

УДК 621.396.983.4

АЛГОРИТМ ФАЗОВОГО ПЕЛЕНГОВАНИЯ В ШИРОКОЙ ПОЛОСЕ ОБЗОРА С ПРОВЕРКОЙ ПЕРЕКРЫТИЯ СИГНАЛОВ ПО ЧАСТОТЕ

Чемаров А.О., Шевченко М.Е.

Введение

В фазовых пеленгаторах с широкой полосой одновременного обзора, на порядки превышающей полосу пеленгуемых сигналов, отсчёты квадратурных составляющих выходных процессов элементов антенной решетки (ЭАР) после взвешивания временной оконной функцией подвергаются дискретному преобразованию Фурье с целью разделения сигналов в частотной области. В частотной области производится обнаружение сигналов, и для частотных отсчётов (ЧО) спектральной функции, в которых принято решение о наличии сигналов, формируется оценка разностей фаз между ЭАР [1].

Предполагается, что в каждом из данных ЧО присутствует спектральная составляющая, соответствующая только одному сигналу, для которого по оценкам разностей фаз определяются угловые координаты источника радиоизлучения (ИРИ). Обнаружение и оценка угловых координат (УК) производится независимо в каждом ЧО с целью обеспечения заданной разрешающей способности по частоте вследствие априорной неопределённости ширины спектров сигналов в частотной области.

Далее словосочетание “составляющая спектра сигнала” редуцировано до термина “сигнал”, под которым понимается один ЧО, соответствующий одному ИРИ с фиксированными УК.

Однако, при наличии сигналов нескольких ИРИ в одном ЧО определение УК ИРИ фазовым методом нецелесообразно, так как формируется только одна оценка УК, которая не соответствует УК любых ИРИ, сигналы которых присутствуют в данном ЧО. Таким образом, для определения УК фазовым методом в частотной области требуется предварительная проверка наличия сигнала только одного ИРИ в рассматриваемом ЧО.

Цель данной работы состоит в разработке и исследовании правила проверки присутствия в рассматриваемом ЧО сигнала одного ИРИ для фазового пеленгатора с широкой полосой одновременного обзора.

Постановка задачи

Для однозначного определения двумерных УК ИРИ: пеленга и угла места фазовым методом достаточно трёх ЭАР. Для обеспечения равномерной по пеленгу точности оценки пеленга ЭАР располагаются в горизонтальной плоскости в вершинах равностороннего треугольника (рис. 1) [2,3].

Наблюдаемыми данными являются ЧО спектральных функций выходных процессов ЭАР после квадратурной обработки:

$$\mathbf{x}_a = x_{a1}, \dots, x_{ai}, \dots, x_{aN} \quad (1)$$

где: $a=1 \dots 3$, $i=1 \dots N$, a – номер ЭАР, N – размер ДПФ.

Для фазового радиопеленгатора КВ-диапазона с широкой полосой одновременного обзора разработано правило проверки наличия только одного сигнала в рассматриваемом отсчёте спектральной функции. Методом статистического моделирования получены вероятностные характеристики проверки по разработанному правилу. Приведены результаты обработки записей реальных сигналов по алгоритму определения угловых координат при трёхэлементной антенной решётке с проверкой перекрытия сигналов по частоте.

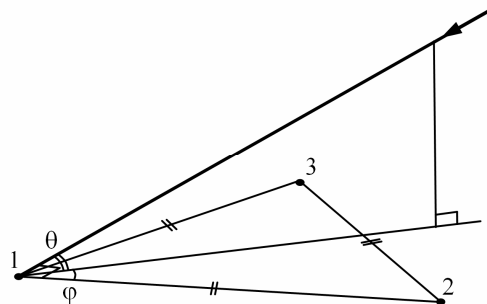


Рис. 1. Геометрия антенной решетки

Для каждого i -го ЧО x_{ai} выдвинем следующие гипотезы: H_{0i} об отсутствии сигналов в наблюдаемых данных, H_{1i} о наличии в наблюдаемых данных одного сигнала, H_{2i} о наличии в наблюдаемых данных двух и более сигналов. Математически гипотезы записаны в виде

$$\begin{aligned} H_{0,i} : x_{1,i} = \eta_{1,i}, x_{2,i} = \eta_{2,i}, x_{3,i} = \eta_{3,i} \\ H_{1,i} : x_{1,i} = s_{1,i} + \eta_{1,i}, x_{2,i} = s_{1,i} \cdot e^{j\Phi_{21,i}} + \eta_{2,i}, x_{3,i} = s_{1,i} \cdot e^{j\Phi_{31,i}} + \eta_{3,i} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} H_{2,i} : x_{1,i} = \sum_{k=1}^{K_i} s_{k,i} + \eta_{1,i}, x_{2,i} = \sum_{k=1}^{K_i} s_{k,i} \cdot e^{j\Phi_{2k,i}} \\ + \eta_{2,i}, x_{3,i} = \sum_{k=1}^{K_i} s_{k,i} \cdot e^{j\Phi_{3k,i}} + \eta_{3,i}, \end{aligned}$$

где: $\eta_{a,i}$ – i -ый отсчет из спектральной выборки белого гауссовского шума с нулевым средним и СКО δ ; $s_{k,i}$ – k -ый сигнал в i -ом ЧО на первом ЭАР; K_i – количество сигналов, присутствующих в i -ом ЧО; $\Phi_{21,k,i}$ и $\Phi_{31,k,i}$ – фазовые сдвиги сигнала $s_{k,i}$ между вторым и первым и между третьим и первым ЭАР, соответственно. Фазовые сдвиги связаны с УК ИРИ следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \Phi_{21,k,i} = 2\pi d \cdot \cos(\varphi_{k,i}) \cdot \cos(\theta_{k,i}), \\ \Phi_{31,k,i} = 2\pi d \cdot \cos(\varphi_{k,i} - \pi/3) \cdot \cos(\theta_{k,i}), \end{aligned} \quad (3)$$

где: d – расстояние между ЭАР в долях длины волны, $\varphi_{k,i}$ и $\theta_{k,i}$ – пеленг и угол места ИРИ k -го сигнала в i -ом ЧО.

