

УДК 621.391

Н.Ф. Линник

*Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков*

**ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ  
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АНСАМБЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ**

*Предложены пути повышения скорости передачи информации в каналах связи на основе применения усеченных ансамблей сложных сигналов.*

*скорость передачи информации, усеченные ансамбли сложных сигналов*

**Введение**

**Постановка задачи.** Жизнь современного общества немислима без широкого использования

разнообразных средств передачи информации. Эти средства непрерывно совершенствуются и развиваются. В настоящее время происходит постоянное

увеличение количества информации, передаваемой по радиоканалам, что приводит к дефициту радиочастотного спектра. В этих условиях задача повышения скорости передачи информации становится одной из важнейших при построении современных систем передачи информации [1 – 4]. В условиях ужесточения требований к проектируемым системам передачи информации (СПИ) по эффективности использования различного рода ресурсов стоит задача рационального применения выделяемых средств. Как известно [4], одним из наиболее дорогостоящих элементов СПИ является канал связи и на данный момент особенно актуальна проблема последовательного развития и наращивания существующей системы связи, одним из путей решения которой является разработка перспективных высокоскоростных способов передачи информации, эффективно использующих частотно-энергетический ресурс канала связи [2, 3].

**Анализ литературы.** С целью решения задачи повышения частотной эффективности использования канала связи в [5, 6] предложено использовать усеченные ансамбли сложных сигналов, в частности, ансамбли параллельных фазово-частотно-модулированных (ПФЧМ) сигналов вида  $Lf - M\phi$ , где  $L$  – число поднесущих частот  $f$ , каждая из которых имеет  $M$  вариантов модуляции по фазе  $\phi$ . В [6] разработан метод формирования оптимальных частотно-эффективных ансамблей параллельных многочастотных многофазных сигналов для передачи информации.

При решении задачи высокоскоростной передачи информации в условиях городской застройки, потребовалась разработка и применение сигналов с ортогональной частотной модуляцией (OFDM) [7]. Сразу два стандарта, знаменующих переход к четвертому поколению систем радиодоступа, основаны на применении сигналов OFDM: 802.11a/g и 802.16. При OFDM модуляции исходный спектр сигнала разделяется на  $N$  частотных ортогональных подканалов, в каждом из которых осуществляется модуляция последовательностью данных [7]. При использовании сигналов OFDM наблюдаются замирания, которые устраняются выбором числа подканалов  $N$  для определенной обстановки и среды.

**Цель статьи** – исследование возможности повышения скорости передачи информации при использовании усеченных ансамблей параллельных фазово-частотно-модулированных сигналов.

$$\Delta F^T = |4,1 \ 2,2 \ 1,6 \ 2,2 \ 2,2 \ 4,1 \ 2,2 \ 1,6 \ 1,6 \ 2,2 \ 4,1 \ 2,2 \ 2,2 \ 1,6 \ 2,2 \ 4,1|; \quad (2)$$

$$FSC = \begin{vmatrix} 1,6 & 1,6 & 1,6 & 1,6 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 4,1 & 4,1 & 4,1 & 4,1 \\ 2 & 3 & 1 & 0 & 3 & 1 & 2 & 2 & 0 & 1 & 0 & 3 & 1 & 2 & 3 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 0 & 2 & 3 & 1 & 3 & 0 & 1 & 2 & 1 & 2 & 3 & 0 \end{vmatrix}; \quad (3)$$

$$Q = |0 \ 0,6 \ 1 \ 1,3 \ 1 \ 1,1 \ 1,2 \ 1,3 \ 1,4 \ 1,47 \ 1,5 \ 1,58 \ 0,9 \ 0,92 \ 0,95 \ 0,97|; \quad (4)$$

$$A_{yc}^T = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 6 & 7 & 8 & 9 & 11 & 12 & 13 & 14 \\ 1,6 & 1,6 & 1,6 & 1,6 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 & 2,2 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

## Основной материал

По результатам проведенных исследований в [6] разработан метод формирования оптимальных частотно-эффективных ансамблей сложных сигналов вида  $Lf - M\phi$  на основе усечения ансамбля. Представляет интерес исследования возможного повышения скорости передачи информации при использовании ансамблей ПФЧМ сигналов, которая оценивается с помощью показателя удельной скорости передачи информации

$$\gamma_R = \frac{\log(m)}{\Delta F_{90\%} T} = \frac{R}{\Delta F_{90\%}}, \quad (1)$$

где  $\Delta F_{90\%}$  – значение необходимой полосы частот для передачи 90% энергии сигнала;  $T$  – длительность элементарного сигнала;  $m = M^L$  – мощность алфавита ансамбля сигналов;  $R$  – скорость передачи информации.

