

**А. Б. Муравьев**

Научно-производственный центр «Электронные вычислительно-информационные системы» («ЭЛВИС»), Москва, Россия

## КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА АЛГОРИТМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛЕЙ В ОХРАННЫХ СИСТЕМАХ С АКТИВНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Объективный контроль качества программной составляющей охранных систем позволяет контролировать ход ее разработки, а также сравнивать готовое изделие с аналогами, что необходимо для проверки экономической эффективности. Проведен аналитический обзор подходов к контролю качества обнаружения и сопровождения целей в охранных системах с активными датчиками. На основе проведенного анализа и современных требований предложен подход к критериальной оценке качества, позволяющий принять решение о соответствии оцениваемого алгоритма поставленным требованиям. Данный подход подразумевает использование набора тестовых данных, по результатам обработки которых производится оценивание реализации алгоритма обнаружения и сопровождения целей. Оценивание включает в себя подсчет значений проблемно-ориентированных мер качества. В процессе получения единых значений и нормирования значения мер качества переходят в рейтинги этих мер. Решение о соответствии оцениваемой реализации алгоритма обнаружения и сопровождения целей принимается на основе сравнения рейтингов мер качества с пороговыми значениями.

**Ключевые слова:** критериальное оценивание, контроль качества обнаружения и сопровождения, сопровождение на проходе, обнаружение движущихся целей, нормирование мер качества.

Для цитирования: Муравьев А. Б. Критерии качества алгоритмов обнаружения и сопровождения целей в охранных системах с активными датчиками // Радиопромышленность. – 2016. – № 4. – С. 130–134.

**A. B. Muraviov**

Open Joint-Stock Company Research and Development Center «ELVEES», Moscow, Russia

## QUALITY CRITERIA FOR ALGORITHMS OF TARGET DETECTION AND TRACKING IN SECURITY SYSTEMS WITH ACTIVE SENSORS

Objective quality control of the software components in security monitoring systems makes it possible to monitor the progress of its development and also to compare a finished product with analogs, which is necessary to test a product cost-efficiency. Analytical overview of approaches to control of quality of detection and tracking of targets in security systems with active sensors has been performed. Based on the analysis performed and currently applicable requirements the approach has been proposed to criteria-based evaluation of quality, which makes it possible to take a decision on whether or not the evaluated algorithm meets the applicable requirements. This approach assumes the use of a set of test data, and on the basis of the results of processing of such data the implementation of the targets detection and tracking algorithm shall be evaluated. Such evaluation includes calculation of the values of the problem-targeted quality measures. In the process of obtaining common values and standardization, the values of quality measures shall pass to the ratings of these measures. A decision on whether or not the evaluated implementation of the algorithm of target detection and tracking meets the applicable requirements shall be taken on the basis of the comparison of quality measures ratings with the threshold values.

**Keywords:** criteria-based evaluation, control of quality of detection and tracking, track-while-scan radar, detection of moving targets, rating of quality measures.

DOI 10.21778/2413-9599-2016-4-130-134

Охранную систему с активными датчиками можно условно разделить на программную и аппаратную составляющие. Разработка и улучшение программной части является дорогостоящим и сложным процессом, требующим привлечения высококлассных специалистов. Контроль качества в данном случае является сложной задачей, так как эффективность обнаружения и сопровождения целей зависит от многих внешних факторов. Следовательно, актуальной является задача разработки критериев качества обнаружения и сопровождения целей в охранных системах с активными датчиками.

В задачах обнаружения сигнала широко используют критерий Байеса, критерий максимума апостериорной вероятности и максимума правдоподобия, критерий Неймана-Пирсона, минимаксный критерий и критерий последовательных гипотез Вальда [1, 3]. Данные критерии используются при обнаружении целей, однако могут быть также использованы для оценки качества обнаружения. Эти критерии и соответствующие показатели представлены в табл. 1.

Современные тенденции в оценивании качества обнаружения и сопровождения целей показывают актуальность использования проблемно-ориентированных мер качества, а также мер качества, нацеленных на оценку определенного этапа обработки информации. Такие меры позволяют оценить приемлемость использования обнаружителя для определенной задачи, а также выявить слабые

места оцениваемого обнаружителя. Кроме того, современные системы слежения все более ориентированы на сопровождения движущихся объектов. С другой стороны, оценивание обнаружения отдельных отметок целей, которое происходит на этапе, предшествующем завязке траекторий, также является важной задачей, так как позволяет получить ценную диагностическую информацию о работе обнаружителя.

