

## ДИСКРЕТНО-АДАПТИВНИЙ РЕЖЕКТОРНИЙ ФІЛЬТР

К. т. н. І. В. Цевух, А. А. Сакович

Державний університет «Одеська політехніка»

Україна, м. Одеса

itsevukh@op.edu.ua, anastasia9247ost@gmail.com

*Запропоновано дискретно-адаптивний алгоритм режекції корельованої завади за умов обмеженого комплексу різномірних завод. З погляду обчислювальної ефективності вказано умови доцільності переходу від режекторного фільтра з безперервною перебудовою параметрів до дискретно-адаптивного фільтра, що функціонує під управлінням аналізатора завод.*

*Ключові слова: дискретно-адаптивний алгоритм, комплекс завод, режекторний фільтр.*

Складність реалізації адаптивних режекторних фільтрів з безперервною перебудовою параметрів залежно від заводових умов призводить до пошуку більш простих варіантів їх побудови. Один зі шляхів розв'язання подібного завдання наведено в [1], де запропоновано дискретно-адаптивний алгоритм обробки сигналів. Цей алгоритм реалізується у вигляді сукупності неадаптивних підсистем (режимів), які автоматично перемикаються залежно від результатів аналізу заводової обстановки, що являє собою адитивну суміш корельованих та некорельованих гаусових завод. На практиці найчастіше на систему діє комплекс завод у вигляді трьох компонентів: імпульсної (ІЗ), корельованої (КЗ) та некорельованої (НЗ) гаусових завод.

Метою даної роботи є розроблення спрощеного, з погляду обчислювальної складності, дискретно-адаптивного режекторного фільтра, що функціонує в умовах заданого комплексу завод з урахуванням апріорної інформації про їхні спектрально-кореляційні характеристики.

При допустимості гаусових моделей завод, що входять до деякого комплексу, алгоритм компенсації завод вимагає обчислення достатньої статистики виду [2]

$$l = X^*W, \quad (1)$$

де  $X$  —  $N$ -мірний вектор вибіркового відліку вхідного процесу;  $*$  — знак комплексного спряження та транспонування;  $W$  — вектор вагових коефіцієнтів фільтра, що залежить від обраного критерію оптимальності

Коваріаційна матриця чинної завади  $B_{\text{чз}}$  являє собою суму коваріаційних матриць складових

$$B_{\text{чз}} = B_{\text{ІЗ}} + B_{\text{КЗ}} + B_{\text{НЗ}},$$

де  $B_{\text{ІЗ}} = \text{diag}\{\sigma_{\text{ІЗ}1}^2, \sigma_{\text{ІЗ}2}^2, \dots, \sigma_{\text{ІЗ}N}^2\}$ ;  $B_{\text{КЗ}} = \sigma_{\text{К}}^2 R_{\text{КЗ}}$ ;  $B_{\text{НЗ}} = \sigma_{\text{Н}}^2 I$ ;  $\sigma_{\text{ІЗ}j}^2, j = \overline{1, N}$ ;  $\sigma_{\text{К}}^2, \sigma_{\text{Н}}^2$  — потужність завод;  $R_{\text{КЗ}}$  — кореляційна матриця корельованої завади.

Можна показати [3], що

$$B_{\text{КЗ}} = [(B_{\text{КЗ}} + B_{\text{НЗ}})^{-1} B_{\text{ІЗ}} + I]^{-1} [B_{\text{НЗ}}^{-1} B_{\text{КЗ}} + I]^{-1} B_{\text{НЗ}}^{-1}. \quad (2)$$

Матриця  $[(B_{\text{КЗ}} + B_{\text{НЗ}})^{-1} B_{\text{ІЗ}} + I]^{-1}$  в (2) реалізує процедуру оптимального за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки (СКП) компенсації імпульсної завади на тлі адитивної суміші корельованої та некорельованої завод, а матриця  $[B_{\text{НЗ}}^{-1} B_{\text{КЗ}} + I]$  оптимальне по СКП придушення пасивної завади на тлі некорельованого шуму. Більш детальний аналіз цих матриць показує, що оптимальний по СКП компенсатор імпульсної завади здійснює заміну елемента вибірки вхідного процесу (1), ураженого імпульсною заводою, зваженою сумою значень  $x_j^*$ , що не містять цієї завади, а вектор вагових коефіцієнтів режекторного фільтра оптимального за критерієм мінімуму СКО визначається як

$$W_{\text{КЗ}} = R_{\text{КЗ}}^{-1} e_i / e_i^T R_{\text{КЗ}}^{-1} e_i, \quad (3)$$

де  $e_i$  —  $i$ -й стовпчик одиничної матриці.

