



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008106388/09, 21.02.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.02.2008

(43) Дата публикации заявки: 27.08.2009

(45) Опубликовано: 27.01.2010 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2190236 C2, 27.09.2002. RU 2258941 C1, 20.08.2005. RU 2150122 C1, 27.05.2000. RU 2286583 C1, 27.10.2006. WO 2006114426 A1, 02.11.2006. US 2004203917 A1, 14.10.2004. US 5502450 A, 26.03.1996.

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, МГТУ  
им. Н.Э. Баумана, Центр защиты  
интеллектуальной собственности, Директору

(72) Автор(ы):

Грешилов Анатолий Антонович (RU),  
Плохута Павел Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана" (ГОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э.  
Баумана") (RU)

## (54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЗИМУТАЛЬНЫХ И УГЛОМЕСТНЫХ ПЕЛЕНГОВ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ С ПОВЫШЕННЫМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике, в частности к радиопеленгации, и может быть использовано в системах определения направления на источники радиоизлучения (ИРИ), работающих на одной частоте. Достижимым техническим результатом является повышение скорости определения пеленгов. Указанный результат достигается за счет существенного снижения вычислительной сложности определения азимутальных и угломестных пеленгов ИРИ, а также уменьшения необходимого количества элементов антенной системы (АС). Способ характеризуется разделением нелинейной АС на две логические части таким образом, чтобы линии отсчета азимутальных пеленгов каждой

из частей не были параллельны друг другу, выбором опорного элемента в каждой из выделенных частей АС, восстановлением вектора комплексных амплитуд сигналов, полученных с выхода каждого элемента АС, с последующим его разделением, соответствующим логическому разделению АС, вычислением азимутального и угломестного пеленгов для каждого ИРИ в системах координат, связанных с первой и со второй логическими частями АС, для определения азимутальных  $\theta_k$  и угломестных  $\beta_k$  пеленгов ИРИ использованием процедуры поиска максимумов квадрата модуля одномерного углового спектра в совокупности с соответствующими вычислительными выражениями.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2008106388/09, 21.02.2008**

(24) Effective date for property rights:  
**21.02.2008**

(43) Application published: **27.08.2009**

(45) Date of publication: **27.01.2010 Bull. 3**

Mail address:  
**105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, MGTU  
im. N.Eh. Baumana, Tsentr zashchity  
intellektual'noj sobstvennosti, Direktoru**

(72) Inventor(s):

**Greshilov Anatolij Antonovich (RU),  
Plokhuta Pavel Anatol'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie  
vysshego professional'nogo obrazovanija  
"Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij  
universitet imeni N.Eh. Baumana" (GOU VPO  
"MGTU im. N.Eh. Baumana") (RU)**

**(54) METHOD FOR DETECTION OF AZIMUTHAL AND ELEVATION BEARINGS OF RADIATION SOURCES WITH IMPROVED EFFICIENCY**

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering.

SUBSTANCE: specified result is achieved by considerable reduction of computing complexity for detection of azimuthal and elevation bearings of radiation sources (RS), and also reduction of required number of antenna system (AS) elements. Method is characterised by separation of nonlinear AS into two logical parts so that lines of azimuthal bearings count in each part are not parallel to each other, selection of reference element in each of separated AS parts, recovery of vector of complex

signal amplitudes, obtained from output of each AS element, with its further separation that corresponds to logical separation of AS, calculation of azimuthal and elevation bearings for each RS in systems of coordinates connected to the first and second logical parts of AS, for detection of azimuthal  $\theta_k$  and elevation  $\beta_k$  bearings of RS by application of procedure for searching of maximums of one-dimensional angular spectrum module square in combination with according computing expressions.

EFFECT: increased speed of bearings detection.

RU 2 380 720 C2

RU 2 380 720 C2

Область техники

Изобретение относится к радиотехнике, в частности к радиопеленгации, и может быть использовано в системах определения направления на источники радиоизлучения, работающие на одной частоте.

Уровень техники

Пеленгация источников радиоизлучения (ИРИ) имеет место в процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки. При этом необходимо определять не только азимутальные, но и угломестные пеленги ИРИ, что серьезно увеличивает вычислительную сложность соответствующих методов.

Известен способ [1], согласно которому азимутальные и угломестные пеленги определяют посредством поиска максимумов квадрата модуля углового спектра, полученного при помощи двумерного преобразования Фурье от свертки комплексных сигналов, полученных с  $m$ -го элемента антенной системы (АС), где  $m=1; 2; \dots; M$ ,  $M$  - количество элементов АС, и комплексного сигнала с опорного элемента АС.

Недостатком этого способа является высокая вычислительная сложность, обусловленная необходимостью вычисления двумерного преобразования Фурье, и необходимостью наличия в АС достаточно большого количества элементов для получения приемлемых результатов.

