



УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **107503**

(13) **U**

(51) МПК

G01S 3/02 (2006.01)

G01S 3/50 (2006.01)

G01S 3/74 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 12210**

(22) Дата подання заявки: **09.12.2015**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.06.2016**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.06.2016, Бюл.№ 11**

(72) Винахідник(и):

**Казаров Андрій Арташевич (UA),
Войтко Віталій Віталійович (UA),
Ільницький Анатолій Іванович (UA)**

(73) Власник(и):

**Казаров Андрій Арташевич,
вул. Світлицького, 26-б, кв. 129, м. Київ,
04215 (UA),
Войтко Віталій Віталійович,
вул. Мельникова, 81, в/ч, м. Київ, 04119
(UA),
Ільницький Анатолій Іванович,
вул. Дегтярівська, 30-в, кв. 63, м. Київ,
04119 (UA)**

(54) СПОСІБ ДВОКАНАЛЬНОГО ФАЗОВОГО МОНОІМПУЛЬСНОГО ПЕЛЕНГУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ СТАНЦІЯМИ РАДІОМОНІТОРИНГУ

(57) Реферат:

Спосіб двоканального фазового моноімпульсного пеленгування джерел радіовипромінювання станціями радіомоніторингу полягає у тому, що в процесі обчислення оцінок пеленгу враховують значення миттєвої несучої частоти для компенсації похибок, які виникають внаслідок невідповідності постійної фазометричної бази та невідомої довжини хвилі вхідного сигналу. Для усунення неробочих ділянок основної дискримінаційної характеристики навколо точок її розриву застосовують додаткову зворотну дискримінаційну характеристику, яка на цих ділянках забезпечує отримання відліку точного пеленгу. Після цього за критерієм мінімуму дисперсії похибки вимірювання вибирають найбільш достовірне значення точного пеленгу.

UA 107503 U

Корисна модель належить до галузі радіотехніки і може бути застосована для всього різноманіття станцій радіомоніторингу та у інших засобах (наприклад, засобах радіоконтролю тощо), що проводять моноімпульсне пеленгування джерел радіовипромінювань в умовах складної сигнально-завадової обстановки.

- 5 Найбільш близьким рішенням, вибраним за прототип, є спосіб двоканального фазового пеленгування джерел радіовипромінювань інтерференційного типу [1, 2], що формує оптимальну оцінку відносного пеленга, яка обчислюється за виразом:

$$|\beta^*| = \arcsin \left[\frac{\lambda_S^*}{\pi d} \arctg \left[\frac{X_{\Delta}^2(t)}{X_{\Sigma}^2(t)} \right]^{\frac{1}{2}} \right], \quad (1)$$

- 10 де λ_S^* - оцінка довжини хвилі вхідного сигналу з миттєвою несучою частотою ω_S , що вимірюється окремо;

d - величина фазометричної бази антенної системи пеленгатора;

$X_{\Sigma}^2(t)$, $X_{\Delta}^2(t)$ - сигнали сумарного та різницевого каналів пеленгатора.

Суть двобазового способу моноімпульсного пеленгування полягає у такому.

- 15 Якщо електромагнітна хвиля з несучою частотою у межах $\omega_H \leq \omega_S \leq \omega_B$ створює в точці прийому сигнал:

$$S(t) = S \cos(\omega_S t + \psi), \quad (2)$$

де S , ω_S , ψ - амплітуда, частота й початкова фаза прийнятого сигналу;

ω_B , ω_H - верхня і нижня межі частотного діапазону вхідних сигналів, то в антенах пеленгатора будуть наведені такі сигнали:

- 20 $S_1(t) = SF(\beta) \cos(\omega_S t + \varphi_1 + \varphi_2 + \psi)$; $S_2(t) = SF(\beta) \cos(\omega_S t - \varphi_1 + \varphi_2 + \psi)$;
 $S_3(t) = SF(\beta) \cos(\omega_S t + \varphi_1 - \varphi_2 + \psi)$; $S_4(t) = SF(\beta) \cos(\omega_S t - \varphi_1 - \varphi_2 + \psi)$, (3)

де $\varphi_1 = \frac{\pi d_1}{\lambda_S} \sin \beta$; $\varphi_2 = \frac{\pi d_2}{\lambda_S} \sin \beta$; $F(\beta)$ - діаграма направленості антен.

