

УДК 621.396.002

*Г.В. ХУДОВ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
С.И. БЕРЕЗИНА, канд. техн. наук,
В.А. КОЧУРА, канд. техн. наук, В.М. КОНОВАЛОВ*

Военный научный центр космических исследований (при Харьковском военном университете)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОГО ПОИСКА, ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКА НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО УЗКОПОЛОСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ДВИЖУЩИХСЯ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Рассмотрена возможность поиска, обнаружения и оценки координат источника несанкционированного узкополосного излучения при использовании только двух пунктов приема, один из которых перемещается в пространстве. Рассмотрена возможность использования априорной информации о местоположении излучающего объекта для осуществления его совместного поиска и обнаружения.

Постановка проблемы в общем виде.

Известно [1], что определение местоположения источников излучения проводится пассивными методами. Из многообразия возможных пассивных методов определения местоположения источников излучения можно выделить три, обеспечивающих приемлемую точность измерения: разностно-дальномерный, разностно-частотный и пеленгационный. Применение того или иного метода зависит от тактико-технических требований к системе и от потенциальных возможностей методов. Точность определения координат при этом составляет от десятков до сотен километров в зависимости от диапазона работы источника излучения [1]. Указанная точность в некоторых случаях может быть неприемлема, при этом поиск и обнаружение источников излучения может проводиться длительное время.

В статье оценивается возможность повышения точности определения координат источника несанкционированного узкополосного излучения с использованием новой разновидности разностно-дальномерного метода. Рассматривается возможность использования априорной информации о местоположении источника излучения для осуществления его совместного поиска и обнаружения.

Анализ последних достижений и публикаций.

При пеленгационном методе определения координат источников излучения предъявляются высокие требования к антеннам, которые должны обеспечить узкую диаграмму направленности. Кроме того, точность определения координат пеленгационным методом зависит от дальности до источника излучения [1, 2]. Разностно-частотный метод требует обеспечения одновременного принятия сигнала несколькими приемниками и по сравнению с другими методами имеет более низкие точностные характеристики. Достоинством разностно-дальномерного метода является достаточно высокая точ-

ность определения местоположения при большой дальности, а также независимость точности определения местоположения от ширины диаграммы направленности приемной антенны. Определение координат наземного источника излучения происходит путем измерения разности расстояний от наземного источника излучения до разнесенных пунктов приема с известными координатами. Минимальное число пунктов приема равно трем. При этом задачи поиска и обнаружения решаются независимо друг от друга. При решении оптимизационных задач обнаружения сигналов от источника излучения не используются достижения теории поиска, при решении задач поиска не используются достижения теории обнаружения.

Постановка задачи и изложение материалов исследований.

Оценим возможность определения координат источника несанкционированного излучения при использовании только двух пунктов приема, один из которых перемещается в пространстве. При этом может быть использован некогерентный принцип формирования искусственной апертуры антенны и новый способ определения координат излучающегося объекта в однобазовом разностно-дальномерном комплексе с переменной базой [3, 4]. Обобщенная структура однобазового разностно-дальномерного комплекса представлена на рис. 1.

Суть предлагаемого способа состоит в следующем. Два приемника излучений устанавливают в двух пунктах приема, один из которых является подвижным, с известными на каждый момент времени координатам, а другой – неподвижным или движущимся с известными на каждый момент времени координатами.

Сигналы, излученные наземным неподвижным источником несанкционированного излучения с неизвестными координатами, принимаются каждым пунктом

приема. Принятые сигналы с помощью аппаратуры системы единого времени (СЕВ) привязывают к меткам единого времени и через линии связи передаются на пункт приема и обработки измерительной информации. Затем, в пункте приема и обработки измерительной ин-

формации, сигналы сравнивают между собой и измеряют текущую разность дальностей между приемниками и наземным источником несанкционированного излучения.



Рисунок 1 - Обобщенная структура однобазового разностно-дальномерного комплекса

По измеренной разности дальностей формируют первую линию положения - линию равных разностей дальностей.

После перемещения движущегося приемника в другое пространственное положение формируется искусственный многобазовый комплекс и соответственно вторая, третья и последующие линии положения. Координаты объекта излучения предлагается определять по точке пересечения линий равных разностей дальностей, полученных последовательно во времени за некоторый интервал наблюдений в искусственном многобазовом комплексе (рис.2).



