

УДК 621.396.96

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ СОПРОВОЖДЕНИЯ МАНЕВРИРУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ В СЛОЖНОЙ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКЕ ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ С ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ

Т. В. БАРИНГОЛЬЦ¹, Д. В. ДЕМИН¹, С. Я. ЖУК², В. В. ЦИСАРЖ¹

¹Научно-исследовательский институт радиолокационных систем «Квант-Радиолокация»,
Украина, Киев, 03150, ул. Деловая, 5

²Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»,
Украина, Киев, 03056, пр-т Победы 37

Аннотация. Адаптивные многомодельные алгоритмы, основанные на модели движения цели в виде дискретной стохастической динамической системы со случайной структурой, являются адекватными задаче сопровождения целей по данным многофункциональной радиолокационной станции (МФРЛС) с фазированной антенной решеткой (ФАР) в сложной динамически изменяющейся сигнально-помеховой обстановке. В работе на основе математического аппарата смешанных марковских процессов в дискретном времени синтезированы оптимальный и квазиоптимальный алгоритмы адаптивного оценивания параметров движения маневрирующих целей в прямоугольной системе координат для МФРЛС с ФАР. Они описывают эволюцию совместной апостериорной плотности вероятности вектора параметров движения цели и переменной переключения, определяющей вид ее движения, а реализующие их фильтры относятся к классу устройств с обратными связями между каналами. Отождествление отметок в стробе сопровождения выполняется в сферической системе координат путем отбора ближайшей к центру строба отметки. Анализ эффективности разработанного алгоритма сопровождения выполнен с использованием тестовых трасс двух целей с разными интенсивностями маневра и параметрами режимов сопровождения. Определены точностные характеристики адаптивного фильтра и показатели эффективности сопровождения при различной вероятности ложной тревоги.

Ключевые слова: многофункциональная радиолокационная станция, фазированная антенная решетка, маневрирующая цель, ложные отметки, смешанный марковский процесс, оптимальный и квазиоптимальный алгоритмы, точностные характеристики сопровождения, вероятность срыва сопровождения

ВСТУПЛЕНИЕ

Современные многофункциональные радиолокационные станции (МФРЛС) вынуждены функционировать в сложной динамически изменяющейся сигнально-помеховой обстановке, обусловленной наличием большого числа целей различных типов, отличающихся скоростными, высотными, маневренными характеристиками, а также наличием помех есте-

ственного и искусственного происхождения [1–3].

При решении функциональных задач в МФРЛС с двумерной фазированной антенной решеткой (ФАР) существует возможность [4, 5]:

— безынерционного управления лучом диаграммы направленности антенны в пространстве при поиске и сопровождении целей;

DOI: [10.20535/S0021347019070021](https://doi.org/10.20535/S0021347019070021)

