

УДК 621.391

В.П. Лысечко

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ АНСАМБЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С МИНИМАЛЬНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Предложен метод синтеза ансамблей сложных сигналов, основанный на полосовой фильтрации в разных областях частотного спектра псевдослучайных последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием с последующим их переносом в общую полосу частот. Применение таких сигналов в системах радиосвязи множественного доступа дает возможность уменьшить уровень внутрисистемных помех.

Постановка проблемы

В системах радиосвязи множественного доступа применение ансамблей последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием (МЭВ) [1] дает возможность значительно снизить уровень внутрисистемных помех за счет уменьшения уровней максимальных выбросов боковых лепестков взаимокорреляционных функций (ВКФ). Однако для таких сигналов характерно большое значение пик-фактора, что предполагает использование специальных передатчиков, работающих в импульсном режиме. В то же время, существующие системы передачи информации традиционно ориентированы на использование передатчиков с ограниченной пиковой мощностью. Кроме того, объем ансамбля таких сигналов не может быть больше количества образующих последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием. Представляет интерес синтез ансамблей сигналов с меньшим значением пик-фактора и ограниченной шириной спектра, обладающих взаимокорреляционными свойствами, приближающимися к свойствам сигналов с минимальным энергетическим взаимодействием [2] и увеличенным по сравнению с исходными последовательностями объемом ансамбля.

Анализ литературы

Известны различные методы формирования сложных фазоманипулированных сигналов с хорошими взаимными корреляционными свойствами, основанные на использовании линейных и нелинейных рекуррентных последовательностей [1, 3]. Данные сигналы имеют пик-фактор, близкий к единице даже после прохождения полосовых фильтров тракта передачи [7]. С другой стороны, для таких ансамблей сигналов максимальное значение коэффициента взаимной корреляции имеет порядок [2]

$$\max R \leq \frac{\alpha}{\sqrt{B}}, \quad (1)$$

где B – база сигнала, равная произведению ширины спектра сигнала ΔF на его длительность T ($B = \Delta FT$);
 α – коэффициент, равный 2...5.

Это не снижает помехоустойчивость, но в то же время не обеспечивает защиту от внутрисистемных помех в условиях значительного динамического диапазона уровней принимаемых и мешающих сигналов [1, 2, 3].

Цель статьи – разработка метода формирования больших ансамблей сложных сигналов путем применения полосовой фильтрации последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием в различных областях частот с их последующим переносом в одну частотную область; проведение анализа статистических характеристик ВКФ сложных сигналов, образованных таким путем при фиксированной скорости передачи информации (при неизменной длительности последовательностей) с целью разработки рекомендаций по оптимизации параметров предлагаемых сигналов.

Основной материал

Для передачи информации по радиоканалам предлагается применять ансамбли сигналов, сформированных путем полосовой фильтрации спектров последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием, полученных с помощью алгоритма, предложенного в [1] фильтрами с одинаковой полосой пропускания в различных частотных диапазонах с последующим их переносом в одну частотную область. За счет этого достигается такое различие форм сигналов, полученных даже из одной и той же последовательности, что значения максимальных выбросов боковых лепестков ВКФ таких сигналов будут удовлетворять условию (1), что обеспечит малый уровень внутрисистемных помех.

Упрощенная структурная схема формирования ансамбля сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами, представленная на рис. 1, включает выполнение следующих операций:

1. Формируют N последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием [2].

2. Полученные N последовательностей фильтруют, используя полосовые фильтры с заданными значениями средней частоты $f_{срi}$ и ширины полосы пропускания $\Delta f_{пfi}$ в различных частотных диапазонах.

3. Выполняют расчет попарных ВКФ для всего ансамбля сигналов.

4. Выполняют проверку ВКФ всего ансамбля сигналов на выполнение условия обеспечения заданного уровня максимальных выбросов боковых лепестков и уровня пик-фактора.

5. Если значения максимальных выбросов бо-

вых лепестков ВКФ сигналов превышают требуемые, то сигнал из анализируемой пары с меньшим значением n (n – количество импульсов) исключается из ансамбля. Если значения боковых лепестков ВКФ сигналов не превышают требуемых значений, то полученные сигналы принимаются для формирования ансамбля сигналов с минимальным энергетическим взаимодействием.