Рисунок 2 - Определение координат источника несанкционированного излучения в однобазовом разностно-дальномерном комплексе с переменной базой

Простота метода обусловлена тем, что реально в системе предлагается использовать только один однобазовый разностно-дальномерный комплекс.

Оценим потенциальную точность определения координат наземного источника несанкционированного излучения, расположенного в наземном пункте с координатами (x_c, y_c, z_c) , сигнал от которого принимается приемниками, расположенными в двух пунктах приема на рас-

стоянии R_1 и R_2 от источника излучения. Предположим, что измерения привязаны к системе единого времени, что обеспечивает возможность измерения разности времен прихода сигналов к точкам приема $\Delta t = (R_1 - R_2)/c$, где c - скорость света. При расчете потенциальной точности будем считать, что координаты пунктов приема с размещенными на них приемниками, известны без ошибок. Выборку независимых измерений разности дальностей или вектор наблюдений представим в виде вектор - столбца $F(T) = R_1(T) - R_2(T)$, где вектор - столбцы $R_i(T)$ - дальности от i -го пункта приема до источника радиоизлучения соответственно, $i = 1, 2$.

$$R_i(T) = \sqrt{(x_i(T) - x_c)^2 + (y_i(T) - y_c)^2 + (z_i(T) - z_c)^2},$$

где $x_i(T), y_i(T), z_i(T)$ - вектор координат i -го приемника в момент времени T_i ;

T - вектор моментов времени (t_0, t_1, \dots, t_n) измерений разности дальностей;

$$\begin{cases} x_i(t_j) = x_{oi} + V_{xi} t_j, \\ y_i(t_j) = y_{oi} + V_{yi} t_j, \\ z_i(t_j) = z_{oi} + V_{zi} t_j, \end{cases}$$

x_{oi}, y_{oi}, z_{oi} - начальные координаты i -го пункта приема;

V_{xi}, V_{yi}, V_{zi} - составляющие вектора скорости i -го пункта приема;

t_j - j -е моменты времени;

x_c, y_c, z_c - координаты источника радиоизлучения.

Вектор погрешностей определения координат наземного источника излучения зависит от погрешностей определения разности дальностей F_Δ . Эти погрешности разложим в ряд Тейлора и ограничимся линейными членами разложения

$$F_{\Delta} = \frac{\partial F(T)}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F(T)}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial F(T)}{\partial z} \Delta z$$

Для дальнейших расчетов предположим, что в одно- базовом разностно-дальномерном комплексе измерения разности дальностей в каждый момент времени являются равноточными и взаимно независимыми. Проведя ряд математических преобразований, получим формулу для расчета потенциальной точности определения координат наземного источника излучения которая имеет вид

$$K_c = \sigma \cdot (B \cdot B^T)^{-1},$$

где

$$F_{\Delta} = \begin{bmatrix} \delta F|_{t_0} \\ \delta F|_{t_1} \\ \dots \\ \delta F|_{t_n} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial x_c}|_{t_0} & \frac{\partial F}{\partial y_c}|_{t_0} & \frac{\partial F}{\partial z_c}|_{t_0} \\ \frac{\partial F}{\partial x_c}|_{t_1} & \frac{\partial F}{\partial y_c}|_{t_1} & \frac{\partial F}{\partial z_c}|_{t_1} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial F}{\partial x_c}|_{t_n} & \frac{\partial F}{\partial y_c}|_{t_n} & \frac{\partial F}{\partial z_c}|_{t_n} \end{bmatrix},$$

$$\frac{\partial F(T)}{\partial x_c} = \frac{x_2(T) - x_c}{R_2(T)} - \frac{x_1(T) - x_c}{R_1(T)},$$

$$\frac{\partial F(T)}{\partial y_c} = \frac{y_2(T) - y_c}{R_2(T)} - \frac{y_1(T) - y_c}{R_1(T)},$$

$$\frac{\partial F(T)}{\partial z_c} = \frac{z_2(T) - z_c}{R_2(T)} - \frac{z_1(T) - z_c}{R_1(T)},$$

σ - ошибка первичных измерений разности дальностей, зависящая от ширины спектра излучаемого сигнала

Матрица B имеет размерность $(3 \times n)$, где n - число независимых измерений (размер выборки) по числу измеряемых координат (x, y, z) .

