

Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

DOI: 10.5862/JCSTCS.241.2

УДК 004.22, 658.5, 65.011.56

А.В. Востров, С.Г. Попов, М.П. Шарагин, М.В. Чуватов

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ОБ УРОВНЕ СИГНАЛА БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ТЕЛЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

A.V. Vostrov, S.G. Popov, M.P. Sharagin, M.V. Chuvatov

CONTROL ALGORITHMS DATA ABOUT THE WIRELESS NETWORK SIGNAL LEVEL OF THE TELEMATIC MAPS OF VEHICLE

Описаны и исследованы алгоритмы функционирования телематической карты транспортного средства в процессе сбора и использования данных об уровне сигнала стационарных беспроводных сетей. Приведены алгоритмы получения аппроксимации и извлечения данных об уровне сигнала беспроводной локальной сети в локальном географическом регионе, условия проведения и результаты экспериментов по исследованию времени функционирования прикладного программного обеспечения и системы управления базами данных в составе программно-аппаратного комплекса телематической карты.

ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО; ТЕЛЕМАТИЧЕСКАЯ КАРТА; РЕГУЛЯРНАЯ СЕТКА; БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ; LTE; WI-FI; МУЛЬТИПРОТОКОЛЬНЫЙ УЗЕЛ; АКТУАЛИЗАЦИЯ; ВЫБОРКА; ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ SQL ЗАПРОС.

The article describes and studies algorithms of functioning of the vehicle telematics map in the process of collecting and using data about the level of the wireless signal. The article offers algorithms of placement and extract of information about the signal level of wireless local networks in a local geographic area; conditions and results of experiments on the study of functioning of database management of telematics cards.

VEHICLE; TELEMATICS MAP; REGULAR MESH; WIRELESS NETWORK; LTE; WI-FI; MULTIPROTOCOL UNIT; ACTUALIZATION; SELECTION; TERRESTRIAL SQLQUERY.

При движении транспортного средства возникает проблема непрерывности доступа к информационным ресурсам, находящимся вне автомобиля [2, 8, 9]. Проблема связана с локальностью данных о доступных беспроводных сетях глобальных и локальных технологий в текущей точке траектории транспортного средства. Решением проблемы является расширение области видимости доступных беспроводных сетей для водителей, пассажиров и транспортного средства путем предоставления данных

обо всех сетях на всей траектории движения [5]. В этом случае реализация технологии управления данными о сетях обеспечивает планирование использования телематических ресурсов водителем и пассажирами в процессе движения.

Непрерывность получения актуальных данных о беспроводных сетях обеспечивает телематическая карта [7] – группа слоёв геоинформационной системы, содержащая данные о типе, названии и уровне сигнала беспроводных сетей географического реги-

она. В частности, на ней отображаются сети беспроводных технологий: WiFi, LTE, 3G, 4G, DSRC [1, 6]. Для корректного функционирования карты каждое транспортное средство непрерывно собирает данные о беспроводных сетях и записывает их в локальную базу данных, где они актуализируются и извлекаются для планирования передачи данных по маршруту движения [4]. Несмотря на ограниченную область доступности стационарной сети **Wi-Fi**, анализ близких по тематике работ выявил, что на скоростях движения автомобилей до 100 км/ч доступный временной интервал для подключения и обмена данными по протоколу 802.11G составляет в среднем 7,2 с [10]. В другом эксперименте при движении транспортного средства со скоростью 25 миль в час время соединения с приёмопередатчиком дорожной инфраструктуры составило менее секунды, а скорость передачи данных изменялась от 50 до 190 Кбит/с [11]. Представленные результаты позволяют сделать вывод о применимости технологии доступа к стационарным сетям **Wi-Fi** из движущегося транспортного средства.

Локальные данные о беспроводных сетях накапливаются на борту транспортного средства и периодически синхронизируются с облачным сервисом телематической карты [3], что позволяет ограничить размер локальной карты регионом текущего маршрута транспортного средства и областью интересов водителя и пассажиров, сократив тем самым объем вычислений непосредственно на борту транспортного средства.

В статье рассматривается вариант реализации одного слоя телематической карты, хранящего данные об уровнях сигнала локальных беспроводных сетей **Wi-Fi** в узлах регулярной географической сетки постоянного шага. Запись данных в СУБД из прикладного программного обеспечения выполняется в один или три потока. Выбор шага сетки определяется средним радиусом доступности **Wi-Fi** сети, точностью получения координат **GPS** и максимальной скоростью движения транспортного средства. Различный шаг сетки предполагает различный объем хранимых данных об уровнях

сигнала беспроводных сетей в базе данных мультипротокольного устройства, а разное число потоков формирует разную нагрузку на систему управления базой данных, что предполагает различное время выполнения запросов на добавление и выборку. Исследование зависимости времени исполнения запросов к базе данных для различных шагов сетки при разном числе потоков позволяет сделать вывод о применимости технологии регулярных сеток в реализации прототипов промышленных образцов мультипротокольных устройств.

Цель исследования — получение и анализ временных зависимостей выполнения запросов на актуализацию и извлечение данных о телематических ресурсах географического региона от выбранного шага регулярной сетки и числа потоков записи и чтения данных в реляционной базе данных.

Алгоритмы управления данными об уровне сигнала беспроводных сетей географического региона

Управление данными об уровне сигнала беспроводной локальной сети осуществляется в замкнутом цикле управления, состоящем из сбора, предварительной регистрации, обобщения и выбора данных о состоянии локальной сети. Каждый этап цикла реализован в форме алгоритма, программный код которого функционирует на мультипротокольном узле и облачном сервисе. Алгоритмы функционируют параллельно, что обеспечивает непрерывность процессов сбора и предоставления данных. Источником данных для работы алгоритмов являются аппаратные средства: приемопередатчики **Wi-Fi** и **LTE** и приемник **GPS/ГЛОНАСС**. Потребителями обобщенных данных являются подсистема планирования передачи данных и навигационные приложения пользователей.