Рассмотрим применение разработанного метода для построения оптимального усеченного ансамбля на основе исходного ансамбля вида  $2f - 4\phi$  ( $M = 4, L = 2$ ). В соответствии с [6] получаем сигнальную матрицу полного ансамбля в виде:

$$A^T = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 0 & 1 & 2 & 3 & 0 & 1 & 2 & 3 & 0 & 1 & 2 & 3 \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Исходный ансамбль содержит  $M^L = 16$  сигналов, каждый из которых имеет представление в виде двухразрядного числа в четверичной форме. Вычисление эффективной ширины спектра сигналов  $\Delta f_k$  с использованием дискретного преобразования Фурье дает вектор (2).

Слияние вектора (2) и матрицы (1), сортировка строк по возрастанию  $\Delta f_k$  позволяют получить матрицу полного ансамбля в виде (3).

Использование целевой функции  $Z(d)$  построения оптимальных частотно-эффективных ансамблей

$$Z(d) = \frac{\log_2(M^L - d)}{\Delta f_{M^L - 1 - d}} \quad (d - \text{число}$$

сигналов, исключаемых из состава полного ансамбля;  $\Delta f_{M^L - 1 - d}$  – значение эффективной ширины спектра усеченного ансамбля) для матрицы (3) определяет вектор удельных скоростей ансамбля (4).

Графическое решение задачи на основе (4) имеет вид, представленный на рис. 1.

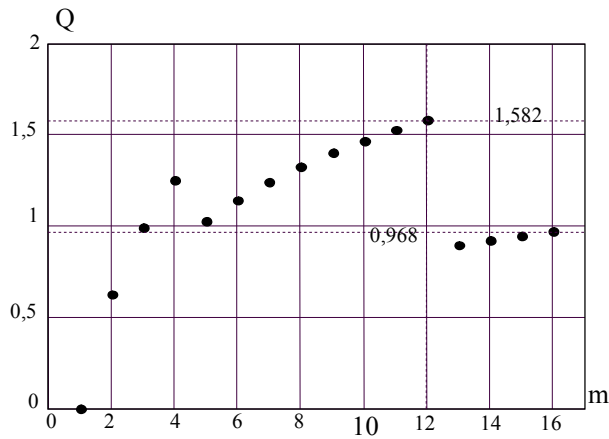


Рис. 1. Графическое решение задачи оптимального усечения ансамбля 2f – 4φ

На графике точками обозначены значения удельной скорости передачи информации при соответствующей степени усечения исходного ансамбля. Результаты решения показывают, что оптимальным значением мощности усеченного ансамбля является величина  $m = M^L - d = 12$ . При этом обеспечивается удельная скорость передачи  $\gamma_R \approx 1,582$  [Бит/с·Гц]. Выигрыш по удельной скорости по сравнению с полным ансамблем составляет:  $1,582/0,968 \approx 1,63$  раз. Характеристическая матрица оптимального усеченного ансамбля  $A_{yc}$ , определяющая его состав и характеристики, является подматрицей (3) и имеет вид (5).

**Примечание.** Матрицы (1) – (5) для удобства размещения в тексте представлены в транспонированном виде.

В нулевой строке матрицы (5) находятся порядковые номера (в десятичной форме) сигналов, соответствующие нумерации исходной характеристической матрицы (1), а в первой строке – значения эффективной полосы частот соответствующих сигналов усеченного ансамбля. На рис. 2 и 3 представлены результаты графического решения (при помощи рассмотренного метода) задач получения оптимальных усеченных ансамблей на основе исходных наборов вида 4f – 4φ и 4f – 8φ.