Работоспособность предложенного алгоритма иллюстрируется примером, в котором рассматривались пятьдесят последовательностей, синтезированных в соответствии с алгоритмом, предложенным в [1], со следующими характеристиками: длительность последовательностей $T \approx 860$ мкс, длительность импульсов $\tau_i = 10$ нс. Вид сигнала, полученного с применением

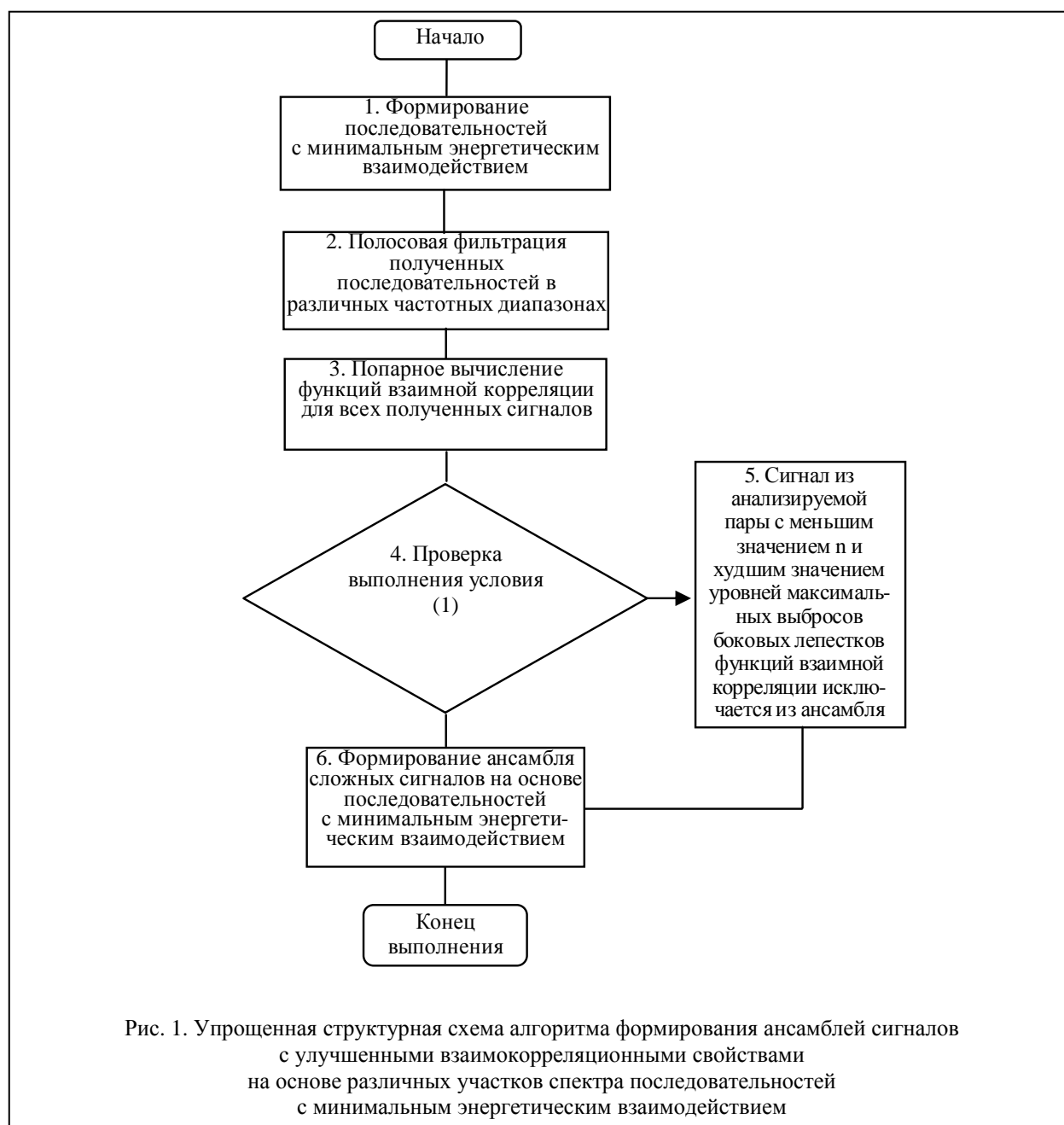


Рис. 1. Упрощенная структурная схема алгоритма формирования ансамблей сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами на основе различных участков спектра последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием

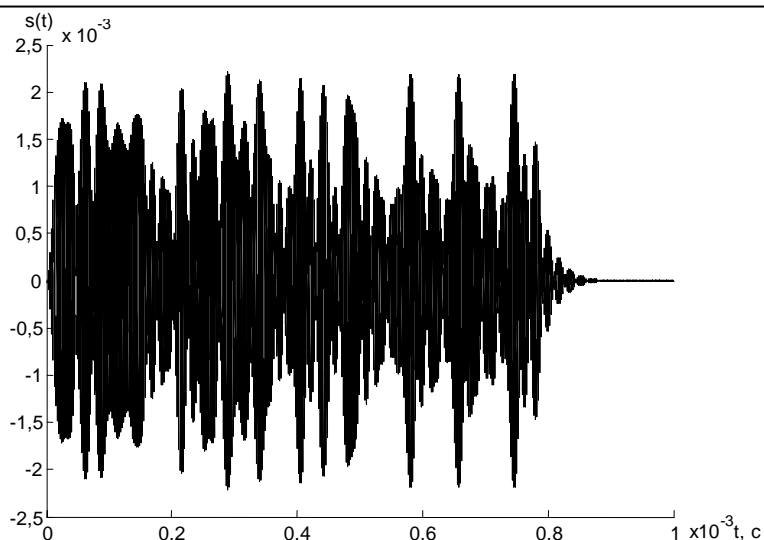


Рис 2. Вид сигнала, полученного с применением полосовой фильтрации последовательности из ансамбля с минимальным энергетическим взаимодействием

Таблица 1

	ΔF, %									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$m_{\max R}(\Delta F)$	0,36	0,305	0,277	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,205
$\sigma_{\max R}(\Delta F)$	0,066	0,041	0,030	0,025	0,021	0,019	0,017	0,016	0,015	0,0138
$S_{\max R}(\Delta F)$	1,021	0,802	0,582	0,365	0,383	0,493	0,59	0,646	0,675	0,7246
$E_{\max R}(\Delta F)$	3,106	2,754	2,045	1,109	1,193	1,357	1,461	1,495	1,561	1,6695
$m_{\Pi}(\Delta F)$	2,471	3,175	3,778	3,865	4,498	5,469	5,973	6,161	6,546	7,3714
$\sigma_{\Pi}(\Delta F)$	1,317	0,932	0,519	0,337	0,617	0,616	0,585	0,639	0,691	0,8367
$S_{\Pi}(\Delta F)$	0,891	0,650	0,121	-0,13	0,099	0,063	0,164	0,379	0,226	0,3061
$E_{\Pi}(\Delta F)$	-0,51	-0,34	-0,72	-0,98	-1,19	-1,401	-1,28	-1,06	-1,11	-1,149

полосовой фильтрации псевдослучайной последовательности из ансамбля последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием, синтезированных путем применения метода, изложенного в [1], представлен на рис. 2.

Необходимо решить задачу выбора такой полосы фильтрации ΔF последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием, при которой удовлетворялись бы требования:

$$\begin{cases} \max R_k(\Delta F) \rightarrow 0; \\ \Pi_i(\Delta F) \leq \Pi_{\text{зад}}, \end{cases}$$

где k – порядковый номер ВКФ, $k = 1, 2, \dots, N$;

N – количество пар взаимодействующих сигналов;

$\Pi_{\text{зад}}$ – заданное значение пик-фактора.

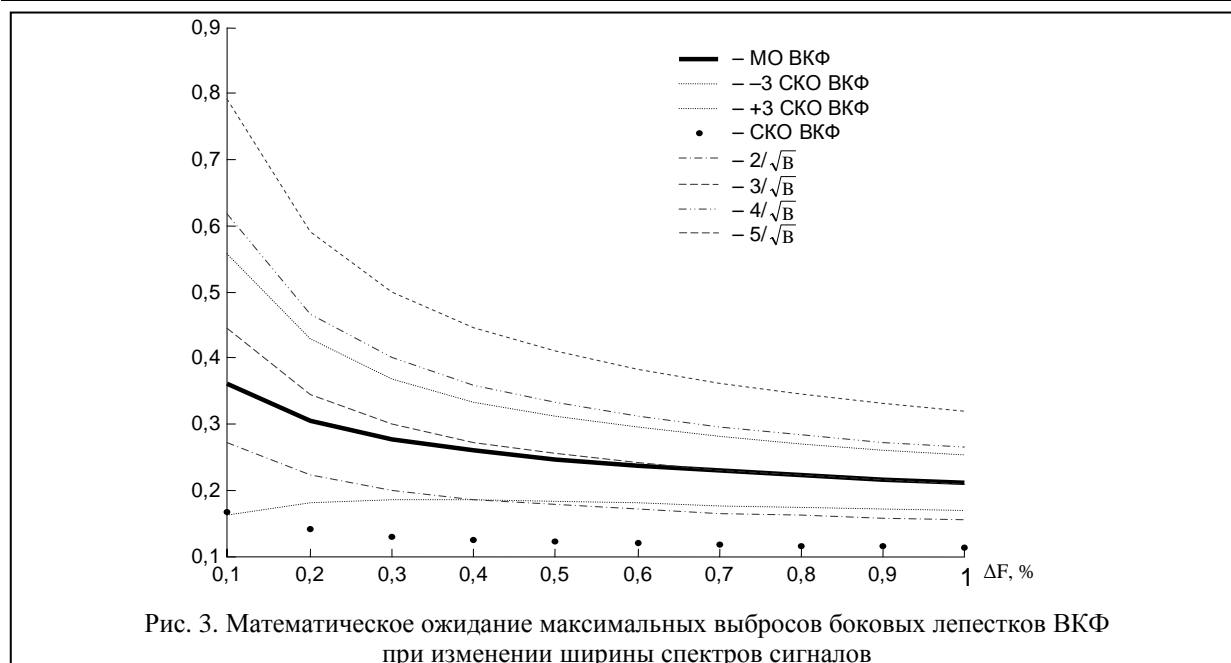
Эту задачу можно решить путем определения статистических характеристик корреляционных и энергетических свойств сигналов одного ансамбля.

