

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА-БЬЮСИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Коляденко Ю.Ю., Чурсанов Н.А.

Кафедра «Инфокоммуникационной инженерии имени В.В. Поповского», Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

E-mail: yuliia.koliadenko@nure.ua

Abstract

Considering a number of distinctive structural and functional features that characterize the electromagnetic environment in mobile communication networks, it is shown that the measured signal to interference power ratio is a random process. It is also shown that the measurements are carried out against the background of noise. It is proposed to evaluate the observed process using the Kalman-Bucy filter. Analyzed of the effectiveness of the algorithm.

Элементы сетей мобильной связи (СМС) создают помехи для других элементов сети, которые в свою очередь являются объектами помеховых воздействий [1]. Анализ электромагнитной обстановки (ЭМО) представляет собой измерение и расчет отношения мощности полезного сигнала к суммарной мощности помех в конкретной точке пространства. Разработано много методов, методик, теоретических обоснований посвященных улучшению ЭМО в радиолиниях, проблеме обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) [2]. Ситуацию и саму ЭМО в сетях мобильной связи сильно усложняет тот факт, что в эту обстановку вносятся различные часто случайные факторы, носящие трудно прогнозируемый характер. В этих условиях рассчитать заранее ЭМО и решить задачу ЭМС с достаточной точностью не всегда удается, а часто просто невозможно из-за априорной неопределенности.

Можно выделить ряд отличительных структурных и функциональных особенностей, характеризующих ЭМО в СМС:

- ограниченная энергетика и протяженность радиолиний, множественный случайный характер межэлементных взаимодействий и механизмов этих взаимодействий, влияющих на то, что ЭМО с трудом поддается учету и контролю;
- топология сети характеризуется явно выраженной динамикой и нестационарностью из-за мобильности абонентских станций, а так же кратковременности работы в эфире;
- каналы радиосвязи являются многолучевыми, нестационарными со случайным изменением всех физических параметров;
- выдвигаются все более высокие требования по качеству обслуживания при передаче как речевой, так и мультимедийной информации;
- высокая плотность загрузки выделенных диапазонов частот, случайное положение и размещение групп абонентских станций в пространстве.

Все это позволяет сделать вывод о том, что отношение мощности полезного сигнала P_c к суммарной мощности помех и шума P_n (ОСПШ) в конкретной точке пространства является случайным процессом [3], который представим уравнением состояния:

$$\frac{d \vec{h}(t)}{dt} = F(t) \vec{h}(t) + G(t) \vec{\xi}(t), \quad (1)$$

где $\vec{h} = 10 \lg \frac{P_c}{P_n}$ - вектор состояния ОСПШ, который зависит от времени; $F(t), G(t)$ матрицы

(для одномерного случая коэффициенты) состояния и возбуждения соответственно; $\vec{\xi}(t)$ – порождающее векторное белое гауссовское поле с нулевым средним.

Для стационарного случая коэффициенты F, G не зависят от времени. Коэффициенты F имеют физический смысл величин, обратных интервалу корреляции τ_{kop} процесса $h(t)$. Для одномерного случая

$$F = -\alpha = -\frac{1}{\tau_{kop}}.$$

Коэффициенты G определяют масштаб случайных изменений процесса $h(t)$.

$$G = \sqrt{2\alpha\sigma^2},$$

где $\alpha = 1/\tau_{kop}$, σ^2 - спектральная плотность мощности порождающего процесса $\xi(t)$.

Для стационарного одномерного процесса $h(t)$ уравнение (1) представляется в виде:

$$\frac{dh(t)}{dt} = -\alpha h(t) + \sqrt{2\alpha\sigma^2} \cdot \xi(t). \quad (2)$$

Для дискретного представления уравнение состояния имеет вид:

$$h(k+1) = F \cdot h(k) + G \cdot \xi(k), \quad (3)$$

где $F = \exp\{-\alpha\Delta t_k\}$ - коэффициент состояния, $\alpha = 1/\tau_{kop}$, $\Delta t_k = k - (k-1)$ - шаг,

$G = \sqrt{\sigma^2 \exp\{-\alpha\Delta t_k\}(1 - \exp\{-\alpha\Delta t_k\})}$ - коэффициент порождения.

Учитывая тот факт, что измерения ОСПШ осуществляется на фоне шумов алгоритм (3) обычно дополняется уравнением наблюдения. Модель наблюдения задается линейным алгебраическим соотношением:

$$y(k) = H(k)h(k) + n(k) \quad (4)$$

где $H(k)$ - матрица, которая задает ослабление измеряемого процесса; шум наблюдения $n(k)$ является белым гауссовский шумом с дисперсией D_n и нулевым средним.

