



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123372** (13) **C2**
(51) МПК

G01S 3/10 (2006.01)

G01S 5/04 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2019 02805</p> <p>(22) Дата подання заявки: 21.03.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 25.03.2021</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 10.04.2020, Бюл.№ 7</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 24.03.2021, Бюл.№ 12</p>	<p>(72) Винахідник(и): Ципоренко Віталій Валентинович (UA), Ципоренко Валентин Григорович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 99083 C2, 10.07.2012 UA 107538 C2, 12.01.2015 RU 2258241 C2, 10.08.2005 US 2002190902 A1, 19.12.2002 US 2008122681 A1, 29.05.2008 CN 108051772 A, 18.05.2018</p>
---	---

(54) СПОСІБ ЦИФРОВОГО КОМПЛЕКСНОГО РАДІОПЕЛЕНГУВАННЯ

(57) Реферат:

Спосіб цифрового комплексного радіопеленгування належить до радіоелектроніки, та може бути використаний в радіоелектронних засобах різного призначення, зокрема в радіонавігації, радіолокації, радіоастрономії, радіомоніторингу. 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. Потім 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. Потім визначають масив значень різниці його аргументів, які відповідають просторовому розташуванню відповідного масиву різних пар антенних елементів фазованої антенної решітки. Після цього визначають середнє значення різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу визначеного масиву її значень. З його урахуванням та за екстремальною частотою визначають залишковий напрямок на джерело радіовипромінювання. Технічним результатом є підвищення точності радіопеленгування.

UA 123372 C2

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

Відомий спосіб цифрового радіопеленгування [1], що вибраний як прототип винаходу. В способі-прототипі, як і в способі-винаході, здійснюють вибірковий просторовий прийом радіовипромінювання для сукупності можливих напрямків на його джерело лінійною фазованою антенною решіткою (ФАР) 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, та розділяють його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, за екстремальною частотою визначають залишковий напрямок на джерело радіовипромінювання.

Але на відміну від заявленого способу, в способі-прототипі здійснюють визначення різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу тільки для однієї пари антенних елементів ФАР, не враховуючи інформацію про прийняте випромінювання іншими її елементами. Це зумовлює такий суттєвий недолік, як недостатня точність пеленгування при дії потужних шумів та завад.

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

Визначимо точність пеленгування для способу-прототипу. У способі-прототипі напрямок на джерело радіовипромінювання визначають з використанням різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу, що відповідає просторовому розміщенню однієї пари елементів ФАР, та відстані між цими елементами. Тому точність пеленгування зумовлюється похибкою визначення різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу та відстанню між відповідними антенними елементами ФАР [2]:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{K\sigma_{\psi}^2}{L^2 \sin^2 \theta}, \quad (1)$$

де: σ_{θ}^2 - дисперсія похибки пеленгування;

σ_{ψ}^2 - дисперсія похибки визначення різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу;

L - відстань між відповідними антенними елементами ФАР;

θ - напрямок на джерело радіовипромінювання;

K - коефіцієнт пропорційності.

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

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб цифрового комплексного радіопеленгування, згідно з яким здійснюють вибірковий просторовий прийом радіовипромінювання для сукупності можливих напрямків на його джерело лінійною ФАР 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, та розділяють його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, за екстремальною частотою визначають залишковий напрямок на джерело радіовипромінювання, введені нові суттєві ознаки. Згідно з винаходом, після розділення підмасиву спектральних складових, що містить складову з екстремальною частотою, на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, визначають масив значень різниці його аргументів, які відповідають просторовому розташуванню відповідного масиву різних пар антенних елементів ФАР, і визначають середнє значення різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу визначеного масиву її значень, з урахуванням якого визначають остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання.

Завдяки тому, що в способі-винаході остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання визначають з урахуванням масиву значень різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу для відповідного масиву різних пар антенних елементів ФАР, забезпечується можливість статистичного оброблення отриманого масиву значень різниці

аргументів і, відповідно, суттєве зменшення похибки підсумкового значення оцінки напрямку на джерело радіовипромінювання, а отже, і підвищення точності пеленгування.

Визначимо похибку пеленгування для способу-винаходу, наприклад, для випадку використання масиву M різних пар антенних елементів ФАР з однаковою відстанню L між елементами. У запропонованому способі напрямком на джерело визначають з використанням масиву значень різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу, що еквівалентно дії одночасно працюючих відповідної кількості окремих пеленгаторів, які використовують відповідні антенні елементи ФАР. Тому підсумкова похибка пеленгування буде зменшуватись пропорційно кількості M визначених статистично незалежних значень різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу і відповідних використаних пар антенних елементів ФАР без збільшення кількості її радіоканалів [3]:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{K\sigma_{\psi}^2}{ML^2 \sin^2\theta}, \quad (2)$$

$6 ML^2 \sin^2\theta$,

де M - кількість визначених значень різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу і відповідних пар антенних елементів ФАР.

Порівняльний аналіз виразів (1) та (2) показує, що точність пеленгування способу-винаходу суттєво, в M разів, вища порівняно зі способом-прототипом без збільшення кількості радіоканалів ФАР.

Таким чином, запропонований спосіб цифрового комплексного радіопеленгування забезпечує суттєве підвищення точності пеленгування.

Заявлений спосіб цифрового комплексного радіопеленгування виконують у такій послідовності.

