

## МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПОТОКА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

С.В. Малыгина

sophia.maligina@gmail.com  
SPIN-код: 9314-9294

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Разработаны и протестированы модели двух методов предварительной фильтрации телеметрических данных, полученных с навигационных передатчиков. Стимулом создания данных алгоритмов стала необходимость сокращения объемов обрабатываемой телеметрической информации без потери качества последней. Необходимо было сконструировать фильтры, которые отсеивали бы данные, не дающие принципиально новой информации о положении объекта. Разработанные фильтры справились с данной задачей, что подтверждается визуализированными и числовыми данными, полученными в результате эксперимента. Представленные алгоритмы показали свою работоспособность как при их совместном использовании, так и при раздельном.

### Ключевые слова

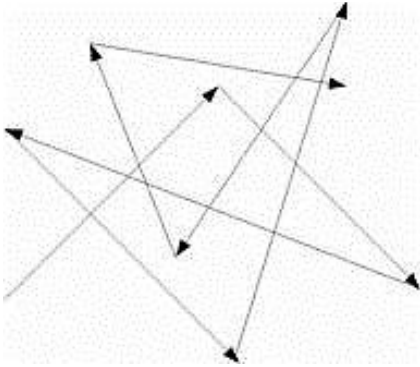
GPS, ГЛОНАСС, фильтрация данных, телеметрия, навигация, системы мониторинга, обработка телеметрической информации, визуализация траектории движения

Поступила в редакцию 28.05.2018  
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

---

**Введение.** На сегодняшний день системы мониторинга с применением спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS применяются во многих отраслях, таких как сельское хозяйство, строительство, ЖКХ, здравоохранение и др. Система спутникового мониторинга в настоящее время широко используется в транспортных компаниях, в сфере службы доставки, автодорожных служб, пассажирских перевозок, в строительных организациях и на других предприятиях.

ГЛОНАСС/GPS-приемники являются устройствами, непрерывно вычисляющими свое местоположение, время, вектор скорости и ряд других параметров. В чистом виде ГЛОНАСС/GPS-телеметрия неудобна для использования и часто дает много излишней информации [1]. Даже если приемник находится в неподвижном состоянии, данные о позиции постоянно меняются, возникает своего рода шум, связанный с движением спутников, отражением спутникового сигнала от земной поверхности и зданий, атмосферными процессами и солнечным излучением, влияющими на сигнал. Если не использовать фильтрацию и получать данные о позиции непосредственно с неподвижного приемника, можно наблюдать непрерывное изменение его положения (рис. 1). В результате таких изменений за полчаса неподвижности расчетный путь наблюдаемого объекта может составить несколько километров, что в ряде случаев является неприемлемым [2].



**Рис. 1.** Пример получения шумового сигнала в ГЛОНАСС/GPS-телеметрии неподвижного объекта

В схеме фильтра GPS/ГЛОНАСС выборкой обозначен необходимый набор данных, формируемый GPS/ГЛОНАСС-приемником:

- $T$  — время по Гринвичу;
- $\varphi$  — ширина в градусах (от  $-90^\circ$  до  $90^\circ$ , положительное значение соответствует северному полушарию);
- $\lambda$  — долгота в градусах (от  $-180^\circ$  до  $180^\circ$ , положительное значение соответствует восточному полушарию);
- $h$  — эллипсоидная высота в метрах (может иметь отрицательное значение);
- $ACC$  — точность позиционирования;

- $DOP$  — фактор потери точности;
- $PDOP$  — позиционный фактор потери точности (в пространстве);
- $VDOP$  — вертикальный фактор потери точности (только по высоте);
- $HDOP$  — горизонтальный фактор потери точности (на плоскости, касательной к рассматриваемой точке поверхности эллипсоида);
- $M$  — режим определения местоположения (0 — сигнал GPS/ГЛОНАСС отсутствует; 1 — обсервация невозможна, доступно только время; 2 — двухмерный режим позиционирования; 3 — трехмерный режим позиционирования).