В связи с этим возникает задача оценки случайного процесса. Для оценки случайных процессов Калманом и Бьюси разработана достаточно эффективная, оптимальная в гауссовом и линейном приближениях процедура, получившая название «фильтра Калмана-Бьюси» [4]. В основе этой процедуры лежит математическая модель в виде уравнения состояния, и уравнения наблюдения. Сама же процедура оценки $\hat{h}(k)$ имеет следующий вид:

$$\hat{h}(k) = F \cdot \hat{h}(k-1) + K(k) \cdot [y(k) - H \cdot F \cdot \hat{h}(k-1)], \quad (5)$$

где $K(k)$ - коэффициент, обеспечивающий устойчивость и оптимальную скорость сходимости алгоритма к установившемуся состоянию. Данный коэффициент подлежит рекурсивному вычислению на каждом шаге согласно алгоритма:

$$K(k) = V(k, k-1)H^T N_n^{-1}. \quad (6)$$

Уравнение для априорной дисперсии:

$$V(k, k-1) = FV(k-1, k-1)F^T + GN_\xi G^T, \quad (7)$$

Вычисление апостериорной дисперсии:

$$V(k, k) = [I - K(k)H] \cdot V(k, k-1), \quad (8)$$

где N_ξ, N_n - соответственно значения спектральных плотностей мощности порождающего шума $\xi(k)$ и шума наблюдения $n(k)$.

На рис. 1 представлена структурная схема алгоритма оценки (5). Анализ структурной схемы рис. 1. показывает, что в фильтре Калмана реализуется идея предсказания – коррекции. Предыдущая оценка $\hat{h}(k-1)$ экстраполируется на один шаг вперед и затем используется для получения наилучшей

оценки нового наблюдения $y(k)$, основанной на предыдущих наблюдениях. Ошибка между «наилучшей оценкой» текущего наблюдения и фактическим наблюдением, а именно $\Delta h(k) = y(k) - \hat{h}(k)$ представляют собой новую информацию, а процесс $\Delta h(k)$ - носит название обновляющего. Далее полученная разница взвешивается с весом $K(k)$, учитывающим значение дисперсий входного процесса, измерения и ошибки оценивания для формирования сигнала коррекции. Сигнал коррекции складывается с предсказанной оценкой, и в результате получается новая оценка.

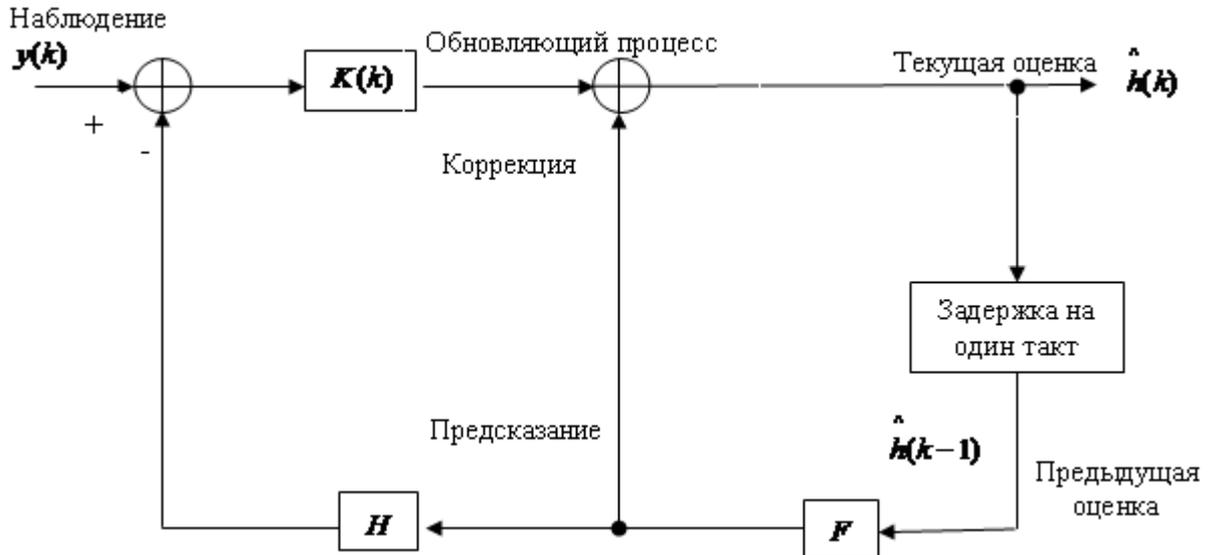


Рис. 1. Структурная схема дискретного алгоритма оценки фильтра Калмана-Бьюси

С помощью имитационного моделирования проведен анализ эффективности алгоритма оценки (5). На рис.2 представлены результаты моделирования: истинное значение ОСПШ, наблюдаемое значение ОСПШ и оценка наблюдения.