Для оценки возможности определения координат источника излучения рассчитаем корреляционную матрицу ошибок измерения трех координат источника. Для расчетов примем следующие исходные данные: удаление источника излучения от измерительных средств - 10 км, ширина спектра излучения - 10 кГц, среднеквадратическая ошибка измерения разности дальностей на интервале корреляции сигнала - 15 км, скорость подвижного пункта приема вдоль оси x - 100 км/ч, время наблюдения источника излучения - 10 мин, исходные координаты неподвижного пункта приема - $x = 0, y = 0, z = 0$; исходные координаты подвижного пункта приема - $x = -7,5$ км, $y = 1$ км, $z = 0,6$ км. В результате расчетов корреляционная матрица ошибок измерения координат источника узкополосного излучения имеет вид

x [км ²]	y [км ²]	z [км ²]
0.0002132	-0.00022265	0.0002141
-0.00022265	0.00476327	-0.00746532
0.0002141	-0.00746532	0.02220735

Оценим зависимость потенциальной точности определения координат источника несанкционированного

излучения от времени его наблюдения при различных расстояниях между пунктами приема и источниками излучения.

На рисунках 3-6 показаны зависимости потенциальной точности определения координат наземного источника несанкционированного излучения от времени его наблюдения. При этом кривая 1 - при использовании двух пунктов приема - подвижного и неподвижного, кривая 2 - при использовании трех пунктов приема, два из которых являются подвижными. Из приведенных данных видно, что полученные потенциальные точности определения координат узкополосного источника несанкционированного излучения являются приемлемыми для определения его местонахождения.

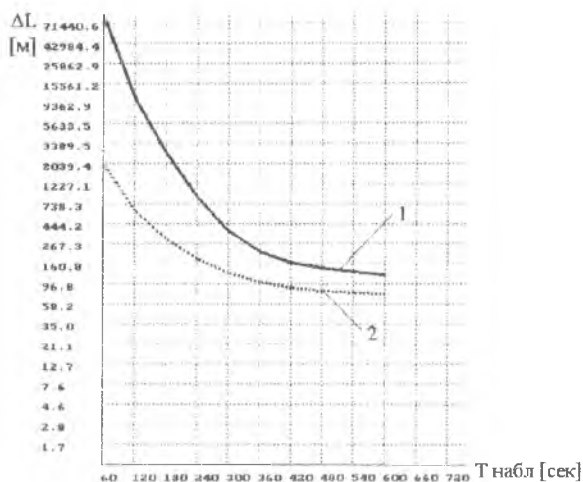


Рисунок 3 - Зависимость точности определения координат источника излучения от времени его наблюдения (дальность до источника 10 км)

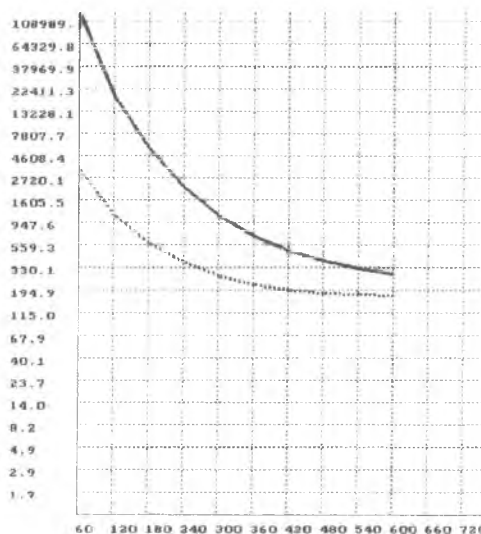


Рисунок 4 - Зависимость точности определения координат источника излучения от времени его наблюдения (дальность до источника 20 км)

