

Ю. В. СТАСЕВ, канд. техн. наук

**ВЗАИМОКОРРЕЛЯЦИОННЫЕ И АНСАМБЛЕВЫЕ СВОЙСТВА
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ И ЛИНЕЙНЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ**

В системах связи с кодовым разделением каналов широкое применение находят рекуррентные последовательности максимальной длины (ЛРПМ). Это связано прежде всего с хорошими корреляционными свойствами таких последовательностей и простотой реализации устройств их формирования. Однако, как показано в работах [1; 2], ЛРПМ обладают неудовлетворительными ансамблевыми и структурными свойствами и могут быть построены для длительностей $L=2^n - 1$, $n=1, 2, 3, 4, \dots$, что ограничивает их использование в перспективных системах связи. Развитие микропроцессорной техники и ее широкое использование в устройствах формирования и обработки сигналов позволяют применять в системах связи последовательности с более сложными, нелинейными законами формирования, свободными от указанных недостатков. Особый интерес среди нелинейных систем сигналов проявлен к характеристическим последовательностям. Эти последовательности, обладая примерно такими же корреляционными свойствами, как и ЛРПМ (уровень боковых выбросов периодической функции автокорреляции (ПФАК) $R = \pm 2$ при $L \equiv 2 \pmod{4}$ и $R = \{0; -4\}$ при $L \equiv 0 \pmod{4}$), имеют значительно лучшие структурные свойства и могут быть построены для длительностей $L = p^n - 1$, где p — простое.

Перспективы использования характеристических последовательностей в системах, функционирующих совместно с созданными, предопределяют необходимость исследования взаимокорреляционных свойств ЛРПМ и характеристических последовательностей.

ЛРПМ можно генерировать с помощью линейного рекуррент-

ного регистра, символы на выходе которого $\{a_i\}$ удовлетворяют рекуррентному уравнению [3]

$$a_i = \sum_{j=1}^n c_j a_{i-n}, \quad (1)$$

где $i-n > 0$; c_j — коэффициенты в цепи обратной связи линейного рекуррентного регистра.

Алгоритм формирования характеристических последовательностей базируется на понятии двухзначного характера $\psi(x)$ мультипликативной группы поля Галуа $GF(p^n)$. Правило формирования характеристической последовательности $\{a_i\}$ можно представить в виде

$$a_i = \begin{cases} \psi(\theta^i + 1), & \text{если } \theta^i + 1 \not\equiv 0 \pmod{p}; \\ 1, & \text{если } \theta^i + 1 \equiv 0 \pmod{p}, \end{cases}$$

где θ — первообразный элемент поля $GF(p^n)$.

В работе [4] показано, что основные характеристики системы связи (средняя вероятность ошибки, вероятность ложной тревоги и пропуска сигнала) зависят от статистических характеристик выбросов периодической функции взаимной корреляции (ПФВК). Ниже приводятся результаты исследований статистических характеристик ПФВК, характеристических последовательностей и ЛРПМ.

Статистические характеристики ПФВК: математическое ожидание выбросов M ; среднеквадратичное отклонение математического ожидания выбросов $\sqrt{D_m}$; дисперсия уровня выбросов D ; среднеквадратичное отклонение дисперсии выбросов $\sqrt{D_d}$; среднее значение максимального выброса U_{\max} и среднеквадратичное отклонение максимального выброса $\sqrt{D_{i_{\max}}}$ — оценивались по методике, приведенной в работе [4]. В табл. 1—3 приведены результаты исследований статистических характеристик ПФВК ЛРПМ (табл. 1), характеристических последовательностей (табл. 2), ЛРПМ. В последнем столбце таблиц приведены усредненные значения статистических характеристик ПФВК.

Анализ табл. 1—3 показал, что статистические характеристики ПФВК характеристических последовательностей и ЛРПМ примерно равны. Следовательно, использование характеристических последовательностей совместно с ЛРПМ, как следует из работы [2], не приведет к увеличению вероятности ошибки, вероятности ложной тревоги и пропуска сигнала.

