

СИСТЕМЫ, СЕТИ И УСТРОЙСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.396

ОЦЕНКА ФАЗЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ

Б.И. Шахтарин, Ю.А. Сидоркина, А.А. Никифоров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: sidyulia5969@yandex.ru

Представлен метод оценки параметров сигнала систем передачи информации с расширенным спектром на базе алгоритма Delay and Multiply Approach и алгоритма на основе авторегрессионной модели сигнала. Рассмотрены свойства алгоритма Delay and Multiply Approach, проведено имитационное моделирование, показывающее эффект деградации корреляционных свойств псевдослучайной последовательности при его применении в трактах обработки систем передачи информации с расширенным спектром, а также даны результаты полунатурного моделирования предлагаемого авторами подхода оценки параметров широкополосных сигналов на основе алгоритма оценки фазы псевдослучайной последовательности с помощью алгоритма Delay and Multiply Approach, увеличения отношения сигнал/шум с использованием алгоритма итеративного вычисления автокорреляционной функции и оценки частоты на основе авторегрессионной модели.

Ключевые слова: оценка параметров, широкополосные сигналы, авторегрессионный анализ, Navstar GPS.

ESTIMATION OF THE PSEUDORANDOM SEQUENCE PHASE IN SPREAD SPECTRUM DATA-TRANSMISSION SYSTEMS

B.I. Shakhtarin, Yu.A. Sidorkina, A.A. Nikiforov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: sidyulia5969@yandex.ru

The article presents the method for estimating parameters of the spread spectrum data-transmission system based on both the Delay and Multiply Approach algorithm and the algorithm with an autoregressive model of the signal. Characteristics of the Delay and Multiply Approach algorithm were analyzed. Simulation of the approach results in the degradation effect of the pseudorandom sequence correlation if the approach is used for processing the channels of the spread spectrum data transmission systems. The article also presents the results of a hardware-in-the-loop simulation of the approach proposed by the authors for estimating the pseudorandom sequence phase with the help of the Delay and Multiply Approach algorithm while increasing a signal-noise ratio using an iterative algorithm for both autocorrelation function calculation and frequency estimation on the basis of the autoregressive model.

Keywords: parameters estimation, spread spectrum signals, autoregressive analysis, Navstar GPS.

Введение. Большое количество современных систем являются беспроводными. Простота развертывания, мобильность, относительно низкая стоимость — основные преимущества беспроводных систем.

Технологии беспроводной связи глубоко проникли во все сферы жизни общества: обеспечение безопасности с помощью RFID-датчиков; предоставление доступа в Интернет (технологии 3G, Wi-Fi); сотовая связь (технологии GSM, CDMA, DAMPS). Некоторые из этих систем строятся на основе методики расширения спектра, которая удовлетворяет современным требованиям к мощности сигнала, а также к безопасности передаваемых данных. В основе таких систем лежат широкополосные (шумоподобные) сигналы (ШПС). Применение ШПС ставит ряд специфических задач по обработке информации, обусловленных их особенностями. Такие свойства систем передачи информации с расширенным спектром (СПИ с РС), как высокая помехозащищенность, одновременная работа многих абонентов в общей полосе, возможность эффективно бороться с многолучевым распространением радиоволн, электромагнитная совместимость с узкополосными системами связи, и, как следствие, эффективное использование спектра частот, выгодно отличает этот класс систем от класса узкополосных систем, при этом происходит усложнение методов обработки информации.

Для успешной оценки параметров ШПС в приемном устройстве СПИ с РС необходимо вести перебор в двумерной области неопределенности фаза — частота псевдослучайной последовательности (ПСП), что, безусловно, увеличивает вычислительные затраты. Например, для стационарного приемника системы передачи сигналов с ШПС Navstar GPS область неопределенности по частоте лежит в диапазоне значений ± 5 кГц [1]. При шаге 1 кГц необходимо рассмотреть 11 частотных ячеек и в каждой провести перебор по фазе ПСП.

