

# СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.02

*С. И. Сметанин, В. А. Игнатюк, Е. Е. Котович*

## МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ GNSS-МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТА

Исследуются методы фильтрации и передачи данных для морских и наземных средств передвижения в спутниковом GNSS-мониторинге. При организации системы спутникового мониторинга для морского транспорта, а также некоторых типов наземного транспорта (грузоперевозки на дальние расстояния) становится актуальным использование спутникового Интернета. Однако вследствие высокой стоимости трафика данного канала связи непрерывная передача навигационной информации крайне затратна – требуется фильтрация данных для уменьшения расходов. В то же время, для мониторинга в реальном времени, необходимо сохранять как можно большую часть информации исходных треков. Для этих целей был разработан метод, учитывающий динамический характер движения транспортных средств. Метод основан на использовании динамически меняющегося периода передачи данных, зависящего от скорости движения транспортного средства. Приводится алгоритм анализа GNSS-треков, использовавшийся для вычисления оптимальных периодов передачи данных. Представлена итоговая графическая характеристика динамического метода для наземных (на примере легковых автомобилей) и морских (на примере паромов) средств передвижения. Предложенный динамический метод был протестирован на сделанной подборке GNSS-треков. Разработано программное обеспечение, фильтрующее точки трека по приведённой выше методике. Применение метода демонстрируется для каждого рассмотренного типа транспортных средств. Динамический метод позволяет существенно сокращать количество трафика, затрачиваемого на передачу данных в системах GNSS-мониторинга, при этом потеря информации незначительна. При соответствующей настройке метод может применяться в системах спутникового мониторинга, работающих с любыми типами транспортных средств.

**Ключевые слова:** система спутникового мониторинга, динамический метод передачи данных, статические методы передачи данных, GNSS, треки, фильтрация навигационных данных.

### Состояние проблемы

В настоящее время одной из главных проблем в отрасли GNSS-мониторинга (англ. Global Navigation Satellites System – глобальная навигационная спутниковая система) является отсутствие глобального покрытия сети. Некоторые производители GNSS-трекеров используют «черный ящик» – буфер, в котором хранится информация о точках трека, передаваемая при появлении сети или по прибытии на место. Однако подобное решение неприменимо, если необходимо обеспечить непрерывную передачу навигационной информации в реальном времени [1]. Это приводит к необходимости использования иного канала связи, отличного от наиболее часто используемых в стандартных GNSS-трекерах (GPRS, LTE).

Данная проблема является актуальной в условиях организации системы спутникового мониторинга при использовании дорогих каналов связи, необходимых для мониторинга морского транспорта, а также некоторых типов наземного транспорта (грузоперевозки на дальние расстояния). В то время как обычные системы мониторинга работают в пределах покрытия мобильной связи и могут для организации приёма и передачи данных использовать дешёвые тарифы, трекерам, устанавливаемым на подобных типах транспортных средств, для передачи информации необходимо использовать другой канал. Одним из способов организации непрерывной трансляции навигационной информации является использование спутникового Интернета.

В настоящее время наиболее полное покрытие сети обеспечивают две системы [2]:

1. Иридиум OpenPort – крупнейшая спутниковая сеть со 100 %-ным покрытием Земли. Её орбитальная группировка содержит 66 активных спутников, 6 резервных обеспечивают передачу данных из самых удаленных уголков планеты.

2. Инмарсат – вторая по величине спутниковая сеть. Покрытие составляет 98 % и обеспечивается 11 геостационарными спутниками.

Обозначим проблемы, связанные с использованием данного канала связи. Рассмотрим систему Иридиум OpenPort в качестве наиболее популярного поставщика спутникового Интернета. В соответствии с тарифным планом стоимость мегабайта трафика при скорости 64 кбит/с составляет 14,57 долл. США, что делает необходимой фильтрацию передаваемой информации. Таким образом, в связи с высокими расходами на непрерывную передачу данных, возникает проблема отношения количества передаваемой информации и общего качества итоговых навигационных данных (трека транспортного средства).