Процесс управления данными об уровне сигнала в беспроводных сетях транспортного средства состоит из двух потоков запросов: сбора и актуализации данных об уровне сигнала локальной сети по траектории движения транспортного средства и получения данных об уровне сигнала в произ-

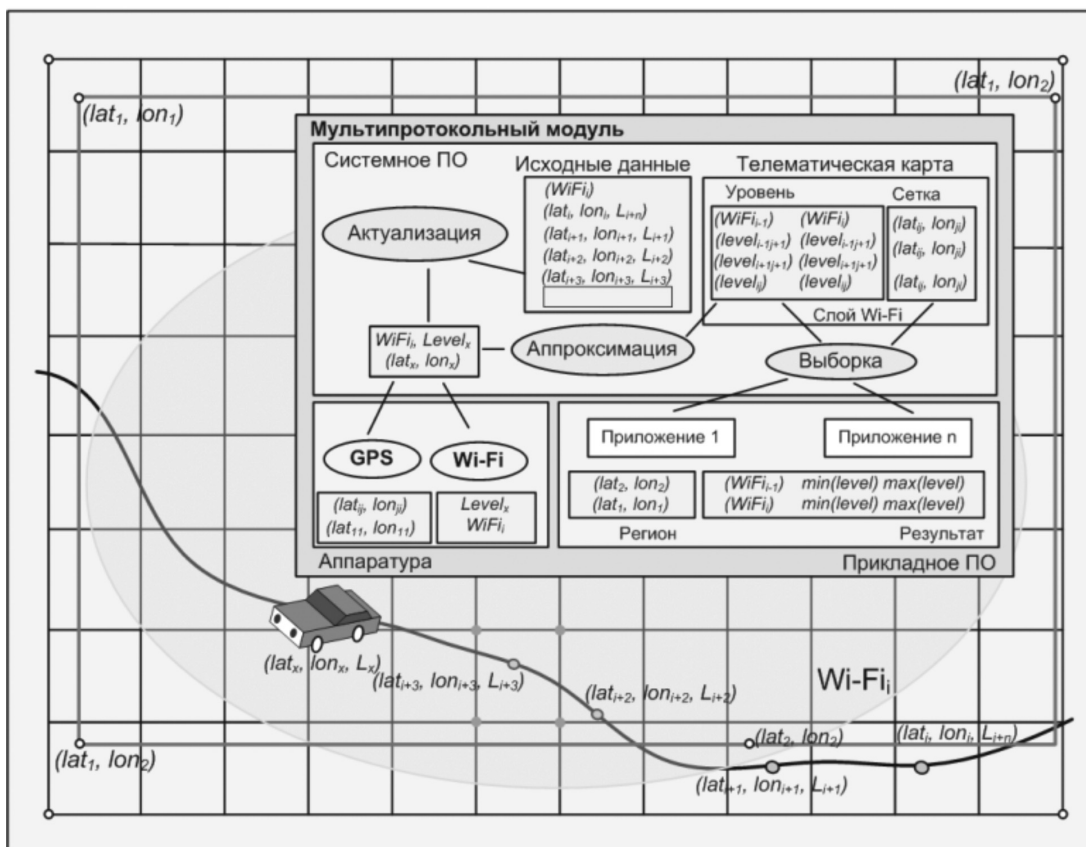


Рис. 1. Схема потоков управления данными о беспроводных сетях транспортного средства

вольной географической области. Первый поток запросов функционирует непрерывно и автономно, второй выполняется по запросам пользовательских приложений. Схема потоков передачи и приема данных приведена на рис. 1.

Для представления уровня сигнала беспроводных сетей географического региона на телематической карте задана регулярная прямоугольная сетка с фиксированным шагом. Каждый узел сетки хранит значение уровня сигнала беспроводной сети. Значение сигнала беспроводной сети в узлах актуализируется новыми значениями, полученными с борта транспортного средства.

Каждое транспортное средство, оснащенное мультипротокольным модулем, на траектории своего движения с периодичностью передает данные об окружающих ее беспроводных сетях, и в любой точке может запросить данные о телематической обстановке.

Алгоритмы оперируют окружением, в которое входят данные о прямоугольном географическом регионе области транспортного средства, текущие координаты транспортного средства и географические координаты региона, для которого необходимо получить данные о состоянии беспроводной сети.

Процесс записи данных обеспечивает актуализированное представление об уровне сигнала сети и состоит в получении данных от GPS и Wi-Fi, актуализации данных, аппроксимации значений и записи в базу данных. Алгоритмы аппроксимации данных об уровне сигнала беспроводной локальной сети в узлах географической сетки обладают различной точностью и вычислительной сложностью, их можно классифицировать по способу учета разницы между фактическим значением уровня сигнала и значением в ближайших узлах, причем могут быть учтены как пространственные, так и

временные поправки к аппроксимируемым значениям. Временная аппроксимация обеспечивается с учетом предыдущего состояния («с памятью» или «без памяти»), а пространственная — «с учетом расстояния» или «без учета расстояния».

Цикл чтения является сервисом определения доступности сети и состоит в выборе области интересов, запросе на выборку данных о сети и обобщении результатов выборки. Каждый процесс реализован в форме распределенного алгоритма, функционирующего как на стороне

транспортного средства, так и на стороне сервера [7].

Алгоритм 1. Алгоритм аппроксимации данных об уровне сигнала беспроводной сети в узлах географической сетки без памяти. По известным координатам транспортного средства выполняется определение четырехсвязной области на регулярной сетке, внутри которой находится точка. После нахождения области выполняется актуализация значений узлов четырехсвязной области и обновление данных в базе данных. Псевдокод алгоритма приведен в листинге 1.

Begin

1 While есть сигнал от GPS и Wi-Fi **do**

2 ПОЛУЧИТЬ от GPS (lat_x, lon_x); от Wi-Fi $level_x$;

3 ЗАПРОС к БД $select (lat_1, lat_2, lat_3, lat_4; lon_1, lon_2, lon_3, lon_4)$

4 for($i = 0; i < 4; i++$)

5 ЗАПРОС к БД $update (level_i = level_x)$

End

Листинг 1. Алгоритм аппроксимации уровня сигнала без памяти и учета расстояния.

Цикл в строке 1 определяет непрерывность выполнения испытаний. Строка 2 — получение широты и долготы, и значения уровня сигнала в точке нахождения транспортного средства. Поиск из базы данных координат ближайших узлов в четырехсвязной области выполняется в строке 3. Строки 4 и 5 выполняют перезапись в базе данных значений уровня сигнала узлов найденной ячейки регулярной сетки на значение уровня сигнала, считанного с приемника Wi-Fi транспортного средства.

Алгоритм 2. Алгоритм аппроксимации данных об уровне сигнала беспроводной сети в узлах географической сетки без памяти по расстоянию. Алгоритм обеспечивает корректировку значения уровня сигнала в зависимости от местоположения транспортного средства. На первом шаге алгоритм локализует четырехсвязную область по известным координатам транспортного средства в соответствии с алгоритмом 1. На втором шаге осуществляется выбор положения максимального значения уровня сигнала исследуемой беспроводной локальной сети с последующим запоминанием его географических координат. На третьем

шаге вычисляются расстояния от зафиксированного положения, в котором было обнаружено максимальное значение уровня сигнала беспроводной сети до узлов ячейки, включающей положение транспортного средства. На последнем этапе алгоритма выполняется аппроксимация значений уровня сигнала узлов четырехсвязной области и обновление аппроксимированных значений в базе данных. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 2.

