

УДК 621.396 + 519.2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА СВЯЗИ ПО ВРЕМЕННЫМ ИСКАЖЕНИЯМ

А.Ф. Барышников, аспирант МТУСИ; tara@nm.ru

Ключевые слова: временные искажения, прогнозирование, фазоманипулированный сигнал, L-моменты.

Для повышения надежности систем связи в них вводят блоки оценки и прогнозирования состояния канала связи. Учитывая, что в радиоканале сигнал зашумлен смесью аддитивных и мультипликативных помех, трудно определить степень влияния каждой из помех на верность приема. Поэтому существует потребность в интегральных оценках воздействия всех искажающих факторов на качество связи. Подобной оценкой могут служить временные искажения (ВИ) сигнала. В данном случае под ВИ будем понимать краевые искажения.

Функция плотности ВИ фазоманипулированного сигнала (ФТ) для канала с замираниями и сосредоточенной по спектру помехой [1]:

$$f_{ФТ}(\delta) = \frac{1}{\pi} \sum_{k=0}^{m_n-1} \binom{m_n-1}{k} \frac{B(1/2 + m_c, 1/2 + k)}{B(m_c, m_n)} \left[\frac{\frac{2\tau_0}{\tau_n} \beta^{2(m_c+k)} \left(\frac{2\tau_0}{\tau_n} \delta\right)^{2(m_n-1-k)}}{\left[\beta^2 + \left(\frac{2\tau_0}{\tau_n} \delta\right)^2\right]^{m_c+m_n-1/2}} D(\delta) + \sum_{n=0}^{m_c-1+k} \binom{m_c-1+k}{n} \frac{(-1)^n}{m_n-1/2-k+n} \left[1 - \left(\frac{1}{1+\beta^2}\right)^{m_n-1/2-k+n}\right] \right]; |\delta| \leq 0,5,$$

где $\binom{\cdot}{\cdot}$ – биномиальный коэффициент; B – бета-функция;

$$D(\delta) = \begin{cases} 1, & \text{если } |\delta| \leq \tau_n/2\tau_0; \\ 0, & \text{если } |\delta| > \tau_n/2\tau_0; \end{cases}$$

m_c, m_n – коэффициенты, характеризующие замирания сигнала и помехи; $\beta^2 = \frac{m_c}{m_n} h_0^{-2}, h_0^2$ – отношение средних мощностей сигнала и помехи на входе детектора; τ_0 – длительность элементарного сигнала; τ_n – длительность переходного процесса в узкополосном тракте приемника; $\tau_n/\tau_0 = 1$ – значение по умолчанию.

Функция плотности ВИ частотно-манипулированного сигнала (ЧТ) мало отличается по форме от функции плотности ВИ для ФТ-сигнала.

Задача прогнозирования заключается в обнаружении изменения тренда помеховой обстановки в канале по изменению ФПВ ВИ. У канала будут два возможных состояния (две гипотезы): H_0 – помеховая обстановка не меняется; H_1 – ме-

няется. Также H_0 указывает на основное распределение ВИ, а H_1 – на альтернативное, приходящее на смену основному.

Введем три вида преобразований выборки ВИ. Они представляют собой статистики с распределениями, близкими к нормальному:

$$X1 = \sqrt{\frac{1}{n}} \sum_{i=1}^n |\delta_i|; \quad X2 = \sqrt{\frac{1}{n}} \sum_{i=1}^n \delta_i^2; \quad X3 = \ell_4/\ell_2;$$

$$\ell_2 = \frac{1}{2} \binom{n}{2}^{-1} \sum_{i=1}^n \left\{ \binom{i-1}{1} - \binom{n-i}{1} \right\} \delta_{(i)};$$

$$\ell_4 = \frac{1}{4} \binom{n}{4}^{-1} \sum_{i=1}^n \left\{ \binom{i-1}{3} - 3 \binom{i-1}{2} \binom{n-i}{1} + 3 \binom{i-1}{1} \binom{n-i}{2} - \binom{n-i}{3} \right\} \delta_{(i)},$$

где $X3$ – это L -эксцесс [2]; $\delta_{(i)}$ – i -я порядковая статистика; n – размер выборки.