При построении систем связи с кодовым разделением каналов наряду с взаимокорреляционными свойствами важное значение имеют ансамблевые свойства последовательностей.

В табл. 4 приведены ансамблевые свойства характеристических последовательностей и ЛРПМ.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что число характеристических последовательностей превышает число ЛРПМ, что поз-

Таблица 1

Параметры ПФВК	Число элементов в сигнале							Усредненные значения
	15	31	63	127	255	511	1023	
M	0,24	0,14	$0,85 \cdot 10^{-1}$	$0,67 \cdot 10^{-1}$	$0,46 \cdot 10^{-1}$	$0,32 \cdot 10^{-1}$	$0,93 \cdot 10^{-2}$	$0,33/\sqrt{L}$
\sqrt{DM}	$0,5 \cdot 10^{-1}$	$0,44 \cdot 10^{-1}$	$0,94 \cdot 10^{-1}$	$0,67 \cdot 10^{-1}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$	$0,63 \cdot 10^{-2}$	$0,51 \cdot 10^{-2}$	$0,38 \cdot 10^{-1}$
D	$0,21 \cdot 10^{-1}$	$0,12 \cdot 10^{-1}$	$0,91 \cdot 10^{-2}$	$0,34 \cdot 10^{-2}$	$0,17 \cdot 10^{-2}$	$0,93 \cdot 10^{-3}$	$0,67 \cdot 10^{-3}$	$0,06/\sqrt{L}$
\sqrt{Dd}	0,3	$0,54 \cdot 10^{-1}$	$0,31 \cdot 10^{-1}$	$0,63 \cdot 10^{-1}$	$0,14 \cdot 10^{-1}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,8 \cdot 10^{-2}$	$0,57 \cdot 10^{-1}$
U_{\max}	$2,9/\sqrt{L}$	$2,9/\sqrt{L}$	$2,5/\sqrt{L}$	$3,1/\sqrt{L}$	$2,9/\sqrt{L}$	$3,1/\sqrt{L}$	$3,1/\sqrt{L}$	$3/\sqrt{L}$
$\sqrt{DU_{\max}}$	$0,51 \cdot 10^{-1}$	$0,53 \cdot 10^{-1}$	$0,6 \cdot 10^{-1}$	$0,63 \cdot 10^{-1}$	$0,63 \cdot 10^{-1}$	$0,55 \cdot 10^{-2}$	$0,53 \cdot 10^{-2}$	$0,17 \cdot 10^{-1}$

Таблица 2

Параметры ПФВК	Число элементов в сигнале							Усредненные значения
	16	30	66	126	256	508	1020	
M	0,21	0,15	$0,82 \cdot 10^{-1}$	$0,63 \cdot 10^{-1}$	$0,51 \cdot 10^{-1}$	$0,34 \cdot 10^{-1}$	$0,89 \cdot 10^{-2}$	$0,35/\sqrt{L}$
\sqrt{DM}	$0,71 \cdot 10^{-1}$	$0,58 \cdot 10^{-1}$	$0,98 \cdot 10^{-1}$	$0,71 \cdot 10^{-1}$	$0,29 \cdot 10^{-1}$	$0,73 \cdot 10^{-1}$	$0,59 \cdot 10^{-2}$	$0,45 \cdot 10^{-1}$
D	$0,27 \cdot 10^{-1}$	$0,16 \cdot 10^{-1}$	$0,81 \cdot 10^{-2}$	$0,37 \cdot 10^{-2}$	$0,27 \cdot 10^{-2}$	$0,11 \cdot 10^{-1}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$	$0,07/\sqrt{L}$
\sqrt{Dd}	0,34	$0,64 \cdot 10^{-1}$	$0,35 \cdot 10^{-1}$	$0,66 \cdot 10^{-1}$	$0,19 \cdot 10^{-1}$	$0,66 \cdot 10^{-2}$	$0,84 \cdot 10^{-2}$	$0,62 \cdot 10^{-1}$
U_{\max}	$3,1/\sqrt{L}$	$3,2/\sqrt{L}$	$3/\sqrt{L}$	$3,1/\sqrt{L}$	$3,8/\sqrt{L}$	$3,2/\sqrt{L}$	$3,1/\sqrt{L}$	$3,4/\sqrt{L}$
$\sqrt{DU_{\max}}$	$0,61 \cdot 10^{-1}$	$0,59 \cdot 10^{-1}$	$0,67 \cdot 10^{-1}$	$0,71 \cdot 10^{-1}$	$0,68 \cdot 10^{-1}$	$0,66 \cdot 10^{-1}$	$0,61 \cdot 10^{-2}$	$0,21 \cdot 10^{-1}$

