УДК 621.396.96

ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЯРНОЇ АРИФМЕТИКИ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ АЗИМУТА У ФАЗОВИХ ПЕЛЕНГАТОРАХ[1]

Куц В. Ю., к.т.н.; Куц Ю. В. д.т.н., професор
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна
y.kuts@ukr.net

MODULAR ARITHMETIC APPLICATION TO CALCULATE THE AZIMUTH FOR PHASE DIRECTION FINDER

Kuts V.Y., PhD; Kuts Y. V., Doctor of Engineering, Professor
National Technical University of Ukraine, "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Вступ

Фазові радіопеленгатори є важливим класом фазових радіотехнічних систем [1]. Вони призначені для визначення пеленга – кута між напрямком на об'єкт спостереження (джерело радіосигналів з гармонічною несучою) і однією з площин, прийнятих за початок відліку кутових координат. У авіаційній і морській навігації зазвичай під пеленгом розуміють азимут.

Для підвищення точності визначення пеленга в широкому діапазоні його значень використовують антенні системи з декількома базами та збільшують величини баз (відстань між фазовими центрами антен). Внаслідок цього фазові зсуви прийнятих елементами антени сигналів можуть багатократно перевищувати інтервал $\left[0,2\pi\right)$ їх однозначного визначення. Наприклад, у фазовому радіопеленгаторі з базою 1 м та довжиною хвилі 0,1 м для однозначного визначення пеленга в секторі кутів $\left(-0,25\pi,\quad 0,25\pi\right)$ необхідно забезпечити однозначне вимірювання фазових зсувів сигналів в діапазоні $\left(-14{,}14\pi,\quad 14{,}14\pi\right)$.

В роботах [2, 3] наведено відомі способи оброблення результатів фазових вимірювань і усунення їх багатозначності для фазових пеленгаторів. Традиційний спосіб полягає в тому, що точне значення пеленга отримують за результатом вимірювань на найбільшій базі, а вимірювання для інших баз використовують для послідовного усунення фазової багатозначності від меншої бази до більшої. Інший спосіб, в якому всі результати вимірювання використовуються і для усунення багатозначності, і для точного оцінювання пеленга, ґрунтується на застосуванні до результатів фазових вимірювань принципу максимальної правдоподібності.

Попередній аналіз показав, що інший перспективний і малодосліде-

[1] http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1171

ний спосіб розв'язання даної задачі пов'язаний з використанням системи залишкових класів (СЗК) [4, 5, 6], яка є основою модулярної арифметики. Ця числова система має здатність виявляти і коригувати помилки процесу перетворення і оброблення даних. Можливість використання СЗК у багатошкальних фазовимірювальних системах ґрунтується на спільній властивості – модульному характеру подання числових даних в СЗК і даних фазових вимірювань [7].

Метою статті є аналіз застосування можливостей медулярної арифметики для усунення багатозначності фазових вимірювань під час обчислення азимуту в фазових пеленгаторах.

Постановка завдання дослідження

Визначається кутова координата (азимут) α_x джерела випромінювання коливань відносно лінійної приймальної антени фазового пеленгатора. Приймання сигналів здійснюється рознесеним у просторі елементи лінійної антени з широкими діаграмами направленості та ідентичними фазочастотними характеристиками. Прийняті сигнали мають вид

$$u(t,\alpha_x,l_i)=U_i\cos\left[2\pi ft-\varphi_i(\alpha_x,l_i)\right],\ t\in\left[0,T_\text{c}\right),$$

де $U_i, f, \varphi_i(\alpha_x,l_i)$ – відповідно амплітуда, частота і початкова фаза сигналу на виході *i*-того елементу антени (*i*=0, 1, 2), $\varphi_{1,2}\in\left[0,2\pi\right)$, $\varphi_0=0$; l_i – фазометрична база антени; T_c – час спостереження сигналу, $T_\text{c}>1/f$.

Похибка вимірювання фазових зсувів сигналів відсутня.

