

УДК 621.342.

Н.Ф. Линник¹, Ю.С. Литвинов¹, Є.П. Балановський²¹Національний технічний університет «ХПІ», Харків²Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ВОЕННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

В данной статье предложено у военных системах связи в качестве переносчиков информации использовать параллельные фазово-частотно-модулированные (ПФЧМ) сигналы, имеющие высокие скорости передачи информации. По результатам проведенных исследований ПФЧМ сигналы превосходят одночастотные и последовательные сигналы по основным показателям удельных затрат, а также есть одними из наиболее перспективных классов сигналов для использования в каналах военной связи. Применение предложенных сигнально-кодовых конструкций в каналах военной связи позволяет повысить оперативность передачи информации.

Ключевые слова: параллельные фазово-частотно модулированные сигналы, военная система связи, коэффициент повышения своевременности связи, удельные энергетические затраты.

Введение

Выполнение боевых задач подразделениями Вооруженных Сил во взаимодействии с другими частями и подразделениями возможно при условии устойчивого управления ими в бою [1, 2]. Органы управления должны своевременно реагировать на изменения обстановки и ставить новые задачи подчиненным. Одной из основных составляющих частей управления есть система связи.

В условиях реформирования Вооруженных Сил Украины особую роль приобретает факт исходного наделения вновь разрабатываемых систем вооружения значительным запасом новационных решений. Как показывает опыт, только при такой постановке вопроса обеспечивается достижение высоких тактико-технических характеристик создаваемой военно-технической продукции и можно с большой долей уверенности говорить о гарантиях длительных сроков их боевой эксплуатации [2, 3].

Технологии, возникшие на стыке электросвязи и микропроцессорной техники, стали источником исследований и разработок в области создания принципиально новых образцов вооружения и военной техники. Широкое внедрение таких технологий в автоматизированные системы управления и связи коренным образом изменило способы ведения боевых действий, обусловив появление понятий информационной войны и информационной безопасности. Примером данной тенденции служит активное внедрение новых форм и способов обработки, и обмена информацией в зарубежных военных системах связи (FBCS², EPLRS, JTIDS) [2 – 4].

При внедрении новационных технологий у военных системах связи необходимо обеспечить надежность, помехоустойчивость и оперативность передачи информации.

Для решения данной задачи целесообразно использовать новые переносчики информации – сигнально-кодовые конструкции, которые обладают высокими скоростями передачи информации.

Цель статьи. Повышение оперативности (своевременности) передачи информации в каналах военных систем связи за счет использования сигнально-кодовых конструкций, сформированных на основе ансамблей сложных сигналов.

Основной материал

К данным сложным сигналам относятся параллельные фазово-частотно модулированные (ПФЧМ) сигналы вида Lf-Mφ, где $L=2^\alpha$ ($\alpha=1,2,3\dots$) количество поднесущих частотных компонент f , каждая из которых имеет $M=2^\beta$ ($\beta=1,2,3\dots$) вариантов модуляции по фазе φ . В параллельных сигналах вида Lf-Mφ одновременно присутствуют все поднесущие частоты, а мощность ансамбля сигналов определяется $m = M^L$ [5].

Для определения перспективности применения ПФЧМ сигналов в каналах военных систем связи используем показатели эффективности систем передачи информации (СПИ) и применяемых в них сигналов [6]:

а) коэффициент γ_F , учитывающий удельное значение полосы частот, приходящейся на единицу передаваемой информации:

$$\gamma_F = \frac{\Delta F_{90\%} T}{\log(m)} = \frac{\Delta F_{90\%}}{R} \quad [\text{Гц}\cdot\text{с}/\text{бит}], \quad (1)$$

где $\Delta F_{90\%} = \frac{\Delta\omega_{90\%}}{2\pi}$ – значение полосы, необходимой для передачи 90% энергии, содержащейся в спектре сигналов; T – длительность элементарного сигнала; m – мощность алфавита ансамбля сигналов; R – скорость передачи информации.

Величина, обратная γ_F , имеет физический смысл удельной скорости передачи информации, приходящейся на 1 Гц полосы:

$$\gamma_R = \frac{1}{\gamma_F} \text{ [Бит/с·Гц]}, \quad (2)$$

б) коэффициент γ_E , учитывающий удельные затраты энергии (мощности) сигнала, необходимой для передачи элементарного символа в канале с шумом при заданной допустимой вероятности ошибки:

$$\gamma_E = S_0^2 \frac{T}{\alpha N_0}, \quad (3)$$

где S_0^2 – мощность сигнала; $\alpha=2$ – для противоположных сигналов; $\alpha=1$ – для ортогональных сигналов; $\alpha<1$ – для неортогональных сигналов; N_0 – спектральная плотность мощности шума.