**Предварительная фильтрация данных.** В режиме предварительной фильтрации происходит отсев выборок, которые являются ошибочными, неполными или не соответствуют режиму, для этого анализируется значение показателя  $M$ . Для ряда приложений на данном этапе фильтрации может оказаться полезным предусмотреть генерацию таких событий, как «потеря сигнала GPS/ГЛОНАСС» и «начало работы фильтра» [3]. Дополнительно, в зависимости от требований к качеству данных, можно отсеивать выборки, в которых значения  $DOP$  выходят за максимально допустимые пределы, указанные в настройках фильтра. Рекомендуется принимать следующие максимально допустимые значения:  $HDOP_{\max} = 3 \dots 6$ ,  $VDOP_{\max} = 4 \dots 7$  [4]. Максимально допустимое значение  $PDOP_{\max}$  можно принять с учетом того, что все три рассматриваемых фактора связаны отношением [1]

$$PDOP = \sqrt{VDOP^2 + HDOP^2}.$$

Алгоритм предварительной стадии фильтрации изображен на рис. 2. При старте предложенный алгоритм проверяет поступающие GPS-выборки. После того как появится сигнал GPS/ГЛОНАСС ( $M \neq 0$ ), инициализируются вспомогательные переменные и начинается основной цикл фильтрации. Для случая, когда достаточно двух координат — широты и долготы, принимают  $M_{\min} = 2$  (двухмерный режим позиционирования), а в качестве  $DOP$  и его максимального

значения — горизонтальный фактор потери точности  $HDOP$  и  $HDOP_{max}$ . Для трехмерного случая  $M_{min} = 3$  (трехмерный режим позиционирования), а в качестве  $DOP$  и его максимального значения используют позиционный фактор потери точности  $PDOP$  и  $PDOP_{max}$  [5]. Вспомогательные переменные служат для хранения значений  $M$  и  $DOP$  из предшествующей GPS/ГЛОНАСС-выборки. Если основное условие выполняется, то при подготовке данных для следующего этапа фильтрации вычисляется значение точности позиционирования  $ACC$  в метрах. В случае если основное условие не выполнялось, а предшествующая выборка удовлетворяла данному условию, формируется событие «потеря GPS-сигнала».

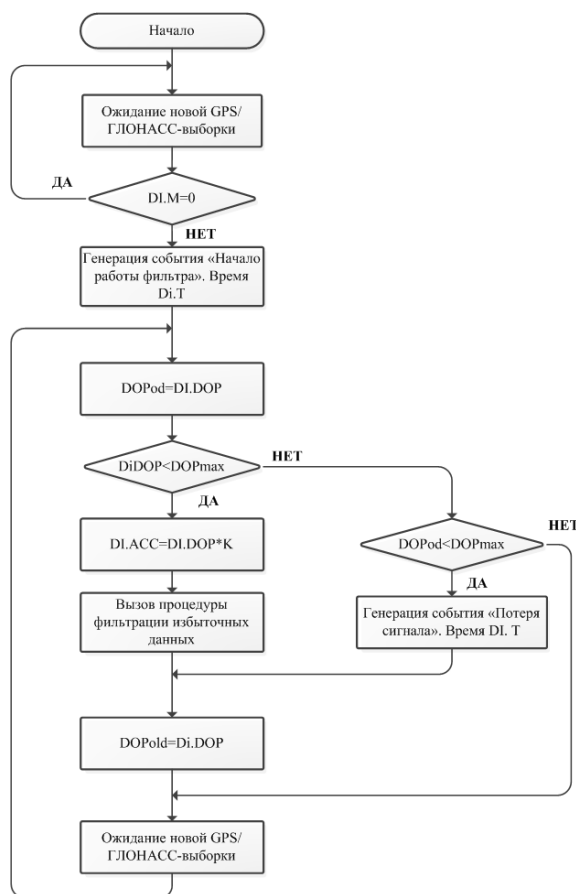


Рис. 2. Блок-схема алгоритма предварительной фильтрации

**Фильтрация избыточных данных.** Точность позиционирования  $ACC$  необходима для анализа данных на предмет их избыточности [6]. Аналогично  $DOP$  можно выделить три типа точности позиционирования:

- $PACC$  — позиционная точность (в пространстве) в метрах;
- $VACC$  — вертикальная точность (только по высоте) в метрах;
- $HACC$  — горизонтальная точность (на плоскости, касательной к рассматриваемой точке поверхности эллипсоида) в метрах.

