ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

УКРАЇНА **(19) UA** **(11) 107538** **(13) C2**

(51) МПК (2015.01)
G01S 3/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **a 2013 15250**
(22) Дата подання заявки: **26.12.2013**
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: **12.01.2015**
(41) Публікація відомостей про заявку: **10.07.2014, Бюл.№ 13**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **12.01.2015, Бюл.№ 1**

(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 99083 C2, 10.07.2012
UA 97225 C2, 10.01.2012
UA 90068 C2, 25.03.2010
RU 2158002 C1, 20.10.2000
RU 2434239 C1, 20.11.2011
JPH 06347529 A, 22.12.1994
US 4283767 A, 11.08.1981
JPS 63315973 A, 23.12.1988

(54) СПОСІБ ЦИФРОВОГО КОМПЛЕКСНОГО РАДІОПЕЛЕНГУВАННЯ

(57) Реферат:

Спосіб цифрового комплексного радіопеленгування належить до радіоелектроніки та може бути використаний у радіоелектронних засобах різного призначення, зокрема в радіонавігації, радіолокації, радіоастрономії, радіомоніторингу. У способі здійснюють вибірковий просторовий прийом радіовипромінювання для сукупності можливих напрямків на його джерело лінійною фазованою антенною решіткою шляхом утворення масиву когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів та його цифрового комплексного спектрального аналізу, отримуючи комплексні амплітуди спектральних складових із частотами, що відповідають сукупності можливих попередніх напрямків на джерело радіовипромінювання. Визначають екстремальну частоту, якій відповідає максимальний рівень модуля комплексної амплітуди спектральної складової. Далі виділяють підмасив спектральних складових, що містить складову з екстремальною частотою. Встановлюють нульове значення аргументів комплексних амплітуд усіх спектральних складових виділеного підмасиву. Розділяють його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу. Визначають значення аргументу відповідного комплексного аналітичного сигналу, що відповідає просторовому розташуванню антенного елемента фазованої антенної решітки. За екстремальною частотою та з урахуванням значення аргументу відповідного комплексного аналітичного сигналу визначають остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання. Технічним результатом є підвищення точності пеленгування без додаткових часових та апаратурних витрат.

UA 107538 C2

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

Відомий спосіб цифрового комплексного радіопеленгування [1], що в вибраний як прототип винаходу.

У способі-прототипі, як і в заявленому способі, здійснюють вибірковий просторовий прийом радіовипромінювання для сукупності можливих напрямків на його джерело лінійною фазованою антенною решіткою шляхом утворення масиву когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів та його цифрового комплексного спектрального аналізу, отримуючи комплексні амплітуди спектральних складових із частотами, що відповідають сукупності можливих попередніх напрямків на джерело радіовипромінювання, та визначають екстремальну частоту, якій відповідає максимальний рівень модуля комплексної амплітуди спектральної складової, далі виділяють підмасив спектральних складових, що містить складову з екстремальною частотою, розділяють його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, визначають остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання за екстремальною частотою.

Але на відміну від заявленого способу, в способі-прототипі визначають різницю аргументів комплексного аналітичного сигналу та враховують її при визначенні остаточного напрямку на джерело радіовипромінювання.

Як відомо [2], кожне значення аргументів комплексного аналітичного сигналу є випадковим і визначається з відповідною дисперсією похибки. При цьому дисперсія $\sigma^2_{\Delta\psi}$ похибки різниці аргументів дорівнює сумі їх окремих дисперсій $\sigma^2_{\psi 1}$ та $\sigma^2_{\psi 2}$, тобто:

$$\sigma^2_{\Delta\psi} = \sigma^2_{\psi 1} + \sigma^2_{\psi 2}. \quad (1)$$

Це зумовлює високий рівень похибки пеленгування в способі-прототипі, дисперсія якої дорівнює:

$$\sigma^2_{\theta ПРОТ} = \frac{\left(\sigma^2_{\psi 1} + \sigma^2_{\psi 2}\right)\cdot d^2}{(n_2 - n_1)^2 \cdot \pi^2}, \quad (2)$$

де: $\sigma^2_{\theta ПРОТ}$ - дисперсія похибки оцінки напрямку на джерело радіовипромінювання способу-прототипу;

$\sigma^2_{\psi 1}$, $\sigma^2_{\psi 2}$ - дисперсії похибок першого та другого значень аргументу комплексного аналітичного сигналу відповідно;

d - крок лінійної фазованої антенної решітки;

n_1, n_2 - номери просторового розташування двох антенних елементів антенної решітки, для яких визначаються значення аргументу комплексного аналітичного сигналу.