Необхідно визначити умови, за яких задача оцінювання азимуту фазовим методом на основі результатів вимірювання значень $\varphi_i\in\left[0,2\pi\right)$, $i=\overline{1,2}$ між елементами антени зводиться до задачі відновлення цілого числа з його представлення в СЗК.

Теоретичні викладки

Спочатку розглянемо питання відновлення та обчислення цілих чисел з їх поданні залишками в СЗК. Представлені в позиційній системі числення цілі числа *A* з певного робочого інтервалу $\left[0,A_\text{p}\right)$ відображаються в СЗК множиною невід'ємних залишків a_i від ділення *A* на інші цілі числа – модулі системи, які утворюють множину взаємно простих чисел $\left(p_i,\ i=\overline{1,m}\right)$, тобто $A_\text{СЗК}=\left(a_1,...,a_m\right)$, $a_i\in\left[0,\ p_i\right)$, де $a_i\equiv A\bmod p_i$, $i=\overline{1,m}$.

Один зі способів відновлення чисел *A* з їх представлення $A_\text{СЗК}$ ґрунтується на китайській теоремі про залишки [4]. Відновлення А можливе у разі взаємооднозначної відповідності *A* та $A_\text{СЗК}$, що досягається виконанням наступних умов: 1) модулі системи є взаємно простими числами; 2) максимальне відновлюване число задовольняє нерівності $A_{\max} < A_{\text{р}} = \prod_{i=1}^{m} p_i$. За виконання цих умов існує обернене перетворення $A_{\text{СЗК}} \Rightarrow A$, згідно з яким число А обчислюється за алгоритмом

$$A = \sum_{i=1}^{m} a_i B_i \left(\operatorname{mod} A_{\text{р}}\right), \qquad (1)$$

де $(B_1,...B_i,...B_m)$ – система ортонормованих базисів, яка обчислюється для вибраних модулів системи і може бути визначена за викладеною в [4] методикою.

Приклад 1. Розглянемо представлення числа *A*=33 в СЗК за системою модулів (5, 7): $A_{\text{СЗК}} = (3,\ 5)$. Для обраної системи модулів максимальне відновлюване число $A_{\max} = 34$.

Для відновлення числа в десятковій системі числення визначимо систему ортонормованих базисів: $B = (21,\ 15)$. Умова ортонормованості полягає у виконанні для елементів базису сукупності наступних співвідношень:

$B_1 \operatorname{mod} p_1 = 21 \operatorname{mod} 5 = 1$, $B_1 \operatorname{mod} p_2 = 21 \operatorname{mod} 7 = 0$,

$B_2 \operatorname{mod} p_1 = 15 \operatorname{mod} 5 = 0$, $B_2 \operatorname{mod} p_2 = 15 \operatorname{mod} 7 = 1$.

Результат обчислення за (1) дорівнює

$A = \left(3 \cdot 21 + 5 \cdot 15\right)(\operatorname{mod} 5 \cdot 7) = 138 \operatorname{mod} 35 = 33$.

Однією з важливих особливостей СЗК є можливість організації контролю (чи навіть виправлення) помилок, які виникають під час отримання залишків, виконання арифметичних операцій з ними та відновлення числа. Для цього основу СЗК доповнюють додатковим модулем $p_{m+1} > p_i$, $i \in \overline{1,m}$ (чи декількома модулями). Нова СЗК (повна система) має повний діапазон перетворення чисел $\left[0,\ A_{\text{п}}\right)$, де $A_{\text{п}} = \prod_{i=1}^{m+1} p_i = A_{\text{р}} p_{m+1}$. Спотворення будь-якого залишку в новому представленні $\left(a_1,...,a_{m+1}\right)$ приводить до того, що відновлене число $\tilde{A} = \left(\sum_{i=1}^{m+1} a_i B_i'\right)\left(\operatorname{mod} A_{\text{п}}\right)$, де $(B_1',...B_i',...B_{m+1}')$ – нова система ортонормованих базисів, переходить з робочого діапазону $\left[0, A_{\text{р}}\right)$ в заборонений діапазон $\left[A_{\text{р}},\ A_{\text{р}} p_{m+1}\right)$, що є ознакою помилки.

