

**Хруль Сергей Анатольевич**

KhrulSergeyAnatol'evich

Кафедра информатики и проектирования систем, Институт Кибернетики,  
национально исследовательский Томский Политехнический Университет

Department of informatics and systems engineering, Institute of Cybernetics,

National Research Tomsk Polytechnic University

Аспирант / Graduate

E-Mail: siberianodis@gmail.com

**Сонькин Дмитрий Михайлович**

Sonkin Dmitry Mikhailovich

Кафедра информатики и проектирования систем, Институт Кибернетики,  
национально исследовательский Томский Политехнический Университет

Department of informatics and systems engineering, Institute of Cybernetics,

National Research Tomsk Polytechnic University

Ассистент / Assistant

Кандидат технических наук

E-Mail: sonkin\_d@sibmail.com

05.13.11 Математическое и программное обеспечение  
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

## **Повышение точности позиционирования подвижных объектов на основе оригинальных методов фильтрации навигационных данных**

### **Increasing positioning accuracy of moving objects based on the original navigation data filtering methods**

**Аннотация:** Рассмотрены способы фильтрации навигационных данных, позволяющие повысить точность определения местоположения объектов. Разработан адаптивный метод отсева избыточных и ошибочных данных в режиме реального времени, основанный на диагностической фильтрации, позволяющий увеличить точность позиционирования, оптимизировать входной поток навигационных данных, а также существенно уменьшить нагрузку на канал передачи данных. Приведен пример практического использования предложенного метода фильтрации в рамках действующей системы мониторинга городского грузопассажирского транспорта

**The Abstract:** This article describes different filtering methods of navigation data that accessing optimization of navigation data. The adaptive algorithm, based on diagnostic filtration, of dropout redundant and erroneous data in real time mode is worked out. This algorithm can reduce the workload of transmission path significantly and increase usability of navigation system. An example of practical use in existing active system of monitoring city passenger transport is described.

**Ключевые слова:** Точность позиционирования, фильтрация ошибочных данных, методы фильтрации, спутниковый мониторинг транспорта.

**Keywords:** Filtering navigation errors, data filtration, mobile objects, navigation system.

## Введение

Глобальные системы спутникового позиционирования все чаще применяются для определения местоположения в системах мониторинга транспорта, использующих специальное терминальное оборудование. Развитие и распространение современных систем спутникового мониторинга тесно связано с повышением точности и достоверности принимаемых навигационных данных.

Точность позиционирования зависит от ряда факторов, в том числе ошибки оборудования навигационных спутников, ошибки GPS/ГЛОНАСС приемника и ошибки распространения спутникового сигнала. В общем случае, точность позиционирования для бытового GPS/ГЛОНАСС приемника составляет порядка 15 метров. Источниками ошибок могут быть следующие причины [1]:

- недостаточное количество видимых спутников,
- неточность эфемерид и ошибки спутниковых часов,
- помехи отраженного сигнала на антенну спутникового приемника,
- помехи, связанные с изменением условий приема сигналов со спутников (проезд по туннелю, плотно застроенной территории, лесистой местности),
- задержка по времени в аппаратуре приемника,
- проблемы, связанные с питанием навигационного устройства (например, обесточивание терминала или сильные помехи от электросети на аппаратуру терминала),
- ионосферная задержка,
- тропосферная задержка.

Повышение точности позиционирования можно достигнуть путем применения различных алгоритмов обработки принимаемых навигационных данных. Одним из решений позволяющим повысить достоверности уменьшить объем навигационной информации, передаваемой пользователю, является фильтрация ложных и избыточных данных полученных от GPS/ГЛОНАСС модуля, входящего в состав аппаратуры мобильного терминала[2].

Использование фильтрации в сложных системах мониторинга транспорта способствует значительному уменьшению объемов обрабатываемой информации, при этом ее точность повышается. Фильтрация данных заключается в исключении избыточных данных, не приносящих никакой полезной информации о положении объекта, а также в отсеивании выбросов, которые приводят к искажениям данных и помехам в определении местоположения.

