


 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012127193/07, 29.06.2012

 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 29.06.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.06.2012

(45) Опубликовано: 27.10.2013 Бюл. № 30

 (56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: RU 2380719 C2, 27.01.2010. RU 2253877 C2,
 10.06.2005. RU 2383897 C1, 10.03.2010. RU
 2381519 C2, 10.02.2010. RU 2267134 C2,
 27.12.2005. US 6127974 A, 03.10.2000. US
 6469657 B1, 22.10.2002. WO 2005045459 A3,
 07.07.2003. US 6064338 A, 16.05.2000. EP 632286
 A2, 04.01.1995.

Адрес для переписки:

 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр.1,
 МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, А.А.
 Грешилову (ФН-1)

(72) Автор(ы):

Грешилов Анатолий Антонович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

 Федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 "Московский государственный технический
 университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
 им. Н.Э. Баумана) (RU)

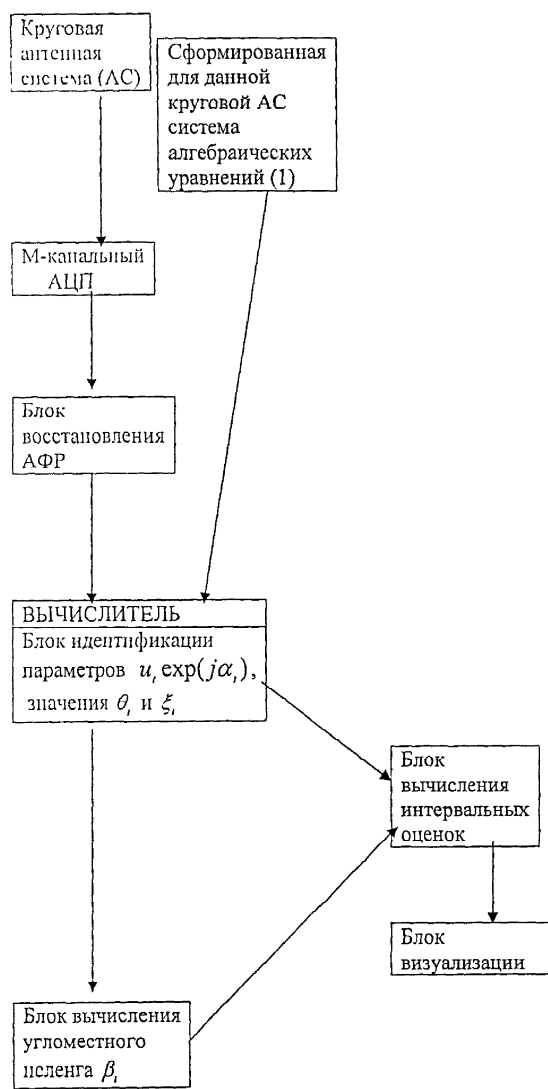
**(54) СПОСОБ МНОГОСИГНАЛЬНОЙ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ
 НА ОДНОЙ ЧАСТОТЕ ДЛЯ КРУГОВОЙ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике, в частности к радиопеленгации. Достижимый технический результат - повышение скорости пеленгации при приеме радиосигналов нескольких источников радиоизлучения, работающих на одной частоте, с использованием круговых антенных систем (АС), состоящих из слабонаправленных элементов (вибраторов). Повышение скорости пеленгации достигается за счет использования эффективного алгоритма идентификации параметров радиосигналов, а именно получение пеленгов осуществляют в круговой АС посредством предварительного введения в вычислитель системы уравнений, сформированной для конкретной предварительно образмеренной круговой АС и при заданных значениях азимутальных пеленгов θ_k в заданных диапазонах:

$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^N (u_i \exp(j\alpha_i) \xi_i^{\cos \gamma_m + j\theta_{li} \sin \gamma_m})$$