Після проходження відповідних сумарно-різницевих каналів грубого і точного трактів пеленгування сигнали (3) набувають вигляду:

- 25 $S_{\Sigma\Gamma}(\beta) = 2S^2 F^2(\beta) K_{\Gamma} \cos \left(\frac{2\pi d_1}{\lambda_S} \sin \beta \right)$;
 $S_{\Delta\Gamma}(\beta) = 2S^2 F^2(\beta) K_{\Gamma} \sin \left(\frac{2\pi d_1}{\lambda_S} \sin \beta \right)$;
 $S_{\Sigma T}(\beta) = 2S^2 F^2(\beta) K_T \cos \left(\frac{2\pi d_2}{\lambda_S} \sin \beta \right)$;
 $S_{\Delta T}(\beta) = 4S^2 F^2(\beta) K_T \sin \left(\frac{2\pi d_2}{\lambda_S} \sin \beta \right)$, (4)

де K_{Γ} , K_T - коефіцієнти передачі трактів грубого і точного пеленгування.

- 30 Для подальшої обробки сигнали (4) перетворюються у цифровий код та розраховуються грубі й точні оцінки значення відносного пеленгу:

$$|\beta_{\Gamma}^*| = \arcsin \left[\frac{\lambda_S^*}{2\pi d_1} \arctg[U_{\Gamma}(\beta)] \right];$$

$$|\beta_T^*| = \arcsin \left[\frac{\lambda_S^*}{2\pi d_2} \arctg[U_T(\beta)] \right], \quad (5)$$

- 35 де нормовані напруги $U_{\Gamma}(\beta)$ і $U_T(\beta)$ є функціями пеленгу і визначають вигляд дискримінаційних характеристик (ДХ) трактів грубого і точного пеленгування (фіг. 1, 2) та розраховуються за такими виразами:

$$U_{\Gamma}(\beta) = \frac{S_{\Delta\Gamma}(\beta)}{S_{\Sigma\Gamma}(\beta)} = \tg \left(\frac{2\pi d_1}{\lambda_S} \sin \beta \right);$$

$$U_T(\beta) = \frac{S_{AT}(\beta)}{S_{ST}(\beta)} = \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi d_2}{\lambda_S} \sin \beta \right). \quad (6)$$

Основний недолік прототипу полягає в тому, що на дискримінаційній характеристиці точного тракту (фіг. 2) існують кутові інтервали навколо точок розриву функцій $\operatorname{tg} 2\varphi$, де дисперсія оцінки пеленгу $D(\beta_T^*)$ швидко зростає до безкінечності. Це свідчить про суттєве погіршення точності пеленгування і втрат працездатності тракту точного пеленгування на цих ділянках через

недостовірність отриманих оцінок точного пеленгу. Як видно з наведеного виразу (1), для підвищення точності вимірювання відносного пеленгу β при фіксованій довжині хвилі λ_S вхідного сигналу необхідно збільшувати величину бази d

між елементами антенної системи пеленгатора. Але, оскільки різниця фаз $\varphi = \frac{\pi d}{\lambda_S} \sin \beta$

визначається з точністю до складової, кратної π , на базах $d > \frac{\lambda_S}{2}$ та у діапазоні значень

$-\frac{\pi}{2} < \beta < \frac{\pi}{2}$ виникає декілька відліків пеленгу β , тобто існує неоднозначність вимірювання. Її

можна усунути або застосуванням просторової селекції елементами антенної системи, коли у межах головної пелюстки різниця фаз φ не буде перевищувати 180° , або введенням додаткового (грубого) тракту пеленгування, величина фазометричної бази якого забезпечить однозначне вимірювання пеленгу в заданому секторі - так званий багатоскальний метод [3-5].

