

РАДИОТЕХНИКА

Radioengineering

XXI век

12 2015

В номере:

РАДИОСИСТЕМЫ

Выпуск 197

Информационный конфликт
в спектре электромагнитных волн, № 31

Выпуск 197

Статистический синтез радиосистем, № 20



тел./факс: (495) 625-9241
e-mail: info@radiotec.ru
<http://www.radiotec.ru>

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 70775 В КАТАЛОГЕ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»: ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ

RADIOSYSTEMS: STATISTICAL SYNTHESIS OF RADIOSYSTEMS

(Journal in Journal. Editor-in-Chief – Dr. Sci. (Eng) A. I. Perov)

Methods of synthesis and algorithms of optimal signal processing in satellite navigation

GNSS signal reception characteristics in non-gaussian jammers environment
Efimenko V.S., Kharisov V.N., Voronchikhin D.N. 100

Analysis of signal processing algorithms in satellite navigation

Generalized geometrical factor in radionavigation systems with pseudosatellites
Perov A.I., Ustinov A.Yu. 110

Digital simulator of GPS signals
Kharisov V.N., Gavrilov A.I., Golovin P.M., Medvedev P.V., Pavlov V.S. 115

Comparative analysis of algorithms for tracking pilot component of the L1OC GLONASS signal
Perov A.I., Zakharova E.V. 122

Experimental study of search characteristics of navigation radio signals with BOC-modulation
Boldenkov E.N., Lipa I.V., Dneprov D.V. 128

Analysis of angular discriminator in one-stage GNSS-based attitude determination
Dneprov V.V., Korogodin I.V. 138

Efficiency analysis of joint tracking algorithms for the pilot component of L1OC GLONASS signal
Perov A.I., Ippolitov S.P. 146

MATHEMATICAL METHODS IN RADIO ENGINEERING

Linear blur
Bogoslovsky A.V., Bogoslovsky E.A., Zhigulina I.V., Vasilyev V.V., Ponomarev A.V. 153

OPTOELECTRONICS AND ACOUSTOELECTRONICS

Analysis of quality factor of collinear anisotropic diffraction of light on the elastic waves in LiNbO₃-crystals
Golubeva A.A., Ushakov N.M. 161

INFORMATION TECHNOLOGIES, RADIO ENGINEERING CIRCUITS AND CIRCUIT-ELEMENT BASE

Detection and localization of text shapes in images
Korennoi A.V., Yudakov D.S. 168

Radiotekhnika" (Radioengineering) is the leading scientific and technical journal in Russia. It covers wide spectrum of problems in priority areas of the development in communication, radar, navigation, and radioelectronics. Established in 1937.

Внимание!

Журнал «Радиотехника», начиная с № 10'2014, имеет полную английскую версию статей, с которой вы сможете ознакомиться (с июля 2015) на наших сайтах:

<http://www.radiotec.ru>

<http://www.radiotekhnika.com>

или заказать в редакции

Необходимую информацию Вы найдете на нашем сайте <http://www.radiotec.ru>

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-25036 от 12 июля 2006 г.

Сдано в набор 15.10.2015. Подписано в печать 26.11.2015. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».

Печ.л. 21,75. Тираж 600 экз. Изд. № 10.

ЗАО «Издательство «Радиотехника»: 107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6. Тел./факс: (7-495)625-92-41, (7-495)625-78-72.

E-mail: info@radiotec.ru

Дизайн и допечатная подготовка ООО «САЙНС-ПРЕСС».

Отпечатано в ФГУП Издательство «Известия» УД ПРФ. 127254, ул. Добролюбова, д. 6.

Контактные телефоны: 650-38-80. Заказ № 6.

ISSN 0033-8486

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015 г.

