

УДК 004.023

## **Адаптивная фильтрация потока геолокационных данных в реальном времени**

Головков А. А.<sup>1</sup>, Иванова Г. С.<sup>1,\*</sup>

[\\*gsivanova@gmail.com](mailto:gsivanova@gmail.com)

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

---

В статье выполнен анализ источников и форматов геоданных о местоположении современных мобильных коммуникационных устройств. Выявлены причины погрешности геоданных, получаемых от разных источников, и предложен динамический адаптивный метод фильтрации данных геопозиционирования для исключения заведомо неточных координат, что позволило увеличить точность построения траектории движения наблюдаемого объекта. Идея фильтрации основана на определении порога фильтра в зависимости от динамически изменяющихся характеристик геокоординат. Адекватность, быстродействие и эффективность представленного метода подтверждены результатами анализа экспериментальных данных на наборе из более чем 400 тысяч точек. Применение метода возможно в геоинформационных системах, обеспечивающих непрерывный мониторинг местоположения в условиях потоковой обработки в реальном времени.

**Ключевые слова:** геопозиционирование, фильтрация геоданных, GPS, качество трека

---

### **Введение**

Одной из задач геолокационных подсистем современных программных комплексов мониторинга, проведения технического обслуживания и ремонта различных объектов является сбор, обработка и отображение информации геопозиционирования мобильных сотрудников в реальном времени. Поскольку в общем случае такие комплексы состоят из двух тесно зависимых систем: серверной части и мобильных приложений пользователей, существует два способа решения задачи обработки геоинформации:

- применение алгоритмов фильтрации, классификации и кластеризации для получения адекватных высокоточных геоданных на серверной части системы, при этом вся необработанная информация передается в серверную часть;
- обработка информации на мобильных устройствах с последующей передачей в серверную часть итоговых результатов.

Второй способ является предпочтительным: в этом случае существенно снижается нагрузка на серверную часть и уменьшается объем передаваемых данных (с более 330 Гб до 7 Гб данных для 1000 сотрудников за 24 часа). Однако реализация способа требует раз-

работки эффективных алгоритмов фильтрации геоданных в реальном времени на мобильных устройствах.

Особое место в обоих способах занимает проблема определения стоянок сотрудника, то есть точек с нулевой или близкой к нулю скоростью. Поскольку существует погрешность определения широты и долготы пользователя, в местах стоянок полученные координаты обычно не постоянны.

Способы и методы фильтрации геокоординат были детально рассмотрены в работах [1,3,4,6,8-14] однако многие из них основаны на обработке данных в серверной части. Такая архитектура системы позволяет получить больше данных, что в некоторых случаях существенно улучшает качество анализа интегральных характеристик трека и синтеза целевых показателей маршрутов пользователей [5,7]. Под треком в данной работе подразумевается последовательность точек геокоординат, образующая ломанную линию на карте.

Отдельного внимания заслуживает работа [1], в которой предлагается метод потоковой фильтрации геокоординат, ориентированный на обработку информации непосредственно на мобильных устройствах. В целом метод предполагает комплексный подход при фильтрации геокоординат, важным компонентом которого является диагностическая фильтрация данных на основе анализа точности смежных координат, что позволяет реализовать потоковую обработку. Подход ориентирован на получение качественных треков, отображающих траектории движения объектов. Одним из главных недостатков метода является отсутствие зависимости поведения фильтра от скоростей пользователя в смежных координатах. То есть количество используемых при построении трека координат зависит только от точности последних, что в ряде случаев дает визуально некачественные треки, особенно в движении. «Выбросы» координат в местах стоянок имеют непостоянный характер, характеристики точности таких координат могут быть высоки, однако реальное положение точек может не соответствовать полученной широте и долготе. Фильтрация таких точек представляет собой сложную задачу.

Целью настоящей работы является улучшение качества фильтрации посредством динамического определения порога фильтра в зависимости от точности координат и скорости пользователя в смежных точках.

## 1. Источники геоданных

В мобильных устройствах под управлением операционной системы Android существуют два механизма получения геолокационных данных:

- использование NMEA (англ. NMEA - National Marine Electronics Association) данных напрямую из GPS/GLONASS приемника;
- использование системных API (англ. Application Program Interface) геолокации.

В первом случае возможно получение необработанных геолокационных данных в формате символьных сообщений различного типа [2]. Не все GPS/GLONASS приемники поддерживают все типы сообщений. Самыми распространенными типами являются:

- \$GP(GL)GGA – данные геопозиционирования, содержат текущую широту, долготу, время, количество спутников и т.д.
- \$GP(GL)RMC – рекомендованные минимальные данные геопозиционирования, помимо времени, широты и долготы содержат такие параметры, как скорость, магнитное склонение и др.
- API геолокации может предоставлять данные от нескольких источников:
- GPS/GLONASS приемник - обработанные NMEA данные высокой точности;
- Wi-Fi точки доступа - геолокационные данные средней точности, основанные на местоположении Wi-Fi точек доступа;
- сотовые вышки - геолокационные данные низкой точности, основанные на триангуляции местоположения устройства по базовым станциям сотовой связи;
- пассивные источники - зачастую неактуальные геолокационные данные, полученные на основе запросов геолокации других приложений.

