

УДК 004.02

## РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ GNSS-МОНИТОРИНГА МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

**Игнатьюк В.А., Сметанин С.И., Евстифеев А.А.**

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,  
Владивосток, e-mail: Viktor.Ignatyuk@vvsu.ru, Sardo1@mail.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию методов фильтрации и передачи данных для морского транспорта в спутниковом GNSS-мониторинге. В связи с высокими затратами на трафик при использовании спутникового интернета становится невозможной непрерывная передача навигационной информации – требуется фильтрация данных для уменьшения расходов. В то же время для мониторинга в реальном времени необходимо сохранять как можно большую часть данных исходных треков. Для этих целей был разработан динамический метод передачи навигационных данных, период передачи навигационной информации которого зависит от скорости движения транспортного средства. Приводится алгоритм анализа треков морского транспорта, использовавшийся для вычисления периодов передачи данных. Представлена итоговая графическая характеристика динамического метода. Кроме того, в статье приводится сравнение существующих методов с разработанным с помощью коэффициентов эффективности – коэффициента точности метода и коэффициента уменьшения трафика.

**Ключевые слова:** морской транспорт, GNSS-треки, спутниковый мониторинг транспорта, статические методы передачи данных, динамический метод передачи данных, уменьшение трафика

## DYNAMIC ALGORITHM OF DATA TRANSMISSION FOR GNSS-MONITORING OF MARYTIME TRANSPORT

**Ignatyuk V.A., Smetanin S.I., Evstifeev A.A.**

*Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok,  
e-mail: Viktor.Ignatyuk@vvsu.ru, Sardo1@mail.ru*

This article is devoted to research of filtering techniques and data for maritime transport in the GNSS satellite monitoring. Due to the high cost of traffic when using satellite internet, it becomes impossible to continuous transmission of navigation data – required data filtering to reduce costs. At the same time, to monitor in real time, it is necessary to preserve as much of the raw data tracks. For this purpose it was developed dynamic navigation data transmission method during transmission of navigation information which depends on the speed of the vehicle. An algorithm for the analysis of tracks of sea transport, was used to calculate the data transmission periods. Presented final characteristic curve of the dynamic method. In addition, the article provides a comparison of existing methods developed with the help of efficiency factors – factor accuracy of the method and rate of traffic reduction.

**Keywords:** maritime transport, GNSS-tracks, the satellite monitoring of transport, static methods of data transmission, dynamic method of data transmission, reducing traffic

В данной статье описывается концепция динамического метода передачи навигационных данных в системах GNSS (англ. Global Navigation Satellite System – Глобальная Навигационная Спутниковая Система) мониторинга для морского транспорта. Эффективность полученных результатов доказывается на основе значений двух коэффициентов: точности трека и уменьшения трафика. Целью исследования являлось сохранение максимально возможного количества информации в треке объекта мониторинга, при его обработке с помощью алгоритмов фильтрации навигационных данных.

### Динамический и статические алгоритмы передачи данных

Одной из проблем, возникающих в области спутникового GNSS мониторинга для морского транспорта, является проблема чрезмерного количества интернет-трафика,

затрачиваемого на передачу данных от трекера до сервера системы мониторинга. Единственным способом обеспечить непрерывный процесс передачи данных в реальном времени является использование спутникового интернета [1], который, как правило, имеет высокую стоимость. Рассмотрим в качестве примера наиболее дешёвый тариф для системы Иридиум OpenPort – скоростной глобальной спутниковой системы связи, созданной для морского судоходства. Её цена за мегабайт трафика при скорости 64 Кбит/с – 14,57 USD. Как видно, расходы достаточно велики; требуется фильтрация данных для сокращения количества передаваемой информации.

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:

1. *Временной алгоритм.* Передача навигационной информации через определённый промежуток времени. Примеры применения метода: спутниковый мониторинг автотранспорта и учет топлива СКАУТ ( $T = 5, 10$  с) [2], спутниковая система слежения за мобильными объектами «Вояджер» ( $T = 5$  с) [3].

2. *Периодическая передача данных на сервер в зависимости от расстояния, пройденного объектом мониторинга.* Например, через каждые 100 метров. Пример реализации алгоритма: персональный GPS-трекер NAVIXY S10 [4].