В рассматриваемом алгоритме используется аппроксимация уровня сигнала пропорционально квадрату расстояния до роутера. Особенности аппроксимации состоят в следующем:

- Глобальная модель аппроксимации уровня сигнала, учитывающая, что работоспособность беспроводной локальной сети Wi-Fi обеспечивается в диапазоне от -37 до -90 дБ, что нашло отражение в формуле:

$$z_i = -37 - \left(53 * \frac{\text{distance}_i}{100} \right), \quad (1)$$

где $i = \overline{1 \dots 4}$.

Формула (1) связывает два важных компонента: интервал работоспособности сети

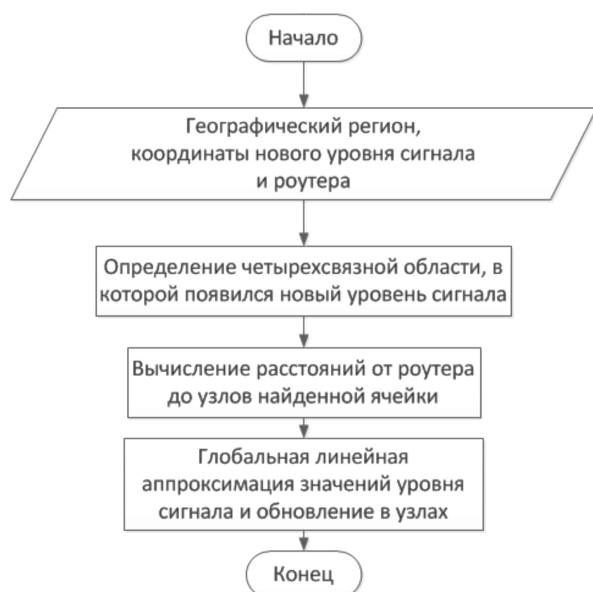


Рис. 2. Блок-схема алгоритма аппроксимации с учетом расстояния до узлов сетки

Wi-Fi и расстояние от определенного узла ячейки до зафиксированного положения роутера.

- Учет изменения значений уровня сигнала узлов внутри найденной четырехсвязной области в зависимости от расстояния

до транспортного средства производится по формуле:

$$\text{delta_}z_i = |z_x - z_i|, \quad (2)$$

где $i = \overline{1 \dots 4}$; z_x — результат формулы (1) применительно к расположению транспортного средства.

- Для вычисления конечных значений уровня сигнала во всех узлах четырехсвязной области использована формула:

$$\text{level_new}_i = \text{level}_x \pm \text{delta_}z_i, \quad (3)$$

где $i = \overline{1 \dots 4}$; level_x — значение уровня сигнала, полученное с борта транспортного средства; $\text{delta_}z_i$ — результат вычисления по формуле (2).

Знак сложения или вычитания в формуле (3) определяется исходя из вычисленных расстояний от роутера до всех узлов ячейки: для узлов, отстоящих от роутера на расстояние большее, чем транспортное средство, применяется вычитание, а для узлов, расположенных ближе к роутеру, — сложение, что обусловлено моделью распространения сигнала в беспроводной сети. Графическая интерпретация алгоритма аппроксимации приведена на рис. 3, а псевдокод алгоритма — в листинге 2.

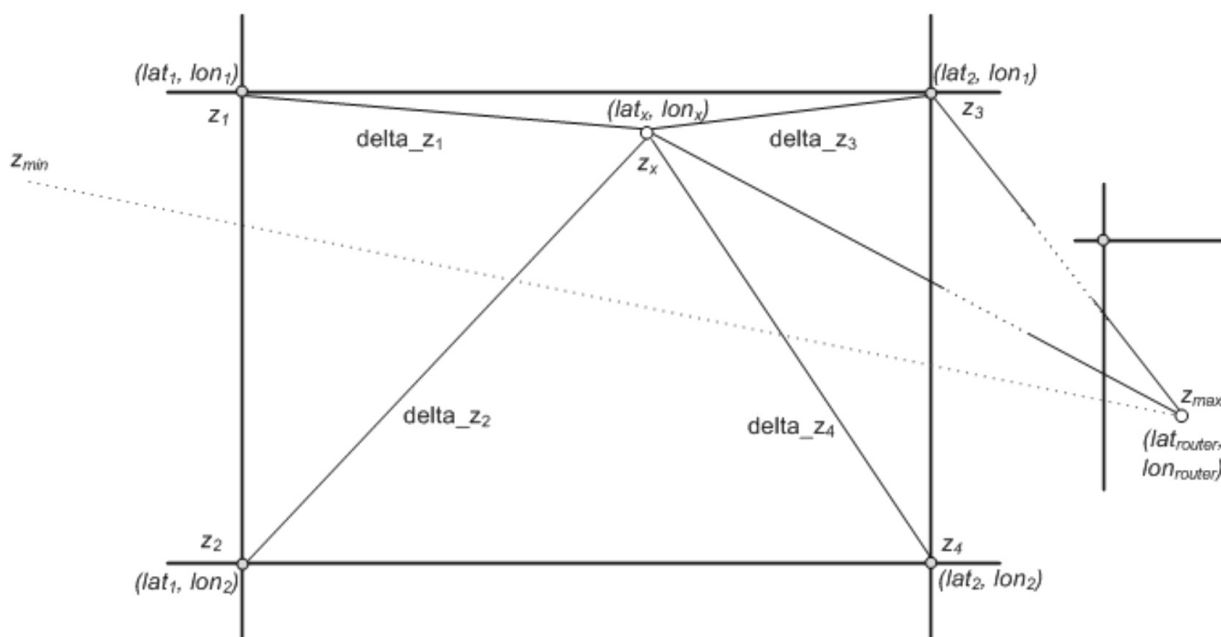


Рис. 3. Графическая интерпретация алгоритма аппроксимации без памяти по расстоянию

Begin

```

1 While есть сигнал от GPS и Wi-Fi do
2 ПОЛУЧИТЬ от GPS (latx, lonx); от Wi-Fi levelx;
3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ (latrouter, lonrouter);
4 ЗАПРОС к БД select (lat1, lat2, lat3, lat4; lon1, lon2, lon3, lon4);
5 latm — длина 1° широты в метрах; lonm — длина 1° долготы в метрах;
6 (latrouterM, lonrouterM) = (latrouter, lonrouter) * (latm, lonm);
7 (latxM, lonxM) = (latx, lonx) * (latm, lonm);
8 distance_x =  $\left| \sqrt{(lat_{routerM} - lat_{xM})^2 + (lon_{routerM} - lon_{xM})^2} \right|$ ;
9 zx =  $-37 - \left( 53 * \frac{distance\_x}{100} \right)$ ;
10 for (i = 0; i < 4; i++){
11 (latiM, loniM) = (lati, loni) * (latm, lonm);
12 distance_array[i] =  $\left| \sqrt{(lat_{routerM} - lat_{iM})^2 + (lon_{routerM} - lon_{iM})^2} \right|$ ;
13 zi =  $-37 - \left( 53 * \frac{distance\_array[i]}{100} \right)$ ;
14 delta_zi = |zx - zi|; }
15 ПОИСК УЗЛОВ с МИНИМАЛЬНЫМ РАССТОЯНИЕМ (min_distance)
16 for (i = 0; i < 4; i++){
17 ЕСЛИ (i == min_distance)
18 ТО new_level[i] = levelx + delta_zi;
19 ИНАЧЕ new_level[i] = levelx - delta_zi;
20 ЗАПРОС к БД update (leveli = new_level[i]); }
End

```

Листинг 2. Алгоритм аппроксимации уровня сигнала без памяти с учетом расстояния.

