

# ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДАЛЬНОСТИ НА БОРТУ ИСТРЕБИТЕЛЯ

## Мозгонов М.Ю.

Мозгонов Максим Юрьевич – кандидат технических наук,  
кафедра электроники,  
Ярославское высшее военное училище ПВО, г. Ярославль

**Аннотация:** в статье рассматривается подход к реализации способов определения координат помехопостановщиков с помощью триангуляционных измерений по определению дальности на борту истребителя.

**Ключевые слова:** бистатическая радиолокация, многопозиционная РЛС, триангуляционный метод, помехопостановщик.

При использовании однопозиционных радиолокационных станций (РЛС) процесс накопления информации в случае измерения координат движения помехопостановщика является сложным, а при наличии помех от других помехопостановщиков – невозможным [1, с. 29]. Поэтому необходимо использование бистатической радиолокации, в частности в таких методах измерения координат, как триангуляционный метод определения дальности, кинематический метод (при сопровождении одного помехопостановщика), метод максимума правдоподобия и метод фильтрации Калмана (при сопровождении нескольких помехопостановщиков).

Для реализации режима триангуляционного метода определения дальности необходимо:

- обеспечение высокоточной навигационной информацией;
- обеспечение программно-аппаратными средствами информационной связи;
- решение задачи отождествления пеленгов;
- определение дальности из решения треугольников;
- вторичная обработка информации, связанная с фильтрацией шумов измерения дальности и определения фазовых координат;
- формирование траекторий полёта взаимодействующих истребителей для оптимизации оценок фазовых координат.

Триангуляционный метод определения дальности основан на измерении в каждом приёмном пункте только угловых направлений на источник излучения. Дальность до постановщика помех будет измеряться неоднозначно. Для определения положения источника излучения достаточно иметь два пункта приёма сигнала, отстоящие друг от друга на известном расстоянии [2, с. 23]. Если на каждом пункте измеряются азимуты ( $\theta_1, \theta_2$ ) и углы места ( $\varphi_1, \varphi_2$ ) источника излучения, то его положение определяется как точка пересечения линий, задаваемых этими угловыми направлениями. Для определения положения источника достаточно знать только три угла, например два азимута и один угол места или два угла места и один азимут. Тогда положение источника излучения определяется точкой пересечения трёх плоскостей, задаваемых этими углами (рис. 1).

Для первого случая дальность до источника вычисляется по формуле:

$$D = B / \cos \varphi_1 (\cos \theta_1 - \sin \theta_2 \operatorname{ctg} \theta_2) \quad (1)$$

а для второго –

$$D = B / \cos \varphi_1 \cos \theta_1 - \sqrt{\sin^2 \varphi_1 \operatorname{ctg}^2 \varphi_2 - \cos^2 \varphi_1 \sin^2 \theta_1}, \quad (2)$$

где  $B$  – база между пунктами приёма сигнала источника излучения.

Для определения координат постановщика помех по известным азимутам ( $\theta_1, \theta_2$ ) и одному углу места ( $\varphi_1$ ) можно воспользоваться следующими формулами:

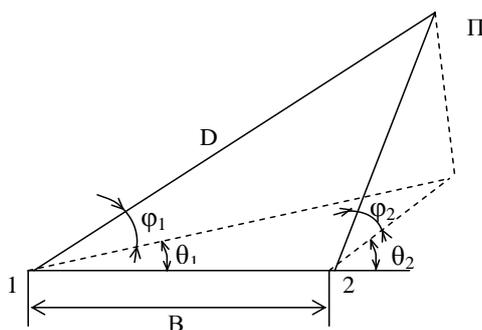


Рис. 1. Определение положение источника излучения точкой пересечения трёх плоскостей

$$x = -\frac{a \sin(\theta_1 + \theta_2)}{\sin(\theta_2 - \theta_1)}, \quad (3)$$

$$y = \frac{2a \sin \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)}, \quad (4)$$

$$z = \frac{2a \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (5)$$

при  $\varphi_1 = 90^\circ$  решения не имеет.

