

УДК 623.746.773

Effectiveness of Detection of Low Visibility Objects Via Multi-Sensor Intelligence Systems

**Anton A. Koziratsky,
Ervand A. Mamajanyan and Andrei N. Shmarov***
*Military Education and Research Centre of Military-Air Forces
«Military-Air Academy
Named After Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»
54a Starykh Bolshevikov Str., Voronezh, 394064, Russia*

Received 19.03.2017, received in revised form 21.09.2017, accepted 21.01.2018

Based on Dempster-Shafer evidence theory, a method was developed and analysis of effectiveness was implemented of low visibility objects detection with multi-sensor intelligence systems. Dependence of successful object detection probability from number of sensors in intelligence system was found. Their effectiveness and signal-to-noise ratio on output of optimal detector of each sensor.

Keywords: probability of successful object detection, multi-sensor intelligence systems, signal-to-noise ratio, Dempster-Shafer evidence theory.

Citation: Koziratsky A.A., Mamajanyan E.A., Shmarov A.N. Effectiveness of detection of low visibility objects via multi-sensor intelligence systems, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2018, 11(1), 37-42. DOI: 10.17516/1999-494X-0005.

Эффективность обнаружения малозаметных объектов мультисенсорными системами разведки

А.А. Козирацкий, Е.А. Мамаджанян, А.Н. Шмаров
*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а*

На основе теории свидетельств Демпстера-Шефера разработана методика и выполнен анализ эффективности обнаружения объектов со сниженной заметностью мультисенсорными системами разведки. Установлены зависимости вероятности правильного обнаружения объектов от числа сенсоров в системе разведки, их

эффективности и отношения сигнал/шум на выходе оптимального обнаружителя каждого сенсора.

Ключевые слова: вероятность правильного обнаружения, мультисенсорная система разведки, отношение сигнал/шум, теория свидетельств Демпстера-Шефера.

Современные тенденции в развитии систем разведки состоят в комплексировании информации, получаемой разнородными средствами, работающими в различных спектральных диапазонах и на различных физических принципах [1]. Такие информационные системы называются мультисенсорными. Особое значение они приобретают в условиях информационного конфликта, когда системам разведки одной стороны противостоят системы разведки противоположной стороны и каждая из сторон имеет средства, препятствующие получению информации другой стороной. В этих условиях за счет комплексирования различных средств разведки сохраняется возможность получения необходимой информации в том случае, когда часть средств подавлена противоположной стороной, чем достигается выигрыш в конфликте [2]. В настоящее время в качестве одного из способов обеспечения выигрыша в конфликте рассматривается снижение заметности объектов [2], осуществляемое путем скрывания их демаскирующих признаков [3]. При создании малозаметных объектов, а также разработке систем их разведки целесообразно опираться на показатели, характеризующие эффективность разведки в зависимости от показателей эффективности входящих в них средств и параметров фоноцелевой обстановки.

Целью настоящей статьи является получение и анализ расчетных соотношений, устанавливающих связь показателей эффективности мультисенсорных систем разведки с показателями эффективности входящих в них сенсоров и параметрами фоноцелевой обстановки.

В современных системах разведки используются мультисенсорные системы с централизованной и децентрализованной архитектурой [4]. Оба типа систем состоят из нескольких каналов. Централизованная архитектура предполагает, что только единственный процессор обрабатывает все данные. В системе с децентрализованным построением каждый канал локально обрабатывает данные сенсора, проверяет их и проводит оценку состояния. Затем происходит обмен информацией между каналами (в виде оценок состояния или вероятностных характеристик) для ее уточнения на следующем этапе. В условиях жесткого дефицита времени, а также при неуверенном обнаружении объектов (обнаружении малозаметных объектов) предпочтение отдается системам разведки с централизованной архитектурой. Для обработки и принятия решения в них используются алгоритмы, основанные на теории свидетельств Демпстера-Шефера [5] (ТСДШ). По сравнению с методом Байеса [6], в котором рассматриваются априорные вероятности, в ТСДШ используется неклассическая идея «основной массы вероятности» как альтернатива традиционной вероятности [4, 5]. Основная масса вероятности отражает начальное знание о системе, включая ее неопределенные состояния. Значение основной массы вероятности, обозначаемое m , является основной мерой, характеризующей доверие гипотезы.

Пусть X – универсальное множество, рассматриваемых утверждений; $P(X)$ – совокупность всех подмножеств множества X , включая пустое множество. Масса $m(x)$ элемента x множества $P(X)$ выражает соотношение всех уместных и доступных свидетельств, которые поддержива-

ют утверждение, что определенный элемент x принадлежит $P(X)$. Величина $m(x)$ относится только к множеству $P(X)$ и не создает никаких дополнительных утверждений о других подмножествах X , каждое из которых имеет свою массу.

$$m(\emptyset) = 0.$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ x_i \in P(X)}}^N m(x_i) = 1.$$

Здесь \emptyset – пустое множество, i – номер элемента множества $P(X)$, $i = 1 \dots N$.

