
ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 621.396.2.018.424

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КВАЗИОРТОГОНАЛЬНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ КОДОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ/ПРИЕМА ДАННЫХ МЕЖДУ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ НА АВТОБАНЕ

К.А. ЛУКИН, В.Е. ЩЕРБАКОВ

Предложен новый метод формирования квазиортогональных хаотических кодов, используемых в DSRC-системах передачи/приема данных между транспортными средствами на автобане. Метод разработан на базе дискретного хаотического кодирующего алгоритма рекуррентно-параметрического типа с двумя параметрами запаздывания. Проведено исследование статистических и корреляционных характеристик бинарных псевдослучайных кодов (БПС-кодов), сформированных согласно предложенному методу. Показано, что при соответствующем выборе параметров запаздываний и длины кода хаотический кодирующий алгоритм формирует непериодические сегменты БПС-кодов с равномерным распределением вероятностей, а по статистическим и корреляционным параметрам близким к характеристикам случайного процесса.

Ключевые слова: стандарт DSRC, пространственно-кодовое распределение CDMA каналов, квазиортогональный хаотический код, дискретный кодирующий алгоритм, фазовый портрет, бинарная псевдослучайная последовательность, автокорреляционная и взаимнокорреляционная функция.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее авторами данной статьи была запатентована новая идея [1, 2] и позднее разработана новая концепция [3-5] построения самоорганизующейся мультиплексной системы связи между транспортными средствами на автобане (CARs-to-CARs системы), позволяющая осуществить передачу/прием данных между автомобилями, находящимися на 10 полосном автобане в радиусе до 2-х километров.

Основные отличительные особенности предложенной концепции CARs-to-CARs системы состоят в следующем [4]:

1. Концептуально CARs-to-CARs система разработана в рамках стандарта DSRC (Dedicated Short-Range Communications – специализированные системы ближней связи) и предложенного авторами метода мультиплексной передачи данных с множественным доступом, использующего *многочастотную несущую и пространственно-кодовое разделение каналов (MC-S-CDMA)*.

2. Концепция системы основана на применении разработанного авторами *метода формирования квазиортогональных хаотических кодовых сигналов*, имеющих достаточно низкую спектральную плотность мощности излучения и достаточно малые уровни боковых выбросов их автокорреляционных и взаимнокорреляционных функций.

3. *Ключевая идея* построения CARs-to-CARs системы состоит в том, чтобы в системе с кодовым распределением каналов *уникальный код* для каждого транспортного средства ассоциировать не с самим транспортным средством, а с *его текущим положением на автобане* [1, 2].

4. Применение в CARs-to-CARs системе *квазиортогональных хаотических кодовых сигналов* делает возможным создание необходимого числа независимых каналов связи в пределах выделенного частотного диапазона. Эти кодовые сигналы предоставляют также потенциальную возможность организации системы передачи/приема данных *без выделения частотного или временного канала для каждого транспортного средства*, и выполнения приема данных на *беспоисковой основе*.

5. Взаимная синхронизация квазиортогональных хаотических кодовых сигналов при осуществлении *синхронного режима* передачи данных обеспечивается с помощью сигналов GPS. Концепция предусматривает использование *дифференциальной системы GPS* совместно с WAAS (Wide Area Augmentation System – глобальная система распространения дифференциальных поправок), которые дают возможность каждому транспортному средству на автобане определять свое местоположение с точностью от нескольких метров до нескольких дециметров.

Иллюстрационные материалы особенностей концепции, подробно поясняющие авторскую идею и новый подход к построению CARs-to-CARs системы, а также ее основные технические характеристики приведены в работе [4].

Целью данной работы является разработка метода формирования квазиортогональных хаотических кодовых сигналов, используемых при практической реализации системы передачи/приема данных между транспортными средствами на автобане (CARs-to-CARs системы), и исследование статистических и корреляционных характеристик БПС-кодов, сформированных согласно методу.

1. ФОРМИРОВАНИЕ КВАЗИОРТОГОНАЛЬНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ КОДОВЫХ СИГНАЛОВ

Одна из проблем, возникающих при разработке системы передачи/приема данных между транспортными средствами на автобане (CARs-to-CARs системы), состоит в трудности генерирования большого объема ансамблей действительно случайных двоичных, в том числе бинарных, последовательностей.