В умовах апріорної невизначеності заводових умов для оцінки кореляційної матриці  $\hat{R}_{k3}$  пасивної завади скористаємося принципом розділення, згідно з яким безперервна область  $\theta$  існування параметра  $R_{k3}$  представляється кінцевою безліччю  $G(R_{k3})$ , яка має нульову міру і складається з  $M$  окремих ізольованих значень  $R_{k3g} = R_{k3j}, j = \overline{1, M}$ . Вважаючи вектор середніх значень вхідного процесу  $X$  з гаусовою щільністю розподілу ймовірностей рівним нулю, знаходження оцінки максимальної правдоподібності  $\hat{R}_{k3}$  та вектору вагових коефіцієнтів  $W_{k3}$  можна представити у вигляді

$$\text{якщо } \ln |R_{k3k}| + \text{Tr } R_{k3k}^{-1} \hat{R}_{k3} = \min_{j=\overline{1, M}} (\ln |R_{k3j}| + \text{Tr } R_{k3j}^{-1} \hat{R}_{k3}), \quad (4)$$

то  $\hat{R}_{k3} = R_{k3k}$ ;  $W_{k3} = R_{k3k}^{-1} e_i / e_i^T R_{k3k}^{-1} e_i$ .

З (4) випливає, що процедура знаходження вектору вагових коефіцієнтів дискретно-адаптивного режекторного фільтра зводиться до кластеризації області  $\theta = \theta_1 \cup \theta_2 \cup \dots \cup \theta_M$ ;  $\theta_i \cap \theta_j = \emptyset$  та визначенню підобласті  $\theta_k$ , до якої потрапляє значення максимально правдоподібної оцінки кореляційної матриці пасивної завади.

Аналіз виразів (2) і (4) показує, що дискретно-адаптивний режекторний фільтр, який працює в умовах адитивної суміші імпульсних, корельованих і некорельованих завод, повинен містити в собі компенсатор імпульсної завади, придушувач корельованої завади з блоком пам'яті, де зберігається кінцевий набір обчислених апріорі значень векторів вагових коефіцієнтів  $W_{k3j}, j = \overline{1, M}$ , когерентний/некогерентний накопичувач, а також аналізатор заводових умов, що складається з виявляча імпульсної завади, класифікатора корельованої завади та вимірювача рівня некорельованої завади.

Показано, що складність побудови дискретно-адаптивного режекторного фільтра значною мірою залежить від допустимого рівня втрат його ефективності у порівнянні з фільтром з безперервною перебудовою параметрів, розмірності та об'єму області  $\theta$ , що визначають необхідну кількість режимів заводозахисту, а отже, обчислювальні витрати на реалізацію аналізатора завод. Так, якщо для реалізації придушувача пасивної завади з безперервною перебудовою параметрів у загальному випадку потрібно  $N^3/2$  комплексних множень, то для обчислення  $M$  вирішальних статистик виду (4) це число дорівнює  $MN(N+1)/2$ . Звідси випливає, що перехід до дискретно-адаптивних фільтрів з точки зору обчислювальної ефективності має сенс при  $M < N(N+2)/(N+1)$ . Зауважимо, що суттєвим резервом спрощення реалізації аналізатора заводових умов є зниження розмірності простору ознак з урахуванням їхньої інформативності.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Цевух І.В., Соколов А.В., Сакович А.А. Параметричний синтез дискретно-адаптивної одноканальної з доплерівської частоти системи обробки сигналу в умовах гаусових завод. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*, 2017, т. 7, № 4, с. 291–299.
2. Richards M.A., Scheer J.A., Holm W.A. (Eds.) *Principles of Modern Radar: Vol.1 – Basic Principles*. SciTech Publishing, IET, Edison, NJ, 2010, 924 p.
3. Цевух І.В., Сияков Д.О. Алгоритм когерентно-некогерентної обробки радіосигналів в умовах комплексу помех. *Труди 20-й МНПК «Современные информационные и электронные технологии»*, Україна, Одеса, 2019, с. 30–31.

I. V. Tsevukh, A. A. Sakovich

#### Discrete-adaptive band-stop filter

*The study proposes a discrete-adaptive algorithm for rejecting correlated noise under the conditions of a limited set of heterogeneous noises. The authors underline, from the computational efficiency standpoint, the feasibility terms for shifting from the band-stop filter with continuous tuning of parameters to the discrete-adaptive filter operating under the control of a noise environment analyzer.*

*Keywords: discrete-adaptive processing, complex noise, rejecter filter.*