Оцениваемыми состояниями для сенсоров многоканальной системы разведки являются: обнаружение объекта, обнаружение фона (т.е. отсутствие объекта) и неопределенное состояние, при котором информация, полученная сенсором, не позволяет отличить объект от фона. Меры доверия для каждого из оцениваемых состояний (с помощью M сенсоров различных спектральных диапазонов, входящих в состав многоканальной системы разведки) определяется в соответствии с правилом Демпстера [4, 5]:

$$m^{1,2,\dots,M}(y) = \frac{\sum_{x_1 \cap x_2 \dots \cap x_M \neq \emptyset} \prod_{1 \leq j \leq N} m^j(x_j)}{1 - k}; \quad k = \sum_{x_1 \cap x_2 \dots \cap x_M = \emptyset} \prod_{1 \leq j \leq N} m^j(x_j), \quad (2)$$

где y – пересечение состояний x_i .

С помощью приведенного правила Демпстера (2) были исследованы характеристики обнаружения мультисенсорной системы разведки. В качестве оцениваемого показателя рассматривалась вероятность правильного обнаружения объекта в зависимости от количества сенсоров, входящих в систему разведки, и вероятностных характеристик обнаружения отдельного сенсора. Полученные результаты приведены на рис. 1.

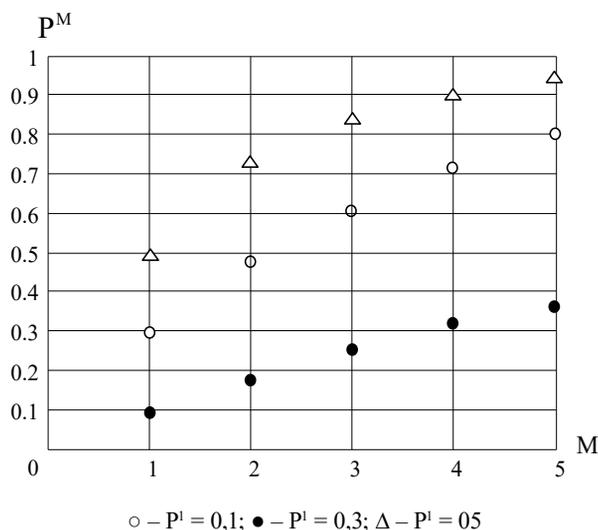


Рис. 1. Зависимость вероятности обнаружения объекта (P^M) от количества сенсоров (M) в системе разведки 1,2,3 – $P^1 = 0,1; 0,3; 0,5$

Fig. 1. Dependence of object detection probability (P^M) on the number of sensors (M) in the surveillance system 1,2,3 – $P^1 = 0,1; 0,3; 0,5$

Расчеты подтвердили очевидный результат, заключающийся в том, что для мультисенсорной системы вероятность правильного обнаружения объекта разведки растет с увеличением количества сенсоров, причем тем значительнее, чем выше вероятность обнаружения отдельного сенсора. Несмотря на очевидность данного вывода, полученные результаты позволяют определить требования к составу системы разведки и вероятностным характеристикам обнаружения входящих в нее средств. Для обеспечения вероятности правильного обнаружения объекта мультисенсорной системой разведки не менее 0,5 количество сенсоров должно быть не менее 3, а вероятность правильного обнаружения объекта отдельным сенсором должна быть не хуже 0,3. Дальнейшее увеличение эффективности системы разведки возможно либо за счет увеличения числа сенсоров, либо за счет улучшения их характеристик обнаружения. Так, достижение вероятности правильного обнаружения объекта не менее 0,9 требует использования в системе разведки четырех сенсоров с вероятностью правильного обнаружения не менее 0,5. При невозможности обеспечения вероятности обнаружения отдельного сенсора $\geq 0,5$ вероятность обнаружения объекта многоканальной системой разведки $\geq 0,9$ может быть обеспечена пятиканальной системой при условии вероятности обнаружения объекта отдельным сенсором не хуже чем 0,3.

На рис. 2 представлены результаты исследований влияния параметров фоно-целевой обстановки (ФЦО) на характеристики обнаружения объекта мультисенсорной системой разведки. ФЦО в поле зрения отдельного сенсора задавалась с помощью параметра обнаружения q , равного отношению сигнал/шум по напряжению на выходе оптимального приемника локационного сигнала, имеющего случайные амплитуду и начальную фазу [7]. Исследования про-

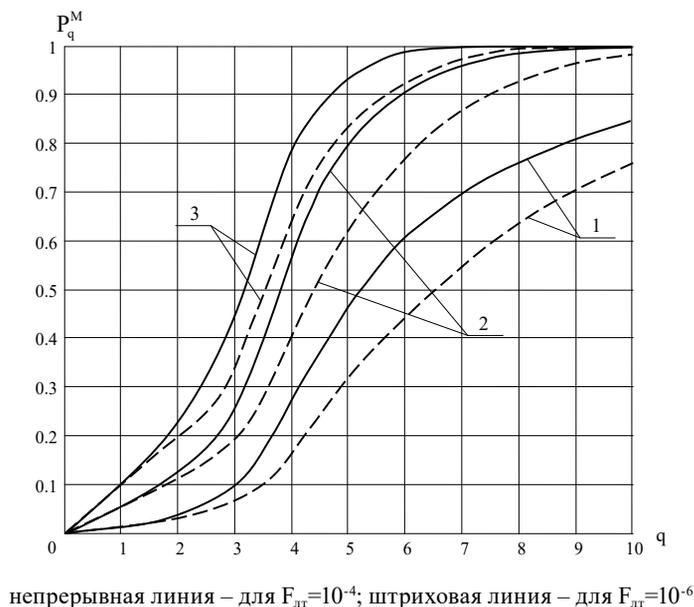


Рис. 2. Зависимость вероятности обнаружения объекта (P_q) от величины параметра обнаружения (q) для различных значений вероятности ложной тревоги ($F_{лт}$) 1,2,3 – $M=1,3,5$