Известно [11] довольно много алгоритмов генерации псевдослучайных последовательностей (ПСП). На практике для генерации ПСП, как правило, используются рекуррентные алгоритмы. Двоичные последовательности на основе рекуррентных соотношений достаточно легко реализуются на ЭВМ в виде программ и схемотехнически на основе быстродействующих многоуровневых двоичных сдвиговых регистров. Таким образом могут быть построены, например, так называемые М-последовательности. Однако самый большой недостаток данного метода — отсутствие математического аппарата, позволяющего получать алгебраические многочлены, порождающие последовательности максимального периода сколь угодно большой степени. Кроме того, их статистические свойства, как правило, далеки от свойств действительно случайного сигнала.

При разработке и практической реализации CARs-to-CARs системы очень важен выбор вида бинарных ПСП, удовлетворяющих требованиям не только хороших авто- и взаимокорреляционных свойств, но и большому набору значений их длин и в особенности больших объемов ансамблей кодовых сигналов [4, 6].

Известные классы ПСП как линейных (М-последовательности, последовательности Адамара, Голда, Касами и др.), так и нелинейных (последовательности Лежандра, бент-последовательности и др.) не удовлетворяют некоторым из перечисленных выше требований [12].

В последние годы в связи с бурным развитием возможностей цифровой техники эффективное кодирование информации осуществляется псевдослучайными последовательностями, сформированными при помощи алгоритмов реализуемых в виде программ. В свою очередь, развитие методов вычислительной математики привело к созданию специальных алгоритмов генерации последовательностей, так называемых псевдослучайных чисел, при разработке которых особое место занимают методы формирования хаотических целочисленных последовательностей, определенных на ограниченном интервале множества целых чисел.

Требования, предъявляемые к свойствам последовательности псевдослучайных чисел

Основные требования, предъявляемые к последовательностям псевдослучайных чисел (ППСЧ) [7, 9] следующие:

1) *высокое качество* — ППСЧ по статистическим критериям должна быть близка к случайному процессу и иметь возможно более длинный период;

2) *эффективность* — алгоритм формирования ППСЧ должен быть быстрым и занимать возможно меньший объем памяти;

3) *воспроизводимость* — при точном воспроизведении начальных условий алгоритма должна формироваться одна и та же ППСЧ на реализациях любой длительности, а незначительные изменения в начальной процедуре должны приводить к генерации качественно различных последовательностей;

4) *простота* — формула алгоритма должна быть проста в реализации и использовании.

Требования, предъявляемые к бинарным ПСП для CARs-to-CARs системы

Основные требования, предъявляемые к бинарным псевдослучайным последовательностям [6, 8, 11], которые могут быть использованы при практической реализации CARs-to-CARs системы, следующие:

1) бинарная последовательность должна быть сбалансированной, т.е. число «+1» отличается от числа «-1» не более чем на единицу;

2) вероятность появления блока из k одинаковых символов должна быть близка к $p(k) = 1/2^k$;

3) объем ансамбля бинарных последовательностей должен быть максимально большим;

4) автокорреляционная функция бинарной последовательности должна иметь один узкий пик и малые боковые выбросы;

5) должен быть обеспечен малый уровень взаимной корреляции между различными бинарными последовательностями;

6) бинарные последовательности должны быть воспроизводимы на приемном конце CARs-to-CARs системы, т.е. должна быть обеспечена возможность «точного» повторения генерируемой бинарной последовательности путем задания одних и тех же начальных условий;

7) должна быть обеспечена не слишком большая, приемлемая сложность формулы кодирующего алгоритма для его практической реализации.

2. ДИСКРЕТНЫЙ ХАОТИЧЕСКИЙ КОДИРУЮЩИЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ БИНАРНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

На основе математической модели генерации автоколебаний в одномерном резонаторе с нелинейно отражающей поверхностью, динамика поля в котором описывается системой функционально-разностных уравнений с двумя запаздываниями [10] был разработан и

исследован дискретный хаотический кодирующий алгоритм формирования бинарных псевдослучайных последовательностей, который может быть отнесен к классу алгоритмов рекуррентно-параметрического типа с двумя параметрами запаздывания. Ранее на базе модели кольцевой автоколебательной системы с амплитудно-фазовой нелинейностью, фильтрацией и запаздыванием были рассмотрены алгоритмы генерации ПСП с помощью разностных уравнений с одним запаздыванием [12, 13].