В данной работе, под выбросами понимаются ошибочные показания неотражающие реальную ситуацию, которые были получены в результате технической ошибки аппаратуры, входящей в состав мобильного терминала (МТ) или алгоритмической ошибки GPS/ГЛОНАСС модуля.

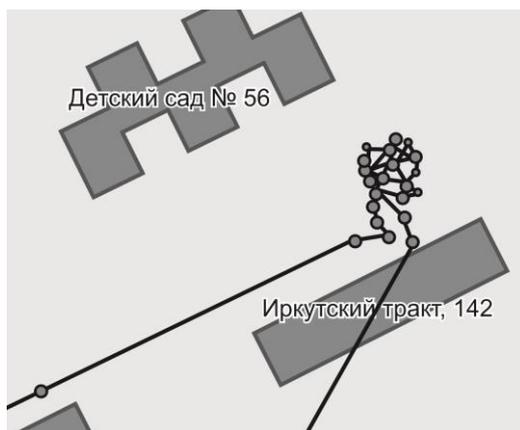
Можно выделить несколько типов выбросов:

- Хаотичный - выбросы такого типа наблюдаются при движении на малых скоростях или при стоянке на одном месте в течение непродолжительного времени. Их появление связано с помехами отраженных сигналов спутников от высотных зданий или других объектов. На карте такого рода ошибки отображаются как дрейф (неравномерный разброс) предполагаемого местонахождения.

- Грубый - возникает в случае длительной стоянки автотранспортного средства на одном месте. Представляет собой движение в некотором направлении с постоянным ускорением в течение продолжительного интервала времени. Распознать такие выбросы на карте можно по характерному мгновенному (резкому) скачку из последней предполагаемой точки местонахождения объекта на его реальное местоположение, при этом скачок сопровождается ускорением движения, выходящий за грани разумного.
- Систематический - данный тип выбросов обусловлен изменением условий приема сигналов со спутников. Систематические выбросы характеризуются небольшим отклонением по одному или нескольким параметрам, в том числе координат местонахождения. В отличие от хаотичных выбросов, ошибка в определении координат сопровождается снижением встроенных показателей точности в получаемых навигационных данных.

Появление любого типа выброса в принимаемых навигационных данных снижает точность позиционирования и увеличивает задержку отображения реального местоположения объекта на карте, а также отрицательно сказывается на подсчете контрольных показателей движения объекта (пройденного пути, средней скорости движения и продолжительности стоянки, расхода топлива и т.д.)

Например: навигационного оборудование неподвижного объекта сообщает координаты местонахождения, беспорядочно разбросанные в радиусе 20 – 30 метров. При этом система рассматривает их как движение, и постепенно происходит увеличение пробега. В результате складывается ситуация, что пробег за несколько часов стоянки увеличивается на 200 – 800 метров.



*Рис. 1. Пример выбросов навигационных данных с неподвижного объекта*

Фильтрацию навигационных данных принято разделять на аппаратную, выполняемую GPS/ГЛОНАСС - приемником и программную, реализуемую в составе программного обеспечения системы мониторинга [2-3]. Аппаратная фильтрация заключается в анализе шумов и искажений сигналов со спутников и последующую их обработку с помощью набора цифровых математических фильтров, специально разработанных каждым производителем для своего приемника. Программная фильтрация данных может выполняться программным обеспечением навигационного устройства мобильного объекта или управляющей системой диспетчерского центра. Процесс фильтрации представляет собой окончательный отсев навигационных данных полученных с навигационного модуля и включает в себя:

- анализ показаний установленных на мобильном объекте датчиков и встроенных факторов потери точности позиционирования,

- применение статистических алгоритмов сглаживания и других аналитических методов.

В случае *транспортных средств (ТС)*, применяемыми датчиками могут быть: включение зажигания, датчик работы двигателя, датчик движения объекта, привязанный к системе ABS, датчик уровня топлива и другие. Системы мониторинга, использующие в своем составе датчики, носят название инерциальные системы.

Программная фильтрация является более универсальным способом проверки данных на выбросы, поскольку в этом случае нет необходимости привязываться к конкретному производителю и типу навигационного приемника.