Таким чином, суттєвим недоліком способу-прототипу є недостатня точність пеленгування.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу цифрового комплексного радіопеленгування, щоб забезпечити підвищення точності пеленгування.

Поставлена задача вирішується тим, що у спосіб цифрового комплексного радіопеленгування, згідно з яким здійснюють вибірковий просторовий прийом радіовипромінювання для сукупності можливих напрямків на його джерело лінійною фазованою антенною решіткою шляхом утворення масиву когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів та його цифрового комплексного спектрального аналізу, отримуючи комплексні амплітуди спектральних складових із частотами, що відповідають сукупності можливих попередніх напрямків на джерело радіовипромінювання, та визначають екстремальну частоту, якій відповідає максимальний рівень модуля комплексної амплітуди спектральної складової, далі виділяють підмасив спектральних складових, що містить складову з екстремальною частотою, розділяють його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, визначають остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання за екстремальною частотою, введені нові суттєві ознаки. Згідно з винаходом, встановлюють нульове значення аргументів комплексних амплітуд усіх спектральних складових виділеного підмасиву перед розділенням його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, а після цього розділення визначають значення аргументу відповідного комплексного аналітичного сигналу, що відповідає просторовому розташуванню антенного елемента фазованої антенної решітки, яке враховують при визначенні остаточного напрямку на джерело радіовипромінювання.

У способі-винаході значно зменшується надлишкова апріорна інформаційна невизначеність

відносно абсолютних значень аргументів комплексного аналітичного сигналу. Це досягається встановленням нульових значень аргументів комплексних амплітуд усіх спектральних складових виділеного підмасиву, що містить складову з екстремальною частотою. При цьому зберігається вся доступна інформація про напрямок на джерело радіовипромінювання, що міститься в значенні тільки одною відліку аргументу комплексного аналітичного сигналу. В результаті спочатку формується апріорі відоме нульове початкове значення аргументу комплексного аналітичного сигналу $\psi_1 = 0$ з нульовою дисперсією похибки $\sigma^2_{\psi 1} = 0$. Це дає можливість в подальшому визначати остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання з урахуванням тільки одного інформаційно суттєвого відліку його аргументу ψ_2. Внаслідок цього рівняння (1) набуває вигляду (3):

$$\sigma^2_{\Delta\psi} = \sigma^2_{\psi 2}. \quad (3)$$

Це забезпечує суттєве зменшення похибки пеленгування у способі-винаході, дисперсія якої дорівнює:

$$\sigma^2_{\theta ВИН} = \frac{\sigma^2_{\psi 2} \cdot d^2}{(n_2 - n_1)^2 \cdot \pi^2}, \quad (4)$$

де $\sigma^2_{\theta ВИН}$ - дисперсія похибки оцінки напрямку на джерело радіовипромінювання способу-винаходу.

Порівняльний аналіз виразів (2) та (4) показує, що похибка пеленгування способу-винаходу значно менша, ніж у способі-прототипі.

Таким чином, запропонований спосіб цифрового комплексного пеленгування забезпечує суттєве підвищення точності пеленгування без додаткових часових та апаратурних витрат.

Заявлений спосіб цифровою комплексного радіопеленгування виконують у такій послідовності.

1. Виконують вибірковий просторовий прийом радіовипромінювання $S(t)$ для сукупності можливих напрямків на його джерело лінійною фазованою антенною решіткою шляхом утворення масиву $\{S(n)\}_{\overline{n=0,N-1}}$ когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів та його цифрового комплексного спектрального аналізу та визначають комплексний частотний спектр $\{S(j\omega_k)\}_{\overline{k=0,N-1}}$, наприклад, при використанні алгоритму швидкого перетворення Фур'є, у вигляді масивів значень амплітудного $\{A(\omega_k)\}$ та фазового $\{\varphi(\omega_k)\}$ спектрів [3]:

$$\{S(j\omega_k)\} = \{A(\omega_k)\} \cdot \exp(j\{\varphi(\omega_k)\}), \quad (5)$$

де: $\{A(\omega_k)\}$ - масив значень амплітудного спектра масиву когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів;

$\{\varphi(\omega_k)\}$ - масив значень фазового спектра масиву когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів;

$\omega_k = \frac{2\pi}{T_Д \cdot N} \cdot k$ - частота k-ої спектральної складової, $k \in [0; N-1]$;

$T_Д = d$ - період дискретизації радіовипромінювання, що дорівнює кроку d лінійної фазованої антенної решітки;

N - кількість відліків масиву когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів, що дорівнює кількості каналів лінійної фазованої антенної решітки.