3. *Передача данных при смене курса.* Передача информации производится при значении разницы курсов между точками трека, больше заданной. Пример реализации: GPS / ГЛОНАСС-трекер GlobalSat GTR-128 [5].

Перечисленные выше методы, называемые статическими методами передачи данных, поскольку они имеют фиксированные значения параметров (периода передачи информации, расстояния между точками трека, разницы курсов), не учитывают динамический характер движения транспортных средств. Таким образом, обработка поступающих от GNSS-трекера данных при помощи указанных методов приведёт к тому, что внесённые изменения одинаковым образом повлияют на каждый участок трека. Это неэффективно, поскольку для каждой задачи требуются свои параметры фильтрации; невозможно подобрать единое значение указанных параметров для всех возможных ситуаций.

Для решения данной проблемы предлагается использовать разработанный метод динамической передачи данных, задача которого – минимизировать сумму потраченного трафика при сохранении максимального количества информации о передвижении морского транспорта в треке.

Абстрактная функция, отражающая основную идею алгоритма, имеет вид

$$T_i = f(u_i, U),$$

где  $T_i$  – один из доступных периодов передачи навигационной информации;  $u_i$  – соответствующий этому периоду элемент из массива скоростей;  $U$  – скорость объекта на момент получения навигационных данных.

Динамический метод основан на использовании различных периодов передачи навигационной информации для различной скорости движения транспортного сред-

ства, причём таким образом, чтобы потеря навигационной информации была минимальной. То есть вместо использования одного, жестко зафиксированного значения  $T$  (как это делается во временном алгоритме), применяется плавающий период передачи данных, зависящий от значения скорости транспортного средства. Поскольку найти точное соответствие скорости и периода не представляется возможным, было принято решение разбить диапазон скоростей для морского транспорта (0–78 км/ч) на части и определить для каждого промежутка скоростей соответствующее ему значение  $T$ .

Разделим весь возможный диапазон скоростей на некоторые промежутки  $u_{i=1,2,3,\dots,n}$ , где  $n$  – номер диапазона. Каждый промежуток содержит две переменные  $u_i = \{u_{start}; u_{end}\}$ , где  $u_{start}$  – стартовое значение диапазона;  $u_{end}$  – конечное значение диапазона. Полученные диапазоны имеют вид:  $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n = \{0 \text{ км/ч}; 2 \text{ км/ч}\}, \{2 \text{ км/ч}; 4 \text{ км/ч}\}, \{4 \text{ км/ч}; 6 \text{ км/ч}\}, \dots, \{n \text{ км/ч}; n + 2 \text{ км/ч}\}$ . Для каждого из этих промежутков  $u_i$  необходимо найти соответствующий им период передачи данных  $T_i$ , что и является основной задачей при разработке динамического метода.

Вычисление периодов передачи данных производилось посредством анализа треков морского транспорта. В каждый момент времени у транспортного средства существует какая-либо скорость  $U$ . Для примера, рассмотрим вычисление скорости объекта мониторинга при его движении от точки  $p_1$  к  $p_2$ . Необходимо проверить, соответствует ли данное значение одному из диапазонов в соответствии с условием

$$u_{start} \leq U \leq u_{end}?$$

где  $u_{start}$  – стартовое значение диапазона;  $u_{end}$  – конечное значение диапазона.

Номер данного диапазона (обозначим его  $u_1 = \{0 \text{ км/ч}; 2 \text{ км/ч}\}$ ) запоминается. Затем требуется найти значение скорости при движении от точки  $p_2$  к  $p_3$ , после чего скорость транспорта вновь проверяется. Вычисления продолжают до тех пор, пока не выполнится условие  $U \notin u_1$ . Первая и последняя точки, входящие в диапазон  $u_1$ , запоминаются для вычисления периода передачи данных.

Каждая пара навигационных координат связана со временем их получения  $t_i$ . Таким образом, период передачи данных для выбранного диапазона можно найти как

$$T_i = t_n - t_0,$$

где  $t_n$  – временная метка последней точки в полученной последовательности;  $t_0$  – временная метка первой точки.