Незаконное тиражирование и перевод статей, включенных в журнал, в электронном и любом другом виде запрещено и карается административной и уголовной ответственностью по закону РФ «Об авторском праве и смежных правах»

Экспериментальное исследование характеристик поиска навигационных радиосигналов с модуляцией ВОС

© Авторы, 2015

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015

Е.Н. Болденков – к.т.н., доцент, кафедра радиотехнических систем,

«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

E-mail: boldenkoven@mail.ru

И.В. Липа – аспирант, кафедра радиотехнических систем, «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

E-mail: ivan1502@mail.ru

Д.В. Днепров – аспирант, кафедра радиотехнических систем, «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

E-mail: dneprov_dv@mail.ru

Приведены результаты экспериментального исследования характеристик поиска навигационного сигнала с модуляцией ВОС на примере ВОС(5, 2.5). Получены характеристики обнаружения для сигнала при использовании различных методов поиска сигналов с ВОС-модуляцией и при различной ширине зоны неопределенности.

Ключевые слова: спутниковые радионавигационные системы, алгоритмы поиска и обнаружения, аппаратура потребителей, модуляция на поднесущих частотах.

The experimental research results of acquisition algorithms of navigation signal with BOC-modulation are listed. Experimental research includes application of different acquisition methods and their comparison and research of acquisition algorithms performance for various sizes of signal's parameters uncertainty area.

Keywords: navigation systems, signal acquisition methods, user apparatus, BOC modulation, binary offset carrier.

В последние годы общемировой тенденцией является использование навигационных радиосигналов с модуляцией на поднесущих, обозначаемой ВОС(n, m) [1]. Данный тип сигналов позволяет снизить шумовую составляющую ошибки измерения псевдодальности и имеет ряд других положительных свойств. В то же время введение ВОС-модуляции в сигнал приводит к усложнению его обработки.

Существенной проблемой обработки ВОС-сигналов является поиск. Данный вопрос рассмотрен во многих зарубежных и отечественных изданиях, например [2–4]. Одним из вопросов разработки аппаратуры потребителей является обеспечение разумного соотношения между сложностью алгоритмов и качеством получаемых характеристик.

Ц е л ь р а б о т ы – рассмотрение результатов экспериментального исследования характеристик наиболее часто рекомендуемых алгоритмов.

Постановка задачи и общие положения

Характеристики поиска сигнала с модуляцией ВОС(n, m) зависят от его параметров – коэффициентов n , m и базовой частоты. Рассмотрим в качестве примера описанный в [1] сигнал с параметрами $n = 5$, $m = 2,5$ и базовой частотой 1,023 МГц, кратко обозначаемый ВОС(5; 2,5). Задачей поиска является принятие решения о наличии или отсутствии навигационного сигнала и оценка его параметров.

Известны различные методы поиска навигационных сигналов с модуляцией ВОС: direct, BPSK-like, BPSK-like-SOB, SSB, SCPC [2–4]. Методы отличаются между собой по сложности реализации и по характеристикам поиска. Дополнительным фактором, влияющим на характеристики блока поиска, является диапазон поиска по задержке. Рассмотрим зависимость характеристик поиска от типа алгоритма, а также влияние на характеристики зоны неопределенности по задержке.

В соответствии с теорией оптимальной обработки сигналов [5] навигационный приемник вычисляет корреляционные интегралы между принимаемым сигналом (1) и опорными сигналами (2), (3):

$$y(t) = Ah_{\text{ДК}}(t - \tau) \text{sign} \{ \sin [\Omega(t - \tau)] \} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + n(t), \quad (1)$$

$$S_{\text{ОП, I}} = Ah_{\text{ДК}}(t - \tau_{\text{ОП}}) \text{sign} \{ \sin [\Omega(t - \tau_{\text{ОП}})] \} \cos(\omega_{\text{ОП}} t), \quad (2)$$

$$S_{\text{ОП, Q}} = Ah_{\text{ДК}}(t - \tau_{\text{ОП}}) \text{sign} \{ \sin [\Omega(t - \tau_{\text{ОП}})] \} \sin(\omega_{\text{ОП}} t). \quad (3)$$

Частота, фаза и задержка сигнала неизвестны, но известны границы их интервалов неопределенности. Используется квадратурная схема приемника с разбиением диапазонов возможных значений частоты и задержки сигнала на конечное число дискретных значений. Для каждой комбинации частоты и задержки рассчитывается одна пара корреляционных интегралов для синфазной и квадратурной компонент при использовании методов SSB (рис. 4) или две пары для метода BPSK-like (рис. 3).