Известно, что  $PACC$ ,  $VACC$  и  $HACC$  зависят от псевдодиапазона измерений и прямо пропорциональны значениям  $PDOP$ ,  $VDOP$  и  $HDOP$  соответственно [1]. Поскольку точность позиционирования никак не определяется из GPS-выборки, для получения значений  $PACC$ ,  $VACC$  и  $HACC$  необходимо экспериментальным путем подобрать коэффициенты к соответствующим значениям  $PDOP$ ,  $VDOP$  и  $HDOP$ , т. е.

$$PACC = PDOP \cdot KP,$$

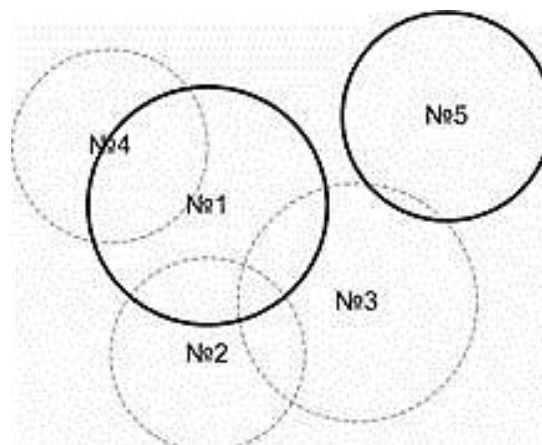
$$VACC = VDOP \cdot KV,$$

$$HACC = HDOP \cdot KH,$$

где  $KP$ ,  $KV$  и  $KH$  — соответствующие коэффициенты для факторов потери точности в метрах, далее просто коэффициенты, которые указываются в настройках грубого фильтра.

Рекомендовать строго определенные значения коэффициентов нельзя, поскольку точность позиционирования зависит не только от качества сигналов со спутников, но и от типа приемника. Диапазон рекомендуемых значений: 3...5 м для  $HDOP$ , 3...6 м для  $VDOP$  и 3...5 м для  $PDOP$ .

В фильтре избыточных данных в качестве критерия используется расстояние между двумя точками, которое не должно быть меньше суммы их точностей позиционирования [7]. Графически это представлено на рис. 3, радиус окружности (сферы в трехмерном случае) принимают равным значению точности  $ACC$  для данной точки. Новые выборки проходят фильтрацию при условии, что их окружность не пересекается с окружностью предыдущей прошедшей фильтрацию выборки. Если не выполнять фильтрацию подобного типа, то помимо лишних, не несущих полезной информации данных, будет наблюдаться шум [8].



**Рис. 3.** Иллюстрация к алгоритму фильтрации избыточных данных о позиции наблюдаемого объекта

Расстояние между двумя точками на эллипсоиде рассчитывают следующим образом:

$$d = r \arccos(\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda),$$

где  $d$  — расстояние между двумя географическими точками;  $r$  — радиус Земли, равный 6372795 м;  $\varphi_1, \varphi_2$  — географические широты первой и второй точки;  $\Delta\lambda$  — разница координат по долготе [9].

Блок-схема алгоритма фильтрации избыточных данных приведена на рис. 4. Здесь  $D_a$  — последняя выборка, которая удовлетворила основному условию данного фильтра.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма фильтрации избыточных данных

Если фильтр только начал свою работу, то  $D_i$  — текущая выборка, прошедшая предварительный фильтр, копируется в  $D_{old}$  (копию предшествующей выборки, поступившей на вход рассматриваемого фильтра) и  $D_a$ , после чего фильтр выдает первую выборку на основе  $D_i$ .

В рабочем режиме ( $D_a \cdot M \neq 0$ ) вычисляют расстояния  $d$  между выборками  $D_i$  и  $D_a$ , затем проверяют основное условие фильтра на избыточность данных. Если основное условие выполнено, т. е. выборка  $D_i$  не является избыточной, переходят к формированию выходных выборок (время, позиция) и сообщений. Прежде чем сформировать выборку на основе  $D_i$ , необходимо проверить, совпадает ли время  $D_i$  и  $D_{old}$ , т. е. прошла ли фильтрацию предыдущая выборка  $D_{old}$ . Если нет, на ее основе формируют выходную выборку и событие о «начале движения объекта». Это может понадобиться для дальнейшей обработки выборок, например для более точного вычисления скорости наблюдаемого объекта, подсчета времени его нахождения в подвижном состоянии и других случаев, когда важно точно знать момент начала движения.