Дискретный хаотический кодирующий алгоритм построен на основе дискретного функционального преобразования (отображения) с двумя запаздываниями, которое в самом общем виде записывается следующим образом:

$$X_n = F(X_{n-q}, X_{n-Q}, q, Q, M), \quad (1)$$

где X_n , X_{n-q} и X_{n-Q} – вычисляемые и задаваемые члены формируемой хаотической числовой последовательности на n -м шаге; n , q , Q , M – целые числа натурального ряда; $M = 2, 3, 4, \dots$, $Q = 2, 3, 4, \dots$; $n \geq Q + 1$; $1 \leq q < Q$; q и Q – первый и второй параметры запаздывания.

При $q < Q$ величина запаздывания Q определяет количество членов числовой последовательности $X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_{n-Q}$, по которым в самом общем случае пересчитывается значение X_n согласно (1) и которые, следовательно, должны быть заданы в качестве начальных условий на первом шаге итерационного процесса генерации кодов; $F(X)$ – функция, которая описывает нелинейное хаотическое, в общем случае, преобразование начальных значений электромагнитного поля либо в автогенераторной резонаторной задаче с нелинейным отражением [10], либо в усилительных системах с запаздывающей обратной связью [12, 13].

Далее авторами был рассмотрен и исследован наиболее простой из возможных вариантов дискретного хаотического кодирующего алгоритма типа (1), для которого нелинейная функция F задана в виде линейного разностного уравнения с двумя запаздываниями, но с ограничением значений переменной по модулю M

$$X_n = \begin{cases} X_{n-q} + X_{n-Q} & \text{если } X_{n-q} + X_{n-Q} \leq M \\ X_{n-q} + X_{n-Q} - M & \text{иначе.} \end{cases} \quad (2)$$

Из теории функционально-разностных уравнений следует, что уравнение (2) с двумя запаздываниями эквивалентно системе Q уравнений с единичным запаздыванием. При этом дискретный алгоритм (2) определен на ограниченном множестве M целых чисел натурального ряда, принадлежащих замкнутому числовому интервалу $[1, M]$. При $q < Q$ фазовое пространство отображения (2) имеет размерность Q . Число состояний системы в фазовом пространстве для алгоритма, определенного на ограниченном

дискретном множестве, конечно и равно M^Q . Из (2) видно, что в процессе формирования хаотической числовой последовательности $\{X_n\}$ к значениям X_n превышающим M применяется операция возврата $X_n \rightarrow X_n - M$, реализуя тем самым, нелинейное преобразование переменной X_n аналогично тому, как это делается в известном алгоритме сдвига Бернулли. Поэтому отображение (2) можно классифицировать как реализацию отображения типа сдвиг Бернулли, но в многомерном фазовом пространстве. Понятно, что в нашем случае алгоритм генерации ортогональных кодов оказывается гораздо эффективнее и богаче по своим возможностям генерации требуемого количества ортогональных кодов в разнообразных ситуациях.

Формирование бинарной псевдослучайной последовательности осуществлялось путем клиппирования многоуровневой хаотической числовой последовательности относительно некоторого порогового значения равного $M/2$ в соответствии со следующим правилом:

$$Y_n = \begin{cases} -1, & \text{если } X_n \leq \frac{M}{2} \\ 1, & \text{если } X_n > \frac{M}{2}. \end{cases} \quad (3)$$

Поскольку каждое состояние автоколебательной системы дискретного алгоритма определено на конечном и ограниченном множестве целых чисел, то система рано или поздно попадает в первоначальное состояние и процесс становится периодическим. До выхода на период формируемая бинарная последовательность $\{Y_n\}$ является псевдослучайной. Появление периода в последовательности $\{Y_n\}$ фиксировалось при точном повторении начальных условий $X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_{n-Q}$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ АЛГОРИТМА

Предложенный дискретный хаотический кодирующий алгоритм формирует практически некоррелированную хаотическую числовую последовательность с распределением вероятностей, близким к равномерному. На рис. 1, 2, 3, 4 представлены проекции фазовых портретов отображений хаотической числовой последовательности (ХЧП), полученные при заданных значениях параметров M , Q , q , и им соответствующие периоды повторения ХЧП (Period).