в) обобщенный коэффициент γ , характеризующий эффективность ансамбля сигналов с учётом как частотных, так и энергетических затрат:

$$\gamma = \gamma_F \cdot \gamma_E \text{ [Гц·с/бит]}. \quad (4)$$

В табл. 1 представлены значения показателей эффективности для различных сигналов.

Таблица 1

Значения показателей эффективности

Сигнал	γ_F	γ_R	γ_E ($P_{\text{Ош}}=10^{-3}$)	γ_E ($P_{\text{Ош}}=10^{-6}$)	$\gamma = \gamma_F \cdot \gamma_E$ ($P_{\text{Ош}}=10^{-3}$)
ФМ-2	1,7	0,58	4,8	11,33	8,16
ФМ-4	0,85	1,18	4,8	11,33	4,08
ФМ-8	0,57	1,75	11	37	6,27
ММС	0,78	1,28	4,8	11,33	3,74
ФЧМ 2f-2φ	1,1	0,91	4,8	11,33	5,28
ПФЧМ 2f-2φ	1,1	0,91	4,8	11,33	5,28
ФЧМ 2f-4φ	0,9	1,11	3,7	8,5	3,33
ФЧМ 2f-8φ	0,68	1,47	8	28	5,44
ФЧМ 4f-2φ	1,06	1,67	3,7	8,5	3,92
ФЧМ 4f-4φ	1,18	0,85	3,12	6,84	3,69
ФЧМ 8f-2φ	1,3	0,77	3,12	6,84	4,7
ФЧМ 8f-4φ	1,74	0,57	2,7	5,4	4,7
ФЧМ 16f-4φ	2,78	0,36	2,7	5,4	7,5
ПФЧМ 2f-4φ	0,68	1,47	3,7	8,5	2,52
ПФЧМ 2f-8φ	0,45	2,22	8	28	3,6
ПФЧМ 4f-2φ	0,8	1,25	3,7	8,5	2,96
ПФЧМ 4f-4φ	0,59	1,69	3,12	6,84	1,84
ПФЧМ 8f-2φ	0,65	1,54	3,12	6,84	2,03
ПФЧМ 8f-4φ	0,54	1,85	2,7	5,4	1,46
ПФЧМ 16f-2φ	0,58	1,72	2,7	5,4	1,57

Параллельные ФЧМ сигналы являются одним из наиболее перспективных классов сигналов. Они обладают потенциальными характеристиками, обеспечивающими достижение высокого уровня частотно-энергетической эффективности и превосходящими одночастотные и последовательные сигналы в 2 – 4 раза по основным показателям удельных затрат [5].

Исследования, проведенные в [5], показали, что энергетический спектр комплексных огибающих ПФЧМ сигналов формируется не только суммированием (наложением) спектров поднесущих колебаний с прямоугольными огибающими, но и продуктами их взаимодействия. Наиболее удобным представлением взаимного влияния поднесущих колебаний в спектральной области является использование аддитивных интерференционных функций. Воздействие интерференционных функций может проявляться как в расширении, так и в сужении эффективной ширины энергетического спектра. Это приводит к тому, что фактические показатели частотной и энергетической эффективности оказываются хуже ожидаемых расчетных значений. Для достижения гарантированного уровня скорости и достоверности передачи информации, особенно в военных системах, расчеты показателей эффективности системы связи должны выполняться для «наихудшего» случая передачи сигналов с максимальной эффективной шириной спектра (для выбранного ансамбля). Только в этом случае система передачи информации обеспечит характеристики не хуже расчетных при передаче любых сообщений [8, 9].

Использование явления сужения или «компрессии» спектра вокруг центральной частоты путем выбора соответствующих вариантов интерференционного взаимодействия поднесущих частот составило основу формирования неполных (усеченных) ансамблей ПФЧМ сигналов. В [7] изложен алгоритм построения ансамблей параллельных фазово-частотных модулированных (ПФЧМ) сигналов с улучшенными частотными характеристиками. Метод формирования частотно-эффективных усеченных ансамблей ПФЧМ сигналов позволяет минимизировать внеполосные излучения в энергетических спектрах ПФЧМ сигналов, достичь экстремального значения удельного количества (удельной скорости) передаваемой информации на единицу используемой полосы частот.

