ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

УКРАЇНА **(19) UA** **(11) 102965** **(13) C2**

(51) МПК
G01S 5/02 (2010.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **a 2012 10631**
(22) Дата подання заявки: **10.09.2012**
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **27.08.2013**
(41) Публікація відомостей про заявку: **25.04.2013, Бюл.№ 8**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **27.08.2013, Бюл.№ 16**

(72) Винахідник(и):
Ципоренко Віталій Валентинович (UA),
Ципоренко Валентин Григорович (UA)

(73) Власник(и):
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Черняховського, 103, м. Житомир, 10005 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
UA 90619 C2, 11.05.2010
UA 95053 C2, 25.06.2011
UA 84964 C2, 10.12.2008
WO 2005/045459 A2, 19.05.2005
RU 2311014 C2, 27.03.2008
RU 2383897 C1, 10.03.2010
US 2008/0122681 A1, 29.05.2008
US 2006/0208947 A1, 21.09.2006

(54) СПОСІБ ЦИФРОВОГО КОРЕЛЯЦІЙНОГО РАДІОПЕЛЕНГУВАННЯ

(57) Реферат:

Галузь застосування: радіоелектроніка, може бути використаний в радіоелектронних засобах різного призначення, зокрема в радіонавігації, радіолокації, радіоастрономії, радіомоніторингу. Радіовипромінювання приймають двома нерухомими рознесеними у просторі антенами з подальшою попередньою селекцією, перетворенням частоти та підсиленням у двох радіоканалах. Далі перетворюють сформовані радіосигнали у цифрову форму та визначають їх комплексні частотні спектри. Після цього здійснюють інвертування одного з комплексних частотних спектрів. Далі перемножують відліки однакової частоти прямого та інверсного комплексних частотних спектрів, отримуючи добуток комплексних частотних спектрів, який потім перетворюють шляхом додавання до його фазочастотної складової лінійно-частотного фазового зсуву. Потім виділяють масив дійсних частотних складових перетвореного добутку комплексних частотних спектрів. Потім визначають аргумент комплексної амплітуди складової спектра виділеного масива дійсних частотних складових, частота якої відповідає крутизні лінійно-частотного фазового зсуву. Після цього екстремальне значення лінійно-частотного фазового зсуву визначають як аргумент комплексної амплітуди складової спектра виділеного масива дійсних частотних складових. За визначеним екстремальним значенням лінійно-частотного фазового зсуву та з урахуванням просторового розміщення антен визначають напрямок на джерело радіовипромінювання. Технічний результат: підвищення швидкодії пеленгування.

UA 102965 C2

Винахід належить до галузі радіоелектроніки і може бути використаний в радіоелектронних засобах різного призначення, зокрема в радіонавігації, радіолокації, радіоастрономії, радіомоніторингу.

Відомий спосіб цифрового кореляційного радіопеленгування [1], що вибраний як прототип винаходу. В способі-прототипі, як і в заявленому способі, радіовипромінювання приймають двома нерухомими рознесеними у просторі антенами з подальшою попередньою селекцією, перетворенням частоти та підсиленням у двох радіоканалах, далі перетворюють сформовані радіосигнали у цифрову форму та визначають їх комплексні частотні спектри, здійснюють перетворення комплексного частотного спектра шляхом додавання до його фазочастотної складової лінійно-частотного фазового зсуву, визначають екстремальне значення лінійно-частотного фазового зсуву, яке відповідає максимальному значенню взаємно кореляційної функції, після чого за визначеним екстремальним значенням лінійно-частотного фазового зсуву та з урахуванням просторового розміщення антен визначають напрямок на джерело радіовипромінювання.

Але на відміну від заявленого способу, в способі - найближчому аналозі для визначення екстремального значення лінійно-частотного фазового зсуву, який регулюють в одному з радіоканалів, визначають дискретну взаємно кореляційну функцію для усіх можливих його значень, кількість яких для забезпечення типового кроку за пеленгом 0,1° складає 3600. В результаті цього швидкодія пеленгування буде низькою.

