

130

130

ISSN 0033-8486

Радиотехника

10

91



НАШ ЖУРНАЛ-
ЭТО СОВРЕМЕННЫЙ
ПОДХОД
КО ВСЕМ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ
ПРОБЛЕМАМ

Комплексная система анализа оценок временных параметров оптического сигнала

А. П. Трифионов, В. К. Бутейко, Т. М. Овчинникова

Получены асимптотически точные формулы для характеристик совместных оценок максимального правдоподобия времени прихода и длительности оптического сигнала; предложен метод сокращения времени моделирования указанных оценок за счет использования асимптотических формул.

Исследования передачи сигналов по каналам связи проводят обычно либо с помощью моделирования соответствующих процессов и устройств, либо на основе расчетов характеристик систем по аналитическим (как правило приближенным или асимптотическим) формулам. Эти способы обладают известными ограничениями. В частности, моделирование требует больших затрат машинного времени, а его результаты не допускают экстраполяцию за выбранный диапазон условий моделирования. Асимптотические формулы не всегда удается получить, а их погрешности при конечных значениях параметров как правило неизвестны.

Цель работы — для повышения общей эффективности анализа объединить моделирование и расчет по асимптотическим формулам в комплексную систему исследования помехоустойчивости оценок временных параметров оптического сигнала.

Модель оптического сигнала в виде пуассоновского потока с интенсивностью прямоугольной формы широко применяется во многих областях радиотехники [1—3]. Такой сигнал является разрывной функцией двух параметров: временного положения и длительности. В [4—6] найдены характеристики оценки максимального правдоподобия (ОМП) временного положения прямоугольного оптического импульса при априори известной длительности, а в [7, 8] получены характеристики ОМП длительности, когда априори известно временное положение. Определим временное положение и длительность оптического импульса прямоугольной формы в присутствии фона.

Пусть на интервале $[0; T]$ наблюдается реализация пуассоновского процесса $\pi(t)$ с интенсивностью

$$\rho(t) = bI[(t - \lambda_0)/\tau_0] + a, \quad (1)$$

где b, a — интенсивности соответственно сигнала и фона; λ_0 и τ_0 — априори неизвестные временное положение и длительность сигнала; $I(x) = 1$ при $x < 1/2$ и $I(x) = 0$ при $x > 1/2$.

Обозначим

$$L(\lambda, \tau) = \ln \left(1 + \frac{b}{a} \right) \int_{\lambda - \tau/2}^{\lambda + \tau/2} d\pi(t) - b\tau \quad (2)$$

— логарифм функционала отношения правдоподобия.

Тогда ОМП

$$(\hat{\lambda}, \hat{\tau}) = \arg \sup L(\lambda, \tau) \quad (3)$$

определяются как координаты положения абсолютного (наибольшего) максимума случайного поля (2) при $(\lambda, \tau) \in \Lambda$. Полагаем, что область Λ задана неравенством $|\lambda| \leq G_0$, $T_1 \leq \tau \leq T_2$, т. е. имеет форму прямоугольника. Ограничимся рассмотрением надежных ОМП аналогично [7, 8]. Нетрудно убедиться, что аномальные ошибки [9, 10] отсутствуют, если $\lambda_0 \leq T_1$. Задача определения характеристик ОМП $\hat{\lambda}, \hat{\tau}$ существенно упрощается, если перейти к новым параметрам [11] $\theta_1 = \lambda - \tau/2$; $\theta_2 = \lambda + \tau/2$, представляющим собой положения переднего и заднего фронтов сигнала с интенсивностью (1). Очевидно $\lambda = (\theta_1 + \theta_2)/2$; $\tau = \theta_2 - \theta_1$.

Следуя далее [11], можем записать характеристики совместных ОМП временного положения и длительности оптического сигнала с интенсивностью (1)

$$d(\hat{\lambda}|\lambda_0, \tau_0) = \langle \hat{\lambda} - \lambda_0 \rangle = 0; \quad d(\hat{\tau}|\lambda_0, \tau_0) = \langle \hat{\tau} - \tau_0 \rangle = 2d; \quad V(\hat{\lambda}|\lambda_0, \tau_0) = \langle (\hat{\lambda} - \lambda_0)^2 \rangle = (V - d^2)/4; \quad (4)$$

$$V(\hat{\tau}|\lambda_0, \tau_0) = \langle (\hat{\tau} - \tau_0)^2 \rangle = 2(V + d^2);$$

$$K(\hat{\lambda}, \hat{\tau} | \lambda_0, \tau_0) = \langle (\hat{\lambda} - \lambda_0) (\hat{\tau} - \tau_0) \rangle = 0;$$

