

РАДИОТЕХНИКА

1990, № 6

- Результаты математического эксперимента подтверждают пригодность применения концепции систем со случайной структурой к задаче обнаружения сигналов, а также работоспособность разработанных алгоритмов.

Литература

1. Казаков И. Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой. — М.: Наука, 1977.
2. Казаков И. Е., Артемьев В. М. Оптимизация динамических систем случайной структуры. — М.: Наука, 1980.
3. Солодов А. А. — Радиотехника, 1984, № 1.
4. Солодов А. В., Солодов А. А. Статистическая динамика систем с точечными процессами. — М.: Наука, 1988.

Поступила 7 октября 1989 г.

УДК 621.391

Анализ оценок времени прихода оптических сигналов

А. П. Трифонов, Т. М. Овчинникова

Получены характеристики оценки максимального правдоподобия и байесовской оценки при квадратичной функции потерь для времени прихода оптического сигнала с прямоугольной формой интенсивности.

Задача оценки времени прихода оптического сигнала имеет очевидные и широкие применения в связи, локации и системах синхронизации. В [1, 2 и др.] рассматривались две оценки времени прихода: оценка максимального правдоподобия (ОМП) и байесовская оценка (БО) при квадратичной функции потерь. Точность обеих оценок в [1, 2] характеризуется дисперсией эффективной оценки. В [3] найдены характеристики ОМП и БО времени прихода оптического сигнала с учетом аномальных ошибок. Однако результаты [1—3] можно использовать для анализа эффективности оценок времени прихода оптических сигналов, только если их интенсивность является достаточно гладкой функцией времени. В частности, эта функция должна быть дифференцируема хотя бы дважды. В то же время во многих приложениях оптической связи и локации часто используется модель оптического сигнала с прямоугольной формой интенсивности. Получить аналитические характеристики БО и ОМП времени прихода такого сигнала с учетом аномальных ошибок пока не удается. Цель статьи — исследование характеристик ОМП и БО времени прихода оптического сигнала с прямоугольной формой интенсивности методом статистического моделирования на ЭВМ.

Положим, что в интервале времени $[0; T]$ наблюдается реализация пуассоновского процесса $\pi(t)$ с интенсивностью (мощностью отсчета) [1]

$$\rho(t) = \beta S(t - \lambda_0) + \alpha, \quad (1)$$

где $S(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq \tau \\ 0, & t < 0, t > \tau \end{cases}$; β и α — интенсивности сигнала и фона; λ — неизвестное время прихода, распределенное равномерно в интервале $[T_1; T_2]$; τ — длительность сигнала, причем $T_1 > \tau$ и $T_2 > T_2 + \tau$.

Для получения ОМП $\hat{\lambda}$ и БО $\tilde{\lambda}$ неизвестного времени прихода λ_0 необходимо, чтобы приемник вырабатывал логарифм функционала отношения правдоподобия $L(\lambda)$ [4]. Пренебрегая постоянными слагаемыми, запишем [5]

$$L(\lambda) = \pi_\lambda \ln(1 + q), \quad (2)$$

где

$$\pi_\lambda = \int_{\lambda}^{\lambda + \tau} d\pi(t), \quad (3)$$

$$q = \beta/\alpha.$$

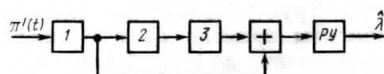


Рис. 1

Оценка максимального правдоподобия $\hat{\lambda}$ определяется как положение абсолютного максимума логарифма функционала отношения правдоподобия (2) при $\lambda \in [T_1; T_2]$, а БО — выражением [1, 3, 4]

$$\hat{\lambda} = \int_{T_1}^{T_2} \lambda \exp [L(\lambda)] d\lambda / \int_{T_1}^{T_2} \exp [L(\lambda)] d\lambda. \quad (4)$$

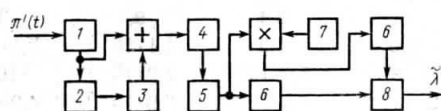


Рис. 2

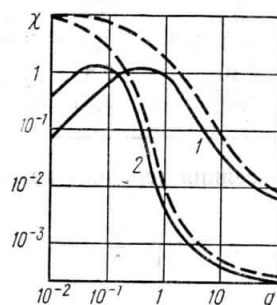


Рис. 3

Согласно (2) ОМП может быть получена с помощью приемника, структурная схема которого приведена на рис. 1, где 1 — счетчик импульсов (интегратор), 2 — линия задержки на время, равное длительности сигнала τ , 3 — инвертор, РУ — решающее устройство, фиксирующее положение абсолютного максимума логарифма функционала отношения правдоподобия.

Структурная схема приемника для получения БО изображена на рис. 2, где 4 — усилитель с коэффициентом усиления $\ln(1+q)$, 5 — нелинейный преобразователь с экспоненциальной характеристикой, 6 — интегратор в интервале времени $[T_1; T_2]$, 7 — генератор, вырабатывающий линейно возрастающее в интервале $[T_1; T_2]$ напряжение, 8 — делитель. Обозначения остальных блоков совпадают с обозначениями на рис. 1.