Приклад 2. Доповнимо систему модулів прикладу 1 модулем 8. В новій системі модулів (5, 7, 8) $A_{\text{п}} = A_{\text{р}} \cdot 8 = 280$, а число *A*=33 має представлення $A_{\text{СЗК}} = (3,\ 5,\ 1)$. Нова система ортонормованих базисів – $B = (56,\ 120,\ 105)$. Обчислення за (1) дає наступний результат

$$A=\left(3\cdot 56+5\cdot 120+1\cdot 105\right)(\mathrm{mod}\,5\cdot 7\cdot 8)=873\,\mathrm{mod}\,280=33.$$

У разі спотворення одного з залишків, наприклад для $\tilde{A}_{\text{СЗК}}=(3,\ 4,\ 1)$, маємо

$$A=\left(3\cdot 56+4\cdot 120+1\cdot 105\right)(\mathrm{mod}\,5\cdot 7\cdot 8)=753\,\mathrm{mod}\,280=193\in\left[33,\ 280\right].$$

Ця властивість СЗК може бути використана для організації пошуку та виправлення грубих помилок під час обраховування даних багатошкальних фазових вимірювань, в тому числі і даних фазових пеленгаторів.

Перейдемо до визначення умов отримання результатів вимірювань фазового пеленгатора в СЗК. Розглянемо випадок визначення азимуту α_x у двобазовому фазовому пеленгаторі з лінійною антенною решіткою, представленою на рис. 1.

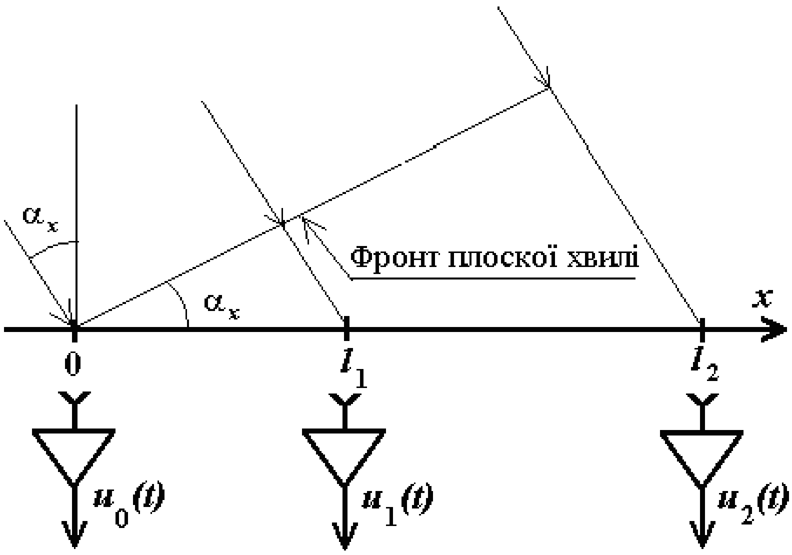

Рис. 1. Схема приймання сигналу рознесеними у просторі елементами антени

Елементи лінійної антени рознесені у просторі відносно базового елемента (з індексом i=0) на відстані $l_1,\ l_2$. Вважатимемо, що відстань від пеленгатора до джерела сигналу набагато більша за базу l_2, що дозволяє вважати хвилю плоскою, і крім того $l_1=p_1\Delta l$, $l_2=p_2\Delta l$, де Δl – квант баз антени, p_1, p_2 – цілі числа.

Затримка сигналів, що надходять на перший і другий елементи антени відносно нульового становить

$$\tau_i\left(\alpha_x,l_i\right)=\frac{l_i\sin\alpha_x}{c},\ \ i=\overline{1,2}, \qquad (2)$$

де c – швидкість поширення сигналу у середовищі.