В настоящей работе рассмотрен алгоритм Delay and Multiply Approach (DMA), предложенный американскими учеными Дж. Цуем (James Tsui) и Д. Лином (David Lin), применительно к задаче оценки фазы ПСП [2, 3]. Указанный алгоритм позволяет свести задачу перебора в двумерной области неопределенности к перебору только по фазе ПСП. Вместе с тем, в оригинальном алгоритме оценку частоты предложено осуществлять классическим параллельным коррелятором. В данной работе оценка частоты будет выполнена на основе развиваемого авторами алгоритма с использованием авторегрессионной модели. В конце статьи приведены результаты полунатурного моделирования на реальном сигнале системы Navstar GPS.

Задача оценки параметров в системах передачи информации с расширенным спектром. Объект исследования — СПИ с РС. Используемая ПСП представляет собой код Голда. Основные свойства ПСП перечислены ниже [4].

1. Сбалансированность — для любого интервала число символов 0 и 1 должно отличаться не более чем на единицу.

2. Цикличность (цикл — последовательность, состоящая из одинаковых символов). Желательно, чтобы в каждом фрагменте последовательности половину составляли циклы обоих символов длиной 1, четверть длиной 2 и т.д.
3. Корреляция. Желательно, чтобы число совпадений части последовательности и ее сдвинутой копии отличалось от числа несовпадений не более чем на единицу.

Несущее колебание частотой ω_0 модулируется данными $d(t)$, а также высокоскоростной ПСП $g(t)$, полученной методом “прямой последовательности”. В СПИ Navstar GPS осуществляется двоичная фазовая модуляция (ДФМ, или 2-ФМ), следовательно, $d(t)$ и $g(t)$ — потоки антиподных импульсов $\{-1, 1\}$. Таким образом, сигнал на выходе модулятора может быть представлен [1, 2] в виде $s(t) = Ad(t)g(t) \cos(\omega_0 t)$, где A — амплитуда несущей частоты.

В реальных СПИ сигнал на приемник поступает одновременно от нескольких источников, присутствует неопределенность по частоте, а также шум. При моделировании принималось, что шум аддитивный, белый гауссовский (АБГШ). В приемнике после оцифровки сигнала получаем смесь

$$x(m) = \sum_{k=1}^N (A_k g_k(m + \tau_k) \exp[j(\tilde{\omega}_k m + \varphi_k(m))]) + n(m), \quad (1)$$

где k — относительный номер источника сигнала; N — число доступных источников сигнала в зоне приема, модулированных ПСП одного семейства; m — индекс, соответствующий времени; $\tilde{\omega}_k$ — промежуточная частота; τ_k — задержка модулирующей ПСП в точке приема; $\varphi_k(m)$ — случайная начальная фаза, учитывающая доплеровское смещение частоты; $n(m)$ — АБГШ.

Следует отметить, что при оценке параметров сигнала с номером k сигналы $\{n \neq k, n \in [1, N]\}$ являются помехами в той же спектральной области.

В задачу оценки параметров СПИ с РС входит оценка фазы ПСП τ_k и промежуточной частоты $\tilde{\omega}_k$. Методика оценки промежуточной частоты $\tilde{\omega}_k$ была предложена в работе [5] при условии уже полученной оценки τ_k .

Алгоритм Delay and Multiply Approach. Особенностью этого алгоритма является то, что он позволяет свести перебор в двумерной области неопределенности (промежуточная частота, фаза ПСП) к перебору только по фазе ПСП.

Пусть входная смесь представлена выражением (1), а число источников N равно двум. Тогда выражение (1) можно переписать в виде

$$x(m) = A_1 g_1(m - \tau_1) \exp[j(\tilde{\omega}_1 m + \varphi_1(m))] + \\ + A_2 g_2(m - \tau_2) \exp[j(\tilde{\omega}_2 m + \varphi_2(m))] + n(m). \quad (2)$$

Следуя алгоритму DMA, необходимо умножить сигнал на задержанную копию:

$$xx(m) = x(m)x(m - \tau)^*, \quad (3)$$

где $*$ — операция комплексного сопряжения; τ — задержка между копиями сигнала.

Запишем $xx(m)$ в виде суммы $xx(m) = xx_{sig}(m) + xx_{intf}(m) + xx_{noise}(m)$. Здесь $xx_{sig}(m)$ — компонента, содержащая сигнал; $xx_{intf}(m)$ — интерференционная помеха; $xx_{noise}(m)$ — шумовая компонента.