Если основное условие фильтра избыточных данных не выполняется, но точность у новой выборки лучше, чем у последней выборки, прошедшей фильтрацию ( $D_i \cdot ACC < D_a \cdot ACC$ ), данные о позиции и значения точности копируются из выборки  $D_i$  в выборку  $D_a$ , в некоторых случаях это помогает улучшить качество фильтрации. Например, когда по каким-то причинам точность ухудшилась с нескольких метров до нескольких десятков метров, без данного приема новые данные поступят из фильтра только после того, как объект покинет зону с радиусом, равным этой точности, несмотря на то, что точность новых выборок будет значительно выше. В двухмерном режиме позиционирования в качестве точности  $ACC$  выбирают горизонтальную точность  $HACC$ , а высоту  $h$  не используют. В трехмерном режиме используют позиционную точность  $PACC$ .

**Эксперимент.** Цель эксперимента — проверка алгоритмов фильтрации  $HDOP$  и  $HACC$ , сравнение результатов их работы.

Поскольку на систему действует большое количество факторов, влияющих на точность определения координат (изменение рабочего созвездия и, как следствие, ухудшение точности, изменение состояния окружающей среды, состояния атмосферы, ионосферы и пр.), возникает необходимость в селекции входных отсчетов и уменьшении шумов, которые особенно заметны, если наблюдаемый объект неподвижен долгое время. Кроме того, есть возможность уменьшения числа отсчетов при построении траектории движения наблюдаемого объекта без потери качества последнего.

Для реализации описанных выше задач предлагается использовать фильтрацию по алгоритмам  $HDOP$  и  $HACC$ .

$HDOP$ -фильтр осуществляет фильтрацию входных данных по значению геометрического фактора. Упрощенная структурная схема фильтра показана на рис. 4.

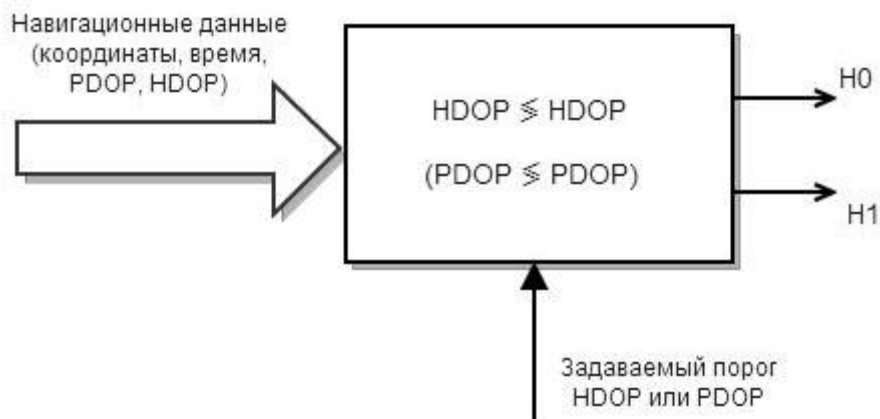


Рис. 3. Упрощенная структурная схема HDOP-фильтра

Алгоритм фильтрации сводится к сравнению значения геометрического фактора для каждой входной выборки координат с заранее заданным «средним» значением геометрического фактора, который в случае необходимости можно изменять. Если по каким-то причинам геометрический фактор текущей выборки превышает критическое значение, то эта выборка отфильтровывается и не участвует в дальнейшей обработке. Выборка, прошедшая фильтрацию, поступает в следующий фильтр.

НАСС-фильтр осуществляет фильтрацию избыточных данных. Упрощенная структурная схема фильтра приведена на рис. 5.