В строке 3 осуществляется выбор географического положения максимального значения уровня сигнала беспроводной локальной сети – в этой точке предполагается расположение роутера. В строке 8 вычисляется расстояние от роутера до транспортного средства. Строка 12 – вычисление расстояния от роутера до текущего узла найденной ячейки регулярной сетки. Строки 13–19 – вычисление аппроксимированного уровня сигнала. Строка 20 – обновление в базе данных текущего значения уровня сигнала узла ячейки, аппроксимированным значением.

Алгоритм 3. Алгоритм аппроксимации данных об уровне сигнала беспроводной сети в узлах географической сетки с памятью по расстоянию. Основное отличие алгоритма от двух предыдущих – учет предыдущего значения уровня сигнала в каждом узле четырехсвязной области. Блок-схема алго-

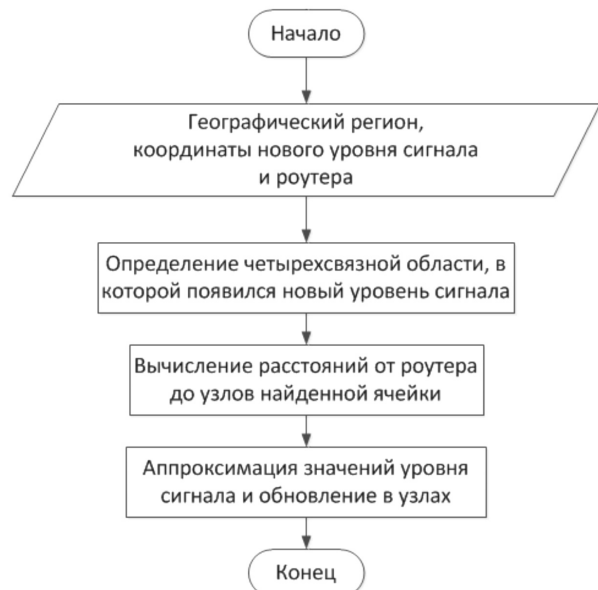


Рис. 4. Блок-схема алгоритма аппроксимации с памятью по расстоянию

ритма приведена на рис. 4.

В рассматриваемом алгоритме аппроксимации с памятью по расстоянию для вычисления значений в каждом узле найденной ячейки регулярной сетки использовалась следующая формула:

$$\text{level}_{\text{new}_i} = \left(\text{level}_i + \left(\text{distance}_i^2 * \frac{\text{level}_x}{\text{distance}_x^2} \right) \right) / 2, \quad (4)$$

где $i = \overline{1..4}$; level_i – предыдущее значение уровня сигнала в узле; distance_i – расстоя-

ние от роутера до i -го узла ячейки; level_x – значение уровня сигнала, полученное с борта автомобиля; distance_x – расстояние от роутера до места обнаружения транспортного средства.

Из формулы (4) видно, что в алгоритме используется аппроксимация уровня сигнала пропорционально квадрату расстояния от точки, обладающей максимальным значением уровня сигнала выбранной беспроводной локальной сети. Графическая интерпретация алгоритма приведена на рис. 5, а псевдокод алгоритма – в листинге 3.

Begin

```

1 While есть сигнал от GPS и Wi-Fi do
2   ПОЛУЧИТЬ от GPS ( $lat_x, lon_x$ ); от Wi-Fi  $level_x$ ;
3   ОПРЕДЕЛЕНИЕ ( $lat_{router}, lon_{router}$ );
4   ЗАПРОС к БД  $select (lat_1, lat_2, lat_3, lat_4; lon_1, lon_2, lon_3, lon_4)$ ;
5    $lat_m$  – длина 1° широты в метрах;  $lon_m$  – длина 1° долготы в метрах;
6   ( $lat_{routerM}, lon_{routerM}$ ) = ( $lat_{router}, lon_{router}$ ) * ( $lat_m, lon_m$ );
7   ( $lat_{xM}, lon_{xM}$ ) = ( $lat_x, lon_x$ ) * ( $lat_m, lon_m$ );
8    $distance\_x = \left| \sqrt{(lat_{routerM} - lat_{xM})^2 + (lon_{routerM} - lon_{xM})^2} \right|$ ;
9   for ( $i = 0; i < 4; i++$ ) {
10    ( $lat_{iM}, lon_{iM}$ ) = ( $lat_i, lon_i$ ) * ( $lat_m, lon_m$ );
11     $distance\_array[i] = \left| \sqrt{(lat_{routerM} - lat_{iM})^2 + (lon_{routerM} - lon_{iM})^2} \right|$ ;
12    ЗАПРОС к БД  $select(level_{new_{i-1}})$ ;
13     $new\_level[i] = \left( level_i + \left( distance\_array[i]^2 * \frac{level_x}{distance\_x^2} \right) \right) / 2$ ;
14    ЗАПРОС к БД  $update (level_i = new\_level[i]);$  }
15 End
```

Листинг 3. Алгоритм аппроксимации уровня сигнала с памятью и учетом расстояния.

Алгоритм выбора уровня сигнала о беспроводной сети географического региона. Предназначен для планирования использования телематических ресурсов водителем и пассажирами в процессе движения транспортного средства. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 6. Входными данными алгоритма являются широта и долгота углов диагонали прямоугольной географической области, в которой требуется получить значение уровня сигнала.

Алгоритм 4. Выбор данных о беспроводной сети в узлах географической сетки. Псевдокод алгоритма приведен в листинге 4. Даны географическая сетка в прямоугольном регионе с географическими координатами ($lat_1, lon_1; lat_2, lon_2$) с шагом k и координаты прямоугольной области для запроса.

Результат: максимальное и минимальное значения уровня сигнала в области запроса.