1. Виконують вибірковий просторовий прийом радіовипромінювання $S(t)$ для сукупності

можливих напрямків на його джерело лінійною ФАР шляхом утворення масиву $\{S(n)\}_{n=0, N-1}$ когерентних часових відліків вихідних радіосигналів усіх приймальних радіоканалів та його цифрового комплексного спектрального аналізу та визначають комплексний частотний спектр $\{S(j\omega_k)\}_{k=0, N-1}$, наприклад при використанні алгоритму швидкого перетворення Фур'є, у вигляді

масивів значень амплітудного $\{A(\omega_k)\}$ та фазового $\{\varphi(\omega_k)\}$ спектрів:

$$\{S(j\omega_k)\} = \{A(\omega_k)\} \cdot \exp(j\{\varphi(\omega_k)\}), \quad (3)$$

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;

$$\omega_k = \frac{2\pi}{T_d \cdot N} \cdot k \quad - \text{частота } k \text{-тої спектральної складової, } k \in [0; N-1];$$

$T_d = d$ - період дискретизації радіовипромінювання, що дорівнює кроку d лінійної ФАР;

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

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

3. З масиву $\{S(j\omega_k)\}_{k=0, (N/2-1)}$ виділяють підмасив $\{S(j\omega_k)\}_{k=l, m}$ спектральних складових з екстремальною частотою $\omega_k^* \in \{\omega_l, \omega_m\}$.

4. Розділяють підмасив $\{S(j\omega_k)\}_{k=l,m}$ на дійсну $S(\omega_k, n)$ та уявну $\widehat{S}(\omega_k, n)$ складові відповідного комплексного аналітичного сигналу $Z_S(j\omega_k, n)$ [3]:

$$Z_S(j\omega_k, n) = S(\omega_k, n) + j\widehat{S}(\omega_k, n), \quad (4)$$

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

5
$$\widehat{S}(\omega_k, n) = \sum_{k=l}^m A(\omega_k) \cdot \sin(\omega_k \cdot n + \varphi(\omega_k)).$$

5. Визначають масив $\{\Delta\psi_B(\omega_k, p)\}_{p=0, M-1}$ М значень різниці аргументів комплексних відліків аналітичного сигналу $Z_S(j\omega_k, n)$, які відповідають просторовому розташуванню М різних пар антенних елементів з номерами n_{1p} та n_{2p} в межах ФАР:

$$\Delta\psi_B(\omega_k, p) = \psi_B(\omega_k, n_{2p}) - \psi_B(\omega_k, n_{1p}), \quad (5)$$

10 де;

$$\psi_B(\omega_k, n_{2p}) = \arctg[\widehat{S}(\omega_k, n_{2p}) / S(\omega_k, n_{2p})],$$

$$\psi_B(\omega_k, n_{1p}) = \arctg[\widehat{S}(\omega_k, n_{1p}) / S(\omega_k, n_{1p})],$$

p - номер пари антенних елементів ФАР.

15 6. Визначають середнє значення $\Delta\psi_C(\omega_k)$ різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу визначеного масиву М її значень:

$$\Delta\psi_C(\omega_k) = \frac{1}{M} \sum_{p=0}^{M-1} \Delta\psi_B(\omega_k, p). \quad (6)$$

7. Визначають остаточний напрямок на джерело радіовипромінювання за екстремальною частотою та з урахуванням середнього значення різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу визначеного масиву її значень, згідно з рівнянням:

20
$$\theta = \arccos \left[\left(\frac{\Delta\psi_{II}(\omega_k^*) + \Delta\psi_C(\omega_k)}{n_{2C} - n_{1C}} \right) \cdot d / \pi \right], \quad (7)$$

де
$$\Delta\psi_{II}(\omega_k^*) = [(n_{2C} - n_{1C}) \cdot \omega_k^*]_{II};$$

$n_{2C} - n_{1C}$ - середнє значення просторового рознесення масиву пар антенних елементів ФАР;

$[\bullet]_{II}$ - операція визначення максимальної частини операнда, що є кратною π радіан.

Джерела інформації:

25 1. Спосіб цифрового комплексного радіопеленгування [Текст]: пат. 99083 Україна: МПК7 G01S 3/00 / Ципоренко В.В., Ципоренко В.Г.; заявник та патентовласник Житомир, держ. технол. ун-т. - № а2011 13893; заявл. 25.11.11; опубл. 10.07.12, Бюл. № 13. - 4 с.

30 2. Ципоренко В.В. Дослідження завадостійкості безошукового цифрового спектрального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора з антенною решіткою шляхом моделювання / В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія: Технічні науки. - Житомир: ЖДТУ, 2012. - № 3(62). - Т. 1. - С. 82-90.

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

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

40 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, отримують 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, та розділяють його на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, за екстремальною частотою визначають залишковий напрямок на джерело радіовипромінювання, який **відрізняється** тим, що після розділення підмасиву спектральних складових, що містить складову з екстремальною частотою, на дійсну та уявну складові відповідного комплексного аналітичного сигналу, визначають масив значень різниці його аргументів, які відповідають просторовому розташуванню відповідного масиву різних пар антенних елементів фазованої антенної решітки, і визначають середнє значення різниці аргументів комплексного аналітичного сигналу визначеного масиву її значень, з урахуванням якого визначають залишковий напрямок на джерело радіовипромінювання.