

УДК

ЭЛЬ МАШАД М. Б.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСЛОЖНЕННЫХ ВЕРСИЙ CFAR ОБНАРУЖИТЕЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ СТОРОННИХ ЦЕЛЕЙ*Университет аль-Азхар,
Египет, Каир, Насер-Сити*

Аннотация. CFAR обнаружитель обеспечивает эффективное фоновое обнаружение возможно подвижных целей, статистические параметры которых неизвестны. Схема CA-CFAR с усреднением по ячейкам оптимально работает с однородными, экспоненциально распределенными помехами. Однако качество обнаружения значительно ухудшается при наличии сигналов от сторонних целей в опорном множестве или в областях резкого изменения мощности фоновых шумов. Для решения данных проблем предложен OS-CFAR обнаружитель с использованием порядковой статистики. Хотя данный обнаружитель хорошо работает при наличии сторонних целей, все же он недостаточно эффективен для предотвращения ложных тревог, возникающих из-за изменений в мощности помех во время передачи. Алгоритм TM-CFAR с усечением среднего, который реализует усечение среднего упорядоченного набора данных, возможно считать улучшенной версией техники порядковой статистики OS. При сознательном усечении упорядоченных отсчетов, TM обнаружитель может показать результаты лучше, чем OS обнаружитель. Для одновременного использования преимуществ схем CA, OS и TM предложены две комбинации CAOS и CATM. Каждая из этих версий оптимизирует преимущества двух CFAR обнаружителей в зависимости от характеристик шумов и целей поиска для улучшения возможности обнаружения целей при постоянном уровне ложной тревоги. Это реализуется путем параллельной работы двух стандартных схем CFAR. Задача этой статьи — анализ этих разработанных версий в гетерогенной обстановке, чтобы показать в какой степени они способны улучшить поведение CFAR обнаружителей.

Ключевые слова: CFAR обнаружение; шумовая граница; ложная цель; неустойчивая цель; рабочие характеристики приемника; ROC; отношение сигнал-шум; SNR

1. ВВЕДЕНИЕ

Радар — изобретение, которое значительно улучшает сенсорные возможности человека. Он позволяет «увидеть», т. е. обнаружить определенный класс объектов на расстояниях, намного превышающих возможности невооруженного глаза. Такое виденье не затронуто влиянием ночи, тумана, облаков, дыма, а также большинства других препятствий для невооруженного глаза. Также радар позволяет измерить расстояние до объекта с удобством и точностью, ранее недоступными. Кроме того, он

позволяет измерить мгновенную скорость такого объекта по направлению к или от станции наблюдения простым способом. Превосходство радаров над обычным зрением лежит в расстоянии, при котором видение возможно, в возможности работать независимо от условий освещения и затененности объекта, и в легкости измерения расстояния до цели и ее скорости [1–5].

Обнаружение цели — фундаментальная задача радарной системы. Эта задача связана с изучением данных радара, чтобы отличить просто помехи от помех с наличием отражен-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Gandhi P. P.* Analysis of CFAR processors in homogeneous background / P. P. Gandhi, S. A. Kassam // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. — Jul. 1988. — Vol. 14, No. 4. — P. 427–445. — DOI : [10.1109/7.7185](https://doi.org/10.1109/7.7185).
2. *El Mashade M. B.* Performance analysis of modified ordered-statistics CFAR processors in nonhomogeneous environments / M. B. El Mashade // Signal Processing. — Feb. 1995. — Vol. 41, No. 3. — P. 379–389. — DOI : [10.1016/0165-1684\(94\)00109-D](https://doi.org/10.1016/0165-1684(94)00109-D).
3. *El Mashade M. B.* Monopulse detection analysis of the trimmed mean level CFAR processor in nonhomogeneous situations / M. B. El Mashade // IEE Radar, Sonar Navig. — Apr. 1996. — Vol. 143, No. 2. — P. 87–94. — DOI : [10.1049/ip-rsn:19960324](https://doi.org/10.1049/ip-rsn:19960324).
4. *El Mashade M. B.* Detection analysis of linearly combined order statistic CFAR algorithms in nonhomogeneous background environments / M. B. El Mashade // Signal Processing. — Jul. 1998. — Vol. 68, No. 1. — P. 59–71. — DOI : [10.1016/S0165-1684\(98\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(98)00057-7).