Обнаружение и оценка УК ИРИ

Проверка гипотезы о наличии сигналов в i -ом ЧО ($H_{1,i} \vee H_{2,i}$) против гипотезы $H_{0,i}$ при известном уровне шума δ производится по правилу энергетического обнаружения:

$$\frac{T_i}{\delta^2} \geq \alpha \Rightarrow \hat{H}_{1,i} \vee \hat{H}_{2,i}, \quad (3)$$

$$\frac{T_i}{\delta^2} < \alpha \Rightarrow \hat{H}_{0,i},$$

где: $T_i = |x_{1,i}|^2 + |x_{2,i}|^2 + |x_{3,i}|^2$, α – порог обнаружения,

выбирается по заданной вероятности ложной тревоги (в л. т.), $\hat{H}_{0,i}$, $\hat{H}_{1,i}$ и $\hat{H}_{2,i}$ – решения в пользу гипотез $H_{0,i}$, $H_{1,i}$ и $H_{2,i}$.

При неизвестном уровне шума решающие функции имеют вид:

$$\frac{T_i}{\hat{\delta}^2} \geq \alpha \Rightarrow \hat{H}_{1,i} \vee \hat{H}_{2,i},$$

$$\frac{T_i}{\hat{\delta}^2} < \alpha \Rightarrow \hat{H}_{0,i},$$

где: $\hat{\delta}$ – эффективная, состоятельная оценка уровня шума, при которой выполняется сходимость:

$$\frac{T_i}{\delta^2} - \frac{T_i}{\hat{\delta}^2} \rightarrow 0.$$

В качестве оценки $\hat{\delta}$ можно рекомендовать оценку, разработанную в [4].

Характеристики обнаружения, полученные методом статистического моделирования при случайных независимых сигналах с равномерной плотностью распределения фазы, пеленга и угла места, и известном уровне шума представлены на рис. 2, 3 и 4.

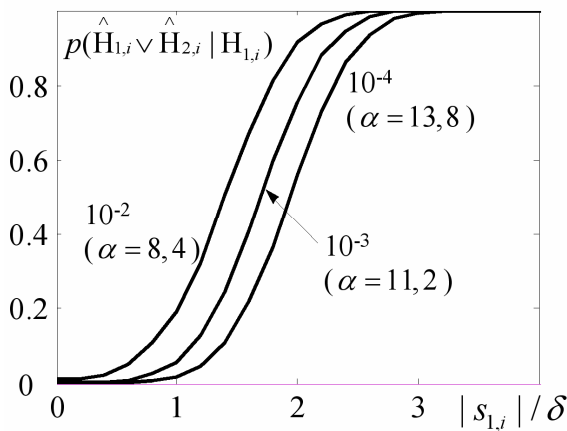


Рис. 2. Характеристики обнаружения одного сигнала при различных в. л. т.

На рис. 2 показана вероятность обнаружения одного сигнала, на рис. 3 и 4 линиями уровня показаны вероятности обнаружения двух сигналов.

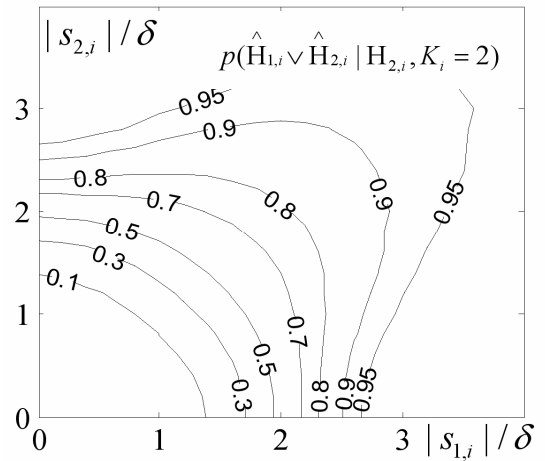


Рис. 3. Характеристики обнаружения двух сигналов при в. л. т. 10^{-4}

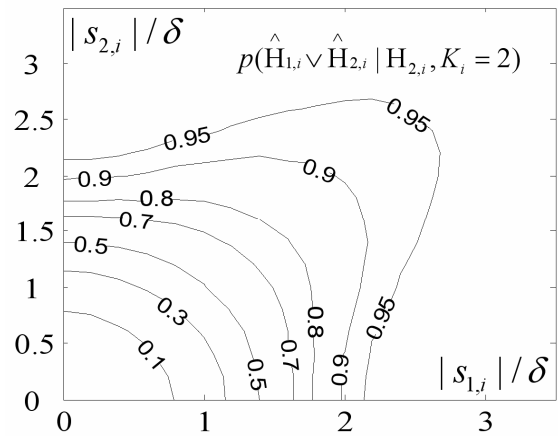


Рис. 4. Характеристики обнаружения двух сигналов при в. л. т. 10^{-2}

Характеристики, приведенные на рис. 2, совпадают с сечениями соответствующих характеристик, представленных на рис. 3 и 4, плоскостями $|s_{1,i}| / \delta = 0$ и $|s_{2,i}| / \delta = 0$.