Ниже, в табл. 1 и табл. 2, представлен некоторый спектр периодов бинарных псевдослучайных последовательностей, которые были получены при разных значениях параметров M , Q , q .

В табл. 3 представлены периоды бинарных псевдослучайных последовательностей (БПСП), которые были отобраны для формирования бинарных псевдослучайных кодов (БПС-кодов).

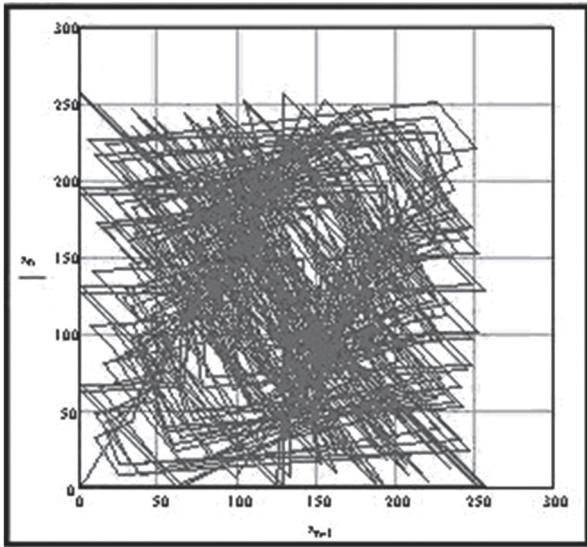


Рис. 1. Проекция фазового портрета отображений ХЧП при $M=256$, $Q=2$, $q=1$; Period=384

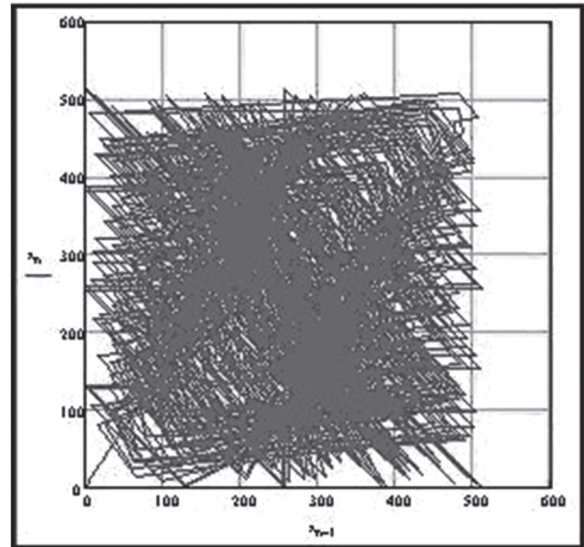


Рис. 3. Проекция фазового портрета отображений ХЧП при $M=512$, $Q=2$, $q=1$; Period=768

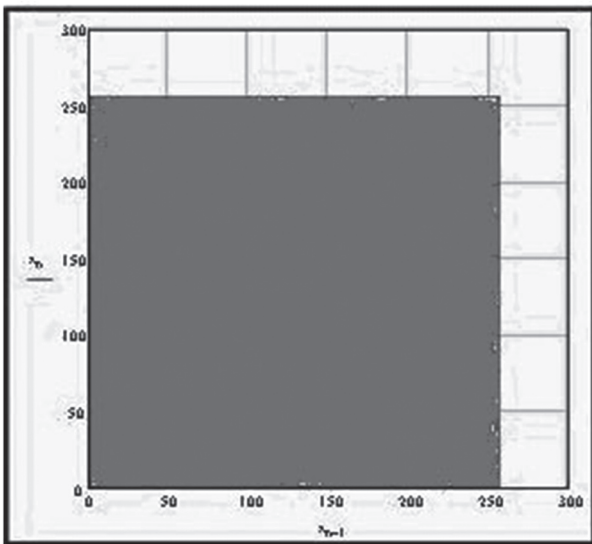


Рис. 2. Проекция фазового портрета отображений ХЧП при $M=256$, $Q=7$, $q=1$; Period=16256