Далее рассчитывается огибающая R по формуле

$$R^2 = I^2 + Q^2. \tag{4}$$

Решение о наличии сигнала в принятой реализации принимается при выполнении условия $R^2 > h$, где h – порог обнаружения.

Квадратурные каналы ортогональны между собой в силу ортогональности опорных сигналов, а пары квадратурных каналов для «верхней» и «нижней» составляющих спектра взаимно ортогональны в силу разнесенности в спектральной области. Поэтому при сложении квадратов огибающих каждой пары каналов приемника результирующая величина будет распределена по закону хи-квадрат с двумя или четырьмя степенями свободы в зависимости от используемого метода поиска: для метода SSB плотность вероятности для решающего правила имеет распределение хи-квадрат с двумя степенями свободы, а для метода BPSK-like – распределение хи-квадрат с четырьмя степенями свободы.

Если математическое ожидание в каналах I и Q равно нулю (случай отсутствия сигнала в принимаемой реализации), то плотность вероятности описывается как

$$p_0(y) = \frac{1}{\sigma^n 2^{n/2} \Gamma(0,5n)} y^{n/2-1} e^{-y/2\sigma^2}, y \geq 0, \tag{5}$$

где $\Gamma(q) = (q-1)!$ ($q > 0$, q – целое число).

Если сигнал есть в наблюдениях и математическое ожидание не равно нулю, то плотность вероятности будет записываться как

$$p_1(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi y \sigma}} e^{-(y+m_x^2)/2\sigma^2} \operatorname{ch}\left(\frac{\sqrt{y} m_x}{\sigma^2}\right), y \geq 0, \tag{6}$$

вероятности ложной тревоги P_F и верного обнаружения P_D определяются как

$$P_F = \int_h^{+\infty} p_0(y) dy, \quad P_D = \int_h^{+\infty} p_1(y) dy. \tag{7, 8}$$

В спутниковой навигации принято использовать критерий Неймана–Пирсона, при котором фиксируется вероятность ложной тревоги и максимизируется вероятность верного обнаружения.

Формула (7) справедлива для задачи обнаружения, в то время как в данной статье рассматривается задача поиска. Задачу поиска можно рассмотреть как решение множества задач обнаружения во всех ячейках заданного диапазона. Диапазон поиска по задержке и частоте определяет число процедур обнаружения, в каждой из которых производится расчет корреляционных интегралов и сравнение огибающей R с порогом h . В соответствии с теоремой Бернулли вероятность ложной тревоги P_F на всем поле поиска связана с вероятностью ложной тревоги P'_F в отдельной процедуре обнаружения формулой

$$P'_F = 1 - (1 - P_F)^N, \tag{9}$$

где N – число ячеек поиска.

Таким образом, с увеличением поля поиска будет увеличиваться вероятность ложной тревоги. Для обеспечения заданной вероятности ложной тревоги с увеличением поля поиска необходимо увеличивать порог, что приводит к уменьшению вероятности верного обнаружения. Влияние данного фактора на характеристики проанализировано в [7], а в данной статье приведены результаты экспериментального исследования.

Описание методов поиска ВОС-сигналов

Особенности задачи поиска сигналов с ВОС(m, n)-модуляцией выявляются при сравнении с задачей поиска сигналов BPSK(n). Корреляционная функция (КФ) сигнала с ВОС-модуляцией имеет несколько пиков в отличие от КФ BPSK-сигнала (рис. 1), при этом главный пик корреляционной функции сигнала с

ВОС(m,n) при одной и той же скорости следования символов дальномерного кода (при равных n) оказывается уже пика корреляционной функции BPSK(n)-сигнала.