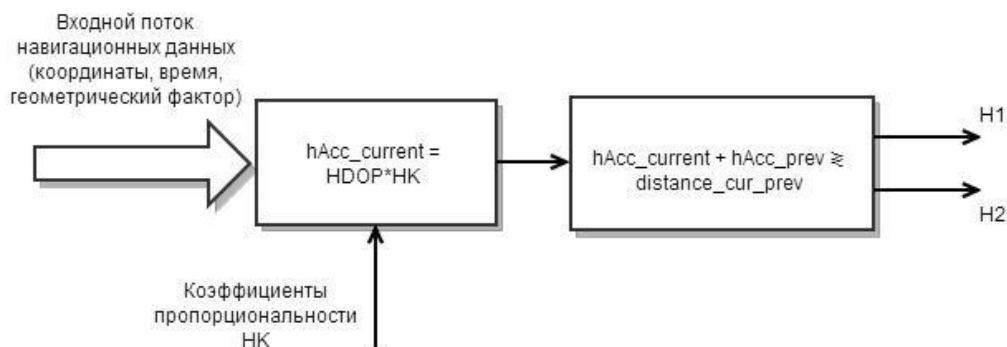


Рис. 4. Упрощенная структурная схема HDOP-фильтра

Геометрический фактор прямо пропорционально связан с точностью измерения координат. Коэффициент пропорциональности принимают равным 3...6 в зависимости от типа фильтрации по геометрическому фактору (вертикальный, горизонтальный или пространственный) [9]. Поскольку каждый отсчет является случайной величиной и объект мониторинга может находиться в любом месте пространства, ограниченного окружностью (в случае двумерного определения координат) или сферы (в случае трехмерного определения координат) с центром в точке, соответствующей координатам данного отсчета, то нет необходимости обновлять местоположение объекта, если последующие от-

счеты координат попадают в окружность (сферу), образованную на предыдущем отсчете. Алгоритм фильтрации избыточных данных осуществляет оценку точности каждого поступающего отсчета. На выход фильтра проходят только те отсчеты, которые не попали в окружность (сферу) предыдущего отсчета.

Достоинством данного алгоритма является значительное снижение объема обрабатываемых навигационных данных без существенной потери точности. Кроме того, в случае неподвижного или медленно передвигающегося объекта сглаживается его траектория, значительно уменьшаются шумы.

*Условия проведения эксперимента.* Аппаратура, используемая в эксперименте, включает:

- персональный компьютер;
- базовую станцию;
- персональный трекер с GPS-модулем **TranSystem EB-570 со следующими характеристиками:**

**характеристиками:**

- чувствительность 165 дБм;
- 66 каналов;
- рабочая частота  $L1$  (1575,42 МГц), C/A код;
- точность без вспомогательных средств 3 м;
- выходные сообщения: *GGA*, *GLL*, *GSA*, *GSV*, *RMC* и *VTG*.

В качестве программного обеспечения использован написанный в ходе дипломной работы софт. Написанная программа осуществляла анализ входных данных (сообщения *GGA*, *GSA*, *GSV*) передаваемых по радиоканалу ультракоротких волн (УКВ), фильтрацию данных *HDOP*- и *HAСС*-фильтрами, отображение объектов на карте, загружаемой пользователем, регистрацию входных данных в лог-файл, отображение траекторий перемещения объекта без фильтрации, траектории, получаемой при использовании *HDOP*-фильтра, и траектории, полученной при использовании двух фильтров — сначала *HDOP*, затем *HAСС*. Кроме того, был выполнен расчет пройденного пути для всех рассматриваемых случаев.

Эксперимент проводился по схеме, показанной на рис. 6.



**Рис. 5.** Схема проведения эксперимента



В течение всего эксперимента объект мониторинга находился неподвижно.

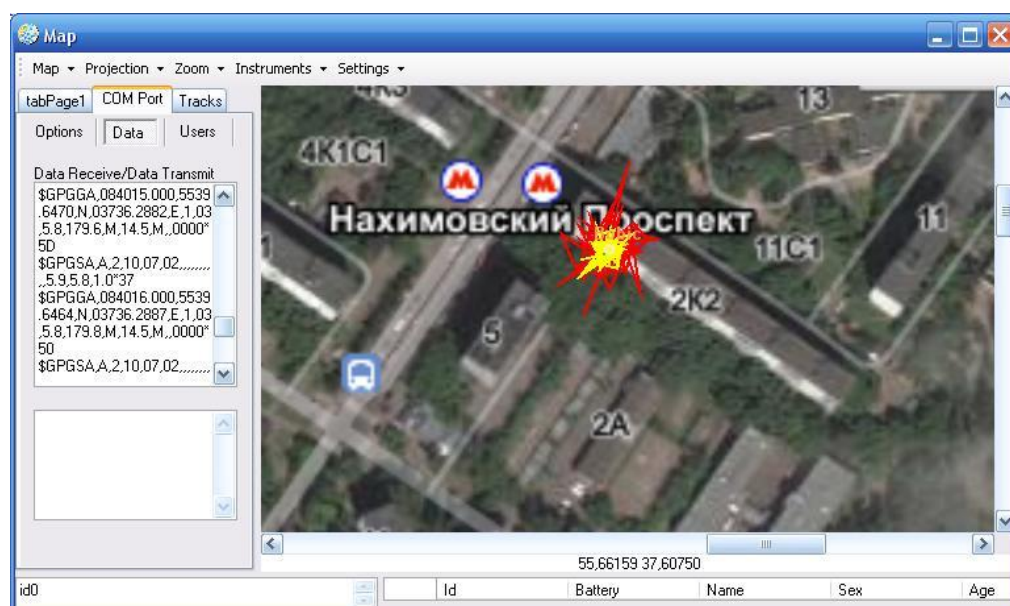
После запуска программного обеспечения базовая станция, получив команду с персонального компьютера, начинает опрашивать стационарно расположенный приемник, который не меняет своего местоположения в течение всего времени эксперимента.

