

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АЛГОРИТМІВ РАДІОПЕЛЕНГАЦІЇ ДЖЕРЕЛ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Авдєєнко Г.Л., Денисенко Н.І.

Інститут телекомунікаційних систем КІП ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: djang02006@ukr.net, natalka.denysenko@gmail.com

OVERVIEW AND ANALYSIS OF EXISTING DIRECTION-FINDING ALGORITHMS OF RADIO SOURCES FOR RADIO SYSTEMS

Modern technological progress has complicated the radio environment, which stimulates the development of radio monitoring tools based on direction-finding methods. In order to select the optimal algorithms for radio sources direction-finding for further radio systems improvement, existing direction-finding algorithms were considered.

В даний час спостерігається стабільно зростаюче ускладнення радіоелектронної обстановки. В першу чергу це пов'язано з технічним прогресом засобів радіозв'язку. Цей прогрес, в свою чергу, стимулює розвиток засобів радіомоніторингу на основі методів пеленгації [1].

Перелік завдань, що вирішуються за допомогою засобів радіомоніторингу, включає панорамний спектральний аналіз; виявлення та аналіз радіовипромінювань для ідентифікації джерел сигналів і перешкод; визначення місця розташування джерел радіовипромінювань; моніторинг радіоканалів [2].

Завдання радіопеленгації ускладнюється наявністю великої кількості радіозасобів, які працюють в одній смузі частот, при цьому джерела радіовипромінювання можуть бути рознесені на малу відстань по азимуту. Традиційні методи пеленгації, виявляється, не в змозі розрізнити близько розташовані джерела випромінювання сигналів за пеленгом. У складній електромагнітній обстановці надають перевагу використанню методів кутового надрозширення, оскільки вони забезпечують високу точність оцінки кута приходу одного сигналу і можливість визначення пеленгів декількох близько розташованих сигналів на одній частоті [3].

Фізично в основі методів пеленгації джерел випадкових сигналів з надрозширенням лежить той же ефект, що і в адаптивній фазованій антенній решітці (ФАР) – когерентна компенсація (придушення) сигналів джерел, що заважають, при чому в якості заважаючих для кожного з джерел виступають всі інші, які не збігаються з ним у кутовому напрямку. Тому цілком звичним виявляється і спільність апарату і математичних методів, що використовуються в адаптивних ФАР і нелінійних методах з кутовим надрозширенням. Що ж стосується терміну «надрозширення», то він просто відображає більш високу роздільну здатність (по кутовим координатам) в порівнянні з релеєвською межею Δ_R типу:

$$\Delta_R = \frac{1}{N \cdot d}, \quad (1)$$

де N – число елементів антенної решітки; d – нормований по відношенню до довжини хвилі крок (міжелементна відстань) в антенній решітці.

Алгоритмів пеленгації з надрозширенням, включаючи їх варіанти і різного роду модифікацій, дуже багато. Обмежимося перерахуванням і короткою характеристикою основних груп алгоритмів, дотримуючись класифікації [4], яка є однією з найбільш вдалих з відомих до теперішнього часу і групує алгоритми пеленгації із надрозширенням наступним чином:

- алгоритми лінійного передбачення;
- алгоритми типу Кейпон;
- проекційні алгоритми;
- алгоритми, засновані на узгодженні (підборі) параметричних моделей сигналів.

Алгоритми першої групи історично з'явилися в застосуванні до аналізу часових рядів, тобто до оцінки звичайного спектру, і можливість їх використання для оцінки просторового спектра, строго кажучи, обмежується лінійними еквідистантними решітками з рівномірним амплітудним розподілом, хоча практично застосування в нерегулярних лінійних решітках також виявляється можливим.

Алгоритм Кейпона застосовується до антенних решіток будь-якої конфігурації, в тому числі до нерегулярних і двовимірних, і дає досить низький рівень бічних пелюсток, але вимагає щодо відносно більшої кількості навчальних вибірок - принаймні, вдвічі більше в порівнянні з числом елементів решітки.

У групі проекційних алгоритмів (алгоритмів підпросторів) в першу чергу необхідно виділити алгоритм MUSIC (Multiple Signal Classification). Цей алгоритм так само як і алгоритм Кейпона, застосовується до антенних решіток будь-якої конфігурації, але потенційно перевершує алгоритм Кейпона по роздільній здатності, чим і пояснюється підвищений інтерес до нього з боку багатьох дослідників.

Остання група алгоритмів з числа перерахованих передбачає задання моделі сигналів з повним набором параметрів (напрямки, амплітуди, фази), з наступним підбором таких значень параметрів, які найкращим чином узгоджуються з результатами вимірювань. Алгоритми цієї групи відрізняються великою різноманітністю варіантів і підходів і одночасно - великим обсягом і значною складністю обчислень [4].

Метод Кейпона був запропонований в 1969 році для розрізнення спектральних компонент дискретного спектра. Використовуючи аналогію частотного і просторового спектрів, метод був запропонований також для оцінювання кутів приходу сигналів за допомогою антенних решіток [5].