При поиске навигационных сигналов шаг поиска по задержке определяется шириной главного пика корреляционной функции. Для сигналов ВОС(m,n) сужение главного пика корреляционной функции вызывает необходимость уменьшения шага поиска по задержке. Это, в особенности для сигналов с большой частотой поднесущего колебания по сравнению с частотой дальномерного кода (например, в сигнале ВОС(5; 2,5)), приводит к увеличению числа ячеек поиска по задержке и существенно усложняет аппаратную реализацию.

Число пиков корреляционной функции ВОС-сигнала также возрастает при увеличении отношения частоты поднесущего колебания mf_b ($f_b = 1,023$ МГц) к частоте следования символов дальномерного кода nf_b . При этом различия в уровнях соседних пиков уменьшаются, что с учетом шумовой составляющей может привести к ошибочному определению главного пика корреляционной функции. Некоторые методы поиска [2, 3] позволяют не решать вопрос о неоднозначности корреляционного пика, вынося его за рамки задачи поиска. Корреляционная функция сигнала ВОС(5; 2,5) приведена на рис. 2

Рассматриваемые методы так или иначе позволяют свести сложность задачи поиска ВОС-сигналов к задаче поиска BPSK-сигналов и допускают возможность реализации в рамках одного аппаратного проекта путем переключения дополнительных блоков.

Метод поиска BPSK-like. В данном методе поиска сигнал с ВОС-модуляцией представляется в виде суммы двух BPSK-сигналов, смещенных в спектральной области на частоту поднесущей.

Благодаря такому представлению возможна обработка отдельно «верхней» и «нижней» частей спектра исходного сигнала. Структура блока поиска приведена на рис. 3. Корреляционная функция сигнала в каждом спектральном канале соответствует корреляционной функции сигнала BPSK(n), следовательно, шаг поиска по задержке будет таким же, как при поиске сигнала BPSK(n) и не будет уменьшаться при увеличении индекса m .

Метод поиска SSB. В данном методе поиска сигнал с ВОС(m,n)-модуляцией, аналогично методу BPSK-like, представляется в виде двух сигналов с модуляцией BPSK(n) (рис. 4). Отличие от метода BPSK-like состоит в том, что в данном методе используется либо только «верхняя», либо только «нижняя» спектральная составляющая. Данный метод ожидаемо проигрывает методу BPSK-like в энергетике из-за использования только одной из двух составляющих сигнала, но все же остается пригод-

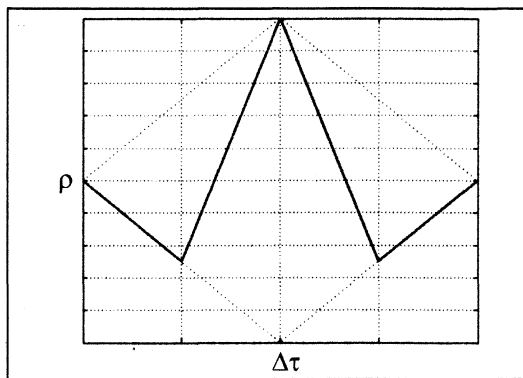


Рис. 1. Корреляционная функция сигналов с модуляцией BPSK(1) и ВОС(1,1)

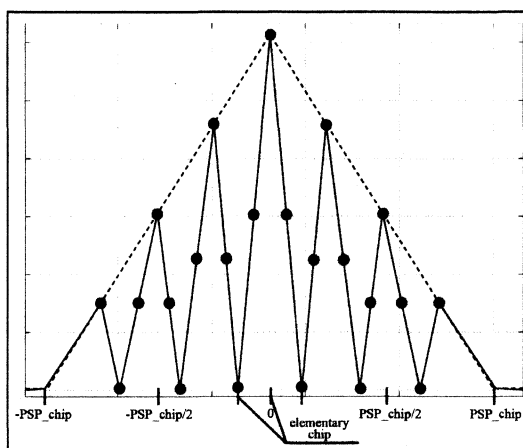


Рис. 2. Корреляционная функция сигналов с модуляцией BPSK(2,5) и ВОС(5, 2,5)

