

УДК 621.396.96:551.501.815

ПЕЛЕНГАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБНАРУЖЕНИЯ НА ИХ ФОНЕ ВОЗДУШНЫХ ЦЕЛЕЙ В РЛС С ФАР

Д. В. АТАМАНСКИЙ

*Харьковский национальный университет Воздушных Сил,
Украина, Харьков, 61023, ул. Сумская 77/79*

Аннотация. Рассмотрены два варианта комбинированных систем пространственной обработки сигналов в радиолокационных станциях (РЛС) с фазированной антенной решеткой (ФАР), в которых обнаружение нешумящих точечных целей на фоне шумовых излучений сопровождается пеленгацией их источников. В первом варианте пеленгация источников шумовых излучений базируется на анализе формы адаптивной диаграммы направленности ФАР, сформированной в процессе адаптивного обнаружения цели на их фоне. Во втором варианте пеленги определяются по положениям максимумов «спектральных функций» различных оценок корреляционной матрицы, формируемой по отчетам входных воздействий. Приведен пример построения комбинированной системы пространственной обработки на основе общего адаптивного решетчатого фильтра (АРФ). Показано, что эффект совместного обнаружения цели на фоне внешних помех и пеленгации их источников достигнут однократным использованием наиболее сложной операции настройки АРФ, общей для этих задач, что проще, чем при автономном решении каждой из них.

Ключевые слова: источник шумовых излучений; пространственная обработка; адаптивная диаграмма направленности; сверхразрешающая пеленгация; адаптивный решетчатый фильтр

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В РЛС военного назначения обычно предусматривается как обнаружение воздушных целей на фоне помех, создаваемых точечными источниками шумовых излучений, так и пеленгация этих источников. Как правило, эти задачи решаются автономными системами обработки [1, с. 438; 2, с.20, 455].

В то же время алгоритмы решения каждой из этих задач могут иметь общие операции, составляющие существенную часть соответствующего алгоритма в целом. В этих условиях обе задачи можно решить проще, чем при автономном решении каждой из них.

Так, весовой вектор оптимального обнаружителя сигнала точечной цели на фоне гауссовых шумовых излучений определяется матри-

цей $\Psi = \{\omega_{ij}\}_{i,j=1}^M = \Phi^{-1}$, обратной корреляционной матрице (КМ) $\Phi = \{\varphi_{ij}\}_{i,j=1}^M$ этих излучений на выходах M пространственных каналов приема [1, с. 252].

Функции этой же матрицы используются во многих современных сверхразрешающих (superresolving) методах пеленгации источников этих излучений [6–27]. Поэтому возможно построить комбинированную систему обнаружения–пеленгации, в которой общие операции соответствующих алгоритмов выполняются только один раз. Возможности и особенности такой комбинации на основе корреляционных автокомпенсаторов (АК) рассматривались еще в работах В. В. Фединина.

К настоящему времени разработаны адаптивные системы пространственной обработки,

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ширман, Я.Д.; Багдасарян, С.Т.; Маляренко, А.С.; Леховицкий, Д.И.; и др. *Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник*. Изд. 2-е, перераб. и доп., под ред. Я.Д.Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
2. *Справочник по радиолокации*. Под ред. М.И.Сколника: Пер. с англ. под общей ред. В.С.Вербы. М.: Техносфера, 2014. 1352 с.
3. Chen, Z.; Gokeda, G.; Yu, Y. *Introduction to Direction-of-Arrival Estimation*. Artech House, 2010. 196 p.
4. Ширман, Я.Д.; Манжос, В.Н.; Леховицкий, Д.И. Некоторые этапы развития и проблемы теории и техники разрешения радиолокационных сигналов. *Радиотехника*, № 1, с. 31–42, 1997.
5. Рябуха, В.П.; Рачков, Д.С.; Семеняка, А.В.; Катюшин, Е.А. Оценка интервала фиксации пространственного весового вектора при последовательной пространственно-временной обработке сигналов на фоне комбинированных помех. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 55, № 10, с. 13–25, 2012. URL: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347012100020>.

