

УДК 621.39

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ  
ГЕНЕРАТОРОВ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ  
СИСТЕМЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ НА  
ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
КООРДИНАТ АБОНЕНТА НА  
МЕСТНОСТИ**

*В. В. Жилин, С. С. Каверин, М. А. Чефранов,  
А. А. Шелудько, О. А. Сафарьян*

Донской государственный технический  
университет, г. Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[ronce08@mail.ru](mailto:ronce08@mail.ru)  
[sergey\\_kav995@mail.ru](mailto:sergey_kav995@mail.ru)  
[makssmz@gmail.com](mailto:makssmz@gmail.com)  
[zhilin95@inbox.ru](mailto:zhilin95@inbox.ru)  
[safari\\_2006@mail.ru](mailto:safari_2006@mail.ru)

Проанализированы погрешности определения координат абонента на местности при использовании сигналов базовых станций системы сотовой связи. Определение координат выполняется на основе триангуляционного метода. Указанные погрешности обусловлены нестабильностью частоты генераторов базовых станций. Получены аналитические соотношения, связывающие погрешность определения координат, взаимное положение абонента и базовых станций, нестабильность частоты генераторов. Выполнено численное моделирование, результаты которого определяют требования к стабильности частоты генераторов базовых станций для получения погрешности определения местоположения абонента не выше заданной.

**Ключевые слова:** определение координат, триангуляционный метод, базовая станция, генераторы сигналов, стабильность частоты, погрешность определения координат.

**Введение.** Современный этап развития инфокоммуникационных систем характеризуется постоянно растущим спросом на услуги точного определения координат на местности. Указанные услуги активно представлены на рынке совместно с услугами связи. Стремительно набирает спрос

UDC 621.39

**THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF  
FREQUENCY STABILITY OF BASE  
STATIONS OF CELLULAR  
COMMUNICATION SYSTEM  
GENERATORS ON THE LOCATION  
ACCURACY OF A SUBSCRIBER**

*V. V. Zhilin, S. S. Kaverin, M. A. Chefranov,  
A. A. Sheludko, O.A Safaryan*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[ronce08@mail.ru](mailto:ronce08@mail.ru)  
[sergey\\_kav995@mail.ru](mailto:sergey_kav995@mail.ru)  
[makssmz@gmail.com](mailto:makssmz@gmail.com)  
[zhilin95@inbox.ru](mailto:zhilin95@inbox.ru)  
[safari\\_2006@mail.ru](mailto:safari_2006@mail.ru)

The errors of determination of a subscriber location with the use of signals of cellular system base stations are analyzed in this article. Location is based on the triangulation method. These errors are due to instability of the frequency of generators of base stations. The analytical relationships between the accuracy of location, the relative position of a subscriber, base stations and frequency instability of generators are obtained. The numerical simulation is carried out. These results determine the requirements for frequency stability of generators of base stations for receiving the errors in location of a subscriber, which is not above the set value.

**Keywords:** coordinate determination, the triangulation method, base station, signal generators, frequency stability, error of coordinate determination.

и современный спутниковый мониторинг, разработанный для нужд авиации, морского флота, космических технологий, наземного транспорта, нуждающихся в привязке местоположения в реальном времени к пространственным данным. С помощью системы ГЛОНАСС можно планировать маршрут движения, благодаря одновременному осуществлению мониторинга пробега с реальным расходом горючего.

Мониторинг автотранспорта международных грузоперевозок по системе спутникового мониторинга позволяет не только отслеживать отклонение от маршрута, но и осуществлять голосовую связь с водителем, вести контроль окружающей обстановки и получать уведомления о расходе бензина. В ближайшее время планируется установка систем мониторинга за движением большегрузных автомобилей.

Система ГЛОНАСС-мониторинга, в случае возникновения незапланированной ситуации, отправляет SMS-сообщение по заданному направлению. На основе полученных данных формируется отчет, в котором указаны различные параметры: общий километраж, средняя и максимальная скорость, время в пути, количество заправок, отслеживаются необоснованные остановки или изменение маршрута автомобиля. Благодаря внедрению на предприятие системы мониторинга транспортных средств повышается безопасность перевозки ценных грузов, продлевается срок эксплуатации автотранспорта, повышается имидж компании из-за отсутствия сбоев в графике поставок.