Оценки УК ИРИ $\hat{\varphi}_{1,i}$ и $\hat{\theta}_{k,i}$ фазовым методом выражаются через оценки фазовых сдвигов $\hat{\Phi}2_{1,i}$ и $\hat{\Phi}3_{1,i}$ [2, 3] при гипотезе $H_{1,i}$:

$$\hat{\Phi}2_{1,i} = x_{2,i} \cdot x_{1,i}^*, \quad \hat{\Phi}3_{1,i} = x_{3,i} \cdot x_{1,i}^*,$$

$$\hat{\varphi}_{1,i} = \text{atan}(\hat{\Phi}3_{1,i} - \hat{\Phi}2_{1,i}/2, \sqrt{3} \cdot \hat{\Phi}2_{1,i}/2), \quad (4)$$

$$\hat{\theta}_{1,i} = \arccos(\sqrt{(2 \cdot \hat{\Phi}3_{1,i} - \hat{\Phi}2_{1,i})^2 / 3 + \hat{\Phi}2_{1,i}^2} / 2\pi d)$$

где:

$$\text{atan}(a, b) = \begin{cases} \text{arctg}(a/b), & b \geq 0 \\ \text{arctg}(a/b) + \pi, & b < 0 \text{ и } a \geq 0, \\ \text{arctg}(a/b) - \pi, & b < 0 \text{ и } a < 0 \end{cases}$$

Поэтому перед оцениванием УК ИРИ фазовым методом следует предварительно проверить гипотезу $H_{1,i}$ против гипотезы $H_{2,i}$. Критерий проверки, основанный на отношении правдоподобия, требует известности хотя бы одного сигнала $s_{1,i}$ и его УК или их априорных распределений. Поэтому требуется разработать правило проверки гипотезы о наличии только одного сигнала в i -ом ЧО в условиях априорной неопределённости сигналов $s_{k,i}$ и их УК.

Проверка наличия одного сигнала

Разработка правила проверки наличия одного сигнала в i -ом ЧО основана на том, что при $H_{1,i}$ мощности отсчётов $|x_{a,i}|^2$, $a=1..3$, являются выборкой трёх случайных величин из совокупности случайных величин с одинаковыми параметрами, а при $H_{2,i}$ мощности отсчётов $|x_{a,i}|^2$, $a=1..3$, являются выборкой трёх случайных величин с различными средними значениями и дисперсиями.

При $H_{1,i}$ дисперсия выборки обусловлена лишь аддитивными шумовыми составляющими (2), а при $H_{2,i}$ – как шумовыми составляющими, так и различием средних значений и может значительно превышать (при соизмеримых уровнях сигналов) дисперсию выборки при $H_{1,i}$.

При $H_{1,i}$ для сильного сигнала $|s_{1,i}|$, при котором обеспечивается устойчивое обнаружение по (3) с вероятностью более 0,9 (см. рис. 2), мощности ЧО $|x_{a,i}|^2$ можно считать распределёнными по нормальному закону [5] с дисперсией $D1_i = 2 \cdot \delta^2 \cdot |s_{1,i}|^2$:

$$|x_{a,i}|^2 : N_{a,i}(|s_{1,i}|^2, 2 \cdot \delta^2 \cdot |s_{1,i}|^2), a = 1..3, \quad (5)$$

где: $N(a,b)$ – нормальный закон распределения случайной величины со средним a и дисперсией b . Мощности ЧО являются выборкой трёх случайных величин из совокупности нормальных случайных величин с одинаковыми параметрами распределения (5). Среднее значение выборки:

$$m_i = \sum_{a=1}^3 \frac{|x_{a,i}|^2}{3}, \text{ дисперсия: } D_i = \sum_{a=1}^3 \frac{(|x_{a,i}|^2 - m_i)^2}{3}.$$

Величина $3 \cdot D_i / D1_i$ имеет распределение χ^2 с двумя степенями свободы [6].

Поэтому при $H_{1,i}$ вероятность неперевышения величиной $3 \cdot D_i / D1_i$ порога β является вероятностью $p(\hat{H}_{1,i} | H_{1,i})$ правильного принятия решения о наличии одного сигнала в i -ом ЧО по правилу:

$$\begin{cases} 3 \cdot D_i / D1_i \leq \beta \Rightarrow \hat{H}_{1,i} \\ 3 \cdot D_i / D1_i > \beta \Rightarrow \hat{H}_{2,i} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{D_i}{|s_{1,i}|^2} \leq \frac{2 \cdot \delta^2 \cdot \beta}{3} \Rightarrow \hat{H}_{1,i} \\ \frac{D_i}{|s_{1,i}|^2} > \frac{2 \cdot \delta^2 \cdot \beta}{3} \Rightarrow \hat{H}_{2,i} \end{cases} \quad (6)$$

При гипотезе $H_{1,i}$ среднее значение m_i является состоятельной оценкой мощности $|s_{1,i}|^2$ сигнала $s_{1,i}$ (5):

$$\frac{D_i}{m_i} - \frac{D_i}{|s_{1,i}|^2} \xrightarrow{|s_{1,i}|^2 \rightarrow \infty} 0,$$

и при неизвестном уровне сигнала $|s_{1,i}|$ проверка гипотезы $H_{1,i}$ против $H_{2,i}$ (6) сводится к следующему правилу принятия решения:

$$\begin{cases} D_i / m_i \leq \gamma \cdot \delta^2 \Rightarrow \hat{H}_{1,i} \\ D_i / m_i > \gamma \cdot \delta^2 \Rightarrow \hat{H}_{2,i} \end{cases} \quad (7)$$

где порог γ выбирается по заданной вероятности ошибочного принятия решения о наличии в одном ЧО не-

скольких сигналов в случае присутствия только одного сигнала.

