

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ МНОГОАДРЕСНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПРИ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОМ ПРИЕМЕ СОСТАВНОГО ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА

Р. А. Ефремов

*Кафедра «Радиотехника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;
roma2004@tamb.ru*

Ключевые слова и фразы: автокорреляционная функция; вероятность символической ошибки; модуляция; шумоподобные сигналы.

Аннотация: Предложен метод передачи дискретной информации, использующий шумоподобные сигналы и позволяющий организовать беспроводную связь с удаленными объектами, функционирующими в сложных для радиопередачи условиях. Дано описание помехоустойчивости способа беспроводной передачи данных на основе модуляции сменой структуры периодического шумоподобного сигнала при одновременной работе большого числа абонентов. Проведен сравнительный анализ разработанного метода передачи информации с известными аналогами.

Повышение помехоустойчивости систем передачи информации является одной из основных проблем современной теории и техники связи. При этом потенциальная помехоустойчивость любой системы связи напрямую зависит от используемого метода передачи и приема сообщений. В настоящее время широкое распространение получили системы связи с шумоподобными сигналами (ШПС), ввиду своих преимуществ перед узкополосными сигналами [1]. Такие системы находят применение даже в весьма специфичных приложениях [2, 3]. Системы связи, использующие ШПС, по методу приема классифицируют на взаимно- и автокорреляционные [4, 5].

Автокорреляционные методы приема теоретически имеют меньшую помехоустойчивость, по сравнению с взаимокорреляционными, однако, они являются оптимальными для сигналов неизвестной формы и сохраняют работоспособность при снижении отношения сигнал/шум на входе приемника до значений меньше единицы [6].

Рассмотрим новый, принципиально отличающийся от существующих, метод передачи дискретной информации, при использовании которого возможна работа большого числа абонентов в одной полосе частот. Данный метод заключается в том, что передаваемый символ двоичного алфавита a_1 – логической единицы или a_0 – логического нуля представляют сменой структур двух посылок периодической псевдошумовой последовательности. Если передается символ a_1 , то структура передаваемого ШПС не меняется относительно предыдущей посылки сигнала, если передается символ a_0 , то структура меняется на зеркальную ко-

пию (относительно оси времени) ранее переданной посылки сигнала, причем передаваемый ШПС получен путем m -кратного повторения отрезка образующего сигнала, период повторения которого T_0 равен T/m , где T – длительность одной посылки сигнала [7]. Предлагаемый метод модуляции поясняется на рис. 1, где J – передаваемый символ, $S(t)$ – промодулированный ШПС (при числе повторов $m = 3$).

Демодуляцию такого сигнала можно осуществлять автокорреляционным методом, на основе сравнения формы автокорреляционной функции (АКФ) соседних посылок периодических последовательностей ШПС с различной структурой, причем анализ автокорреляционной функции производится в нескольких характерных точках, соответствующих максимумам боковых лепестков АКФ принимаемых сигналов.

Автокорреляционный приемник в таком случае должен иметь две группы каналов обработки входного сигнала (рис. 2), в каждом из которых находится $(m - 1)$ корреляторов и производится суммирование сигналов с выходов всех корреляторов. На выходе вычитателя, в зависимости от переданного символа, будет присутствовать различный уровень сигнала. Решающее устройство на основе уровня сигнала на выходе вычитателя может принимать решение о том, какой символ был передан.

Сигнал логической единицы $B_1(t)$ и логического нуля $B_2(t)$ на интервале двух посылок можно представить следующим образом:

$$B_1(t) = \begin{cases} A(t), & 0 \leq t \leq T; \\ A(t-T), & T \leq t \leq 2T; \end{cases} \quad B_2(t) = \begin{cases} A(t), & 0 \leq t \leq T; \\ A(T-t), & T \leq t \leq 2T, \end{cases}$$

где $A(t) = a_0(t) + a_0(t - T_0) + a_0(t - 2T_0) + \dots + a_0(t - (m - 1)T_0)$ – составной сигнал, состоящий из повторяющихся отрезков ШПС $a_0(t)$; m – целое число. Причем $A(t - T)$ и $A(T - t)$ являются зеркальными копиями относительно временной оси.

