электронное научно-техническое издание
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408

Ансамбли последовательностей GMW для систем с кодовым разделением каналов

77-30569/293828

01, январь 2012

Юдачев С. С., Калмыков В. В.

УДК 621.396.4

МГТУ им. Н.Э. Баумана
judachev@gmail.com

В настоящее время технология многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), признана наиболее перспективной для использования в будущих поколениях сетей мобильной связи. Эта технология основана на расширении спектра за счет использования псевдослучайных последовательностей (ПСП). Расширение спектра производится путем модуляции несущего колебания по закону псевдослучайной последовательности. При этом используют либо прямой метод модуляции (системы DS-CDMA), либо модуляцию скачкообразным переключением частоты (FH-CDMA).

Известно достаточно много ансамблей бинарных ПСП, используемых при построении систем связи – последовательности максимальной длины регистра сдвига (М-последовательности), последовательности Голда, Касами, ,Камалетдинова, Баркера, Лежандра, Гордона-Милза-Уэлча (GMW) и др.[1].

Разделение каналов в системе с CDMA осуществляется за счет присвоения каждому абонентскому каналу кодовой ПСП, корреляция которой с последовательностями других каналов минимальна. Центральный пик автокорреляционной функции (АКФ) кодовых последовательностей, используемых в асинхронных системах связи должен существенно превышать боковые лепестки АКФ, а максимальные выбросы взаимно-корреляционных функций (ВКФ) этих последовательностей при всех сдвигах должны быть по возможности минимальны. Для синхронных систем требования к ВКФ не такие жесткие – достаточно обеспечить малую взаимную корреляцию последовательностей в одной точке. Очевидно, что чем более представительный ансамбль последовательностей с минимальной взаимной корреляцией тем больше может быть абонентов в системе. Важным требованием, предъявляемым к современным системам с CDMA, является обеспечение конфиденциальности передачи. С этой целью необходимо.применять ПСП с большим периодом и высоким показателем неопределенности, т.е. с большой линейной сложностью [2].

Широко используемые в настоящее время М-последовательности, коды Голда и Касами поддаются легкой расшифровке. Этого недостатка лишены последовательности, функция формирования которых нелинейна, в частности, последовательности, предложенные Гордоном, Милзом и Уэлчем (GMW).[1] Несомненными их достоинствами являются представительный ансамбль, при больших длинах значительно превосходящий ансамбль М-последовательностей, и достаточно хорошие корреляционные свойства. Однако свойства ансамблей последовательностей GMW, ввиду сложности их формирования, изучены еще недостаточно, методы практической генерации исследованы также мало.

Известные способы генерации GMW последовательностей основаны на том, что любую М-последовательность длины 2^N-1, где $N=mk$, $m\geq 2, k\geq 3$, можно представить в виде двумерной матрицы из $z = 2^k$-1 столбцов и $v=(2^n-1)/z$ строк. При этом каждая строка является либо некоторым сдвигом более короткой М-последовательности длины 2^{k-1}, либо строкой из одних нулей. Это свойство получило название декомпозиционного свойства М-последовательности, а матрица – декомпозиционной матрицы [3]. Для построения последовательностей GMW длины $2^N-1\,(N=mk,$ $m\geq 2, k\geq 3)$ в декомпозиционной матрице М-последовательности с параметрами z и v необходимо все ненулевые строки, являющиеся сдвигами некоторой более короткой М-последовательности длины z, заменить на строки с теми же сдвигами, но уже другой М-последовательности длины z, не являющейся сдвигом заменяемой М-последовательности. Общее число получаемых GMW-последовательностей при разложении $N=mk$ будет равно числу различных базисных последовательностей [4].

Все описанные в литературе способы формирования GMW последовательностей основаны на принципе декомпозиции и отличаются только сложностью реализации. Для получения конкретных образцов последовательностей, которые могут быть полезны при исследовании возможностей практического применения в системах с CDMA, а также их изучения были составлены алгоритм и программа. Структурная схема алгоритма представлена на рисунке 1

Последовательность GMW периода $L=2^N-1$ где $N=mk$, $m\geq 2, k\geq 3$ формируется путем декомпозиции P символов различных сдвигов базисной М-последовательности периода $L_1=2^{k-1}$, где P выбирается из условия $P=(L+1)/(L_1+1)$, $S=L/L_1$, P<S, и $(S–P)$ символов нуль-последовательностей, состоящих из L_1 нулей. При этом

каждый сдвиг М-последовательности является целым числом *(0, L_1)*, которое берут из декомпозиционного правила I_p.