Подставляя (2) в (3), получаем выражение

$$xx(m) = [A_1 g_1(m - \tau_1) \exp[j(\tilde{\omega}_1 m + \varphi_1(m))] + \\ + A_2 g_2(m - \tau_2) \exp[j(\tilde{\omega}_2 m + \varphi_2(m))] + n(m)] + \\ + [A_1 g_1(m - \tau_1 - \tau) \exp[j(\tilde{\omega}_1(m - \tau) + \varphi_1(m - \tau))] + \\ + A_2 g_2(m - \tau_2 - \tau) \exp[j(\tilde{\omega}_2(m - \tau) + \varphi_2(m - \tau))] + n(m - \tau)]^*. \quad (4)$$

В выражении (4) полезным слагаемым является слагаемое $xx_{sig}(m) = A_1^2 g_{11}(m) \exp[j(\tilde{\omega}_1 \tau + \varphi_1(m) - \varphi_1(m - \tau))]$, где $g_{11}(m)$ — новая ПСП (структура новых ПСП поясняется далее). Следует отметить, что рассматривается стационарный приемник данных, поэтому изменением фазы можно пренебречь, таким образом, $\varphi_1(m) - \varphi_1(m - \tau) = 0$.

Интерференционные помехи, не содержащие полезный сигнал, представлены как

$$xx_{intf}(m) = A_{12} g_{12}(m) \exp[j(\tilde{\omega}_1 m - \tilde{\omega}_2(m - \tau) + \varphi_{12}(m))] + \\ + A_{12} g_{21}(m) \exp[j(\tilde{\omega}_2 m - \tilde{\omega}_1(m - \tau) + \varphi_{21}(m))] + \\ + A_{22} g_{22}(m) \exp[j(\tilde{\omega}_2 \tau + \varphi_2(m) - \varphi_2(m - \tau))], \quad (5)$$

где $A_{12} = A_1 A_2$; $g_{12}(m) = g_1(m - \tau_1) g_2(m - \tau_2 - \tau)$; $g_{21}(m) = g_2(m - \tau_2) g_1(m - \tau_1 - \tau)$; $g_{22}(m)$ — новая ПСП для источника сигнала; $\varphi_{12}(m) = \varphi_1(m) - \varphi_2(m - \tau)$ и $\varphi_{21}(m) = \varphi_2(m) - \varphi_1(m - \tau)$.

В (4) также присутствуют новые шумовые компоненты

$$xx_{noise}(m) = A_1 g_1(m - \tau_1) \exp[j(\tilde{\omega}_1 m + \varphi_1(m))] n(m - \tau)^* + \\ + A_2 g_2(m - \tau_2) \exp[j(\tilde{\omega}_2 m + \varphi_2(m))] n(m - \tau)^* + \\ + n(m) A_1 g_1(m - \tau_1 - \tau) \exp(j(\tilde{\omega}_1(m - \tau) + \varphi_1(m - \tau)))^* + \\ + n(m) A_2 g_2(m - \tau_2 - \tau) \exp(j(\tilde{\omega}_2(m - \tau) + \varphi_2(m - \tau)))^* + \\ + n(m) n(m - \tau)^*.$$

В оригинальном аппаратном решении, основанном на микросхеме приема необработанного сигнала СНС Navstar GPS MAX2769 от компании Maxim Semiconductor, сигнал принимается со скоростью 16,368 МГц при исходной чиповой скорости 1,023 МГц. Таким образом, каждый чип представлен 16 импульсами, а вся последовательность имеет длину 16 368 импульса при исходной длине 1 023 импульса. Фазы ПСП τ_1 и τ_2 в момент оценки параметров принимаемого сигнала неизвестны.

Следует отметить важное свойство последовательностей Голда — последовательность, полученная при умножении последовательности Голда на свою сдвинутую версию, будет принадлежать тому же семейству, что и исходная последовательность Голда [2]. Для рассматриваемого примера это свойство будет сохраняться, когда фазы ПСП τ_1 и τ_2 выровнены на длину чипа. Если последовательности не выровнены, свойство сбалансированности нарушается и, как следствие, конечная последовательность не будет обладать свойствами исходной последовательности Голда.

