

Оценка параметров излучений передатчиков при радиоконтроле с помощью асимптотических алгоритмов

Б. М. Антипин¹, Е. М. Виноградов², В. О. Грачёв

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича
boris_antipin@mail.ru, vinog1936@mail.ru

Abstract. The procedure of remote measurement of radio transmitters radiation parameters using recurrent estimates of stochastic approximation is considered. A comparison of the measuring results the permissible deviation of the broadcast transmitters frequency using stochastic estimation and classical maximum likelihood estimation is given.

Key words: measurement of radiation; spectrum monitoring; estimation; stochastic approximation

I. ВВЕДЕНИЕ

Контроль использования радиочастотного ресурса (радиоконтроль) радиоэлектронными средствами (РЭС) и высокочастотными устройствами (ВЧУ) предполагает, в том числе, и оценку (измерение) параметров излучений этих средств, влияющих на электромагнитную совместимость. При этом целью оценивания (измерения) является проверка соответствия измеренных значений требованиям нормативных и разрешительных документов (НОРМ ГКРЧ [1,2] и разрешений на использование радиочастот). Такой контроль проводится без уведомления операторов связи и владельцев РЭС (ВЧУ) и, тем самым, гарантирует получение объективной информации об использовании национального радиочастотного ресурса.

Однако измерение параметров средствами радиоконтроля имеет и определенные недостатки, которые отсутствуют при инспекционном контроле, когда измерение параметров производится непосредственно при подключении к контролируемому передатчику. При радиоконтроле приходится оценивать (измерять) параметры передатчиков в сложной электромагнитной обстановке, которая характеризуется не только наличием сигнала от передатчика, но и присутствием помеховых излучений, вероятностные характеристики которых, в общем случае, могут быть не известны.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть $X_n=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – независимая выборка из реализации наблюдаемого процесса, состоящего из смеси излучения контролируемого передатчика и помехи. Будем считать, что количество отсчетов в выборке достаточно велико (порядка нескольких десятков), что довольно часто имеет место на практике. На первом этапе при проведении радиоконтрольных измерений необходимо убедиться, что

в принимаемом излучении присутствует сигнал передатчика. В результате на этом этапе имеем задачу проверки гипотез о том, что выборка принадлежит распределению помехи против альтернативы о том, что X_n принадлежит распределению смеси детерминированного сигнала и помехи.

III. ОБНАРУЖЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ

Примем, что при альтернативе распределение выборки имеет вид $w(x, \theta_n)$, где $\theta_n = \lambda s / \sqrt{n}$, λ – энергетический параметр сигнала. При гипотезе $\theta_n = 0$. Если распределение выборки известно как при гипотезе, так и при альтернативе, то существует [3] асимптотически оптимальная процедура обнаружения сигнала s с решающей статистикой

$$P(X) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n s_i(x_i), \quad (1)$$

где $(x) = - \left(\frac{\partial \ln W(x, \theta)}{\partial \theta} \right), n p u = 0$.

При удаленном измерении параметров излучений передатчика, как правило, уровень помеховых излучений не известен. Поэтому в рассматриваемой задаче проверки гипотез присутствует параметрическая априорная неопределенность, т.е. функция правдоподобия выборки определена с точностью до параметра и имеет вид $W\left(\frac{x}{\square}, \square_n\right)$, где ν – неизвестный параметр масштаба. В качестве такого параметра обычно выступает уровень помеховых излучений. Тогда, при некоторых условиях регулярности, накладываемых на функцию, можно показать, что решающая статистика

$$P(X, \widetilde{\square}) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n s_i\left(\frac{x_i}{\widetilde{\square}}\right) \quad (2)$$

сходится по вероятности к (1), если только $\hat{\mu}$ – состоятельная оценка параметра. При этом в асимптотике рабочие характеристики обнаружения на основе статистики (2) совпадают с оптимальными характеристиками. Этот факт значительно облегчает построение обнаружителей сигналов законно работающих передатчиков перед тем, как выполнять измерения параметров их излучений.

