

## ПЕЛЕНГАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕЗАВИСИМОСТИ ФЛУКТУАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ

к.т.н. У.Р. Лиепинь, В.Н. Куприй, С.А. Еременко  
(представил д.т.н., проф. В.Д. Карлов)

*С использованием метода имитационного моделирования показана возможность увеличения точности пеленгации источников радиоизлучения (ИРИ) в условиях независимости флуктуаций параметров среды в направлении каждого из источников.*

**Постановка задачи.** Изменения геофизических условий на трассе распространения радиоволн (РРВ) вызывают изменения как законов, так и параметров флуктуаций электродинамических характеристик среды. Это приводит к изменению законов и параметров флуктуаций амплитудно-фазового распределения (АФР) радиосигналов, прошедших неоднородную среду, и как следствие, к возрастанию ошибок пеленгации ИРИ практически всеми известными методами.

Задача адаптации линейной антенной решетки (ЛАР) к условиям РРВ в ситуации, когда флуктуации АФР в направлении двух ИРИ практически одинаковы, решена в [1]. Однако, в процессе эксплуатации радиотехнической системы (РТС) с ЛАР, более вероятной является ситуация, когда флуктуации параметров среды РРВ в направлении каждого из ИРИ, различны.

В статье оценивается возможность увеличения точности пеленгации ИРИ в указанных выше условиях путем усреднения откликов алгоритмов пеленгации, полученных в моменты времени, отличающиеся временем корреляции флуктуаций параметров среды РРВ.

**Анализ литературы.** Известные методы квазиоптимальной адаптации ЛАР к условиям РРВ [2] рассчитаны для адаптации только к одному угловому направлению, при условии успешного решения задачи подавления сигналов, принимаемых с других направлений. Однако решению этой задачи также мешают искажения АФР сигналов, вносимых средой РРВ. Это обстоятельство подчеркивает актуальность задачи поиска методов снижения влияния условий РРВ на точность пеленгации ИРИ.

**Цель работы.** Имитационным моделированием оценить возможность увеличения точности пеленгации ИРИ в условиях независимости флуктуаций АФР сигналов в направлении каждого из них путем усреднения откликов алгоритмов пеленгации по времени.

**Условия моделирования.** Аналитических методов оценки эффективности алгоритмов спектрального анализа в такой ситуации пока нет. По этой причине поставленная выше задача в работе решается имитационным моделированием.

Для оценки НП сигналов использовались три алгоритма: собственноструктурный алгоритм MUSIC [1], описанный соотношением (1), алгоритм Кейпона [3], соответствующий (2) и алгоритм основных компонент Бартлета [4], СФ которого описывается соотношением (3):

$$\hat{S}_{\text{МУК}}(\theta) = \left\{ \mathbf{a}^H(\theta) \hat{\mathbf{V}}_n \hat{\mathbf{V}}_n^H \mathbf{a}(\theta) \right\}^{-1}; \quad (1)$$

$$\hat{S}_{\text{АК}}(\theta) = \left\{ \mathbf{a}^H(\theta) \hat{\Phi}^{-1} \mathbf{a}(\theta) \right\}^{-1}; \quad (2)$$

$$\hat{S}_{\hat{\Lambda}}(\theta) = \left\{ \mathbf{a}^H(\theta) \hat{\Phi} \mathbf{a}(\theta) \right\}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{a}(\theta)$  – вектор волнового фронта;  $\hat{\mathbf{V}}_n$  – оцененная матрица, столбцами которой являются оцененные собственные векторы корреляционной матрицы, принадлежащие шумовому подпространству, размера  $N \times (N - U)$ ;  $\hat{\Phi}$  – оценка КМ принятого колебания;  $N$  – число каналов приема;  $U$  – количество ИРИ.

Моделировалась 16-элементная линейная эквидистантная антенная решетка (АР), на которую воздействовали три ИРИ с направлений главного максимума, третьего и пятого боковых лепестков. Объем выборки равнялся 16 и 32, отношение сигнал/шум в канале АР изменялось от 5 до 30 дБ с шагом 5 дБ. Проводилась серия из 1000 независимых испытаний. Флуктуации фазы в волновых фронтах полагались независимыми, распределенными по нормальному закону с нулевым средним. Средние квадратические отклонения этих флуктуаций равнялись 45 и 75°.

Алгоритм функционировал следующим образом.

Количество ИРИ полагалось известным заранее или полученным по результатам работы алгоритма Шварца-Риссанена (MDL) [3]. Осуществляя сканирование в заданном секторе  $(\theta_n, \theta_k)$  так, чтобы оценка спектральной функции получалась в виде непрерывной функции угловой координаты. Сканирование осуществляется изменением наклона вектора волнового фронта  $\mathbf{a}(\theta)$ . Направления на ИРИ оцениваются по соответствующим максимумам СФ. Из-за флуктуаций фронта принимаемой ра-

диоволны, количество максимумов в спектральной функции может быть больше чем оцененное число ИРИ. Естественно предположить, что максимумы, соответствующие истинным направлениям на ИРИ, будут большими по амплитуде. Поэтому за направление прихода сигнала брались направления, соответствующие  $U$  максимальным значениям спектральной функции. В данном случае  $U = 3$ .