При першому варіанті підвищення точності пеленгування за рахунок збільшення фазометричної бази звужується сектор однозначного вимірювання пеленгу, що вимагає відповідного звуження діаграм направленості антенних елементів, тобто пеленгатор втрачає можливість працювати у достатньо широкому секторі без обертання антенної системи. Це суперечить вимогам щодо мінімального використання пошукових процедур, які значно погіршують перепускную здатність пеленгатора радіомоніторингу.

У другому варіанті з використанням двох і більше трактів пеленгування з різними фазометричними базами, підвищення точності вимірювань в одному тракті не перешкоджає роботі іншого в широкому секторі кутів, а результати спільної обробки значень пеленгів, отриманих від різних трактів пеленгування, будуть відповідати цим суперечливим вимогам. Тому застосування багатобазового методу пеленгування є доцільним.

Якщо фазометрична база тракту грубого пеленгування (ТГП) вибирається з умови $d_1 = \lambda_S / 2$, його вихідна напруга $\beta^* = \beta_{ТГ}^*$ однозначно характеризує значення відносного пеленгу в широкому секторі (фіг. 1).

Водночас, при однакових середньоквадратичних помилках (СКП) $\sigma_{U_{вим}}$ вимірювання вихідних напруг трактів пеленгування, у точному тракті з більшою базою d , внаслідок вищої крутизни ДХ $U_T = f(\beta)$, СКП $\sigma_{\beta_T^*}$ точних оцінок відносного пеленгу будуть меншими, ніж СКП $\sigma_{\beta_T^*}$ грубого тракту, але періодичність функції $\operatorname{tg}(2\varphi)$ обумовлює неоднозначність визначення точного значення пеленгу (фіг. 2 - $d_2 = 2\lambda_S$).

Усунути неоднозначність визначення β_T^* можна за критерієм мінімуму модуля різниці значень пеленгів, отриманих ДХ точного і грубого трактів:

$$\beta^* = \beta_{ТГ}^*; \text{ якщо } \beta, \quad (7)$$

де β_T^* , $\beta_{ТГ}^*$ - оцінки пеленгів у грубому і точному трактах пеленгатора;

$i = 2, \dots, N$ - кількість неоднозначних відліків пеленгу в точному тракті, яка залежить від співвідношення бази точного каналу пеленгування d_2 та довжини хвилі несучого коливання сигналу λ_S .

Так, для ДХ, зображеної на фіг. 1 у ТГП при сформованій напрузі $U_T^*(\beta)$ розраховується однозначне, але неточне значення пеленгу β_T^* . У точному тракті для напруги $U_T^*(\beta)$ розрахунки дають чотири значення пеленгу: $\beta_{Т1}^*, \dots, \beta_{Т4}^*$ (фіг. 2). Очевидно, що послідовним перебором отриманих відліків точних пеленгів за критерієм (7) можна визначити дійсну оцінку пеленгу $\beta_{Т3}^*$.

Таким чином, збільшення бази у тракці точного пеленгування (ТТП) забезпечуються кращі, але неоднозначні оцінки пеленгу. Після усунення цієї неоднозначності визначається точна та однозначна оцінка відносного пеленгу.

Точність оцінки пеленгу характеризується її дисперсією. Максимальний виграш K у точності пеленгування можна оцінити порівнянням дисперсій у грубому й точному трактах, знайдених у лінійному наближенні:

$$K = \frac{D(\beta_T^*)}{D(\beta_T)} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_T} \right)^2. \quad (8)$$

Тобто, виграш у точності пеленгування від застосування двобазового способу фазового пеленгування дорівнює зворотному відношенню величин фазометричних баз відповідних трактів, що вказує на можливість оцінювання ступеня підвищення точності пеленгування через співвідношення баз, та обумовлює вимогу щодо забезпечення максимальної різниці величин фазометричних баз трактів грубого й точного пеленгування.

