



УДК 621.396.969.11

Д. В. Богданов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

Практика применения беспроводной синхронизации шкал времени локальной системы позиционирования

Рассмотрено несколько сценариев беспроводной синхронизации шкал времени для перспективной локальной системы позиционирования. Предложен вариант устранения дрейфа частоты, возникающего при измерении координат объектов из-за неидентичности опорных генераторов.

Синхронизация, дрейф частоты, сверхширокополосные сигналы, стандарт частоты, система позиционирования

На современном этапе развития радиотехники крайне актуальной становится задача сверхточного определения местоположения потребителя. Подобная задача востребована не только в узкоспециализированных областях: геодезические измерения, самолетная и автомобильная навигация, где возможно обойтись существующими спутниковыми радионавигационными системами (СРНС), но и в сферах определения координат пользователя в закрытых пространствах, в карьерах, шахтах и других местах, где вышеупомянутая система бесполезна. Здесь на помощь могут прийти локальные системы позиционирования (ЛСП). Существующие системы [1], основанные на применении сигналов Wi-Fi и мобильных сетей, обеспечивают точность позиционирования порядка единиц метров, что недостаточно для определения местоположения объекта в помещении.

Задача еще больше усложняется из-за многолучевого распространения сигналов, затенения и прочих эффектов. Одним из перспективных путей обеспечения высокоточного позиционирования объектов в подобных условиях может стать использование сверхширокополосных (СШП) сигналов, обеспечивающих субметровую точность определения местоположения. Сверхширокополосными принято считать сигналы с относительной шириной полосы не менее 20...25 %, либо сигналы с абсолютной шириной полосы более 500 МГц [2]. Преимуществами СШП-технологии являются повышенная разрешающая способность за счет ис-

пользования сверхкоротких импульсов длительностью порядка 1 нс, устойчивость к многолучевым помехам, возможность работы при уровнях излучаемой мощности, не требующих лицензирования, высокая помехоустойчивость.

СШП-сигналы уже нашли свое применение во многих областях науки и техники, например в радиолокационных датчиках комплексов контроля доступа, системах геолокации, в дальномерах и высотомерах; интеллектуальных системах предотвращения столкновений; системах радиозрения, медицинских приложениях.

При развертывании сетевой радионавигационной системы позиционирования объектов первоочередным является вопрос синхронизации шкал времени потребителя с сетью опорных станций. Эта проблема легко решается с помощью проводных сетевых технологий, однако такое решение значительно сужает сферу применения, снижает мобильность и надежность системы в целом.

Для обеспечения точности позиционирования порядка единиц сантиметров погрешность измерения должна составлять не более 0.1 см, но даже при стабильности опорного генератора $\Delta t = 10^{-11}$ с, погрешность измерения положения составит $\Delta tc = 3 \cdot 10^{-3}$ м/с (c – скорость света).

Возможный подход к решению поставленной задачи состоит в применении высокостабильных атомных и рубидиевых стандартов частоты или систем хранения времени с синхронизацией со шкалой времени СРНС.

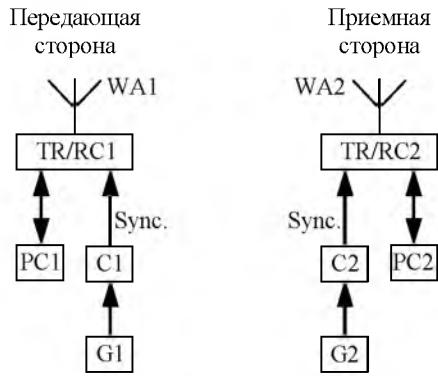


Рис. 1

Для оценки качественных показателей ЛСП на основе СШП-технологии был разработан макет, имитирующий одно плечо системы, структурная схема которой изображена на рис. 1, где TR/RC1, TR/RC2 – приемопередающие модули [3]; G1 и G2 – модули синхронизации; C1, C2 – компараторы, формирующие меандр из синусоидальных колебаний модулей; WA1 – рупорная антенна [4]; WA2 – ненаправленная антенна; PC1, PC2 – персональные компьютеры.

В качестве синхронизирующих устройств G1 и G2 на передающей и приемной сторонах соответственно использовались устройства, выпускаемые промышленностью: цезиевый атомно-лучевой стандарт частоты "Фианит" [5], многочастотная синхронизирующая аппаратура МСА [6], опорный синхронизирующий приемник ОСП-1 [7] и аналоговый генератор сигналов Agilent E4428C [8]. Значения стабильности частоты генераторов, заявленные производителями, сведены в табл. 1.