Для оценки статистических характеристик корреляционных и энергетических свойств сложных сигналов, полученных с помощью полосовой фильтрации спектров последовательностей коротких импульсов с минимальным энергетическим взаимодействием с последующим переносом в одну

область частот при изменении ширины полосы фильтрации ΔF от 0,1 % до 1 % от исходной ширины спектра последовательностей и при фиксированных значениях скважности в разных частотных областях, воспользуемся методикой оценки статистических характеристик случайных величин, изложенной в [10], и адаптированную к решению поставленной задачи в [11]. Результаты исследований представлены в табл. 1 и на рис. 3.

Очевидно, что полученные результаты находятся в хорошем соответствии с требованием к уровню взаимной корреляции между сигналами одного ансамбля (1). При этом сигналы, синтезированные из разных последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием без переноса в одну область частот, являются некоррелированными (при их расположении в различных частотных диапазонах).

Из рис. 3 и результатов, представленных в табл. 1, видно, что в общем случае математическое ожидание максимальных выбросов боковых лепестков ВКФ не превышает значения $4/\sqrt{B}$, а при ширине полосы фильтрации, не превышающей 0,5 % от общей полосы последовательностей, – $3/\sqrt{B}$. Значение МО пик-фактора сигналов при ширине их сигнала, равной 0,3 % от ширины спектра последова-



тельностей с минимальным энергетическим взаимодействием, приблизительно равно 3,5, что является удовлетворительным для систем радиосвязи с непрерывными сигналами.

Таким образом, сравнивая значения математических ожиданий максимальных выбросов боковых лепестков ВКФ и пик-фактора сигналов при фиксированной ширине полосы фильтрации, можно достичь оптимального решения задачи синтеза сигналов из участков спектров псевдослучайных последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием. При этом одновременно будут выполняться условия по соответствию необходимых уровней максимальных выбросов боковых лепестков ВКФ требуемым при удовлетворительных значениях пик-факторов сигналов. Кроме того, объем ансамбля сигналов при этом зависит от количества полос, в которых выполняется фильтрация последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием.

Выводы

В статье разработан метод формирования сигналов с улучшенными взаимокорреляционными свойствами, полученных путем полосовой фильтрации псевдослучайных последовательностей коротких видеоимпульсов с минимальным энергетическим взаимодействием в разных частотных областях с последующим переносом в одну частотную область. Для получения ансамбля сигналов, удовлетворяющих требованиям по уровням максимальных выбросов ВКФ и значениям пик-фактора сигналов, необходимо использовать полосовые фильтры с такой полосой фильтрации, при которой выполнялись бы условия минимального подобию сигналов и соответ-

ствия уровня пик-фактора требуемому. Объем ансамбля сигналов, синтезированного таким образом, является пропорциональным количеству полос фильтрации исходных последовательностей с минимальным энергетическим взаимодействием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысечко В.П., Харченко В.Н. Метод борьбы с внутрисистемными радиопомехами // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 2. – С. 232 – 237.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Защита от радиопомех / Под ред. М.В. Максимова. – М.: Сов. радио, 1999. – 496 с.
4. Бернард Складар. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М. Изд. дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
5. Пышкин И.М. Теория кодового разделения сигналов. – М.: Связь, 1980. – 208 с.
6. Статистическая радиотехника: примеры и задачи / Под ред. В.И. Тихонова. – М.: Сов. радио, 1980. – 544 с.
7. Петрович Н.Т., Размахнин М.К. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Сов. радио, 1969. – 232 с.
8. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 284 с.
9. Лысечко В.П. Метод определения параметров сложных сигналов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 7. – С. 131 – 136.
10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит.-ры, 1958. – 464 с.
11. Харченко В.Н., Яковлев М.Ю., Лысечко В.П. Анализ свойств сложных сигналов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 9. – С. 146 – 151.

Поступила 27.05.2005

Рецензент: д-р техн. наук профессор П.Ф. Поляков, Харьковский университет Воздушных Сил.