; $m \in [1, M]$ $\xi_i = \exp(j(2\pi R/\lambda) \cos \theta_i \cos \beta_i)$ $u_i \exp(j\alpha_i)$ - комплексная амплитуда сигнала i -го ИРИ; R - радиус АС; λ - длина волны сигнала, излучаемого ИРИ; α_i - начальная фаза i -го сигнала; γ_m - угол между линией, проведенной через центр АС и ее m -й элемент АС, и линией отсчета азимутальных пеленгов; M - количество элементов (вибраторов) круговой АС; K - количество ИРИ; N - количество заданных дискрет азимутального пеленга; на выходе решения указанной системы уравнений получают значения параметров амплитуд $u_i \exp(j\alpha_i)$ и значений ξ_i , которые вместе с заданными значениями θ_i поступают на вход блока вычисления угломестных пеленгов β_i через функцию арккосинус из условия: $\xi_i = \exp(j(2\pi R/\lambda) \cos \theta_i \cos \beta_i)$. 1 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2012127193/07, 29.06.2012

(24) Effective date for property rights:
29.06.2012

Priority:

(22) Date of filing: 29.06.2012

(45) Date of publication: 27.10.2013 Bull. 30

Mail address:

105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, str.1,
MGТУ im. N.Eh. Bauman, TsZIS, A.A.
Greshilovu (FN-1)

(72) Inventor(s):

Greshilov Anatolij Antonovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.Eh. Bauman" (MGТУ im. N.Eh. Bauman)
(RU)

(54) METHOD FOR MULTI-SIGNAL DIRECTION-FINDING OF RADIO SOURCES AT SAME FREQUENCY FOR CIRCULAR ANTENNA SYSTEM

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering, communication.

SUBSTANCE: speed of direction-finding is increased using an efficient algorithm for identifying radio signal parameters. In particular, bearings are obtained in a circular antenna system via preliminary input of a system of equations into the computer, said system being derived for a specific pre-measured circular antenna system and at given values of azimuths θ_k in given ranges:

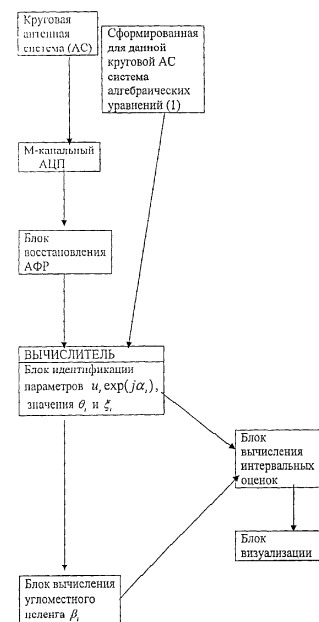
$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^N (u_i \exp(j\alpha_i) \xi_i^{\cos \gamma_m + \lg \alpha_{i1}} \sin \gamma_m);$$

$m \in [1, M]$ $\xi_i = \exp(j(2\pi R/\lambda) \cos \theta_i \cos \beta_i)$ $u_i \exp(j\alpha_i)$ is the complex amplitude of the signal of the i -th radio source; R is the radius of the antenna system; λ is the wavelength of the signal emitted by the radio source; α_i is the initial phase of the i -th signal; γ_m is the angle between a line passing through the centre of the antenna system and the m -th element of the antenna system and the line of origin of the azimuths; M is the number of elements (dipoles) of the circular antenna system; K is the number of radio sources; N is the number of given azimuth samples; at the output of the solution of said system of equations, values of parameters of amplitudes $u_i \exp(j\alpha_i)$ and values ξ_i are obtained, which, along with given values θ_i , are transmitted to the input of the unit for

calculating elevation bearings β_i through an arccosine function based on the condition: $\xi_i = \exp(j(2\pi R/\lambda) \cos \theta_i \cos \beta_i)$.

EFFECT: high rate of direction-finding when receiving radio signals of multiple radio sources operating at the same frequency using circular antenna systems consisting of low-directivity elements.

1 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к радиотехнике, в частности к радиопеленгации. Многосигнальная пеленгация источников радиоизлучения (ИРИ) имеет место в процессе мониторинга радиоэлектронной обстановки при многолучевом распространении радиоволн, воздействии преднамеренных и непреднамеренных помех, отражениях сигнала от различных объектов и слоев атмосферы.