Рассмотрим спектральную плотность мощности (СПМ) смеси $xx(m)$ при отсутствии шума ($n(m) = 0$) и при $\tau = 16$. Для анализа растекания спектра за пределы ширины центрального лепестка было принято $\tau_1 = 0$ и $\tau_2 = 24$. В этом случае 24 — это не кратное смещение, оно на 8 больше кратного значения 16, тогда при операции умножения свойство сбалансированности нарушается.

Согласно рис. 1, б — СПМ интерференции шире, чем границы ширины лепестка СПМ ПСП (кривая 1 на рис. 1, а). В то же время СПМ полезного сигнала находится в пределах лепестка СПМ ПСП (рис. 1, в).

При условии выровненных фаз форма СПМ сохраняется (рис. 1, з–е). Для моделирования были взяты значения смещений $\tau_1 = 0$ и $\tau_2 = 16$. СПМ интерференционной помехи $xx_{intf}(m)$ сохраняется в пределах ширины основного лепестка ПСП, как и у исходных ПСП. Данный эффект достигается за счет ранее описанного свойства — произведение двух выровненных ПСП представляет собой новую ПСП. Данная ПСП обладает такими же корреляционными свойствами, как и исходная.

Важно отметить, что авторы работают с сигналом СПИ Navstar GPS. Уровень отношения сигнал/шум (ОСШ) в этой системе примерно –27 дБ [5], следовательно, интерференционная помеха будет находиться “ниже” уровня шума и может быть проигнорирована.

Взаимная корреляция между сигналами в смеси. Интересен следующий вопрос: насколько взаимно коррелируют слагаемые сигнала в СПМ $xx(m)$ и при каком энергетическом соотношении корреляция позволяет выделить слабое слагаемое на фоне сильного в смеси?

