

УДК 621.396

В. И. ВИШНЕВЕЦКИЙ, канд. техн. наук, *С. В. ВИШНЕВЕЦКИЙ*

**ОБНАРУЖЕНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ
СИГНАЛОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ В УСЛОВИЯХ
АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

В системах связи с шумоподобными сигналами (ШПС), в которых в качестве носителя информации используются фазоманипулированные (ФМ) сигналы, получаемые с помощью M -последовательностей, наряду с обнаружением таких сигналов возникает задача определения их параметров, основными из которых являются степень n образующего полинома и значения коэффициентов h_i образующего полинома. Практически эта задача сводится к определе-

нию вида эквивалентного образующего полинома принимаемой последовательности $(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_N)$,

$$h(A) = h_0 \oplus h_1 A \oplus h_2 A^2 \oplus \dots \oplus h_n A^n, \quad (1)$$

где n — степень образующего полинома, равная количеству разрядов регистра сдвига генератора M -последовательности (ГМП); h_i — коэффициент передачи в цепях обратных связей (ГМЦ),

$$h_i \in \{0, 1\} \quad (i = \overline{1, n});$$

A — дискретные переменные, символы передаваемой M -последовательности, $A \in (0, 1)$; \oplus — знак суммирования по модулю 2.

Метод обнаружения ШПС ФМ [1; 2], позволяет различать последовательность и M -последовательность, а также определять степень образующего полинома M -последовательности на основе анализа распределения единичных и (или) нулевых блоков в принятой последовательности в условиях априорной неопределенности. Для обнаружения M -последовательности с неизвестным n необходимо принять $N_{сч} = 2^n Q$ (2) счетных импульсов, в которых

$$Q = 2 \left[\frac{c_1 \sqrt{2} + c_2 p \sqrt{2}}{0,5 - 2p^2} \right]^2, \quad (3)$$

где c_1, c_2 — константы, определяемые заданными вероятностями ложной тревоги $P_{лт}$ и правильного приема $P_{пр}$, а p — вероятность ошибки при приеме одного импульса, определяемая отношением сигнал—шум h^2 .

Для ШПС с базой $B = 2^6 - 1 = 63$ и отношении сигнал—шум $h^2 = 30$ для достижения $P_{лт} = 10^{-3}$, $P_{пр} = 0,99$ при определении величины n необходимо принять 50 сигналов, т. е. $N_{сч} = 2^n Q = 2^6 \times 50 = 3200$ импульсов.

Однако обнаружитель — анализатор, реализующий описанный в работах [1; 2] метод, не может указать, какая из семи возможных M -последовательностей (для приведенного примера $n = 6$) обнаружена, т. е. не может указать вид образующего полинома, которым определяется обнаруженная M -последовательность.

Ранее был описан метод и вариант его реализации [3], позволяющий на основе использования рекуррентных свойств M -последовательностей реализовать обнаружитель, определяющий не только степень n образующего полинома (1), но и его вид. Любой сегмент M -последовательности, который содержит $L = 2n$ импульсов, без ошибок и полностью определяет структуру всей M -последовательности. Он назван сегментом структурной памяти M -последовательности. Изложена также методика нахождения коэффициентов h_i , определяющих структуру образующего полинома. Методика установления указанных параметров ШПС в условиях априорной неопределенности следующая.

Необходимо взять для анализа сегмент последовательности $L' = 2n'$, длина которого заведомо в разумных пределах больше $L = 2n$, т. е. $n' > n$. Принятый сегмент длиной L' записывается

где E_n — единичная диагональная матрица размерности $n \otimes n$; q — сопутствующая матрица размерности $n \times [L - (n + 1)]$; h — вектор искоемых коэффициентов образующего полинома, $h = (h_1, h_2, \dots, h_n)$; O — матрица, состоящая из нулей (дефект результирующей матрицы), размерности $\left(\frac{L'}{2} - n\right) \times \frac{L'}{2}$, если L' четно, или $\left(\frac{L' - 1}{2} - n\right) \times \frac{L' - 1}{2}$, если L' нечетно.

Величина n — ранг матрицы E_n или длина вектора h определяет степень образующего полинома, а найденные значения h_i коэффициентов образующего полинома — его структуру.