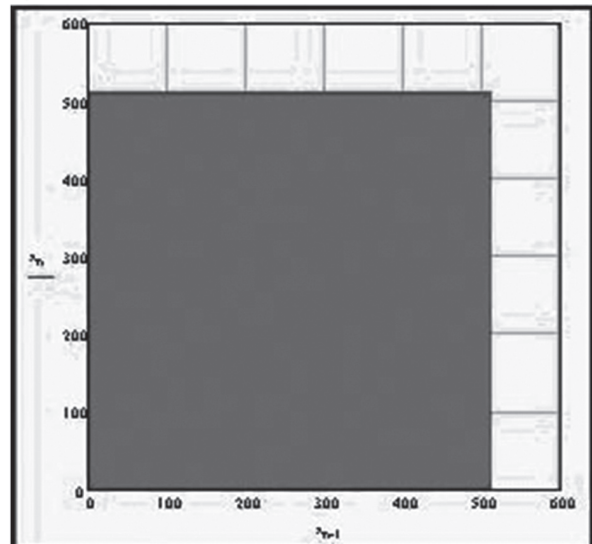


Рис. 4. Проекция фазового портрета отображений ХЧП при $M=512$, $Q=7$, $q=1$; Period=32512

Таблица 1

		Period/Ncodes при $M=256$									
Q/q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	384/3										
3	896/7	896/7									
4	1920/15	768/6	1920/15								
5	2688/21	3968/31	3968/31	2688/21							
6	8064/63	1792/14	1152/9	1792/14	8064/63						
7	16256/127	11904/93	16256/127	16256/127	11904/93	16256/127					
8	8064/63	3840/30	27776/217	1536/12	27776/217	3840/30	8064/63				
9	9344/73	59520/465	2688/21	65408/511	65408/511	2688/21	59520/465	9344/73			
10	113792/889	5376/42	130944/1023	7936/62	1920/15	7936/62	130944/1023	5376/42	113792/889		
11	196224/1533	262016/2047	249984/1953	196224/1533	76160/595	76160/595	196224/1533	249984/1953	262016/2047	196224/1533	

Таблица 2

Period/Ncodes при M=512										
Q/q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	768/6									
3	1792/14	1792/14								
4	3840/30	1536/12	3840/30							
5	5376/42	7936/62	7936/62	5376/42						
6	16128/126	3584/28	2304/18	3584/28	16128/126					
7	32512/254	23808/186	32512/254	32512/254	23808/186	32512/254				
8	16128/126	7680/60	55552/434	3072/24	55552/434	7680/60	16128/126			
9	18688/146	119040/930	5376/42	130816/1022	130816/1022	5376/42	119040/930	18688/146		
10	227584/1778	10752/84	261888/2046	15872/124	3840/30	15872/124	261888/2046	10752/84	227584/1778	
11	392448/3066	524032/4094	499968/3906	392448/3066	152320/1190	152320/1190	392448/3066	499968/3906	524032/4094	392448/3066

Таблица 3

Period								
M	256	512			1024			2048
q/Q	7	6	7	8	6	7	8	6
1	16256	16128	32512	16128	32256	65024	32256	64512
2								
3	16256		32512			65024		
4	16256		32512			65024		
5		16128			32256			64512
6	16256		32512			65024		
7				16128			32256	

4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ И КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БПС-КОДОВ

Оценка статистических и корреляционных характеристик бинарных псевдослучайных последовательностей, отобранных для формирования БПС-кодов, была проведена только для БПСП, представленных в табл. 3.

Компьютерное моделирование показало, что при соответствующем выборе параметров M, Q, q (согласно табл. 3) дискретный хаотический кодирующий алгоритм формирует бинарную псевдослучайную последовательность с распределением вероятностей, близким к равномерному $p(x) = 1/M$.

Подсчет блоков из k одинаковых импульсов на реализации из 16128 (16256, 32256, 32512, 64512 и 65024) бинарных элементарных импульсов соответственно показал, что вероятность появления блоков полностью подчиняется закону $p(k) = 1/2^k$.

Оценка корреляционных характеристик БПС-кодов, сформированных согласно предложенному методу, проводилась на основе анализа 126 (127, 252, 254, 504 и 508) сегментов размером 128 импульсов, последовательно генерируемых дискретным алгоритмом без какого-либо отбора,

в том числе и без отбора по сбалансированности кодов.