Существующие решения в данной области основываются на методах, обеспечивающих периодическую трансляцию навигационных данных от GNSS-трекера, размещённого на транспортном средстве, до сервера системы спутникового мониторинга. При этом частота передачи данных зависит от одного из стандартных используемых методов:

- передача данных через фиксированный период;
- передача данных через фиксированное расстояние (пример реализации – система спутникового контроля автотранспорта и учета топлива СКАУТ [3]);
- передача данных при смене курса. Если обозначить проверочное значение разницы курсов (в градусах) между двумя точками трека символом  $\alpha$ , а символами  $\alpha_i$  и  $\alpha_{i-1}$  – значения курса транспортного средства в текущий и предыдущий моменты времени, то точка трека будет передаваться на сервер при выполнении условия  $\alpha_i - \alpha_{i-1} \geq \alpha$ . Алгоритм реализован в GLONASS/GPS-трекере S10 [4].

Указанные методы работают с фиксированными значениями используемых параметров, не учитывая динамический характер движения транспортных средств. Таким образом, обработка данных, поступающих от GNSS-трекера, при помощи подобных методов приведёт к тому, что внесённые изменения одинаковым образом повлияют на каждый участок трека. Это неэффективно, поскольку для каждой задачи требуются свои параметры фильтрации. Мы предлагаем собственную методику фильтрации навигационных данных, алгоритм которой учитывает динамику движения транспортных средств за счёт установления взаимосвязи между периодом передачи информации, используемым объектом мониторинга и скоростью его движения. Таким образом, динамический метод – это метод фильтрации навигационной информации в реальном времени, использующий динамически изменяющийся период  $T$  для передачи данных, при этом  $T$  зависит от текущей скорости движения транспортного средства.

### Методика исследования

Рассмотрим алгоритм передачи данных на сервер системы мониторинга, используемый в разработанном динамическом методе. Предположим, что в момент времени  $t_i$  на сервер системы мониторинга были переданы координаты транспортного средства (широта и долгота), при этом определена скорость его движения  $U_i$ , которой соответствует период передачи данных  $T_i$ . Тогда следующая передача данных будет произведена в момент времени  $t_{i+n}$ , при этом  $t_{i+n} - t_i \geq T_i$ , после чего последовательность действий повторяется для текущей скорости  $U_{i+n}$ .

Основной задачей при разработке метода являлось вычисление оптимальных периодов  $T$ , использование которых позволило бы свести к минимуму потерю информации между моментами передачи данных. Для этих целей было разработано программное обеспечение, анализирующее треки наземных (на примере легковых автомобилей) и морских (на примере паромов) средств передвижения в формате GPX [5] (GPS eXchange Format – текстовый формат хранения и обмена данными GPS).

В связи с обработкой больших объёмов данных, в целях сокращения времени работы программы, в рассматриваемой выборке треков были зафиксированы все возможные значения скорости движения объектов мониторинга. Полученные полные диапазоны значений скорости

(0–200 км/ч для наземного транспорта и 0–78 км/ч для морского транспорта) были разделены на отдельные поддиапазоны по 5 и 2 км/ч (для наземных и морских средств передвижения соответственно). Таким образом, если обозначить каждый поддиапазон как массив значений скорости  $u_i = \{U_{i\_START}, U_{i\_END}\}$ , где  $U_{i\_START}$  – стартовое значение скорости  $i$ -го поддиапазона, а  $U_{i\_END}$  – конечное значение скорости  $i$ -го поддиапазона, то формула вычисления последовательности поддиапазонов будет записана как

$$u_1, \dots, u_n = \{U_{1\_START}, U_{1\_END}\}, \dots, \{U_{1\_START} + (n-1)r, U_{1\_END} + n \cdot r\},$$

где  $n$  – конечный номер поддиапазона;  $r$  – значение используемого инкремента скорости (5 или 2 км/ч). Значения определены на основании предварительного анализа выборки треков.

Рассмотрим задачу нахождения периодов передачи информации для каждого из полученных поддиапазонов в произвольном GPS-треке. Предположим, что существует  $n$  точек трека, в каждой из которых скорость транспортного средства удовлетворяет следующему условию для единственного поддиапазона  $u_i$ :

$$U_{i\_START} \leq U \leq U_{i\_END}.$$

Первая и последняя точки, входящие в данный поддиапазон, запоминаются программой. Каждая точка трека имеет свою собственную временную метку  $t_i$ . Найдём суммарное время как разницу между временными метками  $\Delta t_{ik} = t_n - t_0$ , где  $t_n$  – временная метка последней точки в полученной последовательности;  $t_0$  – временная метка первой точки;  $i$  – индекс поддиапазона;  $k$  – номер переменной в общем массиве. Обработав весь трек, программное обеспечение получит  $n$  подобных значений для каждого поддиапазона  $\Delta t_{i1}, \Delta t_{i2}, \dots, \Delta t_{in}$ , после чего находится среднее значение от найденной последовательности:

$$\bar{T}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta t_{ik},$$

где  $\bar{T}_i$  – период передачи данных для выбранного поддиапазона  $u_i$ .