Таблица 1

Генератор/производитель	Стабильность частоты
МСА [6]	$\pm 2 \cdot 10^{-13}$ /сут
ОСП-1 [7]	$\pm 10^{-11}$ /сут
"Фианит" [5]	$\pm 10^{-13}$ /сут
AgilentE 4428C [8]	$\pm 10^{-7}$ /год (старение внутреннего опорного генератора)

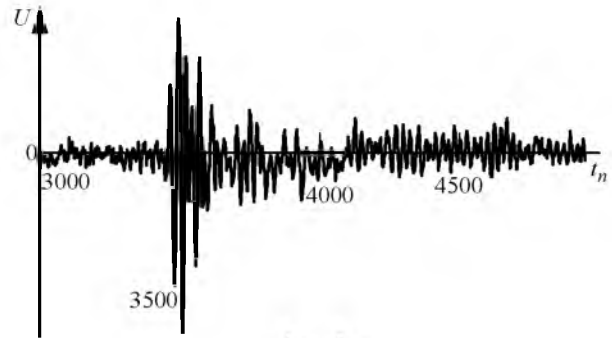


Рис. 2

Принимаемые сигналы записывались в информационный лог-файл по строкам. Первый элемент каждой строки файла содержит метку времени, затем идут отсчеты данных. Одиночная реализация принятого сигнала (одна строка файла), записанная в ходе измерений, показана на рис. 2 (t_n – дискретные временные отсчеты).

На приемной стороне в PC2 записывались осциллограммы принятого сигнала. На рис. 3 представлены две осциллограммы при неподвижных антеннах, снятые с интервалом $\Delta t = 20$ с. Максимальное значение на первой осциллограмме зафиксировано при временном отсчете $t_{n1} = 3472$, на второй осциллограмме – при $t_{n2} = 3584$. Согласно [3] один отсчет принятого сигнала имеет длительность $d = 26$ пс, поэтому дрейф частоты составит $(t_2 - t_1)d/\Delta t \approx 146$ пс/с.

Результаты оценки ухода частоты сигнала и оценка возможности когерентного накопления при различном сочетании устройств из табл. 1 сведены в табл. 2. Из нее следует, что когерентное накопление сигнала возможно реализовать при использовании модулей синхронизации МСА, ОСП-1 и "Фианит".

Накопление сигнала и коррекция дрейфа частоты. Для повышения качественных характеристик ЛСП разумно использовать широко приме-

Таблица 2

G1			G2			Дрейф принятого сигнала, нс/с	Возможность когерентного накопления
Изготовитель/тип генератора	Опорный генератор	Синхронизация со СРНС	Изготовитель/тип генератора	Опорный генератор	Синхронизация со СРНС		
МСА	Кварцевый	Без синхронизации	Agilent E4428C	Кварцевый	Без синхронизации	44	Нет
МСА	Кварцевый	С синхронизацией	Agilent E4428C	Кварцевый	Без синхронизации	43	Нет
МСА	Кварцевый	Без синхронизации	ОСП-1	Кварцевый	Без синхронизации	7.1	Нет
МСА	Кварцевый	С синхронизацией	"Фианит"	Цезиевый	Без синхронизации	0.1	Да
МСА	Кварцевый	С синхронизацией	ОСП-1	Кварцевый	С синхронизацией	Не фиксируется	Да