Таким чином, суттєвим недоліком способу-прототипу є низька швидкодія пеленгування.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу цифрового кореляційного радіопеленгування, згідно з яким радіовипромінювання приймають двома нерухомими рознесеними у просторі антенами з подальшою попередньою селекцією, перетворенням частоти та підсиленням у двох радіоканалах, далі перетворюють сформовані радіосигнали у цифрову форму та визначають їх комплексні частотні спектри, здійснюють перетворення комплексного частотного спектра шляхом додавання до його фазочастотної складової лінійно-частотного фазового зсуву, визначають екстремальне значення лінійно-частотного фазового зсуву, яке відповідає максимальному значенню взаємно кореляційної функції, після чого за визначеним екстремальним значенням лінійно-частотного фазового зсуву та з урахуванням просторового розміщення антен визначають напрямок на джерело радіовипромінювання, шляхом того, що після визначення комплексних частотних спектрів перетворених у цифрову форму радіосигналів здійснюють інвертування одного з них, потім перемножують відліки однакової частоти прямого та інверсного комплексних частотних спектрів, отримуючи добуток комплексних частотних спектрів, який потім перетворюють шляхом додавання до його фазочастотної складової лінійно-частотного фазового зсуву і виділяють масив його дійсних частотних складових, потім визначають аргумент комплексної амплітуди складової спектра виділеного масиву дійсних частотних складових, частота якої відповідає крутизні лінійно-частотного фазового зсуву, після чого екстремальне значення лінійно-частотного фазового зсуву визначають як аргумент комплексної амплітуди складової спектра виділеного масиву дійсних частотних складових, щоб забезпечити підвищення швидкодії пеленгування.

Поставлена задача вирішується таким чином.

Як відомо [2], максимально правдоподібна оцінка екстремального значення лінійно-частотного фазового зсуву визначається згідно з рівнянням правдоподібності, яке для аналізу сигналів у частотній області визначення має вигляд:

$$\frac{d}{d\psi}\left[\mathrm{Re}\left\{\frac{2}{N}\int_{\omega_н}^{\omega_в} U_1(\omega)\cdot U_2(\omega)\cdot \exp(j(\Delta\varphi(\omega)+\psi(\omega)))d\omega\right\}\right]=0, \quad (1)$$

де $\psi(\omega)=\omega\cdot\tau_{ЛЗ}$ - компенсуючий лінійно-частотний фазовий зсув;

$\omega\in[\omega_Н;\omega_В]$ - значення колової частоти спектральних складових прийнятих радіосигналів, що лежить у межах смуги частот $[\omega_Н;\omega_В]$ прийнятих радіосигналів;

$\omega_Н;\omega_В$ - значення нижньої та верхньої колової частоти спектральних складових прийнятих радіосигналів відповідно;

$\tau_{ЛЗ}$ - значення крутизни компенсуючого лінійно-частотного фазового зсуву;

$\mathrm{Re}(\cdot)$ - операція визначення дійсної частини комплексного числа;

N - спектральна густина потужності шуму;

$U_1(\omega), U_2(\omega)$ - амплітудні спектри прийнятих радіосигналів першого та другого радіоканалів відповідно;

$\Delta\varphi(\omega) = \varphi_2(\omega) - \varphi_1(\omega)$ - різницевий фазовий спектр прийнятих радіосигналів.

Рівняння (1) явного розв'язку не має [2]. Для отримання можливості прямого розв'язку рівняння (1) виконаємо перетворення діапазону частот аналізу і параметра, що аналізується:

$$\frac{d}{d\Delta\varphi_0}\left[\frac{2}{N}\int_{-\Delta\omega/2}^{\Delta\omega/2} \mathrm{Re}\left(U_1(\omega-\omega_{сер})\cdot U_2(\omega-\omega_{сер})\cdot\exp\left(j\left(\Delta\varphi(\omega-\omega_{сер})+\psi(\omega-\omega_{сер})\right)\right)\right)\cdot \cos(\psi(\omega)+\Delta\varphi_0)d\omega\right] = 0, \quad (2)$$

де $\Delta\varphi_0$ - значення різницевого фазового спектра прийнятих радіосигналів на середній частоті їх спектра $\omega_{сер} = (\omega_Н + \omega_В)/2$.

Для рівняння (2) отримано прямий розв'язок відносно $\Delta\varphi_0$:

$$\Delta\varphi_0 = -\mathrm{arctg}\left[\frac{\int_{-\Delta\omega/2}^{\Delta\omega/2} U_1(\omega)\cdot U_2(\omega)\cdot\cos\left(\Delta\varphi(\omega-\omega_{сер})+\psi(\omega-\omega_{сер})\right)\cdot\sin(\psi(\omega))d\omega}{\int_{-\Delta\omega/2}^{\Delta\omega/2} U_1(\omega)\cdot U_2(\omega)\cdot\cos\left(\Delta\varphi(\omega-\omega_{сер})+\psi(\omega-\omega_{сер})\right)\cdot\cos(\psi(\omega))d\omega}\right], \quad (3)$$

де $\Delta\omega = \omega_В - \omega_Н$ - значення ширини спектра прийнятих радіосигналів.

