

УДК 621.391.8

Г.Р. МАРДОЯН, Ж.М. ОВСЕПЯН

ОСОБЕННОСТИ ПСЕВДОКОГЕРЕНТНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ МІМО

Описываются типы программно-определяемых радиосистем (англ. Software Defined Radio, SDR), которые могут быть использованы в системах связи с множественным входом и множественным выходом (англ. Multiple Input - Multiple Output, MIMO). Сравниваются архитектуры многоканальных когерентных и многоканальных псевдокогерентных приемопередатчиков. Проводится анализ воздействия обеих архитектур на помехоустойчивость пространственно-временных кодов Аламоути в 2x2 MIMO системах.

Ключевые слова: SDR, MIMO, когерентность, псевдокогерентность, фазовая автоподстройка, код Аламоути.

Введение. Программно-определяемые радиосистемы, или системы SDR пользуются большой популярностью при исследовании и прототипировании как отдельно взятых алгоритмов, так и новых стандартов коммуникации. Они применяются также в системах связи, где требуется большая гибкость. В последних требуется изменить скорость передачи данных, тип модуляции, тип канального кодирования, а также другие параметры, исходя от изменений беспроводного канала, или же в целях безопасности данных [1]. Подобные системы связи на базе SDR используют тип связи "единый вход и единый выход" (англ. Single Input - Single Output, SISO).

В последнее время во многих стандартах беспроводной связи, таких как IEEE 802.11 n/ac/ad, LTE и LTE-Advanced, начали использовать технику с множественным входом и множественным выходом, или MIMO, так как последняя имеет множество преимуществ по сравнению с SISO [2-4].

Однако технология MIMO пока еще не получила распространение в программно-определяемых радиосистемах. Основная причина этого в том, что SDR системы связи в большинстве случаев должны быть малы в размерах, портативны и доступны в цене. И так как системы связи MIMO включают в себя больше одного канала приемопередачи, то наряду с количеством каналов возрастают также цена и размеры изделия. Кроме того, исторически сложилось так, что помехоустойчивость всех алгоритмов цифровой обработки сигналов в MIMO системах оценивалась исходя из того, что передающие/приемные каналы когерентны. Это привело к тому, что для использования в системах связи MIMO начали рассматривать только оборудование с архитектурой, позволяющей когерентную приемопере-

дачу сигналов. Такое оборудование, в основном, дорогое и большое в размерах, что и препятствует использованию MIMO в программно-определяемых радио-системах.

Рассмотрим некоторые архитектуры приемопередающего оборудования с целью оценки возможности их использования в MIMO SDR системах связи.

На рис. 1 показаны две аналогичные схемы квадратурных модуляторов. На обеих схемах квадратурный цифровой IQ сигнал поступает на входы цифро–аналоговых преобразователей (ЦАП), после чего уже аналоговый квадратурный сигнал смешивается с высокочастотной (ВЧ) несущей. ВЧ сигнал на выходе сумматора проходит через аттенюатор и усилитель и подается на ВЧ выход. Сигнал тактовой частоты в обеих схемах генерируется в генераторе тактовой частоты (ГТЧ), а ВЧ несущая – в гетеродине. Оба сигнала образуются с помощью фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) внешнего опорного генератора. Разница двух представленных схем состоит в том, что в первой схеме возможна подача внешних сигналов гетеродина и тактовой частоты.

Если использовать генератор векторных сигналов с архитектурой, похожей на рис. 1а, для создания многоканального MIMO передатчика, можно будет всем каналам подавать сигнал тактовой частоты с одного источника. Аналогично можно будет поступить с сигналом гетеродина.

В случае, если использовать генератор векторных сигналов с архитектурой, похожей на рис. 1б, можно будет выбрать один источник лишь для внешнего опорного генератора.

Большинство современных портативных и бюджетных SDR систем используют архитектуру, похожую на рис. 1б, как в передающей, так и в приемной частях [5-7].