Для четырехчастотного ансамбля оптимальными значениями мощности являются  $m = 196$  или  $m = 168$  сигналов, обеспечивающими выигрыш по удельной скорости передачи информации  $\sim 1,975$  раз по сравнению с исходным полным ансамблем. Решение для восьмичастотного ансамбля дает оптимальное значение  $m = 42302$ , при этом обеспечивается выигрыш по удельной скорости  $\sim 2,091$  раз.

Анализ характера зависимостей  $Q(m)$  показывает, что с ростом числа частот увеличивается диапазон значений величины «m», при которых усеченные ансамбли существенно превосходят по частотной эффективности свой исходный прототип. Например, для ансамбля 8f – 4φ при  $m \approx (0,2 \dots 0,9) \cdot M^L$  усеченные ансамбли превосходят полный по показателю удельной скорости передачи информации  $\gamma_R$  практически в два раза.

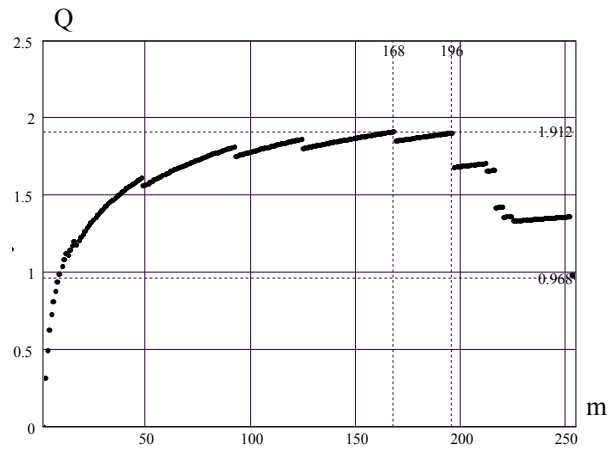


Рис. 2. Графическое решение задачи оптимального усечения ансамбля 4f – 4φ

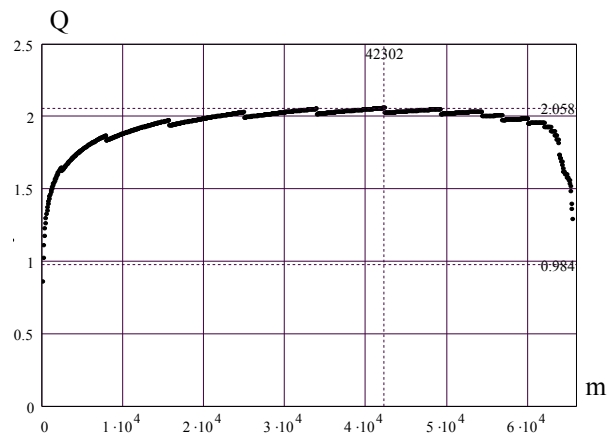


Рис. 3. Графическое решение задачи оптимального усечения ансамбля 8f – 4φ

## Вывод

Использование оптимальных усеченных ансамблей ПФЧМ сигналов в каналах связи позволяет повысить удельную скорость передачи информации практически в 2 раза по сравнению с полными ансамблями.

## Список литературы

1. Макаров С.Б., Цикин И.А. Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
2. Рихтер С.Г. Цифровое радиовещание. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 352 с.
3. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. – К.: Техніка, 2001. – 392 с.
4. Ирвин Дж., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2003. – 405 с.
5. Линник Н.Ф., Рассомахин С.Г., Злыдень И.В. Алгоритм построения ансамблей параллельных фазово-частотных модулированных (ПФЧМ) сигналов с улучшенными частотными характеристиками // Збірник наукових праць ІПМЕ. – К.: ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2003. – Вип. 22. – С. 100-103.
6. Линник М.Ф., Рассомахин С.Г., Малахов С.В. Метод формування оптимальних частотно-ефективних ансамблів паралельних багаточастотних багаточастотних сигналів для передачі інформації // Системи управління,

навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НГУ, 2007. – Вип. 2. – С. 65-67.

Поступила в редколлегию 14.02.2007

7. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Раснаев Ю.А. *Сети и системы радиодоступа.* – М.: Эко-Трендз, 2005. – 384 с.

**Рецензент:** канд. техн. наук, ст. научн. сотр. С.Г. Рассомахин, Объединенный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил, Харьков.