Повні фазові зсуви сигналів між нульовим та i-тим (i=1,2) елементами антени, з урахуванням (2), аналітично визначаються як

$$\Phi_i(\alpha_x, l_i) = 2\pi \frac{l_i}{\lambda} \sin\alpha_x, \; i = \overline{1,2}. \tag{3}$$

а їх доступні однозначному вимірюванню частини в межах інтервалу $[0, 2\pi)$

$$\varphi_i(\alpha_x, l_i) = 2\pi \frac{\Delta l p_i}{\lambda} \sin\alpha_x (\mathrm{mod}\, 2\pi), \; i = \overline{1,2}, \tag{4}$$

де λ – довжина хвилі в середовищі.

Оскільки у фазовому пеленгаторі фазові зсуви (3) утворюються на одній незмінній робочій частоті, це в загальному разі не дозволяє скласти для цих величин систему незалежних рівнянь, на основі якої можна було би отримати розв'язання задачі багатозначності вимірювань. Проте модульний характер залежності $\varphi_i(\alpha_x, l_i)$ від азимуту обумовлює іншу можливість усунення багатозначності фазових вимірювань на основі застосування модулярної арифметики до результатів багатошкальних фазових вимірювань.

Отримаємо умови, за яких задача усунення багатозначності фазових вимірювань, відповідно і однозначного визначення азимута α_x у великому секторі кутів, зводиться до задачі відновлення цілого числа з його представлення в СЗК. Скористаємось принципом аналогій.

Рівняння (4) шляхом заміни $D = \Delta l \sin\alpha_x$ та $\lambda = \Delta\lambda p_1 p_2$, де $\Delta\lambda$ – доля довжини хвилі, можна звести до рівняння виду

$$\varphi_{1(2)}(\alpha_x, l_i) = 2\pi \frac{D}{\Delta\lambda p_{2(1)}} (\mathrm{mod}\, 2\pi). \tag{5}$$

Рівняння (5) аналогічне виразу для фазового зсуву сигналів багатошкального (багаточастотного) фазового вимірювача відстані з усуненням багатозначності в СЗК [8]. Це обґрунтовує формальну можливість представлення залишків як результату обчислення цілої частини від величини $D/\Delta\lambda$ за модулями p_1, p_2. Трансформуючи отримані в [8] результати на процес оброблення фазових зсувів у пеленгаторі зроблено наступний висновок. Для зведення задачі визначення пеленгу до задачі відновлення цілого числа за його представленням в СЗК у двобазовому пеленгаторі необхідно вибрати:

1) модулі СЗК як пару взаємно простих чисел p_1, p_2;
2) бази антени пропорційними числам p_1, p_2;

кванти $\Delta\varphi_i$ вимірювання фазових зсувів сигналів обернено пропорційно значенням модулів СЗК:

$$\Delta\varphi_1 = 2\pi / p_2, \quad \Delta\varphi_2 = 2\pi / p_1 .$$

За виконання цих умов має місце наступне представлення залишків через фазові зсуви сигналів

$$a_{1(2)}\left(\alpha_x, l_{1(2)}\right) = \left[\frac{p_{2(1)}}{2\pi}\varphi_{1(2)}\left(\alpha_x, l_{1(2)}\right)\right]^{+}. \qquad (6)$$

Враховуючи (1) та (6), направляючий синус з похибкою до кванту визначення фазового зсуву обчислюється як

$$\sin\alpha_x = \frac{\lambda}{\Delta l p_1 p_2} A = \frac{\lambda}{\Delta l p_1 p_2}\left(\sum_{i=1}^{2} a_i\left(\alpha_x, l_i\right) B_i\right)\left(\operatorname{mod} A_{\text{р}}\right). \qquad (7)$$

Рівняння (7) дає однозначне в широкому секторі кутів значення азимуту, проте воно має значну похибку квантування, обумовлену рівнем квантів $\Delta\varphi_i$. Для підвищення точності визначення α_x за рахунок використання можливостей фазових вимірювачів щодо прецизійного вимірювання фазових зсувів сигналів, в (7) замість числа A необхідно підставити його уточнене (з дробовою частиною) значення

$$A_{\text{т}} = \left(\sum_{i=1}^{2} a_i\left(\alpha_x, l_i\right) B_i\right)\left(\operatorname{mod} A_{\text{р}}\right) - \left[\frac{p_1}{2\pi}\left(\frac{2\pi D}{\lambda}\right)\left(\operatorname{mod} 2\pi\right)\right]^{+} + \frac{p_1}{2\pi}\left(\frac{2\pi D}{\lambda}\right)\left(\operatorname{mod} 2\pi\right). \qquad (8)$$