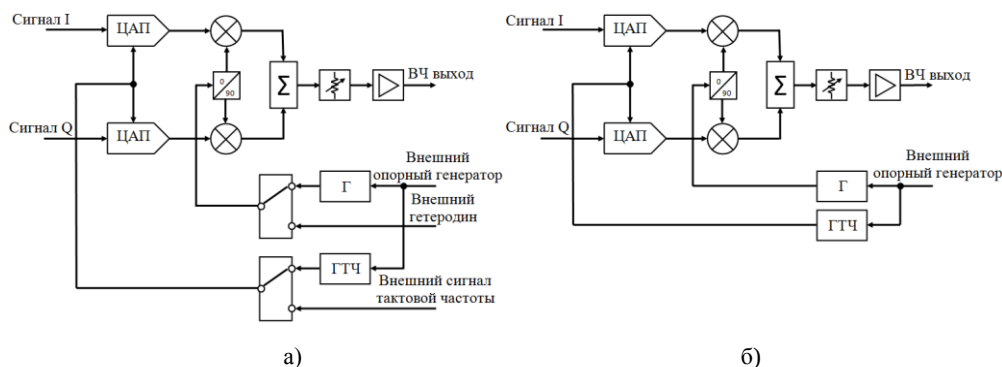


Рис. 1. Прimitивные схемы квадратурного преобразователя частот: а- с входами для внешнего гетеродина и сигнала тактовой частоты, б- без входов для внешнего гетеродина и сигнала тактовой частоты

Постановка задачи. Цель работы – установить, возможно ли использовать SDR системы с архитектурой, похожей на рис. 1б для создания MIMO SDR системы связи, и какие искажения можно ожидать вследствие псевдокогерентности каналов.

Искажение сигнала в псевдокогерентных MIMO системах. В первую очередь, необходимо уточнить, что в данной статье когерентными называются сигналы, которые выведены из единого источника и имеют одинаковые вариации фазы во времени. Сигналы же двух разных гетеродинов, выведенные из единого источника опорного сигнала, когерентными не являются, так как разница фаз двух таких сигналов непостоянна во времени [8]. Их мы будем называть псевдокогерентными.

Сигнал, генерированный ГТЧ или гетеродином, описывается следующим выражением [9]:

$$V(t) = V_0 \sin(2\pi f_n + \varphi(t)), \quad (1)$$

где V_0 - номинальная амплитуда, а f_n - несущая частота. Фазовый шум $\varphi(t)$ действует на мгновенную центральную частоту, которая может быть описана следующим образом:

$$f(t) = f_n + \frac{d}{dt} \frac{\varphi(t)}{2\pi}. \quad (2)$$

Таким образом, если мы имеем два сигнала, которые были генерированы разными генераторами на основе ФАПЧ, используя тот же самый опорный сигнал, то их несущие частоты f_n одинаковы, а фазовые шумы $\varphi(t)$ – разные. Если обозначить фазовые шумы двух псевдокогерентных сигналов $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$, то разница мгновенных центральных частот сигналов будет равна

$$\Delta f(t) = \frac{d}{dt} \frac{(\varphi_1(t) - \varphi_2(t))}{2\pi}. \quad (3)$$

Фазовый шум, согласно [10], в дискретном виде можно представить следующим образом:

$$\varphi(m) = \text{IIR}(\omega[m]), \quad (4)$$

где $\omega[m]$ – аддитивный гауссовский шумовой процесс с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 , а IIR - фильтр с бесконечной импульсной характеристикой, которую можно моделировать как

$$H(z) = \frac{1}{(1-z^{-1})^{\alpha/2}}, \quad (5)$$

где α – наклон спектральной плотности мощности шумов Фликкера [11].

В псевдокогерентных ММО системах присутствуют искажения за счет разности фазовых шумов между передающими и/или приемными каналами.

Анализ помехоустойчивости пространственно–временного блочного кода Аламоути в псевдокогерентных ММО системах связи. Рассмотрим, как действует разница фазовых шумов в псевдокогерентных ММО на один из наиболее распространенных способов пространственно–временного кодирования: код Аламоути [12]. На рис. 2 показаны зависимости количества ложных битов (англ. bit error rate, BER) от отношения энергии сигнала, приходящейся на 1 бит принимаемого сообщения (E_b), к энергетической спектральной плотности шума (N_0) для сигналов со следующими параметрами: схема модуляции QPSK, код Аламоути 2x2, символьная скорость: 1 МС/с, фазовый шум: –90 дБм на отстройке 100 кГц и с коэффициентом $\alpha = 2$. Представлены измерения при длинах информационных пакетов 1000 символов и 10000 символов. Как видно из рис. 2, в первом случае кривые для когерентной и псевдокогерентной систем не отличаются. Однако чем больше длина пакета, тем больше отличаются кривые для обеих архитектур.

