

УДК 621.396. 98

И.И. Обод, А.Н. Булай, Ю.А. Луценко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В СИНХРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Рассмотрена задача оценки влияния ошибок топопривязки приемных пунктов и формирования шкалы времени информационной синхронной системы на оценку координат воздушных объектов.

системы наблюдения, синхронная информационная сеть, шкалы времени

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

Одним из эффективных способов повышения качества информационного обеспечения потребителей предполагает переход к сетевому (многопозиционному) построению систем наблюдения (СН) [1, 2]. Сетевое построение информационных средств доказало свою полезность при решении задач различного назначения. Практическая реализация по созданию сетевых информационных средств была сдержана отсутствием средств организации высокоточного координатно-временного обеспечения, что в настоящее время преодолено. Появление высокоточных систем единого координатно-временного обеспечения позволяет рассматривать рассредоточенные СН, как единую информационную сеть, у которой есть возможность управления как моментом и местом излучения зондирующего сигнала, так и согласованным приема эхо-сигналов и ответных сигналов всеми приемными пунктами, входящими в синхронную информационную сеть (СИС). Как показано в [3] создание СИС рассредоточенных СН, на основе единого координатно-временного обеспечения, позволяет упростить процесс согласованного обзора пространства, получения, передачи и обработки информации. Кроме того, в [3] показано, что синхронная сеть (СС) систем ВРЛ разрешает проблему помехозащищенности этих систем. Это подчеркивает актуальность проводимых работ в данном направлении.

Цель работы – оценка влияния ошибок в определении местоположения приемных пунктов и формировании шкал времени (ШВ) в СИС на точность определения координат воздушного объекта (ВО).

Основная часть

Известно [3], что в СИС должны входить СН различного назначения, в частности, системы первичной и вторичной радиолокации. Ошибки в оцен-

ке местоположения пунктов приема этих информационных систем практически одинаково влияют на оценку местоположения наблюдаемого ВО. Оценим это влияние и на основе этого разработаем требования к стабильности формирования ШВ систем ВРЛ, реализованных на принципах синхронной сети. Произведем оценку ошибок определения местоположения ВО в СИС, когда известны ковариационные матрицы ошибок измерения наблюдаемого параметра \tilde{C}_p^{-1} , измерения собственных координат пунктов системы \tilde{C}_n^{-1} и имеется рассогласование ШВ пунктов СИС. Рассогласование ШВ, как показано в [4], имеет систематическую и случайную составляющие и приводит к соответствующему ухудшению точности измерения временной компоненты вектора наблюдаемых параметров.

По вектору наблюдаемых параметров $\tilde{\alpha}$, включающему, как правило, полярные составляющие, оценивается местоположение ВО, которое характеризуется вектором состояния \tilde{W} , включающим обычно декартовы составляющие. Вектор наблюдаемых параметров связан в общем случае с вектором состояния детерминированной и нелинейной зависимостью

$$\tilde{\alpha} = f(\tilde{W}, \tilde{W}_n), \quad (1)$$

где \tilde{W}_n – вектор собственных координат приемных пунктов СИС, который измеряется с известной ошибкой.

Когда ошибки измерения собственных координат достаточно малы, выражение (1) можно представить усеченным рядом Тейлора в окрестности оценки координат приемного пункта \hat{W}_{no}

$$\tilde{\alpha} = f(\hat{W}_{no}) + \tilde{H}_n(\tilde{W}_n - \hat{W}_{no}), \quad (2)$$

где \tilde{H}_n – прямоугольная матрица статического пересчета изменений вектора собственных координат в изменения вектора наблюдаемых параметров.

Тогда связь ковариационных матриц ошибок принимает вид

$$\bar{C}_p^{-1} = \bar{H}_n \bar{C}_n^{-1} \bar{H}_n^T, \quad (3)$$

что позволяет пересчитать ошибки измерения собственных координат приемных пунктов СИС в ошибки наблюдаемого параметра.

В тех случаях, когда ошибки измерения координат приемных пунктов и ошибки наблюдаемого параметра независимы, результирующая ковариационная матрица ошибок наблюдаемого параметра \bar{C}_{pc}^{-1} будем соответствовать сумме матриц

$$\bar{C}_{pc}^{-1} = \bar{C}_p^{-1} + \bar{C}_n^{-1}, \quad (4)$$

где \bar{C}_p^{-1} – матрица ошибок наблюдаемого параметра.