З іншого боку, для надійної роботи критерію (7) щодо усунення неоднозначності пеленгування при виборі однозначного і точного значення пеленгу необхідно, щоб довірчий інтервал, обумовлений СКП σ_{β_T} визначення пеленгу у тракці грубого пеленгування, не перевищував ширину однозначної ділянки ДХ тракту точного пеленгування. Довірчий інтервал оцінки пеленгу у тракці грубого пеленгування вибирається за правилом "трьох сигм". При цьому необхідно, щоб аргумент функції tg не перевищував $\pm\pi/2$, тобто:

$$\frac{2\pi d_2}{\lambda_S} |\sin \beta| \leq \frac{\pi}{2}; \quad \frac{2\pi d_2}{\lambda_S} |\sin(3\sigma_{\beta_T})| \leq \frac{\pi}{2};$$

$$\frac{d_2}{\lambda_S} \leq \frac{1}{4|\sin(3\sigma_{\beta_T})|}. \quad (9)$$

Нерівність (9) є умовою забезпечення перекриття довірчого інтервалу оцінки пеленгу грубого тракту однозначною ділянкою ДХ точного тракту.

Аналіз дискримінаційних характеристик (фіг. 1, 2) показує, що на ДХ точного тракту існують кутові інтервали навколо точок розриву функцій $\text{tg}2\varphi$, де дисперсія $D(\beta_T^*)$ швидко зростає до безкінечності. Це свідчить про суттєве погіршення точності пеленгування і втрату працездатності тракту точного пеленгування на цих ділянках через недостовірність отриманих оцінок точного пеленгу.

Для усунення цього недоліку в алгоритм роботи обчислювального пристрою прототипу необхідно внести процедуру формування додаткової дискримінаційної характеристики (фіг. 3), яка буде зворотною до основної (фіг. 2) ДХ точного тракту і описується за таким виразом:

$$U^{\nabla}_T(\beta) = \frac{S_{\Sigma T}(\beta)}{S_{\Delta T}(\beta)} = \text{ctg} \left(\frac{2\pi d_2}{\lambda_S} \sin \beta \right). \quad (10)$$

Як видно з фіг. 3, введення додаткової, зворотної до основної ДХ пеленгатора, усуває погіршення точності пеленгування і втрати працездатності тракту точного пеленгування на кутових інтервалах навколо точок розриву функцій $\text{tg}2\varphi$.

Отже, загальний алгоритм способу пеленгування можна надати так: з кожного набору неоднозначних оцінок пеленгу, отриманих з використанням дискримінаційних характеристик $U_T(\beta)$ і $U^{\nabla}_T(\beta)$ - основної і зворотної (фіг. 2, 3) за умовою (7) відбирається по одному значенню β_T^* . Для цих значень з урахуванням грубої оцінки пеленгу β_T^* розраховуються (або відбираються з попередньо розрахованого масиву) відповідні величини дисперсій $D(\beta_T^*)$ і $D^{\nabla}(\beta_T^*)$. В результаті їх порівняння вибирається оцінка пеленгу β_T^* з меншою дисперсією, як більш достовірна.

Таким чином, в результаті аналізу залежності дисперсії оцінок пеленгу двобазовим фазовим моноімпульсним пеленгатором і вирішення проблемного питання щодо наявності на ДХ тракту точного пеленгування ділянок, де відлік точного пеленгу неможливий, запропоновано двоканальний фазовий спосіб моноімпульсного пеленгування, який відрізняється від відомих тим, що в процесі обчислення оцінок пеленгу враховує значення миттєвої несучої частоти для компенсації похибок, які виникають внаслідок невідповідності постійної фазометричної бази та невідомої довжини хвилі вхідного сигналу, а для усунення неробочих ділянок основної дискримінаційної характеристики навколо точок її розриву застосовується додаткова зворотна

ДХ, яка на цих ділянках забезпечує отримання відліку точного пеленгу, після чого за критерієм мінімуму дисперсії вибирається найбільш достовірне значення точного пеленгу.

Таким чином, спосіб двоканального фазового моноімпульсного пеленгування джерел радіовипромінювання станціями радіомоніторингу, який заявляється, відповідає критерію корисної моделі "новизна".

Перелік фігур креслень.