На рис. 1 изображены ФПВ ВИ при следующих параметрах: $H_0 - 5, 1, 2$ (ОСШ, m_c, m_n), $H_1 - 8, 1, 2$. При вероятности ложной тревоги $\alpha = 2 \cdot 10^{-2}$ и размере выборки $n=200$ наиболее мощным критерием из предложенных оказывается $X1$ (корень из среднего модуля ВИ), его мощность равна 0,72.

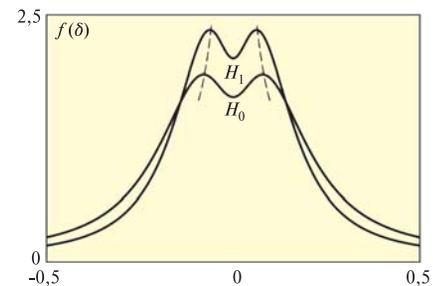


Рис. 1

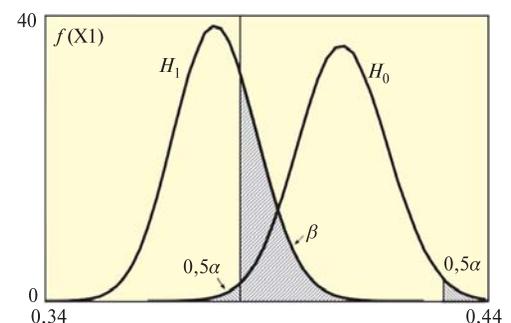


Рис. 2

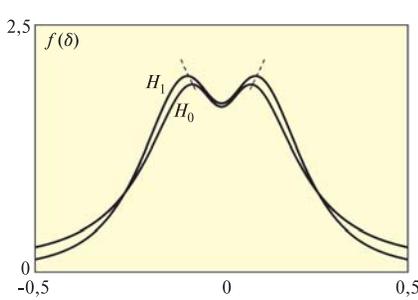


Рис. 3

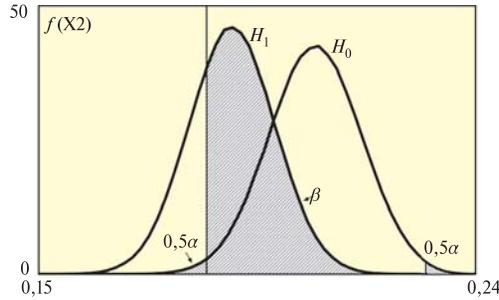


Рис. 4

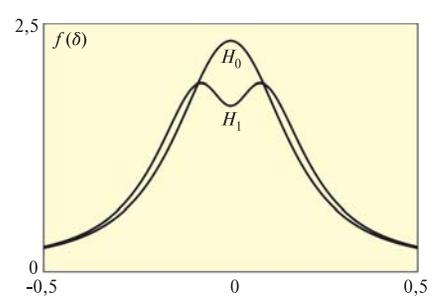


Рис. 5

Аналогичные расчеты мощности для критериев X2 и X3 дают значения 0,61 и 0,34.

На рис. 2 изображена функция плотности статистики X1 при тех же параметрах ВИ, что и на рис. 1 (β – вероятность пропуска сигнала, $1-\beta$ – вероятность правильного обнаружения или мощность критерия). Видно, что различия в плотностях становятся более заметными благодаря трансформациям, которые производит статистика X1.

Параметры ВИ на рис. 3: $H_0 = 5, 1, 2$, $H_1 = 5, 2, 2$. Значения α и n те же, что и в предыдущем эксперименте. В данном случае наибольшую мощность демонстрирует X2 – среднеквадратичное отклонение ВИ. Мощности критериев X1–X3: 0,17; 0,28; 0,05. На рис. 4 изображена функция плотности статистики X2 при тех же параметрах ВИ, что и на рис. 3.