Поскольку рассматривается работа большого числа приемопередающих устройств в одной полосе частот, то в канале передачи неизбежно будут присутствовать естественные шумы среды распространения сигнала, а также помехи, порожденные всеми рассматриваемыми передающими устройствами, которые для приемника также являются помехами. На входе приемного устройства сигнал логической единицы имеет вид $B_1(t) + W(t)$, а сигнал логического нуля – $B_2(t) + W(t)$,

где $W(t) = Z(t) + \sum_1^N Q_k(t)$ – аддитивный флюктуационный шум со спектральной

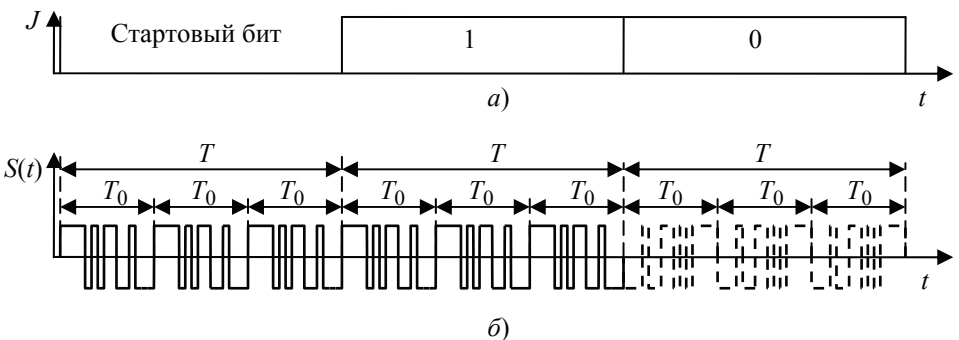


Рис. 1. Иллюстрация способа модуляции сигналов на входе (а) и выходе (б) модулятора