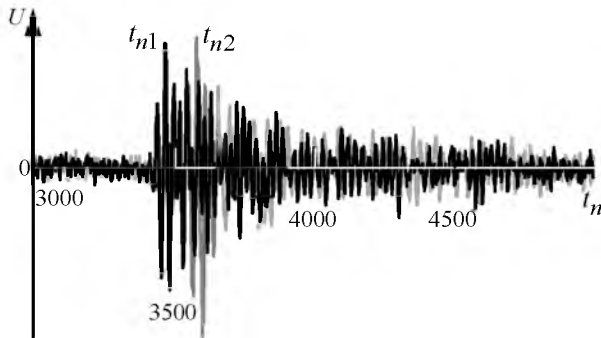


Рис. 3

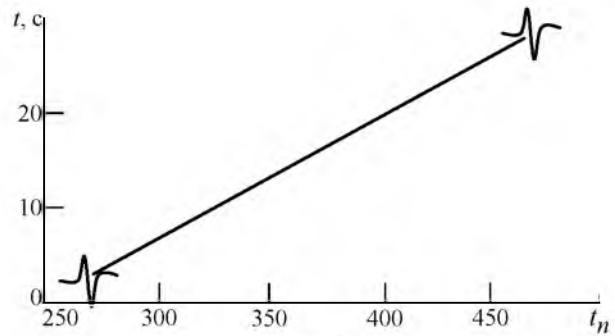


Рис. 5

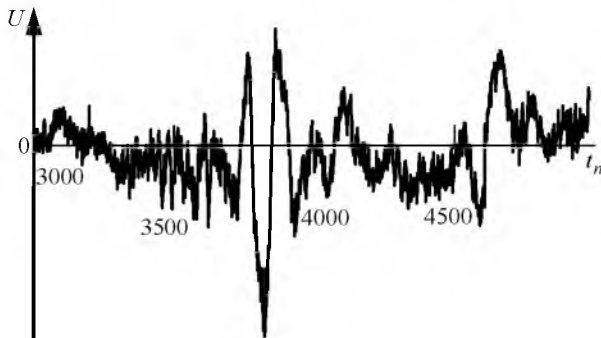


Рис. 4

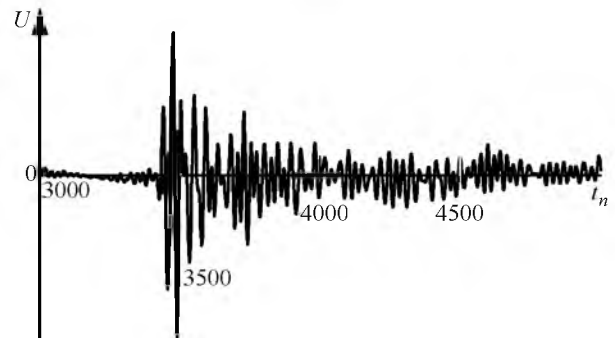


Рис. 6

няемое на практике когерентное или некогерентное накопление сигнала [9]. В первом случае потенциально возможно увеличить отношение "сигнал/шум" (ОСШ) на входе в \sqrt{N} раз, где N – количество реализаций сигналов (строк в лог-файле).

После накопления сигнала по всем строкам лога без учета дрейфа тонкая структура сигнала разрушается даже при времени наблюдения 30 с (рис. 4). Как следует из рисунка, в ходе такого накопления исчезает высокочастотное заполнение, тем самым ухудшается разрешающая способность и точность ЛСП в целом.

Для компенсации дрейфовой ошибки следует выделять тренд смещения и компенсировать его при дальнейшей обработке. Построен график смещения импульса от строки к строке лог-файла (рис. 5). Для этих данных тренд является линейной функцией с наклоном около +150 пс за секунду наблюдения.

Многочисленные повторные измерения подтверждают данную гипотезу, поэтому перед применением алгоритма когерентного накопления необходимо оценить время ухода.

В среде MATLAB разработан программный комплекс оценки и компенсации дрейфа с точностью до 1 пс/с, что позволило в течение времени наблюдения (около 30 с) провести когерентное накопление сигнала.

После обработки данных рис. 5 выявлен линейный уход частоты, равный 147 пс/с. После компенсации ошибки накопленный сигнал по всем строкам лог-файла имеет вид, представленный на рис. 6. Из этого рисунка следует, что после компенсации ухода сохранилась высокочастотная составляющая, что позволяет производить оценку как по одиночной реализации, так и по накопленному ансамблю.

При использовании рассмотренного метода компенсации линейного ухода частоты принимаемого сигнала выигрыш в ОСШ для рассмотренного примера составил 9 дБ. Оценка выигрыша проводилась расчетом разницы ОСШ для ситуаций, когда дрейф частоты не компенсирован и после компенсации дрейфа.