Для дальнейшей фильтрации будем использовать данные от всех доступных источников.

## 2. Исходные геоданные

Исходные данные, получаемые от доступных устройству источников, включают в себя моментальные характеристики местоположения:

- широта (*lat*, град) – широта текущей точки. Формат и размерность поля идентичны для всех источников данных;
- долгота (*lon*, град) – долгота текущей точки. Формат и размерность поля идентичны для всех источников данных;
- скорость (*spd*, м/с) – моментальная скорость в текущей точке;
- точность (*acc*, м) – радиус круга, в котором находится текущие координаты с вероятностью ~68% (одна сигма). Для источников NMEA характеристика представлена безразмерным параметром *HDOP* (англ. Horizontal Dilution of Precision);
- время (*t*, мс) – время фиксации местоположения в формате Unix Epoch Time. Формат и размерность поля идентичны для всех источников данных.

В данных, полученных от Wi-Fi или сотовых вышек, скорость равна нулю. Это привносит в общую модель некоторую недостоверность. Рассмотрим пример. Последовательно получены 3 различных набора данных о местоположении с разницей в одну секунду. Точки  $x_1$  и  $x_3$  – от GPS приемника, при этом скорость в точках равна 60 км/ч. Точка  $x_2$  – от сотовых вышек, при этом скорость в этой точке равна нулю. Все остальные параметры данных удовлетворяют требованиям по точности. Очевидно, что реальная скорость в точке  $x_2$  ненулевая, т.к. скорости в точках  $x_1$  и  $x_3$  ненулевые, и разница во времени между точками слишком мала, чтобы было возможно остановиться и набрать такую скорость. В этом случае возможно приближенно рассчитать примерную скорость в точке  $x_2$  как среднее арифметическое между скоростями точек  $x_1$  и  $x_3$ . (Заметим, что в случае по-

токовой обработки координат, решение об актуальности координаты необходимо принимать сразу при ее получении и невозможно модифицировать скорость предыдущей координаты. Решение данной проблемы в настоящей работе не рассматривается.)

Параметр  $HDOP$ , который указывается для источников NMEA, характеризует геометрическое снижение точности в горизонтальной плоскости. Параметр рассчитывается как квадратный корень из сумм квадратов среднеквадратичных отклонений измерений широты и долготы по двум осям соответственно (север-восток или юг-восток). Для обеспечения единых характеристик и единиц измерения данных от разных источников, будем использовать эмпирически полученную формулу перевода  $HDOP$  в точность:

$$acc(HDOP) \approx \begin{cases} 2,5 * HDOP, HDOP < 1 \\ 5 * HDOP, HDOP \geq 1 \end{cases}$$

Таким образом, точка  $x_i$  текущего местоположения мобильного устройства независимо от источника геокоординат характеризуется кортежем рассмотренных параметров:

$$x_i = \langle lat_i, lon_i, spd_i, acc_i, t_i \rangle.$$

### 3. Адаптивная фильтрация

Метод фильтрации, описанный в [1], использует в качестве критерия фильтрации расстояние между двумя точками, которое должно быть не меньше суммы пороговых значений  $Dl = HDOP * HFactor + VDOP * VFactor$  для каждой точки. Второй член уравнения определяет прибавку к порогу снижения точности в вертикальном отклонении. Поскольку в данной работе не учитывается третья координата точки – высота, без ограничения общности приравняем второй член к нулю. Откуда  $Dl = HDOP * HFactor$ .

$HFactor$  представляет собой константу, которая зависит от типа исследуемых транспортных средств. Иллюстрация метода приведена на рис. 1.

