

УДК.621.391.2

БАТАЕВ О.П., к.т.н., доцент,
РОДИОНОВ С.В., к.т.н., доцент (УкрГАЗТ),
ПОЛЯКОВ С.В., інженер (ООО НПП «Стальэнерго»)

Метод оценивания уровней радиопомех в широком диапазоне изменения их корреляционных свойств

Рассмотрен метод оценивания уровня радиопомех в широком диапазоне изменения их корреляционных свойств, отличительной особенностью которого от известных методов является использование на каждом шаге измерений текущей информации о реальных ошибках оценивания.

Ключевые слова: корреляция уровней радиопомех, шумы измерений, ошибка оценивания, дисперсия оценки измерений, весовой коэффициент.

Введение

При решении ряда задач синтеза систем радиосвязи и управления, функционирующих в условиях различных возмущающих воздействий от других радиосредств, и с целью обеспечения условий для требуемой электромагнитной совместимости (ЭМС) их работы, весьма эффективными являются методы оптимальной линейной фильтрации в пространстве состояний [1].

Так на их основе синтезированы оптимальные по среднеквадратичному минимуму среднеквадратичной ошибки (СКО) анализаторы-экстраполяторы радиочастотной обстановки адаптивных комплексов радиосвязи, обеспечивающие потенциальную точность текущей оценки и прогноза уровней помех в условиях измерительных шумов, возникающих в радиометрических блоках (РМБ) при аналого-цифровой обработке измерений.

Однако точность текущей оценки оптимальных анализаторов-экстраполяторов зависит от корреляционных свойств помех. Это затрудняет их практическое применение в тех случаях, когда корреляционные свойства помех неизвестны или изменяются во времени по случайному закону. Так, например, при мониторинге радиочастотной обстановки на различных частотах, на которых процессы изменения уровней помех во времени могут протекать с различной скоростью, использование известных методов оптимальной фильтрации может привести к тому, что погрешность измерений уровней помех на разных частотах окажется различной, следовательно, достоверность выбора наилучших (оптимальных) для связи частот не будет гарантирована.

Таким образом возникает необходимость в дальнейшем совершенствовании известных и разработки новых методов обеспечения достоверности выбора оптимальных для связи рабочих частот при проведении радиомониторинга [2].

Анализ литературы

В известной литературе [1-3] либо только указываются пути для решения данной проблемы, либо предлагаются методы, лишь частично решающие ее.

Цель статьи

Анализ метода оценивания уровней радиопомех в широком диапазоне изменения их корреляционных свойств, обеспечивающий достаточно высокую точность получаемых оценок на основе теории переменных состояний.

Основная часть

Отмеченные выше недостатки анализаторов-экстраполяторов обуславливают целесообразность анализа подоптимальных (относительно «грубых» по чувствительности) алгоритмов оценивания, обеспечивающих достаточно высокую достоверность (точность) получаемых оценок в широком диапазоне изменения корреляционных свойств радиопомех.

Таким образом, необходимо решить задачу синтеза анализатора уровней случайных радиопомех, малочувствительного (инвариантного) к изменению их корреляционных свойств. Отличительной особенностью его от известных является использование на каждом шаге измерений текущей информации об ошибках оценивания.

Пусть динамика изменения среднеквадратичных значений помех задана функцией $n(k+1)$ на вход РМБ на каждой анализируемой частоте в дискретные моменты времени t_{k+1} , $k = 0, 1, 2, \dots$, описывается

стохастическим разностным уравнением (уравнением состояния) вида [4]

$$n(k+1) = \Phi(k+1, k)n(k) + \Gamma(k+1, k)u(k), \quad (1)$$

где $\Phi(k+1, k)$, $\Gamma(k+1, k)$ – соответственно функции состояния и возбуждения;

$u(k)$ – возбуждающий систему, описываемую уравнением (1), белый шум с нулевым средним и ковариационной функцией $\mu[u(k)u(j)] = Q(k)\delta_{kj}$, причем $Q(k)$ – интенсивность (дисперсия) шума возбуждения;

δ_{kj} – символ Кронекера [4].

Учитывая, что функция $n(k+1)$ представляет собой корреляционно-марковскую квазистационарную последовательность случайных нормально распределенных величин с параметрами \bar{n} – математическое ожидание и σ_n^2 – дисперсия, в уравнении состояния (1) согласно [4] можно положить

$$\begin{aligned} \Phi(k+1, k) &= e^{-\alpha T}, \\ \Gamma(k+1, k) &= \sqrt{\frac{2}{\alpha}} (1 - e^{-\alpha T}), \\ Q(k) &= \frac{\alpha \sigma_n^2 (1 + e^{-\alpha T})}{2 (1 - e^{-\alpha T})}, \end{aligned} \quad (2)$$

где α – параметр корреляционной функции последовательности $n(k+1)$;

$T = (t_{k+1} - t_k)$ – интервал между измерениями.