Программную фильтрацию целесообразнее осуществлять в составе оборудования мобильного объекта, поскольку в таком случае имеется ряд преимуществ:

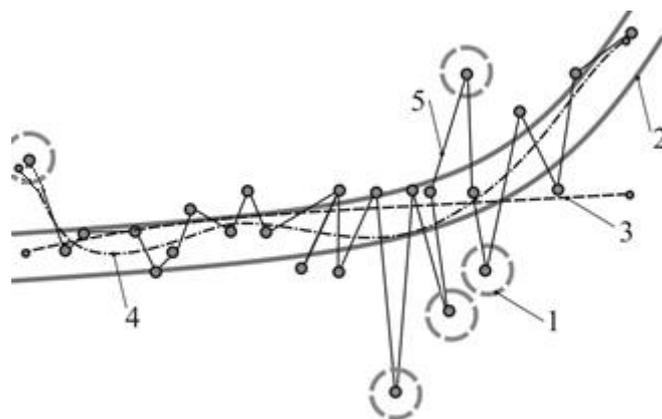
- значительно снижается нагрузка на канал передачи данных между мобильным объектом и диспетчерским центром,
- уменьшается загруженность сервера хранения информации,
- появляется возможность передавать данные в режиме стека (приоритет за новыми данными),
- такая реализация требует минимум вычислений, поэтому выполняема на оборудовании терминала.

Благодаря использованию датчиков в составе инерциальных систем мониторинга исключаются грубые выбросы, поскольку получение спутниковых данных от навигационного приемника осуществляется только после срабатывания датчиков. Стоит отметить, что некоторые современные автомобили, а также автомобили, произведенные ранее, не оснащены необходимыми цифровыми датчиками (анти-блокировочная система ABS) или не поддерживают современные протоколы передачи информации (CAN шина).

Таким образом, инерциальные системы спутникового мониторинга вовсе не применимы для некоторых автомобилей, не учитывают хаотичные и систематические выбросы, а также при использовании оборудования такого типа теряется автономность установки всей системы мониторинга. Поэтому, для обеспечения бесперебойной работы мобильного терминала необходимо отказаться от использования датчиков вовсе или воспринимать их только как вспомогательный инструмент при работе мобильного терминала.

Другим решением задачи фильтрации навигационных данных может выступать применение статистических методов фильтрации, включающие математические алгоритмы сглаживания (фильтр Калмана, метод наименьший квадратов, правило 3х сигм, медианный фильтр), а также критерии для выявления выбросов данных (критерий Граббса, критерий Шовене, критерий Пирса, Q-тест Диксона) [2-4].

В случае небольшого количества повторяющихся выбросов, применение статистических алгоритмов сглаживания позволяет добиться высокой достоверности навигационных данных и точности позиционирования. В ситуации, когда последовательные выбросы образуют «пачку», применение статистических методов обработки спутниковой информации нецелесообразно, поскольку погрешность данных остается высокой, поэтому необходимо применение методов, способных отбрасывать ошибочную информацию.



**Рис. 2.** Фильтрация данных с помощью алгоритмов сглаживания  
(1 – выбросы; 2 – эталонная дорога; 3 – линейное сглаживание;  
4 - полиномиальное сглаживание со степенью 5; 5 – трек мобильного объекта)

Как видно из рисунка 2, алгоритмы сглаживания плохо реагирует на наличие выбросов, смещая кривую в их сторону, а также не способны определить выбросы в конце исследуемого промежутка.

Таким образом, использование различных алгоритмов сглаживания не позволяет полностью избежать ошибок в данных, поскольку они рассчитаны на анализ уже имеющихся данных за некоторый период, а при их использовании в режиме реального времени дают большую погрешность, особенно в тех случаях, когда вновь поступающие данные являются ошибочными. Стоит отметить, что для методов сглаживания необходимо хранение данных, полученных на предыдущих периодах. Чем больше объем хранимой информации, тем точнее модель поведения и тем выше окажется точность обработанных данных. Объем хранимой выборки данных ограничен встроенной в оборудование мобильного объекта памятью, поэтому хранение большого количества навигационных данных не возможно. Процедура сглаживания большого количества данных достаточно трудоемка и выполняется на МТ в течение длительного времени, что приводит к ситуации, когда невозможно своевременно обрабатывать вновь поступающую информации со спутников.