На фіг. 1 показана дискримінаційна характеристика грубого тракту пеленгування.

На фіг. 2 показана дискримінаційна характеристика точного тракту пеленгування - основна.

На фіг. 3 показана додаткова дискримінаційна характеристика точного тракту пеленгування - зворотна до основної.

Джерела інформації:

1. Роде Д.Р. Введение в моноимпульсную радиолокацию / Пер. с англ. Б.М. Герасимова, Под ред. Л.Д. Бахраха. - М.: Сов. радио. - 1960. - 160 с.

2. Леонов А.И. Моноимпульсная радиолокация. / А.И. Леонов, К.И. Фомичев - М.: Сов. радио. - 1970. - 392 с.

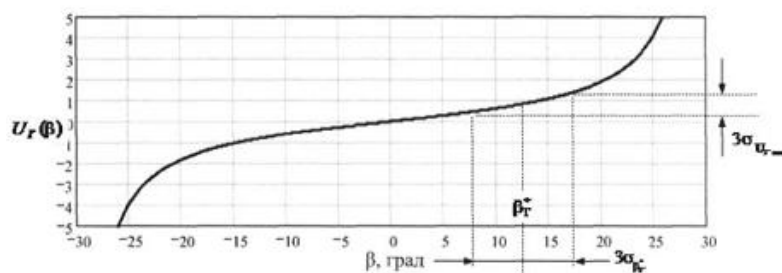
3. Радзиевский В.Г. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. / В.Г. Радзиевский, А.А. Сирота. - М.: Радиотехника. - 2004. - 432 с.

4. Рембовский А.М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. / А.М. Рембовский, А.В. Ашимхин, В.А. Козьмин; Под ред. А.М. Рембовского. - М.: Горячая линия - Телеком, 2006. - 492 с.

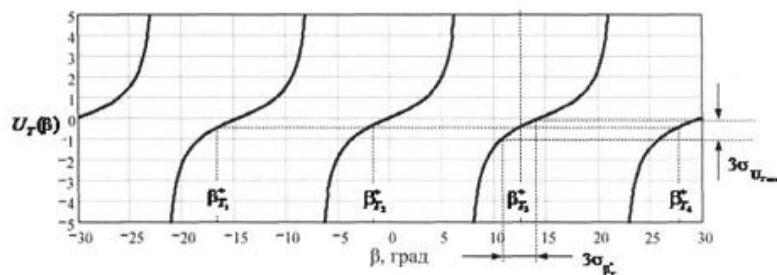
5. Денисов В.П. Фазовые радиопеленгаторы: Монография. - Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. - 2002. - 251 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб двоканального фазового моноімпульсного пеленгування джерел радіовипромінювання станціями радіомоніторингу, який **відрізняється** тим, що в процесі обчислення оцінок пеленгу враховують значення миттєвої несучої частоти для компенсації похибок, які виникають внаслідок невідповідності постійної фазометричної бази та невідомої довжини хвилі вхідного сигналу, а для усунення неробочих ділянок основної дискримінаційної характеристики навколо точок її розриву застосовують додаткову зворотну дискримінаційну характеристику, яка на цих ділянках забезпечує отримання відліку точного пеленгу, після чого за критерієм мінімуму дисперсії похибки вимірювання вибирають найбільш достовірне значення точного пеленгу.



Фиг. 1



Фиг. 2

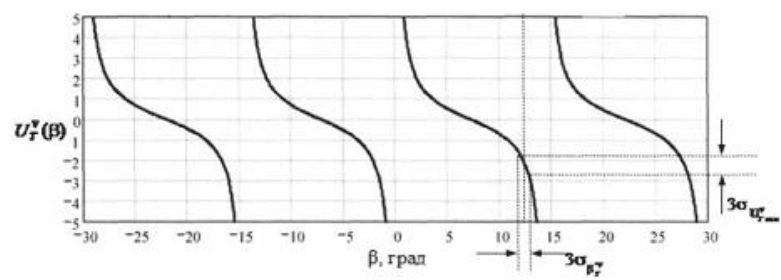


Fig. 3

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601