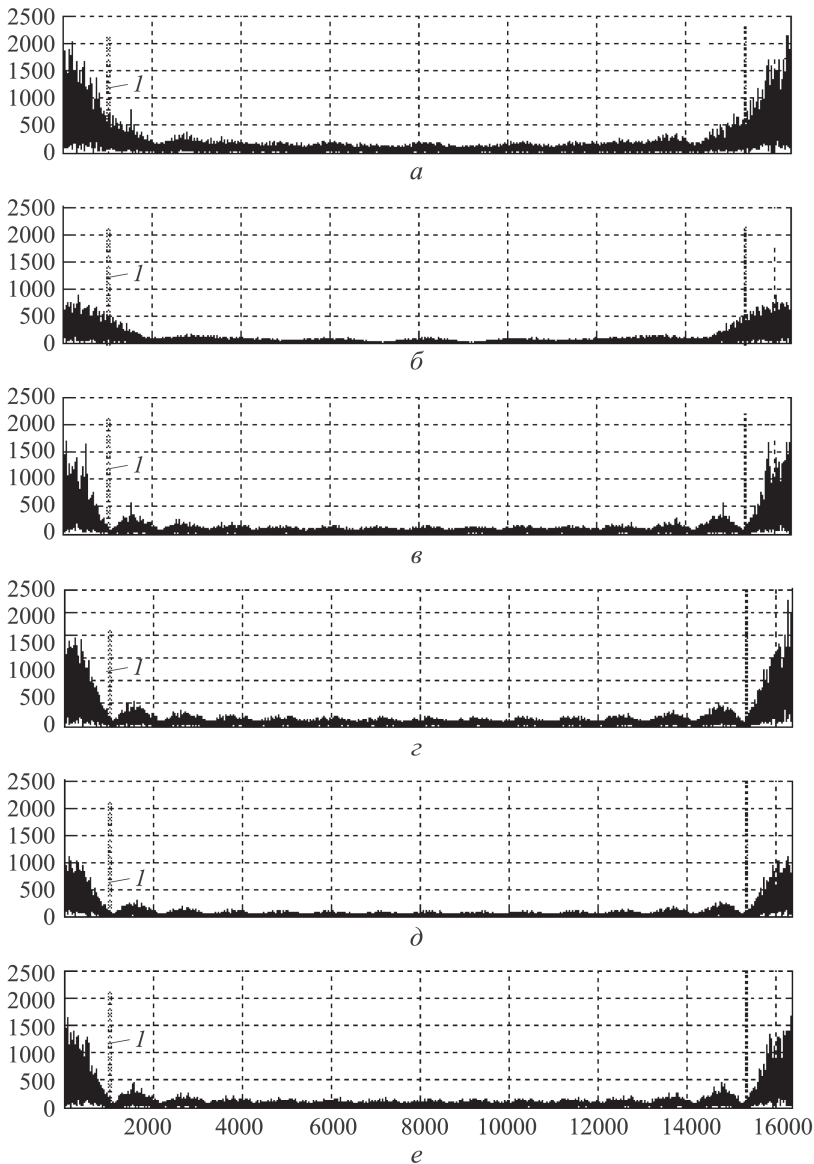


Рис. 1. СПМ $xx(m)$ (а), $xx_{intf}(m)$ (б), $xx_{sig}(m)$ (в) и СПМ $xx(m)$ (г), $xx_{intf}(m)$ (д) и $xx_{sig}(m)$ (е) при условии выровненных фаз:
 I — граница 1,023 МГц

В выражении (2) примем $n(m) = 0$, величина A_2 — переменная от 1 (максимального значения) до 0, $\tau_1 = 0$ и величина τ_2 распределена равномерно между 0 и 16 368. Вероятность правильного детектирования оценивалась как вероятность правильной оценки фазы ПСП.

Согласно рис. 2, существует возможность даже при наличии доминирующего сигнала успешно оценить фазу ПСП τ_2 . В работе [1] показано, что надежным порогом детектирования является граница 7 дБ, что соответствует вероятности детектирования 1/2 и вероятности лож-

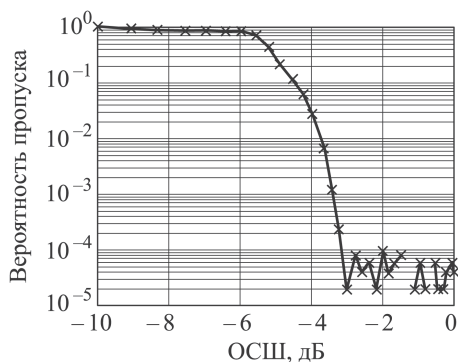


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки оценки фазы ПСП g_2 от ОСШ

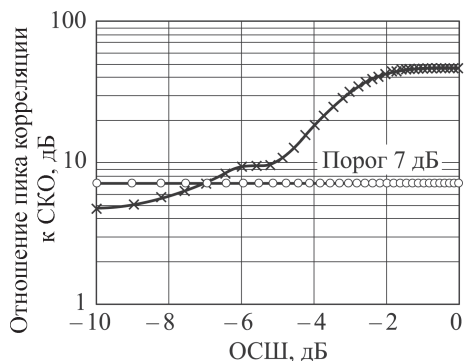


Рис. 3. Зависимость отношения пика корреляции к СКО от ОСШ

ной тревоги 10^{-4} . Моделирование проводилось в условиях, сходных с условиями, рассмотренными выше. Отношение пика корреляции к СКО в зависимости от ОСШ представлено на рис. 3. Превышение этого порога достигается уже при -3 дБ относительно другого сигнала, также отношение -3 дБ относительно другого сигнала позволяет получить оценку фазы ПСП τ_2 .

Полунатурное моделирование. Полунатурное моделирование проводилось с данными, собранными итальянским ученым М. Боваро (Michele Bavaro) [6]. Представленный файл с данными оцифрован с частотой $5,456$ МГц, промежуточная частота источников сигнала без учета доплеровского смещения — $4,092$ МГц [7]. В качестве алгоритма оценки фазы ПСП использовался рассмотренный алгоритм DMA, оценка частоты проводилась с помощью алгоритма, основанного на применении авторегрессионной модели [5]. Полученная оценка подавалась на модуль фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и проверялось вхождение в синхронизм. В качестве модуля ФАПЧ применялась схема Костаса. В этом случае под синхронизмом понимается правильно демодулированная информационная последовательность на выходе ФАПЧ.

Задача полунатурного моделирования — проверка возможности применения предлагаемого подхода к оценке параметров сигнала СПИ с РС. Для определения наличия источников сигнала был применен классический параллельный коррелятор с шагом по частоте 1 кГц и диапазоном 5 кГц [1, 2]. Указанный диапазон обусловлен максимальным доплеровским смещением для стационарного приемника в СПИ Navstar GPS [1, 2]. Результат работы классического коррелятора представлен на рис. 4. Взято 2000 отсчетов сигнала, смещение выбрано произвольно.