6. Stoica, P.; Moses, R. L. *Introduction to Spectral Analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1997.
7. Ашихмин, А.В.; Козьмин, В.А.; Негроров, В.В., Пастернак, Ю.Г.; Рембовский, Ю.А. Анализ перспективных направлений развития методов оценки угловых координат источников радиоизлучения. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, Т. 5, № 9, 2009. <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-perspektivnyh-napravleniy-razvitiya-metodov-otsenki-uglovykh-koordinat-istochnikov-radioizlucheniya>.
8. Lekhovytskyi, D. I.; Shifrin, Y. S.; Atamanskiy, D. V. Rapidly convergent “superresolving” direction finders of noise radiation sources in adaptive arrays. *Proc. of Int. Conf. on Antenna Theory and Techniques, ICATT*, 16–20 Sept. 2013, Odessa, Ukraine. IEEE, 2013, pp. 28–33. DOI: [10.1109/ICATT.2013.6650679](https://doi.org/10.1109/ICATT.2013.6650679).
9. Lekhovytskyi, D. I.; Shifrin, Y. S. Statistical analysis of “superresolving” methods for direction-of-arrival estimation of noise radiation sources under finite size of training sample. *Signal Processing*, vol. 93, no. 12, pp. 3382–3399, 2013. DOI: [10.1016/j.sigpro.2013.03.008](https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2013.03.008).
10. Gershman, A. B. Pseudo-randomly generated estimator banks: a new tool for improving the threshold performance of direction finding. *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 46, no. 5, p. 1351–1364, May 1998. DOI: [10.1109/78.668797](https://doi.org/10.1109/78.668797).
11. Зотов, С.А.; Макаров, Е.С.; Нечаев, Ю.Б. Методы сверхразрешения в задачах радиопеленгации. *Информационные процессы и технологии в обществе и экономике*, № 3, С. 12–26, 2006. URL: <http://www.lerc.ru/informatics/0003/0002/>.
12. Макаров, Е.С.; Нечаев, Ю.Б. Повышение точности пеленгации при использовании сверхразрешающих алгоритмов обработки. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, т. 4, № 2, С. 59–62, 2008.
13. Чудопалов, И.В. Сравнительный анализ методов сверхразрешения в антенных решетках. *Т-Комм — Телекоммуникации и Транспорт*, № 6, 2008. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-metodov-sverhrazresheniya-v-antennyh-reshetkah>.
14. Василишин, В.И. Адаптивный вариант технологии суррогатных данных для повышения эффективности спектрального анализа сигналов собственноструктурными методами. *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 58, № 3, С. 26–39, 2015. URL: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347015030036>.
15. Григорян, Д.С.; Семченков, С.М. Сверхразрешение по дальности при обработке радиолокационных сигналов с линейной частотной модуляцией когерентным методом линейного предсказания вперед-назад с прореживанием данных. *Журнал радиоэлектроники*, № 8, 2011. URL: <http://jre.cplire.ru/koj/aug11/2/text.html>.
16. Al-Azzo, M. F.; Al-Sabaawi, K. I. Comparison between classical and modern methods of direction of arrival (DOA) estimation. *Int. J. Advances Engineering & Technology*, vol. 7, no. 3, p. 1082–1090, 2014. URL: http://www.e-ijaet.org/media/53I21-IJAET0721311_v7_iss3_1091-1108.pdf.
17. Yu, Huaxin; Qiu, Xiaofeng; Zhang, Xiaofei; Wang, Chenghua; Yang, Gang. Two-dimensional direction of arrival (DOA) estimation for rectangular array via compressive sensing trilinear model. *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2015, ID 297572, 2015. DOI: [10.1155/2015/297572](https://doi.org/10.1155/2015/297572).