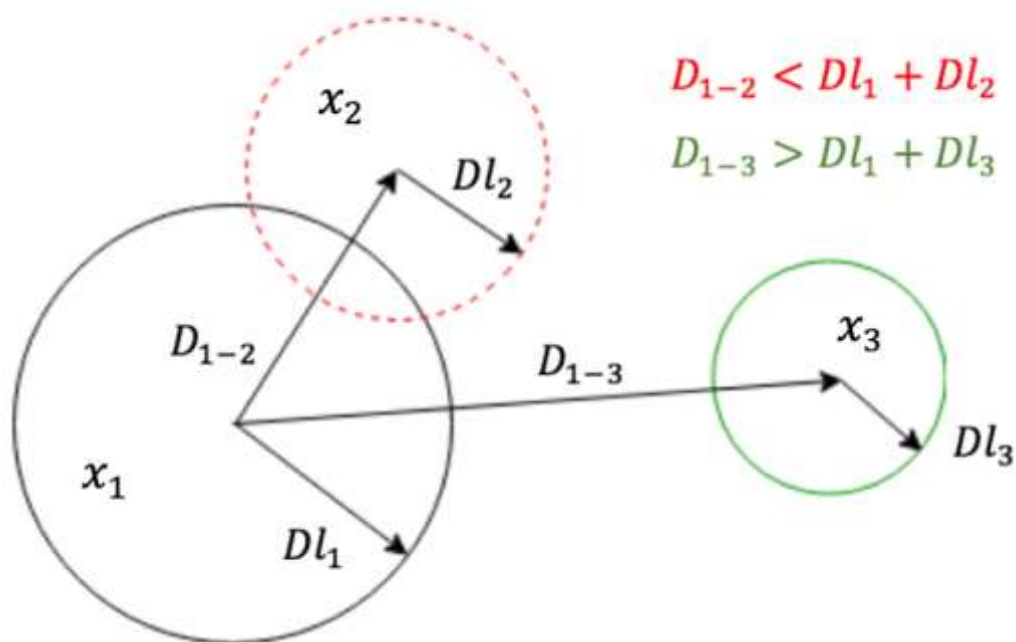


Рис. 1. Иллюстрация диагностического метода

Точка  $x_2$  не удовлетворяет критерию, поскольку  $D_{1-2} < Dl_1 + Dl_2$ . Следовательно, точка отбрасывается фильтром.

Точка  $x_3$  удовлетворяет критерию, поскольку  $D_{1-3} > Dl_1 + Dl_3$ . Следовательно, точка проходит через фильтр.

Предлагаемый метод учитывает не только точность, но и скорость пользователя в предыдущей и текущей координатах. Рассмотрим функцию  $F(x_{i-1}, x_i)$ , которая зависит от предыдущей  $x_{i-1}$  и текущей  $x_i$  точек как:

$$F(x_{i-1}, x_i) = \begin{cases} 1, & D(x_{i-1}, x_i) > acc_{i-1} * P(spd_{i-1}) + acc_i * P(spd_i) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

где  $D(x_{i-1}, x_i)$  – функция расстояния между точками  $x_{i-1}$  и  $x_i$ ;

$acc_{i-1}$  и  $acc_i$  – точности точек  $x_{i-1}$  и  $x_i$ ;

$spd_{i-1}$  и  $spd_i$  – скорости точек  $x_{i-1}$  и  $x_i$ .

$F(x_{i-1}, x_i)$  принимает значение 1, если текущая координата удовлетворяет требованиям фильтра, 0 – в противном случае.

При этом скоростные безразмерные коэффициенты  $P(spd_{i-1})$  и  $P(spd_i)$  представляют собой функции от скорости соответствующей точки.

Рассмотрим ограничения функции  $P(spd)$ :

$spd \geq 0$  – скорость всегда неотрицательна; (1)

$P(spd) \in [1; a]$  – функция должна добавлять небесконечный вклад в  $F(x_{i-1}, x_i)$ ; (2)

$P(spd) = a$ , при  $spd = 0$  – значение функции при нулевой скорости. Коэффициент  $a$  определяет порог фильтра в случае стоянки; (3)

$P(spd) = 1$ , при  $spd \geq b$  – значение функции при скорости, большей или равной  $b$ . Коэффициент  $b$  определяет максимальную скорость, при которой фильтр вырождается в описанный в [1]; (4)

$\lim_{spd \rightarrow 0+0} P(spd) = a$  – непрерывность функции справа в точке  $(0; a)$ ; (5)

$\lim_{spd \rightarrow b-0} P(spd) = 1$  – непрерывность функции слева в точке  $(b; 1)$ ; (6)

$P(spd)$  – непрерывная убывающая функция: чем больше скорость, тем меньше выбросов координат, меньшим должен быть порог фильтра. (7)

Коэффициенты  $a$  и  $b$  представляют собой опорные параметры фильтра. Очевидно, что при увеличении  $a$ , фильтр способен определить более дальние выбросы координат при скорости от 0 до  $b$ , а скорость  $b$  фактически определяет границу фильтрации значительных выбросов в местах стоянок.

Далее в соответствии с ограничениями 1-7 необходимо доопределить функцию на отрезке  $[0; b]$ . Были рассмотрены несколько типов функций: экспоненты, степенные функции, линейные функции. Можно предположить, что для увеличения точности фильтрации  $P(spd)$  должна быть гладкой на всей области определения, однако, как показал анализ экспериментальных результатов, гладкость функции не играет практически никакой роли, итоговый трек качественно не меняется, более того, при использовании сложных функций в общем треке возникают различные артефакты, которых очевидно быть не должно.

Выбор функции  $P(spд)$ , удовлетворяющей всем условиям, представляет собой нетривиальную задачу. Можно отметить, что из-за различий в типах GPS/GLONASS приемников, ограничение (7) может быть как-либо модифицировано в зависимости от конкретных частотных параметров координат. Для этого в общем случае необходимо выполнить частотный анализ потока геоданных различных типов приемников для нахождения зависимостей параметров координат от частоты выбросов.