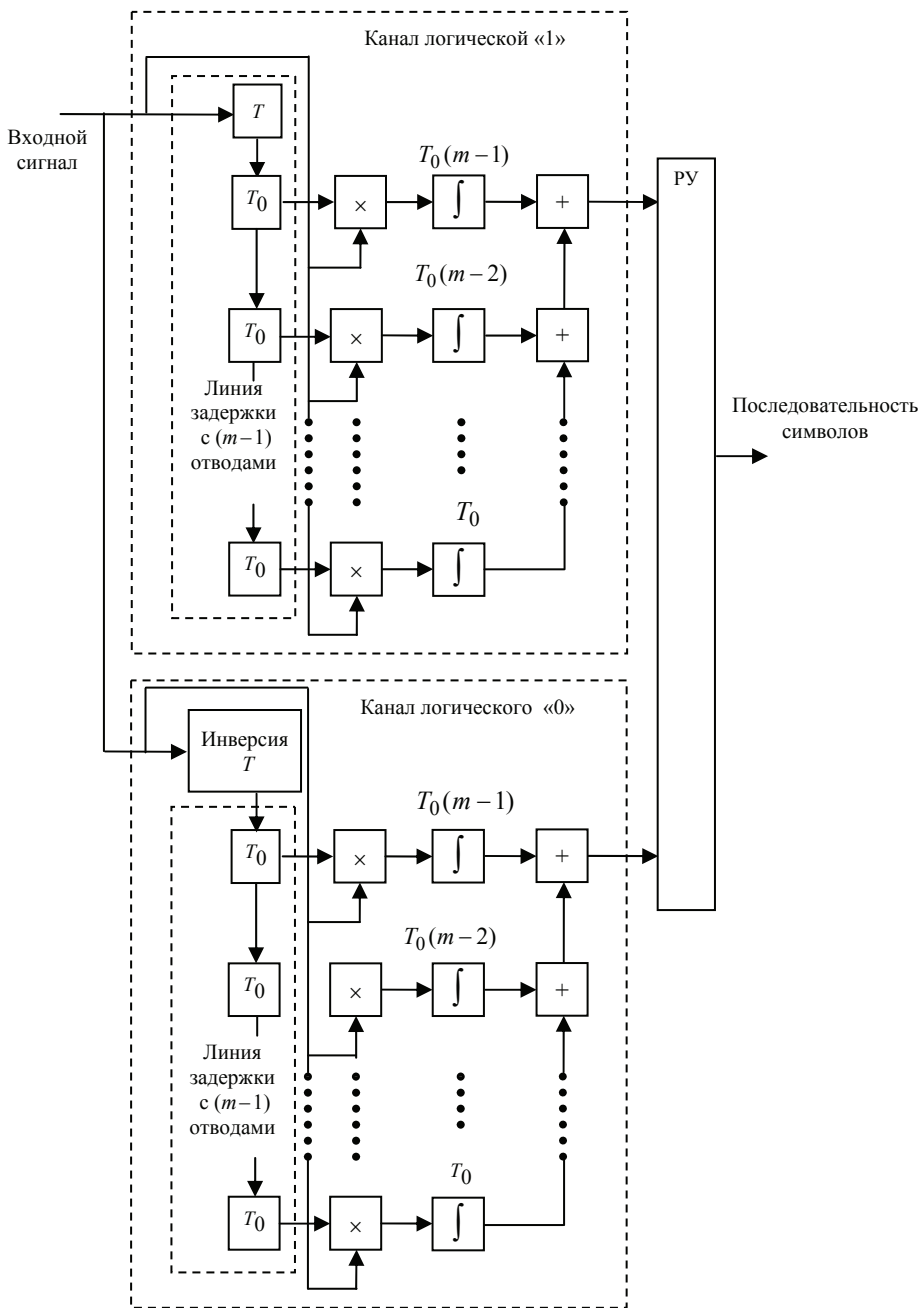


Рис. 2. Блок-схема автокорреляционного демодулятора, производящего нахождение значения АКФ принимаемых сигналов в нескольких характерных точках АКФ

плотностью мощности W_0^2 , образованный естественным шумом среды распространения сигнала $Z(t)$ и сигналами всех остальных передающих устройств $Q_k(t)$, со значениями спектральной плотности мощности Z_0^2 и Q_0^2 соответственно, которые будут являться для анализируемого приемника шумом; k – число активных передающих устройств.

Сигнал на выходе вычитателя состоит из суммы случайных величин [5]:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{выч}}(t) = & \int_0^{(m-1)T_0} [A(t) + W(t)][A(t - (T - T_0)) + W(t - (T - T_0))] dt + \\
 & + \int_0^{(m-2)T_0} [A(t) + W(t)][A(t - (T - 2T_0)) + W(t - (T - 2T_0))] dt + \\
 & + \dots + \\
 & + \int_0^{T_0} [A(t) + W(t)][A(t - (T - (m-1)T_0)) + W(t - (T - (m-1)T_0))] dt + \\
 & - \int_0^{(m-1)T_0} [A(t) + W(t)][A((T - T_0) - t) + W((T - T_0) - t)] dt - \\
 & - \int_0^{(m-2)T_0} [A(t) + W(t)][A((T - 2T_0) - t) + W((T - 2T_0) - t)] dt - \\
 & - \dots - \\
 & - \int_0^{T_0} [A(t) + W(t)][A((T - (m-1)T_0) - t) + W((T - (m-1)T_0) - t)] dt.
 \end{aligned}$$

Решающее устройство должно определить, какой символ считать переданным, в зависимости от величины сигнала на выходе вычитателя. В соответствии с критерием идеального наблюдателя положительный сигнал с выхода вычитателя необходимо расценивать как передача одного символа, а отрицательного – другого. При этом нулевое значение можно отнести к любому символу.

Вероятность появления ошибочного символа определяется выражением

$$P = Q \left(\frac{\frac{P_s}{P_n + kP_q} FT}{\sqrt{FT \left(\frac{m}{2} \left(\frac{P_s}{P_n + kP_q} \right)^2 + \frac{4}{3} \frac{(2m-1)}{m-1} \frac{P_s}{P_n + kP_q} + \frac{2}{m-1} \right)}} \right),$$

где F – полоса частот сигнала; T – длительность одной посылки сигнала;

$Q(x)$ – гауссов интеграл ошибок, то есть $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left\{-\frac{u^2}{2}\right\} du$; P_s – мощность сигнала;

P_n – мощность шума; P_s/P_n – отношение сигнал/шум; k – число активных передатчиков; P_q – мощность сигнала сторонних передатчиков, который является шумом для анализируемого приемного устройства.

