

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ АЗИМУТА ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ С ТЕЛЕВИЗИОННЫМ ПОДСВЕТОМ

И.И. Обод, А.Д. Флоров, О.В. Гаврентюк, И.В. Коваль
(Харьковский университет Воздушных Сил)

Приводится сравнительный анализ показателей качества двух алгоритмов измерения координат воздушных целей в многопозиционной системе с телевизионным подсветом.

радиотехнические системы наблюдения, координат воздушных целей

Постановка задачи. Радиотехнические системы наблюдения (СН) в значительной степени определяют решение задач, стоящих перед Воздушными Силами (ВС). Естественная эволюция СН приводит к объединению радиолокационных систем или иных датчиков информации, рассредоточенных на определенном участке контролируемого пространства, в информационную сеть (ИС). Такая эволюция мотивируется возможностью слияния большого объема данных, получаемых элементами системы наблюдения, работающими независимо друг от друга и обладающими до некоторой степени взаимодополняющими возможностями. Задача состоит в точном отображении окружающей обстановки и своевременном обнаружении изменений в ней. Такое сопровождение воздушных целей представляет собой общеизвестную системную концепцию, доказавшую свою полезность при решении как гражданских, так и военных прикладных задач практически во всех развитых государствах [1].

Первичный радиолокатор, как показали последние военные конфликты, превратился из информационного средства в средство опасности. Это вызвано определением координат радиолокатора и нанесением огневого удара по нему из-за зоны его видимости. Одним из эффективных способов снижения уязвимости радиолокационных систем к огневому воздействию является переход от однопозиционного к многопозиционному (МП), в частности к сетевому, построению последних. Использование в разнесенном радиолокаторе внешних (не радиолокационных) источников подсвета, в частности передатчиков телевизионных центров, передатчиков навигационных систем, существенным образом повышает живучесть средств первичной радиолокации.

Таким образом, отмеченные выше обстоятельства требуют рассмотрения вопросов создания ИС СН ВС [1] с включением в их состав информации разнородных радиотехнических систем, в частности, МП радиолокационных систем с телевизионным подсветом. При этом следует отметить, что использование телевизионного подсвета исключает необходимость проведения пространственной синхронизации приемных пунктов.

Цель работы – сравнительный анализ показателей качества измерения азимута воздушных целей в МП РЛС с телевизионным подсветом при различной реализации измерителей.

Основная часть. Рассмотрим МП РЛС с телевизионным подсветом, состоящую из M телевизионных передатчиков. На приемном пункте МП РЛС осуществляется сканирование пространства и осуществляется синхронный прием эхо-сигналов, вызванных каждым из M сигналов подсвета. Структура измерителя азимута воздушных целей может быть двоякой:

- в каждом из каналов обработки осуществляется измерение азимута воздушных целей по пачке бинарно-квантованных сигналов, и затем межканальное весовое объединение результатов измерения (первый вариант);
- весовое объединение сигналов каждого из каналов обработки и затем измерение азимута воздушной цели по пачке бинарно-квантованных сигналов (второй вариант).

В измерителе, реализованном по первому варианту, одновременно производится оценка вектора измерения $\vec{\alpha}$ в M каналах обработки приемного пункта МП РЛС. Если задаться нормальным законом распределения каждой из составляющих вектора $\vec{\alpha}$ и учитывая некоррелированность измерений в каналах обработки, логарифм отношения правдоподобия с точностью до постоянной величины можно записать как

$$\ln l = \sum_{k=1}^M \ln l_k = \sum_{k=1}^M \left[-\frac{1}{2} (\vec{\alpha} - \hat{\vec{\alpha}}_k)^T \bar{C}_k (\vec{\alpha} - \hat{\vec{\alpha}}_k) \right], \quad (1)$$

где $\hat{\vec{\alpha}}_k$ и \bar{C}_k – оценки и матрицы точности оценивания по сигналам каждого из рассматриваемых радиолокаторов.