**Результаты моделирования.** Результаты моделирования представлены на рис. 1, 2.

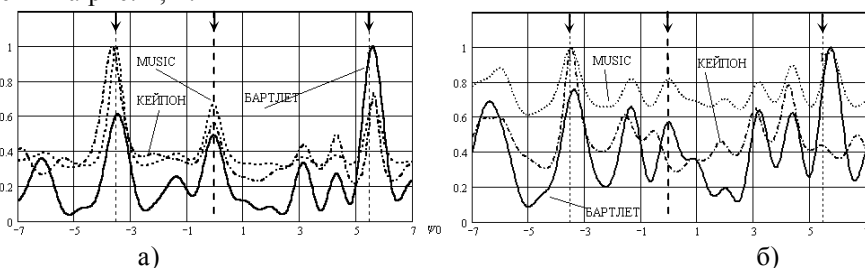


Рис. 1. Вид спектральной функции, полученной алгоритмами MUSIC, Кей-пона и Бартлетта, для значений СКО флуктуаций фазы  $\sigma_\phi = 45^\circ$  (а) и  $\sigma_\phi = 75^\circ$  (б)

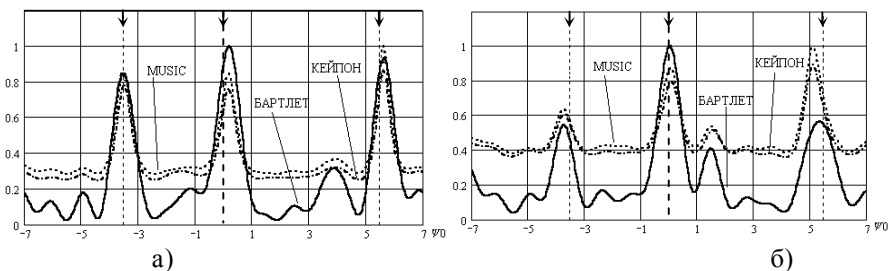


Рис. 2. Вид спектральной функции, полученной алгоритмами MUSIC, Кей-пона и Бартлетта, для значений СКО флуктуаций фазы  $\sigma_\phi = 45^\circ$  (а) и  $\sigma_\phi = 75^\circ$  (б), после усреднения по 10 реализациям

На рис. 1 по оси абсцисс отложены обобщенные углы направлений прихода (НП) сигналов, по оси ординат спектральные функции (СФ) (1), (2), (3) алгоритмов пеленгации. Рис. 1 соответствует откликам алгоритмов до усреднения, рис. 2 – после усреднения. Причина увеличения точности пеленгации после усреднения в том, что пики СФ, соответствующие истинным НП сигналов, хотя и меняются по амплитуде, но постоянно имеют одну ориентацию, совпадающую с НП сигналов. Ложные

пики постоянно меняются по амплитуде и НП, и после усреднения превращаются в постоянный фон.

**Выводы.** Результаты моделирования показывают следующие закономерности:

1. Увеличение СКО флуктуаций фазы в принимаемых радиоволнах  $\sigma_\varphi$  приводит к увеличению ошибок пеленгации для всех рассматриваемых алгоритмов. Все три алгоритма работают нестабильно, появляются дополнительные пики, их количество оказывается больше действительного числа ИРИ U.

2. Усреднение откликов алгоритмов пеленгации по времени позволяет значительно уменьшить амплитуду и число ложных выбросов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лиепинь У.Р., Головина Л.В., Куприй В.М. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках, работающих в среде с флуктуирующими электродинамическими параметрами // *Радиоэлектроника (Изв. высш. уч. завед.)*. – 2001. – № 2. – С. 25 – 32.
2. Маслов А.Ф., Нестеров К.П. Квазиоптимальный алгоритм измерения амплитуд и фаз сигналов на выходах элементов приемной антенной решетки, работающей в неоднородной среде // *Радиотехника и электроника*. – 1983. – Т. 28, № 3. – С. 491 – 500.
3. Леховицкий Д.И., Атаманский Д.В., Кириллов И.Г., Зарицкий В.И. Сравнение эффективности адаптивной обработки в произвольных и центрально-симметричных ФАР // *Антенны*. – 2000. – № 1(44). – С. 30 – 35.
4. Solomon I S.D., Gray D.A., Abramovic Y.M., Anderson S.I. Receiver Array calibration using disparate sources // *IEEE Trans. Sign. Proc.* – 1999. – Vol. 47, № 3. – P. 496 – 505.

Поступила 20.10.2003

**ЛИЕПИНИЙ Улдис Робертович**, канд. техн. наук, доцент кафедры Харьковского военного университета. В 1970 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – адаптивные антенные решетки.

**КУПРИЙ Владимир Николаевич**, инженер лаборатории Харьковского военного университета. В 1997 году окончил ХВУ. Область научных интересов – адаптивные антенные решетки.

**ЕРЕМЕНКО Сергей Алексеевич**, старший преподаватель кафедры Харьковского военного университета. В 1994 году окончил ХВУ. Область научных интересов – адаптивные антенные решетки.