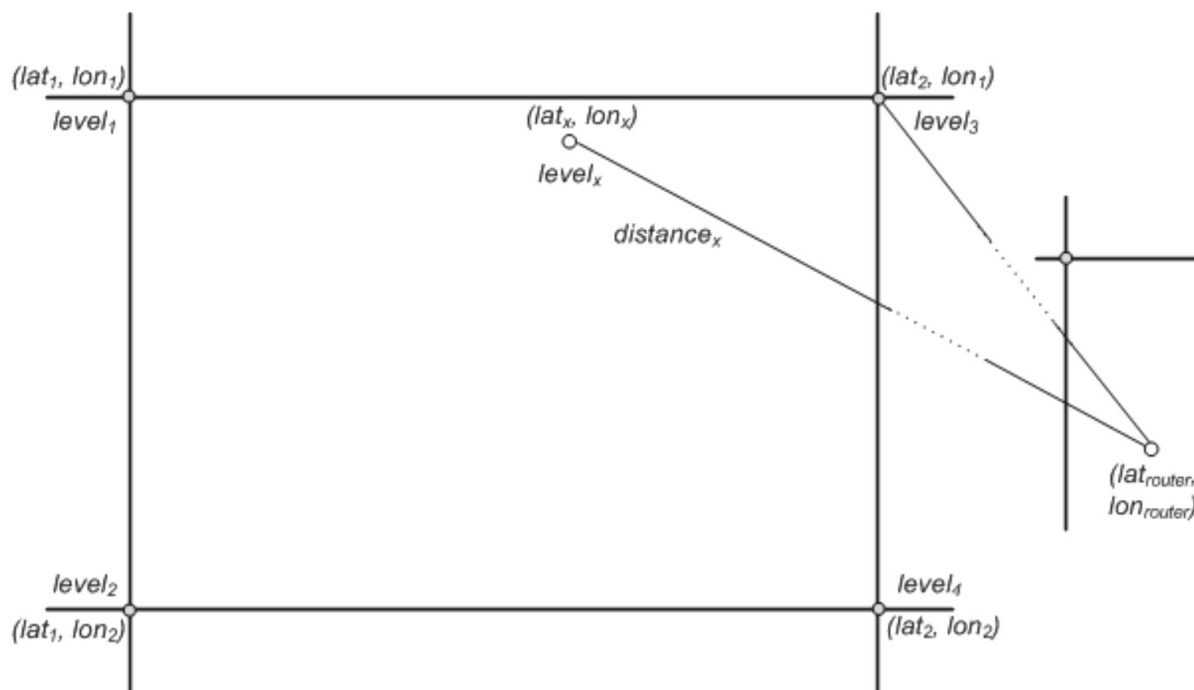


Рис. 5. Графическая интерпретация алгоритма аппроксимации с памятью по расстоянию

Begin

- 1 **While** есть запрос от прикладной программы **do**
- 2 ПОЛУЧИТЬ от прикладной программы $(lat_1, lon_1; lat_2, lon_2)$;
- 3 ЗАПРОС к БД
- 4 $(\max(level), \min(level)) = select((lat_1, lon_1); (lat_2, lon_2))$;
- 5 **End**

Листинг 4. Алгоритм выбора данных о беспроводной сети в узлах географической сетки.



Рис. 6. Блок-схема алгоритма выбора уровня сигнала

Алгоритм обеспечивает выбор данных о максимальном и минимальном уровнях сигнала в прямоугольной области по запросу пользователя.

Условия проведения экспериментов

Для схемы базы данных из [4] реализованы алгоритмы генерации регулярных сеток с заданным шагом, актуализации и выборки данных о беспроводной сети в четырехсвязной области. Прототипом устройства для сбора данных послужил мультипротокольный узел из состава стенда облачного сервиса [3].

Разработанные и реализованные алгоритмы управления сетками с фиксированным шагом (аппроксимации и выборки данных о беспроводной сети в четырех-



Таблица 1

Параметры и константы экспериментов

| Параметр, константа | Значение |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Число испытаний, шт. | 10^5 |
| Частота выполнения запросов, Гц | 1 |
| Шаг сетки, м | 5, 10, 15, 20, 25, 30 |
| Число программных потоков, шт. | 1, 2, 3 |
| Операционная система | Ubuntu 12.04 LTS (i386) |
| СУБД | MySQL 5.5.40 |
| Язык программирования | PHP 5.3.10 |
| Компьютер | Intel Core i5, 2,4 ГГц, 8 Гб RAM |

связной области) выполнены на компьютере с процессором 2,4 ГГц Intel Core i5 и объемом оперативной памяти 8 Гб. Исполнение кода осуществлено на виртуальной машине с операционной системой Ubuntu 12.04 LTS (i386). Реализация алгоритмов выполнена на языке общего назначения PHP версии 5.3.10. Для хранения данных регулярной сетки использована система управления реляционными базами данных MySQL версии 5.5.40.

Каждый алгоритм реализован в скрипте, содержит исполняемый код и средства регистрации времени исполнения. В качестве тестовой использована географическая область размером 800×600 , что в целом соответствует интересам водителя и пассажиров.

Скрипты аппроксимации получали с частотой от 1 до 2 Гц значения координат от датчиков GPS, значения уровня сигнала $level_x$ сети Wi-Fi, и регистрировали время выполнения процедуры аппроксимации.

Скрипт выборки значений генерировал равномерно распределенные значе-

ния координат прямоугольной области $(lat_1, lon_1; lat_2, lon_2)$ и регистрировал значения времени выполнения выборки данных о максимальном и минимальном уровнях сигнала сети. Значения времени выполнения записывались в файл для их дальнейшей обработки. Скрипты добавления выполнялись в один, два и три потока одновременно со скриптом запроса данных. Параметры экспериментов приведены в табл. 1.

Результаты экспериментов

Получение и анализ временных зависимостей исполнения трех вариантов алгоритмов аппроксимации значений уровня сигнала беспроводной локальной сети позволили оценить точность представления уровня сигнала, объем хранимых данных и временные затраты на исполнение исследуемых алгоритмов.

Исходные данные для проведения экспериментов приведены в табл. 2, а результаты обработки данных в один поток операционной системы представлены в табл. 3.

Таблица 2

Исходные данные для проведения экспериментов

| Наименование параметра | Шаг сетки, м | |
|---|--------------|----|
| | 5 | 30 |
| Число записей в таблице БД, шт. | 2652 | 81 |
| Объем файла таблицы, байт | 8800 | |
| Интервал учета времени выполнения запросов, с | от 0 до 0,8 | |

Таблица 3

Параметры выполнения алгоритмов актуализации и выборки для сеток заданного шага

| Алгоритмы | | Наименование параметра | | Шаг сетки, м | |
|--------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|----------|
| | | | | 5 | 30 |
| Актуализации | Без памяти | Время выполнения, мс | Минимальное | 0,545222 | 0,166994 |
| | | | Максимальное | 1,101496 | 0,701593 |
| | | Число точек | Всего | 663 | |
| | | | В диапазоне цикла сбора данных | 647 | 663 |
| | Без памяти по расстоянию | Время выполнения, с | Минимальное | 0,053 | 0,905 |
| | | | Максимальное | 1,586 | 1,285 |
| | | Число точек | Всего | 10 ⁵ | |
| | | | В диапазоне цикла сбора данных | 99688 | 99703 |
| | С памятью по расстоянию | Время выполнения, с | Минимальное | - | 0,133801 |
| | | | Максимальное | - | 1,101936 |
| | | Число точек | Всего | 663 | |
| | | | В диапазоне цикла сбора данных | - | 641 |
| Выборки | Время выполнения, с | Минимальное | 1,114 | 0,016 | |
| | | Максимальное | 2,072 | 1,560 | |
| | Число точек | Всего | 10 ⁵ | | |
| | | В диапазоне цикла сбора данных | 99688 | 99703 | |