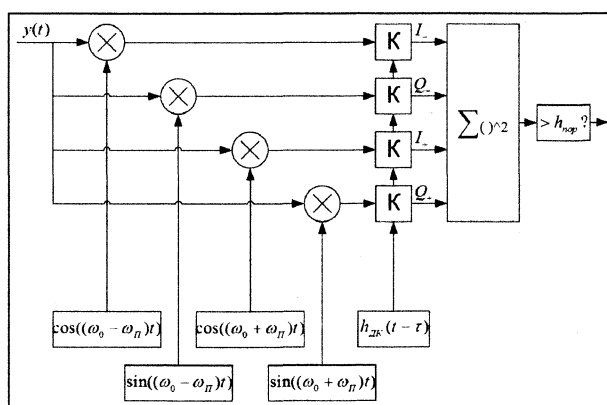


Рис. 3. Схема поиска методом BPSK-like

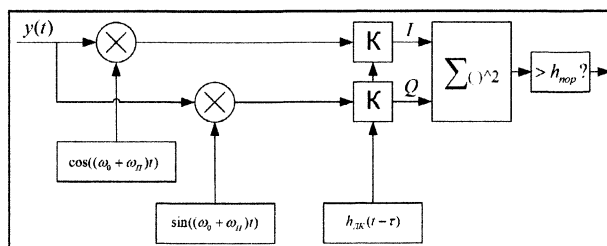


Рис. 4. Схема поиска методом SSB

ным для поиска сигналов с ВОС-модуляцией. Достоинством его является полная совместимость с блоком поиска стандартного сигнала BPSK.

Сравнение методов по аппаратным затратам

В описанных методах поиска используется различное число корреляторов и каналов обработки. Также различен шаг поиска по задержке и объем полей поиска.

Произведение числа корреляторов одного канала умноженное на число ячеек поля поиска показывает необходимое число корреляторов для полностью параллельного поиска.

Для сравнения методов друг с другом выразим отношение требуемого числа корреляторов каждого из методов для полностью параллельного поиска по задержке ВОС-сигналов к числу корреляторов, необходимому для параллельного поиска по задержке сигнала BPSK. Это отношение назовем «увеличением сложности» и обозначим как R .

Метод поиска BPSK(n) сигналов. Требуется два коррелятора на канал. Число каналов по задержке $N = T/\Delta\tau$, где $\Delta\tau = \tau_{\text{ПСП}}/2$ – шаг поиска. $\tau_{\text{ПСП}} = 1/(f_0 n)$ – длительность одного чипа ПСП, $f_0 = 1,023$ МГц. Таким образом, число корреляторов для параллельного поиска по задержке требуется $Nk = 2T \cdot 2f_0 n = 4Tf_0 n$

Метод BPSK-like. Требуется четыре коррелятора на канал. Число каналов по задержке $N = T/\Delta\tau$, где $\Delta\tau = \tau_{\text{ПСП}}/2$ – шаг поиска. $\tau_{\text{ПСП}} = 1/(f_0 n)$ – длительность одного чипа ПСП, $f_0 = 1,023$ МГц. Таким образом, число корреляторов для параллельного поиска по задержке требуется $Nk = 4T \cdot 2f_0 n = 8Tf_0 n$. Увеличение сложности по отношению к поиску BPSK(n) $R = 2$.

Метод SSB. Требуется два коррелятора на канал. Число каналов по задержке $N = T/\Delta\tau$, где $\Delta\tau = \tau_{\text{ПСП}}/2$ – шаг поиска. $\tau_{\text{ПСП}} = 1/(f_0 n)$ – длительность одного чипа ПСП, $f_0 = 1,023$ МГц. Таким образом, число корреляторов для параллельного поиска по задержке требуется $Nk = 2T \cdot 2f_0 n = 4Tf_0 n$. Увеличение сложности по отношению к поиску BPSK(n): $R = 1$.