Исходя из минимизации вычислительных затрат была выбрана линейная функция (8), график которой приведен на рис. 2.

$$P(spд) = \begin{cases} 1, & spд > b \\ \frac{1-a}{b} * spд + a, & 0 \leq spд \leq b. \end{cases} \quad (8)$$

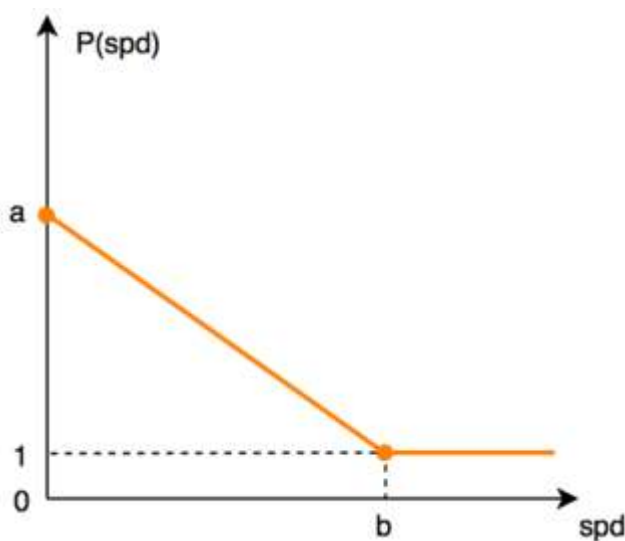


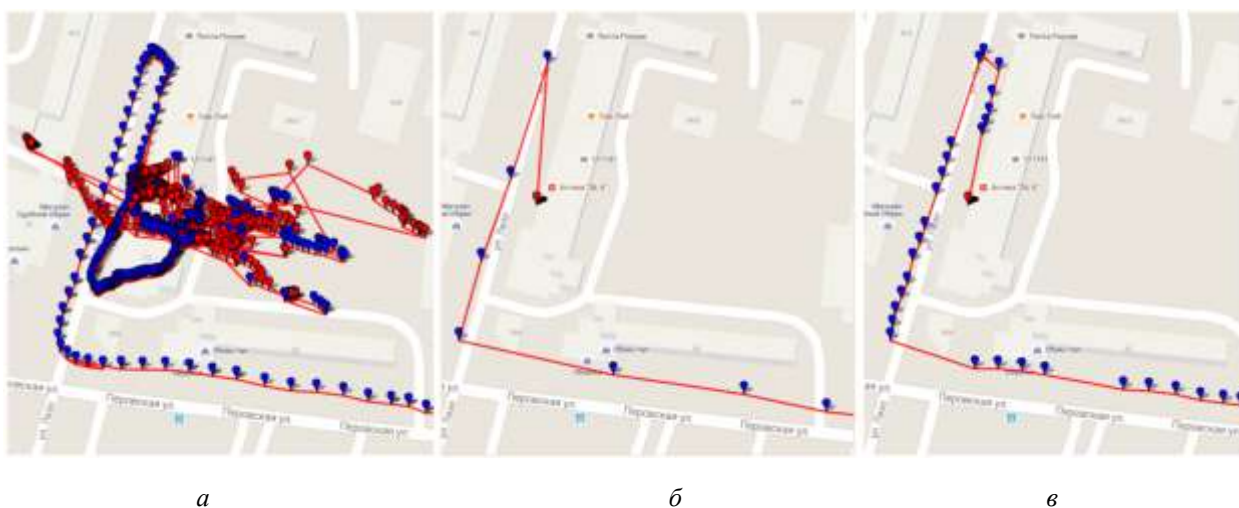
Рис. 2. График функции  $P(spд)$

#### 4. Экспериментальные результаты

Для оценки области применимости и эффективности разработанного метода фильтрации были собраны порядка 400 тыс. точек, представляющих собой треки с различными типами движений (пешком, в легковом автомобиле, скоростном поезде) и стоянок (в помещении, на открытом воздухе, рядом с высотными зданиями), снятые с устройств с разными GPS/GLONASS приемниками. Исходные данные были поданы на вход адаптивного фильтра. Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  были определены опытным путем на основе экспертной оценки качества итогового трека по следующей методике. Коэффициенты, изначально равные единице, неравномерно итеративно увеличивались до достижения приемлемого качества фильтрации стоянок. При этом варьирование значения  $a$  позволило более точно определить порог фильтра при скоростях близких к нулю. Изменение коэффициента  $b$  соответствовало степени разреженности точек трека при скоростях от  $0$  до  $b$ .

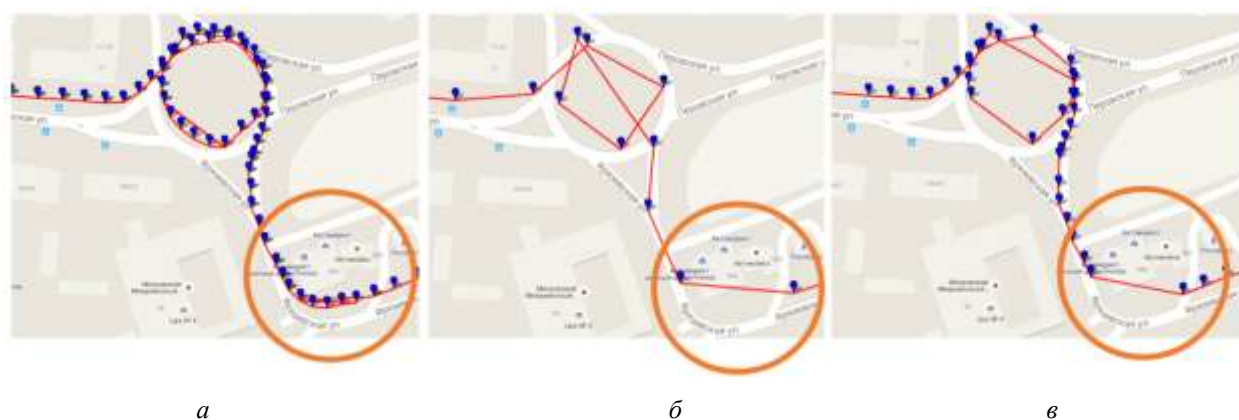
На рис. 3–7 приведены некоторые треки, наиболее ярко демонстрирующие особенности работы методов фильтрации. Красными маркерами показаны стоянки, синими – точки в движении.