Анализ существующих подходы к решению задач фильтрации данных показал целесообразность объединения подходов и их дополнения так называемыми диагностическими методами.

Предлагаемое решение можно разделить на 3 этапа:

### 1. Предварительный отсев

На данном этапе осуществляется фильтрация данных, которые даже на первый взгляд являются ошибочными. Отсев осуществляется по следующим критериям:

- количество видимых спутников меньше допустимого значения,
- режим позиционирования не соответствует выбранному режиму,
- данные по показаниям статуса достоверности не валидны,
- значения встроенных факторов точности позиционирования больше допустимых значений;
- скорость движения превышает максимально допустимую для данного типа мобильных объектов (например: для транспортных средств – 300 км/ч, для

морского судна – 100 км/ч);

- скоростной характеристикой может являться максимальное моментальное ускорение движения (например: для транспортных средств – 6 м2/с, для морского судна – 3 м2/с).

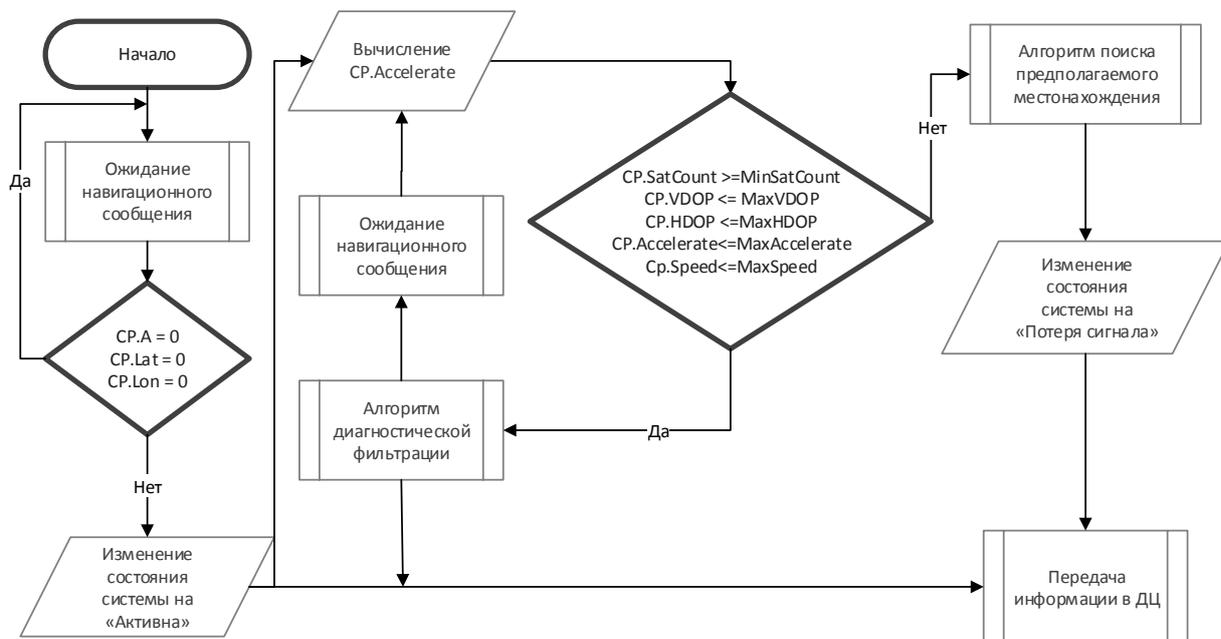


Рис. 3. Схема алгоритма предварительной фильтрации

## 2. Диагностическая фильтрация

В качестве критерия фильтрации используется расстояние между двумя точками, которое должно быть не меньше порогового значения *Dlimit*

Графически это представлено на рисунке 4.