Из табл. 3 видно, что максимальное время выполнения всех алгоритмов актуализации соразмерно со временем исполнения

цикла сбора данных, который составляет секунду. Число anomalно долгих запросов на актуализацию и выборку данных со вре-

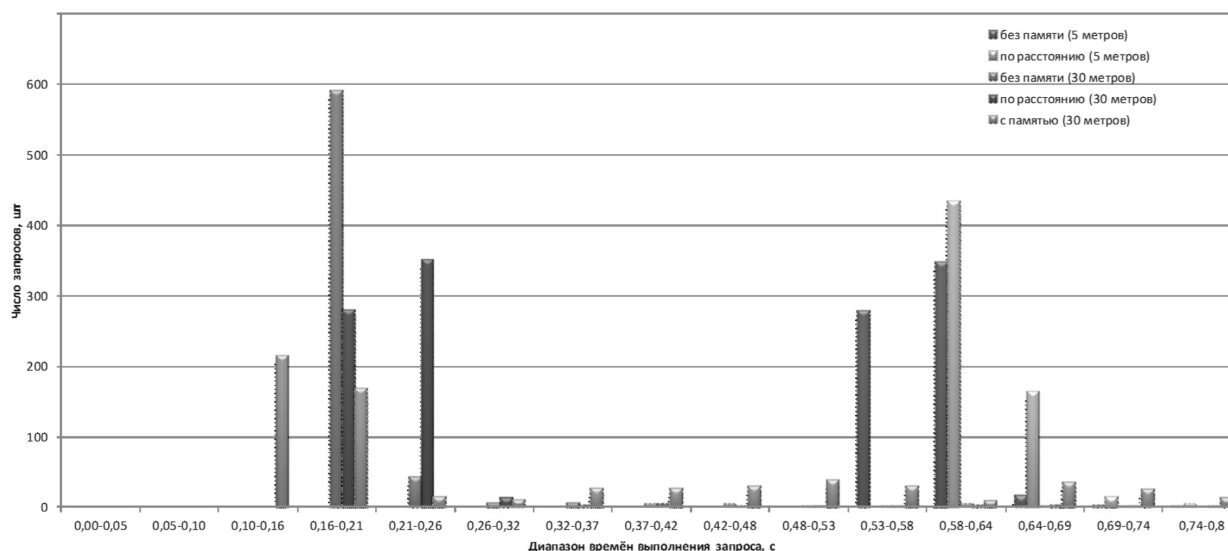


Рис. 7. Распределение времени выполнения алгоритмов аппроксимации данных на сетках разного шага

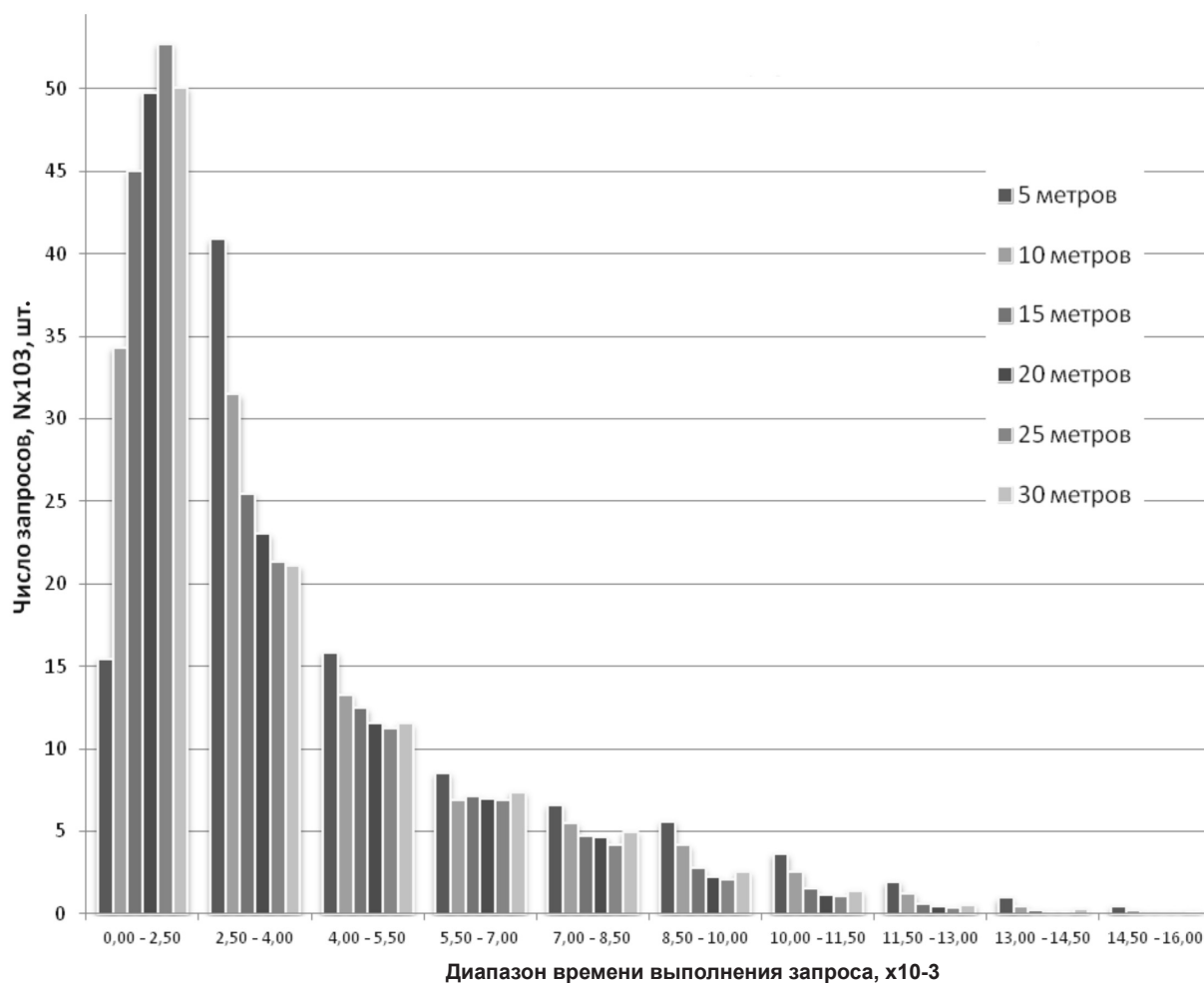


Рис. 8. Распределение времени выполнения операции актуализации данных на сетках разного шага

менем исполнения более 0,8 с составляет не более 3 %, что экспериментально показало практическую применимость разработанных алгоритмов для функционирования программного обеспечения телематической карты.