Натурный эксперимент показал возможность создания беспроводной системы позиционирования с использованием СШП-сигналов. При этом рекомендуется использовать в качестве модулей синхронизации ОСП-1 и "Фианит" или МСА и "Фианит". Для повышения качественных показателей обнаружения сигнала и оценки его параметров достаточно использовать устройство линейной компенсации дрейфа частоты, что позволяет перейти от работы по одиночному импульсу к когерентному накоплению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11: пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. 304 с.
2. Sahinoglu Z., Gezici S., Guvenc I. Ultra-wideband Positioning Systems. Theoretical Limits, Ranging Algorithms and Protocols. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 269 p.
3. Техническое описание Пикор-1. Версия 1 от 01.03.12 / ОАО «ФПК "Эстра"». М., 2012. 34 с.
4. URL: http://ledomer.ru/wp-content/uploads/2015/08/antrad6R_DS_3.0_en.pdf (дата обращения: 21.01.2017).
5. URL: [http://www.rirt.ru/files/Service_files/FIANIT_\(R\).pdf](http://www.rirt.ru/files/Service_files/FIANIT_(R).pdf) (дата обращения: 21.01.2017).
6. URL: <http://www.rirt.ru/files/pics/MSA.pdf> (дата обращения: 21.01.2017).
7. URL: [http://www.rirt.ru/files/Service_files/OSP-1_\(R\).pdf](http://www.rirt.ru/files/Service_files/OSP-1_(R).pdf) (дата обращения: 21.01.2017).
8. URL: http://www.eskomp.ru/agilent_e4428c.html (дата обращения: 21.01.2017).
9. Казаринов Ю. М., Коломенский Ю. А., Кутузов В. М. Радиотехнические системы. М.: Академия, 2008. 592 с.

Статья поступила в редакцию 15 января 2017 г.

Для цитирования: Богданов Д. В. Практика применения беспроводной синхронизации шкал времени локальной системы позиционирования // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2017. № 1. С. 45–48.

Богданов Денис Валерьевич – магистр по направлению "Радиотехника" (2012), ассистент кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор двух научных публикаций. Сфера научных интересов – спутниковая радионавигация, сверхширокополосная радиолокация и радиосвязь.
E-mail: bogd13@inbox.ru

D. V. Bogdanov
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

Practice in Application of Wireless Time Scales Synchronization of the Local Positioning System

Abstract. Several scenarios of wireless time scales synchronization for promising local positioning system are reviewed. A way to eliminate the frequency drift when measuring the object coordinates in the result of the reference generators nonidentity is proposed.

Key words: Synchronization, Frequency Drift, Ultra-Wide Band Signal, Frequency Standard, Positioning System

REFERENCES

1. Roshan P., Leary J. 802.11 Wireless LAN. Indianapolis, Circo Press, 2004, 295 p.
2. Sahinoglu Z., Gezici S., Guvenc I. Ultra-wideband Positioning Systems. Theoretical Limits, Ranging Algorithms and Protocols. Cambridge, Cambridge University Press, 2008, 269 p.
3. *Tekhnicheskoe opisanie Pikor-1. Versiya 1 ot 01.03.12.* ОАО «ФПК "Эстра"». Moscow, 2012, 34 p. (In Russian).
4. Available at: http://ledomer.ru/wp-content/uploads/2015/08/antrad6R_DS_3.0_en.pdf (accessed 21 January 2017).
5. Available at: [http://www.rirt.ru/files/Service_files/FIANIT_\(R\).pdf](http://www.rirt.ru/files/Service_files/FIANIT_(R).pdf) (accessed 21 January 2017).
6. Available at: <http://www.rirt.ru/files/pics/MSA.pdf> (accessed 21 January 2017).
7. Available at: [http://www.rirt.ru/files/Service_files/OSP-1_\(R\).pdf](http://www.rirt.ru/files/Service_files/OSP-1_(R).pdf) (accessed 21 January 2017).
8. Available at: http://www.eskomp.ru/agilent_e4428c.html (accessed 21 January 2017).
9. Kazarinov Yu. M., Kolomenskii Yu. A., Kutuzov V. M. *Radiotekhnicheskie sistemy* [Radio-technical systems]. Moscow, *Akademiya*, 2008, 592 p. (In Russian)

Received January, 15, 2017

For citation: Bogdanov D. V. Practice in Application of Wireless Time Scales Synchronization of the Local Positioning System. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika* [Journal of the Russian Universities. Radioelectronics]. 2017, no. 1, pp. 45–48. (In Russian)

Denis V. Bogdanov – Master's Degree in radio engineering (2012), the assistant of the department of Theoretical Basics of Radio Engineering of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of two scientific publications. Area of expertise: satellite radio navigation; ultra-wideband radar and radio communication.
E-mail: bogd13@inbox.ru