Тогда на выходе радиометрического блока уравнение последовательности $n(k+1)$, $k = 0, 1, 2, \dots$, записывается в виде аддитивной смеси

$$Z(k+1) = n(k+1) + u'(k+1), \quad (3)$$

где $u'(k+1)$ – белый шум (погрешность измерений) с нулевым средним и ковариационной функцией $\mu[u'(k)u'(j)] = \sigma_{\Xi}^2 \delta_{kj}$, σ_{Ξ}^2 – интенсивность (дисперсия) шума измерений.

При известных корреляционных свойствах помех оптимальный по минимуму среднеквадратичной ошибки алгоритм вычисления текущей оценки уровней \hat{n} с учетом (2) может быть представлен выражением

$$\hat{n}(k+1) = e^{-\alpha T} \hat{n}(k) + K(k+1) \times [Z(k+1) - e^{-\alpha T} \hat{n}(k)]. \quad (4)$$

В выражении (4) введен весовой коэффициент при «невязке» измерений значения $K(k+1)$, определяются из следующих рекуррентных соотношений:

$$K(k+1) = P(k+1/k) \times [P(k+1/k) + \sigma_{\Xi}^2]^{-1}; \quad (5)$$

$$P(k+1/k) = e^{-2\alpha T} P(k) + \sigma_n^2 (1 - e^{-2\alpha T}); \quad (6)$$

$$P(k+1) = [1 - K(k+1)] \times P(k+1/k), \quad (7)$$

где $P(k+1/k)$ – переходная от измерения к измерению ошибка оценки;

$P(k+1)$ – ошибка оценки после $(k+1)$ -го шага измерений.

Начальными условиями в выражениях (4)-(7) являются:

$$\hat{n}(0) = Z(0), \quad P(0) \approx \sigma_n^2, \quad K(0) \approx 1. \quad (8)$$

Из выражений (4)-(7) следует, что вся процедура вычисления текущей оценки уровней помех основана на априорных сведениях относительно параметра α корреляционной функции и дисперсии оцениваемого процесса σ_n^2 в выражении (2). Причем, любая неточность в определении этих величин может привести к увеличению ошибки оценивания и приведет к дополнительной погрешности измерений.

Для обеспечения требуемой точности параметров α и σ_n^2 необходимо ввести коррекцию величины коэффициента $K(k+1)$, определяющего вес, с которым измеренные значения $Z(k+1)$, $k = 0, 1, 2, \dots$, входят в оценку $\hat{n}(k+1)$, в соответствии с величиной реальной ошибки оценки.

Следует отметить, что отличие априорно задаваемых параметров α и σ_n^2 в выражениях вычислений (4)-(7) от реальных параметров оцениваемого процесса будет проявляться в изменении дисперсии оценки измерений в соответствии с выражением

$$v(k+1) = Z(k+1) - e^{-\alpha T} \hat{n}(k). \quad (9)$$

Согласно [4] дисперсия смещения оценки измерений находится по формуле

$$\mu[v^2(k+1)] = P(k+1/k) + \sigma_{\text{ш}}^2, \quad (10)$$

Определим с учетом (5) и (9) дисперсию последовательности $K(k+1)v(k+1)$:

$$\begin{aligned} \mu[K^2(k+1)v^2(k+1)] &= \\ &= K^2(k+1)\mu[v^2(k+1)] = \\ &= K(k+1)[P(k+1/k) + \sigma_{\text{ш}}^2] \times \\ &\times P(k+1/k)[P(k+1/k) + \sigma_{\text{ш}}^2]^{-1} = \\ &= K(k+1)P(k+1/k). \end{aligned} \quad (11)$$

Используя (7) и учитывая (11), получим выражение для переходной ошибки оценки $P(k+1/k)$ в виде

$$\begin{aligned} P(k+1/k) &= K(k+1) \times \\ &\times P(k+1/k) + P(k+1) = \\ &= K^2(k+1)\mu[v^2(k+1)] + P(k+1); \end{aligned} \quad (12)$$

Для проведения рекуррентных вычислений переходной ошибки оценки $P(k+1/k)$ целесообразно использовать информацию о значениях весового коэффициента $K(k)$ и ошибки $P(k)$, вычисленных на предыдущем k -м шаге.