Для повышения точности измерения координат необходимо измерение четвёртого параметра  $\varphi_2$ , тогда координаты  $x$  и  $y$  определяются по формулам (3) и (4), а  $z$  – по формуле:

$$z = \frac{2a \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \operatorname{tg} \varphi_2. \quad (6)$$

Если два истребителя находятся в зоне действия одного луча постановщика помех, в качестве информационных составляющих будут использоваться разности запаздывания сигналов в каждой паре приёмных позиций, определяющие разности дальностей источника излучения  $(r_1 - r_2) = 3 \cdot 10^8 (t_1 - t_2)$ ;  $r_1 + r_2 = 3 \cdot 10^8 (t_1 + t_2)$ ;  $(r_1 + r_2) = s (r_1 - r_2) = \Delta$ .

Определение координат постановщика помех в этом случае производится по следующим формулам: при известных  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $s$ ,  $x$  и  $y$  определяются по формулам (3) и (4),

$$z = \pm \frac{1}{2s} \sqrt{(4a^2 - s^2)(4x^2 - s^2) - y^2} \quad (7)$$

при известных  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\varphi_1$ ,  $s$  используются формулы (3) – (5) и (7),

при известных  $\theta_1$ ,  $\varphi_1$ ,  $s$  –

$$x = \frac{(s/2)(2a/s - \cos \varphi_1 \cos \theta_1)}{(2a/s) \cos \varphi_1 \cos \theta_1 - 1} \quad (8)$$

$$y = \frac{(s/2)(4a^2/s^2 - 1) \cos \varphi_1 \sin \theta_1}{(2a/s) \cos \varphi_1 \cos \theta_1 - 1} \quad (9)$$

$$z = \frac{(s/2)(4a^2/s^2 - 1) \sin \varphi_1}{(2a/s) \cos \varphi_1 \cos \theta_1 - 1} \quad (10)$$

при известных  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\Delta$  – формулы (3) (4) и (7), в которых  $s$  заменяется на  $\Delta$ . При  $\Delta=0$  решения не имеется.

Для пассивных систем, использующих триангуляционный метод при обнаружении нескольких источников сигналов, одной из первостепенных является задача отождествления пеленгов целей. Под отождествлением понимается разбиение пеленгов, измеренных в различных приёмных пунктах, на классы – по признаку принадлежности к данной цели. Указанная задача особенно актуальна, когда в секторе обзора находятся несколько помехопостановщиков.

Для решения этой задачи обычно применяется метод с использованием *критерия максимума правдоподобия*.

Рассмотрим одноэтапные алгоритмы оптимального измерения пространственного положения цели по временным параметрам сигналов. Одноэтапность достигается тогда, когда и при избыточном числе позиций алгоритм формирует оценки только трёх линейно независимых разностей хода сигналов  $\tau_{C12}$ ,  $\tau_{C13}$ ,  $\tau_{C14}$  (нумерация позиций произвольная). При этом пересчёт оценок трёх временных параметров сигналов в оценки трёх координат цели представляет собой задачу преобразования переменных. Такое преобразование, как известно, взаимно однозначно, если его якобиан отличен от нуля. Благодаря взаимно однозначному соответствию, оптимальность оценок временных параметров сигналов по любому статистическому критерию гарантирует оптимальность оценок координат.

Априорные распределения оцениваемых параметров обычно значительно шире функций правдоподобия. Поэтому в качестве критерия оптимальности оценок необходимо принять критерий максимума правдоподобия.

При стационарных и стационарно связанных гаусовских стохастических сигналах и помехах отношение правдоподобия для вектора неизвестных параметров  $\Omega$  входит в

$$\Lambda = (K_1(\Omega)/K_0) \exp \left\{ \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \chi^*(\omega) [f(\omega) - f_{\text{сн}}(\omega, \Omega)] \chi(\omega) d\omega \right\} \quad (11)$$

где  $\Omega$  – вектор неизвестных параметров. Содержит одну неинформационную составляющую (разность фаз) и три информационные составляющие (разности хода луча) – для двух приёмных пунктов,  $\Omega = (\Delta\varphi_{C12}, \tau_{C12}, \tau_{C13}, \tau_{C14})$ .