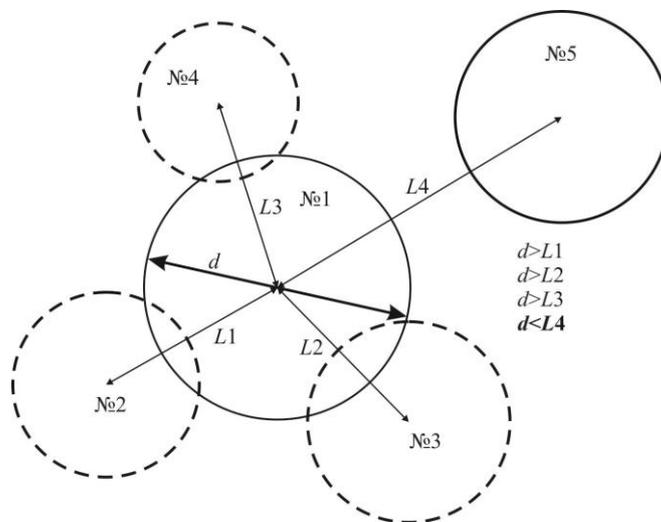


Рис. 4. Иллюстрация к методу диагностической фильтрации

$d$  - радиус окружности №1 или сферы (в случае использования высоты) соответствует пороговому значению  $Dlimit$  и вычисляется на основе точности позиционирования, которая зависит от значений факторов потери точности в текущий момент:

$$Dlimit = HDOP \cdot HFactor + VDOP \cdot VFactor,$$

где  $HFactor$  и  $VFactor$  соответствующие коэффициенты для  $DOP$  в метрах, далее просто коэффициенты.

На приведенном примере, только расстояние  $L4$  между центрами окружностей №1 и №5 больше  $Dlimit$ , поэтому точки №2, №3, №4 отбрасываются, а в качестве следующей точки принимается точка №5.

Рекомендовать строго определенные коэффициенты нельзя, поскольку точность позиционирования зависит не только от качества сигналов со спутников, но так же от типа приемника. В общем виде, диапазон рекомендуемых значений можно определить как 7..15 метров для HDOP, 10..25 метров для VDOP.

Данные о текущем местоположении (CP) проходят фильтрацию при условии, что их окружность не пересекается с окружностью предыдущей точки (OP). Если фильтрацию подобного типа не выполнять, то помимо лишних, не несущих полезной информации данных, будет наблюдаться шум, пример которого изображен на рисунке 1.