Современные меры сопровождения целей широко представлены в литературе [4–7]. Альтернативой проблемно-ориентированным мерам являются универсальные меры, например мера OSPA (англ. Optimal Subpattern Assignment). Классификация мер сопровождения представлена на рис. 1.

На практике оценка качества обнаружителя сопряжена с обработкой большого количества тестовых данных. Под тестовыми данными в конкретном случае понимается заранее записанная информация от активных датчиков, с использованием которой и происходит оценивание. В этом случае для каждого набора данных будут получены соответствующие значения мер качества. Перед критерийным оцениванием должны быть получены единые значения мер. Для контроля надежности алгоритма также необходимо учитывать разброс значений мер, полученных для различных тестовых данных. Схема предлагаемого подхода представлена на рис. 2.

Для оценки качества алгоритмов обнаружения и сопровождения целей предлагается использовать

Таблица 1. Критерии выбора обнаружителей и соответствующие показатели качества

Название критерия	Показатель качества	Условия использования
Критерий Байеса	Минимум среднего риска	Должны быть известны вероятности отсутствия и наличия целей
Критерий Неймана-Пирсона	Минимальная величина вероятности пропуска цели при сохранении уровня ложной тревоги	Неизвестны вероятности отсутствия и наличия целей
Максимум апостериорной вероятности	Максимум апостериорной вероятности	Матрица потерь не задана
Критерий максимального правдоподобия	Максимум функции правдоподобия	Матрица потерь и априорные распределения не заданы
Минимаксный критерий	Минимизация условного риска	Функция потерь и априорные вероятности не заданы
Критерий Вальда	Последовательное отношение правдоподобия	Матрица потерь и априорные распределения не заданы

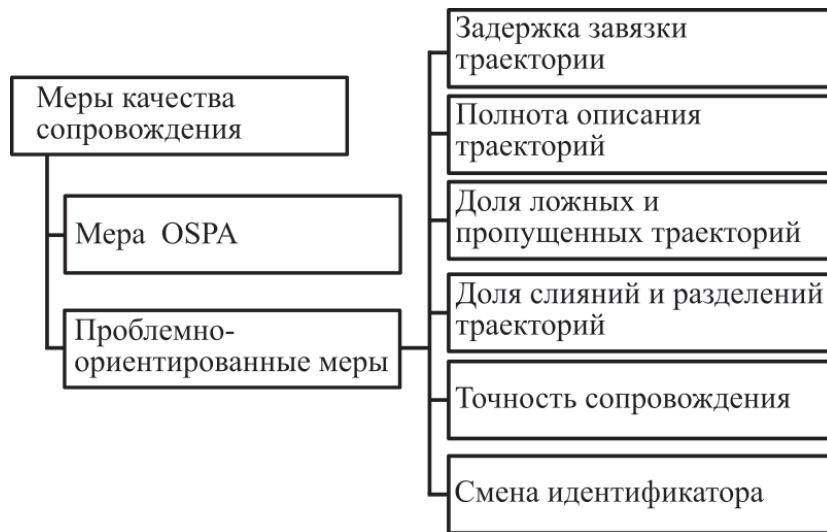


Рисунок 1. Меры качества сопровождения целей

следующие меры обнаружения (1–4) и сопровождения целей (5–13):

1. Вероятность пропуска цели.
2. Вероятность ложной тревоги.
3. Вероятность распада отметки цели.
4. Вероятность объединения отметок целей.
5. Доля ложных траекторий.
6. Количество слияний траекторий.
7. Доля пропущенных траекторий.
8. Количество разделений траекторий.
9. Фрагментация траекторий.
10. Смена идентификатора. Значение данной меры показывает число идентификаторов идеальных целей, связанных с данной автоматической целью.
11. Задержка завязки траекторий. Значение данной меры показывает число кадров, отделяющих появление проверочной цели от появления автоматической цели.
12. Полнота описания траекторий. Данная мера показывает долю кадров, на которых данной проверочной траектории соответствует автоматическая траектория от общего количества кадров, на которых присутствует данная проверочная траектория.
13. Точность определения координат целей. Такая мера численно равна среднему расстоянию