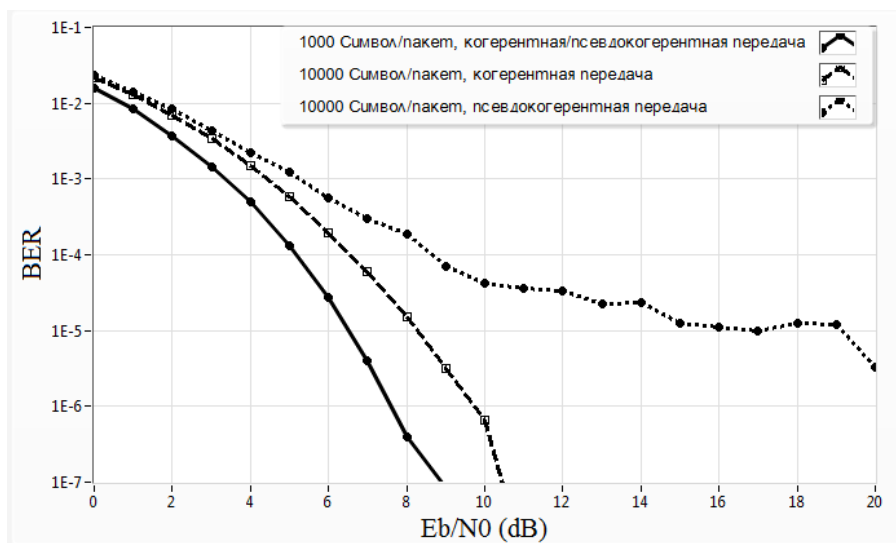


Рис. 2. Зависимость BER от E_b/N_0 для когерентных и псевдокогерентных систем ММО с кодировкой Аламоути

Закключение. Рассмотрены архитектуры двух наиболее распространенных типов приемопередатчиков, предназначенных для систем SDR, которые могут быть использованы для когерентных и псевдокогерентных систем связи ММО. Показано, что псевдокогерентные приемопередаточные модули добавляют различные фазовые шумы к каналам ММО. Проведен сравнительный анализ когерентных и псевдокогерентных систем связи. В случае обеих архитектур помехо-

устойчивость ММО систем зависит от длин передаваемых пакетов, однако при использовании некогерентных систем зависимость намного хуже. Также показано, что при малых длинах пакетов когерентность системы не добавляет помехоустойчивости, однако чем больше длина пакета, тем значимее потери.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ihmig, M., Herkersdorf, A.** Flexible multi-standard multi-channel system architecture for Software Defined Radio receiver // *Intelligent Transport Systems Telecommunications, (ITST), 2009 9th International Conference*. - 20-22 Oct. 2009. - P.598,603.
2. **Chaudhari S., Hu J. and Daneshrad B.** Performance Comparison Between MIMO and SISO Systems based on Indoor Field Measurements.- Dept. of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles, 2014.
3. **Ben Cheikh Battikh, D.; Kelif, J.-M.; Coupechoux, M.; Godlewski, P.** Dynamic system performance of SISO, MISO and MIMO Alamouti schemes // *Sarnoff Symposium, 2011 34th IEEE*.- 3-4 May 2011. - P.1,5.
4. **Moghe, S., Upadhyay, R.** Comparison of SISO and MIMO techniques in 802.11n wireless local area network // *Emerging Trends in Electronic and Photonic Devices & Systems, 2009. ELECTRO '09. International Conference*. -22-24 Dec. 2009.-P.245,246.
5. "NI USRP," National Instruments, [Online]. Available: <http://www.ni.com/usrp>
6. "bladeRF," Nuand, [Online]. Available: <http://nuand.com>
7. "Nutaq," Nuta, [Online]. Available: <http://nutaq.com>
8. **Nakagawa, T., Araki, K.** Effect of phase noise on RF communication signals, *Vehicular Technology Conference// IEEE-VTS Fall VTC 2000. 52nd* . 2000.- Vol.2.- P.588,591.
9. **Almers, P., Wyne, S., Tufvesson, F., Molisch, A.F.** Effect of random walk phase noise on MIMO measurements // *Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st*. 30 May-1 June 2005.-Vol.1.-P.141,145.
10. **Yousefi S.** Phase Noise in Communication: Modeling, Simulation and Estimation.- Chalmers University of Technology, Gothenburg, Master Thesis, 2010 .
11. **Kasdin, N.J.** Discrete simulation of colored noise and stochastic processes and $1/f^\alpha$ power law noise generation // *Proceedings of the IEEE* .- May 1995.-Vol.83, N 5.- P.802,827.
12. **Alamouti, S.** A simple transmit diversity technique for wireless communications // *Selected Areas in Communications, IEEE Journal*.- Oct 1998.-Vol.16, N8.- P.1451,1458.