Эксперимент проводился в городе Москва, (55,661587 с. ш., 37,604868 в. д.) с 12:13 до 12:47. За это время было получено 1863 отсчета. Формируемый поток навигационных данных фильтровался в соответствии с описанными выше алгоритмами. Результаты эксперимента сведены в таблицу.

### Результаты эксперимента

Тип фильтра	Пройденный путь, м	Число отсчетов
Без фильтра	1126,47	1863
Предварительный фильтр	956,13	1625
Фильтр избыточных данных	0	1

Траектории движения, полученные при использовании соответствующих фильтров, представлены на рис. 7.



**Рис. 6.** Траектории движения объекта без фильтрации (красная), с HDOF-фильтрацией (желтая), с NACC-фильтрацией (зеленая)

Как видно из полученных результатов, координаты с персонального трекара объекта мониторинга, находящегося неподвижно изменялись в широком диапазоне. Если не применять фильтрацию входных данных, то пройденный путь объекта за время проведения эксперимента (порядка 30 мин) составляет более километра. Помимо этого траектория движения объекта сильно зашум-

лена и при длительном наблюдении неподвижного объекта образует пятно, мешающее оператору вести дальнейшее слежение за объектом. В ряде случаев (при анализе пройденного пути, движения объекта, расчете средней скорости и т. п.) данные результаты могут сильно ухудшить качество последующей обработки навигационных данных.

При использовании *HDOP*-фильтрации видно, что число отсчетов и разброс траектории движения объекта уменьшилось в сравнении с исходными данными, поскольку на выход фильтра не прошли выборки с геометрическим фактором, превышающим максимальное значение. Этот фильтр препятствует появлению грубых ошибок, возникающих при смене рабочего созвездия навигационного космического аппарата, которые на траектории движения объекта образуют длинные острые пики.

В третьем случае использовались *HDOP*- и *HAСС*-фильтры. Данные, прошедшие *HDOP*-фильтрацию, поступали на вход *HAСС*-фильтра. Как видно из полученных результатов, только один отсчет прошел *HAСС*-фильтрацию, поскольку все последующие отсчеты попадали в окрестность первого отсчета. Пройденный путь наблюдаемого объекта составил 0 м, что соответствует действительности. Таким образом, предлагаемые алгоритмы фильтрации позволяют в значительной степени улучшить визуализацию траектории движения объекта мониторинга, а уменьшение числа отсчетов способствует значительному снижению вычислительных затрат во время мониторинга, тем более в случае постобработки навигационных данных.

**Заключение.** В рамках текущей работы были предложены и продемонстрированы в действии алгоритмы фильтрации телеметрических данных, полученных со спутника, которые можно внедрить в сложные системы GPS-мониторинга.

В качестве основных достоинств разработанных методов фильтрации ГЛОНАСС/GPS-телеметрии можно отметить следующее:

- 1) возможность реализации алгоритма на маломощном и недорогом микроконтроллере
- 2) значительное уменьшение потока телеметрии в зависимости от характера движения наблюдаемого объекта и того, какие коэффициенты выбраны для *DOP*;
- 3) повышение точности вычисления производных параметров (путь, скорость, время движения и др.).

## Литература

- [1] Федоров И.Б. *Информационные технологии в радиотехнических системах*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, 846 с.
- [2] Яценков В.С. *Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС*. Москва, Горячая линия-Телеком, 2005, 272 с.
- [3] Гришин М.Л., Данилкин Ф.А. Метод быстрой фильтрации потока данных о глобальной позиции наблюдаемого объекта на примере GPS-телеметрии. *Геоинформатика*, 2008, № 3, с. 21–28.