При достаточно частых измерениях с требуемой можно считать, что $K(k+1) \approx K(k)$, $P(k+1) \approx P(k)$. Такое допущение справедливо, если величина интервала между измерениями $T = t_{k+1} - t_k$ удовлетворяет условию $T \ll 1/\alpha$.

Можно показать с учетом [2], что максимальное в смысле максимума плотности вероятности $w[v(k+1)]$ значение дисперсии смещения оценки измерений равно

$$\mu_{\text{опт}}[v^2(k+1)] = v^2(k+1). \quad (13)$$

Подставив (12) в (11), с учетом (9) и сделанного выше допущения окончательно получим выражение для расчета переходной ошибки оценки измерений

$$P(k+1/k) = K^2(k)[Z(k+1) - e^{-\alpha T} \hat{n}(k)]^2 + P(k), \quad (14)$$

Таким образом, предложенный алгоритм текущей оценки случайных радиопомех отображается выражениями (4), (5), (7), (14). Как следует из них, в алгоритме кроме априорных данных о параметрах оцениваемого процесса α и $\sigma_{\text{ш}}^2$, вводимых в уравнения состояния (1), используются также апостериорные сведения о реальной ошибке оценки (14), что обеспечивает необходимую коррекцию весового коэффициента (5) на каждом шаге измерений и тем самым повышает достоверность оценивания уровней радиопомех.

Структурная схема, реализующая предложенный алгоритм оценивания текущей оценки уровней случайных радиопомех по минимуму среднеквадратичной ошибки, представлена на рис. 1.

В табл. 1 представлены результаты моделирования в оболочке Matcad на ПЭВМ процесса $Z(k+1)$, $k = 0, 1, 2, \dots, 14$ при исходных данных: $\alpha = 0,2\text{с}^{-1}$, $\sigma_{\text{ш}}^2 = 12$ дБ, $\hat{n} = 20$ дБ, $\sigma_{\text{ш}}^2 = 3$ дБ, $T = 30$ с, а также вычисления оценочных значений $\hat{n}(k+1)$ и нормированной ошибки оценки $\gamma(k+1) = P(k+1)/\sigma_{\text{ш}}^2$ при заданных в алгоритме (8) значениях оценки $\alpha_{\text{ш}} = 0,01; 0,03; 0,05 \text{с}^{-1}$, $\sigma_{\text{ш}}^2 = 12$ дБ.

Выводы

Представленные в таблице результаты оценки уровней радиопомех с использованием данного метода свидетельствуют о высокой точности оценки уровня радиопомех и малой чувствительности устройства реализующего алгоритм метода к корреляционным свойствам радиопомех.

Литература

1. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и применения в связи и управлении. Пер. с англ. под ред. проф. Б.Р. Левина – М.: Связь, 1976 - 495с.
2. Снайлер Д. Метод уравнений состояния для непрерывной оценки в применении к теории связи. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1973, - 104с.
3. Буга Н.Н., Конторович В.Я., Носов В.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1993, -242с.
4. Г.Корн, Т.Корн. Справочник по математики (для научных работников и инженеров). – М.: Наука,1973, - 831с.
5. Столллингс В. Беспроводные линии связи и сети. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс»,2003, -650с.
6. Хэйл У.К. Присвоение частот. Теория и приложения // ТИИЭР -1980- Т.68 -№12, С.55-76.