Для реализации алгоритма была выбрана среда *C++Builder 2009,* заданы переменные начальные условия и две функции – сдвига строки и собственно реализации алгоритма. Программное воплощение полностью соответствует структурной схеме, приведенной на рис. 1.

Для получения последовательностей GMW достаточно задать базисную М-последовательность и правило декомпозиции – строку чисел длины L_1+1со значениями от 0 до L_1-*1*.

Полученные результаты приведены в таблице 1. Из-за сложности получения декомпозиционных правил и для наглядности был выбран ансамбль GMW последовательностей длиной L= 6 3 символа.

Существуют две базисных М-последовательностей длины 7, каждая из них порождает полуансамбль ПСП GMW периода 63.

Для исследования корреляционных свойств полученного ансамбля GMW последовательностей (Таблица 1) была составлена программа и вычислены периодические автокорреляционные функции (ПАКФ) и апериодические автокорреляционные функции (ААКФ) каждой ПСП из ансамбля, периодические взаимокорреляционные функции (ПВКФ) и апериодические взаимокорреляционные функции (АВКФ) для всех возможных пар ПСП для каждого из двух полуансамблей, а также ПВКФ и АВКФ для пар ПСП, принадлежащих разным полуансамблям, т.е. полученным на основе различных базисных ПСП.

Результаты подтвердили правильность составленной программы и алгоритма:

1) В каждом полуансамбле выделены 3 базовые последовательности. Все остальные ПСП из полуансамбля являются последовательными сдвигами базовых на период кратный 9-ти символам (Таблицы 2 и 3). Например, последовательность 14 является циклическим сдвигом последовательности 4 на 36 символов. Таким образом, существует только 6 образцов полностью уникальных последовательностей GMW периода 63 (Таблица 4).