Описание экспериментальной установки

Для получения экспериментальных характеристик обнаружения сигналов создан навигационный приемник.

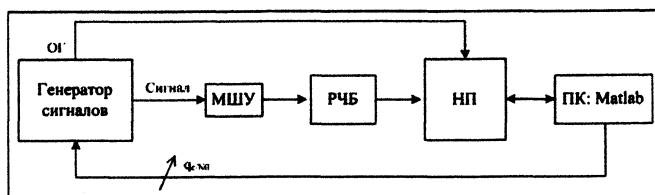


Рис. 5. Схема экспериментальной установки

В составе установки приемник подключен через МШУ к генератору сигналов Rohde&Schwartz SMBV100A. Для имитации сигналов BPSK и ВОС использовалась опция Custom Digital Modulation, позволяющая формировать произвольные сигналы с различными видами модуляции. Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. 5.

Управление установкой осуществляется с персонального компьютера через среду MatLab. Генератор сигналов R&S SMBV100A имеет возможность подключения к локальной сети и поддерживает команды управления из среды MatLab, что позволяет удаленно настраивать тип и параметры сигнала, модуляцию и выходное отношение сигнал/шум. Измерения с блока поиска навигационного приемника

также поступают на ПК и обрабатываются в среде MatLab.

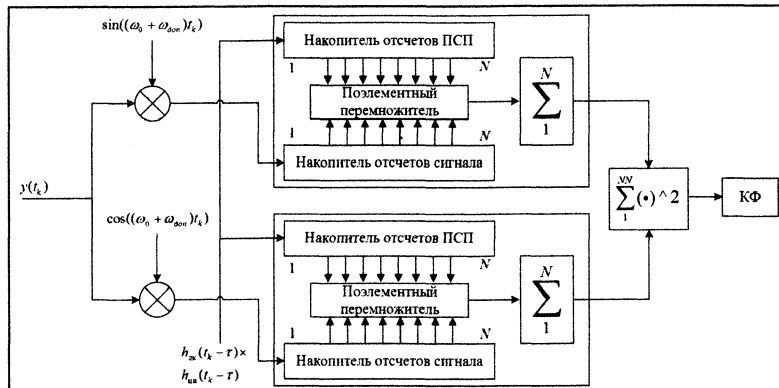


Рис. 6. Схема ядра блока поиска

Аппаратная часть. Блок поиска сигналов с возможностью перенастройки на различные методы поиска реализован на ПЛИС. Схема одного ядра блока поиска, эквивалентная двухканальному квадратурному обнаружителю, представлена на рис. 6.

При необходимости в реализации методов поиска, использующих более двух корреляторов, возможно подключение второго ядра блока поиска с по-

следующим суммированием результатов с обоих блоков. Схема с двумя ядрами и соответствующими опорными сигналами применяется в методе BPSK-like.

Программная часть. Программное обеспечение НП в связке с программой обработки результатов накопления сигнала, реализованной в среде MatLab, позволяет рассчитывать характеристики обнаружения сигнала при заданном отношении сигнал/шум. Блок поиска передает в программу-обработчик численный результат накопления сигнала на заданном интервале накопления. Для набора статистики, расчета порога обнаружения и вычисления характеристик обнаружения в программе предусмотрена возможность перезапуска блока поиска, изменения параметров поиска и удаленного изменения выходного отношения сигнал/шум генератора сигналов.

Обсуждение результатов эксперимента

Сравнение характеристик обнаружения при поиске различными методами приведено на рис. 7. Сплошная кривая представляет поиск обычного BPSK-сигнала со скоростью символов ПСП 2,5·1,023 МГц. Оставшиеся кривые соответствуют поиску сигнала BOC(5; 2,5). Чувствительность поиска методом BPSK-like и SSB в сравнении с поиском BPSK-сигнала оказывается хуже на 1,3 дБ и 3 дБ соответственно. Теоретически ожидаемое ухудшение характеристик для этих методов составляет 1 и 3 дБ соответственно.