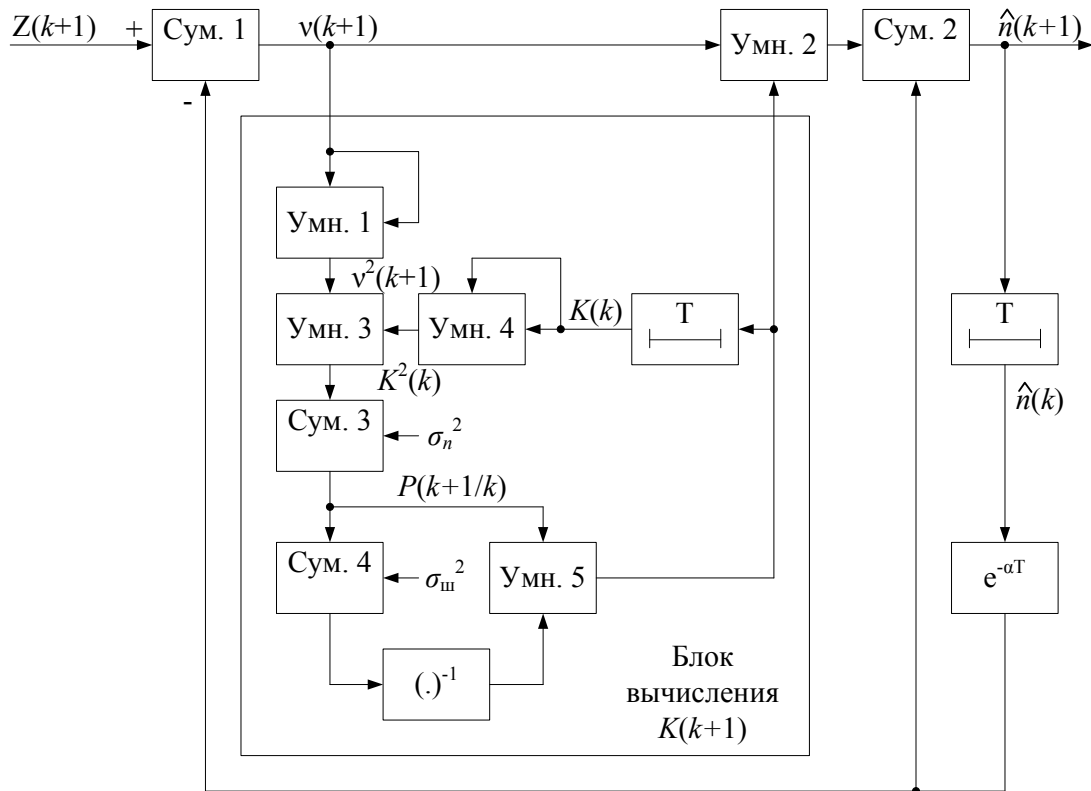


Рис. 1. Структурная схема устройства определения текущей оценки уровней случайных радиопомех

Таблица 1

Результаты моделирования на ПЭВМ процесса $Z(k+1)$

k	$Z(k+1)$	$\alpha_{\text{ш}} = 0,01 \text{ c}^{-1}$		$\alpha_{\text{ш}} = 0,03 \text{ c}^{-1}$		$\alpha_{\text{ш}} = 0,05 \text{ c}^{-1}$	
		$\hat{n}(k+1)$	$\gamma(k+1)$	$\hat{n}(k+1)$	$\gamma(k+1)$	$\hat{n}(k+1)$	$\gamma(k+1)$
0	4,86	4,86	1,0	4,86	1,0	4,86	1,0
1	10,59	10,12	0,23	10,01	0,23	10,06	0,23
2	11,34	11,19	0,16	11,16	0,17	11,1	0,2
3	1,73	4,99	0,23	4,27	0,23	2,98	0,23
4	8,75	8,42	0,21	8,37	0,22	8,23	0,23
5	6,72	6,92	0,14	6,82	0,13	6,69	0,12
6	12,77	10,0	0,2	9,59	0,2	8,9	0,21
7	28,62	25,12	0,25	24,9	0,25	25,0	0,25
8	13,28	13,14	0,24	13,38	0,24	13,33	0,23
9	20,4	20,2	0,24	20,12	0,24	19,7	0,24
10	17,15	17,25	0,17	17,19	0,14	17,09	0,17
11	21,5	19,92	0,21	18,91	0,2	18,75	0,23
12	19,89	19,72	0,13	19,36	0,18	19,43	0,22
13	12,04	15,35	0,2	13,6	0,21	12,35	0,19
14	30,71	27,72	0,25	28,02	0,25	26,0	0,25

O.P Bataev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, S.V. Rodionov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (UkrGAZT), S.V Polyakov, engineer of Scientific and Production Enterprise "Stalenergo".

Estimation method of levels of radio-frequency interference in wide range of their correlation property changes. Estimation method of levels of radio-frequency interference in wide range of their correlation property changes has been considered. The distinctive feature of the given method from known ones is the use of measurements of current information about real estimation error at each step.

Key words: of levels of radio-frequency interferences, measurement noise, estimation error, variance of measurement estimation, weight coefficient.

Батаєв О.П., к.т.н., доцент, Родіонов С.В., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ), Поляков С.В., інженер ТОВ НВП "Стальенерго". Метод оцінювання рівнів радіоперешкод в широкому діапазоні зміни їх кореляційних властивостей. Розглянуто метод оцінювання рівня радіоперешкод в широкому діапазоні зміни їх кореляційних властивостей, відмінною особливістю якого від відомих методів є використання на кожному кроці вимірювань поточної інформації про реальні помилки оцінювання.

Ключові слова: кореляція рівнів радіоперешкод, шуми вимірювань, помилка оцінювання, дисперсія оцінки вимірювань, ваговий коефіцієнт.

Рецензент д.т.н., професор Мойсеєнко В.И. (УкрГАЗТ)

Поступила 02.07.2013г.