На графике (рис. 3) представлены кривые зависимости вероятности символической ошибки от отношения сигнал/шум для описанного способа модуляции и демодуляции при различном числе активных передатчиков k , а также известного способа фазоразностной модуляции, модуляции методом Ланге–Мюллера и метода модуляции периодом следования ШПС [8] (при базе сигнала $B = 50\,000$, числе повторов сигнала $m = 20$ и $P_q = P_s$). Анализируя полученные кривые, можно

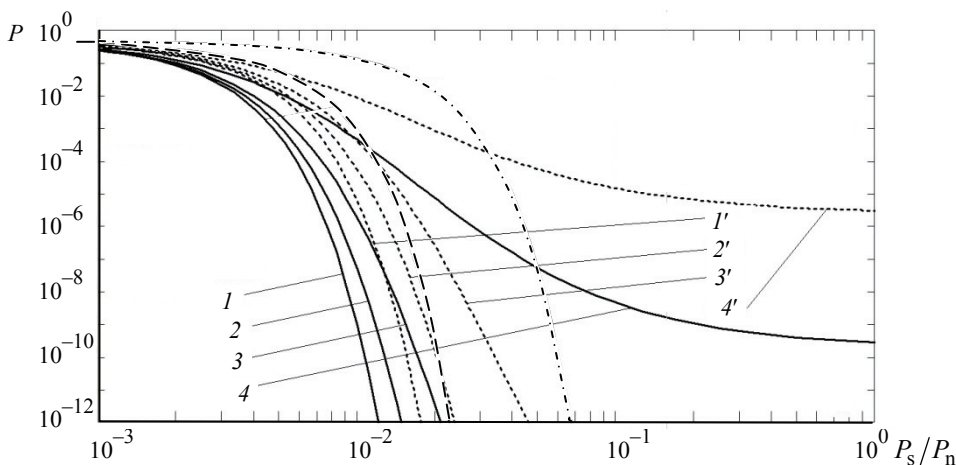


Рис. 3. Вероятность символьной ошибки P различных методов:
 — — — фазоразностной модуляции; - - - - Ланге-Мюллера;
 — — — разработанного; — модуляции периодом следования ШПС;
 при $k = 5$ (1, 1'), $k = 20$ (2, 2'), $k = 40$ (3, 3') и $k = 100$ (4, 4')

сделать вывод, что вероятность символьной ошибки достаточно сильно зависит от числа одновременно работающих устройств связи, и на порядок ниже способа, описанного в работах [8, 9].

Список литературы

1. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер. с англ. / Б. Скляр. — М. : Вильямс, 2003. — 1104 с.
2. Москвитин, С. П. Метод и система контроля характеристик качества биметалла / С. П. Москвитин, А. П. Пудовкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. — 2009. — Т. 15, № 2. — С. 315 — 320.
3. Данилов, С. Н. Алгоритм прогноза координат воздушных объектов для обеспечения функционирования системы направленной связи на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Р. Р. Шатовкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. — 2009. — Т. 15, № 3. — С. 530 — 539.
4. Окунев, Ю. Б. Цифровая передача информации фазоманипулированными сигналами / Ю. Б. Окунев. — М. : Радио и связь, 1991. — 296 с.
5. Окунев, Ю. Б. Широкополосные системы связи с составными сигналами / Ю. Б. Окунев, Л. А. Яковлев ; под ред. А. М. Заездного. — М. : Связь, 1968. — 168 с.
6. Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. — М. : Радио и связь, 1985. — 384 с.
7. Ефремов, Р. А. Помехоустойчивость метода передачи данных с модуляцией сменой структуры шумоподобного сигнала при одновременной связи со многими абонентами / Р. А. Ефремов, С. Н. Данилов // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. — 2014. — Спец. вып. (52). — С. 37 — 41.
8. Пат. 2362273 Российская Федерация, МПК Н 04 L 27/18. Способ передачи информации с помощью шумоподобных сигналов и устройство для его осуществления / Григорьев А. С., Дахнович А. А. ; патентообладатель ГОУ ВПО «Тамб. гос. техн. ун-т». — № 2007126507/09 ; заявл. 11.07.2007 ; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20. — 12 с.
9. Дахнович, А. А. Беспроводная передача данных в информационно-измерительных системах в условиях помех / А. С. Григорьев, А. А. Дахнович, Р. А. Ефремов // Тр. Тамб. гос. техн. ун-та / гл. ред. А. В. Богословский. — М., 2009. — № 12, т. 2, сер. Моделирование систем и процессов. — С. 14 — 19.