З урахуванням (7) і (8), значення азимуту вираховується за формулою

$$\alpha_x = \arcsin\left(A_{\text{т}}\frac{\lambda}{\Delta l p_1 p_2}\right). \qquad (9)$$

Сектор однозначного визначення азимуту обмежений кутом

$$\alpha_{x,\max} = \arcsin\left(A_{\max}\frac{\lambda}{\Delta l p_1 p_2}\right).$$

Приклад обчислення азимуту у фазовому пеленгаторі із застосуванням СЗК

Проілюструємо процес обчислення азимуту за алгоритмом (9) у фазовому пеленгаторі числовим прикладом.

Приклад 3. Нехай плоска електромагнітна хвиля, що змінюється в часі за гармонічним законом, падає на двобазову лінійну антену (рис.1) під кутом $\alpha_x = 60,75^{\circ}$. Задамо відношення $\Delta l/\lambda = 1{,}1$, і нехай бази антени відносяться як $l_1/l_2 = 11/13$.

Необхідно за результатами вимірювання в інтервалі $\left[0, 2\pi\right)$ фазових зсувів сигналів пеленгатора визначити азимут α_x.

Виходячи з вихідних даних, приймаємо $p_1 = 11$, $p_2 = 13$, отже $A_{\text{р}} = 11\cdot 13 = 143$. Перевіримо коректність поставленої задачі через виконання умови $\alpha_x < \alpha_{x,\max}$ (в градусах)

$$\alpha_{x,\max} = \arcsin\left(\left(11 \cdot 13 - 1\right)\frac{1}{11 \cdot 13 \cdot 1{,}1}\right) \cdot \frac{180}{\pi} \approx 64{,}2^\circ > \alpha_x = 60{,}75^\circ .$$

Розв'язання задачі виконаємо у 2 етапи.

1 етап – підготовка даних (пряма задача).

Обчислення ортонормованих базисів дає наступний результат: $B_1 = 66$, $B_2 = 78$. Результати оцінки очікуваних фазових зсувів сигналів за формулами (3), (4) наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фазовий зсув	База l_1	База l_2
$\Phi_i\left(\alpha_x\right)$, рад	66,3328	78,3933
$\varphi_i\left(\alpha_x\right)$, рад	3,501	2,9951

2 етап – визначення α_x за даними фазових вимірювань (обернена задача).

Розрахунок залишків за виразом (6) дає наступний результат:

$$a_1\left(\alpha_x, l_1\right) = \left[\frac{13}{2 \cdot \pi} \cdot 3{,}501\right]^+ = \left[7{,}2435\right]^+ = 7,$$

$$a_2\left(\alpha_x, l_2\right) = \left[\frac{11}{2 \cdot \pi} \cdot 2{,}9951\right]^+ = \left[5{,}2435\right]^+ = 5.$$

Обрахування числа A за (1) дає результат

$$A = \left(7 \cdot 66 + 5 \cdot 78\right) \mathrm{mod}(143) = 137,$$

а його уточненого значення за формулою (8)

$$A_{\text{г}} = 137 - 5 + 5{,}2435 = 137{,}2435.$$

Значення азимуту вираховується за (9)

$$\alpha_x = \arcsin\left(\frac{137{,}2435}{1{,}1 \cdot 11 \cdot 13}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 60{,}7499^\circ,$$

що відповідає вихідній умові прикладу.

Таким чином доведено можливість представлення даних вимірювань фазових зсувів сигналів у фазових пеленгаторах в СЗК і усунення на цій основі багатозначності фазових вимірювань. Найбільш важлива властивість СЗК для фазового пеленгатора полягає у можливості контролю правильності усунення багатозначності, яка реалізується шляхом збільшення елементів антени і ускладненням алгоритму оброблення даних. Це дозволяє зберегти високу точність визначення азимута в умовах значного зменшення відношення сигнал/шум, що приводить до підвищення імовірності грубих помилок під час усунення багатозначності у фазових пеленгаторах.