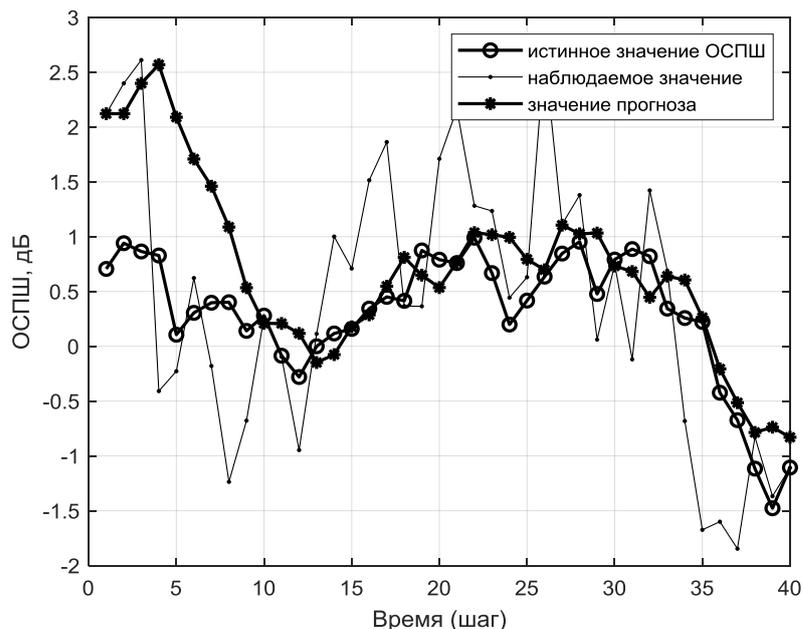


Рис.2. Результаты моделирования: истинное значение ОСПШ, наблюдаемое значение ОСПШ и оценка наблюдения

В качестве критерия эффективности алгоритма оценки использована апостериорная дисперсия ошибки оценки, график которой представлен на рис.3.

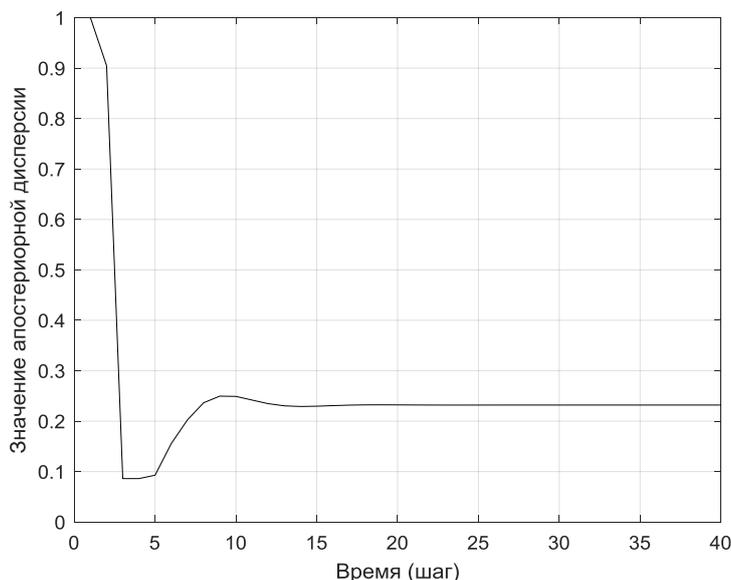


Рис. 3. Апостериорная дисперсия ошибки оценки

Судя по графику, представленному на рис.3 можно сделать вывод о том, что ошибка оценки в начале работы алгоритма имеет максимальное значение, также имеет переходной режим и за 10 шагов достигает установившегося состояния.

Литература:

1. Поповский В.В. Методика анализа электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств в группировках систем подвижной связи /В.В. Поповский, Ю.Ю. Коляденко/Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання регулювання у сфері телекомунікацій та користування радіочастотним ресурсом».- Київ 18-20 травня 2010 р. с. 115-116.
2. Теория и методы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Под редакцией Ю.А. Феоктистова.- М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
3. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения/ Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров // – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1991. - 384 с.
4. Коляденко Ю.Ю. Метод оценки параметров радиоканалов сети LTE/ Коляденко Ю.Ю., Алали А.М./ Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.2015, vol. 15, no. 2, pp. 32–41 DOI: 10.14529/ctcr150204.