Анализ влияния зоны неопределенности по задержке на статистические характеристики проведен для сигнала BOC(5; 2,5) методом BPSK-like с диапазоном поиска по задержке 2, 10, 100 мс. Число каналов поиска по частоте три; время накопления 2 мс; два некогерентных сложения. Результаты приведены на рис. 8.

По полученным зависимостям можно сделать вывод, что увеличение зоны поиска по задержке снижает характеристики поиска. При увеличении зоны поиска с 2 до 100 мс потери составили 0,8 дБ.

- Результаты эксперимента по использованию различных методов поиска сигналов BOC показали их применимость в аппаратуре потребителей, подтвердили ожидаемые потери в чувствительности поиска, связанные с зоной неопределенности по задержке, а также потери, связанные с индивидуальными особенностями рассмотренных методов реализации.

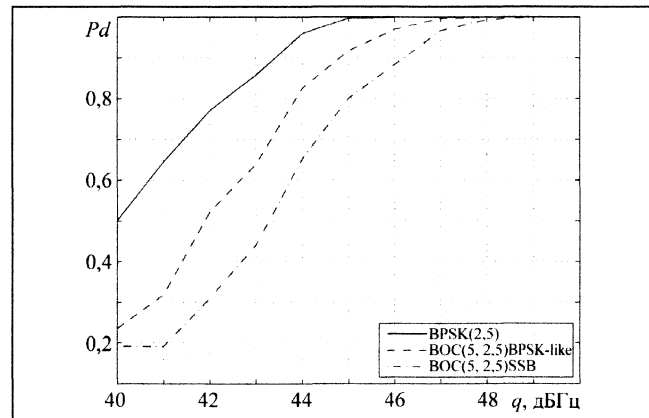


Рис. 7. Графики зависимости характеристики поиска от метода

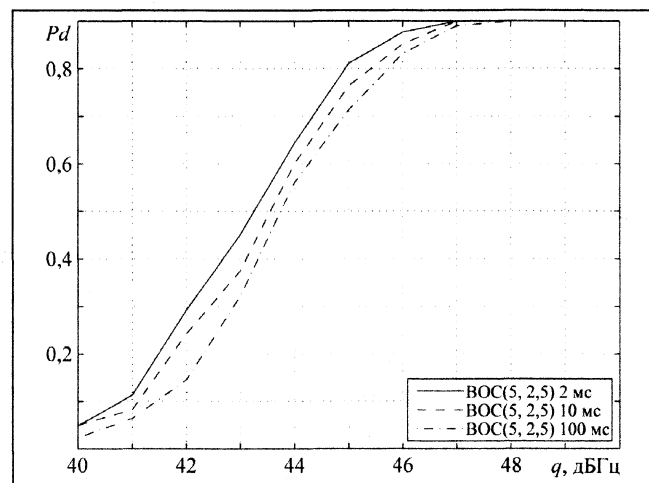


Рис. 8. Графики зависимости характеристики поиска от зоны неопределенности

Литература

1. Основы построения спутниковых радионавигационных систем. М.: Радиотехника. 2012. 240 с.
2. Martin N., Leblond V., Guilloey G., Heiries V. BOC(x,y) signal acquisition techniques and performances. ION 2003.
3. Heiries V., Roviras D., Ries L., Calmettes V. Analysis of Non Ambiguous BOC Signal Acquisition Performance. ION 2004.
4. Li Yang, Chen Jiapin, Li Zhenbo, Chen Nongji. A Second Order BPSK-like (SOB) Method for the Acquisition of BOC(1,1). ION 2007.
5. Статистическая теория радиотехнических систем. М. Радиотехника. 2003. 400 с.
6. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. Изд. 4-е / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника. 2010. 800 с.

7. *Липа И.В., Болденков Е.Н.* Анализ влияния априорной неопределенности частоты и задержки на характеристики поиска // Радиотехника. 2014. № 9. С. 125–128.