Результаты моделирования

Полученная методом статистического моделирования зависимость вероятности ошибочного принятия решения о наличии более одного сигнала при наличии одного сигнала $p(\hat{H}_{2,i} | H_{1,i})$ по правилу (7) от $|s_{k,i}| / \delta, k = 1..K_i$ отношения сигнал-шум (ОСШ) при случайных равномерно распределённых фазе сигнала $s_{1,i}$, пеленге $\varphi_{1,i}$ и угле места $\theta_{1,i}$ и ИРИ сигнала $s_{1,i}$ для различных значений порога γ показана на рис. 5. На рис. 6 и 7 линиями уровня показана зависимость вероятности правильного принятия решения $p(\hat{H}_{2,i} | H_{2,i})$ о наличии более одного сигнала от ОСШ для случая двух сигналов со случайными, независимыми, равномерно распределёнными фазами и УК ИРИ.

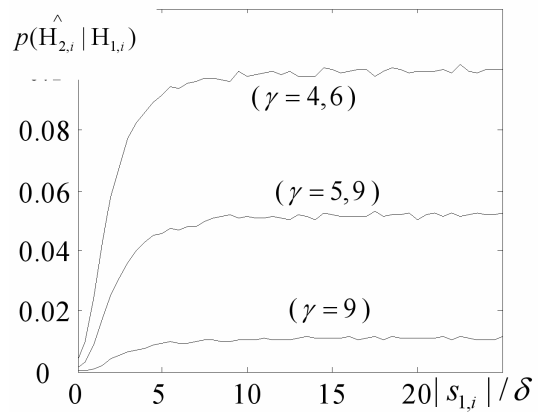


Рис. 5. Зависимость вероятности ошибочного принятия решения о наличии более одного сигнала от ОСШ

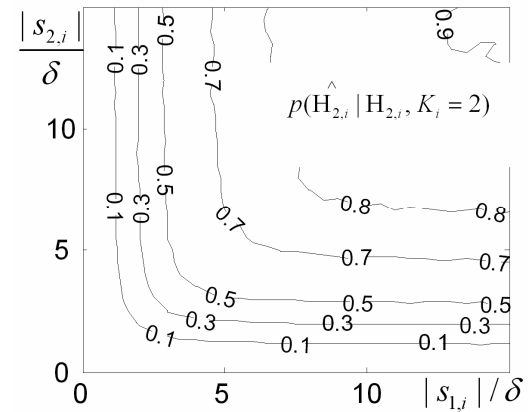


Рис. 6. Зависимость вероятности правильного принятия решения о наличии более одного сигнала от ОСШ при $\gamma = 9,0$

Из рис. 6 и 7 видно, что для отношений сигнал-шум, превышающих уровень 2,5...3 (при котором обеспечивается устойчивое обнаружение, см. рис. 3 и 4), правильное решение о наличии более одного сигнала в большинстве случаев не принимается, если уровень одного сигнала значительно превышает уровень второго (остальных). Однако, можно показать, что в этом случае получаемая по (7) оценка УК ИРИ близка к УК ИРИ более сильного сигнала, так как фаза суперпозиции сильного и слабых сигналов практически не отличается от фазы сильного сигнала.

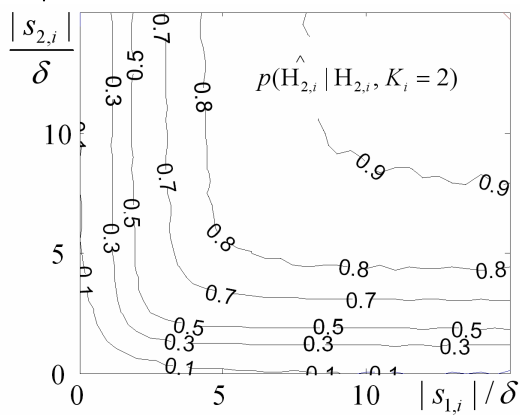


Рис. 7. Зависимость вероятности правильного принятия решения о наличии более одного сигнала от ОСШ при $\gamma = 4, 6$

При получении зависимостей, представленных на рис. 5–7, УК ИРИ моделировались случайными.