Если результирующую матрицу ошибок измерения \bar{C}_{pc}^{-1} подставить в выражение, полученной в [2], для матрицы точности вектора состояния при косвенных измерениях, то получим матричное уравнение для вычисления точности определения местоположения ВО при ошибках в измерении координат приемных пунктов СИС

$$\bar{C}_p = \bar{H}^T \bar{C}_{pc} \bar{H}, \quad (5)$$

где

$$\bar{H} = \left\| \frac{dh^j}{dW_c^{(i)}} \right\|_{W=\bar{W}_0} - \quad (6)$$

статистическая матрица пересчета по координатам ВО.

Подставляя (5) в выражения (3) и (4), получаем

$$\bar{C}_{pc} = \bar{H}^T (\bar{C}_p^{-1} + \bar{H}_n \bar{C}_n^{-1} \bar{H}_n^T)^{-1} \bar{H}. \quad (7)$$

Полученное выражение позволяет оценить местоположение ВО при наличии ошибок оценки местоположения пунктов СИС. Получим расчетные выражения для оценки точности определения местоположения излучающей ВО на плоскости (x,y) системой из n разностно-дальномерных приемных пунктов СИС [5 – 7], у которых синхронизация осуществляется один раз за цикл обзора.

В связи с одновременностью и независимостью измерений в различных пунктах приема результирующая матрица точности (7) сводится к сумме матриц

$$\bar{C}_{pc} = \sum_{i=1}^n \bar{H}_i^T \bar{C}_{pi} \bar{H}_i, \quad (8)$$

при этом i-ая матрица ошибок \bar{C}_{pi}^{-1} состоит из одного элемента – результирующего среднего квадрата ошибки измерения наблюдаемого параметра при ошибках в измерении координат приемных пунктов.

Пусть заданы средний квадрат ошибки измерения разности расстояния σ_{ri}^2 в i-ом пункте приема и ковариационная матрица ошибок собственных коор-

динат пункта приема

$$\bar{C}_{pi}^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_{xi}^2 & \sigma_{xiyi} \\ \sigma_{xiyi} & \sigma_{yi}^2 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Для разностно-дальномерной системы результирующий средний квадрат ошибки соответствует

$$\sigma_{ci}^2 = \sigma_{pi}^2 + \sigma_{pi}^2 + \sigma_{шв}^2, \quad (10)$$

где

$$\sigma_{pi}^2 = \frac{(x-x_i)^2 \sigma_{xi}^2}{r_i^2} + \frac{2(x-x_i)(y-y_i) \sigma_{xiyi}}{r_i^2} + \frac{(y-y_i)^2 \sigma_{yi}^2}{r_i^2},$$

$r_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}$ – расстояние от i-го приемного пункта до ВО; $\sigma_{шв}$ – ошибка в формировании ШВ, пересчитанная в ошибку измерения разности дальностей.

Используя выражение (8), можно получить элементы ковариационной матрицы ошибок определения местоположения ВО разностно-дальномерной системой при ошибках в измерении координат приемных пунктов

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{(1-\rho^2) \sum_{i=1}^n [(x_i r - x \Delta r_i)^2 / r_i^2 \sigma_{ci}^2]};$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{(1-\rho^2) \sum_{i=1}^n [(y_i r - y \Delta r_i)^2 / r_i^2 \sigma_{ci}^2]};$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x \Delta r_i - x_i r)(y_i r - y \Delta r_i)}{r_i^2 \sigma_{ci}^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{x_i r - x \Delta r_i}{r_i^2 \sigma_{ci}^2} \right]^2} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i r - y \Delta r_i)^2}{r_i^2 \sigma_{ci}^2}}, \quad (11)$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ – расстояние от ВО до основного приемного пункта с координатами (0,0).

Некоторые расчеты по приведенным выражениям приведены на рис.1. Представленные зависимости указывают площадь эллипса ошибок P для разнесенной системы из трех позиций с координатами (-30,0; 0,0; 30,0) и зафиксированной координаты $y = 25$, при $\sigma_x = \sigma_y = 0.01$ и наличии случайного ухода ШВ равной 10^{-6} . Сплошной линией показана ошибка оценки местоположения ВО при отсутствии ошибок в определении местоположения и ШВ приемных пунктов, а штриховой – при наличии ошибок.