**Постановка задачи.** Для тех, кто ищет более дешевый способ, широко распространена радиотехническая система, позволяющая определить координаты на местности. В частности, система сотовой связи, помимо своего прямого назначения, позволяет определить абонента на местности [1]. В настоящее время используются различные методы определения местоположения, которые обеспечивают, в зависимости от конфигурации взаимного положения абонента и базовых станций, различную точность. Наиболее высокая точность может быть обеспечена при использовании триангуляционного метода [2]. Однако вопросы влияния стабильности частоты генераторов на точность определения местоположения абонента практически не рассматривались.

Целью статьи является анализ взаимосвязи стабильности частоты генераторов и точности определения местоположения абонента на местности с использованием триангуляционного метода.

**Теоретическая часть.** Автоматическое определение местоположения в пределах сотовых сетей позволяет получить однозначную идентификацию положения владельца мобильного телефона на местности (электронной карте). Данная услуга основана на постоянном обмене сигналами между мобильным телефоном абонента и базовой станцией. На основе указанного обмена сигналами может быть определена разность времен прихода сигналов от трех базовых станций первой и второй —  $\Delta t_1$ , первой и третьей —  $\Delta t_2$  и второй и третьей —  $\Delta t_3$ , показанных на рис. 1.

Полученные значения разностей времен приема сигналов от базовых станций позволяют определить соответствующие разности расстояний  $\Delta R_1 = c \cdot \Delta t_1$ ,  $\Delta R_2 = c \cdot \Delta t_2$  и  $\Delta R_3 = c \cdot \Delta t_3$  ( $c$  — скорость распространения радиосигнала в атмосфере) относительно этих базовых станций, координаты которых на местности  $X_1, Y_1$ ,  $X_2, Y_2$  и  $X_3, Y_3$  являются известными.

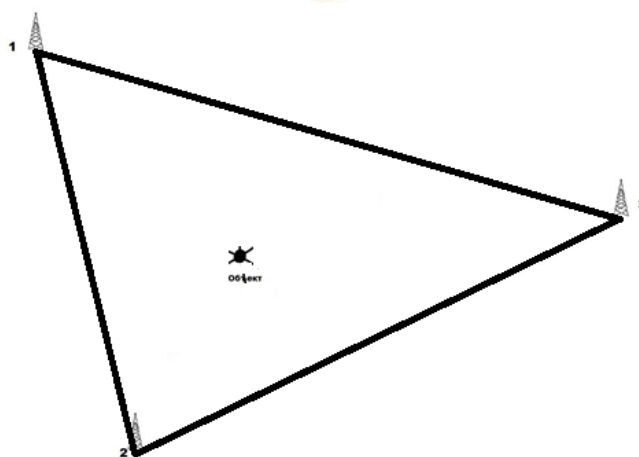


Рис. 1. Геометрическое представление взаимного положения абонента и базовых станций

После этого координаты положения абонента  $X, Y$  определяются из решения системы уравнений

$$\begin{cases} \Delta R_1 = \left| \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2} - \sqrt{(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2} \right|, \\ \Delta R_2 = \left| \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2} - \sqrt{(X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2} \right|, \\ \Delta R_3 = \left| \sqrt{(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2} - \sqrt{(X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2} \right|. \end{cases} \quad (1)$$

Каждому из уравнений на местности соответствует геометрическое место точек, являющееся гиперболой [2]. Пересечение трех гипербол, как показано на рис. 2, определяет местоположение абонента.

На основе преобразований с использованием первого и второго уравнений может быть записано следующее соотношение

$$\begin{aligned} 2X(X_2 - X_1) + 2Y(Y_2 - Y_1) = c^2(\Delta t_1)^2 + X_2^2 + Y_2^2 - X_1^2 - Y_1^2 + \\ + 2c\Delta t_1 \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