За знайденим значенням $\Delta\varphi_0$ визначаємо екстремальне значення $\hat{\psi}(\omega)$ лінійно-частотного фазового зсуву:

$$\hat{\psi}(\omega) = \Delta\varphi_0 \cdot \omega / \omega_{сер}. \quad (4)$$

Аналіз рівняння (4) показує, що екстремальне значення лінійно-частотного фазового зсуву одного з радіоканалів визначають безпошуково - за один цикл визначення дискретної взаємно кореляційної функції.

Таким чином, запропонований спосіб цифрового кореляційного радіопеленгування забезпечує підвищення швидкодії пеленгування до 3-х порядків для типового кроку за пеленгом 0,1°.

Заявлений спосіб цифрового кореляційного радіопеленгування виконують у такій послідовності.

1. Радіовипромінювання $S(t)$ джерела приймають двома нерухомими, рознесеними у просторі антенами з подальшою попередньою селекцією, перетворенням частоти в межах смуги пропускання та підсиленням у двох радіоканалах.

2. Підсилені радіосигнали $S_1(t)$ і $S_2(t)$ перетворюють у цифрову форму, отримуючи два масиви $S_1(n)$ і $S_2(n)$ по N_s відліків у кожному масиві. Перетворення проводять з періодом $T_Д$ дискретизації, який вибирають мінімально можливим для заданого значення рівня завадозахищеності з урахуванням ширини спектра сигналу на проміжній частоті у смузі $[\omega_{ПЧН}; \omega_{ПЧВ}]$.

3. Для двох накопичених масивів $S_1(n)$ і $S_2(n)$ відліків визначають їх комплексні частотні спектри $S_1(j\omega_{ПЧ.k})$ і $S_2(j\omega_{ПЧ.k})$, наприклад, за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є, і формують у вигляді двох масивів значень амплітудного та фазового спектрів:

$$S_1(j\omega_{ПЧ.k}) = A_1(\omega_{ПЧ.k})\cdot\exp(j\varphi_1(\omega_{ПЧ.k})),$$
$$S_2(j\omega_{ПЧ.k}) = A_2(\omega_{ПЧ.k})\cdot\exp(j\varphi_2(\omega_{ПЧ.k})) \quad (5)$$

де $A_1(\omega_{ПЧ.k})$, $A_2(\omega_{ПЧ.k})$ - масиви значень амплітудних спектрів вихідних радіосигналів першого та другого радіоканалів відповідно;

$\varphi_1(\omega_{ПЧ.k})$, $\varphi_2(\omega_{ПЧ..k})$ - масиви значень фазових спектрів вихідних сигналів першого та другого радіоканалів відповідно;

$\omega_{ПЧ.k} = \frac{2\pi\cdot F_Д}{N_S}\cdot k$ - проміжна частота k-ої спектральної складової, $k \in [0; N_S - 1]$;

$F_Д$ - частота дискретизації вихідних сигналів радіоканалів.

4. Здійснюють інвертування спектра сигналу $S_1(j\omega_{ПЧ.k})$, наприклад, першого радіоканалу:

$$S_1^*(j\omega_{ПЧ.k}) = A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \exp(-j\varphi_1(\omega_{ПЧ.k})). \quad (6)$$

5. Перемножують відліки однакової частоти прямого та інверсного комплексних частотних спектрів, отримуючи добуток P комплексних частотних спектрів:

$$P = S_1^*(j\omega_{ПЧ.k}) \cdot S_2(j\omega_{ПЧ.k}) = A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot A_2(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \exp[j(\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}))], \quad (7)$$

де $S_1^*(j\omega_{ПЧ.k})$ - комплексно спряжений спектр сигналу першого радіоканалу;

$\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}) = \varphi_2(\omega_{ПЧ.k}) - \varphi_1(\omega_{ПЧ.k})$ - аргумент спектральних складових добутку прямого та інверсного комплексних частотних спектрів.

6. Здійснюють перетворення добутку P комплексних частотних спектрів шляхом додавання до його фазочастотної складової $\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k})$ лінійно-частотного фазового зсуву $\psi(\omega_{ПЧ.k})$:

$$P' = S_1^*(j\omega_{ПЧ.k}) \cdot S_2(j\omega_{ПЧ.k}) = A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot A_2(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \exp[j(\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}) + \psi(\omega_{ПЧ.k}))], \quad (8)$$

де P' - перетворений добуток комплексних частотних спектрів;

$\psi(\omega_{ПЧ.k}) = \tau_{ЛЗ} \cdot \omega_{ПЧ.k}$;

$\tau_{ЛЗ}$ - крутизна лінійно-частотного фазового зсуву, яка дорівнює, наприклад, $2\pi \cdot N_f / 4 \cdot \Delta\omega$;

N_f - кількість відліків добутку P комплексних частотних спектрів.

