

УДК 621.396

В. С. ГОЛИКОВ, канд. техн. наук

**ОПТИМАЛЬНАЯ ЦИКЛИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРИ ПОИСКЕ
И ОБНАРУЖЕНИИ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПОМЕХ**

Минимум вычислительной сложности алгоритмов свертки достигается при определении значений сигналов на конечном коммутативном кольце или группе [1; 2]. Вычисление линейных (непериодических) сверток состоит из определения серии циклических сверток и поэтому представляет собой более сложную задачу. Интересна возможность использования в задачах поиска и обнаружения сигналов на фоне помех свертки, заданных на конечных коммутативных циклических группах.

между элементами циклических $\dot{R}_{il}^{(u)}$ и теплицевых \dot{R}_{il} ковариационных матриц: $\dot{R}_{il}^{(u)} = \frac{1}{n} \sum_{\tau=0}^{n-1} \dot{R}[\tau \oplus (l \ominus l) - \tau]$. Зная определитель $|\dot{R}^{(u)}|$ и матрицу $\|\dot{R}^{(u)}\|^{-1}$, находим условную плотность вероятности гауссовского закона распределения помехового вектор-столбца \bar{y}_k :

$$p_n(\bar{y}/k) = \frac{1}{(4\pi)^n |\dot{R}_n^{(u)}|} \exp \left[-\frac{1}{2} (\bar{y}_k)^* \|\dot{R}_n^{(u)}\|^{-1} \bar{y}_k \right].$$

Индекс n обозначает наличие одной помехи.

Оптимальный обнаружитель Неймана — Пирсона строится на основании результатов анализа отношения правдоподобия, усредненного по всем возможным значениям параметра циклического сдвига k :

$$l(\bar{y}) = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} p(k) \frac{p_{\text{сн}}(\bar{y}/k)}{p_n(\bar{y}/k)}.$$

Индекс sp обозначает смесь сигнала и помехи. При равномерном распределении параметра k вместо приведенного используется правило сравнения с порогом каждого из n соотношений вида

$$\ln l(\bar{y}/k) = \frac{1}{2} (\bar{y}_k)^* \|\dot{V}\| \bar{y}_k, \quad (2)$$

где матрица обработки $\|\dot{V}\| = \|\dot{R}_n^{(u)}\|^{-1} - \|\dot{R}_{\text{сн}}^{(u)}\|^{-1}$. Сигнал обнаружен, когда одно из значений $\ln l(\bar{y}/k)$ превышает пороговый сигнал. Если отношение сигнал-помеха по мощности q^2 на входе обнаружителя много меньше единицы, то

$$\|\dot{V}\| \approx \|\dot{R}_n^{(u)}\|^{-1} \|\dot{R}_c^{(u)}\| \|\dot{R}_n^{(u)}\|^{-1}. \quad (3)$$

Алгоритм оптимальной циклической обработки получим из соотношения (2). Он представляет собой при каждом k квадратичную форму над координатами вектора y_k :

$$Z_k = \frac{1}{2} \sum_{i,j=0}^{n-1} \dot{V}_{ij} y_{i \oplus k} y_{j \oplus k}. \quad (4)$$

После преобразования нормального случайного процесса произвольной положительно определенной квадратичной формой вероятность превышения некоторого порогового сигнала z_0 выражается формулой [3]:

$$P = \sum_{\gamma=1}^m \frac{1}{(\alpha-1)!} \frac{d\lambda^{\alpha-1}}{d\lambda_{\gamma}^{\alpha-1}} \left[\lambda_{\gamma}^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{z_0}{\lambda_{\gamma}}\right) \prod_{\substack{\beta=1 \\ \beta \neq \gamma}}^m \left(1 - \frac{\lambda_{\beta}}{\lambda_{\gamma}}\right)^{-\alpha} \right], \quad (5)$$

где $m \leq n$ — число положительных собственных значений λ_γ , определяющей матрицы $\|\Lambda\|$, равной произведению матрицы обработки и корреляционной матрицы обрабатываемой последовательности:

$$\|\Lambda\| = \begin{cases} \|\dot{V}\| \|\dot{R}_n^{(u)}\| & \text{при отсутствии сигнала;} \\ \|V\| \left(\|\dot{R}_n^{(u)}\| + q^2 \|\dot{R}_c^{(u)}\| \right) & \text{при наличии сигнала;} \end{cases}$$

α — кратность собственных значений λ_γ ; ε — кратность собственных значений λ_β . Используя формулу (5), строим характеристики обнаружения.