Тому подальші дослідження такого способу побудови фазових пеленгаторів буде спрямовано на розробку способу фазового пеленгування для випадку використання лінійної антени з числом фазометричних баз три і більше.

Висновки

Використання властивості модульності фазових зсувів сигналів дозволяє використати можливості модулярної арифметики для фазометрії і звести усунення багатозначності фазових вимірювань в пеленгаторах до задачі обчислення цілого числа з його представлення залишками за певною системою модулів. Така можливість реалізується вибором фазометричних баз антени пеленгатора та квантів вимірювання фазових зсувів сигналів з інтервалу $[0,\ 2\pi)$ пропорційно модулям системи залишкових класів.

Отримані результати перевірені на задачі обчислення азимуту у двобазовому фазовому пеленгаторі з відношенням баз 11/13 та розрахунковим максимальним значенням азимута ~ 64^{o}.

Застосування модулярної арифметики до процесу усунення багатозначності вимірювань у разі збільшення числа баз більше двох дозволить надати фазовому пеленгатору нової властивості – здатності до виявлення та виправлення грубих помилок.

В подальшому необхідно провести додаткові дослідження з метою аналізу обчислювального процесу та оцінювання вірогідності виявлення помилок усунення багатозначності фазових вимірювань у пеленгаторі в залежності від відношення сигнал/шум.

Перелік посилань

1. Пестряков В. Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) / В. Б. Пестряков. – М. : Сов. Радио, 1968. – 468 с.

2. Денисов В. П. Фазовые радиопеленгаторы / В. П. Денисов, Д. В. Дубинин. – Томск: Томский госуд. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2002. – 251 с. – ISBN 5-86889-067-1.

3. Денисов В.П. Исследование работы фазового пеленгатора с квазиоптимальным устранением неоднозначности на наземних трассах / В. П. Денисов, В. Д. Дубинин, М. В. Крутиков, А. А. Мещеряков // Доклады ТУСУРа. – № 2 (24), часть 1. – 2011. – С. 7-15.

4. Акушский И. Я. Машинная арифметика в остаточных класса / И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий. – М. : Сов. радио, 1968. – 440 с.

5. Omondi A. Residue Number Systems. Theory and Implementation / Amos Omondi, Benjamin Premkumar. – London : Imperial College Press, 2007. – 296 p.

6. Куц В. Ю. Представлення і оброблювання даних вимірювань в системі залишкових класів // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем ; матер. V міжнар. наук.-практ. конф. – Чернігів, 2015. – С.257. – Режим доступу: http://www.stu.cn.ua/media/files/conference/Tezy%20-%202015.pdf#257

7. Куц Ю. В. Статистична фазометрія / Ю. В. Куц, Л. М. Щербак. – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет, 2009. – 383 с. – ISBN 966-305-013-6.

8. Куц Ю. В. Вимірювання кумулятивних фазових зсувів / Ю. В. Куц // Технічна

електродинаміка. – 2001. – №5. – С. 67-72.

References

1. Pestryakov V. B. (1968) *Fazovye radiotekhnicheskie sistemy (osnovy statisticheskoi teorii)* [Phase radio engineering systems (basic statistical theory)]. Moskow, Sov. Radio, 468 p.

2. Denisov V. P. and Dubinin D. V. (2002) *Fazovye radiopelengatory* [Phase finders]. Tomsk, TUSUR, 251 p.

3. Denisov V.P., Dubinin D.V., Krutikov M.V., Mescheryakov A.A. (2011) Quasi-optimal method to avoid the ambiguity of bearing estimation by terrestrial finder. *Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*, No 2-1, pp. 7-15. (In Russian)

4. Akushskii I. Ya., Yuditskii D. I. and Akushskii I. Ya. (1968) *Mashinnaya arifmetika v ostatochnykh klassa* [Machine arithmetic in the residual class]. Moskow, Sovetskoe radio, 440 p.