Задача радиопеленгации является некорректной. Большинство методов многосигнальной пеленгации на одной частоте, описанных в литературе, опираются на статистические методы проверки гипотез, на метод максимума правдоподобия, сверхразрешающие методы (например, MUSIC) и др. Однако задача пеленгации ИРИ как некорректная задача не может быть решена надежно ни статистическими методами, достоверность результата которых определяется точностью полученных оценок параметров сигналов; ни методом наименьших квадратов (МНК) в силу нелинейности и плохой обусловленности решаемой системы уравнений; ни сверхразрешающими методами, которые дают приемлемые результаты лишь при высоких соотношениях сигнал/шум и не обеспечивает разрешение ИРИ, имеющих близкие по значениям пеленги.

Все способы пеленгации имеют много общего: радиосигналы источников принимают посредством антенной системы (АС), получают комплексные амплитуды сигналов на выходах элементов антенн (вектор амплитудно-фазового распределения (АФР)) и по этим данным определяют значения параметров сигналов. Отличие состоит в том, по каким алгоритмам обрабатывают зарегистрированные антенной системой сигналы.

Известны способы пеленгации с повышенной разрешающей способностью [1, 2].

В патенте [2] задача решается с помощью l_p -регуляризации. Этот способ требует достаточно много времени для обработки сигнала, что не позволяет его применить в оперативной обстановке, и квалифицированных операторов, т.к. в методе необходимо для каждого измерения задавать значения параметра регуляризации и показатель степени регуляризирующего (функционала). Однозначных подходов для их выбора не существует.

Поэтому в качестве прототипа принят способ, описанный в патенте [1]: Способ многосигнальной пеленгации источников радиоизлучения на одной частоте включает в себя прием многолучевого сигнала посредством многоэлементной АС, синхронное преобразование ансамбля принятых сигналов, зависящих от времени и номера элемента ЛС, в цифровые сигналы, преобразование цифровых сигналов в сигнал-вектор АФР $y(u, \theta, \beta)$, описывающий распределение амплитуд и фаз на элементах АС.

Способ-прототип обладает следующими недостатками:

- предназначен для линейных, а не круговых АС;
- для круговой АС не удастся свести задачу к системе алгебраических уравнений, в которых неизвестные переменные имеют целочисленные показатели степени;
- нельзя исключить неизвестные амплитуды сигналов на первом этапе решения задачи, тем самым разделить амплитуды сигналов и пеленги излучателей;
- не всегда требуется дополнительная операция для отдельного определения азимутальных θ и угломестных β пеленгов.

Указанные недостатки не позволяют применять прототип в реальных условиях для которых АС, которые более компактны и распространены, чем линейные АС.

Предлагаемый способ свободен от указанных недостатков и является параметрическим методом многосигнального пеленгования на одной частоте. Сигналы рассматриваются как детерминированные, подверженные аддитивной

помехе, оценки параметров которых подлежат определению. В качестве АС рассматривается круговая АС, состоящая из нескольких слабонаправленных элементов (вибраторов). В качестве фазового центра (точки, относительно которой происходит измерение фаз сигналов, приходящих на элементы антенной системы) выбирается один из вибраторов.

Ставят задачу определения следующих параметров присутствующих в эфире ИРИ:

- амплитуды (мощности) излучаемых сигналов;

- азимутальных и угломестных пеленгов ИРИ,

- исключения дополнительной операции для раздельного определения азимутальных θ и угломестных β пеленгов,

- для повышения быстродействия выполнения последовательности простых математических операций, не требующих больших вычислительных затрат.

Задача изобретения - свести обработку реальных сигналов ИРИ к простейшим формулам, чтобы минимизировать время вычислительной обработки для определения пеленга.

В изобретении задача решается следующим образом: способ многосигнальной пеленгации источников радиоизлучения (ИРИ) на одной частоте включает в себя прием многолучевого сигнала посредством многоэлементной АС, синхронное преобразование ансамбля принятых сигналов, зависящих от времени и номера элемента АС, в цифровые сигналы, преобразование цифровых сигналов в сигнал-вектор амплитудно-фазового распределения (АФР) $y(u, \theta, \beta)$, описывающий распределение на элементах АС амплитуд u и фаз, определяющих θ и β - азимутальный и угломестный пеленги ИРИ соответственно. При этом получение пеленгов осуществляют в круговой АС посредством предварительного введения в вычислитель сформированной для конкретной предварительно образмеренной круговой АС (и с заданными значениями вектора в азимутальных пеленгов в заданном диапазоне) системы уравнений для m -го элемента АС:

$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^N (u_i \exp(j\alpha_i) \xi_i^{\cos \gamma_m + j\theta_i \sin \gamma_m}) ; m \in [1, M]$$

где $\xi_i = \exp(j(2\pi R/\lambda) \cos \theta_i \cos \beta_i)$;

$u_i \exp(j\alpha_i)$ - комплексная амплитуда сигнала i -го ИРИ;

R - радиус АС;

λ - длина волны сигнала, излучаемого ИРИ;

α_i - начальная фаза i -го сигнала;

γ_m - угол между линией, проведенной через центр АС и ее m -й элемент АС, и линией отсчета азимутальных пеленгов;

M - количество элементов (вибраторов) круговой АС;

K - количество различных сигналов ИРИ (или количество ИРИ);

N - количество заданных дискрет азимутального пеленга;

далее на выходе решения указанной системы уравнений получают значения параметров амплитуд $u_i \exp(j\alpha_i)$ и значений ξ_i , которые вместе с заданными значениями θ_i поступают на вход блока вычисления угломестных пеленгов β_i через санкцию арккосинус из условия: $\xi_i = \exp(j(2\pi R/\lambda) \cos \theta_i \cos \beta_i)$.

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом посредством операций:

1. Задается диапазон только азимутальных пеленгов θ , в котором могут находиться излучаемые сигналы, например, от 0 до 360 градусов. Вектор этих значений или система таких векторов являются одной из характеристик круговой АС и формируется

до проведения измерений.

2. Формируется система алгебраических уравнений размерностью M на N , M - число элементов АС, N - число дискрет азимутальных пеленгов в выбранном диапазоне (обычно этот диапазон равен 360° , тогда в простейшем случае при

$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^N (u_i \exp(j\alpha_i) \xi_i^{\cos \gamma_m + \operatorname{tg} \theta_l \sin \gamma_m}); \quad m \in [1, M] \quad (1)$$

Эта система уравнений также является одной из характеристик круговой АС и формируется до проведения измерений.

3. Физические радиосигналы от K ИРИ принимают в реальном времени посредством круговой АС, содержащей M элементов (вибраторов).

4. Получают комплексные амплитуды сигналов на выходах антенн (вектор АФР). m -й элемент вектора АФР имеет вид

$$y_m = \sum_{i=1}^K u_i \exp\{j\varphi_m(\theta_i, \beta_i)\} + n_m \quad (2)$$

где K - количество ИРИ, u_i - амплитуда сигнала i -го ИРИ, $\varphi_m(\theta_i, \beta_i)$ - фаза сигнала i -го ИРИ на m -м элементе АС (вибраторе), зависящая от азимутального и угломестного пеленгов i -го ИРИ θ_i и β_i соответственно, n_m - шум, имеющий место на m -м элементе (вибраторе), включающий в себя шум мирового фона и аппаратуры.

5. Комплексные амплитуды сигналов на выходах антенн (вектор АФР) поступают в вычислитель через M -канальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), далее блок восстановления АФР, то есть получение дискретных комплексных значений огибающих сигналов.

Процедуру определения параметров в блоке идентификации параметров осуществляют на основе синхронного измерения выходов элементов M -элементной круговой АС в моменты времени t (примечание: увеличить число уравнений в системе (1) для повышения точности решения можно путем учета значений вектора АФР, полученного в различные моменты времени).

Выход y_m m -го элемента круговой АС имеет вид

$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K u_i \exp(j(2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i - \gamma_m) \cos \beta_i + \alpha_i) \quad (3)$$

где u - вектор амплитуд (мощностей) сигналов, излучаемых ИРИ;

θ, β - векторы азимутальных и угломестных пеленгов ИРИ соответственно;

R - радиус АС;

λ - длина волны сигнала, излучаемого ИРИ;

α_i - начальная фаза i -го сигнала (i -го ИРИ);

γ_m - угол между линией, проведенной через центр АС и ее m -й элемент, и линией отсчета азимутальных пеленгов.