Параметры ПФВК	15 16	31 30	63 66	127 126
M	0,19	0,15	$0,94 \cdot 10^{-1}$	$0,72 \cdot 10^{-1}$
$\sqrt{D_M}$	$0,15 \cdot 10^{-1}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$	$0,7 \cdot 10^{-2}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$
D	$0,25 \cdot 10^{-1}$	$0,14 \cdot 10^{-1}$	$0,54 \cdot 10^{-2}$	$0,29 \cdot 10^{-2}$
$\sqrt{D_D}$	$0,39 \cdot 10^{-2}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$0,17 \cdot 10^{-2}$	$0,83 \cdot 10^{-3}$
U_{\max}	$2,3 \sqrt{L}$	$2,5 \sqrt{L}$	$2,7 \sqrt{L}$	$3 \sqrt{L}$
$\sqrt{D_{U_{\max}}}$	0,13	$0,96 \cdot 10^{-1}$	$0,64 \cdot 10^{-1}$	$0,95 \cdot 10^{-1}$

Таблица 3.

255 256	511 508	1023 1020	Усреднен- ные зна- чения
$0,49 \cdot 10^{-1}$	$0,35 \cdot 10^{-1}$	$0,25 \cdot 10^{-1}$	$0,76/\sqrt{L}$
$0,1 \cdot 10^{-2}$	$0,9 \cdot 10^{-3}$	$0,69 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$
$0,14 \cdot 10^{-2}$	$0,71 \cdot 10^{-3}$	$0,36 \cdot 10^{-3}$	$0,02/\sqrt{L}$
$0,75 \cdot 10^{-3}$	$0,64 \cdot 10^{-3}$	$0,57 \cdot 10^{-3}$	$0,19 \cdot 10^{-2}$
$3/\sqrt{L}$	$3,2/\sqrt{L}$	$3,8/\sqrt{L}$	$3,1/\sqrt{L}$
$0,93 \cdot 10^{-1}$	$0,85 \cdot 10^{-1}$	$0,77 \cdot 10^{-1}$	$0,84 \cdot 10^{-1}$

Таблица 4

Тип последовательности	15 16	31 30	63 60	127 126	255 256	511 508	1023 1020
ЛРПМ	2	6	8	18	16	48	60
Характеристические последовательности	8	8	20	32	128	252	256

воляет при заданном качестве передачи информации расширить число абонентов в системе связи.

Таким образом, характеристические последовательности могут найти широкое применение в перспективных системах связи, функционирующих совместно с системами, где используются ЛРПМ.

Список литературы: 1. Диффи У., Хэллман М. Э.//ТИИЭР. 67, № 3 1979. С. 71—109. 2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М., 1985. 384 с. 3. Свердлик М. Б. Оптимальные дискретные сигналы. М., 1975. 200 с. 4. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации/Под ред. В. Б. Пестрякова. М., 1973. 424 с.

Поступила в редколлегию 22.05.89