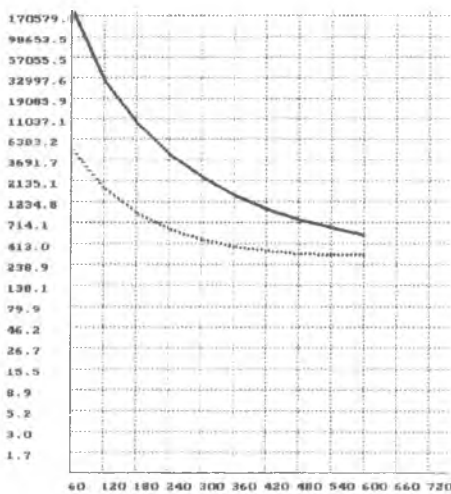


Рисунок 5 - Зависимость точности определения координат источника излучения от времени его наблюдения (дальность до источника 30 км)

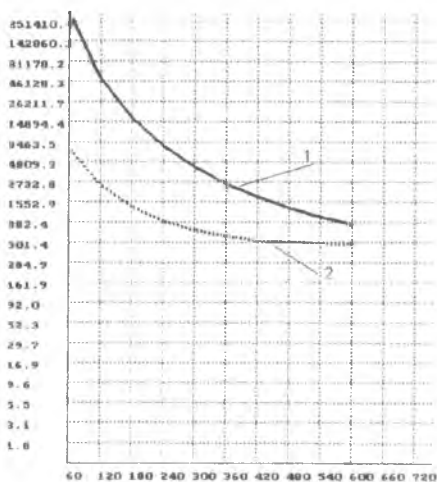


Рисунок 6 - Зависимость точности определения координат источника излучения от времени его наблюдения (дальность до источника 40 км)

Пусть местоположение источника излучения задается априорной плотностью его распределения $u(x, y, z)$. Воспользуемся результатами, полученными в [5], для осуществления процесса совместного поиска и обнаружения излучающего объекта с использованием априорной информации. Оптимизационная задача при этом формулируется в следующем виде

$$P_1(\gamma_1, t) = \iiint_{\Omega(t)} u(x, y, z) P(\gamma_1 / H_1, x, y, z) dx dy dz \rightarrow \max$$

$$\lambda(x, y, z, t) \geq 0, (x, y, z) \in \Omega(t), t > 0$$

$$\iiint_{\Omega(t)} \lambda(x, y, z, t) dx dy dz = L_0, t > 0; \quad (1)$$

$$\int_0^t \lambda(x, y, z, t) dt = \varphi(x, y, z, t)$$

$$\iiint_{\Omega(t)} \varphi(x, y, z, t) dx dy dz = L_0 t,$$

где $\Omega(t)$ - текущая зона обзора зоны поиска Ω (рис.7); $P_1(\gamma_1, t)$ - безусловная вероятность обнаружения излучающего объекта за время t в текущей зоне обзора $\Omega(t)$; $P(\gamma_1 / H_1, x, y, z)$ - условная вероятность обнаружения объекта; L_0 - заданная функция; $\lambda(x, y, z, t)$ - функция плотности поиска или стратегия поиска; $\varphi(x, y, z, t)$ - поисковое усилие в точке (x, y, z) на момент времени t .



Рисунок 7 - Соотношение текущей зоны обзора $\Omega(t)$ и зоны поиска Ω

Решение оптимизационной задачи (1) будем искать в классе равномерно-оптимальных стратегий поиска [5]. Методика решения заключается в следующем: по априорным данным о возможном положении источника излучения находится плотность вероятности $u(x, y, z)$, определяется область первичного поиска, решается уравнение Аркина [5], находится мера области распространения стратегии поиска, которая определяет размеры текущей зоны обзора $\Omega(t)$ [5]. Стратегия поиска находится как

$$\lambda(x, y, z, t) = \begin{cases} \frac{L_0}{\Omega(t)}, & \text{для } (x, y, z) \in \left[-\frac{\Omega(t)}{2}, \frac{\Omega(t)}{2} \right] \\ 0, & \text{для } (x, y, z) \in \Omega \setminus \left[-\frac{\Omega(t)}{2}, \frac{\Omega(t)}{2} \right] \end{cases}, (2)$$

а функция поискового потенциала - в виде $\varphi(x, y, z) = \int_{u(x, y, z)} \lambda(x, y, z, t) dt$, где $t(x, y, z)$ - имеет смысл времени начала просмотра точек с координатами (x, y, z) зоны поиска Ω .