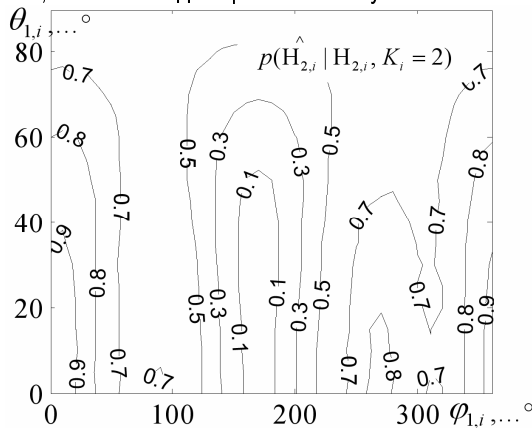


Рис. 8. Зависимости вероятности правильного принятия решения о наличии более одного сигнала от УК ИРИ сигнала $S_{1,i}$ при $|s_{1,i}| / \delta = |s_{2,i}| / \delta = 3$, $\varphi_{2,i} = 170^\circ$, $\theta_{2,i} = 30^\circ$

На рис. 8–11 для различных уровней двух присутствующих в рассматриваемом ЧО сигналов линиями уровня показаны зависимости вероятности правильного принятия решения по (7) о наличии более одного сигнала от УК ИРИ одного из сигналов при различных УК ИРИ второго сигнала, $\gamma = 5, 9$.

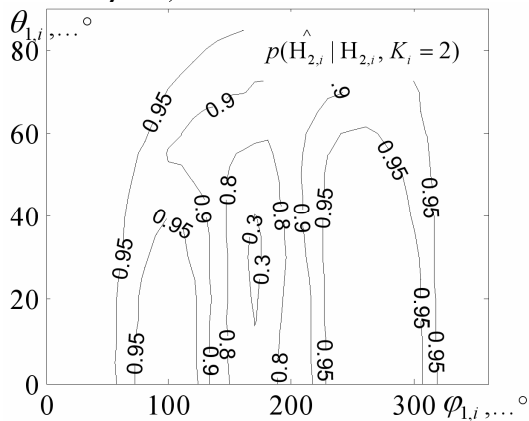


Рис. 9. Зависимости вероятности правильного принятия решения о наличии более одного сигнала от УК ИРИ сигнала $S_{1,i}$ при $|s_{1,i}| / \delta = |s_{2,i}| / \delta = 10$, $\varphi_{2,i} = 170^\circ$, $\theta_{2,i} = 30^\circ$

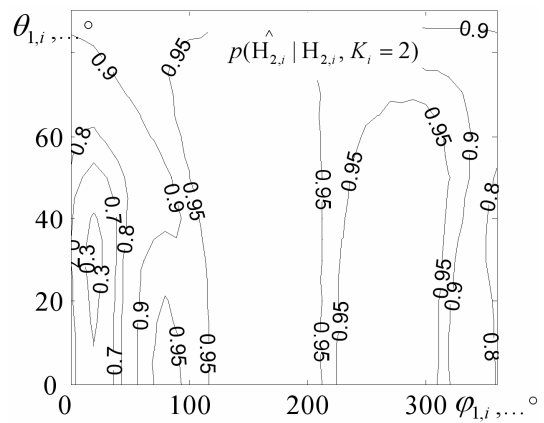


Рис. 10. Зависимости вероятности правильного принятия решения о наличии более одного сигнала от УК ИРИ сигнала $S_{1,i}$ при $|s_{1,i}| / \delta = |s_{2,i}| / \delta = 10$, $\varphi_{2,i} = 20^\circ$, $\theta_{2,i} = 30^\circ$

Угловое расстояние между ИРИ, при котором обеспечивается заданная вероятность правильного принятия решения о наличии более одного сигнала, уменьшается при возрастании уровней сигналов (см. рис. 8 и 9). При рассматриваемой геометрии антенной решетки (см. рис. 1) , вероятность правильного принятия решения о наличии более одного сигнала не зависит от УК ИРИ, а зависит от их разности (см. рис. 9, 10 и 11).

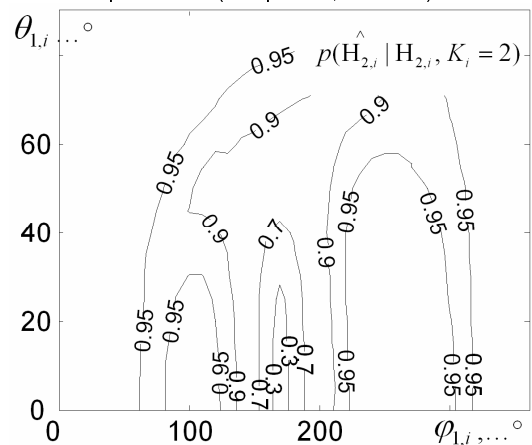


Рис. 11. Зависимости вероятности правильного принятия решения о наличии более одного сигнала от УК ИРИ сигнала $S_{1,i}$ при $|s_{1,i}| / \delta = |s_{2,i}| / \delta = 10$, $\varphi_{2,i} = 170^\circ$, $\theta_{2,i} = 0^\circ$

Высокая вероятность правильного принятия решения по (7) о наличии более одного сигнала в случае присутствия в рассматриваемом ЧО более двух сигналов достигается при соизмеримых уровнях как минимум двух сигналов. Увеличение различия УК ИРИ также приводит к повышению данной вероятности.

Разработанное правило проверки наличия только одного сигнала в ЧО (7) можно обобщить на любое количество ЭАР. Отличие от рассмотренного случая трёх ЭАР заключается в значении порога принятия решения γ .

Применение разработанного правила

Для иллюстрации применения разработанного правила были смоделированы наблюдаемые данные (1, 2) при $N=1024$. На рис. 12.в и 13.в показаны амплитуды ЧО

спектральной функции выходного процесса одного из ЭАР после квадратурной обработки, на рис. 12.а и 12.б – соответствующие УК ИРИ сигналов, присутствующих в наблюдаемых данных, сигналы одного ИРИ присутствуют в нескольких смежных ЧО.