Алгоритм роботи методу Кейпона складається з двох етапів. На першому етапі відбувається обчислення оцінки кореляційної матриці вхідних сигналів $\mathbf{R}$. Другий етап полягає у формуванні опорного напрямку, для чого задається вектор-гіпотеза $\mathbf{V}$ і обчислюється цільова функція. Після чого вибирається новий опорний напрямок і повторюється процес обчислення функції. Графічним представленням цільової функції є пеленгаційний рельєф простору.

Пеленгаційний рельєф як функція кута пеленга β для методу Кейпона формується за формулою [6]:

$$Q_C(\beta) = \frac{1}{\mathbf{V}(\beta)^H \mathbf{R}^{-1} \mathbf{V}(\beta)}, \quad (2)$$

де $\mathbf{R}^{-1}$ – обернена кореляційна матриця сигналів з виходів елементів антенної решітки; $\mathbf{V}(\beta)$ – вектор-гіпотеза або опорний (керуючий) вектор антенної решітки.

Відповідно до формули (2) графічне відображення пеленгаційного рельєфу для лінійної антенної решітки з $N = 20$ на частоті $f = 1$ ГГц ($\lambda = 0,03$ м), що відповідає алгоритму Кейпона при наявності двох джерел випромінювання показано на рис. 1.

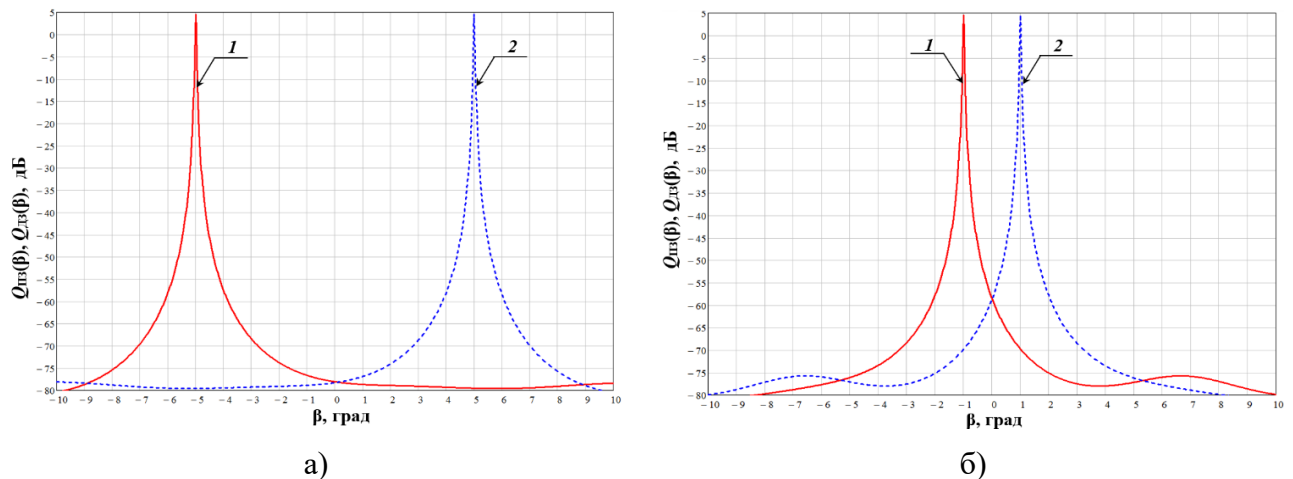


Рис. 1. Пеленгаційний рельєф при розташуванні двох джерел випромінювання: а) на пеленгах $\beta_1 = -5^\circ$, $\beta_2 = 5^\circ$; б) на пеленгах $\beta_1 = -1^\circ$, $\beta_2 = 1^\circ$.

Пеленгаційний рельєф отримується при скануванні вектором-гіпотезою деякого кутового сектора (одновимірного або двовимірного), що здійснюється в цифровій формі, із заміною істинної матриці $\mathbf{R}$ її максимально правдоподібною вибірковою оцінкою $\hat{\mathbf{R}}$.

Отже, з безлічі алгоритмів пеленгації із надрозширенням найбільший інтерес, в загальному випадку, привертають алгоритми Кейпона і MUSIC, що застосовуються в антенних решітках будь-якої конфігурації – одновимірних, двовимірних і тривимірних, регулярних і не регулярних. Подальше удосконалення способів, алгоритмів та методів просторової обробки сигналів має свою доцільність та перспективність розвитку.

Література

1. Sukhov I. A. Super resolution techniques for direction-finder antenna array with directional elements / I. A. Sukhov, V. P. Akimov // Informatics. Telecommunications. Control / I. A. Sukhov, V. P. Akimov. – Saint Petersburg State Polytechnic University, 2013. – (Scientific and Technical Bulletin 4 ')). – С. 41–46.
2. Рембовский А.М., Ашихмин Л.В., Козьмин В.Л. Радиомониторинг: задачи, методы, средства/Под редакцией А.М. Рембовского. — М: Горячая линия-Телеком. 2006. — 492 с.
3. Справочник по радиоконтролю. МСЭ 2002. — Женева. 2004.
4. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках / М. : Радио и связь, 2003. — 197 с.
5. Кейпон Дж. Пространственно-временной спектральный анализ с высоким разрешением // ТИИЭР. 1969. Т. 57, № 8. С. 59-69.
6. Ратынский М.В. Анализ характеристик алгоритмов пеленгации со сверхразрешением // Радиотехника. 1992. № 10. С. 63 – 66.