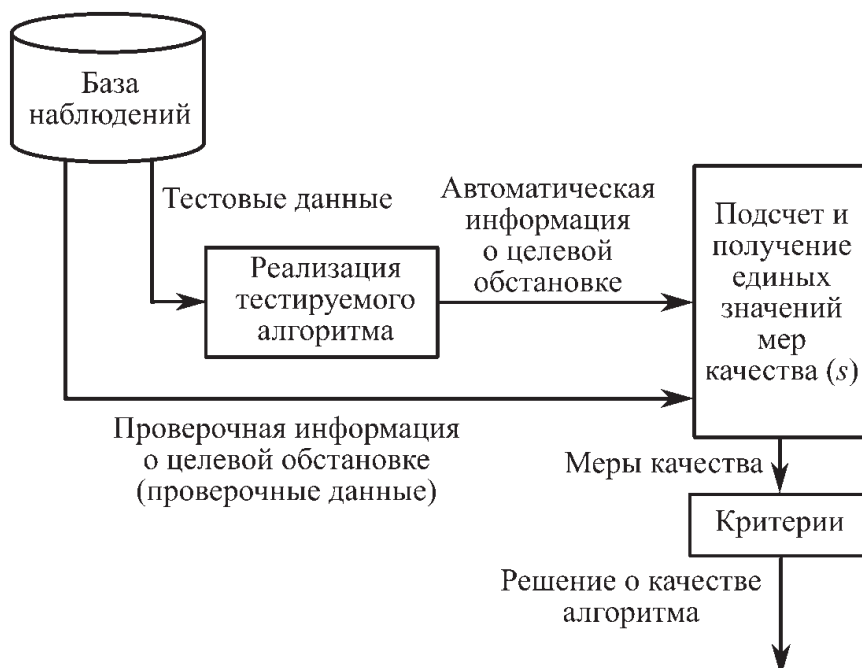


Рисунок 2. Схема контроля качества обнаружения и сопровождения

между отметками данной проверочной и соответствующих автоматических траекторий.

Значения мер 1–5 и 7 рассчитываются для целого набора данных; 6, 10, 11 – для каждой автоматической траектории; 8, 9, 12, 13 – для каждой проверочной траектории. Для всех перечисленных мер (кроме меры 12), большее значение меры означает худшее качество сопровождения или сопровождения. С другой стороны, чаще всего большее значение оценки соответствует лучшему качеству. Для того чтобы привести значение мер к более привычному виду, а также для нормировки и для использования критериев оценивания предлагается использовать следующий подход.

Для каждой меры составляется статистика ее значений, которая рассматривается в качестве дискретного распределения случайной величины. При этом для каждой меры должно быть определено пороговое значение. Так как большее значение меры качества соответствует худшему качеству обнаружения и сопровождения, то значение распределения от порогового значения определяет вероятность удовлетворения критерию, задаваемому пороговым значением. Пороговые и максимальные значения описанных мер представлены в табл. 2. Для каждого порогового значения высчитывается значение функции распределения меры качества, которое также будем называть рейтингом меры (рис. 3). В этом случае  $s$  – мера из множества используемых мер  $S$ ;  $s_b$  – пороговое значение;  $F(s_b)$  – рейтинг меры  $s$  для точки  $s_b$ .

Получив рейтинги мер качества, можно ответить на вопрос: как часто оцениваемый алгоритм соответствует требованиям, задаваемым пороговыми значениями? Для контроля надежности алгоритмов необходимо контролировать также максимальные значения мер качества. Приемлемые значения рейтингов мер качества для задачи охраны периметра представлены в табл. 2.

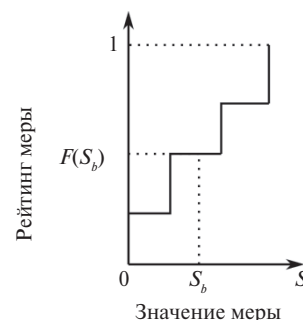


Рисунок 3. Распределение значений меры

В качестве критерия валидности алгоритма сопровождения целей предлагается использовать проверку максимального значения меры качества по табл. 1 и проверку значения соответствующего рейтинга по табл. 2. Использование данного подхода обеспечивает также проверку надежности алгоритма и нормализацию мер качества. Нормализованные значения мер качества могут быть использованы для получения единой численной оценки качества алгоритма, которая, в свою очередь, может быть использована для сравнения различных алгоритмов.

Данные критерии были применены при разработке программной части информационно-измерительной радиолокационной системы Orwell-R ЛЦКБ.464412.002, спроектированной и разработанной ЗАО «ЭЛВИС» [8]. Значения мер качества для данного приборного комплекса приведены в табл. 3.