Согласно рис. 4, в явном виде присутствуют четыре источника сигнала: 1; 29; 30; 31. Оценим параметры СПИ с ШПС для перечисленных источников сигнала.

Для увеличения ОСШ в алгоритме DMA использовалось когерентное накопление сигнала. В настоящем эксперименте ОСШ был повышен за счет когерентного накопления на 4,77 дБ.

В алгоритме на основе авторегрессионного метода [5] для повышения спектрального разрешения при оценке автокорреляционной функции путем дискретного преобразования Фурье (ДПФ) анализируемая последовательность, соответствующая 1 мс

данных, была дополнена блоком нулей. Длина блока может варьироваться в зависимости от входного ОСШ. Для оценки параметров СПИ Navstar GPS длина блока составляет три блока анализируемых данных.

В качестве модуля ФАПЧ взята реализация схемы Костаса американского ученого Д. Акоса (Dennis M. Akos) [8]. Параметры ФАПЧ: коэффициент демпфирования $\zeta = 0,7$; шумовая полоса $B_L = 40$ Гц.

Рассмотрим источник сигнала 1 (рис. 5, а, б). Оценка частоты, полученная параллельным коррелятором, 4,093 МГц, оценка, определенная алгоритмом на основе авторегрессионного метода, 4 093 378,19 МГц. Система вошла в синхронизм и данные могут быть успешно демодулированы.

Рассмотрим источник сигнала 29 (рис. 5, в, г). Оценка частоты, полученная параллельным коррелятором, 4,090 МГц, оценка, определенная алгоритмом на основе авторегрессионного метода, 4 089 793,94 МГц. Система вошла в синхронизм и данные могут быть успешно демодулированы.

Рассмотрим источник сигнала 30 (рис. 5, д, е). Оценка частоты, полученная параллельным коррелятором, 4,090 МГц, оценка, определенная алгоритмом на основе авторегрессионного метода, 4 089 848,47 МГц. Система вошла в синхронизм и данные могут быть успешно демодулированы.

Рассмотрим источник сигнала 31 (рис. 5, ж, з). Оценка частоты, полученная параллельным коррелятором, 4,090 МГц, оценка, определенная алгоритмом на основе авторегрессионного метода, 4 090 079,16 МГц. Система вошла в синхронизм и данные также могут быть успешно демодулированы.

Параметры сигнала источника 21, который тоже имеет достаточно высокую энергию, не смогли быть правильно оценены (рис. 5, и, к).

Выводы. В настоящей статье рассмотрен алгоритм DAM. Показана возможность получения оценки фазы даже при наличии сильной интерференции. Рассмотрены свойства ПСП на выходе алгорит-