Максимальные значения уровней боковых выбросов автокорреляционной и взаимнокорреляционной функций произвольных 128-чиповых сегментов БПС-кодов не превышали значений

$$(1,4 \div 2,4) / \sqrt{N} = 0,12 \div 0,21 \text{ для } N = 128,$$

что соответствует разбросу максимальных уровней боковых выбросов корреляционных функций случайных последовательностей с равномерным распределением вероятностей [8, 9, 11].

На рис. 5, 6 и рис. 7, 8 представлены соответственно автокорреляционная и взаимнокорреляционная функции некоторых БПС-кодов.

Для оценки величины объема системы квазиортогональных бинарных кодовых сигналов был проведен анализ 128-чиповых сегментов БПС-кодов, сформированных согласно методу.

Анализ показал, что формируемый ансамбль БПС-кодов (Ncodes в табл. 1 и 2) действительно является большим, т.е. объем его, как правило, значительно превышает базу БПС-кода ($N=128$). Его величина, по меньшей мере, в несколько раз превышает объем системы сигналов M -последовательности, которые до настоящего времени обычно широко использовались в качестве кодирующих сигналов.

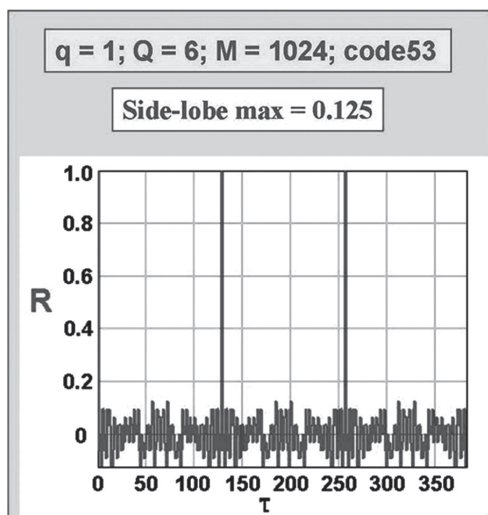


Рис. 5. Автокорреляционная функция БПС-кода №53 длиной $N=128$ для 3-х периодов кода

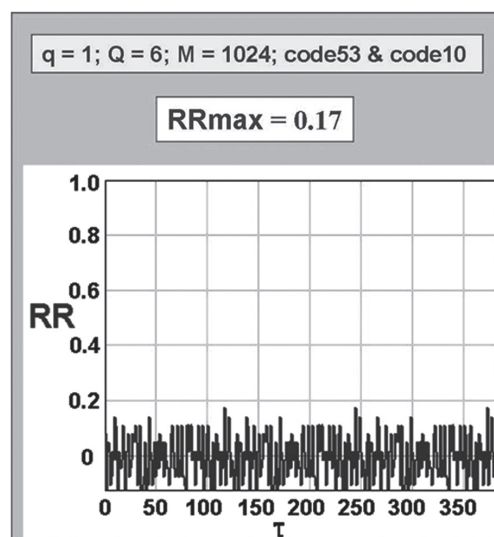


Рис. 8. Взаимокорреляционная функция БПС-кодов №53 и №10 длиной $N=128$ на интервале 3-х периодов повторения этих кодов

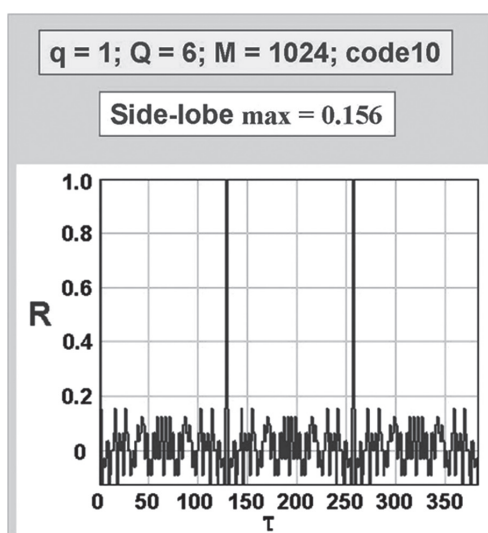


Рис. 6. Автокорреляционная функция БПС-кода №10 длиной $N=128$ для 3-х периодов кода