Данные о распределении времени выполнения алгоритмов аппроксимации данных на сетках шага 5 и 30 м в один поток операционной системы приведены на рис. 7.

Из диаграммы видно, что время выполнения алгоритмов на сетке одного шага находится в диапазоне от 0,10 до 0,15 с, что показывает малые временные затраты на дополнительные вычисления, учитывающие аппроксимацию расстояния и времени. Это позволяет менять алгоритмы аппроксимации без изменения технологии

сбора данных.

Распределение времени исполнения алгоритма аппроксимации без памяти по расстоянию на всем диапазоне шагов сетки приведено на рис. 8.

Из графика видно, что максимальное число операций при всех шагах сетки, кроме сетки с шагом в 5 и 10 м, приходится на диапазон времен 0,00–2,50 мс. Максимум числа значений в диапазоне 2,50–4,00 мс для сетки с шагом в 5 м связан с увеличением времени поиска нужного диапазона по причине большего числа точек в таблице базы данных, что позволяет использовать алгоритм на любом шаге без изменения общей структуры программного обеспечения.

На рис. 9 представлена зависимость времени выполнения алгоритма актуали-

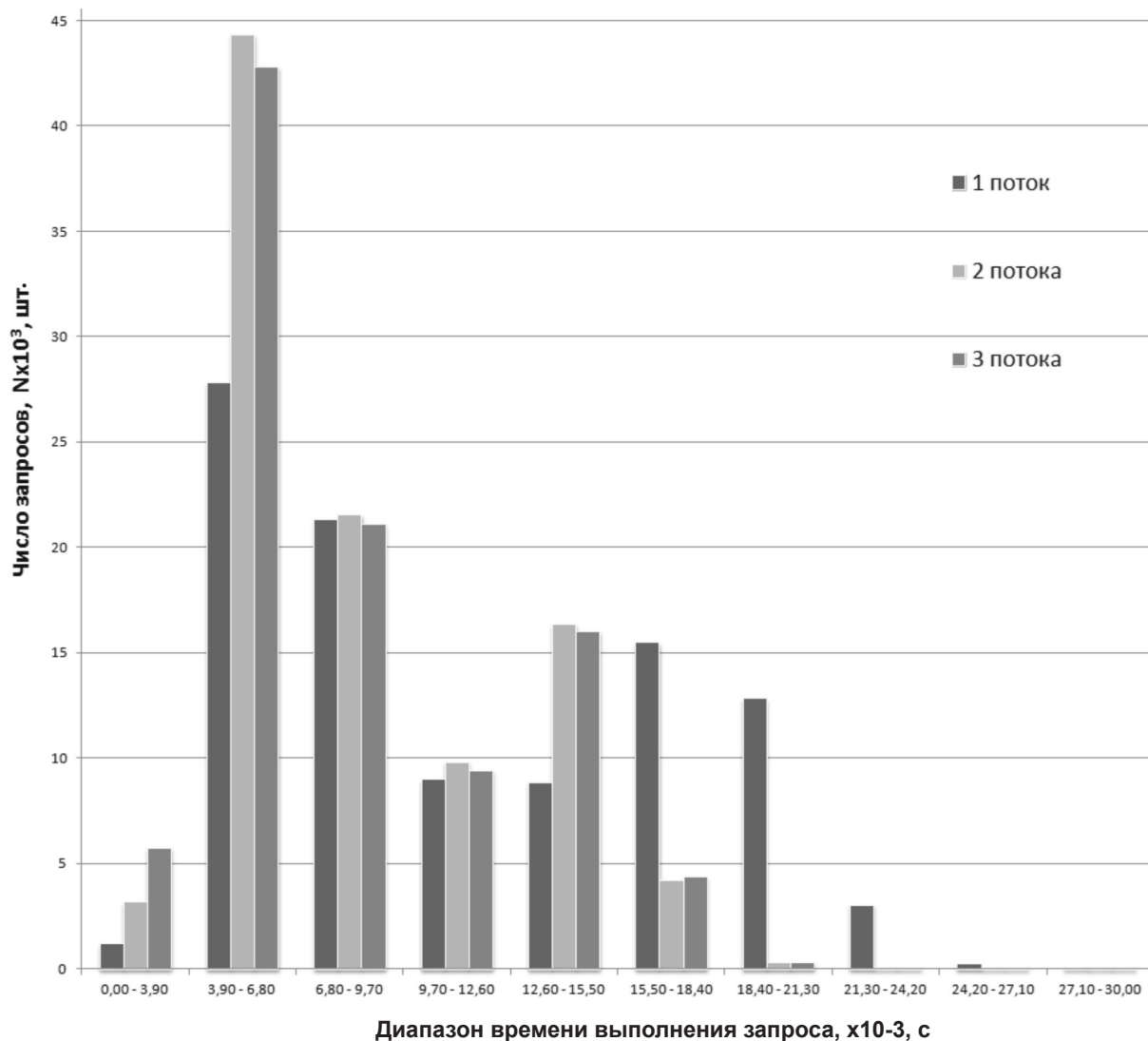


Рис. 9. Распределение времени выполнения алгоритма актуализации от числа потоков операционной системы

зации без памяти по расстоянию от числа потоков операционной системы на сетке с шагом 5 м.

Распределение времени выполнения запросов на актуализацию данных показывает рост среднего времени выполнения запросов при увеличении числа потоков от одного до трех, что связано с монопольными блокировками таблиц базы данных для выполнения операции добавления из одного потока, и ожидании операции добавления из других потоков. Время выполнения операции выборки данных не зависит от числа потоков, т. к. операции чтения не

блокируют таблицы базы данных, сохраняя их доступными для других потоков чтения данных.

Распределение времени показывает, что актуализация данных в программном обеспечении мультипротокольного узла должна осуществляться строго в один поток, а операции выборки могут выполняться асинхронно по мере появления запросов внешних приложений прикладного уровня.

В статье описаны алгоритмы и результаты выполнения экспериментов над макетом мультипротокольного узла в части



реализации технологии управления слоем данных телематической карты для локальных беспроводных сетей Wi-Fi с применением реляционной СУБД и программного обеспечения высокого уровня.

Разработанные и реализованные алгоритмы генерации регулярной прямоугольной сетки, выбора уровня сигнала о беспроводной сети географического региона и аппроксимации данных об уровне сигнала обеспечивают замкнутый цикл управления данными.

Проведенные исследования времени исполнения алгоритмов подтвердили применимость технологии обновления данных телематической карты для одного потока данных обновления и не более трех потоков извлечения данных с частотой выполнения 1 Гц каждый.