Увеличение скорости передачи данных в каналах военных систем связи способствует улучшению одного из главных требований к управлению – оперативности. В свою очередь, оперативность управления зависит от своевременности связи.

Своевременность (оперативность) связи может быть повышена за счет уменьшения времени T (реального времени доведения сообщения до корреспондента): $T=T_n+T_{\text{прд}}+T_d$, где T_n – время подготовки сообщения к передаче; $T_{\text{прд}}$ – время передачи сообщения; T_d – время доставки сообщения до получателя. Если допустить, что T_n и T_d сравнительно очень мало с $T_{\text{прд}}$, то своевременность связи зависит от времени передачи информации.

Время передачи сообщения составляет

$$T_{\text{пер}} = 1/V, \quad (5)$$

где I – количество информации (бит), передаваемой по каналу связи; V – скорость передачи (бит/с), характеризующая эффективность использования пропускной способности канала связи.

Сокращение $T_{\text{прд}}$ может быть достигнуто двумя способами:

– повышением эффективности использования пропускной способности за счет увеличения скорости передачи V ;

– сокращением количества информации I .

Скорость передачи информации равна $V=V_{\text{уд}} \cdot F$, так как $V_{\text{уд}}=\gamma_R=1/\gamma_F$, то $V=F/\gamma_F$. Из выражения (5) следует

$$T_{\text{пер}} = \frac{I}{F/\gamma_F} = \frac{I \times \gamma_F}{F}. \quad (6)$$

Сравнительная оценка необходимого времени $T_{\text{прд}}$ на передачу сообщения, содержащего определенное количество информации I , при заданной полосе частот канала F с использованием двух различных ансамблей сигналов определяется:

$$C = \frac{T_{1\text{пер}}}{T_{2\text{пер}}} = \frac{V_{2\text{пер}}}{V_{1\text{пер}}} = \frac{\gamma_{2R}}{\gamma_{1R}} = \frac{\gamma_{1F}}{\gamma_{2F}}, \quad (7)$$

где C – коэффициент повышения своевременности связи.

Для сравнительной оценки выигрыша по энергетическим затратам на передачу одного бита информации, при требуемой вероятности приема с ошибкой $P_{\text{ош}}$ и заданной полосе частот канала, вводим коэффициент J , который равен

$$J = \frac{\gamma_{1E}}{\gamma_{2E}}. \quad (8)$$

Для комплексной оценки своевременности связи вводим коэффициент τ , учитывающий сокращение времени передачи сообщения и энергетические затраты на передачу бита информации, который равен

$$\tau = C \cdot J. \quad (9)$$

Проведем сравнительный анализ затрачиваемого времени на передачу сообщения в каналах связи при использовании ансамблей традиционных сигналов и усеченных ансамблей ПФЧМ сигналов (на примере ансамбля вида 4f-4ф).

Для усеченного ансамбля вида 4f-4ф при длительности сигнала $T=1$ с [7]

$$\gamma_F^{\text{ус}} = \frac{\Delta F_{90\%} T}{\log m} = \frac{4,0 \times 1}{\log_2 196} = 0,53 \text{ (Гц с/бит)}. \quad (10)$$

Используя данные табл. 1 и выражения (7) – (9) проведен сравнительный анализ значений показателей своевременности связи C , J , τ ансамблей ФМ и ФЧМ сигналов с усеченным ПФЧМ ансамблем вида 4f-4ф (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что при использовании усеченных ансамблей ПФЧМ сигналов в каналах военных систем связи оперативность (своевременность) связи по сравнению с используемыми сигналами

возрастает более чем в 1,5 раза с одновременным уменьшением энергетических затрат на передачу бита информации с заданной вероятностью приема с ошибкой.