Таким образом, в статье был приведен анализ существующих подходов к критериальной оценке качества алгоритмов обнаружения и сопровождения целей в охранных комплексах с активными датчиками, а также рассмотрены современные требования к их оцениванию. На основании этого были предложены критерии качества обнаружения и сопровождения, обеспечивающие нормирование мер качества, а также оценивание надежности алгоритма.

Таблица 2. Пороговые значения мер качества обнаружения и сопровождения целей

Мера	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Порог ( $s_b$ )	0,0001	0,001	0,1	0,001	0,001	0	0,0001	0	0	0	0	0,1	0
Макс.	0,001	0,01	0,1	0,01	0,01	3	0,001	3	3	2	2	0,3	4
Порог рейтинга	0,96	0,92	0,9	0,95	0,92	0,9	0,96	0,9	0,83	0,9	0,8	0,82	0,8

Таблица 3. Значения рейтингов мер качества для комплекса Orwell-R

Мера	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Рейтинг ( $F(s_b)$ )	0,97	0,96	0,95	0,98	0,97	0,95	0,98	0,93	0,9	0,95	0,91	0,9	0,89

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов П. С., Бакут П. А., Богданович В. А. и др. Теория обнаружения сигналов. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.
2. Ширман Я. Д., Лосев Ю. И., Минервин Н. Н. и др. Радиоэлектронные системы: основа построения и теория: справочник. М.: МАКВИС, 1998. 826 с.
3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.
4. Andrew G. Stove, David L. Hurd, Thales Sensors, Crawley W. Performance evaluation for modern radars. Sussex RH109PZ, U.K.
5. Tracking System Performance Assessment // Information Fusion, 2003. Proceedings of the Sixth International Conference. Vol. 2, 8–11 July 2003, M(IEEE) 2013, pp. 926–933.
6. Caraway, Willie D., McElroy, Randy R. An analysis of multi-role survivable radar tracking performance using the ktp-2 group's real track metric. 2001.
7. Colegrove S. B., Davey S. J., Cheung B. A Tracker Assessment. Tool for Comparing Tracker Performance. Australian Government. Department of Defence. Technical Report, 2005.
8. Александров Ю. Н., Зинченко О. Н., Колобанова Е. С. Цифровой охранный радиолокатор Ku-диапазона // Вопросы радиоэлектроники. 2006. № 2. С. 115–125.

## REFERENCES

1. Akimov P. S., Bakut P. A., Bogdanovich V. A. i dr. *Teoriya obnaruzheniya signalov* [Theory of signal detection]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1984, 440 p. (In Russian).
2. Shirman Ya. D., Losev Yu. I., Minervin N. N. i dr. *Radioelektronnye sistemy: osnova postroeniya i teoriya: spravochnik* [Radio-electronic systems: foundations of design and theory]. Moscow, MAKVIS Publ., 1998, 826 p. (In Russian).
3. Levin B. R. *Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki* [Theoretical foundations of statistical radio engineering]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1989, 656 p. (In Russian).
4. Andrew G. Stove, David L. Hurd, Thales Sensors, Crawley W. Performance evaluation for modern radars. Sussex RH109PZ, U.K.
5. Tracking System Performance Assessment. Information Fusion, 2003. *Proceedings of the Sixth International Conference*. Vol. 2, 8–11 July 2003, M(IEEE) 2013, pp. 926–933.
6. Caraway, Willie D., McElroy, Randy R. *An analysis of multi-role survivable radar tracking performance using the ktp-2 group's real track metric*. 2001.
7. Colegrove S. B., Davey S. J., Cheung B. *A Tracker Assessment. Tool for Comparing Tracker Performance*. Australian Government. Department of Defence. Technical Report, 2005.
8. Aleksandrov Yu. N., Zinchenko O. N., Kolobanova E. S. Digital security radar operating in Ku-band. *Voprosy radioelektroniki*, 2006, no. 2, pp. 115–125. (In Russian).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Муравьев Александр Борисович**, младший научный сотрудник, научно-производственный центр «Электронные информационно-вычислительные системы», 124498, Москва, Зеленоград, проезд № 4922, д. 4, стр. 2, тел.: 8 (495) 648-78-23, e-mail: amur@elvees.com.

## AUTHOR

**Muraviov Aleksandr**, junior researcher, Open Joint-Stock Company Research and Development Center «ELVEES», 4/2, pr. № 4922, Zelenograd, Moscow, 124498, tel.: +7 (985) 150-29-08, e-mail: amur@elvees.com.