В районе 100-го ЧО присутствуют сигналы трёх ИРИ, в районе 480-го, 600-го и 860-го присутствуют сигналы двух ИРИ.

На рис. 13 а и б показаны оценки угловых координат (4) для ЧО, в которых принято решение о наличии сигналов (3) при $\alpha = 13,8$. Точками показаны оценки УК ИРИ, полученные в тех ЧО, где принято решение о наличии только одного сигнала (7), крестиками – более одного сигнала. При данной (см. рис. 1) геометрии антенной решётки точность оценки угла места низкая.

Из рис. 12 и 13 видно, что проверка наличия только одного сигнала (7) позволяет избежать получения фазовым методом недостоверных оценок УК ИРИ, которые в случае наличия на одной частоте сигналов нескольких ИРИ занимают промежуточное положение между УК данных ИРИ - это сигналы в районе 100-го, 480-го, 600-го и 860-го ЧО.

Если в ЧО присутствуют несколько сигналов, и принимается решение (7) о наличии только одного сигнала, то оценка (4) УК ИРИ для рассматриваемого ЧО соответствует УК ИРИ одного более сильного сигнала. В нашем случае это сигналы в районе 100-го и 480-го ЧО. Точность оценки УК ИРИ зависит от уровня сигнала (см. сигналы в районе 200-го, 400-го и 700-го ЧО).

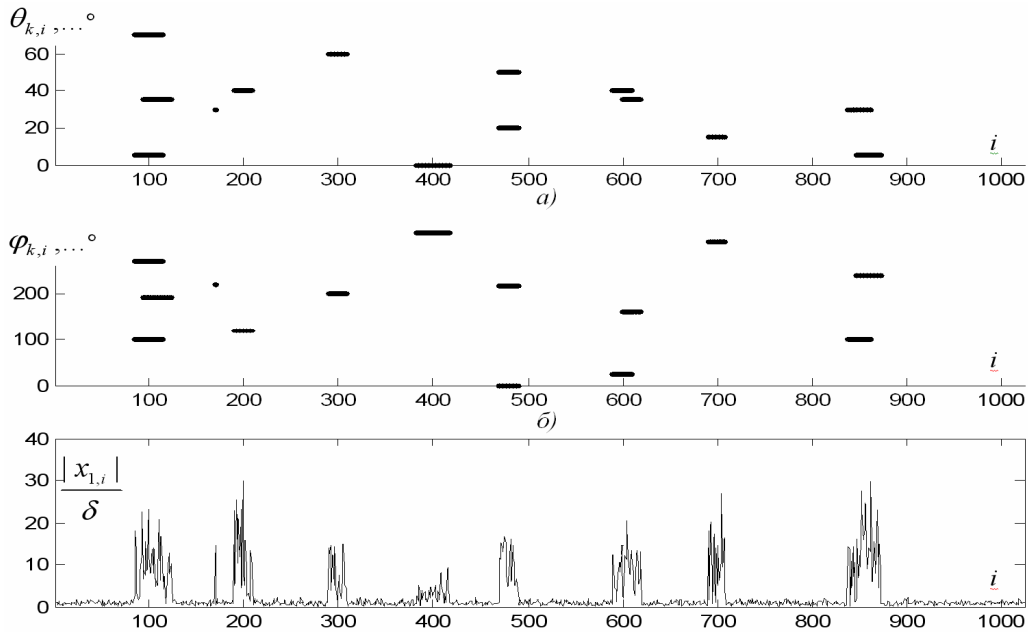


Рис. 12. Модель наблюдаемых данных

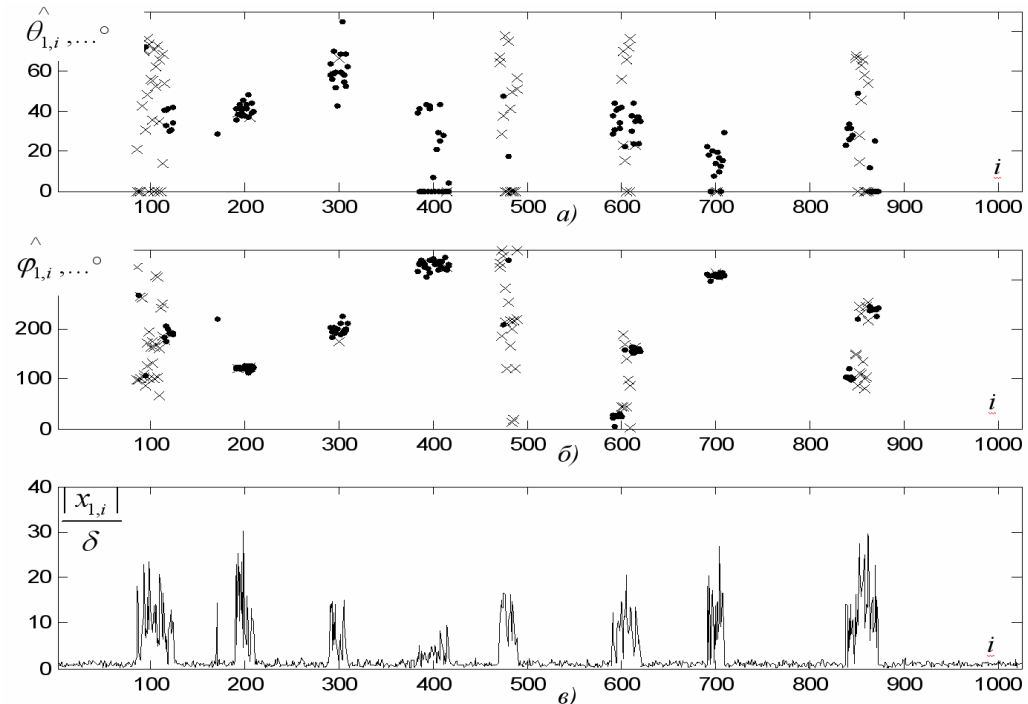
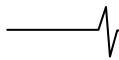