Раскрытие изобретения

Достижимый технический результат - существенное повышение быстродействия (скорости) определения азимутальных и угломестных пеленгов при приеме радиосигналов нескольких ИРИ, работающих на одной частоте, с использованием нелинейных (в том числе кольцевых) АС, состоящих из слабонаправленных элементов (вibratorов). Повышение скорости определения пеленгов достигается за счет существенного снижения вычислительной сложности определения азимутальных и угломестных пеленгов ИРИ, а также уменьшения необходимого количества элементов АС.

Способ определения азимутальных и угломестных пеленгов источников радиоизлучения с повышенным быстродействием характеризуется разделением нелинейной АС на две логические части таким образом, чтобы линии отсчета азимутальных пеленгов каждой из частей не были параллельны друг другу, выбором опорного элемента в каждой из выделенных частей АС, восстановлением вектора комплексных амплитуд сигналов, полученных с выхода каждого элемента АС, с последующим его разделением, соответствующим логическому разделению АС, вычислением азимутального и угломестного пеленгов для каждого ИРИ в системах координат, связанных с первой и со второй логическими частями АС, для определения азимутальных  $\theta_k$  и угломестных  $\beta_k$  пеленгов ИРИ использованием процедуры поиска максимумов квадрата модуля одномерного углового спектра в совокупности с формулами:

$$\theta_k = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{P_2 - P_1 \cos \gamma}{P_1 \sin \gamma} \right\}, \beta_k = \operatorname{arccos} \left\{ \frac{P_1}{\cos \theta_k} \right\},$$

где  $P_1 = \cos \theta_k \cos \beta_k$ ;  $P_2 = \cos(\theta_k - \gamma) \cos \beta_k$ , и величины  $P_1$  и  $P_2$  соответственно уже получены по первой и по второй логическим частям АС;  $\gamma$  - угол между соответствующими линиями отсчета пеленгов, связанными соответственно с первой и второй логической частями АС;  $k$  - номер ИРИ,  $k = 1; 2; \dots; K$ , где  $K$  - общее количество обнаруженных ИРИ.

## Осуществление изобретения

Способ осуществляют в следующем образом.

1. Нелинейную АС логически разделяют на две части таким образом, чтобы линии отсчета азимутальных пеленгов каждой из частей не были параллельны друг другу (системы координат, связанные с каждой из частей, были развернуты друг относительно друга). В каждой из частей выбирают опорный элемент (элемент, относительно которого производится измерение набегов фаз на остальных элементах части АС). Одни и те же элементы АС могут входить в обе выделенные части одновременно.

2. Восстанавливают вектор комплексных амплитуд сигналов  $y=[y_1 y_2 \dots y_M]^T$ , полученных с выхода каждого элемента АС. Вектор  $y$  восстанавливают единожды для всей АС (производится одно физическое измерение). Затем происходит его разделение на две логические части, соответствующие частям АС, выделенным в пункте 1.

3. Любым способом, например, при помощи поиска максимумов квадрата модуля одномерного углового спектра вычисляют произведение косинусов азимутального и угломестного пеленгов для каждого ИРИ в системах координат, связанных с первой и со второй логическими частями АС (в аналитическое выражение комплексной амплитуды сигнала на  $m$ -м элементе АС азимутальные и угломестные пеленги входят в качестве произведения их косинусов), причем вычисления производят на основе набегов фаз на элементах АС относительно соответствующих опорных вибраторов (выбранных в пункте 1).

4. Азимутальные пеленги  $\theta_k$  всех ИРИ, измеренные в системах координат, связанных с различными логическими частями АС, отличаются на величину угла  $\gamma$  между соответствующими линиями отсчета пеленгов. Обозначим величину произведения косинусов азимутальных  $\theta_k$  и угломестных  $\beta_k$  пеленгов  $k$ -го ИРИ,  $k=1; 2; \dots; K$ , где  $K$  - количество ИРИ, полученного в системе координат, связанной с первой логической частью АС,  $P_1$ . Величину аналогичного произведения, полученного в системе координат, связанной со второй логической частью АС, обозначим  $P_2$ . Тогда имеем:

$$\begin{cases} \cos\theta_k \cos\beta_k = P_1 \\ \cos(\theta_k - \gamma) \cos\beta_k = P_2 \end{cases} \quad (1)$$

Выполнив необходимые тригонометрические преобразования, получают следующие формулы для вычисления азимутального  $\theta_k$  и угломестного  $\beta_k$  пеленгов  $k$ -го ИРИ:

$$\theta_k = \arctg \left\{ \frac{P_2 - P_1 \cos \gamma}{P_1 \sin \gamma} \right\}, \quad (2)$$

$$\beta_k = \arccos \left\{ \frac{P_1}{\cos \theta_k} \right\}. \quad (3)$$

Следует отметить, что операции, имеющие место в формулах (2) и (3), не представляют большой вычислительной сложности и соответственно требуют малых временных затрат, а именно временные затраты на осуществление вычислений по формулам (2) и (3) в совокупности с процедурой поиска максимумов квадрата модуля одномерного углового спектра требуют серьезно меньших затрат времени, чем процедура поиска максимумов квадрата модуля одномерного углового спектра, так как размерность сетки пеленгов, по которой осуществляется поиск, в двухмерном

случае больше размерности сетки в одномерном случае в  $N$  раз, где  $N$  - количество элементов сетки по угломестным пеленгам. Если сетка по угломестному пеленгу задана с шагом хотя бы в  $1^\circ$ , то размерность сетки в двухмерном случае увеличивается в 90 раз по отношению к размерности сетки в одномерном случае (считаем, что угломестный пеленг может принимать значения в интервале  $[0^\circ; 90^\circ]$ ).