Таблица 2

Сравнительный анализ

Сигнал	C	J ($P_{\text{ош}}=10^{-3}$)	J ($P_{\text{ош}}=10^{-6}$)	τ ($P_{\text{ош}}=10^{-3}$)
ФМ-2	3,21	1,54	1,66	4,94
ФМ-4	1,60	1,54	1,66	2,46
ФМ-8	1,07	3,52	5,41	3,77
ММС	1,47	1,54	1,66	2,26
ФЧМ 2f-2ф	2,08	1,54	1,66	3,20
ФЧМ 2f-4ф	1,70	1,18	1,24	2,01
ФЧМ 2f-8ф	1,28	2,56	4,09	3,28
ФЧМ 4f-2ф	2,00	1,18	1,24	2,36
ФЧМ 4f-4ф	2,23	1	1	2,23
ФЧМ 8f-2ф	2,45	1	1	2,25
ФЧМ 8f-4ф	3,28	0,86	0,79	2,82
ФЧМ 16f-4ф	5,28	0,86	0,79	4,54

Процентный выигрыш составляет

$$\frac{1,5C - C}{1,5C} \times 100\% = 33\%.$$

Выводы

Использование сигнально-кодовых конструкций, сформированных на основе усеченных ансамблей параллельных фазово-частотно модулированных сигналов, в каналах военных систем связи позволяет в 1,5 раза увеличить скорость передачи информации, повысить оперативность (своевременность) связи на 33%. Направление дальнейших исследований – разработка модели данного процесса.

Список литературы

1. Кузьмук О.І. Реформування системи управління Збройними Силами України / О.І. Кузьмук // Стратегічна панорама. – 2007. – № 1. – С. 148-152.
2. Дружинін С.В. Сучасний стан автоматизації управління військами в Збройних Силах України / С.В. Дружинін, О.К. Климович, О.Г. Саєнко // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 1(21). – С. 60-62.
3. Харченко Н. Современное состояние и перспективы развития радиостанций зарубежных государств / Н. Харченко // Зарубежное военное обозрение. – 2003. – № 6. – С. 22-30.
4. Донсков Ю.Е. Системы связи и передачи данных армии США: состояние и перспективы развития / Ю.Е. Донсков, А.К. Ботнев // Военная мысль. – 2005. – № 7. – С. 42-48.
5. Линник Н.Ф. Исследование энергетических спектров сложных фазово-частотно модулированных сигналов / Н.Ф. Линник // Системи обробки інформації. – 2013. – Вип. 8 (115). – С. 73-75.
6. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации [Текст] / А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов, В.Л. Банкет, П.В. Иващенко; под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
7. Линник Н.Ф. Алгоритм построения ансамблей параллельных фазово-частотных модулированных сигналов с улучшенными частотными характеристиками /

Н.Ф. Линник, С.Г. Рассомахин, И.В. Злыдень // Збірник наукових праць. – К.: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2003. – Вип. 22. – С. 100-103.

8. Танг Т. Чан *Высокоскоростная цифровая обработка сигналов и проектирование аналоговых систем* / Т. Чан Танг. – М.: Техносфера, 2013. – 192 с.

9. Гонсалес Р. *Цифровая обработка изображений* / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2013. – 1101 с.

Поступила в редколлегию 19.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ У ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

М.Ф. Линник, Ю.С. Литвинов, Є.П. Балановський

У даній статті запропоновано у військових системах зв'язку в якості носіїв інформації використовувати паралельні фазово-частотно модульовані (ПФЧМ) сигнали, які мають високі швидкості передачі інформації. За результатами проведених досліджень ПФЧМ сигнали переважають одночастотні та послідовні сигнали за основними показниками питомих витрат, а також є одними із найбільш перспективних сигналів для використання в каналах військових систем зв'язку. Використання запропонованих сигнально-кодових конструкцій у каналах військових систем зв'язку дозволяє підвищити оперативність передачі інформації.

Ключові слова: паралельні фазово-частотно модульовані сигнали, військова система зв'язку, коефіцієнт підвищення своєчасності зв'язку, питомі енергетичні витрати.

AN INCREASE OF OPERATIVENESS OF PASSING TO INFORMATION IS IN SOLDIERY COMMUNICATION NETWORKS

N.F. Linnik, Yu.S. Litvinov, Ye.P. Balanovs'kiy

In this article it is offered at soldiery communication networks as carry of information to utilize the parallel phase-frequency-modulated (PPFM) signals, having high speeds of passing to information. On results the conducted researches of PPFM signals are excelled by fixed-frequency and successive signals on the basic indexes of specific expenses, and also am one of the most perspective classes of signals for the use in the channels of military connection. Application of the offered alarm-code constructions in military communication channels allows to promote operativeness of passing to information.

Keywords: parallel phase-frequency modulated signals, military communication network, coefficient of increase of timeliness of connection, specific power expenses.