Для получения требований к точности формирования шкал времени в СС систем ВРЛ потребуем, чтобы точность измерения дальности в в таких системах не уступала точности измерения дальности существующих систем ВРЛ. В системах ВРЛ точность измерения дальности определяется точностью выделения одиночного импульса, точностью обра-

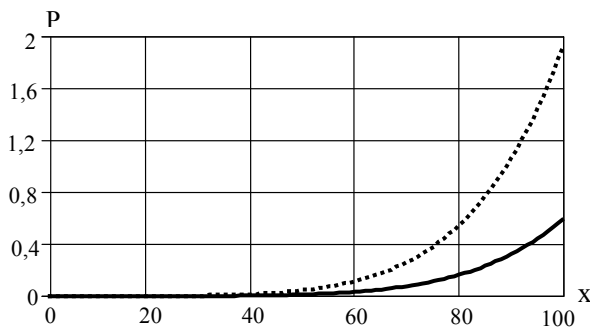


Рис. 1. Ошибки определения местоположения ВО

ботки интервально-временного кода, точностью привязки принимаемого сигнала к масштабным импульсам.

Использование интервально-временных кодов в запросных системах ВРЛ требует учета влияния аппаратуры обработки принимаемых сигналов на точность измерения дальности. Так отсчет времени задержки, как в самолетном ответчике, так и в запросчике, осуществляется с помощью генератора масштабных импульсов, то дисперсию ошибки одиночного отсчета времени задержки (при условии, что ошибки независимые величины, равномерно распределенные в интервале $-\tau/2 \dots +\tau/2$) можно записать как $\sigma_t^2 = \tau^2 / 6$.

Исходя из вышеизложенного, суммарная погрешность измерения дальности в запросных системах ВРЛ определяется как

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{10}^2 + \sigma_{t0}^2 + \sigma_{00}^2 + \sigma_{13}^2 + \sigma_{t3}^2 + \sigma_{03}^2}, \quad (12)$$

где σ_1^2 – дисперсия временного положения одиночного входного импульса; σ_0^2 – дисперсия временного положения выходного декодированного импульса.

Для СС систем ВРЛ суммарная погрешность измерения дальности будем определяться тремя последними составляющими.

Используя приведенное условие, заключающееся в том, что точность измерения дальности в СС не должна быть ниже точности измерения дальности в существующих системах ВРЛ получаем требуемую точность формирования шкал времени. Используя выражения для расчетов составляющих ошибок измерения дальности для существующих и СС систем ВРЛ, получаем требования к точности сверки ШВ.

На рис. 2 приведены зависимости требуемой точности формирования шкал времени в СС систем

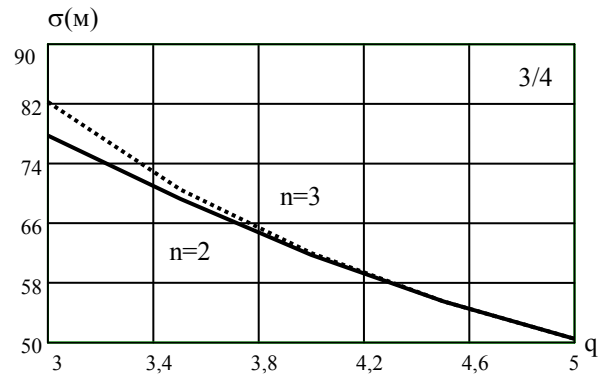


Рис. 2. Ошибка измерения дальности

ВРЛ, при которой точность измерения дальности в них не уступают точности измерения дальности существующих систем ВРЛ. Как следует из представленного расчетов, существующие средства единого координатно-временного обеспечения позволяют организовать сверку ШВ с такой точностью.

Выводы

Приведенные расчеты позволяют оценить влияние ошибок в оценке местоположения и формирования ШВ пунктов приема СИС на точность оценки координат воздушных объектов.

Список литературы

1. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
2. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
3. Теоретичні основи побудови заводозахисних систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков, І.І. Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.
4. Обод И.И. Математические модели синхронных сетей // Сборник научных трудов ХВУ. – Х.: ХВУ, 1998. – Вып. 14. – С. 41-48.
5. А.с. № 1510555 СССР. Разнесенная РЛС / И.И. Обод. – № 4216012/09; Заявлено 24.03.1987.
6. А.с. № 1507054 СССР. Разнесенное устройство РЛС / И.И. Обод. – № 4206393/09; Заявлено 04.03.1987.
7. А.с. № 1544022 СССР. Измеритель разности времен приема сигналов / И.И. Обод. – № 4340483/09; Заявлено 13.11.1987.

Поступила в редколлегию 2.10.2006

Рецензент: д-р техн. наук, доцент Г.В. Ермаков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.