7. З перетвореного добутку P' комплексних частотних спектрів виділяють масив M його дійсних частотних складових, кількість яких дорівнює N_f:

$$M = \mathrm{Re}[A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot A_2(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \exp[j(\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}) + \psi(\omega_{ПЧ.k}))]] =$$
$$= A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot A_2(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}) + \psi(\omega_{ПЧ.k})). \quad (9)$$

8. Визначають аргумент $\Delta\varphi_0$ комплексної амплітуди складової спектра виділеного масиву дійсних частотних складових, частота якої відповідає крутизні лінійно-частотного фазового зсуву:

$$\Delta\varphi_0 =$$
$$= -\mathrm{arctg}\left[\frac{\sum_{k=k_H}^{k_B} A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot A_2(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}) + \psi(\omega_{ПЧ.k})) \cdot W(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \sin(\psi(\omega_{ПЧ.k}))}{\sum_{k=k_H}^{k_B} A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot A_2(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}) + \psi(\omega_{ПЧ.k})) \cdot W(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \cos(\psi(\omega_{ПЧ.k}))}\right] =$$
$$= -\mathrm{arctg}\left[\frac{\sum_{k=k_H}^{k_B} A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot A_2(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}) + \psi(\omega_{ПЧ.k})) \cdot W(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \sin(k \cdot \pi/2)}{\sum_{k=k_H}^{k_B} A_1(\omega_{ПЧ.k}) \cdot A_2(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \cos(\Delta\varphi(\omega_{ПЧ.k}) + \psi(\omega_{ПЧ.k})) \cdot W(\omega_{ПЧ.k}) \cdot \cos(k \cdot \pi/2)}\right] \quad (10)$$

при $\xi = 2\pi \cdot N_f / 4 \cdot \Delta\omega$,

де k_H, k_B - номери частотних складових спектрів сигналів, які відповідають його нижній $\omega_{ПЧ.Н}$ та верхній $\omega_{ПЧ.В}$ граничним частотам відповідно;

$W(\omega_{ПЧ.k})$ - вагова функція, яка дорівнює одиниці при використанні прямокутного "вікна".

9. Визначають екстремальне значення лінійно-частотного фазового зсуву $\tilde{\psi}(\omega)$ за формулою:

$$\tilde{\psi}(\omega) = \Delta\varphi_0 \cdot \omega / \omega_{сер}. \quad (11)$$

10. За визначеним екстремальним значенням лінійно-частотного фазового зсуву та з урахуванням просторового розміщення антен визначають напрямок θ на джерело радіовипромінювання відносно антенної бази:

$$\theta = \arccos(c \cdot \Delta\varphi_0 / \omega_{сер} \cdot d). \quad (12)$$

де c - швидкість поширення електромагнітного випромінювання у вільному просторі;

d - значення антенної бази.

Джерела інформації:

1. Патент України на винахід № 84964, G 01 S 3/02. Спосіб цифрового кореляційного радіопеленгування та пристрій для його здійснення / В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко. - № a200702605; Заявл. 12.03.2007; Опубл. 10.12.2008, - Бюл. №23.

2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника.-2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1982.-624 с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб цифрового кореляційного радіопеленгування, згідно з яким радіовипромінювання приймають двома нерухомими рознесеними у просторі антенами з подальшою попередньою селекцією, перетворенням частоти та підсиленням у двох радіоканалах, далі перетворюють сформовані радіосигнали у цифрову форму та визначають їх комплексні частотні спектри, здійснюють перетворення комплексного частотного спектра шляхом додавання до його фазочастотної складової лінійно-частотного фазового зсуву, визначають екстремальне значення лінійно-частотного фазового зсуву, яке відповідає максимальному значенню взаємно кореляційної функції, після чого за визначеним екстремальним значенням лінійно-частотного фазового зсуву та з урахуванням просторового розміщення антен визначають напрямок на джерело радіовипромінювання, який **відрізняється** тим, що після визначення комплексних частотних спектрів перетворених у цифрову форму радіосигналів здійснюють інвертування одного з них, потім перемножують відліки однакової частоти прямого та інверсного комплексних частотних спектрів, отримуючи добуток комплексних частотних спектрів, який потім перетворюють шляхом додавання до його фазочастотної складової лінійно-частотного фазового зсуву і виділяють масив його дійсних частотних складових, потім визначають аргумент комплексної амплітуди складової спектра виділеного масива дійсних частотних складових, частота якої відповідає крутизні лінійно-частотного фазового зсуву, після чого екстремальне значення лінійно-частотного фазового зсуву визначають як аргумент комплексної амплітуди складової спектра виділеного масива дійсних частотних складових.

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

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

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