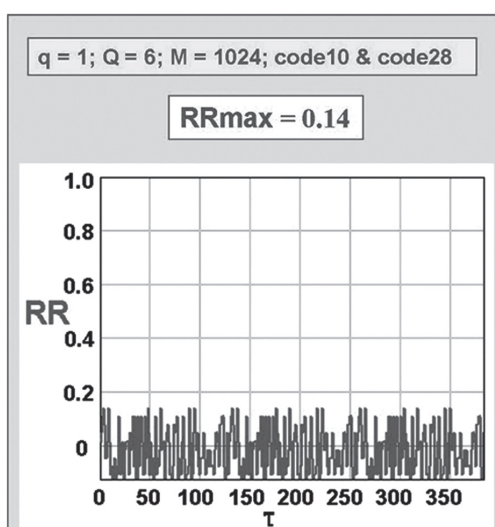


Рис. 7. Взаимокорреляционная функция БПС-кодов №10 и №28 длиной $N=128$ на интервале 3-х периодов повторения этих кодов

ВЫВОДЫ

1. Предложен новый метод формирования квазиортогональных хаотических кодовых сигналов, используемых при практической реализации CARs-to-CARs системы. Метод разработан на базе дискретного хаотического кодирующего алгоритма рекуррентно-параметрического типа с двумя параметрами запаздывания, позволяющего сформировать практически «неограниченное» семейство квазиортогональных бинарных кодовых сигналов.

2. Компьютерным моделированием исследована и проанализирована структура фазового пространства предложенного алгоритма. Найден спектр периодов циклических траекторий в фазовом пространстве, различающихся параметрами запаздывания. Проведено исследование статистических и корреляционных характеристик БПС-кодов, сформированных согласно методу.

3. Моделирование показало, что при соответствующем выборе параметров запаздываний и длины кода предложенный дискретный хаотический кодирующий алгоритм формирует БПС-коды с распределением вероятностей, близким к равномерному $p(x)=1/M$.

4. Корреляционные характеристики 128-чиповых сегментов БПС-кодов, сформированных дискретным хаотическим кодирующим алгоритмом, соответствуют корреляционным характеристикам случайного процесса с равномерным распределением вероятностей.

5. Показано, что квазиортогональные бинарные кодовые сигналы, сформированные согласно предложенному методу, полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к кодирующим сигналам для CARs-to-CARs системы.

Литература.

- [1] *Konstantin Lukin, David Breed et. al.* Patent USA No.: US 6, 720, 920 B2, April 13, 2004.

- [2] *Konstantin Lukin, David Breed et. al.* Patent USA No.: US 7, 110, 880 B2, September 19, 2006.
- [3] *Konstantin Lukin, Valery Scherbakov, Vladimir Kononov, Ryan Breed.* Dedicated Short-Range Communication System for Vehicle-to-Vehicle Data Transmission on the Basis of Chaotic Waveform codes (DSRC-VVDT). // Proceedings of 16 International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications – MIKON-2006, Krakow, Poland, May 22 – 24, 2006, Vol. 1, pp. 442 – 445.
- [4] *К.А. Лукин, В.Е. Щербаков, В.М. Коновалов, Д.С. Брид.* Метод построения самоорганизующейся системы связи между транспортными средствами на автобане. Радиотехника и компьютерные системы, №6 (25), 2007, Харьков «ХАІ», с. 238 – 244.
- [5] *К.А. Лукин, В.Е. Щербаков, В.М. Коновалов, Д.С. Брид.* New Concept of Multiplex Broadband Wireless Communication for Vehicle-to-Vehicle Data Transmission on Highways. // Proceeding of the Sixth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves – MSMW'07, Kharkov, Ukraine, June 25 – 30, 2007, Vol. 2, pp. 852 – 854.
- [6] *В.Е. Щербаков, К.А. Лукин.* Моделирование системы передачи/приема данных между транспортными средствами на автобане. Радиотехника и компьютерные системы, №7 (41), 2009, Харьков «ХАІ», с. 288 – 294.
- [7] *Кнут Д.* Искусство программирования. Т.2. Получисленные алгоритмы = The Art of Computer Programming, vol.2. Seminumerical Algorithms. 3-е изд. М.: «Вильямс», 2007. С. 832.
- [8] *Hayes Brian* // American Scientists. 1999. V.87. №4. P. 296.
- [9] *Каханер Д., Моулер К., Нэш С.* Числовые методы и программное обеспечение. М.: Мир, 2001. С. 575.
- [10] *К.А. Лукин, Ю.Л. Майстренко, А.Н. Шарковский, В.П. Шестопалов.* Метод разностных уравнений в резонаторной задаче с нелинейным отражателем. 1989, ДАН СССР, т.309, с.327-331.
- [11] *Варакин Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985.
- [12] *Ю.В. Гуляев, Р.В. Беляев, Г.М. Воронцов, Н.Н. Залогин, В.И. Калинин, Э.В. Кальянов, В.В. Кислов, В.Я. Кислов, В.В. Колесов, Е.А. Мясин, Е.П. Чигин.* Информационные технологии на основе динамического хаоса для передачи, обработки, хранения и защиты информации. Радиотехника и электроника, 2003, т. 48, № 10. с. 1157 – 1185.
- [13] *Ю.В. Гуляев, В.Я. Кислов, В.В. Кислов, В.И. Калинин, В.В. Колесов, Р.В. Беляев, Г.М. Воронцов.* Широкополосные телекоммуникационные средства с кодовым разделением каналов на основе хаотических сигналов. Радиотехника, 2002, № 10, с. 3 – 15.