Можно показать, что выражение (1) с точностью до постоянной величины приводится к виду

$$\ln l = -\frac{1}{2} (\vec{\alpha} - \hat{\vec{\alpha}})^T \bar{C} (\vec{\alpha} - \hat{\vec{\alpha}}),$$

где $\hat{\vec{\alpha}}$ – результирующая оценка; \bar{C} – матрица точности, которые можно определить из следующих выражений:

$$\hat{\vec{\alpha}} = \bar{C}^{-1} \sum_{k=1}^M \bar{C}_k \hat{\vec{\alpha}}_k; \quad \bar{C} = \sum_{k=1}^M \bar{C}_k. \quad (2)$$

Таким образом, на основании выражений (2) возможно формирование результирующей оценки азимута воздушных объектов при использовании оценки азимута в каждом из M каналов обработки.

Реализации измерителя азимута по второму варианту значительно проще. Действительно, при весовом межканальном объединении сигналов требует только один измеритель азимута по пачке бинарно-квантованных сигналов. Получим оптимальный алгоритм оценки азимута цели по пачке бинарно-квантованных сигналов с известными статистическими характеристиками в МП РЛС с телевизионным подсветом при межканальном весовом объединении сигналов.

Оптимальные алгоритмы измерения угловой координаты синтезируются, как правило, по критерию максимального правдоподобия. Вид функции правдоподобия зависит от статистических характеристик сигналов и помех, формы диаграммы направленности антенной системы и способа сканирования антенны РЛС в процессе измерения.

При межканальном весовом объединении сигналов с выхода обнаружителя снимается бинарно-квантованная последовательность сигналов. Функцию правдоподобия оцениваемого параметра, при таком представлении принимаемых сигналов, можно определить следующим образом

$$L(\beta_{ц}) = \prod_{i=1}^N P_{снi}^{x_i} (x_i) [1 - P_{снi} (x_i)]^{(1-x_i)}, \quad (3)$$

где N – число импульсов в пачке.

Входящая в это выражение вероятность обнаружения сигнала на i позиции $P_{снi}$ определяются с учетом выбранного критерия обнаружения в устройстве межканального весового объединения сигналов.

Логарифм функции правдоподобия можно записать как

$$\ln L = \sum_{i=1}^N x_i \{ \ln P_{снi} (x_i) - \ln [1 - P_{снi} (x_i)] \} + \sum_{i=1}^N \ln [1 - P_{снi} (x_i)]. \quad (4)$$

После дифференцирования (4) по соответствующему параметру и соответствующих преобразований получим следующее уравнение правдоподобия для оценки азимута воздушной цели

$$\sum_{i=1}^N x_i \eta_i''(\beta_i, \beta_{ц}) = 0, \quad (5)$$

$$\text{где} \quad \eta_i''(\beta_i, \beta_{ц}) = \frac{1}{P_{снi}(x_i)[1 - P_{снi}(x_i)]} \frac{dP_{снi}(x_i)}{d\beta_{ц}}, \quad i = 1, \dots, N, \quad (6)$$

$\eta_i''(\beta_i, \beta_{ц})$ – весовая функция позиций сигнальной пачки при оценке азимута цели.

Дискретную функцию (6) можно рассматривать как функцию веса позиций сигнальной пачки в оценке азимута цели. Огибающая этой функции характеризует количество информации об азимуте цели, содержащееся в импульсах, расположенных на различных расстояниях от центра пачки.

Таким образом, в рассматриваемом случае оптимальная оценка угловой координаты сводится к образованию сумм значений весовых коэффициентов $\eta_i(\beta_i, \beta_{ц})$ на позициях, где $x_i = 1$, т.е. на тех позициях, где сигнальные импульсы превышают пороговый уровень, справа и слева от нулевого значения весовой функции. Оценка координаты фиксируется при равенстве в установленных допусках накопленных таким образом сумм.