Смысл указанных действий можно понять по аналогии с математической прямой. Существует бесконечное количество точек, лежащих на прямой, но с точки зрения количества полезной информации важны только первая и последняя точки. В основе метода изначально лежит предположение о том, что трек можно разбить на определённую последовательность отрезков малой длины, регулируемой периодом передачи данных  $\bar{T}_i$ , причём таким образом, чтобы в результате фильтрации потеря данных была бы минимальной [6]. Установить надлежащее значение  $\bar{T}_i$  можно на основе большой выборки треков со строго заданными параметрами:

- использование транспортного средства определённого типа (например, результаты обработки треков для легковых и грузовых автомобилей будут отличаться);
  - для каждой последующей пары точек трека разница их временных меток  $\Delta t = 1$ ;
  - отсутствие «слепых» зон трека из-за потери видимости GNSS-спутников;
  - обработка трека с помощью фильтра Калмана для устранения заранее ошибочных данных.
- Соблюдение данных условий позволит получить корректные итоговые данные.

### Результаты исследований

Проведённый анализ позволил получить результирующие графические характеристики для наземного транспорта (на примере легковых автомобилей) и морского транспорта (на примере паромов). На рис. 1 и 2 продемонстрирована взаимосвязь используемых поддиапазонов значений скорости и соответствующих им периодов передачи информации.

Предложенный динамический метод был протестирован на выбранной подборке треков. Было разработано программное обеспечение, фильтрующее точки трека по приведённой выше методике. Итоговый трек, изменённый в соответствии с динамическим методом, сохраняется на диске. Пример применения метода по отношению к трекам морского и наземного транспортов продемонстрирован на рис. 3, 4.