На рис. 3,*а* показан трек из необработанных данных со стоянкой внутри здания. Очевидно, качество трека очень низкое, присутствует значительный разброс координат. На рис. 3,*б* представлен трек после фильтрации по методу [1]. Качество значительно улучшилось. Можно наблюдать постоянную частоту точек в треке, стоянка теперь определяется всего одним маркером. На рис. 3,*в* показан трек после фильтрации по предложенному методу. Качество определения стоянки не изменилось, однако точки в движении теперь имеют непостоянный период, что, как будет показано далее, может значительно улучшить трек на поворотах.



**Рис. 3.** Трек со стоянкой в здании: *а* – необработанные данные; *б* – результаты работы метода [1]; *в* – результаты работы предложенного метода

На рис. 4,*а-в* показан трек с круговым движением на автомобиле. Необработанные данные представляют собой почти идеальный трек, все координаты достаточно точные, последовательны во времени, нет выбросов и значительных отклонений. Фильтрация здесь не нужна, однако такие случаи скорее исключение, чем правило. Анализ трека здесь интересен тем, что итоговый трек наилучшего варианта фильтрации должен максимально повторять исходный. Лучшее качество даст метод фильтрации, который отфильтрует меньшее количество точек.



**Рис. 4.** Трек с круговым движением на автомобиле: *а* – необработанные данные; *б* – результаты работы метода [1]; *в* – результаты работы предложенного метода

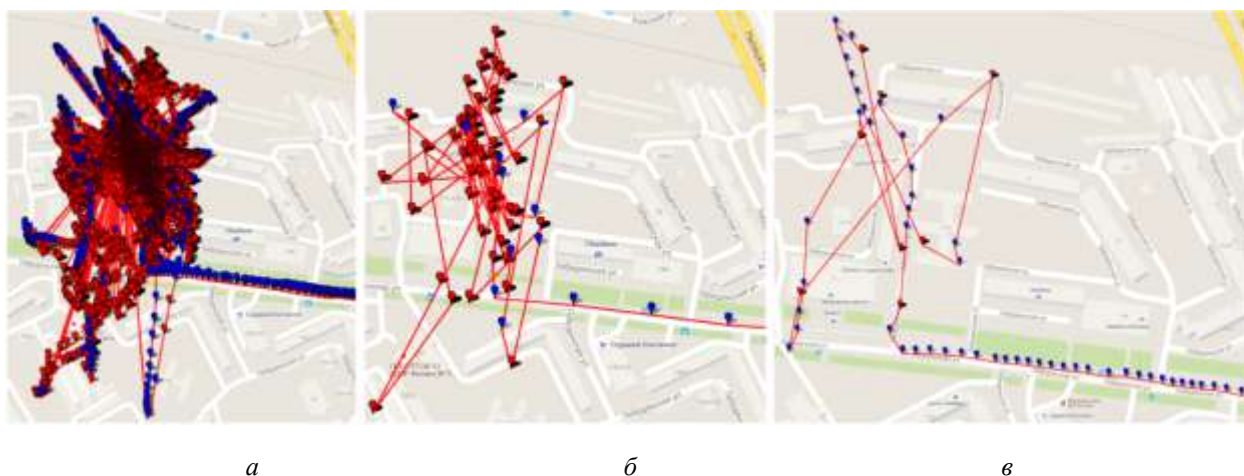
На рис. 4,б можно отметить четкую периодичность точек, качество трека низкое. Если немного снизить точность в точках на круговом движении, фильтр полностью исключит этот отрезок пути. Трек на рис. 4,в максимально повторяет трек из необработанных данных. Стоит отметить, что поворот на карте, выделенный оранжевым, не определил ни один метод. Однако варьирование значений коэффициентов  $a$  и  $b$  в предложенном методе может решить эту проблему.

На рис. 5,а-в представлена стоянка около здания. Отметим, что предложенный метод не только четко определяет стоянку, но и выходы из нее – область на карте, выделенная оранжевым. Количество точек движения на рис. 5,в рядом со стоянкой больше, чем на треке 5,б.



**Рис. 5.** Трек со стоянкой около здания: *а* – необработанные данные; *б* – результаты работы метода [1]; *в* – результаты работы предложенного метода

На рис. 6,а-б представлена продолжительная (порядка 13ч) стоянка в здании. Выбросы координат в этом случае значительны (см. рис. 6,а). Ни один метод не смог определить множество точек как отдельную стоянку, однако метод, описанный в данной работе существенно сократил количество точек в сравнении с методом [1].