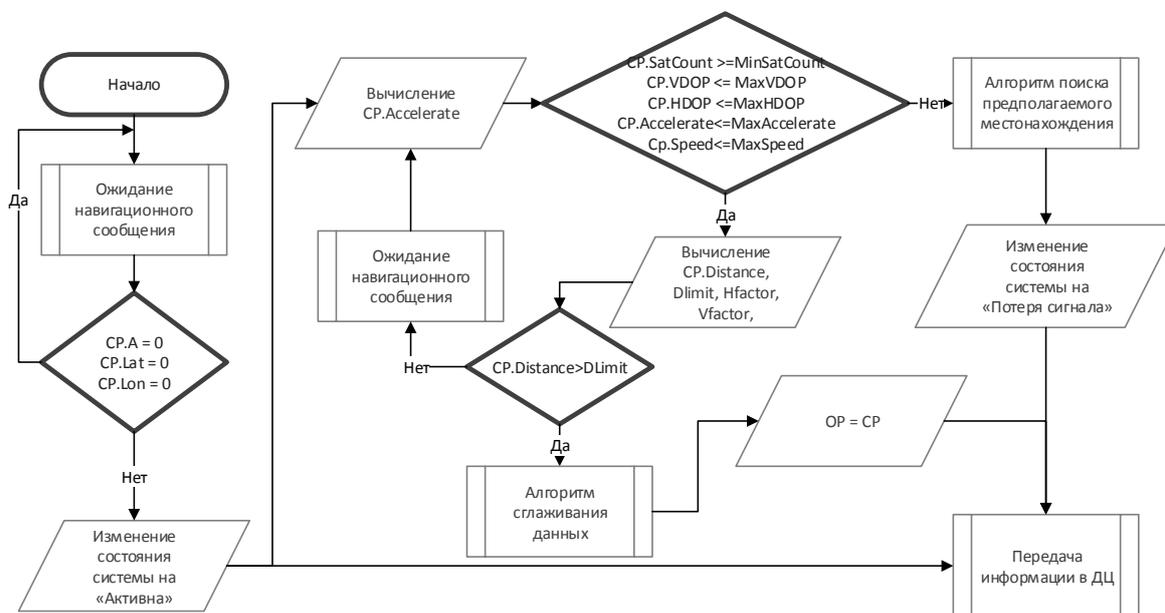


Рис. 5. Общая схема метода диагностической фильтрации

Рассмотрим более подробно характеристики исследуемых мобильных объектов (таблица 1), на примере различных транспортных средств, где: СМП 1, 2 – автомобили скорой медицинской помощи; ГПТ 1,2 – автобусы городского пассажирского транспорта; СЛА 1,2 – служебные легковые автомобили;  $S_{сутки}$  – пройденный путь за сутки, км;  $V_{ср.}$  – средняя скорость движения, км/ч;  $V_{max}$  – максимальная скорость движения, км/ч;  $T_{ср.стоян.}$  – средняя продолжительность стоянки, мин;  $T_{движ.}$  – продолжительность движения в сутки, час;  $Q_{стоянок}$  – количество стоянок продолжительностью более 5 минут;  $\bar{a}_{ср.}$  – среднее значение ускорения, м/с<sup>2</sup>;  $\bar{a}_{max}$  – максимальное значение ускорения, м/с<sup>2</sup>;  $\bar{a}_{ср.торм.}$  – среднее значение ускорения торможения, м/с<sup>2</sup>;  $\bar{a}_{maxторм.}$  – максимальное значение ускорения торможения, м/с<sup>2</sup>.

**Таблица 1**

**Значения характеристик исследуемых мобильных объектов**

Тип объекта	$S_{сутки}$	$V_{ср.}$	$V_{max}$	$T_{ср.стоян}$	$T_{движ.}$	$Q_{стоянок}$	$\bar{a}_{ср.}$	$\bar{a}_{max}$	$\bar{a}_{ср.торм.}$	$\bar{a}_{maxторм.}$
ГПТ 1	190,3	25,4	70	2,06	11,1	8	0,16	1,16	0,17	1,12
ГПТ 2	241,4	22,6	66,1	1,94	13,4	5	0,11	0,94	0,12	1,18
СМП 1	90	31	79,4	20,6	5,46	12	0,22	1,29	0,2	1,3
СМП 2	146,7	27,7	95,6	15,2	7,06	8	0,28	1,31	0,19	0,9
СЛА 1	85,28	43,1	72,5	82	5,3	8	0,31	1,58	0,26	1,95
СЛА 2	46	31,5	92	110	3	6	0,33	1,65	0,27	2,1

Таким образом, исходя из таблицы 1, можно сделать вывод, что при фильтрации данных для различного класса мобильных объектов требуется индивидуальный подбор значений параметров алгоритма (таблица 2).

**Таблица 2**

**Результаты экспериментов за сутки для различных объектов и индивидуальные значения критериев**

Тип объекта	Значения критерия			Период исследования,	Частота сообщений, в минуту	Число точек		Изменение количества точек, %	Пройденный путь		Уменьшение пробега, %
	SpeedLimit	HFactor	VFactor			до фильтрации	после фильтрации		до фильтрации	после фильтрации	
ССМП	12	10	15	10	6	42452	9169	78,4	1045	993	5,0
ССМП	12	10	15	12	6	53677	14385	73,2	1672	1530	8,5
ГПТ	8	7	12	14	6	78349	44972	42,6	3520	3468	1,5
ГПТ	8	7	12	6	6	32506	12157	62,6	1231	1217	1,1
Служебные автомобили	15	12	15	9	6	3807	1439	62,2	466	451	3,2
Служебные автомобили	15	12	15	1	60	23541	776	96,7	46	45	2,2

**3. Сглаживание данных**

Последний этап обработки данных заключается в усреднении координат объекта на основе истории движения с помощью статистических методов. Основанием к применению процедуры сглаживания является тот факт что получаемые, после предварительной обработки, данные носят разрывный характер, хотя реальная траектория движения объекта непрерывная и