Fig. 2. Dependence of object detection probability (P_q) on the value of the detection parameter (q) for various values of false alarm probability (F_{fa}) 1,2,3 – $M=1,3,5$

дильсь по следующей методике. На выходе оптимального приемника в диапазоне $0 \div 10$ задавалась величина q , для которой с использованием [7] рассчитывалась вероятность правильного обнаружения сигнала отдельным сенсором $P_q^{M=1}$ при вероятности ложной тревоги $F_{лт} = 10^{-4}$ и $F_{лт} = 10^{-6}$. Затем по значениям $P_q^{M=1}$ с использованием правила Демпстера (2) рассчитывались значения вероятности обнаружения объекта мультисенсорной системой $P_q^M = m^{1,2,\dots,M}$ (у). Полученные результаты приведены на рис. 2. Как и следовало ожидать, они повторяют результаты, отображенные на рис. 1. Вероятность P_q^M тем больше, чем больше значения q и M . Вместе с тем, они позволяют определить требования к защищенности объекта от обнаружения мультисенсорной системой разведки. Для обеспечения вероятности правильного обнаружения объекта системой разведки, включающей 1, 3 и 5 сенсоров, не более 0,2 отношение сигнал/шум на выходе оптимального приемника в каждом из каналов не должно превышать значений 3,6; 2,7 и 1,8 для $F_{лт} = 10^{-4}$ и 4,2; 3,1 и 2 для $F_{лт} = 10^{-6}$.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе разработан научно-методический аппарат, устанавливающий связь показателей эффективности мультисенсорных систем разведки с показателями эффективности входящих в них сенсоров и параметрами фоноцелевой обстановки. Он позволяет определять требования к составу систем разведки, вероятностным характеристикам обнаружения входящих в них средств, а также требования к защищенности объектов от обнаружения мультисенсорными системами разведки.

Список литературы

- [1] Меньшаков Ю.К. *Теоретические основы технических разведок*: учеб. пособие. Под ред. Ю.Н. Лаврухина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 536 с: ил. [Menshakov Yu.K. *Theoretical Fundamentals of Technical Surveillance*, training manual, under the editorial supervision of Lavrukhin Yu.N., VMSTU Publishing House, 2008, 536 p. (in Russian)]
- [2] *Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения*. Под ред. Ю.Л. Козирацкого. М.: Радиотехника. 2013. 232 с. [Models of Information Mismatch of Means of Search and Detection/ under the editorial supervision of Koziratski Yu.L., Radiotekhnika, 2013, 232 p. (in Russian)]
- [3] Понькин В.А. *Оптическая заметность летательных аппаратов*. Под ред. В.А. Понькина и Э.В. Петешенкова. Воронеж. «Научная книга». 2015. 553 с. [Ponkin V.A. *Optical Visibility of Aircraft*, under the editorial supervision of Ponkin V.A. and Petaschenkov E.V., Voronezh, "Nauchnaya Kniga", 2015, 553 p. (in Russian)]
- [4] Андрущенко М.С., Степанов В.В. Обработка информации в мультисенсорных системах. *Вооружение и экономика*. 2015, 4, 39-45. [Andryuschenko M.S., Stepanov V.V., Information Processing in Multisensor Systems. *Weapons and Economics*, 2015, 4, 39-45 (in Russian)]
- [5] Ганцева Е.А., Каладзе В.А. Статистический подход разрешения неопределенности экспертных суждений на основе теории случайных множеств. *Вестник ВГУ. Серия: системный анализ и информационные технологии*. 2015, 2, 83-88. [Gantseva E.A., Kaladze V.A., Statistical Approach to Resolution of Ambiguity of Expert Judgements Based on the Theory of Random Sets, *Vestnik VGU, series: Systemic Analysis and Information Technologies*, 2015, 2, 83-88 (in Russian)]

[6] *Теория обнаружения сигналов*. Под. ред. П.А. Бакута. М., Сов. радио, 1984 [*Theory of Signal Detection*, under the editorial supervision of P.A. Bakut M., Sov. Radio, 1984 (in Russian)]

[7] Ширман Я.Д., Голиков В.И. *Основы теории обнаружения радиолокационных сигналов и измерения их параметров*. М.: Сов. радио. 1963. 278 с. [Shirman Ya.D., Golikov V.I. *Bases of Theory of radar Signal Detection and Measurement of their Parameters*, So. Radio, 1963, 278 p. (in Russian)]