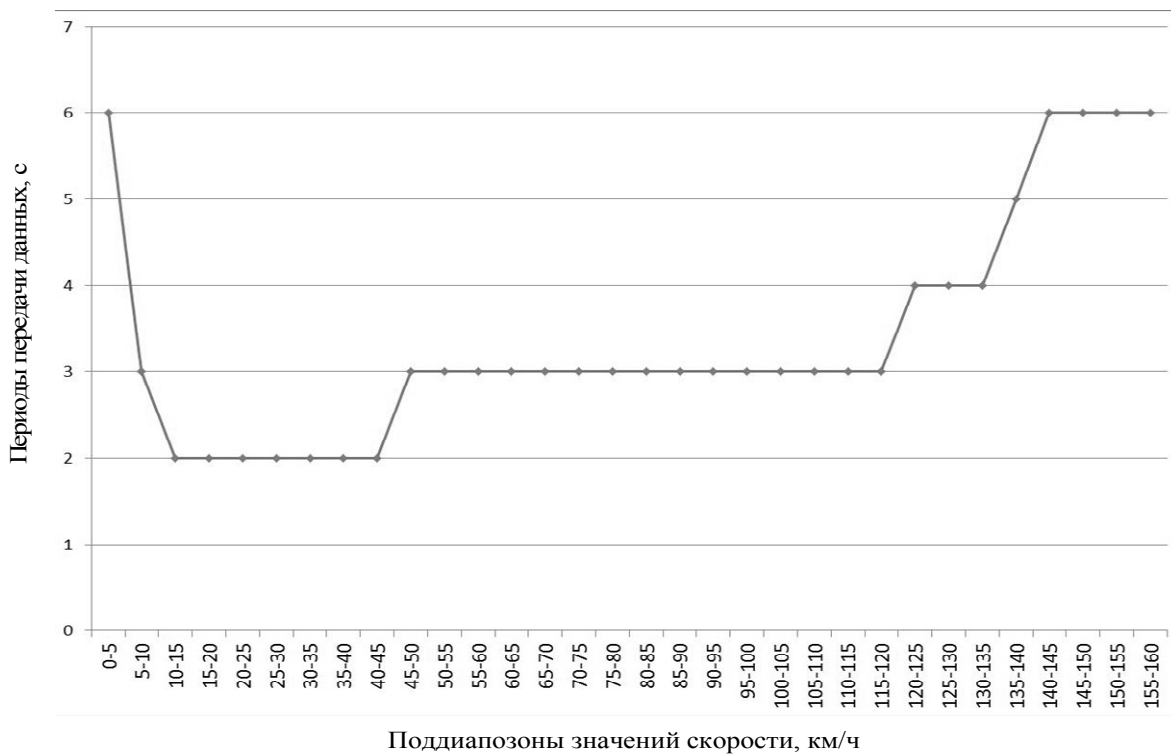


Рис. 1. Графическая характеристика динамического метода для легковых автомобилей

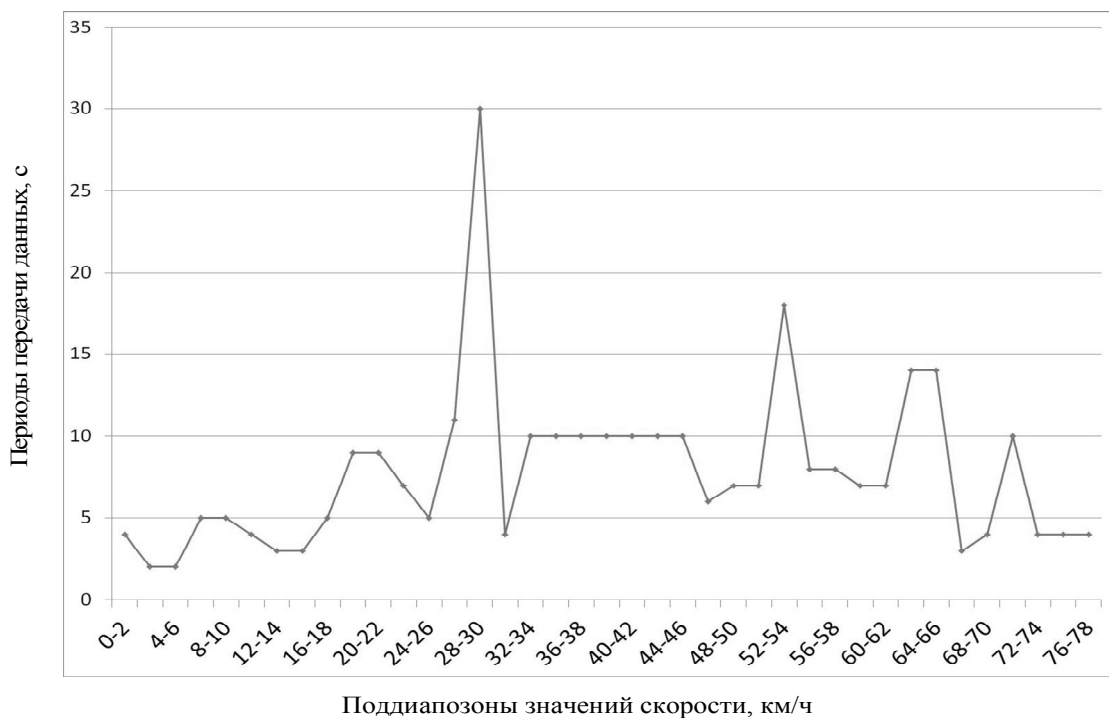


Рис. 2. Графическая характеристика динамического метода для паромов



Рис. 3. Пример обработки треков наземного транспорта

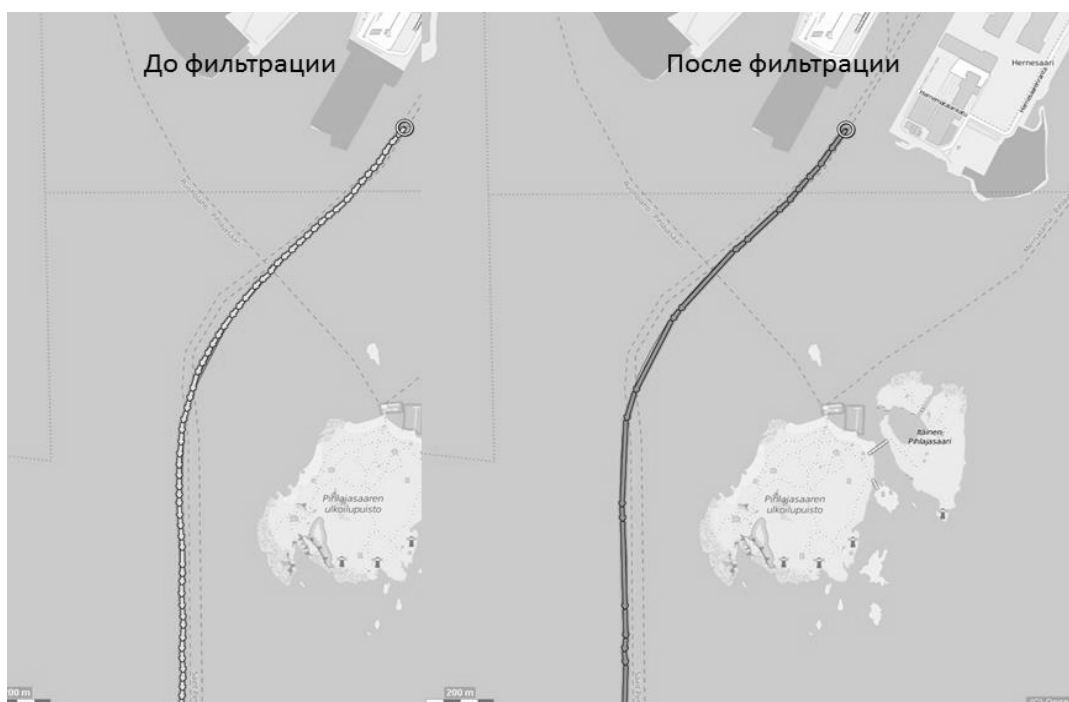


Рис. 4. Пример обработки треков морского транспорта

Как видно в приведённых выше примерах, потери информации практически не наблюдаются. Полученные треки, обработанные с помощью динамического метода, повторяют траекторию движения транспортных средств с минимальными искажениями.

### Заключение

В ходе исследований были получены следующие результаты.

1. Разработан динамический метод фильтрации и передачи навигационных данных, основанный на использовании плавающего периода  $\bar{T}_i$ , зависящего от скорости движения транспортного средства.

2. Сравнение треков, обработанных с помощью динамического метода, с первоначальной версией таких треков выявило значительное уменьшение количества точек в отфильтрованном треке (для примера: 403 точки после обработки одного из рассмотренных треков по сравнению с 1628 точками в первоначальном варианте).

Таким образом, разработанный динамический метод позволяет существенно сокращать количество трафика, затрачиваемого на передачу данных в системах GNSS-мониторинга, при этом потеря информации незначительна. При соответствующей настройке метод может применяться в системах спутникового мониторинга, работающих с любыми типами транспортных средств – как с наземными, так и с морскими.