**Рис. 6.** Трек с продолжительной стоянкой в здании: *а* – необработанные данные; *б* – результаты работы метода [1]; *в* – результаты работы предложенного метода



На рис. 7,а-б показан трек движения на автомобиле. Из рисунков видно, что предложенный метод адекватно обработал только часть точек, на отрезке пути, выделенном оранжевым, точек нет.

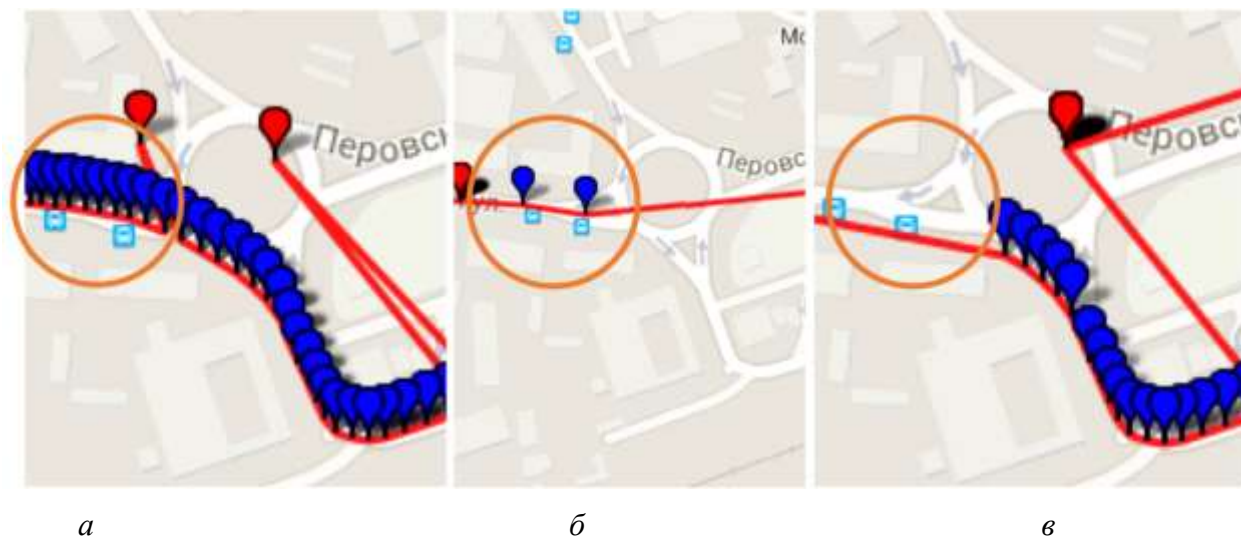


Рис. 7. Трек с движением на автомобиле: а – необработанные данные; б – результаты работы метода [1]; в – результаты работы предложенного метода

## Заключение

В сравнении с методом, описанным в [1], метод, предложенный в настоящей работе, позволяет существенно улучшить качество получаемого трека в случаях стоянок (до бч) и движения. Кроме того, метод обеспечивает возможность потоковой фильтрации в реальном времени, что позволяет осуществлять обработку геоданных непосредственно на мобильных устройствах и, как следствие, сокращает объем передаваемых данных, уменьшая нагрузку на канал передачи.

К недостаткам метода можно отнести:

- незначительное относительно метода [1] увеличение вычислительной сложности: дополнительно две операции сравнения, две сложения и две умножения при вычислении  $P(spд)$  для двух точек;
- увеличение количества точек итогового трека также относительно метода [1] в движении на 20..25%.

Оба недостатка являются несущественным по отношению к увеличению общего качества фильтрации, поскольку не превышают возможности мобильных устройств.

Перспективными направлениями дальнейших исследований в этой области являются:

- использование данных акселерометра, гироскопа, магнетометра, что расширит область вариантов анализа данных, даст возможность использовать более сложные и точные модели обработки;
- разработка комплексной системы фильтрации, учитывающей множество источников данных различных типов, интегральные характеристики точек, что позволит

регулировать разреженность трека в зависимости от скорости пользователя, угла поворота и т.д.;

- сглаживание трека;
- применение моделей и технологий компьютерного обучения, которые могут обеспечить большую гибкость системы.