18. Hong, J.-G.; Park, C.-S.; Seo, B.-S. Comparison of MUSIC and ESPRIT for direction of arrival estimation of jamming signal. *Proc. of 2012 IEEE Int. Instrumentation and Measurement Technology Conf., I2MTC*, 13–16 May 2012, Graz, Austria. IEEE, 2012, pp. 1741–1744. DOI: [10.1109/I2MTC.2012.6229509](https://doi.org/10.1109/I2MTC.2012.6229509).
19. Gelius, Leiv-J.; Tygel, Martin; Takahata, André K.; Asgedom, Endrias G.; Serrano, Dany R. High-resolution imaging of diffractions—A window-steered MUSIC approach. *Geophysics*, vol. 78, no. 6, p. S255–S264, 2013. DOI: [10.1190/geo2013-0047.1](https://doi.org/10.1190/geo2013-0047.1).
20. Lee, J.-H.; Jeong, Y.-S.; Cho, S.-W.; Yeo, W.-Y.; Pister, K. S. J. Application of the Newton method to improve the accuracy of TOA estimation with the beamforming algorithm and the MUSIC algorithm. *PIER*, Vol. 116, P. 475–515, 2011. DOI: [10.2528/PIER10112608](https://doi.org/10.2528/PIER10112608).
21. Johnson, B. A.; Abramovich, Y. I.; Mestre, X. MUSIC, G-MUSIC, and maximum-likelihood performance breakdown. *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 56, No. 8, P. 3944–3958, 2008. DOI: [10.1109/TSP.2008.921729](https://doi.org/10.1109/TSP.2008.921729).
22. X. Huang, Y. Jay Guo, J. D. Bunton. Two decades of array signal processing research. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 9, P. 1770–1779, 2010. **есть только** <https://doi.org/10.1109/79.526899>.
23. Abramovich, Y. I.; Johnson, B. A. Detection-estimation of very close emitters: performance breakdown, ambiguity, and general statistical analysis of maximum-likelihood estimation. *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 58, No. 7, P. 3647–3660, 2010. DOI: [10.1109/TSP.2010.2047334](https://doi.org/10.1109/TSP.2010.2047334).
24. Tidd, W. G. *Sequential BeamSpace Smart Antenna System*. Master’s Thesis, Montana State University, 2011. 140 p.
25. Kritchman, S.; Nadler, B. Non-parametric detection of the number of signals: hypothesis testing and random matrix theory. *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 57, No. 10, P. 3930–3941, 2009. DOI: [10.1109/TSP.2009.2022897](https://doi.org/10.1109/TSP.2009.2022897).
26. Foutz, J.; Spanias, A.; Banavar, M. K. Narrowband direction of arrival estimation for antenna arrays. *Synthesis Lectures on Antennas*, Vol. 3, No. 1, P. 1–76, 2008. DOI: [10.2200/S00118ED1V01Y200805ANT008](https://doi.org/10.2200/S00118ED1V01Y200805ANT008).
27. Леховицкий, Д.И.; Рачков, Д.С.; Семеняка, А.В.; Рябуха, В.П.; Атаманский, Д.В. Адаптивные решетчатые фильтры. Часть I, II. *Прикладная радиоэлектроника*, Т. 10, № 4, С. 380–418, 2011.

28. Леховицкий, Д. И.; Атаманский, Д. В.; Кириллов, И. Г. Разновидности «сверхразрешающих» анализаторов пространственно-временного спектра случайных сигналов на основе обесцвечивающих адаптивных решетчатых фильтров. *Антенны*, № 2, С. 19–32, 2000.

29. Леховицкий, Д. И.; Атаманский, Д. В.; Джус, В. В.; Жуга, Г. А. Комбинированные пеленгаторы точечных источников шумовых излучений на основе адаптивных решетчатых фильтров. *Прикладная радиоэлектроника*, Т. 5, № 3, С. 306–315, 2006.

Поступила в редакцию 21.09.2016

После переработки 20.04.2017