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонович К. М., Карник А. П. Мониторинг объектов с применением GPS технологий и других методов определения положения // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2003. № 6. С. 123–135.
2. Зоны покрытия систем спутниковой связи: URL: <http://www.satellite-rent.ru/zone.php> (дата обращения: 22.01.2016).
3. Спутниковый контроль (мониторинг) автотранспорта и учет топлива СКАУТ. URL: <http://www.scout-kazan.ru/> (дата обращения: 22.01.2016).
4. GLONASS/GPS трекеры S10. URL: [http://www.globalsat.ru/catalog/gtr-128\\_glonass\\_battery](http://www.globalsat.ru/catalog/gtr-128_glonass_battery) (дата обращения: 22.01.2016).
5. GPX (the GPS Exchange Format). URL: <http://www.topografix.com/gpx.asp> (дата обращения: 22.01.2016).
6. Сметанин С. И., Игнатюк В. А. Мобильный терминал для DGPS системы спутникового мониторинга с динамическим алгоритмом передачи данных // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2015): сб. ст. V Междунар. заоч. науч.-техн. конф. Тольятти: ПВГУЭС, 2015. С. 296–300.

Статья поступила в редакцию 18.04.2016

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сметанин Станислав Игоревич** – Россия, 690014, Владивосток; Владивостокский государственный университет экономики и сервиса; аспирант кафедры информационных технологий и систем; Sardo1@mail.ru.