© Т. В. Баринголец, Д. В. Демин, С. Я. Жук, В. В. Цисарж, 2019

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верба, В.С. *Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденция развития*. М.: Радиотехника, 2008. 432 с.
2. Гузь, В.И.; Липатов, В.П.; Баринголец, Т.В.; Белокоз, С.С.; Смертенко, Е.В.; Субботина, Л.Б.; Торгонский, В.В. “Принципы построения системы комплексной обработки информации от многих разнотипных источников, расположенных на одной или нескольких подвижных платформах,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 55, № 1, С. 4–14, 2012. DOI: [10.20535/S0021347012010013](https://doi.org/10.20535/S0021347012010013).
3. Балинин, М.; Даландин, А. “Состояние и перспективы развития американских наземных РЛС дальнего обнаружения воздушных целей,” *Зарубежное военное обозрение*, № 1, С. 69–74, 2016.
4. Гузь, В.И.; Бутырин, А.В.; Липатов, В.П.; Баринголец, Т.В. “Адаптивное управление распределением энергетического и временного ресурса РЛС с фазированной антенной решеткой,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 50, № 2, С. 3–14, 2007. URI: <http://radio.kpi.ua/article/view/S002134700702001X>.
5. Schikorr, M.; Fuchs, U.; Bockmair, M. “Radar resource management study for multifunction phased array radar,” *Proc. of 2016 European Radar Conf., EuRAD*, 5-7 Oct. 2016, London, UK. IEEE, 2016, p. 213-216. URI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7811685>.
6. Zhang, H.-W.; Xie, J.-W.; Lu, W.-L.; Sheng, C.; Zong, B.-F. “A scheduling method based on a hybrid genetic particle swarm algorithm for multifunction phased array radar,” *Frontiers Inf. Technol. Electronic Engineering*, Vol. 18, No. 11, p. 1806-1816, 2017. DOI: [10.1631/fitee.1601358](https://doi.org/10.1631/fitee.1601358).
7. Alahmadi, M. S.; Smith, G. E.; Baker, C. J. “A recursive approach for adaptive parameters selection in a multifunction radar,” *Proc. of 2016 IEEE Radar Conf., RadarConf*, 2-6 May 2016, Philadelphia, USA. IEEE, 2016. DOI: [10.1109/radar.2016.7485148](https://doi.org/10.1109/radar.2016.7485148).
8. Смирнов, О.Л.; Ставицкий, О.Н.; Наконечный, А.А. “Адаптивное управление параметрами режима сопровождения многофункциональной РЛС,” *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 1, С. 71–77, 2017. DOI: [10.30748/nitps.2017.26.15](https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.15).
9. Коновалов, А.А. *Основы траекторной обработки радиолокационной информации*. В 2 ч: Ч. 2. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 180 с.
10. Li, X. Rong; Jilkov, V. P. “Survey of maneuvering target tracking. Part V. Multiple-model methods,” *IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst.*, Vol. 41, No. 4, p. 1255-1321, 2005. DOI: [10.1109/TAES.2005.1561886](https://doi.org/10.1109/TAES.2005.1561886).
11. Barton, D. K. *Radar System Analysis and Modelling*. Norwood, MA: Artech House, Inc., 2005.
12. Гузь, В.И.; Бутырин, А.В.; Баринголец, Т.В.; Субботина, Л.Б. “Особенности трассовой обработки при сопровождении воздушных целей, наблюдаемых под малыми углами места над подстилающей поверхностью,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 50, № 1, С. 14–25, 2007. URI: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347007010025>.

13. Bar-Shalom Y., Li, Xiao-Rong. *Estimation and Tracking: Principles, Techniques, and Software*. YBS Publishing, 1998.

14. Blackman, S.; Popoli, R. *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*. Boston: Artech House, 1999.

15. Жук, С.Я. “Совместная фильтрация смешанных марковских процессов в дискретном времени,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 31, № 1, С. 33–40, 1988. URI: <http://radio.kpi.ua/article/view/S002134701988010066>.

16. Кузьмин, С.З. *Цифровая радиолокация. Введение в теорию*. К.: КВіЦ, 2000. 428 с. ISBN: 966-7192-20-2.

17. Фарина, А.; Студер, Ф. *Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение це-*

лей. Пер. с англ. А.М.Бочкарева; под ред. А.Н.Юрьева. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.

18. You, H.; Jianjuan, X.; Xin, G. *Radar Data Processing with Applications*. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2016. DOI: [10.1002/9781118956878](https://doi.org/10.1002/9781118956878).

19. Меркулов, В.И.; Верба, В.С.; Ильчук, А.Р.; Кирсанов, А.П. *Автоматическое сопровождение целей в РЛС интегрированных авиационных комплексов. Многоцелевое сопровождение*. Часть 3. М.: Радиотехника, 2018. 392 с.

20. Жук, С.Я.; Товкач, И.О.; Реутская, Ю.Ю. “Адаптивная фильтрация параметров движения источника радиоизлучения на основе TDOA-измерений сенсорной сети при наличии аномальных измерений,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 62, № 2, С. 81–92, 2019. DOI: [10.20535/S002134701902002X](https://doi.org/10.20535/S002134701902002X).

Поступила в редакцию 02.07.2018

После доработки 27.06.2019

Принята к публикации 27.06.2019