Определив количество поискового потенциала, накопленного в точках с координатами (x, y, z) зоны поиска, можно рассчитать условную и безусловную вероятности правильного обнаружения излучающего объекта за время поиска.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1 Предложен новый способ измерения координат источника несанкционированного узкополосного излучения в системе, состоящей из двух пунктов приема, один из которых расположен на подвижном носителе.

2. Сформулирована оптимизационная задача совместного поиска и обнаружения излучающего объекта с использованием априорной информации о его местонахождении. В общем виде получены выражения для меры области распространения стратегии поиска, которая определяет размеры текущей зоны обзора $\Omega(t)$ зоны поиска Ω , функции стратегии поиска и поискового потенциала.

3. Дальнейшей проработки требуют вопросы, связанные с оптимизацией траекторий носителей подвижных приемников излучения, вопросы, связанные с оптимизацией количества приемников излучения для удовлетворения требований по обеспечению заданной точности определения координат источника несанкционированного излучения.

4 В дальнейших исследованиях необходимо задаваться конкретными видами функций $u(x, y, z)$, $\lambda(x, y, z, t)$,

$\varphi(x, y, z, t)$ для получения показателей качества совместного поиска и обнаружения излучающих объектов

ЛИТЕРАТУРА

1 Кондратов В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы –М.: Радио и связь, 1986 –263 с.

2. Андронов А. Американские спутники радиоэлектронной разведки на геосинхронных орбитах // Зарубежное военное обозрение. -1993. -№ 12. -С.37-43.

3. Пат. 43565 А Украины, МКИ G 01 S 5/06. Спосіб визначення координат наземного джерела радіовипромінювання /Голкин Д.В., Деденок В.П., Худов Г.В., Березина С.І., Бутенко О.С. -№ 2001021234; Заявл. 20.02.2001; Опубл. 17.12.2001. Бюл № 11.

4. Пат. 46388 А України, МКИ G 01 S 5/06 Спосіб визначення координат джерела радіовипромінювання в однобазовому вимірювальному комплексі /Голкин Д.В., Деденок В.П., Худов Г.В., Березина С.І., Бутенко О.С. -№ 2001074694; Заявл. 05.07.2001; Опубл. 15.05.2002. Бюл. № 5.

5. Голкин Д.В., Худов Г.В. Постановка задачи совместной байесовской оптимизации поиска и обнаружения объектов в радиолокационных системах// Системи обробки інформації. Зб. наук. праць /НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. -Вип.6. –С.383-389.

Поступила в редколлегию 04.07.2003

ХУДОВ Г.В., БЕРЕЗИНА С.І., КОЧУРА В.О., КОНОВАЛОВ В.М. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ СУМІСНОГО ПОШУКУ, ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ДЖЕРЕЛА НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ВУЗЬКОСМУГОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СИСТЕМІ ПРИЙМАЧІВ ПОВІТРЯНОГО БАЗУВАННЯ ЩО РУХАЮТЬСЯ

Розглянуто можливість пошуку, виявлення та оцінки координат джерела несанкціонованого вузькосмугового випромінювання при використанні тільки двох пунктів прийому, один з яких пересувається у просторі. Розглянуто можливість використання априорної інформації про місцезнаходження випромінюючого об'єкту для здійснення його сумісного пошуку і виявлення.

HUDOV G.V., BEREZINA S.I., KOCHURA V.A., KONOVALOV V.M. ESTIMATION OF THE OPPORTUNITY OF JOINT SEARCH, DETECTION AND DEFINITION OF COORDINATES OF THE SOURCE OF THE NON-AUTHORIZED NARROW-BAND RADIATION IN SYSTEM OF MOVING RECEIVERS AIR BASING

The opportunity of search, detection and estimation of coordinates of a source of the non-authorized narrow-band radiation is considered at use only two items of reception, one of which moves in space. The opportunity of use of the aprioristic information on a site of radiating object for realization of its joint search and detection is considered.

24 жовтня 2003 року в Національному університеті внутрішніх справ відбудеться

Міжнародна науково-практична конференція

“ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНЬОГО ЗАКОНОДАВСТВА ТА НОВИХ ФОРМ РОБОТИ В ПРАКТИЧНУ ДІЯЛЬНІСТЬ ПРАВООХОРОННИХ ОРГАНІВ”