Գ.Ռ. ՄԱՐԴՈՅԱՆ, Ժ.Մ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

**ԳՐԵԹԵԿՈՀԵՐԵՆՏ MIMO ԿԱՊԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Նկարագրվում են ծրագրորեն որոշվող ռադիոհամակարգեր, որոնք կարող են գործածվել բազմակի մուտք և բազմակի ելք տիպի (multiple-input multiple-output, MIMO) կապի համակարգերում: Համեմատվում են կոհերենտ և գրեթեկոհերենտ բազմուղի հաղորդիչ-ընդունիչների կառուցվածքները, և հետազոտվում է դրանց ազդեցությունը Ալամոուտի տարածաժամանակային բլոկային կոդերի խանգարումակայունության վրա:

Առանցքային բաներ. SDR, MIMO, կոհերենտ, գրեթեկոհերենտ, PLL, Ալամոուտի կոդ:

G.R. MARDOYAN, J.M. HOVSEPYAN

**PECULIARITIES OF PSEUDO-COHERENT MIMO
COMMUNICATION SYSTEMS**

The types of software defined radios (SDR) that can be used in multiple-input multiple-output (MIMO) communication systems are described. Architectures of multichannel coherent and pseudo-coherent transceivers are compared. The effects of both architectures on the noise immunity of Alamouti space-time block codes are introduced.

Keywords: SDR, MIMO, coherent, pseudo-coherent, PLL, Alamouti code.

ՀՏԴ 621.396

Հ.Գ. ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ

**GPS ԱՋԴԱՆՇԱՆԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԻՐԱԿԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿՈՎ ՏԱԿՏԱՅԻՆ
ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ (RTC) ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՒՄԸ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՎՈՂ ԻՆՏԵԳՐԱԼ
ՏՐԱՄԱՐԱՆԱԿԱՆ ՍԽԵՄԱՅՈՒՄ (FPGA)**

Դիտարկվել են իրական ժամանակով տակտային գեներատորի (Real-Time Clock) գերճշգրիտ կարգավորման հնարավորությունն ու սկզբունքները: Բերված է ծրագրավորվող ինտեգրալ տրամաբանական սխեմայում (FPGA) մշակված RTC-ի կարգավորման ծրագիրը, որի միջոցով իրագործվում է RTC-ի ռեգիստրների տվյալների գրանցում և չափաբերում գերճշգրիտ աշխատանքի ապահովման համար:

Առանցքային բաներ. իրական ժամանակով տակտային գեներատոր (RTC), GPS, գերճշգրիտ կարգավորում, ռեգիստր, արբանյակ, չափաբերում:

Ներածություն: RTC-ները նախատեսված են էլեկտրոնային սարքերում ժամանակը ճիշտ ֆիքսելու համար: Օգտագործվում են գրեթե բոլոր էլեկտրական սարքերում, որտեղ անհրաժեշտություն կա պահպանել և ցուցադրել ժամանակը, տարեթիվը, շաբաթվա օրը և այլն: Այն սնման աղբյուրից, տակտային գեներատորից և հաշվարկման մեքենայից բաղկացած համակարգ է: