

УДК 621.396.61

Г.В. Ермаков¹, В.В. Куценко², С.Н. Телюков²

¹Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков

²Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

УТОЧНЕНИЕ ЧИСЛОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ОШИБОК В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИ РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОМ МЕТОДЕ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

В работе разработан метод уточнения законов распределения ошибок измерения пространственных координат самолета, проведена оценка числовых значений параметров законов распределений. Определено, что наиболее часто ошибки измерения при разностно-дальномерном методе пассивной радиолокации подчиняются закону Шарлье.

Ключевые слова: пассивная радиолокация, разностно-дальномерный метод, закон распределения ошибки.

Введение

Постановка проблемы. Одним из актуальных теоретических и технических решений обеспечения требуемой точности определения координат самолетов штурмовой авиации, действующих в условиях широкого применения сил и средств радиоэлектронной борьбы, является использование в качестве информационных подсистем средств пассивной радиолокации.

Анализ литературы. Анализ точности функционирования пассивных систем хорошо известен и достаточно подробно рассмотрен в [1 – 6]. В этих работах вопросы точности рассматриваются в основном применительно к задаче определения дальности до радиоизлучающих целей в полярной и прямоугольных системах координат при разностно-

дальномерном методе пассивной радиолокации. Кроме этого, как правило, рассматривается симметричное расположение приемных пунктов, а закон распределения ошибок измерения координат считается нормальным. Очевидно, что при произвольном расположении приемных пунктов относительно направления движения самолета закон распределения ошибок измерения координат будет отличаться от нормального, что является следствием решения системы разностных нелинейных уравнений. Поэтому целью статьи является разработка метода определения законов распределения ошибок измерения пространственных координат самолета при разностно-дальномерном способе пассивной локации, а также уточнение числовых значений параметров законов этих распределений.

Основной материал

Для получения расчетных значений ошибок измерений декартовых координат самолета был использован метод статистических испытаний. Программа для расчета реализована в пакете MAPLE, с помощью которой были получены гистограммы распределений ошибок определения координат самолета в предложенной системе координат с размером статистической выборки $N = 500$, который обеспечивает необходимую достоверность полученных результатов [7]. Ошибка синхронизации системы единого времени составляет 0,01 мкс [8]. В этом случае среднеквадратическая ошибка (СКО) разности расстояний составит величину $\sigma_r = 4,2$ м и будет одинаковой для всех приемных пунктов, координаты приемных пунктов неизменны. Ошибка определения местоположения измерительного средства обеспечивается навигационной аппаратурой и составляет величину 15 м. При расчетах учитывалось, что высота полета самолета составляет 1000 м, а ее другие координаты соответствуют:

- дальней границе зоны обнаружения (18 км);
- дальнему рубежу выдачи целеуказания (13 км);
- дальней границе зоны поражения ракетным вооружением (8 км);
- дальней границе зоны поражения артиллерийским вооружением (4 км)

При определении законов распределения ошибок измерения координат на основании полученных в результате расчетов гистограмм, были выбраны следующие теоретические непрерывные распределения с возможными значениями на всей числовой оси [9, 10]:

1. нормальный закон распределения;
2. двустороннее показательное распределение (распределение Лапласа);
3. распределение Коши;
4. распределение минимального значения;
5. распределение максимального значения;
6. двойное показательное распределение;
7. логистическое распределение;
8. распределение Чампернауна;
9. распределение Шарлье.

Для определения числовых значений параметров распределений использовался метод наименьших квадратов с точностью аппроксимации 10^{-6} . В качестве критерия согласия при конкретизации вида распределения был выбран критерий χ^2 Пирсона с 5%-ным уровнем значимости.

В качестве примера приведем методику определения вида теоретического распределения путем аппроксимации данных гистограммы, полученных методом статистических испытаний, для координат самолета $x=18000$ м, $y=9000$ м, $z=1000$ м для z -составляющей.

На рис. 1 представлена исходная гистограмма, описывающая распределение ошибки измерения координаты z .

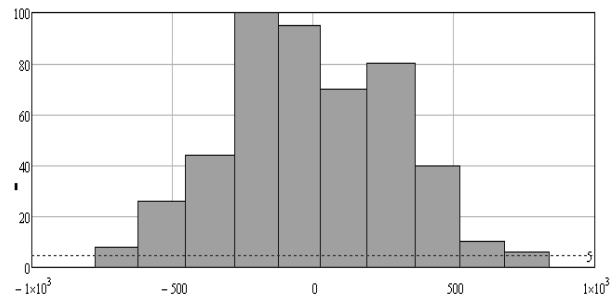


Рис. 1. Исходная гистограмма

Далее проводится ее нормализация и при помощи метода наименьших квадратов с ошибкой 10^{-6} для каждого из представленных выше 9 теоретических распределений определяются их параметры.

После определения числовых значений параметров плотности вероятности для каждого из законов (рис. 2), может быть определена теоретическая плотность вероятности (рис. 3) для каждого из значений ошибки исходной гистограммы.

В результате расчетов определено, что ошибки измерений координат самолета для выбранного направления подчиняются закону Шарлье. Распределение Шарлье с плотностью распределения [9]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \left\{ 1 + \frac{\gamma_1}{6} \left[\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^3 - 3\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \right] + \frac{\gamma_2}{24} \left[\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^4 - 6\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2 + 3 \right] \right\},$$

где μ – математическое ожидание; σ – стандартное отклонение; γ_1 – асимметрия; γ_2 – эксцесс; $\phi(x)$ – плотность вероятности стандартного нормального распределения. Функция распределения имеет вид:

$$F(x) = \frac{1}{2} + \Phi_0\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \times \left\{ \frac{\gamma_1}{6} \left[\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2 - 1 \right] + \frac{\gamma_2}{24} \left[\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^3 - 3\frac{x-\mu}{\sigma} \right] \right\}.$$

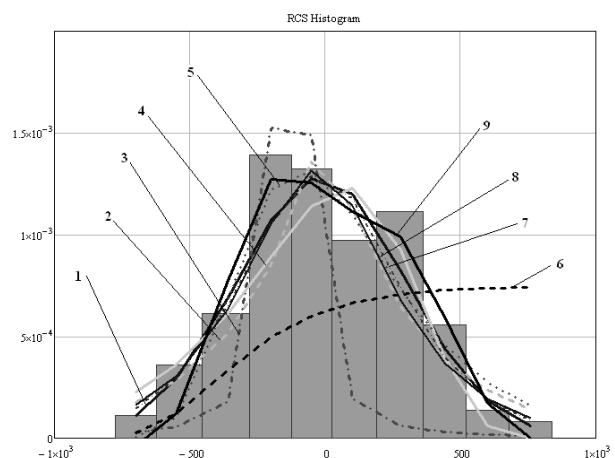


Рис. 2. Расчетные значения плотности вероятности для различных законов распределения (цифры соответствует виду распределения)

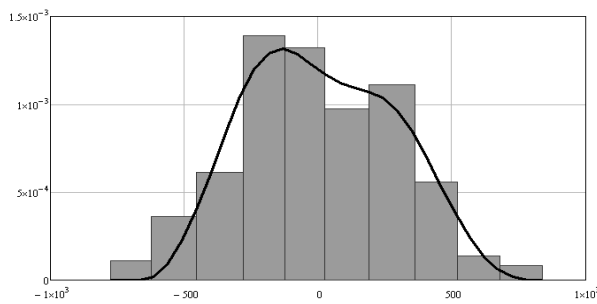


Рис. 3. Расчетная плотность вероятности ошибок измерений

Далее выдвигается гипотеза о том, что ошибка распределена по закону Шарлье с заданными параметрами, которая проверяется с помощью критерия согласия Пирсона с 5%-ным уровнем значимости. Аналогичной проверке подлежат и гипотезы о распределении ошибок по другим законам.

С учетом данных рис. 3 может быть рассчитана вероятность того, что ошибка попадает в заданный интервал для рассчитанного теоретического и нормального законов распределений:

$$P(\alpha \leq X \leq \beta) = F(\beta) - F(\alpha).$$

Расчетные функции распределения для рассматриваемого случая и нормального закона представлены на рис. 4 (1 – полученный закон, 2 – нормальный закон распределения).

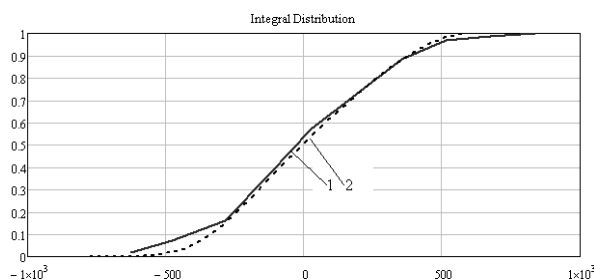


Рис. 4. Теоретическая функция распределения (1) и функция распределения для нормального закона (2)

Из анализа данных приведенных на рис. 4 следует, что вероятность того, что ошибка измерения координаты z , распределенная по закону Шарлье и равная 440 м, будет 0,9. При нормальном законе распределения такая вероятность может быть достигнута при ошибке измерения 520 м.

Задаваясь вероятностью $P=0,9$, что соответствует вероятности захвата самолета на автосопровождение в режиме выдачи автоматического целеуказания при отсутствии помех, получим, что точное определение закона распределения ошибок измерения координат позволяет говорить об уменьшении ошибки целеука-

зания. Это приводит к уменьшению размеров зоны поиска и снижению времени реакции комплекса в условиях радиоэлектронного подавления.

Выводы

Результаты расчетов показывают, что ошибки измерения декартовых координат самолета при разностно-дальномерном методе пассивной локации, как правило, подчиняются закону Шарлье. В большинстве практически важных случаев уточнение закона распределения ошибки позволяет повысить вероятность захвата самолета за счет выдачи более точного целеуказания, что позволяет уменьшить размеры зоны поиска и снизить время реакции комплекса, что важно при проведении стрельбы.

Список литературы

1. Сайбель А.Г. Основы теории точности радиотехнических методов местопределения / А.Г. Сайбель. – М.: Оборонгиз, 1958. – 560 с.
2. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации / М.С. Ярлыков. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации / Ю.Г. Сосулин. – М.: Радио и связь, 1992. – 480 с.
4. Ярлыков М.С. Авиационные радионавигационные устройства и системы / М.С. Ярлыков, В.А. Болдин, В.С. Богачев. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1980. – 245 с.
5. Куценко В.В. Методика обеспечения требуемой точности определения координат цели в подвижной системе пассивной радиолокации зенитных комплексов ближнего действия / В.В. Куценко, О.Л. Смирнов, А.А. Наконечный // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2005. – Вып. 2(2). – С. 54-59.
6. Куценко В.В. Система пассивної радіолокації при виявленні та супроводженні повітряних об'єктів у режимі радіомовчання / В.В. Куценко // Зб. наук. пр. ХВУ – Х.: ХВУ, 2004. – Вып. 2(48). – С. 83-87.
7. Вальд А. Последовательный анализ: пер. с англ. / А. Вальд. – М.: Физматгиз, 1960. – 375 с.
8. РРЛ с единой системой единого точного времени / С.Н. Татаринский, Д.О. Шаповалов, А.С. Носов и др. // 19th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology". – CriMiCo'2009.
9. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям / Р.Н. Вадзинский. – СПб.: Наука, 2001. – 295 с.
10. Влияние ширины спектра частот зондирующего сигнала на точность угловых измерений в бортовых РЛС / П.В. Потелецко, В.М. Орленко, С.П. Леценко, Л.И. Сачук, Я.Д. Ширман // Зб. наук. пр. ХУПС. – Х.: ХУПС, 2010. – Вып. 2(24). – С. 40-46.

Поступила в редколлегию 14.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.И. Обод, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

УТОЧНЕННЯ ЧИСЛОВИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛІВ ПОМИЛОК В ПРОЦЕСІ ВИМІРУ КООРДИНАТ ПРИ РІЗНИЦЕВО-ДАЛЕКОМІРНОМУ МЕТОДІ ПАСИВНОЇ ЛОКАЦІЇ

Г.В. Ермаков, В.В. Куценко, С.М. Телюков

У роботі розроблений метод уточнення законів розподілу помилок виміру просторових координат літака, проведена оцінка числових значень параметрів законів розподілів. Визначено, що найчастіше помилки виміру при різницево-daleкомірному методі пасивної радіолокації підкоряються закону Шарлье.

Ключові слова: пасивна радіолокація, різницево-daleкомірний метод, закон розподілу помилок

REFINEMENT OF NUMERICAL VALUES OF DISTRIBUTIONS LAWS PARAMETERS OF ERRORS IN COURSE OF COORDINATES MEASUREMENT AT DIFFERENCE-DALNOMERNOM THE PASSIVE LOCATION METHOD

G.V. Ermakov, V.V. Kutsenko, S.N. Telukov

The method of refinement of law of errors of measurement of space co-ordinates of the airplane is in-process developed, the estimation of numerical values of parametres of laws of distributions is spent. It is defined that most often measuring errors at difference-dalnomernom a method of passive radiolocation obey the law Sharle.

Keywords: *passive radiolocation, differently-dalnomernyj method, the law of distribution of an error.*