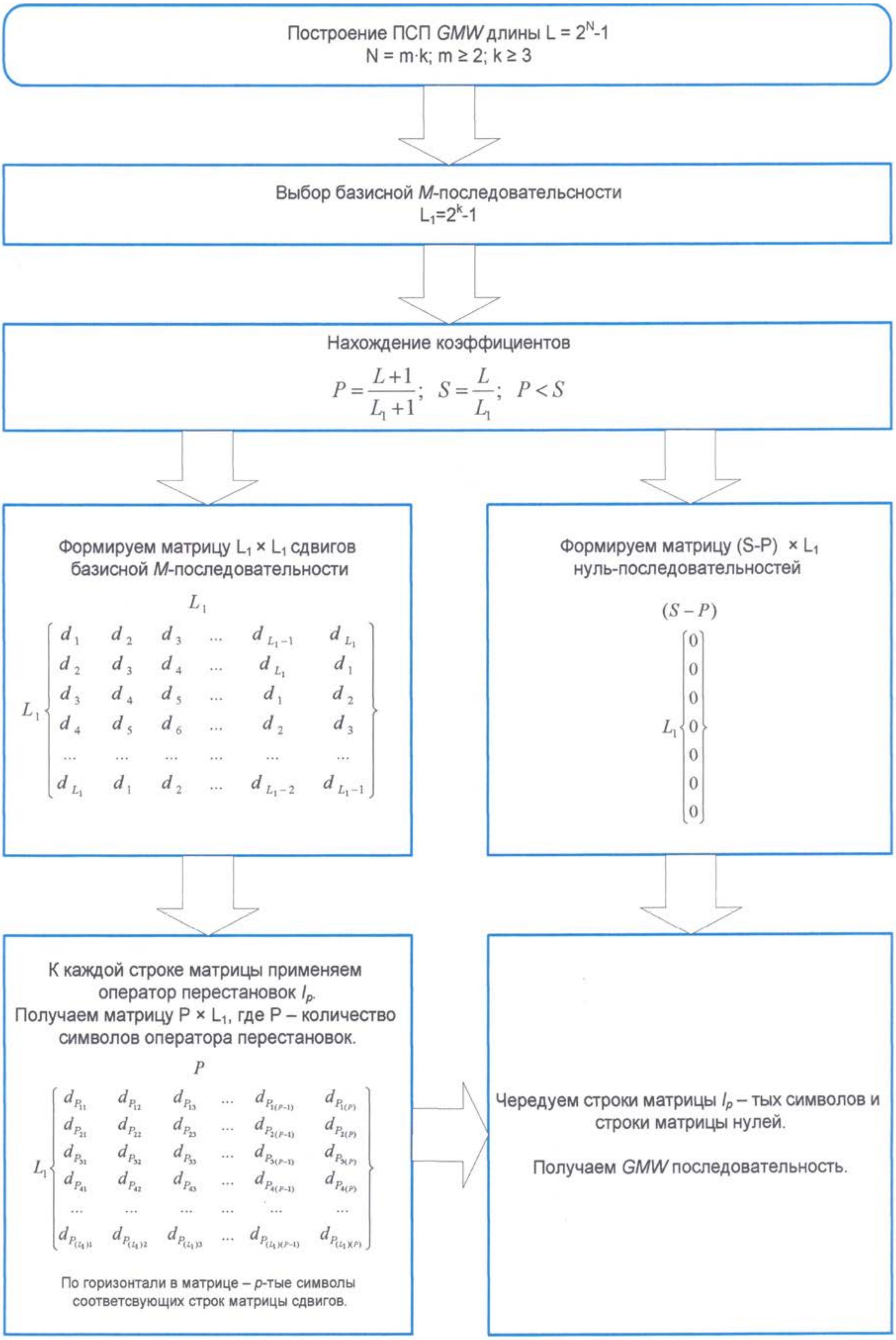

Рис. 1. Структурная схема алгоритма формирования GMW последовательностей

Таблица1

Образцы GMW последовательностей

№	Последовательности GMW	Правило декомпозиции	Базисная M-последовательность
1	2	3	4
1	111011110110110110100011110011000000101110110001101000010101000	01430200	1110100
2	101100110101100010111011010010111100111011110000000100010111000	05015540	1110100
3	100111010111010010111000110011111100100101110011101000000010100	06641450	1110100
4	111010010111000110011111100100101110011101000000010100100111010	10052561	1110100
5	110110110100011110011000000101110110001101000010101000111011110	12541311	1110100
6	101100010111011010010111100111011110000000100010111000101100110	16126651	1110100
7	111011010010111100111011110000000100010111000101100110101100010	20230062	1110100
8	111000110011111100100101110011101000000010100100111010111010010	21163602	1110100
9	100011110011000000101110110001101000010101000111011110110110110	23652422	1110100
10	010111100111011110000000100010111000101100110101100010111011010	31341103	1110100
11	011111100100101110011101000000010100100111010111010010111000110	32204013	1110100
12	011000000101110110001101000010101000111011110110110110100011110	34063533	1110100
13	111011110000000100010111000101100110101100010111011010010111100	42452214	1110100
14	100101110011101000000010100100111010111010010111000110011111100	43315124	1110100
15	101110110001101000010101000111011110110110110100011110011000000	45104644	1110100
16	000000100010111000101100110101100010111011010010111100111011110	53563325	1110100
17	011101000000010100100111010111010010111000110011111100100101110	54426235	1110100
18	001101000010101000111011110110110110100011110011000000101110110	56215055	1110100
19	010101000111011110110110110100011110011000000101110110001101000	60326166	1110100
20	010111000101100110101100010111011010010111100111011110000000100	64604436	1110100
21	000010100100111010111010010111000110011111100100101110011101000	65530346	1110100