В результате исследования выявлено, что алгоритм аппроксимации с памятью

по расстоянию затрачивает на выполнение больше времени, чем алгоритмы аппроксимации без памяти и без памяти по расстоянию, но обладает наилучшей точностью аппроксимации, абсолютная ошибка при этом не превышает половину децибела.

Реализованные алгоритмы сбора, актуализации и извлечения данных продемонстрировали работоспособность макета в целом. Дальнейшим направлением исследования может стать анализ качества функционирования алгоритмов аппроксимации значений уровня сигнала в узлах сетки, формирование алгоритмов синхронизации, исследование синхронных и асинхронных механизмов репликации данных телематической карты с облачным сервисом на локальных картах большего размера.

Исследование выполнено при поддержке гранта компании «Форд Моторс».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dupuis Y., Merriaux P., Subirats P., Boutteau R., Savatier X., Vasseur P. Gps-based preliminary map estimation for autonomous vehicle mission preparation // In Intelligent Robots and Systems. 2014 IEEE/RSJ Internat. Conf. on. Pp. 4241–4246.
2. Gerla M., Lee E.-K., Pau G., Lee U. Internet of vehicles: from intelligent grid to autonomous cars and vehicular clouds // In Internet of Things (WF-IoT). 2014 IEEE World Forum on. Pp. 241–246.
3. Glazunov V., Kurochkin L., Kurochkin M., Popov S. Instrumental environment of multi-protocol cloud-oriented vehicular mesh network // ICINCO SciTePress. 2013. Vol. (1). Pp. 568–574.
4. Glazunov V., Kurochkin L., Popov S., Chuvatov M. Prototype of the telematics map cloud service // In Open Innovations Association. 17th Conf. on. 2015. Pp. 50–55.
5. Jaworski P., Edwards T., Moore J., Burnham K. Cloud computing concept for intelligent transportation systems // In Intelligent Transportation Systems, 14th Internat. IEEE Conference on. 2011. Pp. 391–396.
6. Miller J., Kim S., Ali M., Menard T. Determining time to traverse road sections based

on mapping discrete gps vehicle data to continuous flows // In Intelligent Vehicles Symp. IEEE. 2010. Pp. 615–620.

7. Popov S., Kurochkin M., Kurochkin L., Glazunov V. The implementing of the internet of things concepts for the continuous provision of informational services for vehicle drivers and passengers // In Telematics and Future Generation Networks. 1st Internat. Conf. on. 2015. Pp. 1–5.

8. Zaborovskiy V., Lukashin A., Popov S., Vostrov A. Adage mobile services for its infrastructure // In ITS Telecommunications. 13th Internat. Conf. on. 2013. Pp. 127–132.

9. Zheng K., Zheng Q., Chatzimisios P., Xiang W., Zhou Y. Heterogeneous vehicular networking: A survey on architecture, challenges, and solutions. Communications Surveys Tutorials. IEEE. 2015. Vol. 17(4). Pp. 2377–2396.

10. Zhao L., Hong X., Gu B. Handshake time and transmission rate of 802.11g measurement in vehicular networks // In Local Computer Networks. IEEE 35th Conf. on. 2010. Pp. 730–736.

11. Khadraoui D., Sukuvaara T. Wireless traffic service communication platform for cars // In Global Informat. Infrastructure Symp. 2009. Pp. 1–7.

REFERENCES

1. Dupuis Y., Merriaux P., Subirats P., Boutteau R., Savatier X., Vasseur P. Gps-based preliminary map estimation for autonomous vehicle mission preparation. In *Intelligent Robots and Systems,*

2014 IEEE/RSJ International Conference on, Pp. 4241–4246.

2. Gerla M., Lee E.-K., Pau G., Lee U. Internet of vehicles: From intelligent grid to autonomous

cars and vehicular clouds. *In Internet of Things, 2014 IEEE World Forum on*, Pp. 241–246.

3. **Glazunov V., Kurochkin L., Kurochkin M., Popov S.** Instrumental environment of multi-protocol cloud-oriented vehicular mesh network. *ICINCO SciTePress*, 2013, Vol. (1), Pp. 568–574.

4. **Glazunov V., Kurochkin L., Popov S., Chuvatov M.** Prototype of the telematics map cloud service. *In Open Innovations Association, 17th Conference on*, 2015, Pp. 50–55.

5. **Jaworski P., Edwards T., Moore J., Burnham K.** Cloud computing concept for intelligent transportation systems. *In Intelligent Transportation Systems, 14th International IEEE Conference on*, 2011, Pp. 391–396.

6. **Miller J., Kim S., Ali M., Menard T.** Determining time to traverse road sections based on mapping discrete gps vehicle data to continuous flows. *In Intelligent Vehicles Symposium, IEEE*, 2010, Pp. 615–620.

7. **Popov S., Kurochkin M., Kurochkin L., Glazunov V.** The implementing of the internet

of things concepts for the continuous provision of informational services for vehicle drivers and passengers, *In Telematics and Future Generation Networks, 1st International Conference on*, 2015, Pp. 1–5.

8. **Zaborovskiy V., Lukashin A., Popov S., Vostrov A.** Adage mobile services for its infrastructure. *In ITS Telecommunications, 13th International Conference on*, 2013, Pp. 127–132.

9. **Zheng K., Zheng Q., Chatzimisios P., Xiang W., Zhou Y.** Heterogeneous vehicular networking: A survey on architecture, challenges, and solutions. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 2013, Vol. 17(4), Pp. 2377–2396.

10. **Zhao L., Hong X., Gu B.** Handshake time and transmission rate of 802.11g measurement in vehicular networks. *In Local Computer Networks, IEEE 35th Conference*, 2010, Pp 730–736.

11. **Khadraoui D., Sukuvaara T.** Wireless traffic service communication platform for cars. *In Global Information Infrastructure Symposium*, 2009, Pp. 1–7.

ВОСТРОВ Алексей Владимирович – ассистент кафедры телематики Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

E-mail: vostrov_av@spbstu.ru

VOSTROV Alexey V. *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.

E-mail: vostrov_av@spbstu.ru

ПОПОВ Сергей Геннадьевич – доцент кафедры телематики Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, кандидат технических наук.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

E-mail: popovserge@spbstu.ru

POPOV Sergey G. *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.

E-mail: popovserge@spbstu.ru

ШАРАГИН Максим Павлович – студент кафедры телематики Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

E-mail: msharagin@gmail.com

SHARAGIN Maksim P. *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.

E-mail: msharagin@gmail.com

ЧУВАТОВ Михаил Владимирович – ведущий программист кафедры телематики Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

E-mail: misha@iktp.spbstu.ru

CHUVATOV Mikhail V. *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.*

195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.

E-mail: misha@iktp.spbstu.ru