$$R_2(\hat{\lambda}, \hat{\tau} | \lambda_0, \tau_0) = \frac{\langle [(\hat{\lambda} - \lambda_0)^2 - \langle (\hat{\lambda} - \lambda_0)^2 \rangle] [(\hat{\tau} - \tau_0)^2 - \langle (\hat{\tau} - \tau_0)^2 \rangle] \rangle}{\langle [(\hat{\lambda} - \lambda_0)^2 - \langle (\hat{\lambda} - \lambda_0)^2 \rangle]^2 \rangle \langle [(\hat{\tau} - \tau_0)^2 - \langle (\hat{\tau} - \tau_0)^2 \rangle]^2 \rangle^{1/2}} =$$

$$= (m_4 - 3V^2 + 2d^4) [(m_4 + V^2 - 2d^4)^2 - 16(Vd - m_3)^2 d^2]^{-1/2},$$

где $d = [b_1/a_1^2 - b_2/a_2^2 + (b_1 - b_2)b_1b_2/(a_1b_2 + a_2b_1)^2]/2$;

$$V = [b_1^3a_2^3/2a_2^2b_1^2 + 6a_1a_2b_1b_2 + 5a_1^2b_2^2] + b_2^3a_1^3(2a_1^2b_2^2 + 6a_1a_2b_1b_2 + 5a_2^2b_1^2)/[2a_1^4 \times \times a_2^4(a_1b_2 + a_2b_1)^3]; \quad (5)$$

$$m_3 = P_2(a_1b_2/a_2b_1)b_2^3/a_2^5 - P_2(a_2b_1/a_1b_2)b_1^3/a_1^5;$$

$$m_4 = P_1(a_2b_1/a_1b_2)b_1^4/a_1^5 - P_1(a_1b_2/a_2b_1)b_2^4/a_2^5,$$

$$P_1(x) = 21 - 2P_2(x)/x(1+x); \quad P_2(x) = 3[5 - (2x^2 + 6x + 5)/(1+x)^4]/4;$$

$$a_1 = \mu[(1+q) \ln(1+q) - q]/\tau_0,$$

$$a_2 = \mu[q - \ln(1+q)]/\tau_0; \quad b_1 = \mu(1+q) \ln^2(1+q)/\tau_0;$$

$$b_2 = \mu \ln^2(1+q)/\tau_0; \quad \mu = a - \tau_0$$

— среднее число точек фона на длительности полезного сигнала; $q = b/a$ — отношение интенсивностей сигнала и фона.

Из (4), (5) следует, что совместные оценки $\hat{\lambda}$, $\hat{\tau}$ асимптотически некоррелированы, хотя связаны нелинейной статистической зависимостью. В частности, при $q \ll 1$ коэффициент квадратичной корреляции $R_2(\hat{\lambda}, \hat{\tau} | \lambda_0, \tau_0) \approx 0,725$, а рассеяния оценок $\hat{\lambda}$, $\hat{\tau}$ вдвое превосходят соответствующие рассеяния отдельных оценок [5—8].

Точность асимптотических формул (4), (5) ограничена при конечных значениях μ , q и других статистических параметрах. При этом аналитически установить погрешности (4), (5) не удается. Следовательно возникает необходимость установить границы применимости найденных теоретических зависимостей; иметь возможность получать значения характеристик оценок при таких значениях параметров, где точность (4), (5) неудовлетворительна; проверить работоспособность синтезированного алгоритма оценки (2), (3).

Для решения этих задач было использовано моделирование на ЭВМ алгоритма оценивания (2), (3). В процессе моделирования на основе программного генератора псевдослучайных чисел воспроизводились отсчеты наблюдаемого процесса в виде последовательности моментов времени появления событий пуассоновского потока с интенсивностью (1). Решения о значениях неизвестных параметров принимались в соответствии с (3). Для обеспечения экономии машинного времени и удобства пользования программой предложен и реализован в программе принцип адаптивного моделирования, заключающийся в моделировании только для тех значений параметров, при которых теоретические значения, полученные с помощью (4), (5), отличаются от экспериментальных на величину, большую заданной погрешности.

Граница, разделяющая области удовлетворительного и неудовлетворительного согласования теории и эксперимента находится делением пополам заданной области значений параметра q . Погрешность экспериментальных значений контролируется вычислением выборочных дисперсий рассеяний оценок $\hat{\lambda}$, $\hat{\tau}$. При этом объем испытаний удваивается до тех пор пока не будет достигнута заданная точность экспериментальных значений. Таким образом, моделирование в минимально необходимом объеме проводится только для некоторых значений q , что существенно ускоряет работу программы. Выигрыш в скорости анализа изменяется от незначительных величин, до нескольких порядков и максимален для области параметров, где теоретические формулы имеют удовлетворительную точность.