1	2	3	
1’	111101110001010100001011000110111010000001100111 100010110110110	00504360	1001011
2’	101110010010100000001011100111010010011111100110 001110100101110	02363110	1001011
3’	110011010001110100010000000111101110011110100101 101110100011010	03226020	1001011
4’	001010100001011000110111010000001100111100010110 110110111101110	11615401	1001011
5’	010100000001011100111010010011111100110001110100 101110101110010	13404221	1001011
6’	001110100010000000111101110011110100101101110100 011010110011010	14330131	1001011
7’	001011000110111010000001100111100010110110110111 101110001010100	22026512	1001011
8’	001011100111010010011111100110001110100101110101 110010010100000	24515332	1001011
9’	010000000111101110011110100101101110100011010110 011010001110100	25441242	1001011
10’	110111010000001100111100010110110110111101110001 010100001011000	33130623	1001011
11’	111010010011111100110001110100101110101110010010 100000001011100	35626443	1001011
12’	1111011100110100101101110100011010110011010001 110100010000000	36552353	1001011
13’	011110100101101110100011010110011010001110100010 000000111101110	40663464	1001011
14’	000001100111100010110110110111101110001010100001 011000110111010	44241034	1001011
15’	011111100110001110100101110101110010010100000001 011100111010010	46030554	1001011
16’	110001110100101110101110010010100000001011100111 010010011111100	50141665	1001011
17’	101101110100011010110011010001110100010000000111 101110011110100	51004505	1001011
18’	111100010110110110111101110001010100001011000110 111010000001100	55352145	1001011
19’	100101110101110010010100000001011100111010010011 111100110001110	61252006	1001011
20’	100011010110011010001110100010000000111101110011 110100101101110	62115616	1001011
21’	110110110111101110001010100001011000110111010000 001100111100010	66463256	1001011

Таблица 2

Последовательности GMW на основе базисной M последовательности 1110100

№	Последовательности GMW	Правило декомпозиции
1	11101111011011011010001111001100000010111011000110100001 0101000	01430200
2	10110011010110001011101101001011110011101111000000010001 0111000	05015540
3	10011101011101001011100011001111110010010111001110100000 0010100	06641450
4	11101001011100011001111110010010111001110100000001010010 0111010	10052561
5	11011011010001111001100000010111011000110100001010100011 1011110	12541311
6	10110001011101101001011110011101111000000010001011100010 1100110	16126651
7	11101101001011110011101111000000010001011100010110011010 1100010	20230062
8	11100011001111110010010111001110100000001010010011101011 1010010	21163602
9	10001111001100000010111011000110100001010100011101111011 0110110	23652422
1 0	01011110011101111000000010001011100010110011010110001011 1011010	31341103
1 1	01111110010010111001110100000001010010011101011101001011 1000110	32204013
1 2	01100000010111011000110100001010100011101111011011011010 0011110	34063533
1 3	11101111000000010001011100010110011010110001011101101001 0111100	42452214
1 4	10010111001110100000001010010011101011101001011100011001 1111100	43315124
1 5	10111011000110100001010100011101111011011011010001111001 1000000	45104644
1 6	00000010001011100010110011010110001011101101001011110011 1011110	53563325
1 7	01110100000001010010011101011101001011100011001111110010 0101110	54426235
1 8	00110100001010100011101111011011011010001111001100000010 1110110	56215055
1 9	01010100011101111011011011010001111001100000010111011000 1101000	60326166
2 0	01011100010110011010110001011101101001011110011101111000 0000100	64604436
2 1	00001010010011101011101001011100011001111110010010111001 1101000	65530346

Таблица 3

Последовательности GMW на основе базисной М последовательности 1001011

№	Последовательности GMW	Правило декомпозиции
1	111101110001010100001011000110111010000001100111100010110110110	00504360
2	101110010010100000001011100111010010011111100110001110100101110	02363110
3	110011010001110100010000000111101110011110100101101110100011010	03226020
4	001010100001011000110111010000001100111100010110110110111101110	11615401
5	010100000001011100111010010011111100110001110100101110101110010	13404221
6	001110100010000000111101110011110100101101110100011010110011010	14330131
7	001011000110111010000001100111100010110110110111101110001010100	22026512
8	001011100111010010011111100110001110100101110101110010010100000	24515332
9	010000000111101110011110100101101110100011010110011010001110100	25441242
10	110111010000001100111100010110110110111101110001010100001011000	33130623
11	111010010011111100110001110100101110101110010010100000001011100	35626443
12	111101110011110100101101110100011010110011010001110100010000000	36552353
13	011110100101101110100011010110011010001110100010000000111101110	40663464
14	000001100111100010110110110111101110001010100001011000110111010	44241034
15	011111100110001110100101110101110010010100000001011100111010010	46030554
16	110001110100101110101110010010100000001011100111010010011111100	50141665
17	101101110100011010110011010001110100010000000111101110011110100	51004505
18	111100010110110110111101110001010100001011000110111010000001100	55352145
19	100101110101110010010100000001011100111010010011111100110001110	61252006
20	100011010110011010001110100010000000111101110011110100101101110	62115616
21	110110110111101110001010100001011000110111010000001100111100010	66463256

