к 0,8, значения возраста информации являются практически оптимальными вплоть до загруженности канала примерно равной 0,86. Но при загруженности выше данного порога такое распределение перестает быть предпочтительным, в то время как равномерное распределение, наоборот, показывает модель поведения, присущую графику для оптимальной вероятности.

Утверждение о том, что сценарий с геометрическим распределением является наиболее оптимальным, подтверждается опытами с фиксированным счетчиком RC, равным 1. На рис. 2 можно заметить, что при оптимальных значениях вероятности сохранения ресурсов график среднего возраста информации в зависимости от загруженности канала практически совпадает с графиком для такого геометрического распределения. Стоит отметить, что, в отличие от предыдущей симуляции, тенденция сохраняется при всех значениях загруженности канала.

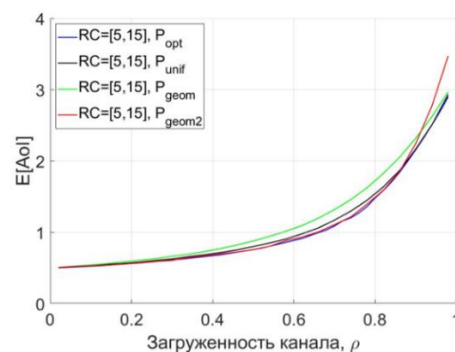


Рис. 1. AoI в зависимости от загруженности канала, RC=[5;15]

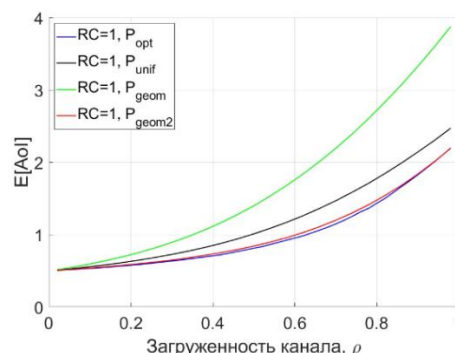


Рис. 2. AoI в зависимости от загруженности канала, RC=1

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами результаты позволяют сделать следующие выводы о применимости вероятностных распределений: при геометрическом распределении вероятности сохранения ресурсов причем со значениями в диапазоне ближе к верхней границе (в стандарте это 0,8) совместно с минимальным фиксированным RC достигаются наиболее благоприятные значения среднего AoI. Также, равномерное распределение является более приоритетным в сценариях, когда появляется большая нагрузка на канал и RC задается согласно стандарту.

Дальнейшее исследование может заключаться в оптимизации алгоритма полупостоянного планирования с использованием других параметров в сценарии с уже определенными в данной работе наиболее благоприятными значениями вероятности сохранения ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Garcia, M. H. C. A tutorial on 5G NR V2X communications / , M. H. C. Garcia, A. Molina-Galan, M. Boban, J. Gozalvez, B. Coll-Perales, T. Şahin, A. Kousaridas // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2021. – Vol. 23(3). – P. 1972-2026.
- [2] Todisco, V. Performance analysis of sidelink 5G-V2X mode 2 through an open-source simulator / V. Todisco , S. Bartoletti , C. Campolo, A. Molinaro, A. Berthet, A. Bazzi // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 145648-145661.
- [3] Yates, R. D. Age of information: An introduction and survey / R. D. Yates, Y. Sun, D. R. Brown, S. K. Kaul, E. Modiano and S. Ulukus // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2021. – Vol. 39(5). – P. 1183-1210.
- [4] Rolich, A. Impact of Persistence on the Age of Information in 5G NR-V2X Sidelink Communications / A. Rolich, I. Turcanu, A. Vinel and A. Baiocchi // 2023 21st Mediterranean Communication and Computer Networking Conference (MedComNet). – IEEE. – 2023. – P. 15-24.