- [4] Поваляев А.А. *Задачник по радиосистемам управления и глобальным навигационным спутниковым системам*. Москва, Горячая Линия-Телеком, 2018, 126 с.
- [5] Перов А.И., Харисов В.Н., ред. *ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования*. Москва, Радиотехника, 2010, 800 с.
- [6] Шахтарин Б.И., Сизых В.В., Сидоркина Ю.А, Андрианов И.М., Калашников К.С *Синхронизация в радиосвязи и радионавигации*. Москва, Горячая линия-Телеком, 2011, 278 с.
- [7] Шебшаевич В.С., ред. *Сетевые спутниковые радионавигационные системы*. Москва, Радио и связь, 1993, 408 с.
- [8] Ефименко В.С., Горев А.П. Исследование характеристик пространственно-временной обработки для приема сигналов СРНС. *Радиотехника*, 2001, № 7, с. 46–50.
- [9] Харисов В.Н., Перов А.И., Болдин В.А. *Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС*. Москва, ИПРЖР, 1998, 400 с.

**Малыгина Софья Валерьевна** — студентка кафедры «Защита информации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

**THE METHODS OF PREFILTERING THE TELEMETRY INFORMATION FLOW**

S.V. Malygina

sophia.maligina@gmail.com

SPIN-код: 9314-9294

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

The authors have developed and tested the models of two methods of prefiltering the telemetry data received from the navigational transmitters. The motive for creating these algorithms was the need to decrease the volumes of the processed telemetry information without losing its quality. It was required to construct the filters that would sift the data without revealing fundamentally new information regarding the location of an object. The developed filters have coped with this task, which is confirmed by the visualized and numerical data obtained in the result of the experiment. The introduced algorithms have demonstrated their operational capability when using them both jointly and separately.

**Keywords**

GPS, GLONASS, data cleaning, telemetry, navigation, monitoring systems, telemetry information processing, motion trajectory visualization

Received 28.05.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

**References**

- [1] Fedorov I.B. *Informatsionnye tekhnologii v radiotekhnicheskikh sistemakh* [Information technologies in radio-technical systems]. Moscow, Bauman Press, 2011, 846 p.
- [2] Yatsenkov V.S. *Osnovy sputnikovoy navigatsii. Sistemy GPS NAVSTAR i GLONASS* [Fundamental of satellite navigation. GPS NAVSTAR and GLONASS systems]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom publ., 2005, 272 p.
- [3] Grishin M.L., Danilkin F.A. Method for fast filtering of GPS data flow (example of the GPS telemetry). *Geoinformatika*, 2008, no. 3, pp. 21–28.
- [4] Povalyaev A.A. *Zadachnik po radiosistemam upravleniya i global'nym navigatsionnym sputnikovym sistemam* [Problem book on radio control systems and global navigation satellite systems]. Moscow, Goryachaya Liniya-Telekom publ., 2018, 126 p.
- [5] Perov A.I., Kharisov V.N., eds. *GLONASS. Printsipy postroeniya i funktsionirovaniya* [GLONASS. Design concept and operating principles]. Moscow, Radiotekhnika publ., 2010, 800 p.
- [6] Shakhtarin B.I., Sizykh V.V., Sidorkina Yu.A., Andrianov I.M., Kalashnikov K.S. *Sinkhronizatsiya v radiosvyazi i radionavigatsii* [Synchronization in radio communication and radio navigation]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom publ., 2011, 278 p.
- [7] Shebshaevich B.C., ed. *Setevye sputnikovye radionavigatsionnye sistemy* [Network satellite radio-navigation systems]. Moscow, Radio i svyaz' publ., 1993, 408 p.
- [8] Efimenko V.S., Gorev A.P. Research on characteristics of space-time processing for signal reception from satellite radio navigation systems. *Radiotekhnika*, 2001, no. 7, pp. 46–50.
- [9] Kharisov V.N., Perov A.I., Boldin V.A. *Global'naya sputnikovaya radionavigatsionnaya sistema GLONASS* [Global satellite radio-navigation system GLONASS]. Moscow, IPRZhR publ., 1998, 400 p.

**Malygina S.V.** — student, Department of Information Security, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.