### Список литературы

1. Хруль С.А., Сонькин Д.М. Адаптивный алгоритм обработки потока навигационных данных на основе метода диагностической фильтрации // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321, № 5. С. 217-222. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-algoritm-obrabotki-potoka-navigatsionnyh-dannyh-na-osnove-metoda-diagnosticheskoy-filtratsii> (дата обращения 06.02.2016).
2. NMEA data // Gpsinformation.org: website. Режим доступа: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm> (дата обращения 01.03.2016).
3. Листеренко Р.Р. Применение фильтра Калмана для обработки последовательности GPS-координат // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 09. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/802893.html> (дата обращения 26.01.2016).
4. Забегаев А.Н., Павловский В.Е. Адаптация фильтра Калмана для использования с локальной и глобальной системой навигации // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2010. № 82. Режим доступа: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-82> (дата обращения 26.01.2016).
5. Gong L., Morikawa T., Yamamoto T., Sato H. Deriving Personal Trip Data from GPS Data: A Literature Review on the Existing Methodologies // Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2014. Vol. 138. P. 557-565. DOI: [10.1016/j.sbspro.2014.07.239](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.239)
6. Agarwal N., Basch J., Beckmann P., Bharti P., Bloebaum S., Casadei S., Chou A., Enge P., Fong W., Hathi N., Mann W., Sahai A., Stone J., Tsitsiklis J., Van Roy B. Algorithms for GPS operation indoors and downtown // GPS Solutions. 2002. Vol. 6, no. 3. P. 149-160. DOI: [10.1007/s10291-002-0028-0](https://doi.org/10.1007/s10291-002-0028-0)
7. Zhou C., Bhatnagar N., Shekhar S., Terveen L. Mining Personally Important Places from GPS Tracks // 2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering Workshop, 2007, 17-20 April, Istanbul, Turkey. Istanbul, 2007. P. 517-526. DOI: [10.1109/ICDEW.2007.4401037](https://doi.org/10.1109/ICDEW.2007.4401037)
8. Великанова Е.П., Ворошилин Е.П. Адаптивная фильтрация координат маневрирующего объекта при изменениях условий передачи в радиолокационном канале // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 2 (26), ч. 1. С. 29-35. Режим доступа: <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2012-26-1/029.pdf> (дата обращения 26.01.2016).

9. Макаренко Г.К., Алешечкин А.М. Исследование алгоритма фильтрации при определении координат объекта по сигналам спутниковых радионавигационных систем // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2012. № 2 (26), ч. 2. С. 15-18. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-algoritma-filtratsii-pri-opredelenii-koordinat-obekta-po-signalam-sputnikovyh-radionavigatsionnyh-sistem> (дата обращения 26.01.2016).
10. Прохорцов А.В., Савельев В.В. Методы определения координат и скорости подвижных объектов с помощью спутниковых радионавигационных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 2. С. 264-274. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-opredeleniya-koordinat-i-skorosti-podvizhnyh-obektov-s-pomoschyu-sputnikovyh-radionavigatsionnyh-sistem> (дата обращения 26.01.2016).
11. Пудловский В.Б. Методы и алгоритмы навигационных определений с использованием ретранслированных сигналов спутниковых радионавигационных систем: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 263 с. Режим доступа: <http://www.disscat.com/content/metody-i-algoritmy-navigatsionnykh-opredelenii-s-ispolzovaniem-retranslirovannykh-signalov-s> (дата обращения 12.03.2016).
12. Gomez-Gil J., Ruiz-Gonzalez R., Alonso-Garcia S., Gomez-Gil F.J. A Kalman Filter Implementation for Precision Improvement in Low-Cost GPS Positioning of Tractors // Sensors. 2013. No. 13 (11). P. 15307-15323. DOI: [10.3390/s131115307](https://doi.org/10.3390/s131115307)
13. Садковский Б.П., Садковская Н.Е., Трошкин Д.О. Взаимодействие систем глобального позиционирования ГЛОНАСС/GPS и наземных вычислительных центров // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. № 6 (30). DOI: [10.18698/2308-6033-2014-6-1284](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2014-6-1284)
14. Салычев О.С. MEMS/GPS — малогабаритная интегрированная навигационная система // Геопрофи. 2003. № 3. С. 16-17. Режим доступа: [http://www.geoprofi.ru/technology/article\\_697\\_10.aspx](http://www.geoprofi.ru/technology/article_697_10.aspx) (дата обращения 26.03.2016).

## Real Time Adaptive Stream-oriented Geo-data Filtering

A.A. Golovkov<sup>1</sup>, G.S. Ivanova<sup>1,\*</sup>

[\\*gsivanova@gmail.com](mailto:gsivanova@gmail.com)

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

---

**Keywords:** geolocation, geodata filtering, GPS, track quality

---

The cutting-edge engineering maintenance software systems of various objects are aimed at processing of geo-location data coming from the employees' mobile devices in real time. To reduce the amount of transmitted data such systems, usually, use various filtration methods of geo-coordinates recorded directly on mobile devices.

The paper identifies the reasons for errors of geo-data coming from different sources, and proposes an adaptive dynamic method to filter geo-location data. Compared with the static method previously described in the literature [1] the approach offers to align adaptively the filtering threshold with changing characteristics of coordinates from many sources of geo-location data.

To evaluate the efficiency of the developed filter method have been involved about 400 thousand points, representing motion paths of different type (on foot, by car and high-speed train) and parking (indoors, outdoors, near high-rise buildings) to take data from different mobile devices. Analysis of results has shown that the benefits of the proposed method are the more precise location of long parking (up to 6 hours) and coordinates when user is in motion, the capability to provide stream-oriented filtering of data from different sources that allows to use the approach in geo-information systems, providing continuous monitoring of the location in stream-oriented data processing in real time. The disadvantage is a little bit more computational complexity and increasing amount of points of the final track as compared to other filtration techniques.

In general, the developed approach enables a significant quality improvement of displayed paths of moving mobile objects.

