

Алгоритмы измерения координат объекта оптико-электронным прибором повышенной точности. Часть 2

Алексей КАМЫШЕВ,
к. т. н.

В [1] были предложены алгоритмы определения координат объекта оптико-электронным прибором (ОЭП) повышенной точности. В этой статье приводятся результаты исследования предложенных алгоритмов с целью определения их точностных характеристик и выработки рекомендаций по их использованию.

Для оценки точности алгоритмов измерения азимутальной координаты объекта проводилось математическое моделирование. Структура канала обработки сигнала в ОЭП, принятая при моделировании, в соответствии с [3] представлена на рис. 1.

На рис. 1 обозначены:

- $S(nt)$ — дискретные значения полезного сигнала от объекта.
- $\xi(nt)$ — дискретные значения помехи (белый шум), распределенной по нормальному закону с $\sigma_\xi = 1$ и $m_\xi = 0$.
- $\hat{\beta}_0$ — оценка азимутальной координаты.
- ПУ — пороговое устройство, на выходе которого получают значения суммарного сигнала (сигнал + помеха):
 - 0, если $(S(nt) + \xi(nt)) \leq U_{пор}$;
 - 1, если $(S(nt) + \xi(nt)) > U_{пор}$.
- ОС — обнаружитель сигнала.
- ОК — определитель азимутальной координаты.

Оценка точности алгоритма проводилась при различных отношениях сигнала к помехе, определяемой по формуле:

$$a = A/\sigma_\xi,$$

где A — амплитуда огибающей $g(\alpha_\lambda)$ полезного сигнала.

Величину порога $U_{пор}$ задавали по критерию Неймана-Пирсона, используя выражение:

$$P_{ЛТ} = \int_{U_{пор}}^{\infty} W(\xi) d\xi,$$

где $P_{ЛТ}$ — вероятность ложной тревоги; $W(\xi)$ — функция плотности вероятности случайной величины ξ .

$$W(\xi) = \frac{e^{-\xi^2}}{\sqrt{2\pi}}, \text{ при } \sigma_\xi = 1.$$

Задавая $P_{ЛТ} = 5 \times 10^{-4}$, получим $U_{пор} = 3,3\sigma_\xi$. При моделировании принимался квазиоптимальный обнаружитель сигнала, сравнивающий взвешенную сумму

$$\sum_{\lambda=1}^N x_\lambda g(\alpha_\lambda)$$

с порогом L [2, 4]. При этом сигнал считался обнаруженным, если выполнялось соотношение:

$$\sum_{\lambda=1}^N x_\lambda g(\alpha_\lambda) > L,$$

и необнаруженным, когда:

$$\sum_{\lambda=1}^N x_\lambda g(\alpha_\lambda) < L.$$

Величина порога L определялась путем анализа наиболее неблагоприятных ситуаций при приеме сигнала. Эти ситуации представлялись как наибольшее возможное количество нулей в сигнальной выборке $x_\lambda g(\alpha_\lambda)$, увеличение которых хотя бы на единицу приводит к необнаружению сигнала.

Численное значение L определялось по формуле:

$$L = \sum_{\lambda=1}^N x_\lambda g(\alpha_\lambda), \text{ при } N = N_0 - 4.$$

Точность измерения азимутальной координаты объекта по предложенным алгорит-

мам оценивалась методом статистического моделирования.

На рис. 2 приведены полученные моделированием кривые ошибки измерения азимута объекта σ_{β_0} для предложенных в [1] алгоритмов. Кривые ошибки для квазиоптимального алгоритма в зависимости от отношения сигнал/помеха a при различном количестве выборочных значений весовой функции N_0 представлены кривыми 2 и 3. Кривая 2 соответствует количеству выборочных значений весовой функции N_0 . А кривая 3 соответствует количеству выборочных значений весовой функции $2N_0$.

Численное значение N_0 определялось по формуле [1]:

$$N_0 = \tau_n / (t_0 + t_{аин})^m.$$

Длительность импульса вычислялась из выражения:

$$\tau_n = b/v_c$$

где b — ширина площадки фотоприемника; v_c — скорость сканирования.

Кривая ошибки, полученная по алгоритму азимутов импульсов, фиксирующих начало и конец сигнального импульса, представлена на рис. 2, кривая 1.