Применим к (3) простейшие преобразования

$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K y_i \exp(j\alpha_i) \exp(j(2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i - \gamma_m) \cos \beta_i)$$

$$\text{Обозначим } \xi_i = \exp(j(2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i) \cos \beta_i). \quad (4)$$

Тогда $((2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i - \gamma_m) \cos \beta_i) / ((2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i) \cos \beta_i) = \cos \gamma_m + \operatorname{tg} \theta_i \sin \gamma_m$.

Отсюда $((2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i - \gamma_m) \cos \beta_i) = ((2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i) \cos \beta_i) (\cos \gamma_m + \operatorname{tg} \theta_i \sin \gamma_m)$

или

$$\exp(j(2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i - \gamma_m) \cos \beta_i) =$$

$$(\exp(j(2\pi R / \lambda) \cos(\theta_i) \cos \beta_i))^{\cos \gamma_m + \operatorname{tg} \theta_i \sin \gamma_m} = \xi_i^{\cos \gamma_m + \operatorname{tg} \theta_i \sin \gamma_m}, \quad \text{т.е.}$$

$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K (u_i \exp(j\alpha_i)) = \sum_{i=1}^K u_i \exp(j\alpha_i) \xi_i^{\cos \gamma_m + \operatorname{tg} \theta_i \sin \gamma_m}; \quad m \in [1, M], \quad (5)$$

$A_i = u_i \exp(j\alpha_i)$ - комплексная амплитуда i -го сигнала.

Получили систему алгебраических уравнений (5). Для ее решения в вычислителе сформирована сетка по θ ($\theta \neq \frac{\pi}{2} \pm n\pi$) для каждого поступающего сигнала,

например, $\theta \in [0, 360]$, $\Delta\theta = 1$ (тогда $N = 360/1 = 360$). Получаем систему, в которой для каждого i -го сигнала задается набор значений θ_{i1} :

$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^N (u_i \exp(j\alpha_i) \xi_i^{\cos \gamma_m + \operatorname{tg} \theta_{il} \sin \gamma_m}); \quad m \in [1, M]. \quad (6)$$

6. Введенное преобразование (4) позволяет разделить определение параметров сигналов на два шага, что обеспечивает получение более устойчивого к помехам решения. Процесс решения состоит из двух шагов: сначала из системы (6) найдем оценки комплексной амплитуды $u_i \exp(j\alpha_i)$, θ_i и ξ_i . Зная ξ_i и θ_i , по определению (4) найдем угломестный пеленг β_i посредством тригонометрической функции арккосинус.

7. В вычислитель поступает предварительно ранее сформированная система уравнений (6) при заданных значениях азимута θ_{i1} и вектор АФР. На выходе вычислителя получают комплексную амплитуду $u_i \exp(j\alpha_i)$, значения θ_i и ξ_i . Значения θ_i и ξ_i подают в блок вычисления угломестного пеленга β_i согласно определению (4).

8. Дисперсии полученных оценок определяют как дисперсии функции случайного аргумента. На основе полученных дисперсий строят соответствующие доверительные интервалы [3].

Операции способа поясняются Фиг.1 - структурной схемой устройства пеленгации.

Изложенный способ обладает высоким быстродействием, т.к. не содержит в себе операции, требующих больших вычислительных затрат.

Пример

Задана круговая АС с двумя элементами (вибраторами), отстоящими друг от друга на угол 30 градусов, то есть $\gamma_i = 0$; $\gamma_2 = \frac{\pi}{6}$.

Запишем для двух сигналов 1-е и 2-е уравнения из системы (6). В примере отразим тот факт, что для каждого сигнала ряды значений азимутального пеленга θ могут быть различными (например, на весь интервал 360 градусов дискретность изменения азимутального пеленга может быть различной - от долей до нескольких градусов):

