

УДК 621.391:621.396

## ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ КОСВЕННЫХ АЛГОРИТМОВ

Д. И. ПОПОВ

*Рязанский государственный радиотехнический университет,  
Россия, Рязань, 390005, ул. Гагарина, д. 59/1*

**Аннотация.** Методом максимального правдоподобия синтезированы косвенные алгоритмы оценивания параметров пассивных помех, использующие линейные преобразования исходных данных. Введена функция правдоподобия для преобразованных в соответствии с суммарно-разностными алгоритмами входных отсчетов. Полученные в результате решения соответствующих уравнений правдоподобия алгоритмы оценивания коэффициентов межпериодной корреляции и доплеровского сдвига фазы не содержат традиционной операции комплексного перемножения входных данных. Приведена структурная схема измерителя оценок соответствующих параметров пассивной помехи, которые могут быть использованы в адаптивных режекторных фильтрах. Проведен анализ точности оценивания искомым параметров пассивной помехи в зависимости от объема обучающей выборки и корреляционных свойств помехи. Сравнение результатов моделирования и расчетов для косвенных и прямых алгоритмов показало их полное совпадение и подтвердило асимптотическую эффективность получаемых оценок и эквивалентность косвенных и прямых алгоритмов.

**Ключевые слова:** алгоритм оценивания; метод максимального правдоподобия; суммарно-разностный алгоритм; коэффициент корреляции; доплеровский сдвиг фазы; пассивная помеха; точность оценивания

### ВВЕДЕНИЕ

Априорная неопределенность спектрально-корреляционных характеристик пассивных помех, создаваемых мешающими отражениями от неподвижных или медленно перемещающихся объектов, а также их неоднородность и нестационарность в зоне обзора существенно затрудняют реализацию эффективного обнаружения движущихся целей на фоне пассивных помех [1, 2]. Преодоление априорной неопределенности параметров помехи в соответствии с методологией адаптивного байесовского подхода основывается на замене неизвестных параметров помехи их состоятельными оценками, что приводит к построению адаптивных алгоритмов и систем обработки,

основным узлом которых являются адаптивные режекторные фильтры [3, 4].

Одной из основных задач, возникающих при адаптивном режектировании пассивных помех, является оценивание неизвестных параметров помехи — аргумента и модуля коэффициентов корреляции. Оптимальные алгоритмы и устройства оценивания этих параметров могут быть синтезированы прямым использованием метода максимального правдоподобия [5–12]. Однако в ряде случаев на практике реализация присущей оптимальным алгоритмам операции комплексного перемножения входных данных при условии работы измерителей в реальном масштабе времени оказывается затруднительной, что приводит к косвенным ал-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Skolnik, M. I. (ed.). *Radar Handbook*, 3rd ed. McGraw-Hill, 2008. 1352 p.
2. Richards, M. A.; Scheer, J. A.; Holm, W. A. (eds.). *Principles of Modern Radar: Basic Principles*. New York: SciTech Publishing, IET, Edison, 2010. 924 p.
3. Попов, Д.И. “Адаптация нерекурсивных режекторных фильтров,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 52, № 4, С. 46–55, 2009. URI: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347009040050>.
4. Лозовский, И.Ф. “Построение и эффективность адаптивной обработки сигналов в условиях воздействия комбинированных помех,” *Успехи современной радиоэлектроники*, № 1, С. 52–58, 2016. URI: <http://www.radiotec.ru/article/7230>.
5. Melvin, W. L.; Scheer, J. A. (eds.). *Principles of Modern Radar: Advanced Techniques*. New York: SciTech Publishing, IET, Edison, 2013. 846 p.
6. Richards, M. A. *Fundamentals of Radar Signal Processing*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. 618 p.
7. Popov, D. I.; Smolskiy, S. M. “Estimation of the clutter correlation coefficient in radar systems,” *Infocommun. J.*, Vol. VIII, No. 3, p. 8-12, Sept. 2016.

8. Perozzi, G.; Efimov, D.; Biannic, J.-M.; Planckaert, L.; Coton, P. "Wind estimation algorithm for quadrotors using detailed aerodynamic coefficients," *Proc. of Annual American Control Conf.*, ACC, 27-29 Jun. 2018, Milwaukee, USA. IEEE, 2018, p. 1921–1926. DOI: [10.23919/ACC.2018.8431879](https://doi.org/10.23919/ACC.2018.8431879).
9. Malikov, E.; Sun, Y. "Semiparametric estimation and testing of smooth coefficient spatial autoregressive models," *J. Econometrics*, Vol. 199, No. 1, p. 12-34, 2017. DOI: [10.1016/j.jeconom.2017.02.005](https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2017.02.005).
10. Tarima, S. "Statistical estimation in the presence of possibly incorrect model assumptions," *J. Statistical Theory Practice*, Vol. 11, No. 3, p. 449-467, 2017. DOI: [10.1080/15598608.2017.1299056](https://doi.org/10.1080/15598608.2017.1299056).
11. Karmakar, B.; Mukhopadhyay, I. "Risk efficient estimation of fully dependent random coefficient autoregressive models of general order," *Commun. Statistics - Theory Methods*, Vol. 47, No. 17, p. 4242-4253, 2018. DOI: [10.1080/03610926.2017.1371758](https://doi.org/10.1080/03610926.2017.1371758).
12. Sun, Y.; Malikov, E. "Estimation and inference in functional-coefficient spatial autoregressive panel data models with fixed effects," *J. Econometrics*, Vol. 203, No. 2, p. 359-378, 2018. DOI: [10.1016/j.jeconom.2017.12.006](https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2017.12.006).
13. Кошевой, В. М.; Медведик, А. Д. "Построение измерителей параметров пассивных помех на основе схем череспериодной компенсации," *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 23, № 12, С. 82–84, 1980.
14. Olguin, C. J. M.; Sampaio, S. C.; dos Reis, R. R. "Statistical equivalence of prediction models of the soil sorption coefficient obtained using different log P algorithms," *Chemosphere*, Vol. 184, p. 498-504, 2017. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2017.06.027](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.027).
15. Pepelyshev, A.; Kornikov, V.; Zhigljavsky, A. "Statistical estimation in global random search algorithms in case of large dimensions," in: Battiti, R.; Kvasov, D.; Sergeyev, Y. (eds.) *Learning and Intelligent Optimization. LION 2017. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 10556. Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-319-69404-7\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69404-7_32).
16. Hua, X.; Cheng, Y.; Wang, H.; Qin, Y. "Information geometry for covariance estimation in heterogeneous clutter with total Bregman divergence," *Entropy*, Vol. 20, No. 4, p. 258, 2018. DOI: [10.3390/e20040258](https://doi.org/10.3390/e20040258).
17. Lazrieva, N.; Toronjadze, T. "Recursive estimation procedures for one-dimensional parameter of statistical models associated with semimartingales," *Trans. A. Razmadze Math. Institute*, Vol. 171, No. 1, p. 57-75, 2017. DOI: [10.1016/j.trmi.2016.12.001](https://doi.org/10.1016/j.trmi.2016.12.001).
18. Попов, Д. И. "Адаптивное режективное пассивных помех," *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 56, № 4, С. 39–47, 2013. DOI: [10.20535/S0021347013040031](https://doi.org/10.20535/S0021347013040031).

Поступила в редакцию 18.10.2016

После доработки 22.12.2018

Принята к публикации 14.01.2019