Параметры ВИ на рис. 5: $H_0 = 5, 1, 1$; $H_1 = 5, 1, 2$. Здесь высокая мощность отмечается у критерия X3 (L-экссесса). Мощности критериев X1–X3: 0,17; 0,07; 0,25.

Теперь на основании предложенных критериев можно создать устройство прогнозирования. На рис. 6 изображена структурная схема подобного устройства (α – ошибка I типа для одного критерия; для трех критериев $\alpha_3 = 1 - (1 - \alpha)^3 \approx 3\alpha$). В основе устройства три буфера, в которых будут храниться последние N значений статистик X1, X2, X3. Особенностью данных статистик является то, что они хорошо аппроксимируются нормальным распределением. Это упрощает как моделирование, так и практическую реализацию устройства на их базе.

Накапливая последние N значений статистики в буфере, можно найти параметры выборочного распределения статистики (μ и σ). Для каждой статистики существует свой доверительный интервал, зависящий от доверительной вероятности $(1-\alpha)$ и параметров нормального распределения. Если значение статистики, полученное для выборки из буфера, не попадает в доверительный интервал, то данное значение маловероятно и может свидетельствовать об изменении выборочного распределения статистики. Подобное изменение, в свою очередь, говорит об изменении помеховой обстановки в канале. Выход за границы доверительного интервала любой из трех статистик служит сигналом для смены канала.

Память буфера делится на две области: активную (для вычисления параметров распределения) и пассивную (для образования защитного интервала). Пассивная область (размером N_p) повышает эффективность обнаружения изменений тренда, поскольку значения статистики из другого распределения (гипотеза H_1) не попадают напрямую в активную область (размером $N-N_p$) и, соответственно, не сразу начинают влиять на параметры выборочного распределения (μ и

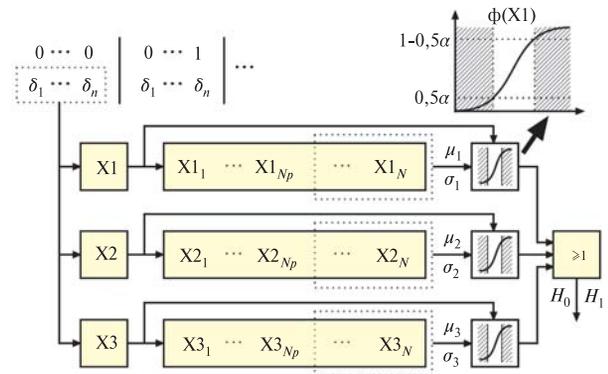


Рис. 6

σ). Значения статистики из другого распределения попадают в активную область с задержкой в N_p значений.

Размеры буфера и выборки выбираются из соображений стационарности характеристик канала на интервале наблюдения. Чем больше N_p (размер пассивной области буфера), тем выше вероятность правильного обнаружения, однако уменьшение размера активной области буфера снижает точность определения параметров критерия (μ и σ), что, в свою очередь, может привести к росту вероятности ложной тревоги.

Увеличение n (размера выборки) также повышает вероятность правильного обнаружения. Данный параметр позволяет установить такую чувствительность системы, при которой она не реагирует на незначительные изменения помеховой обстановки.

Для обнаружения изменений тренда процесса, имеющего различные причинно-следственные связи, предложены критерии, отличающиеся простотой и высокой мощностью. Другим важным достоинством критериев является близость распределения статистик к нормальному. Все эти качества позволяют реализовать эффективный комплекс прогнозирования изменений тренда процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гузев В.Е.** Методика получения плотностей распределения временных искажений двоичных сигналов на выходе канала с замираниями и сосредоточенной по спектру помехой. – М.: МЭИС, 1987 (Деп. в ЦНТИ «Информсвязь» 15.12.87, № 1230).
2. **Hosking J.R.M.** L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics // Journal of the Royal Statistical Society. – 1990. – Series B, 52. – С. 105–124.

Получено после доработки 5.04.11