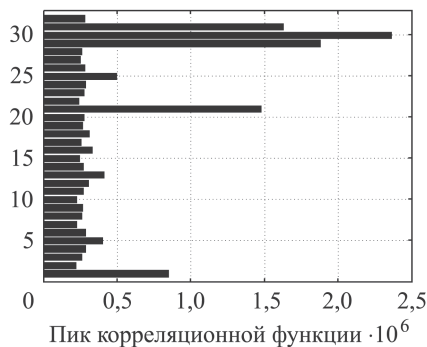


Рис. 4. Соотношение энергий источников сигнала

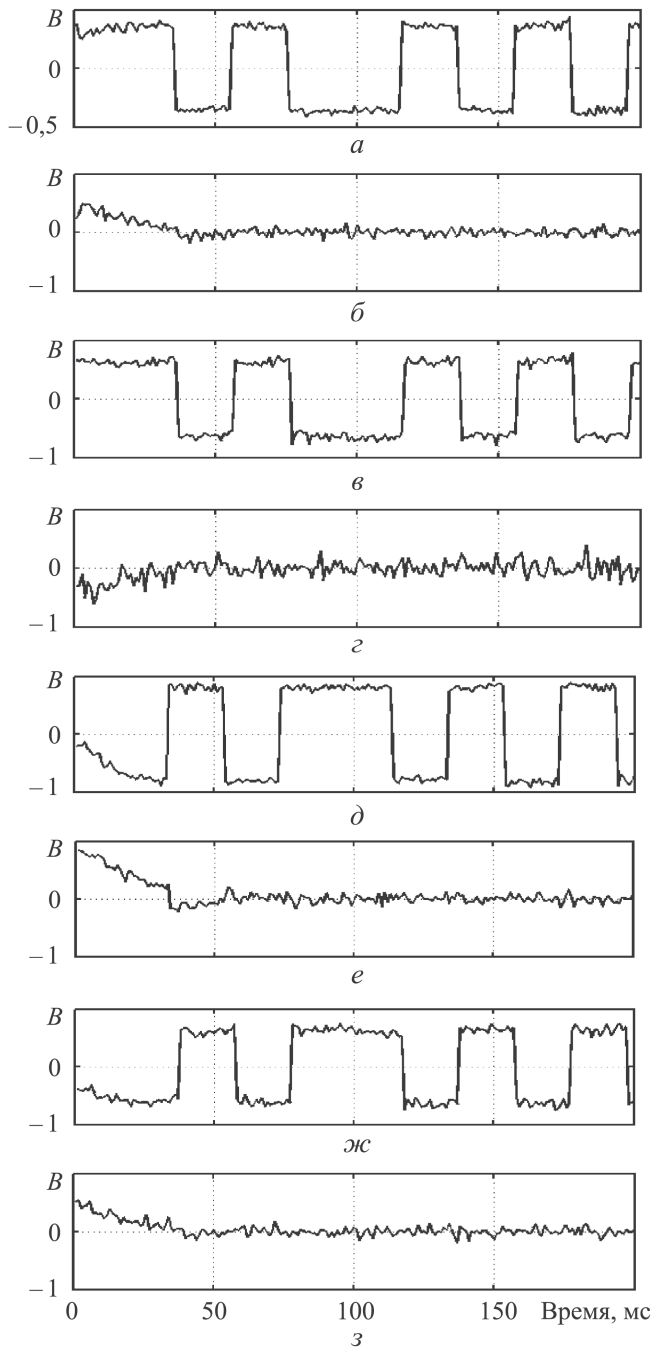


Рис. 5 (начало). Сигналы на выходах I -ветви ($a, в, д, ж, и$) и Q -ветви ($б, з, е, з, к$) в схеме Костаса для источников сигнала 1 ($a, б$), 29 ($в, з$), 30 ($д, е$), 31 ($ж, з$) и 21 ($и, к$)

ма DAM. Проведено полунатурное моделирование на реальных данных для проверки выводов о возможности оценки параметров ШПС на примере СПИ Navstar GPS с помощью алгоритма DAM и ранее

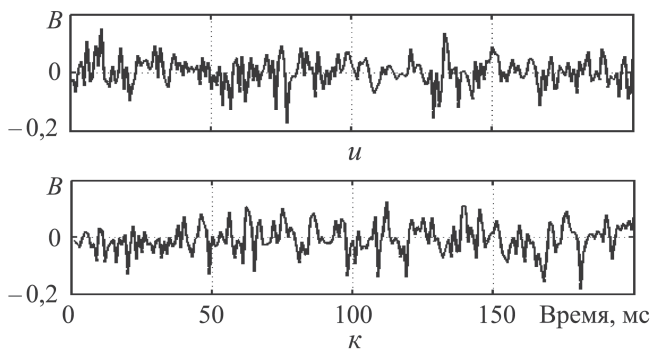


Рис. 5 (окончание)

предложенного авторами алгоритма оценки параметров на основе авторегрессионной модели [5]. Результаты моделирования показывают возможность применения этого подхода.

В качестве будущего направления исследований можно отметить разработку алгоритма эффективного вычисления порога для алгоритма DAM, получение статистических характеристик вероятности пропуска сигнала, а также ложного срабатывания для решения задачи разработки детектирующего устройства в целом.