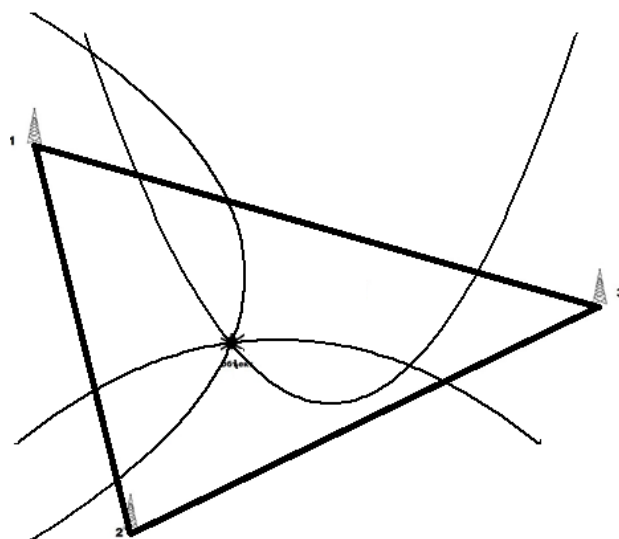


Рис. 2. Геометрическая иллюстрация местоопределения абонента на местности

На основе преобразований с использованием первого и второго уравнений может быть записано следующее соотношение

$$2X(X_2 - X_1) + 2Y(Y_2 - Y_1) = c^2(\Delta t_1)^2 + X_2^2 + Y_2^2 - X_1^2 - Y_1^2 + 2c\Delta t_1 \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2}. \quad (3)$$

Аналогичное соотношение может быть получено и на основе первого и третьего уравнений из (1)

$$2X(X_3 - X_1) + 2Y(Y_3 - Y_1) = c^2(\Delta t_2)^2 + X_3^2 + Y_3^2 - X_1^2 - Y_1^2 + 2c\Delta t_2 \sqrt{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2}. \quad (4)$$

Использование двух последних уравнений позволяет выразить переменные  $X$  и  $Y$  следующим образом

$$Y = \frac{c^2(\Delta t_2)^2 - c^2(\Delta t_1)^2 + X_3^2 + Y_3^2 - X_2^2 - Y_2^2}{2(Y_3 - Y_2)} - \frac{X(X_3 - X_1)}{(Y_3 - Y_2)}. \quad (5)$$

Подстановка соотношения (4) в третье уравнение системы (1) определяет координаты абонента на местности.

Однако, из-за нестабильности генераторов значения  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  и  $\Delta t_3$ , определяются с ошибками соответственно  $\delta t_1$ ,  $\delta t_2$  и  $\delta t_3$ . Это приводит к тому, что вместо линий, показанных на рис. 2, получаются полосы, ограниченные гиперболами. Ширина линий определяется величиной ошибки измерения соответствующего интервала времени. При этом вместо точного положения абонента на местности возникает область неопределенности, в которой находится указанный абонент. Размеры области пропорциональны ошибкам определения  $\delta t_1$ ,  $\delta t_2$  и  $\delta t_3$ , связанным с нестабильностями генераторов соответствующих базовых станций. Соответствующая геометрическая интерпретация показана на рис. 3.

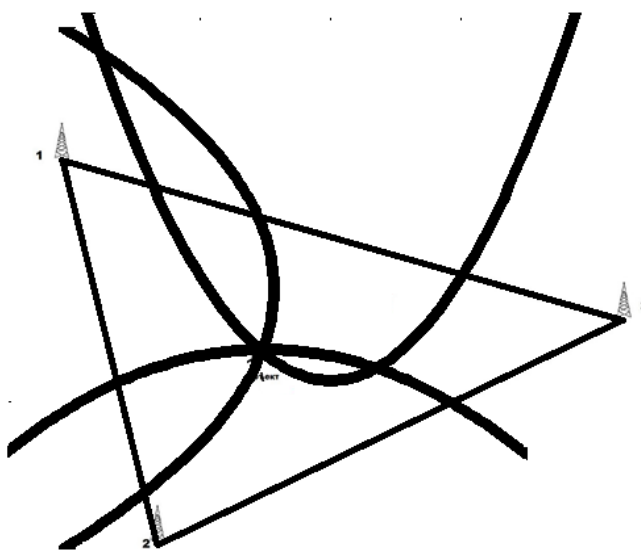


Рис. 3. Геометрическая иллюстрация определения области положения абонента на местности

Повышение стабильности частоты генераторов может быть обеспечено различными способами, включая и метод статистической стабилизации частоты [3–8]. Отмеченное повышение стабильности частоты генераторов позволяет уменьшить ошибки  $\delta t_1$ ,  $\delta t_2$  и  $\delta t_3$ , и, тем самым, уменьшить размеры области неопределенности, в которой находится абонент.

Результаты численных исследований взаимосвязи стабильности частоты генераторов сигналов базовых станций и точности определения абонента на местности приведены на рис. 4.