Предлагаемый способ может применяться в совокупности с любым способом пеленгации для уменьшения вычислительных (а соответственно и временных) затрат на вычисление азимутальных и угломестных пеленгов ИРИ, так как вычисление произведения косинусов азимутального и угломестного пеленгов гораздо менее сложная операция, чем вычисление упомянутых пеленгов по отдельности.

Полученные пеленги можно визуально отобразить на картографическом фоне.

Приведем модельный пример. Рассмотрим пеленгацию двух ИРИ, работающих на частоте 20 МГц. Азимутальные пеленги  $\theta=[30^\circ 50^\circ]^T$ , угломестные пеленги  $\beta=[45^\circ 35^\circ]^T$  и амплитуды  $u=[10 \text{ мВ } 1 \text{ мВ}]^T$ . Помеху вводить не будем. Пеленгацию будем осуществлять в диапазоне азимутальных пеленгов  $[0^\circ; 180^\circ]$  и угломестных пеленгов  $[0^\circ; 90^\circ]$  посредством линейной двухплоскостной АС, состоящей из 16 вибраторов. Угол между плоскостями  $\gamma=45^\circ$ .

Найдем величины произведений  $\cos\theta_1 \cos\beta_1$  и  $\cos\theta_2 \cos\beta_2$  на основе данных, полученных с первой плоскости АС:

$$\cos\theta_1 \cos\beta_1 = 0,6124,$$

$$\cos\theta_2 \cos\beta_2 = 0,5265.$$

Далее аналогично найдем величины тех же произведений на основе данных, полученных со второй плоскости АС. При этом учтем, что вторая плоскость АС развернута относительно первой на угол  $\gamma$ .

$$\cos\tilde{\theta}_1 \cos\beta_1 = \cos(\theta_1 - \gamma) \cos\beta_1 = 0,6830,$$

$$\cos\tilde{\theta}_2 \cos\beta_2 = \cos(\theta_2 - \gamma) \cos\beta_2 = 0,8160.$$

По формулам (2) и (3) получаем для каждого ИРИ искомые значения величин  $\theta$  ( $30^\circ$  и  $50^\circ$ ) и  $\beta$  ( $45^\circ$  и  $35^\circ$ ).

Источники информации

1. Патент РФ №2190236, МПК G01S 5/04, 2005 г.

### Формула изобретения

Способ определения азимутальных и угломестных пеленгов источников радиоизлучения, включающий разделение нелинейной антенной системы на две логические части таким образом, чтобы линии отсчета азимутальных пеленгов каждой из частей не были параллельны друг другу; выбор опорного элемента в каждой из выделенных частей антенной системы; восстановление вектора комплексных амплитуд сигналов, полученных с выхода каждого элемента антенной системы, с последующим его разделением, соответствующим логическому разделению антенной системы; использование для определения азимутальных  $\theta_k$  и угломестных  $\beta_k$  пеленгов для каждого источника радиоизлучения в системах координат, связанных с первой и со второй логическими частями антенной системы, отличающийся тем, что при помощи процедуры поиска максимумов квадрата модуля одномерного углового спектра определяют произведение косинусов азимутального и угломестного пеленгов для каждого источника радиоизлучения с использованием измеренных набегов фаз на элементах антенной системы относительно выбранного опорного элемента и с учетом

того, что в аналитическое выражение комплексной амплитуды сигнала на соответствующем элементе антенной системы азимутальные и угломестные пеленги входят в качестве произведения их косинусов, обозначают величину произведения косинусов азимутальных  $\theta_k$  и угломестных  $\beta_k$  пеленгов как  $P_1 = \cos\theta_k \cos\beta_k$  - в системе координат, связанной с первой логической частью антенной системы, и  $P_2 = \cos(\theta_k - \gamma) \cos\beta_k$  - в системе координат, связанной со второй логической частью антенной системы, где  $k=1, 2, \dots, K$ ,  $k$  - номер источников радиоизлучения,  $K$  - количество источников радиоизлучения, полученное в системах координат, связанных с первой и второй частями антенной системы,  $\gamma$  - угол между соответствующими линиями отсчета пеленгов, связанными соответственно с первой и второй логическими частями антенной системы, и вычисляют азимутальный и угломестный пеленги для  $k$ -го источника радиоизлучения в соответствии с формулами

$$\theta_k = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{P_2 - P_1 \cos \gamma}{P_1 \sin \gamma} \right\}, \beta_k = \operatorname{arccos} \left\{ \frac{P_1}{\cos \theta_k} \right\}.$$