Статья подготовлена в рамках проекта № 1543, выполняемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана по государственному заданию на оказание услуг (выполнение работ) Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Синхронизация* в радиосвязи и радионавигации / Б.И. Шахтарин, В.В. Сизых, Ю.А. Сидоркина и др. М.: Горячая линия–Телеком, 2011.
2. *James Bao Yen Tsui*. Fundamentals of global positioning system receivers: a software approach. John Wiley and Sons, 2005.
3. *James B.Y. Tsui, David M. Lin*. Acquisition schemes for software GPS receiver // Proceeding of the 11th International Technical Meeting ION GPS-98, P. 317–325, September, 1998.
4. *Скляр Б.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Вильямс, 2003.
5. *Никифоров А.А., Мельников А.О., Токарев С.В.* Детектирование сигналов с расширенным спектром на основе AP модели // Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. № 5. С. 51–54.
6. *Michele's GNSS blog* Open source Software Defined Radio GPS receiver. Блог [Электронный ресурс] URL: <http://michelebavaro.blogspot.com/2010/11/open-source-software-defined-radio-gps.html>
7. *FTP-сервер* FTP directory /pub/materials at rf-lab.org.-FTP сервер. [Электронный ресурс] URL: ftp://rf-lab.org/pub/materials/101112_0928GMT_prio_fs5456_fif4092.dat
8. *Sandia project*. Senior Project for Sandia — Google Project Hosting. Сайт. [Электронный ресурс] URL: <http://code.google.com/p/sandiaproject/>

REFERENCES

- [1] Shakhhtarin B.I., Sizykh V.V., Sidorkina Yu.A. *Sinkhronizatsiya v radiosvyazi i radionavigatsii* [Synchronization in Radio Communication and Navigation]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom Publ., 2011.
- [2] James Bao Yen Tsui. *Fundamentals of global positioning system receivers: a software approach*. John Wiley and Sons, 2005.
- [3] James B.Y. Tsui, David M. Lin. Acquisition schemes for software GPS receiver. *Proceeding of the 11th International Technical Meeting ION GPS-98*. September, 1998, pp. 317–325.
- [4] Sklyar B. *Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye* [Digital Communication. Theoretical Basis and Practical Application]. Vil'yams, 2003.
- [5] Nikiforov A.A. Mel'nikov A.O. Tokarev S.V. Detecting Spread Spectrum Signals Based on the AR Model. *Promyshlennyye ASU i kontrollery* [Industrial Automatic Control Systems and Controllers], 2013, no. 5, pp. 51–54 (in Russ.).
- [6] Michele's GNSS blog Open source Software Defined Radio GPS receiver. URL: <http://michelebavaro.blogspot.com/2010/11/open-source-software-defined-radio-gps.html>
- [7] FTP-сервер FTP directory /pub/materials at rf-lab.org. FTPserver. URL: ftp://rf-lab.org/pub/materials/101112_0928GMT_primo_fs5456_fif4092.dat
- [8] Sandia project. Senior Project for Sandia – Google Project Hosting. Website.URL: <http://code.google.com/p/sandiaproject/>

Статья поступила в редакцию 23.06.2014

Шахтарин Борис Ильич — д-р техн. наук, профессор кафедры “Автономные информационные и управляющие системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 250 научных работ в области радиотехники, статистического анализа, фазовой синхронизации, формирования и обнаружения сигналов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Shakhhtarin B.I. — Dr. Sci. (Eng.), professor of the Autonomous Information and Control Systems Department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 250 publications in the fields of radio engineering, statistical analysis, phase synchronization, formation and detection of signals.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Сидоркина Юлия Анатольевна — канд. техн. наук, доцент кафедры “Автономные информационные и управляющие системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 30 научных работ в области статистического анализа и синтеза цифровых систем.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Sidorkina Yu.A. — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of the Autonomous Information and Control Systems Department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 30 publications in the fields of statistical analysis and synthesis of digital systems.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Никифоров Александр Александрович — инженер, аспирант кафедры “Автономные информационные и управляющие системы” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор четырех работ в области обработки сигналов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Nikiforov A.A. — postgraduate of the Autonomous Information and Control Systems Department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of four publications in the field of signal processing.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumannskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Шахтарин Б.И., Сидоркина Ю.А., Никифоров А.А. Оценка фазы псевдослучайной последовательности в системах передачи информации с расширенным спектром // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2015. № 3. С. 92–103.

Please cite this article in English as:

Shakhtarin B.I., Sidorkina Yu.A., Nikiforov A.A. Estimation of the pseudorandom sequence phase in spread spectrum data-transmission systems. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2015, no. 3, pp. 92–103.