Для сравнительной оценки точности измерения азимута воздушных целей двух рассматриваемых измерителей, получим выражение для среднеквадратической ошибки измерения азимута по пачке бинарно-квантованных импульсов за результатами межканального объединения сигналов.

Для определения нижней границы дисперсии оценки азимута по пачке бинарно-квантованных сигналов воспользуемся известным выражением

$$\sigma_{\beta}^2 = 1 / \sum_{i=1}^N (dP_{2i} / d\beta)^2 \{1 / [P_{2i}(1 - P_{2i})]\},$$

где P_{2i} – вероятность обнаружения сигналов на выходе устройства межканального объединения сигналов. Для удобства вычислений представим производную $dP_{2i} / d\beta$ в следующем виде

$$dP_{2i} / d\beta = (dP_{2i} / dP_{1i})(dP_{1i} / dq_i)(dq_i / d\beta).$$

Величина q_i может быть записана как

$$q_i = q_0 g(\alpha_i),$$

где $g(\alpha_i)$ – диаграмма направленности антенной системы приемного пункта МП РЛС с телевизионным подсветом.

Аппроксимируем диаграмму направленности антенной системы гауссовой кривой $g(\alpha_i) = \exp(-\alpha_i^2)$ и используем для численных расчетов α_i в следующем виде (при нечетном N)

$$\alpha_i = i\Delta\beta / \varphi, \quad [-(N-1)/2 < i < (N-1)/2],$$

где φ – половина ширины диаграммы направленности антенной системы приемника; $\Delta\beta$ – угловое расстояние между соседними импульсами пачки.

Используя [2], результаты вычисления производных dP_{1i} / dq_i и $dq_i / d\beta$ определяем dP_{2i} / dP_{1i} , что позволяет определить выражение для σ_{β} в следующем виде:

$$\sigma_{\beta} = \frac{[\varphi^2 \exp(z_0^2/2)]}{2n\Delta\beta z_0 q_0 \left\{ 2 \sum_{k=1}^{(N-1)/2} \exp(-q_k^2) I_1^2(q_k z_0) k^2 g^2(q_k) / P_{1k} (1 - P_{1k}) \right\}^{1/2}}, \quad (4)$$

где z_0 – величина порога обнаружения одиночного сигнала в каждом из каналов обработки, обеспечиваемое требуемое значение условной вероятности ложной тревоги.

Произведем сравнительный анализ точности измерения азимута в МП РЛС с телевизионным подсветом при использовании рассмотренных вариантов измерителей. Результаты расчета среднеквадратической ошибки измерения азимута представлены на рис. 1. Как следует из представленных зависимостей, точность оценки азимута измерителем с объединением результатов измерения азимута уступает точности оценки

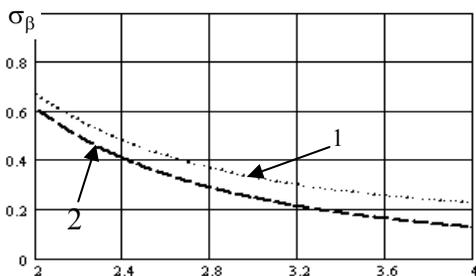


Рис. 1. Результаты расчета среднеквадратической ошибки измерения азимута

азимута измерителя с объединением сигналов. В частности, при отношении с/ш равном 4, точность в измерении азимута вторым алгоритмом в 1,8 раз выше по сравнению с первым вариантом.

Выводы. Таким образом, исходя из полученных результатов следует:

- алгоритм оценки азимута воздушных целей в МП РЛС с внешним подсветом с весовым межканальным объединением сигналов проще в реализации по сравнению с объединением на координатном уровне;
- объединение на сигнальном уровне при измерении азимута воздушных целей в МП РЛС с внешним подсветом позволяет повысить точность измерения азимута воздушных целей по сравнению с объединением на координатном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *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.*
2. *Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Радио и связь, 1986. – 362 с.*

Поступила 4.04.2005

Рецензент: доктор технических наук профессор Ю.Г. Даник,
Национальная академия обороны Украины, Киев.