$$\begin{aligned} y_1(u, \theta, \beta) &= u_1 \exp(j\alpha_1) \xi_1^{\cos 0 + \operatorname{tg} \theta_{11} \sin 0} + \dots + u_1 \exp(j\alpha_1) \xi_1^{\cos 0 + \operatorname{tg} \theta_{1,360} \sin 0} + \\ &+ u_2 \exp(j\alpha_2) \xi_2^{\cos 0 + \operatorname{tg} \theta_{2,1} \sin 0} + \dots + u_2 \exp(j\alpha_2) \xi_2^{\cos 0 + \operatorname{tg} \theta_{2,360} \sin 0} \\ y_2(u, \theta, \beta) &= u_1 \exp(j\alpha_1) \xi_1^{\cos \frac{\pi}{6} + \operatorname{tg} \theta_{11} \sin \frac{\pi}{6}} + \dots + u_1 \exp(j\alpha_1) \xi_1^{\cos \frac{\pi}{6} + \operatorname{tg} \theta_{1,360} \sin \frac{\pi}{6}} + \\ &+ u_2 \exp(j\alpha_2) \xi_2^{\cos \frac{\pi}{6} + \operatorname{tg} \theta_{2,1} \sin \frac{\pi}{6}} + \dots + u_2 \exp(j\alpha_2) \xi_2^{\cos \frac{\pi}{6} + \operatorname{tg} \theta_{2,360} \sin \frac{\pi}{6}} \end{aligned}$$

При заданных значениях $y_1(u, \theta, \beta), \dots, y_2(u, \theta, \beta)$ и θ , решая приведенную систему уравнений, находим оценки искомых параметров. Заметим, что для конкретной круговой АС система уравнений (6) (исключая столбец $y_1(u, \theta, \beta), \dots, y_2(u, \theta, \beta)$ будет

составлена заранее.

Для нового измерения (наблюдения) той же АС достаточно ввести новый столбец измеренных значений $y_1(u, \theta, \beta), \dots, y_2(u, \theta, \beta)$. И далее в процессе работы системы в вычислитель вводят только конкретный результат измерений для всех элементов (вibrаторов) круговой АС - только левую часть уравнений (6), то есть значения $y_1(u, \theta, \beta), \dots, y_2(u, \theta, \beta)$ и θ .

Таким образом, для получения пеленгов достаточно выполнения последовательности простых математических операций, не требующих больших вычислительных затрат.

Источники информации

1. Грешилов А.А. Патент RU 2380719, МПК G01S 5/04, опубл. 27.01.2010.

2. Грешилов А.А., Плохута П.А. Патент RU 2382379, МПК G01S 5/04, опубл. 20.02.2010.

3. Грешилов А.А. Математические методы принятия решений: Учебное пособие для вузов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 584 с.

Формула изобретения

Способ многосигнальной пеленгации источников радиоизлучения (ИРИ) на одной частоте, включающий в себя прием многолучевого сигнала посредством многоэлементной антенной системы (АС), синхронное преобразование ансамбля принятых сигналов, зависящих от времени и номера элемента АС, в цифровые сигналы, преобразование цифровых сигналов в сигнал-вектор амплитудно-фазового распределения (АФР) $y(u, \theta, \beta)$, описывающий распределение на элементах АС амплитуд и фаз, содержащих θ и β - азимутальные и угломестные пеленги ИРИ соответственно, отличающийся тем, что получение пеленгов осуществляют в круговой АС посредством предварительного введения в вычислитель системы уравнений, сформированной для конкретной предварительно образмеренной круговой АС и при заданных значениях азимутальных пеленгов θ в заданных диапазонах:

$$y_m(u, \theta, \beta) = \sum_{i=1}^K \sum_{l=1}^N (u_i \exp(j\alpha_i) \xi_i^{\cos \gamma_m + j \sin \gamma_m}) ; m \in [1, M],$$

где $\xi_i = \exp(j(2\pi R/\lambda) \cos \theta_i \cos \beta_i)$;

$u_i \exp(j\alpha_i)$ - комплексная амплитуда сигнала i -го ИРИ;

R - радиус АС;

λ - длина волны сигнала, излучаемого ИРИ;

α_i - начальная фаза i -го сигнала;

γ_m - угол между линией, проведенной через центр АС и ее m -й элемент АС, и линией отсчета азимутальных пеленгов;

M - количество элементов (вibrаторов) круговой АС;

K - количество различных сигналов ИРИ (или количество ИРИ);

N - количество заданных дискрет азимутального пеленга;

далее на выходе решения указанной системы уравнений получают значения параметров амплитуд $u_i \exp(j\alpha_i)$ и значений ξ_i , которые вместе с заданными значениями θ_i поступают на вход блока вычисления угломестных пеленгов β_i через функцию арккосинус из условия: $\xi_i = \exp(j(2\pi R/\lambda) \cos \theta_i \cos \beta_i)$.