Рис. 13. Обнаружение–оценка УК ИРИ сигналов, присутствующих в наблюдаемых данных. $\alpha = 13,8$, $\gamma = 5,9$



Экспериментальные результаты пеленгования с предварительной проверкой наличия сигнала одного ИРИ в рассматриваемом ЧО получены путем обработки записей сигналов вещательных станций в диапазоне 11 900 кГц при ширине просматриваемого частотного диапазона 100 кГц и частоте дискретизации квадратурных составляющих 160 кГц, $N = 2560$. Записи получены в Ленинградской области от трехканального когерентного приемного устройства.

Антенная решетка состояла из трех активных вибраторных антенн, разнесенных на расстояние 10м.

Несущие частоты сигналов ИРИ данного частотного диапазона располагаются через интервалы 5 кГц, или 128 ЧО по дискретной шкале частот. При обработке реальных данных уровень шума был неизвестен, и его оценка формировалась на основе наблюдаемых данных [4].

На рис. 14.а и 14.б показаны сформированные панорама угол места – частота и частотно-азимутальная панорама. Нормированный к уровню шума амплитудный спектр принятых процессов показан на рис. 14.в.

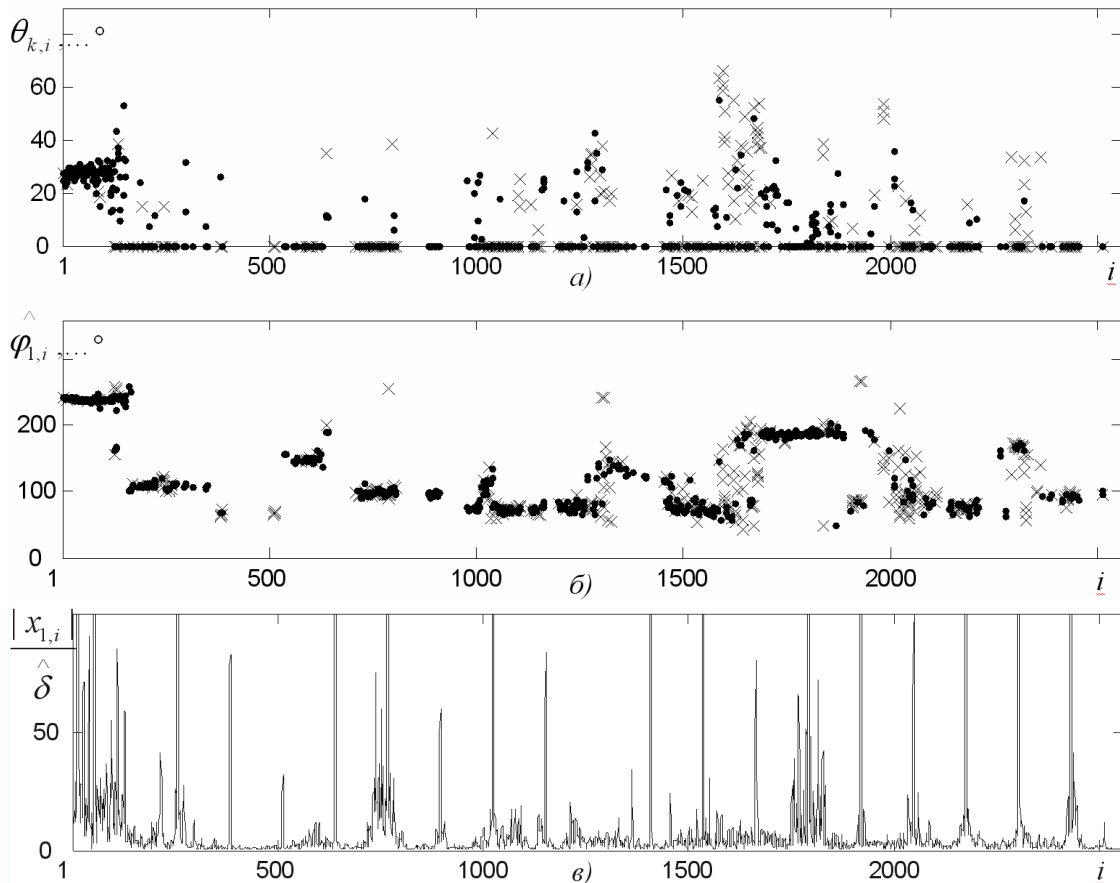


Рис. 14. Обработка записи реальных сигналов. $\alpha = 13.8$, $\gamma = 5,9$

Таблица

Вещательные станции просматриваемого диапазона

Источник сигнала, мощность (кВт) [7]	Polish Radio Warsaw, 100	Radio Romania Int., 250	Family Stations Inc., 250	Radio Exterior de Espana, 500	Radio Romania Int., 250	China Radio Int., 100	China Radio Int., 500	Turkish Radio-TV Corp., 500	BBC World-service, 250
Ближайший населённый пункт [7]	Nauen, Германия	Tiganești, Румыния	Иркутск	Пекин	Galbeni	Lingshi, Китай	Shijiazhuang, Китай	Emirler, Турция	Nakhon Sawan, Таиланд
Расстояние, км	1380	1860	4380	6010	1460	6020	6080	2180	7380
Частота, кГц	11855	11875	11895	11910	11920	11925	11935	11940	11945
Номер ЧО	128	640	1152	1536	1792	1920	2176	2304	2432
Предполагаемый пеленг, ...°	240.6	192.8	67.6	70.7	190.2	75.9	73.5	180.1	99.9