IV. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ

После обнаружения возникает задача найти «хорошие» в статистическом смысле оценки измеряемых параметров излучений передатчиков, которым относятся отклонение частоты, ширины полос частот и внеполосных излучений. Совершенно естественно в качестве оценок неизвестных параметров использовать эквивариантные оценки, которые удовлетворяют условию $\tilde{y}(gx) = \tilde{g}\tilde{y}(x)$, где g, \tilde{g} – элементы из групп преобразования выборочного и параметрического пространств соответственно.

При нахождении эквивариантных оценок можно воспользоваться тем, что при довольно общих условиях такими являются оценки максимального правдоподобия. [2] (МП-оценки). Однако МП-оценки не всегда можно получить аналитически, и, кроме того, они требуют при вычислениях применения «пакетной» процедуры, при которой все данные должны одновременно находиться в памяти ЭВМ, что затрудняет в некоторых случаях использование аппаратуры в реальном масштабе времени. Этот недостаток можно устранить, если использовать оценки, вычисляемые с помощью рекуррентных соотношений. Например, хорошо известна оценка стохастического приближения (СП-оценка), которая определяется из следующей формулы:

$$T_{n+1}(X_{n+1}) = T_n \dot{\mu}$$

$$T_1(X_1) = x_1 \quad (3)$$

где $I(F)$ – информация Фишера. Известно, что СП-оценки состоятельны и асимптотически эффективны, поэтому их можно использовать при обработке сигналов, если число независимых отсчетов выборки достаточно большое.

V. СРАВНЕНИЕ ОЦЕНОК

Проведено имитационное моделирование для сравнения эффективности МП- и СП-оценок при измерении ширины полосы частот и отклонения частоты излучений вещательных передатчиков ОВЧ ЧМ диапазона. Предполагалось, что измеренные значения параметров излучений передатчиков имеют распределение Лапласа с плотностью вероятности

$$f(x) = \frac{\alpha}{2} \exp\{-\alpha|x|\}, -\infty < x < \infty$$

В качестве эквивариантной оценки параметров излучений передатчиков использовалась МП-оценка – выборочная медиана. А СП-оценка вычислялась по формуле (3), в которой функция $(x) = \text{sign } x$. Значение информации Фишера в этом случае равняется единице. Моделирование проводилось при нескольких значениях величины

$$d = 20 \log_{10} \frac{\lambda}{\sigma}, \text{ где } \sigma = \frac{\sqrt{2}}{\alpha}.$$

А качество измерения параметра излучений μ оценивалось с помощью среднеквадратической погрешности результата измерения

$$\sigma_{\mu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu_i - \hat{\mu})^2}{n(n-1)}},$$

где μ_i – измеренные значения параметра μ .

Результаты моделирования показали, что уже при $n \geq 60$ СП-оценки практически не уступают МП-оценкам. При этом моделирование проводилось для $d \in (0; 10)$ дБ.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что асимптотические оценки стохастического приближения можно использовать наравне с оценками максимального правдоподобия при удаленном измерении параметров излучений передатчиков, когда количество элементов выборки X_n составляет несколько десятков. Как правило, это условие выполняется, когда измерениям подвергаются вещательные, в том числе и телевизионные, передатчики, передатчики систем мобильной связи 2-4 поколения и др.

Асимптотические алгоритмы для оценки (измерения) параметров излучений передатчиков при радиоконтроле могут применяться не только для проверки выполнения операторами связи и владельцами передатчиков требований НОРМ ГКРЧ, но и для оценки электромагнитной совместимости РЭС [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Нормы 17-13. Радиопередатчики всех категорий гражданского применения. Требования на допустимые отклонения частоты. М.: ГКРЧ, 2013
- [2] Нормы 19-13. Нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского применения. М.: ГКРЧ, 2013
- [3] Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд. перераб. и доп. – М: Радио и связь, 1989. – 656 с.
- [4] Антипин Б.М., Виноградов Е.М. Оценка электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств по результатам радиоконтроля // Известия вузов России. Радиоэлектроника, 2012. Вып.6. С.97 – 104