Таблица 4

Последовательности *GMW* и максимальный уровень боковых лепестков их ААКФ

№	Последовательности *GMW*	Правило декомпозиции	Максимальный уровень боковых лепестков ААКФ
Базисная последовательность - М-последовательность 1110100			
1	11101111011011011010001111001100000010 1110110001101000010101000	01430200	7
2	10110011010110001011101101001011110011 1011110000000100010111000	05015540	7
3	10011101011101001011100011001111110010 0101110011101000000010100	06641450	7
Базисная последовательность - М-последовательность 1001011			
4	11110111000101010000101100011011101000 0001100111100010110110110	00504360	9
5	10111001001010000000101110011101001001 1111100110001110100101110	02363110	8
6	11001101000111010001000000011110111001 1110100101101110100011010	03226020	9

2) ПАКФ базовых последовательностей из таблицы 4 являются такими же, как у М–последовательностей [5].

3) Максимальный уровень боковых лепестков ААКФ последовательностей GMW соизмерим с максимальным уровнем для М-последовательностей.

4) Максимальные выбросы ПВКФ возможных комбинаций пар последовательностей GMW также не превышают уровня максимальных выбросов ПВКФ М-последовательностей.

5) Максимальные выбросы ПВКФ между любыми парами GMW и М-последовательностей не превышают уровней ПВКФ для М-последовательностей

Заключение

Предложенные в статье алгоритм и программа формирования последовательностей могут быть полезны при исследовании свойств класса нелинейных последовательностей GMW для перспективных систем с кодовым разделением каналов.

Список литературы

1. Golomb S.W., Gong. G. Signal Design for Good Correlation for Wireless Communication, Criptography and Radar . Cambridge University Press , 2005.- 438 P.
2. Системы сотовой и спутниковой связи / В.В.Калмыков, И.Б.Федоров, С.С.Юдачев. Изд.-во «Рудомино», 2010. 280 с.
3. Стельмашенко Б.Г., Тараненко П..Г. Нелинейные псевдослучайные последовательности в широкополосных системах передачи информации. - Зарубежная радиоэлектроника 1988. №9. С. 76-82.
4. Мешковский К.А., Кренгель Е.И. Генерация псевдослучайных последовательностей Гордона, Милза, Велча.. Радиотехника.1998.№5. С. 25-28.
5. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации / В.Б.Пестряков, В.П. Афанасьев, В.Л.Гурвиц и др. ; Под. ред. В.Б.Пестрякова. Сов. Радио, 1973. 424 с.

electronic scientific and technical periodical
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS 77 - 30569. №0421100025. ISSN 1994-0408

Ensembles of GMW sequences for systems with code channel separation

77-30569/293828
 # 01, January 2012

Yudachev S.S., Kalmykov V.V.

Bauman Moscow State Technical University

judachev@gmail.com

The article considers software implementation and evaluation of properties of one of the classs of nonlinear sequences - GMW sequences for use in CDMA communication systems with code division multiplexing.

Publications with keywords: pseudorandom binary sequences, correlation properties, multiple access
Publications with words: pseudorandom binary sequences, correlation properties, multiple access

Reference

1. Golomb S.W., Gong. G., Signal Design for Good Correlation for Wireless Communication, Criptography and Radar, Cambridge University Press, 2005, 438 p.
2. V.V.Kalmykov, I.B.Fedorov, S.S.Iudachev, Systems of Cellular and satellite communications, Izd.-vo «Rudomino», 2010, 280 p.
3. Stel'mashenko B.G., Taranenko P.G., Nonlinear pseudorandom sequences in a broadband information transmission systems, Zarubezhnaia radioelektronika 9 (1988) 76-82.
4. Meshkovskii K.A., Krengel' E.I., Generation of pseudorandom sequences Gordon, Милза, Welch, Radiotekhnika 5 (1998) 25-28.
5. V.B.Pestriakov, V.P. Afanas'ev, V.L.Gurvits, et al., in: V.B. Pestriakov (Ed.), Noise-like signals in the systems of information transmission, Sov. Radio, 1973, 424 p.