Immunity of Multicasting Communication Systems under Autocorrelation Reception of Compositional Noise-Type Signal

R. A. Efremov

Department "Radio Engineering", TSTU;
roma2004@tamb.ru

Key words and phrases: autocorrelation function; modulation; noise-type signals; symbolical mistake probability.

Abstract: The general theory of optimum processing of signals distinguishes mutually correlation and autocorrelation methods of reception of noise-type signals. Autocorrelation methods of reception are optimum for signals with an unknown form. Existing methods of autocorrelation reception have rather low noise stability. During research the new method of transfer of the discrete information, enabling to organize a wireless communication with many subscribers (parallel transfer) is developed. In the proposed method information symbols are transformed to broadband noise-type signals with multipetal structure of autocorrelation function, and the modulated parameter is change of structure of a compound noise-type signal. Demodulation of such signal is performed by the autocorrelation method, through the comparison of the form of autocorrelation function (ACF) of the next parcels of periodic sequences of a noise-type signal with various structures, and the analysis of autocorrelation function made in several characteristic points corresponding to maxima of lateral petals of ACF of accepted signals. The findings of the study can find practical application when developing broadband systems for wireless data transmission in the conditions of strong hindrances and distortions of signals.

References

1. Sklar B. *Digital communications: fundamentals and applications*, 2nd ed., Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2001, 1079 p.
2. Moskvitin S.P., Pudovkin A.P. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 2, pp. 315-320.
3. Danilov S.N., Pudovkin A.P., Shatovkin R.R. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 3, pp. 530-539
4. Okunev Y.B. *Tsifrovaya peredacha informatsii fazomanipulirovannymi signalami* (Digital transmission of information by fazoshiftkeyng signals), Moscow: Radio and communication, 1991, 296 p.
5. Okunev Y.B., Yakovlev L.A. *Shirokopolosnye sistemy svyazi s sostavnymi signalami* (Broadband communication systems with compound signals), Moscow: Communication, 1968, 168 p.
6. Varakin, L.E. *Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami* (Communication system with noise-type signals), Moscow: Radio and communication, 1985, 384 p.
7. Efremov R.A., Danilov S.N. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*, 2014, Special Issue (52), pp. 37-41.
8. Grigoryev A.S., Dakhnovich A.A., *Sposob peredachi informatsii s pomoshch'yu shumopodobnykh signalov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* (A method of information transfer by means of noise-type signals and the device for its implementation), Russian Federation, 2007, Pat. № 2362273.

9. Grigor'ev A.S., Dakhnovich A.A., Efremov R.A. *Trudy Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* (Proceedings of the Tambov State Technical University), no. 12, vol. 2, series of simulation systems and processes, Moscow, 2009, pp. 14-19.

Störungsempfindlichkeit des vieladressischen Sendungssystems bei der Antikorrelationsweise des Bestandslärmsignals

Zusammenfassung: Es ist die Methode der Sendung der diskreten Informationen, die die Lärmsignale und zulassend Angeboten, die drahtlose Verbindung mit den entfernten Objekten zu organisieren, die in komplizierten, für die Rundfunksendung die Bedingungen funktionieren. Es ist die Störungsempfindlichkeit der Weise der drahtlosen Sendung der Daten aufgrund der Modulation vom Wechsel der Struktur periodisch шумоподобного des Signals, bei der gleichzeitigen Arbeit der großen Zahl der Abonnenten beschrieben. Es ist die vergleichende Analyse der entwickelten Methode der Sendung der Informationen mit den Bekannten durchgeführt.

Immunité au bruit du moyen du transfert de l'information avec la modulation du changement de la structure du signal composant homologue au bruit lors de la liaison simultannée avec plusieurs abonnés

Résumé: Est proposée la méthode du transfert de l'information discrète utilisant les signaux homologues au bruit et permettant d'organiser une liaison sans fil avec les abonnés éloignés fonctionnant dans les conditions complexes pour la radiodiffusion. Est décrite l'immunité au bruit. Est effectuée une analyse comparative de la méthode élaborée en comparaison avec celles qui existent déjà.

Автор: *Ефремов Роман Анатольевич* – ассистент кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Данилов Станислав Николаевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