5. *El Mashade M. B.* M-sweeps exact performance analysis of OS modified versions in nonhomogeneous environments / M. B. El Mashade // IEICE Trans. Commun. — 2005. — Vol. E88-B, No. 7. — P. 2918–2927. — DOI : [10.1093/ietcom/e88-b.7.2918](https://doi.org/10.1093/ietcom/e88-b.7.2918).

6. *El Mashade M. B.* Analysis of cell-averaging based detectors for χ^2 fluctuating targets in multitarget environments / M. B. El Mashade // J. Electron. (China). — Nov. 2006. — Vol. 23, No. 6. — P. 853–863. — DOI : [10.1007/s11767-005-0067-0](https://doi.org/10.1007/s11767-005-0067-0).

7. *El Mashade M. B.* Performance analysis of OS structure of CFAR detectors in fluctuating target environments / M. B. El Mashade // PIER C. — 2008. — Vol. 2. — P. 127–158. — DOI : [10.2528/PIERC08022807](https://doi.org/10.2528/PIERC08022807).

8. *Magaz B.* A new adaptive linear combined CFAR detector in presence of interfering targets / B. Magaz, A. Belouchrani, M. Hamadouche // PIER B. — 2011. — Vol. 34. — P. 367–387. — DOI : [10.2528/PIERB11012603](https://doi.org/10.2528/PIERB11012603).

9. *El Mashade M. B.* Analysis of adaptive detection of moderately fluctuating radar targets in target multiplicity environments / M. B. El Mashade // J. Franklin Inst. — Aug. 2011. — Vol. 348, No. 6. — P. 941–972. — DOI : [10.1016/j.jfranklin.2011.03.004](https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2011.03.004).

10. *El Mashade M. B.* Performance analysis of CFAR detection of fluctuating radar targets in nonideal operating environments / M. B. El Mashade // Int. J. Aerospace Sci.

— 2012. — Vol. 1, No. 3. — P. 21–35. — DOI : [10.5923/j.aerospace.20120103.01](https://doi.org/10.5923/j.aerospace.20120103.01).

11. *Wang W. Q.* Radar Systems: Technology, Principles and Applications / W. Q. Wang. — Nova Sci. Pub., Inc., 2013.

12. *Эль Машад М. Б.* Аналитическая оценка рабочих характеристик адаптивного обнаружения флуктуирующих целей радара / Мохамед Б. Эль Машад // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2013. — Т. 56, № 7. — С. 3–17. — Режим доступа : <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347013070017>.

13. *Ivković D.* A new model of CFAR detector / Dejan Ivković, Milenko Andrić, Bojan Zrnić // Frequenz. — Mar. 2014. — Vol. 68, Nos. 3–4. — P. 125–136. — DOI : [10.1515/freq-2013-0087](https://doi.org/10.1515/freq-2013-0087).

14. *Эль Машад М. Б.* Улучшение характеристик классических обнаружителей с фиксированной вероятностью ложной тревоги в идеальных условиях и условиях множества целей / Мохамед Б. Эль Машад // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2014. — Т. 57, № 7. — С. 3–24. — Режим доступа : <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347014070012>.

15. *Ivković D.* False alarm analysis of the CATM-CFAR in presence of clutter edge / Dejan Ivković, Milenko Andrić, Bojan Zrnić // Radioengineering. — Apr. 2014. — Vol. 23, No. 1. — P. 66–72. — URL : http://www.radioeng.cz/fulltexts/2014/14_01_0066_0072.pdf.

Поступила в редакцию 04.03.2016