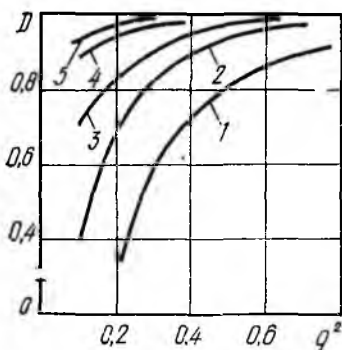


Рис. 1

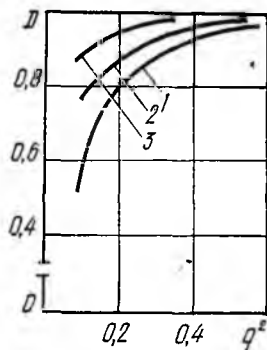


Рис. 2

В качестве модели полезного сигнала примем дискретный случайный нормальный процесс с корреляционной матрицей, элементы которой имеют вид:

$\dot{R}_{il} = \sigma_c^2 e^{-\frac{|i-l|}{T_c}} e^{j(i-l)\theta}$. Здесь σ_c^2 — дисперсия флюктуаций сигнала; $j = \sqrt{-1}$; θ — межимпульсный набег фазы сигнала; T_c — постоянная времени корреляции сигнала. Запишем элементы корреляционной матри-

цы помех: $\dot{R}_{il} = \sigma_n^2 e^{-\frac{|i-l|}{T_n}} e^{j(i-l)\varphi}$, где σ_n^2 — дисперсия помехи; φ — межимпульсный набег фазы помехи; T_n — постоянная времени корреляции помехи. Наряду с помехой во входной смеси присутствует белый шум, элементы корреляционной матрицы которого можно представить как $\dot{R}_{il} = \sigma_w^2 \delta(i-l)$.

Характеристики обнаружения циклической обработки случайных дискретных сигналов на фоне коррелированных помех и шумов были получены на ЭВМ для некоторых частных случаев и представлены на рисунках. На рис. 1 для кривых 1, 2 $\theta = 30^\circ$, 3 — 90° , 4, 5 — 180° , 1, 5 — обычная обработка, 2, 3, 4 — циклическая. Здесь $F = 10^{-3}$; $T_c = 1000$; $T_n = 100$; $\varphi = 0^\circ$; $\sigma_w^2 = 0$. Для сравнения даны характеристики обнаружения обычной оптимальной системы обработки. Циклическая система обнаружения рассматриваемых видов сигналов и помех имеет эффективность, близкую к эффективности обычной системы обработки. При этом в случае малых междупериодных

набегов фазы сигнала θ эффективнее циклическая система обработки, а при θ , близких к 180° , — обычная. На рис. 2 для кривой 1 $\theta = 30^\circ$, 2 — 90° , 3 — 180° . Данные расчета: $F = 10^{-2}$, $T_c = 1000$, $T_n = 100$, $\varphi = 0^\circ$, $\sigma_{ш}^2 = 0$.

Таким образом, оптимизация циклических алгоритмов обнаружения по критерию Неймана — Пирсона позволяет получить новый класс алгоритмов обработки, который, реализуясь в цифровой технике, уменьшает число выполняемых операций и обеспечивает высокую помехоустойчивость обработки.

Список литературы: 1. *Нуссбаумер Г.* Быстрое преобразование Фурье и алгоритм вычисления сверток. — М.: Радио и связь, 1985. — 248 с. 2. *Макклеллан Дж. Х., Рейдер И. М.* Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов. — М.: Радио и связь, 1983. — 263 с. 3. *Охрименко А. Е., Тосев И. Т.* Анализ характеристик обнаружения систем междупериодной обработки // Радиотехника и электрон. — 1971. — 16, № 1. — С. 67—71. 4. *Голиков В. С.* Оптимальная обработка сигналов блочными M -ичными фильтрами // Радиотехника. — 1985. — Вып. 73. — С. 57 — 60.

Поступила в редколлегию 29.08.86