Точность статистической оценки ε азимутальной координаты $\hat{\beta}_0$ определялась методом интервального оценивания. При за-

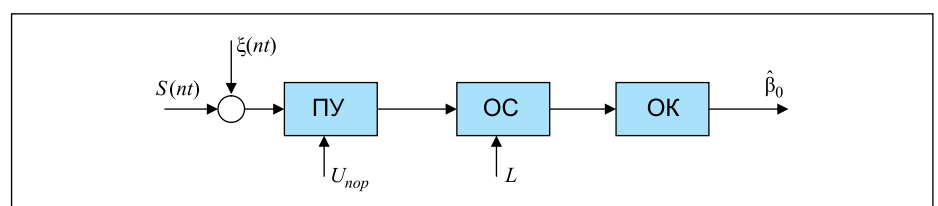


Рис. 1. Структура канала обработки сигнала в ОЭП

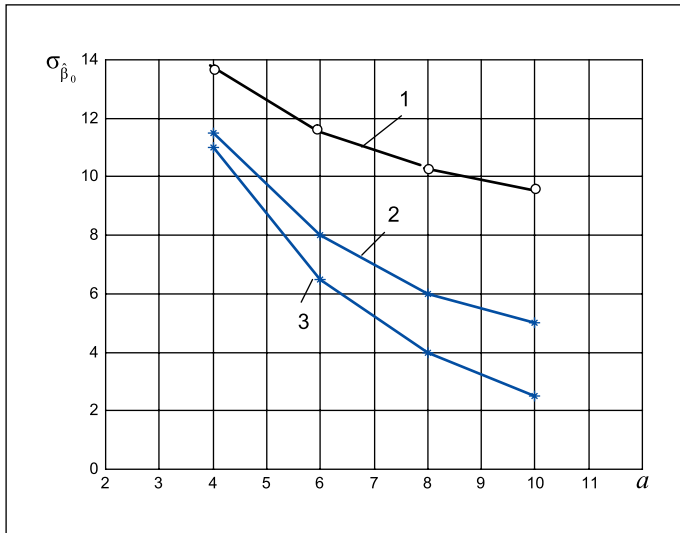


Рис. 2. Кривые ошибки измерения азимутальной координаты для различных алгоритмов

данной доверительной вероятности $P = 0,9$ и числе статистических испытаний $M = 100$ она оказалась равной 10%.

Анализ результатов моделирования позволяет утверждать, что алгоритм измерения азимутальной координаты, построенный на методе максимального правдоподобия, измеряет координату с точностью от 11,5 до 2,5 угловой секунды в диапазоне отношений сигнал/помеха от 4 до 10. При этом алгоритм измерения азимутальной координаты

по импульсам, фиксирующим начало и конец сигнального импульса, измеряет координату с точностью от 14 до 9,5 угловой секунды в том же диапазоне отношения сигнал/помеха.

Следует также отметить, что точность измерения координаты возрастает более интенсивно с увеличением отношения сигнал/помеха и с увеличением выборочных значений весовой функции для алгоритма, построенного на основе метода максимального правдоподобия, по сравнению с алгоритмом, измеряющим координату по импульсам, фиксирующим начало и конец сигнального импульса. Это объясняется тем, что алгоритм первого вида учитывает больше информации о сигнальном импульсе, чем алгоритм второго вида.

Для случаев, интересных для практического применения ($a \geq 6$, $N = 2N_0$), точность измерения азимутальной координаты при реализации алгоритма, построенного на использовании метода максимального правдоподобия, будет не хуже 6,5 угловой секунды. Такая точность соответствует требованиям, предъявляемым к алгоритмам измерения азимутальной координаты, сформулированным в [1]. ■

Литература

1. Камышев А.Л. Алгоритмы измерения координат объекта оптико-электронным прибором повышенной точности. Ч. 1 // Компоненты и технологии. 2012. № 6.
2. Кузьмин С.З. Основы проектирования цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь, 1986.
3. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Л.: Машиностроение, 1983.
4. Ширман Я.Д., Голиков В.Н. Основы теории обнаружения радиолокационных сигналов и измерения их параметров. М.: Советское радио, 1963.