2. Для комплексного частотного спектра $\{S(j\omega_k)\}_{\overline{k=0,(N/2-1)}}$ визначають екстремальну частоту ω^*_k і відповідний їй екстремальний попередній напрямок, яким відповідає максимальний рівень модуля комплексної амплітуди $\max\{A(\omega_k)\} = A(\omega^*_k)$ екстремальної спектральної складової $S(j\omega^*_k)$.

3. З масиву $\{S(j\omega_k)\}_{\overline{k=0,(N/2-1)}}$ виділяють підмасив $\{S(j\omega_k)\}_{\overline{k=1,m}}$ спектральних

складових з екстремальною частотою $\omega_k^* \in \{\omega_1, \omega_m\}$.

4. Встановлюють нульове значення аргументів комплексних амплітуд усіх спектральних складових виділеного підмасиву, що містить складову і екстремальною частотою: $\varphi(\omega_k) = 0$.

5. Розділяють підмасив $\overline{\{S(j\omega_k)\}_{k=1,m}}$ на дійсну $S(\omega_k, n)$ та уявну $\hat{S}(\omega_k, n)$ складові відповідного комплексного аналітичного сигналу $Z_S(j\omega_k, n)$ [2]:

$$Z_S(j\omega_k, n) = S(\omega_k, n) + j\hat{S}(\omega_k, n), \quad (6)$$

де: $S(\omega_k, n) = \sum_{k=1}^{m} A(\omega_k) \cdot \cos(\omega_k \cdot n)$;

$\hat{S}(\omega_k, n) = \sum_{k=1}^{m} A(\omega_k) \cdot \sin(\omega_k \cdot n)$.

6. Визначають значення аргументу $\psi_B(\omega_k, n_2)$ комплексного відліку аналітичного сигналу $Z_S(j\omega_k, n)$, який відповідає просторовому розташуванню антенного елемента фазованої антенної решітки з номером n_2:

$$\psi_B(\omega_k, n_2) = \operatorname{arctg}\left[\hat{S}(\omega_k, n_2) / S(\omega_k, n_2)\right], \quad (7)$$

де: $S(\omega_k, n_2) = \sum_{k=1}^{m} A(\omega_k) \cdot \cos(\omega_k \cdot n_2)$;

$\hat{S}(\omega_k, n_2) = \sum_{k=1}^{m} A(\omega_k) \cdot \sin(\omega_k \cdot n_2)$.

7. Визначають остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання за екстремальною частотою та з урахуванням визначеного значення аргументу комплексного аналітичного сигналу згідно з рівнянням:

$$\theta = \arccos\left[\left(\frac{\Delta\psi_Ц(\omega_k^*) + \psi_B(\omega_k, n_2)}{n_2 - n_1}\right) \cdot d/\pi\right], \quad (8)$$

де: $\Delta\psi_Ц(\omega_k^*) = \left[(n_2 - n_1) \cdot \omega_k^*\right]_Ц$;

$[\bullet]_Ц$ - операція визначення максимальної частини операнда, що є кратною π радіан.

Джерела інформації:

1. Патент України на винахід № 99083, G 01 S 3/00. Спосіб цифрового комплексного радіопеленгування / В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко. - № a201113893; Заявл. 25.11.2011; Опубл. 10.07.2012. - Бюл. № 13.

2. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 1. - Харків: "Компанія СМІТ", 2003. - 580 с.

3. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 584 с., ил.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб цифрового комплексного радіопеленгування, згідно з яким здійснюють вибірковий просторовий прийом радіовипромінювання для сукупності можливих напрямків на його джерело лінійною фазованою антенною решіткою шляхом утворення масиву когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів та його цифрового комплексного спектрального аналізу, отримуючи комплексні амплітуди спектральних складових із частотами, що відповідають сукупності можливих попередніх напрямків на джерело радіовипромінювання, та визначають екстремальну частоту, якій відповідає максимальний рівень модуля комплексної амплітуди спектральної складової, далі виділяють підмасив спектральних складових, що містить складову з екстремальною частотою, розділяють його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, визначають остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання за екстремальною частотою, **який відрізняється тим, що** встановлюють нульове значення аргументів комплексних амплітуд усіх спектральних складових виділеного підмасиву перед розділенням його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, а після цього розділення визначають значення аргументу відповідного комплексного аналітичного сигналу, що відповідає просторовому розташуванню антенного

елемента фазованої антенної решітки, яке враховують при визначенні остаточного напрямку на джерело радіовипромінювання.

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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