**Игнатюк Виктор Александрович** – Россия, 690014, Владивосток; Владивостокский государственный университет экономики и сервиса; г-р физ.-мат. наук, профессор; профессор кафедры информационных технологий и систем; viktor.ignatyuk@vvsu.ru.

**Котович Евгений Евгеньевич** – Россия, 690014, Владивосток; Владивостокский государственный университет экономики и сервиса; студент, специальность «Средства радиоэлектронной борьбы»; katod-2007@mail.ru.



*S. I. Smetanin, V. A. Ignatyuk, E. E. Kotovich*

#### METHOD OF DYNAMIC DATA TRANSMISSION FOR GNSS-MONITORING OF TRANSPORT

**Abstract.** The methods of filtration and data transmission for maritime and land-based vehicles in satellite GNSS-monitoring are studied. In the context of the organization of the satellite monitoring system for maritime transport, as well as for some land transport (freight over long distances), the use of satellite Internet becomes rather essential. Due to the high costs of traffic of the communication channel, the continuous transmission of navigation information becomes extremely expensive – filtration of data is required in order to reduce costs. At the same time, to monitor in real time, it is neces-

sary to preserve the original information of tracks as much as possible. For this purpose, a method that takes into account the dynamic nature of the movement of vehicles is developed. The method is based on the use of dynamically changing data transfer period, which depends on the speed of the vehicle. The article provides the algorithm of the analysis of GNSS-tracks, used to calculate the optimal data transfer periods. The final graphical characteristic of the dynamic method for land (for example, cars) and sea (for example, ferries) vehicles is presented. The proposed dynamic method was tested on a set of GNSS-tracks. The software filtering track points by the method given above is designed. The application of this method is demonstrated for each considered type of vehicles. The dynamic method allows significantly reduce the amount of traffic required to transfer data to the GNSS-monitoring systems, while loss of information is unessential. Depending on the configuration, the method can be applied in the satellite monitoring systems, working with any type of vehicles.

**Key words:** satellite monitoring system, dynamic method of data transfer, static methods of data transfer, GNSS, tracks, filtering navigation data.

#### REFERENCES

1. Antonovich K. M., Karpik A. P. Monitoring ob"ektov s primeneniem GPS tekhnologii i drugikh metodov opredeleniia polozheniia [Monitoring the objects using GPS technologies and other methods of geolocation]. *Izvestiia vuzov. Geodeziia i aerofotos"emka*, 2003, no. 6, pp. 123–135.
2. *Zony pokrytiia sistem sputnikovoi sviazi* [Zones of satellite communication system coverage]. Available at: <http://www.satellite-rent.ru/zone.php> (accessed: 22.01.2016).
3. *Sputnikovyi kontrol' (monitoring) avtotransporta i uchet topliva SKAUT*. Available at: <http://www.scout-kazan.ru/> (accessed: 22.01.2016).
4. *GLONASS/GPS trekery S10*. Available at: [http://www.globalsat.ru/catalog/gtr-128\\_glonass\\_battery](http://www.globalsat.ru/catalog/gtr-128_glonass_battery) (accessed: 22.01.2016).
5. *GPX (the GPS Exchange Format)*. Available at: <http://www.topografix.com/gpx.asp> (accessed: 22.01.2016).
6. Smetanin S. I., Ignatiuk V. A. Mobil'nyi terminal dlia DGPS sistemy sputnikovogo monitoringa s dinameskim algoritmom peredachi dannykh [Mobile terminal for DGPS satellite monitoring systems with dynamic algorithm of data transfer]. *Informatsionnye tekhnologii. Radioelektronika. Telekommunikatsii (ITRT-2015). Sbornik statei V Mezhdunarodnoi zaochnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. Tolyatti, PVGUES, 2015. P. 296–300.

The article submitted to the editors 18.04.2016

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Smetanin Stanislav Igorevich** – Russia, 690014, Vladivostok; Vladivostok State University of Economics and Service; Postgraduate Student of the Department of Information Technology and Systems; Sardo1@mail.ru.

**Ignatyuk Viktor Aleksandrovich** – Russia, 690014, Vladivostok; Vladivostok State University of Economics and Service; Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor; Professor of the Department of Information Technology and Systems; viktor.ignatyuk@vvsu.ru.

**Kotov Evgeniy Evgenievich** – Russia, 690014, Vladivostok; Vladivostok State University of Economics and Service; Student, Specialty "Electronic warfare"; katod-2007@mail.ru.