Как и следовало ожидать, решение о наличии более одного сигнала в одном ЧО принимается в тех ЧО, где присутствуют боковые частотные составляющие соседних по частоте ИРИ, а также в тех ЧО, где одновременно сосредоточены несущие частоты различных вещательных КВ-станций. В обрабатываемой записи это сигналы в районе 500-го, 800-го, 1900-го и 2400-го ЧО на рис. 14.

Предполагаемый географический пеленг определяется по географическим координатам ближайшего к источнику сигнала населенного пункта [7]. Полученные оценки пеленга (см. рис. 14. б) согласуются с параметрами ИРИ, приведёнными в таблице.

Заключение

Включение разработанного правила в алгоритм определения УК ИРИ фазовым методом в частотной области позволяет избежать некорректного использования фазового метода при перекрытии спектров сигналов в частотной области и получить информацию о наличии нескольких сигналов на одной частоте.

Вычислительные затраты на использование разработанного правила проверки (7) в алгоритме определения УК ИРИ в частотной области фазовым методом составляют 12 арифметических операций - вычисление отношения дисперсии к среднему значению и сравнение с порогом в ЧО, в котором принято решение о наличии сигналов (3). Это существенно меньше вычислительных затрат на ДПФ и расчёт УК ИРИ по фазовым сдвигам.

Литература

1. F. Quint, J. Reichert and H. Roos. Emitter Detection and Tracking Algorithm for a Wide Band Multichannel. Direction-Finding System in the HF-Band. Proc. MILCOM 1999, v.ol.1, pp.212-216. 1999.
2. Метод совместного частотного обнаружения и оценивания угловых координат при трёхэлементной антенной решётке / А. О. Чемаров // 7-й международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии: Труды симпозиума, Санкт-Петербург, 26-29 июня 2007 / Изд. СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2007, С. 141-144.
3. Чемаров А. О. Обнаружитель-пеленгатор с широкой полосой одновременного обзора на трехэлементной антенной решетке // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2008. Вып. 2. С. 52-57.
4. Чемаров А. О. Устойчивая оценка уровня шума для систем радиомониторинга // Изв. СПбГЭТУ "ЛЭТИ". 2008. № 1. С. 35-39.
5. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Советское радио, 1971. 672 с.
6. Математические методы статистики / Г. Крамер; Под ред. А. Н. Колмогорова. М.: Мир, 1975. 648 с.
7. World-wide amateur radio communications [Электронный ресурс]: база данных содержит расписание выхода в эфир вещательных станций коротковолнового диапазона. — Режим доступа: <http://hfradio.org/swbc/>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.

Уважаемые коллеги!

Предлагаем вам принять участие в формировании тематических выпусков журнала «Цифровая обработка сигналов» и размещению рекламы продукции (услуг) Вашей фирмы на его страницах. В случае положительного решения просим представить в редакцию журнала Ваши предложения по плановому размещению информационных материалов и макет рекламы продукции (услуг) Вашей фирмы с указанием желаемого её месторасположения: обложка (2-я, 3-я или 4-я стр.), цветная внутренняя полоса (объем полосы).

В 2009 году планируется выпуск 4-х номеров журнала (тираж до 1000 экз.). Журнал распространяется по подписке через агентство «Роспечать» в России, СНГ и странах Балтии (индекс 82185), а также на отраслевых всероссийских и международных Выставках.

Размещение рекламы Вашей фирмы на страницах журнала «Цифровая обработка сигналов» на плановой основе (не менее 2-х полных или 4-х половинчатых рекламных полос в течение года) предоставит Вам следующие возможности и права:

1. Первоочередное право расположения рекламных материалов на всех обложках (кроме 1-й) и страницах журнала.
2. Публикация представленных Вами рабочих (рекламных) материалов (статей) объемом до 6 полос в каждом очередном номере (в счет оплаченной рекламы).
3. Установка баннера Вашего сайта (или логотипа вашей организации) на 1-й странице сайта журнала «Цифровая обработка сигналов» (www.dspra.ru) в течение всего года, что привлечет внимание к продукции (услугам) Вашей фирмы новых участников на рынке DSP-технологий (ежедневно фиксируется до 100 и более посещений сайта www.dspra.ru).
4. Предоставление до 10 экз. очередного выпуска журнала.

Ориентировочная стоимость рекламных услуг:

4-я (внешняя) страница цветной обложки - 20 тысяч рублей.

2-я и 3-я (внутренние) страницы цветной обложки - 15 тысяч рублей.

1\2 цветной внутренней полосы - 7 тысяч рублей.

1\2 черно-белой внутренней полосы - 1 тысяча рублей.

Ждем Ваших предложений.

С наилучшими пожеланиями, зам. главного редактора
д.т.н., профессор Витязев Владимир Викторович

Предложения прошу направлять по адресу:
E-mail: tor@rgrrta.ryazan.ru или info@dspra.ru