Алгоритм определения периодов передачи информации работает до тех пор, пока последняя точка в треке не будет достигнута.

При завершении работы данного алгоритма имеем определённое количество периодов передачи данных для каждого диапазона. Таким образом, чтобы получить результирующее значение периода передачи навигационной информации для некоторого диапазона скоростей  $u_p$ , необходимо найти среднее значение  $\bar{T}_i$  от множества полученных данных:

$$\bar{T}_i = \text{avg}(T_{i_1}, T_{i_2}, T_{i_3}, \dots, T_{i_n}),$$

где  $n$  – номер соответствующего значения  $T_i$ ;  $\text{avg}$  – функция нахождения среднего от последовательности чисел.

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 алгоритма изначально лежит предположение о том, что весь трек объекта мониторинга состоит из последовательности прямых линий, и его задача – разбить этот трек на отдельные отрезки такой длины, удаление точек в которых бы не привело к существенной потере информации. Длину данных отрезков регулирует значение периода передачи данных, зависящее от скорости движения транспортного средства.

Рис. 1 демонстрирует итоговую графическую характеристику динамического ал-

горитма для морского транспорта, обработанную с помощью фильтра Калмана. По оси абсцисс отложены диапазоны скоростей (по 2 км/ч в каждом), по оси ординат – периоды передачи данных в секундах, соответствующие той или иной скорости движения морского транспорта. Характеристика имеет несколько пиковых значений. В соответствии с рассмотренными треками на данных скоростях морской транспорт придерживается постоянного курса и частая передача данных нецелесообразна.

Для оценки эффективности применения динамического метода передачи данных и для сравнения его со статическими методами были разработаны коэффициенты эффективности: коэффициент точности метода и коэффициент уменьшения трафика.

Коэффициент точности  $K_{path}$  оценивает количество полезной информации, оставшейся в треке при использовании одного из методов передачи данных. Под полезной информацией понимается отношение количества точек высокой точности трека  $P_{in}$  к общему количеству точек трека  $P_{count}$ .

$$K_{path} = \frac{P_{in}}{P_{count}} \cdot 100.$$

Точность какой-либо точки определяется как степень соответствия этой точки геометрической линии исходного трека, поскольку при фильтрации данных любым из упомянутых ранее методов исходный трек искажается вплоть до его полного несоответствия реальной траектории движения транспортного средства.

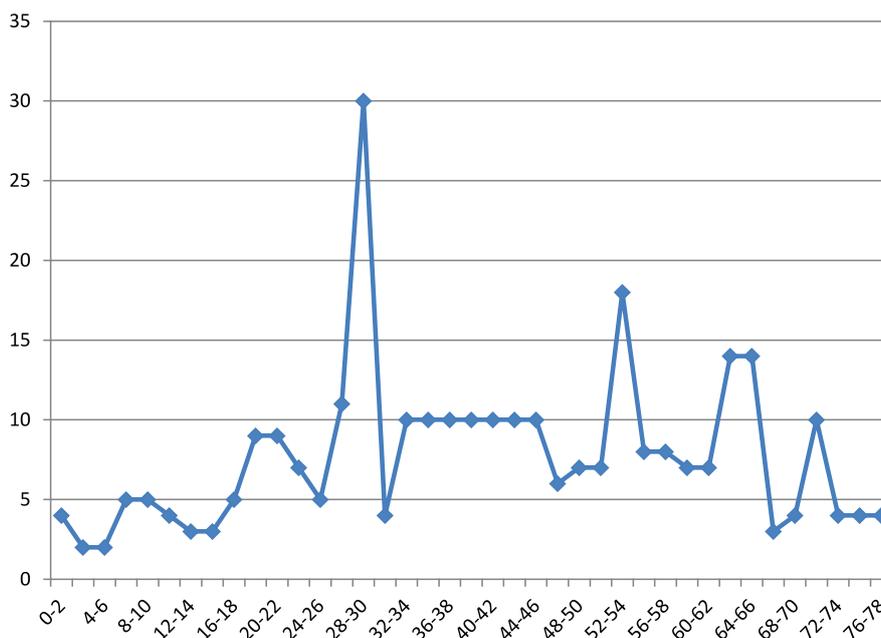


Рис. 1. Сравнение методов по среднему коэффициенту точности, выраженных в процентах от среднего  $K_{path}$  исходных треков (для морского транспорта)