$f(\omega)$  – энергетический спектр стохастического сигнала от обнаруженного постановщика помех;

$f_{\text{сп}}(\omega, \Omega)$  – энергетический спектр стохастического сигнала от обнаруженного постановщика помех в условиях помеховой обстановки;

$\mathbf{K}_1(\Omega)/\mathbf{K}_0$  – отношение матрицы вектора искомых параметров к матрице параметров шума;

$\chi^*(\omega)$  – комплексно сопряжённая матрица параметров стохастического сигнала от обнаруженного постановщика помех.

Применение простейших фильтров первого порядка (по каждой координате) с постоянными коэффициентами сглаживания  $\alpha$  и  $\beta$  (так называемые  $\alpha$ ,  $\beta$ -фильтры) нецелесообразно, так как единичные замеры по одной и той же цели могут поступать от различных позиций нерегулярно по времени и с различной точностью. Поэтому применяются более сложные фильтры Калмана в различных модификациях, хотя их реализация требует более высокой производительности вычислительных средств.

Для каждого момента времени  $t_{k+1}$  фильтр Калмана формирует сглаженную оценку вектора состояния  $\hat{\alpha}_{k+1}$  на основе оценки  $\hat{\alpha}_k$ , полученной по предыдущим  $k$ -наблюдениям цели в моменты  $t_1, t_2, \dots, t_k$ , и вновь поступившего замера  $\hat{\alpha}_{\text{изм}(k+1)}$ :

$$\hat{\alpha}_{k+1} = \hat{\alpha}_{k+1|k} + \mathbf{K}_{k+1} (\hat{\alpha}_{\text{изм}(k+1)} - \hat{\alpha}_{k+1|k}) \quad (12)$$

где  $\hat{\alpha}_{k+1|k}$  – прогноз вектора  $\alpha$  на момент  $t_{k+1}$  по оценке  $\hat{\alpha}_k$  в момент  $t_k$  на основании модели движения цели;

$\mathbf{K}_{k+1}$  – матрица весовых коэффициентов, с которыми невязки между измеренным  $\hat{\alpha}_{\text{изм}(k+1)}$  и прогнозным  $\hat{\alpha}_{k+1|k}$  значениями  $\alpha$  коррелируют  $\hat{\alpha}_{k+1|k}$ , чтобы получить оценку  $\hat{\alpha}_{k+1}$ :

$$\mathbf{K}_{k+1} = \mathbf{B}_{\alpha(k+1)} \mathbf{B}_{\text{изм}(k+1)}^{-1} \quad (13)$$

где  $\mathbf{B}_{\alpha(k+1)}$  – корреляционная матрица оценки  $\hat{\alpha}_{k+1}$ ,  $\mathbf{B}_{\alpha \text{ изм}(k+1)}$  – корреляционная матрица нового замера  $\hat{\alpha}_{\text{изм}(k+1)}$ . При этом

$$\mathbf{B}_{\alpha(k+1)} = \left[ (\mathbf{A}_k \mathbf{B}_{\alpha k} \mathbf{A}_k^T + \mathbf{Q}_k)^{-1} + \mathbf{B}_{\text{изм}(k+1)}^{-1} \right]^{-1} \quad (14)$$

Матрица  $\mathbf{K}_{k+1}$  учитывает точность предыдущей оценки  $\hat{\alpha}_k$ , модель движения цели и точность очередного замера.

Таким образом, рассмотрен подход к решению задачи обнаружения помехопостановщиков триангуляционными методами пассивным способом.

### Список литературы

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы // Учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2015. С. 28-42.
2. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. С. 21-25.