Различие влияния стабильности частоты генератора связано с различным взаимным положением абонента относительно базовой станции (БС).

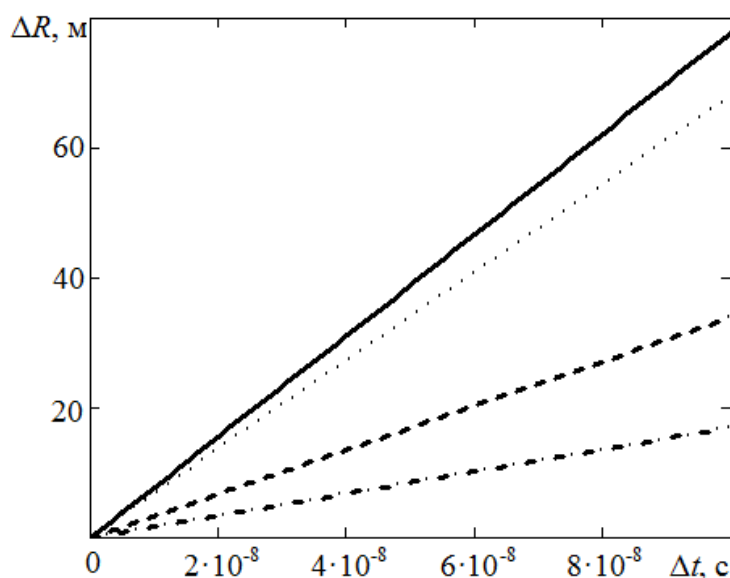


Рис. 4. Точность определения местоположения абонента в зависимости от стабильности частоты генератора БС: сплошная линия — всех БС; точечная линия — первой БС; штриховая линия — второй БС; штрих-пунктирная линия — третьей БС

**Заключение.** Проведен анализ качества предоставления услуги по определению положения абонента на местности с использованием сигналов БС системы сотовой связи. Результаты исследования показали взаимосвязь стабильности частоты формируемых сигналов БС и точности определения положения абонента. Составляющие ошибки определения положения абонента на местности определяются взаимным положением абонента и БС. Однако, при обеспечиваемых значениях частоты сигналов, формируемых генераторами БС, вклад каждой составляющей пропорционален нестабильности генератора соответствующей БС. Использование рассматриваемого способа определения положения на местности позволяет добиться точности определения не хуже 10 м при относительной нестабильности частоты генераторов  $10^{-8}$ . Стабильность частоты генераторов БС в современных системах сотовой связи составляет  $10^{-9}$ . Таким образом, генераторное оборудование современных БС позволяет обеспечить качественное

предоставление услуги определения положения абонента на местности с использованием систем сотовой связи.

### Библиографический список

1. Позиционирование [Электронный ресурс] // Мобильный форум. — Режим доступа : <http://www.mforum.ru/news/article/004157.htm> (дата обращения 12.05.2017).
2. Радиотехнические системы : Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; Под ред. Ю.М. Казаринова. — Москва : Высш. шк., 1990. — 496 с.
3. Габриэльян, Д. Д. Алгоритм оценки частот генераторов в системах телекоммуникаций / Д. Д. Габриэльян [и др.] // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. трудов Третьей Междунар. науч. конф. — г. Ростов-на-Дону. — 2010. — С. 29–32.
4. Сафарьян, О. А. Метод статистической стабилизации частоты независимо работающих генераторов в инфокоммуникационных системах : дис. канд. техн. наук / О. А. Сафарьян. — Ростов-на-Дону, 2014. — С.151.
5. Сафарьян, О. А. Алгоритм оценивания длительности временного интервала с использованием совокупности генераторов / О. А. Сафарьян, А. Ю. Сафарьян // Наука и образование в жизни современного общества : сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. — г. Ростов-на-Дону, 2012. — С. 136–138.
6. Сафарьян, О. А. Погрешность оценки частот генераторов в нестационарном случае при использовании статистического метода стабилизации частот / О. А. Сафарьян // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 4. — С.84.
7. Сафарьян, О. А. Метод оценки частоты генераторов в условиях непрогнозируемого изменения длительности интервала измерений / О. А. Сафарьян // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2014. — №4. — С. 142–149.
8. Сафарьян, О. А. Моделирование процесса стабилизации частоты генераторов в инфокоммуникационных системах / О. А. Сафарьян // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2016. — №4. — С. 150–154.