Для вычисления коэффициента уменьшения трафика первоначально необходимо вычислить общее количество потраченного трафика  $M_i$  при использовании какого-либо из анализируемых методов. Длина одной навигационной посылки обычно занимает около 40 байт. Таким образом, общее количество точек трека  $P_{count}$ , помноженное на длину посылки и разделённое на тысячу, даст общее количество потраченного трафика в килобайтах.

Коэффициент уменьшения трафика позволяет оценить, во сколько раз меньше

трафика требуется потратить по сравнению с затратами на исходные треки. Соответственно,  $M$  – количество потраченного трафика в исходных треках;  $M_i$  – количество потраченного трафика при использовании анализируемого метода.

$$m_i = \frac{M}{M_i},$$

где  $m_i$  – коэффициент уменьшения трафика;  $i$  – индекс метода.

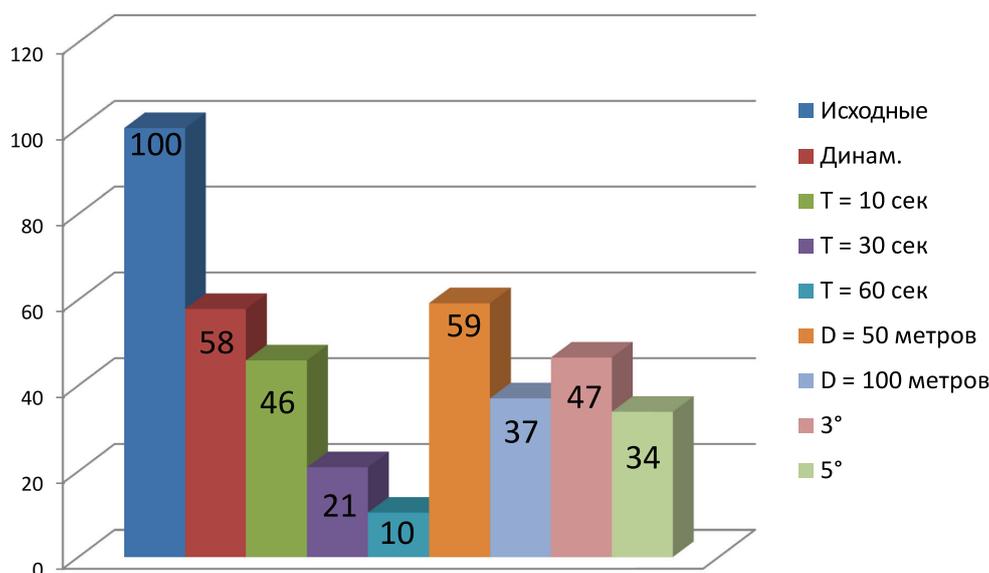


Рис. 2. Сравнение методов по среднему коэффициенту точности, выраженному в процентах от среднего  $K_{path}$  исходных треков (для морского транспорта). Столбец «Исходные» – соответственно обозначает исходные треки, «Динам.» – динамический метод передачи данных. Далее обозначен временной алгоритм с периодами 10, 30, 60 секунд; передача информации при заданной дистанции между точками трека, равной 50 и 100 метров; передача данных при разнице курсов больше или равной 3°, 5°