гладкая. С помощью процедуры сглаживания можно получать реалистичное отображение траектории движения, а также рассчитывать точные значения пройденного расстояния. В качестве метода сглаживания был выбран метод взвешенного скользящего среднего, в зарубежной литературе также известный как WMA. В общем виде взвешенное скользящее среднее определяется как

$$WMA_t = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n W_i},$$

где  $WMA_t$  — значение взвешенного скользящего среднего в текущей точке  $t$ ,  $n$  — количество значений исходной функции для расчёта скользящего среднего,  $P_i$  — значение исходной функции в момент времени, отдалённый от текущего на  $i$  интервалов.

Главным достоинством метода взвешенного скользящего среднего являются простота его реализации и вычислительная эффективность по сравнению с цифровыми фильтрами.



Рис. 6. Пример использования сглаживания

Дополнительной особенностью разработанного метода повышения точности позиционирования, является алгоритм поиска предполагаемого местонахождения (ППМ). В случае, когда по каким либо причинам отсутствует связь со спутниками или поступаемые данные являются не валидными, информация о передвижении объекта теряется. При этом, наблюдаемый объект остается в точке на карте диспетчера, в которой была произведена последняя связь со спутниками. В основе алгоритма ППМ лежит интерполяция В-сплайнами по имеющимся точкам. В качестве точек интерполирования выбираются данные о местоположении объекта до потери связи со спутниками.

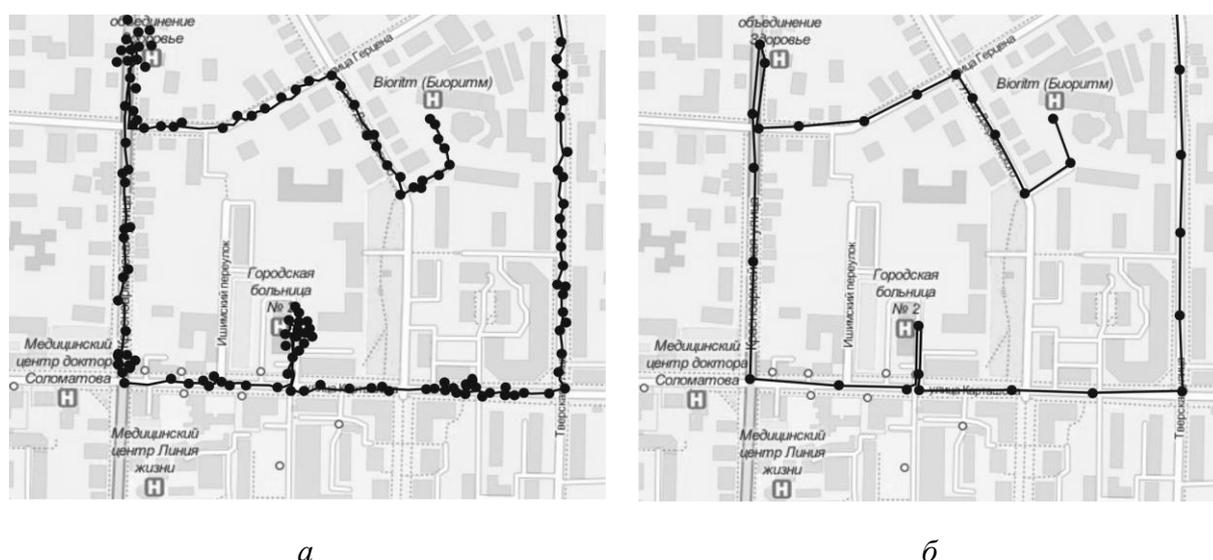
### Заключение

Разработан метод, включающий комплекс алгоритмов для работы с навигационными потоками данных, позволяющий повысить точность позиционирования и значительно уменьшить объем передаваемых данных (рис. 7).