5. Omondi A. and Premkumar B. (2007) *Residue Number Systems. Theory and Implementation*, London, Imperial College Press Publ, 312 p. doi: 10.1142/9781860948671

6. Kuts V. Yu. (2015) Predstavlennia i obrobliuvannia danykh vymiriuvan v systemi zalyshkovykh klasiv [Submission and processing of measured data in the residual number system]. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system* [Comprehensive quality assurance processes and systems], V Int. Conf., Chernihiv, p. 257.

7. Shcherbak L.M. and Kuts Yu.V. (2009) *Statystychna fazometriia* [Statistical phasemeter], Ternopil State Technical University, 383 p.

8. Kuts Yu. V. (2001) Vymiriuvannia kumuliatyvnykh fazovykh zsuviv [Measuring the cumulative phase shifts]. *Tekhnichna elektrodynamika*, No 5, pp. 67-72.

Куц В. Ю., Куц Ю. В. ***Застосування модулярної арифметики для обчислення азимута у фазових пеленгаторах.*** *Розглянуто та проаналізовано задачу однозначного визначення азимута у фазових радіопеленгаторах на основі представлення і обчислення результатів вимірювань в числовій системі залишкових класів. Сформульовано умови, за яких задача усунення багатозначності фазового пеленгування зводиться до задачі відновлення цілого числа, представленого залишками у системі залишкових класів. Наведено алгоритм оброблення та моделювання задачі визначення азимута у двобазовому фазовому радіопеленгаторі.*

Ключові слова*: фазовий пеленгатор, кутова неоднозначність, система залишкових класів.*

Куц В. Ю., Куц Ю. В. ***Применение модулярной арифметики для вычисления азимута в фазовых пеленгаторах.*** *Рассмотрена и проанализирована задача однозначного определения азимута в фазовых радиопеленгатора на основе представления и вычисления результатов измерений в числовой системе остаточных классов. Сформулированы условия, при которых задача устранения многозначности фазового пеленгования сводится к задаче восстановления целого числа, представленного остатками в системе остаточных классов. Приведен алгоритм обработки и моделирования задачи определения азимута в двухбазовом фазовом радиопеленгаторе.*

Ключевые слова: *фазовый пеленгатор, угловая неоднозначность, система остаточних классов*

Kuts V. Y., Kuts Y. V. ***Modular arithmetic application to calculate the azimuth for phase direction finder***

Introduction. *Phase finders are designed for precise determination of the radiation source angular position. Avoiding the ambiguity measuring the signalphase shift exceeding* 2π *is an important task in such systems. A new way to solve the problem associated with the use of residue number system (RNS) is proposed.*

Problem statement. *Azimuth of radiation source fluctuations relative to the two bases linear receiving antenna is defined. It is necessary to define the conditions under which the problem of estimating the azimuth based on the measurement of signals phase shifts* $\varphi_{1,2} \in [0, 2\pi)$ *between antenna elements is reduced to the recovery of a whole number from its RNS residues.*

Theoretical results. *The possibility of RNS used for phase multiscale systems is based on such common property as the modular nature both numerical data RNS representations and phase measurements. The azimuth determining problem bringing to the problem of reconstructing the whole number from its RNS residues for two bases finder is necessary. Firstly, it's to select the modules RNS as a pair of relatively prime numbers; secondly, it's to select the antenna base proportional RNS modules; thirdly, it's to select the quanta of measuring the phase shift signal is inversely proportional to the value of the RNS modules:*

An example of calculating the azimuth of the direction finder for the phase two bases, that confirms the correctness of the proposed method is shown.

Conclusion. *The possibility of using RNS phase direction finder is implemented by selecting an antenna base and phase shift quantum measurement proportional to the RNS modules. In this case, the ability to identify and correct azimuth blunders is the process of eliminating ambiguity measurement acquiring a new quality. A new data processing algorithm and it's new property can significantly reduce the probability of serious errors in the phase finders.*

Keywords: *phase finder, angular ambiguity, residue number system*