Пример. Пусть принята неизвестная последовательность элементов

$$\left\{ \begin{array}{cccccccccccccccc} \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & \dots \\ & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & \end{array} \right\}.$$

Примем условно, что степень образующего полинома $n' = 8$, по принятому сегменту построим расширенную матрицу системы ЛРУ (4) и пронумеруем ее строки

Преобразуем данную матрицу по алгоритму Гаусса—Жордана. Сложим строку 1 со строками 3 и 7, первый элемент которых единичный

$$\left| \begin{array}{cccc} 87654321 & 9 & & \\ 10110100 & 0 & 1 & \\ 01011010 & 1 & 2 & \\ 10101101 & 0 & 3 & \\ 01010110 & 0 & 4 & \\ 00101011 & 0 & 5 & \\ 00010101 & 1 & 6 & \\ 10001010 & 1 & 7 & \\ 11000101 & 1 & 8 & \end{array} \right|$$

Сложим 2 со строками 4 и 8

$$A_1^0 = \left| \begin{array}{cccc} 10110100 & 0 & 1 & \\ 01011010 & 1 & 2 & \\ 00011001 & 0 & 3 & \\ 01010110 & 0 & 4 & \\ 00101011 & 0 & 5 & \\ 00010101 & 1 & 6 & \\ 00111110 & 1 & 7 & \\ 01110001 & 1 & 8 & \end{array} \right|$$

Запишем строку 5 на место строки 3 и сложим ее со строками 1 и 7

$$A_2^0 = \left| \begin{array}{cccc} 10110100 & 0 & 1 & \\ 01011010 & 1 & 2 & \\ 00011001 & 0 & 3 & \\ 00001100 & 1 & 4 & \\ 00101011 & 0 & 5 & \\ 00010101 & 1 & 6 & \\ 00111110 & 1 & 7 & \\ 00101011 & 0 & 8 & \end{array} \right|$$

Сложим строку 4 со строками 1, 2, 6 и 7

$$A_3^4 = \begin{array}{r|l} 10011111 & 0 & 1 \\ 01011010 & 1 & 2 \\ 00101011 & 0 & 3 \\ 00011001 & 0 & 4 \\ 00001100 & 1 & 5 \\ 00010101 & 1 & 6 \\ 00010101 & 1 & 7 \\ 00000000 & 0 & 8 \end{array}$$

Сложим строку 5 со строками 3, 4, 6, 7 и получим результирующую матрицу

$$A_4^0 = \begin{array}{r|l} 10000110 & 0 & 1 \\ 01000011 & 1 & 2 \\ 00101011 & 0 & 3 \\ 00011001 & 0 & 4 \\ 00001100 & 1 & 5 \\ 00001100 & 1 & 6 \\ 00001100 & 1 & 7 \\ 00000000 & 0 & 8 \end{array}$$

$$F_n = \begin{array}{|c|c|c|} \hline E_n & q & h \\ \hline \hline 0 & & \\ \hline \end{array} = \begin{array}{r|l} 10000 & 110 & 0 & 1 \\ 01000 & 011 & 1 & 2 \\ 00100 & 111 & 1 & 3 \\ 00010 & 101 & 1 & 4 \\ 00001 & 100 & 1 & 5 \\ \hline 00000 & 000 & 0 & 6 \\ 00000 & 000 & 0 & 7 \\ 00000 & 000 & 0 & 8 \end{array}$$

Результирующая матрица F_n содержит информацию об априорно неизвестных коэффициентах при дискретных переменных образующего полинома в виде вектора $h = (01111)^T$, а длина этого вектора или ранг $n = 5$ единичной матрицы E_n соответствует степени образующего полинома.

Таким образом, сущность метода обнаружения псевдослучайных фазоманипулированных сигналов и определения их параметров в условиях априорной неопределенности заключается в составлении на основе принятого сегмента последовательности несовместной системы неоднородных линейных рекуррентных уравнений с учетом рекуррентных свойств M -последовательностей и применении для ее решения алгоритма Гаусса—Жордана. Он позволяет выделить из первоначальной системы уравнений совместную систему линейных рекуррентных уравнений, решить ее и тем самым определить априорно неизвестные коэффициенты при дискретных переменных образующего полинома и его степень.

Список литературы: 1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М., 1985. 384 с. 2. Варакин Л. Е., Власов А. В. Обнаружение и анализ псевдослучайных фазоманипулированных сигналов в условиях априорной неопределенности // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1981. Т. 24.

№ 3. С. 56—62. З. А. с. № 1195468, МКИ Н04L22/18. *Устройство для синхронизации M- последовательности* / В. И. Вишневецкий, С. В. Вишневецкий // *Открытия. Изобретения*. 1985. № 44. 123 с. 4. *Валях Е.* Последовательно-параллельные вычисления. М., 1985. 456 с.

Поступила в редколлегию 10.07.86