Алгоритм моделирования реализован в виде комплекса программ анализа характеристик оценок времени прихода и длительности оптического сигнала на языке Паскаль применительно к ПЭВМ типа IBM. Программа снабжена удобным интерфейсом, позволяющим наблюдать процесс и результаты анализа на экране ПЭВМ в графическом виде. В качестве примера на рис. 1—3 показаны характеристики совместных ОМП $\hat{\lambda}$ и $\hat{\tau}$ при $\Lambda_0 = 1$, $T_1 = 0,5$, $T_2 = 1,5$ и различных значениях q и μ . Непрерывными кривыми представлены характеристики, рассчитанные аналитически по найденным асимптотическим формулам. Штриховыми линиями даны зависимости, полученные с помощью комплексной системы анализа ОМП. При этом как заданная относительная погрешность моделирования, так и допустимое относительное расхождение экспериментальных и теоретических значений с вероятностью 0,9 составляют не более 10 %. Кривые 1 и 2 соответствуют

значениям $\mu=5$ и 50. На рис. 1 приведена зависимость $\delta_\lambda(q) = V(\lambda|\lambda_0, \tau_0)/\tau_0^2$ нормированного рассеяния оценки времени прихода, на рис. 2 — зависимость $\delta_\tau(q) = V(\tau|\lambda_0, \tau_0)/\tau_0^2$ нормированного рассеяния оценки длительности, на рис. 3 — $\Delta(q) = d(\hat{\tau}|\lambda_0, \tau_0)/\tau_0$ — нормированного смещения оценки длительности.

Анализ оценок проводился на ПЭВМ IBM AT 386/387 при десяти значениях q от 1 до 10. Если бы при этом использовались только теоретические формулы (4), (5), то время вычислений можно считать пренебрежимо малым, но точность анализа осталась бы неизвестной. Полное моделирование характеристик для указанных выше параметров заняло 9 и 780 мин соответственно при $\mu=5$ и 50. Использование комплексной системы анализа позволило сократить время расчетов до 4 мин при $\mu=5$ и до 150 мин при $\mu=50$.

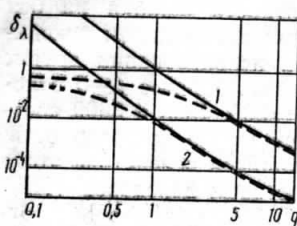


Рис. 2

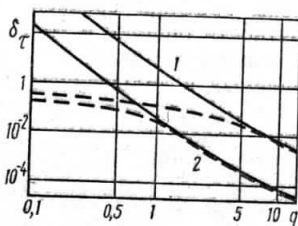


Рис. 1

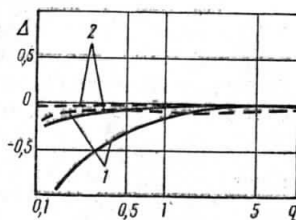


Рис. 3

- Комплексная система анализа оценок обеспечивает существенное сокращение затрат машинного времени по сравнению с традиционным моделированием. Одновременно она позволяет контролировать погрешность и область применимости асимптотических формул. Такой контроль практически не реализуется при использовании только аналитических методов.

Литература

1. Гальярди Р. М., Карп Ш. Оптическая связь. — М.: Связь, 1978.
2. Волохатюк В. А., Кочетков В. М., Красовский Р. Р. Вопросы оптической локации. — М.: Сов. радио, 1971.
3. Курикса А. А. Квантовая оптика и оптическая локация. — М.: Сов. радио, 1973.
4. Егоров В. В. — Радиотехника и электроника, 1979, т. 24, № 4.
5. Трифонов А. П., Овчинникова Т. М. — Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника, 1989, № 8.
6. Трифонов А. П., Овчинникова Т. М. — Радиотехника, 1990, № 6.
7. Галун С. А., Трифонов А. П. — Автоматика и телемеханика, 1982, № 6.
8. Trifonov A. P., Buteiko V. K., Bokk G. O. Second IFAC Symposium on Stochastic Control: Preprints, Vilnius, 1986, 2.
9. Трифонов А. П., Шинаков Ю. С. Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех. — М.: Радио и связь, 1986.
10. Куликов Е. И., Трифонов А. П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. — М.: Сов. радио, 1978.
11. Трифонов А. П., Бутейко В. К. — Радиотехника и электроника, 1989, № 11.

Поступила 18 апреля 1991 г.

УДК 621.391.15

Простые методы исправления ошибок в каналах с большим уровнем шума

В. В. Золотарев

Рассмотрены используемые в настоящее время методы декодирования при большом уровне помех в канале с независимыми ошибками; показано, что учет проблем сложности приводит к необходимости использования специальных модификаций пороговых процедур с большим энергетическим выигрышем.

Рост требований к достоверности передачи цифровых данных и высокая экономическая эффективность кодирования позволяют считать задачу поиска алгоритмов декодирования, работоспособных почти во всей области кодовых скоростей R меньших, чем пропускная способность канала C , особенно интересной и актуаль-