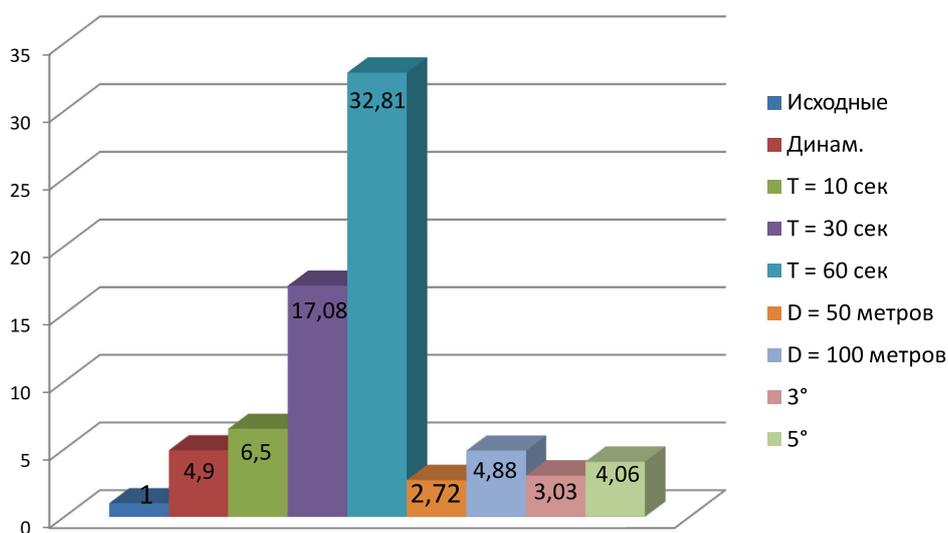


Рис. 3. Сравнение методов по среднему коэффициенту уменьшения трафика

### Выводы

На рис. 2 представлены средние значения коэффициентов точности для статических методов и разработанного динамического метода передачи данных, выраженные в процентах от среднего коэффициента точности исходных треков. В результате проведенного анализа треков морского транспорта, при использовании динамического метода, удалось добиться сохранения информации в обработанном треке в количестве 58 % от исходного трека, уступая только передаче данных через каждые 50 метров (59 %).

На рис. 3 представлено сравнение методов по коэффициенту уменьшения трафика. Как видно, разработанный динамический метод позволяет сократить количество трафика в 4,9 раз по сравнению с затратами на исходные треки. Превосходящие его по данному коэффициенту методы имеют значительно меньший коэффициент точности ( $K_{path} = 10\%$  при  $T = 60$  с;  $K_{path} = 21\%$  при  $T = 30$  с;  $K_{path} = 46\%$  при  $T = 10$  с).

Таким образом, разработанный метод позволил существенно уменьшить количество передаваемого трафика при сохранении оптимального качества навигационной информации.

### Список литературы

1. Антонович К.М. Мониторинг объектов с применением GPS технологий и других методов определения положения / К.М. Антонович, А.П. Карпик // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2003. – № 6.
2. Спутниковый контроль (мониторинг) автотранспорта и учет топлива СКАУТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scout-kazan.ru/> (дата обращения: 8.03.16).
3. Спутниковая система слежения за мобильными объектами «Вояджер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.voyager.ru/index\\_transport.htm](http://www.voyager.ru/index_transport.htm) (дата обращения: 8.03.16).
4. Персональный GPS-трекер NAVIXY S10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://vdk-partner.pulscen.ru/goods/8676414-navixy\\_sputnikovy\\_monitoring](http://vdk-partner.pulscen.ru/goods/8676414-navixy_sputnikovy_monitoring) (дата обращения: 8.03.16).
5. GLONASS GPS трекеры S10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.globalsat.ru/catalog/gtr-128\\_glonass\\_battery](http://www.globalsat.ru/catalog/gtr-128_glonass_battery) (дата обращения: 8.03.16).

### References

1. Antonovich K.M., Karpik A.P. Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosemka», 2003, no. 6.
2. Sputnikovyi kontrol (monitoring) avtotransporta i ucheta topliva SKAUT, available at: <http://www.scout-kazan.ru/> (accessed 8 March 2016).
3. Sputnikovaya sistema slezheniya za mobilnymi obektami «Voyadzher», available at: [http://www.voyager.ru/index\\_transport.htm](http://www.voyager.ru/index_transport.htm) (accessed 8 March 2016).
4. Personalnyi GPS-treker NAVIXY S10, available at: [http://vdk-partner.pulscen.ru/goods/8676414-navixy\\_sputnikovy\\_monitoring](http://vdk-partner.pulscen.ru/goods/8676414-navixy_sputnikovy_monitoring) (accessed 8 March 2016).
5. 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 8 March 2016).