### References

1. Khrul' S.A., Son'kin D.M. Adaptive algorithm processing flow of navigation data on basis of diagnostic filtering. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 5, pp. 217-222. Available at:

- <http://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnyy-algoritm-obrabotki-potoka-navigatsionnyh-dannyh-na-osnove-metoda-diagnosticheskoy-filtratsii> , accessed 06.02.2016. (in Russian).
2. NMEA data. Gpsinformation.org: website. Available at: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm> , accessed 01.03.2016.
  3. Listerenko R.R. Application of Kalman filter for processing of sequence of GPS coordinates. *Molodezhnyi nauchno-tehnicheskii vestnik MGTU im. N.E. Baumana = Youth Science and Technology Herald of the Bauman MSTU*, 2015, no. 9. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/802893.html> , accessed 26.01.2016. (in Russian).
  4. Zabegaev A.N., Pavlovskii V.E. Kalman filter adaptation for use with local and global navigation system. *Preprinty IPM im. M.V. Keldysha = Preprints of Keldysh Institute of Applied Mathematics*, 2010, no. 82. Available at: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-82> , accessed 26.01.2016. (in Russian).
  5. Gong L., Morikawa T., Yamamoto T., Sato H. Deriving Personal Trip Data from GPS Data: A Literature Review on the Existing Methodologies. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014, vol. 138, pp. 557-565. DOI: [10.1016/j.sbspro.2014.07.239](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.239)
  6. Agarwal N., Basch J., Beckmann P., Bharti P., Bloebaum S., Casadei S., Chou A., Enge P., Fong W., Hathi N., Mann W., Sahai A., Stone J., Tsitsiklis J., Van Roy B. Algorithms for GPS operation indoors and downtown. *GPS Solutions*, 2002, vol. 6, no. 3, pp. 149-160. DOI: [10.1007/s10291-002-0028-0](https://doi.org/10.1007/s10291-002-0028-0)
  7. Zhou C., Bhatnagar N., Shekhar S., Terveen L. Mining Personally Important Places from GPS Tracks. *2007 IEEE 23rd International Conference on Data Engineering Workshop*. 2007, 17-20 April, Istanbul, Turkey. Istanbul, 2007, pp. 517-526. DOI: [10.1109/ICDEW.2007.4401037](https://doi.org/10.1109/ICDEW.2007.4401037)
  8. Velikanova E.P., Voroshilin E.P. Adaptive estimation of maneuvering object position in changeable radio channel transmission gain. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki = Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 2012, no. 2, pt. 1, pp. 29-35. Available at: <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2012-26-1/029.pdf> , accessed 26.01.2016. (in Russian).
  9. Makarenko G.K., Aleshechkin A.M. Study on filtering algorithms to determine the coordinates of an object by the signals of satellite navigation systems. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki = Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, 2012, no. 2, pt. 2, pp. 15-18. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-algoritma-filtratsii-pri-opredelenii-koordinat-obekta-po-signalam-sputnikovyyh-radionavigatsionnyh-sistem> , accessed 26.01.2016. (in Russian).
  10. Prokhortsov A.V., Savel'ev V.V. Ways of determination a vehicles coordinates and velocities by means of a satellite navigation systems. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2011, no. 2, pp. 264-274. Available at:

<http://cyberleninka.ru/article/n/metody-opredeleniya-koordinat-i-skorosti-podvizhnyh-obektov-s-pomoschyu-sputnikovyh-radionavigatsionnyh-sistem> , accessed 26.01.2016. (in Russian).

11. Pudlovskii V.B. *Metody i algoritmy navigatsionnykh opredelenii s ispol'zovaniem retranslirovannykh signalov sputnikovyx radionavigatsionnykh sistem. Kand. diss.* [Methods and algorithms of navigation definitions using retranslated signals of satellite radio navigation systems. Cand. diss.]. Moscow, Bauman MSTU, 2009. 263 p. Available at: <http://www.dissercat.com/content/metody-i-algoritmy-navigatsionnykh-opredelenii-s-ispolzovaniem-retranslirovannykh-signalov-s> , accessed 12.03.2016. (in Russian).
12. Gomez-Gil J., Ruiz-Gonzalez R., Alonso-Garcia S., Gomez-Gil F.J. A Kalman Filter Implementation for Precision Improvement in Low-Cost GPS Positioning of Tractors. *Sensors*, 2013, no. 13, pp. 15307-15323. DOI: [10.3390/s131115307](https://doi.org/10.3390/s131115307)
13. Sadkovskii B.P., Sadkovskaya N.E., Troshkin D.O. Interaction of global positioning systems Glonass/GPS and ground-based computing centers. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii = Engineering Journal: Science and Innovation*, 2014, no. 6. DOI: [10.18698/2308-6033-2014-6-1284](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2014-6-1284) (in Russian).
14. Salychev O.S. MEMS/GPS Is a Compact Integrated Navigation System. *Geoprofi*, 2003, no. 3, pp. 16-17. Available at: [http://www.geoprofi.ru/technology/article\\_697\\_10.aspx](http://www.geoprofi.ru/technology/article_697_10.aspx) , accessed 26.03.2016. (in Russian).