Аналогично [1, 2] предполагается, что на вход приемников (рис. 1, 2) поступает производная пуассоновского процесса $\pi'(t)$, представляющая собой последовательность коротких импульсов. Из сравнения рис. 1, 2 следует, что в общем случае техническая реализация БО оказывается более сложной, чем реализация ОМП.

Для анализа эффективности ОМП и БО времени прихода оптического сигнала на ЭВМ ЕС-1060 было выполнено их статистическое моделирование, при котором вырабатывались реализации пуассоновского процесса $\pi(t)$ с интенсивностью (1). Неоднородный пуассоновский процесс $\pi(t)$ формировался из однородного процесса посредством преобразования шкалы времени [6]. Затем согласно (3) воспроизводились отсчеты процесса π_λ с шагом $0,01\tau$ для отношения сигнал-фон $q=0,01 \dots 100$ при среднем числе сигнальных точек $\mu=\beta\tau=5, 10, 20, 50, 100$. Приведенный априорный интервал возможных значений времени прихода сигнала $m=(T_2-T_1)/\tau$ выбирался равным 10; 20. В качестве истинного значения времени прихода была принята середина этого интервала: $\lambda_0=(T_1+T_2)/2$. Реализации процесса π_λ (3) представляют собой кусочно-постоянные функции. Поэтому в каждом опыте за $\hat{\lambda}$ принималась середина постоянного участка π_λ , имеющего наибольшую величину для данной реализации. По сформированной реализации π_λ вычислялся логарифм функционала отношения правдоподобия $L(\lambda)$ (2), а затем $\hat{\lambda}$ согласно (4). После проведения N испытаний определялись нормированные

Таблица 1

q	Значения нормированных рассеяний при μ , равных					
	5		20		100	
	χ_1	χ_2	χ_1	χ_2	χ_1	χ_2
10^{-2}	8,4	$3,8 \cdot 10^{-2}$	7,8	0,15	7,3	1,6
0,1	7,6	0,3	6,5	0,98	1,2	0,59
1	3,7	1,3	0,37	0,22	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$
10	0,56	0,36	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$
10^2	0,11	$8,5 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$

Таблица 2

q	Значения нормированных рассеяний при μ , равных					
	5		20		100	
	χ_1	χ_2	χ_1	χ_2	χ_1	χ_2
10^{-2}	33	0,12	33	0,29	32	7,6
0,1	29	0,79	28	3,4	9,4	3
1	17	4,3	2,6	1,3	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-4}$
10	2,8	1,5	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}
10^2	0,63	0,48	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$

рассеяния (средние квадраты ошибок) для ОМП и БО соответственно:

$$\chi_1 = \frac{1}{N\tau^2} \sum_{k=1}^N (\hat{\lambda}_k - \lambda_0)^2, \quad \chi_2 = \frac{1}{N\tau^2} \sum_{k=1}^N (\tilde{\lambda}_k - \lambda_0)^2. \quad (5)$$

Число испытаний N для различных значений параметров q , m , μ изменялось от $5 \cdot 10^2$ до 10^4 с тем, чтобы среднеквадратическая погрешность в определении рассеяний БО и ОМП не превышала 10 %.

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости нормированных на квадрат длительности сигнала рассеяний БО и ОМП от отношения сигнал-фон q для $m=10$ и $\mu=10$ (кривые 1), $\mu=50$ (кривые 2). Сплошными линиями изображено рассеяние БО, штриховыми — ОМП. В табл. 1 приведены экспериментальные значения нормированного рассеяния χ_1 и χ_2 для некоторых величин отношения сигнал-фон q и $m=10$, а в табл. 2 — для $m=20$. Как следует из рис. 3 и табл. 1, 2 использование БО вместо ОМП при умеренных значениях μ и q может привести к заметному уменьшению рассеяния оценки времени прихода оптического импульса, хотя и усложняет при этом техническую реализацию приемника.

- Приведенные результаты анализа эффективности ОМП и БО времени прихода оптического сигнала позволяют сделать обоснованный выбор между приемниками (рис. 1 и 2) в зависимости от требований, предъявляемых к точности оценки и степени простоты технической реализации алгоритмов оценки.

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. Трифонов А. П., Енина Е. П. — Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника, 1984, т. 27, № 5.
4. Куликов Е. И., Трифонов А. П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. — М.: Сов. радио, 1978.
5. Большаков Н. А., Ракошиц В. С. Прикладная теория случайных процессов. — М.: Сов. радио, 1978.
6. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. — М.: Мир, 1980.

Поступила после доработки 1 сентября 1989 г.



ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Начиная со второго полугодия 1990 г. в журнале «Радиотехника» открывается новая рубрика «Экспресс-рефераты», где будут публиковаться краткие рефераты статей по вопросам науки и техники, помещенных в отечественных и ряде зарубежных журналов, соответствующих профилю нашего журнала.

В журнале «Радиотехника» № 7 будут опубликованы рефераты статей из отечественных журналов № 6, а также из зарубежных журналов, вышедших в этом году.