Основными достоинствами разработанного метода являются:

- возможность внедрения алгоритма в программное обеспечение (ПО) терминала подвижного объекта благодаря возможности работы в онлайн режиме,

- простота реализации метода (с точки зрения времениобработки терминальным оборудованием), а значит возможность использования маломощных и недорогих микроконтроллеров в составе аппаратуры мобильного терминала,
- значительное уменьшение потока передаваемых данных для всех типов наблюдаемых объектов, вследствие чего снижение нагрузки на канал передачи между ДЦ и МО,
- увеличение точности позиционирования и производных параметров (путь, скорость, время движения и др.) вследствие фильтрации выбросов, а также сглаживания траектории движения,
- восстановление пройденного пути, в случае отсутствия связи со спутниками.



*Рис. 7. Пример использования адаптивного метода фильтрации навигационных данных в системе мониторинга транспорта (а – до применения алгоритма, б– после применения алгоритма фильтрации)*

Предложенный метод реализован в виде самостоятельных программных модулей как для мобильного терминала, так и для серверного программного обеспечения системы мониторинга. Разработанные программные модули включены в состав действующей системы мониторинга мобильных объектов.

## **Выводы**

1. Предложен метод обработки навигационных данных, включающий адаптивный метод диагностической фильтрации,
2. Отличительной особенностью метода является динамическое вычисление порогового значения  $D_{limit}$  (расстояние для определения смещения объекта) на основе данных о точности позиционирования (значений факторов потери точности в текущий момент времени) и типа объекта, а также вычисление предполагаемого местонахождение в случае отсутствия связи со спутниками.
3. Разработанный адаптивный метод обработки потока навигационных данных на основе метода диагностической фильтрации позволяет исключать недостоверные и избыточные данные для передачи в диспетчерский центр. В зависимости от типа объекта (характеристик его движения) поток данных уменьшается на

45...65% для городского пассажирского транспорта, служебных легковых автомобилей и на 55...75% для выездных бригад скорой медицинской помощи. С точки зрения оценки пройденного расстояния, после обработки данных рассчитанный путь сокращается на 4-9% для выездных бригад скорой медицинской помощи, 0.5-1.5% для городского пассажирского транспорта и 1.5 – 3.5 % для служебных легковых.

4. Применение алгоритма поиска предполагаемого нахождения позволяет определять местоположение и следить за возможными передвижениями даже в случае отсутствия связи со спутниками.
5. В отличие от известных подходов, предложенный алгоритм может работать в режиме реального времени, обеспечивая заданную точность.

## ЛИТЕРАТУРА

6. Adrados C Global Positioning System (GPS) location accuracy improvement due to Selective Availability removal // *Comptes Rendus Biologies.* - Elsevier. – 2002. - Volume 325.-№2, P. 165-170
7. Могильницкий Б.С. Алгоритм обработки данных ИСЗ навигационных систем ГЛОНАСС и GPS: Определение ПВЗ // *Интерэкспогео-Сибирь.* – 2005. - №6. – С. 161-164
8. Klobuchar J.A. Ionospheric effects on GPS // *Global Positioning System: Theory and Applications.* – Washington DC.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. – vol. II. – P. 485–516
9. Владимиров В.М., Гречкосеев А.К., Толстикова А.С. Имитатор измерительной информации для отработки эфемеридно – временного обеспечения космической навигационной системы ГЛОНАСС // *Измерительная техника.* – 2004. – № 8. – С.12-14.
10. Кошаев Д.А. Многоальтернативный метод обнаружения и оценки нарушений на основе расширенного фильтра Калмана // *Автоматика и Телемеханика.* 2010. №5. С. 70-83.
11. Brilingaite A., Jensen C. Online Route Prediction for Automotive Applications // *Proc. of the 13th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services.* – London, October, 2006. – P. 168–175
12. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС // под ред. В. Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина. - М.: ИПРЖР, 1998. - 400 с.
13. Харисов В.Н., Яковлев А.И., Глушченко А.Г. Оптимальная фильтрация координат подвижного объекта // *Радиотехника и электроника,* 1984, т. 23, №7, с.1441-1452.

**Рецензент:** Ямпольский Владимир Захарович, профессор-консультант кафедры Оптимизация систем управления Томского политехнического университета, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РФ.