Поступила 27 июня 2015 г.

Experimental study of search characteristics of navigation radio signals with BOC-modulation

© Authors, 2015
© Radiotekhnika, 2015

E.N. Boldenkov – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Radio System Department, «National Research University «MPEI» (Moscow)

E-mail: boldenkoven@mail.ru

I.V. Lipa – Post-graduate Student, Radio System Department, «National Research University «MPEI» (Moscow)

E-mail: ivan1502@mail.ru

D.V. Dneprov – Post-graduate Student, Radio System Department, «National Research University «MPEI» (Moscow)

E-mail: dneprov_dv@mail.ru

New promising signals with BOC modulation are introduced as part of the GLONASS navigation system modernization. These signals would provide high positioning accuracy and reduce the impact of multipath signal propagation, especially important in urban areas. Usage of BOC-modulated signals results to the complication of signal processing methods or deterioration of certain characteristics of consumer equipment.

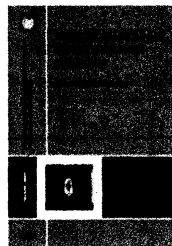
This article describes methods and probability characteristics of acquisition methods of BOC-signals. Several methods of BOC-signal acquisition are described. The influence of the uncertainty areas sizes on the search performance is examined. An experimental study of the suggested methods is held on full-featured navigation equipment. The results of investigations, recommendations on the appropriateness of the BOC search methods are described in the end of this article.

References

1. Osnovy' postroeniya sputnikovy'x radionavigaczionny'x sistem. M. Radiotekhnika. 2012. 240 s.
2. *Martin N., Leblond V., Guilloey G., Heiries V.* BOC(x,y) signal acquisition techniques and performances. ION 2003.
3. *Heiries V., Roviras D., Ries L., Calmettes V.* Analysis of Non Ambiguous BOC Signal Acquisition Performance. ION 2004.
4. *Li Yang, Chen Jiapin, Li Zhenbo, Chen Nongji.* A Second Order BPSK-like (SOB) Method for the Acquisition of BOC(1,1). ION 2007.
5. Statisticheskaya teoriya radiotekhnicheskix sistem. M. Radiotekhnika. 2003. 400 s.
6. GLONASS. Principy' postroeniya i funkczionirovaniya. Izd. 4-e / Pod red. *A.I. Perova, V.N. Xarisova.* M. Radiotekhnika. 2010. 800 s.
7. *Lipa I.V., Boldenkov E.N.* Analiz vliyaniya apriornoj neopredelennosti chastoty' i zaderzhki na karakteristiki poiska // Radiotekhnika. 2014. № 9. С. 125–128.

Уважаемые читатели!

В Издательстве «Радиотехника» Вы можете приобрести книгу



Грибков А.С.; Грибков В.С.; Громов А.Н.; Кириллов А.П.; Ковалёв С.В.; Моряков С.И.; Нестеров С.М.; Олейник В.М.; Скоков П.Н.; Скородумов И.А.

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изложены новые теоретические и экспериментальные результаты в области формирования двумерных радиолокационных изображений объектов. Рассмотрено оперативное изготовление макетов объектов и их элементов для экспериментальных исследований их радиолокационных характеристик. Большое внимание уделено точности и достоверности получаемых теоретических и экспериментальных результатов, основных факторов их определяющих.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов (адъюнктов), студентов (слушателей) старших курсов высших учебных заведений по радиотехническим специальностям, связанным с разработкой средств и систем радиолокации и радиоэлектронной борьбы.

По вопросам заказа и приобретения книг обращаться по адресу: 107031 г. Москва, Кузнецкий мост, 20/6

Тел./факс (495) 625-92-41, тел.: (495) 625-78-72, 621-48-37

Полный перечень книг, выпускаемых Издательством «Радиотехника», размещен на сайте

<http://www.radiotec.ru>; e-mail: info@radiotec.ru