Поступила в редколлегию 20.01.2012

Лукин Константин Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, IEEE Fellow, заведующий отделом нелинейной динамики электронных систем ИРЭ НАН Украины. Область научных интересов: динамический хаос, генерация и обработка случайных сигналов, широкополосная шумовая радиолокация и радиосвязь.



Щербаков Валерий Евгеньевич, ведущий инженер-исследователь отдела нелинейной динамики электронных систем ИРЭ НАН Украины. Область научных интересов: широкополосная радиолокация и радиосвязь, синтез и обработка хаотических и псевдослучайных сигналов.

УДК 621.396.2.018.424

Метод формування квазиортогональних хаотичних кодових сигналів для системи передачі/прийому даних між транспортними засобами на автобані / К.О. Лукін, В.Є. Щербаков // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2012. Том 11. № 1. – С. 35-41.

Запропонований новий метод формування квазі-ортогональних хаотичних кодів, що використовуються в DSRC системах передачі/прийому даних між транспортними засобами на автобані. Метод розроблений на базі дискретного хаотичного кодуемого алгоритму рекурентно-параметричного типу з двома параметрами запізнювання. Проведено дослідження статистичних та кореляційних характеристик бінарних псевдовипадкових кодів (БПВ-кодів), сформованих згідно запропонованому методу. Показано, що при відповідному виборі параметрів запізнювань і довжини кода хаотичний кодуемый алгоритм формує неперіодичні сегменти БПВ-кодів з рівномірним розподілом ймовірності, а по статистичних та кореляційних параметрах близьких до характеристик випадкового процесу.

Ключові слова: стандарт DSRC, просторово-кодовий розподіл CDMA каналів, квазиортогональний хаотичний код, дискретний кодуемый алгоритм, фазовий портрет, бінарна псевдовипадкова послідовність, автокореляційна та взаємкореляційна функція.

Табл. 3. Іл. 8. Бібліогр.: 13 найм.

UDC 621.396.2.018.424

A method of forming quasiorthogonal chaotic code signals for the data transmission/reception system between vehicles on highway / K.A. Lukin, V.E. Scherbakov // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2012. Vol. 11. № 1. – P. 35-41.

A new method for generating quasi-orthogonal chaotic codes is suggested which are applied in the data transmit/receive units of the DSRC systems for cars on a highway. The method is based upon a discrete chaotic encoding algorithm of recurrent-parametric type with two delay parameters. Statistical and cross-correlation properties of binary pseudorandom codes (BPR-codes) generated according to the method suggested have been studied in detail. It is shown that at the proper choice of the delay parameters and the code length the chaotic encoding algorithm generates non-periodic segments of BPR-codes having a uniform distribution while its statistical and crosscorrelation parameters are close to those of a truly random process.

Keywords: DSRC standard, space-coded allocation of CDMA channels, quasiorthogonal chaotic code, discrete encoding algorithm, map phase portrait, binary pseudorandom sequence, autocorrelation and cross-correlation functions.

Tab. 3. Fig. 8. Ref.: 13 items.