

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.10.3>

УДК: 004.021:528.873

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУППОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПО РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫМ ДАННЫМ

А.В. Попов, Е.Э. Филиппских, М.Л. Белокопытов, С.В. Журавлев

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская 13

Статья поступила в редакцию 3 августа 2022 г.

Аннотация. Представлена апробированная методика комплексной классификации групповых объектов по разносектральным видовым данным. Приведены три способа расчета оценки вероятности определения формы (распознавания) группового объекта. Получаемая с использованием разработанной методики априорная оценка потенциальных возможностей средств дистанционного зондирования приобретает особую практическую значимость на этапах планирования и применения этих средств в различных физических полях.

Ключевые слова: классификация, обнаружение, распознавание объектов, видовые данные.

Автор для переписки: Белокопытов Марк Львович, hommer1990@mail.ru

Введение

Задача комплексного оценивания характеристик классификации групповых объектов (ГО) по разносектральным видовым данным актуальна при анализе эффективности аппаратуры дистанционного зондирования на этапе планирования и собственно ее применения. Особую важность решение данной задачи приобретает в настоящее время, когда происходит активное освоение

Арктики [1-3] и Северного морского пути [4-6] с характерными для этих мест неблагоприятными метеоусловиями, а также для оперативной оценки последствий в зонах экологических катастроф и природных аномалий, например, таких как районы республики Дагестан [7-8].

1. Исходные данные и постановка задачи

В качестве основных характеристик классификации групповых объектов для видовых данных приняты значения вероятностей обнаружения ГО $R_o\Sigma$ и определения формы (распознавания) $R_p\Sigma$ этих объектов. Целесообразность использования предложенных показателей основана на их способности с максимальной достоверностью классифицировать ГО в целом, применимости инструментально-расчетных методов оценивания и унификации общепринятых частных показателей – вероятности обнаружения и определения формы объекта для элементов ГО.

Использование средств дистанционного зондирования в различных диапазонах электромагнитного спектра (видимого, инфракрасного и радиолокационного диапазонов) и совместная обработка их видовых данных позволяет одновременно использовать преимущества этих диапазонов, давая при этом синергический эффект.

Проведение комплексной обработки видовой информации представимо совместной обработкой разнородных и/или разновременных данных в двух видах: на сигнальном уровне (даётся заключение об обнаружении/пропуске объекта) и на уровне статистической обработки частных показателей результатов классификации каждого из изображений или их оценок, полученных инструментально-расчетным методом.

В интересах обеспечения мощности метода комплексного оценивания учет возможности аэрокосмической съемки в различных диапазонах электромагнитного спектра для оценки комплексных возможностей видовой аэросъемки по классификации ГО основывается на совместной статистической

обработке частных показателей эффективности обнаружения элементов этого ГО в рассматриваемых полях.

Под вероятностью обнаружения ГО ($R_o\Sigma$) понимается вероятность обнаружения посредством комплексной обработки видовой информации не менее 50% его элементов (при наличии априорных данных о составе ГО). Под вероятностью определения формы ГО ($R_p\Sigma$) понимается вероятность определения формы заданного количества его критических элементов и/или конфигурации типового размещения элементов ГО при ранее рассчитанных вероятностях определения их формы, что не противоречит практике комплексной классификации видовых данных [9-11].

Увеличение объема выборки статистически независимых данных по частным показателям эффективности обнаружения элементов ГО в различных диапазонах электромагнитного спектра приводит к существенному возрастанию значений вероятности достоверного обнаружения и распознавания этих элементов и характеризует потенциальную возможность их классификации с учетом требований гарантированности.

2. Комплексная классификация групповых объектов по разносектральным видовым данным

Исходя из приведенных выше рассуждений, а также с учетом возможности геопривязки и последующим пространственно-временном совмещением изображений появляется потенциальная возможность автоматизированной комплексной обработки тематически и структурно связанных фрагментов данных. При комплексной обработке вероятность обнаружения или определения формы каждого элемента ГО после процедуры комплексной обработки изображений может быть определена по формуле суммы вероятностей для K совместных событий [12-14]

$$R_{\Sigma K} = R_1 + R_2 + \dots + R_K - R_1R_2 - R_1R_3 - \dots - R_{K-1}R_K + R_1R_2R_3 + R_1R_2R_4 + \dots + (-1)^{K-1} R_1R_2R_3\dots R_K, \quad (1)$$

где $R_1 \dots R_K$ – значения вероятностей обнаружения и определения формы элемента ГО, рассчитанные для каждого из набора K условий наблюдения и сопоставляемых комплексной обработке.

В формуле (1) выражения R_1R_2 , R_1R_3 и т.д., $R_1R_2R_3$, $R_1R_2R_4$ и т.д., $R_1R_2 \dots R_K$ представляют значения вероятности обнаружения или определения формы одиночного объекта (элемента ГО) одновременно для двух, трех и всех K условий наблюдения, сопоставляемых комплексной обработке, соответственно.

Общий вид формулы (1) позволяет использовать ее для любого варианта произвольного набора условий наблюдения, так при $K=2$ используется выражение

$$R_{\sum_2} = R_1 + R_2 - R_1R_2, \quad (2)$$

при $K=3$

$$R_{\sum_3} = R_1 + R_2 + R_3 - R_1R_2 - R_1R_3 - R_1R_4 - R_2R_3 + R_1R_2R_3, \quad (3)$$

и так далее.

При равенстве значений вероятности обнаружения или определения формы каждого элемента ГО для всех K условий наблюдения, сопоставляемых комплексной обработке, их значения определяются по формуле

$$R_{\sum_K} = 1 - (1 - R_1)^K. \quad (4)$$

С учетом использования инвариантных методов совместной обработки видовой информации для каждого из набора K -ых условий наблюдения результирующее значение вероятности обнаружения (определения формы каждого элемента ГО) после процедуры комплексной обработки определяется формулой

$$R_{\sum_K}^* = R_{\sum_K} * \left(1 - 0,14 * e^{-\frac{2}{K}} \right). \quad (5)$$

Степень снижения конечного значения вероятности обнаружения в выражении (5) соответствует требованиям сохранения постоянства уровня ложной тревоги и практике классификации недостоверно обнаруживаемых объектов [15]. Подобный подход имеет практическую направленность и не

противоречит положениям статистической теории радиотехники и принятия решений [16-20]. При этом факт априорно достоверной классификации из рассмотрения исключен, так как сама вероятность свершения этого факта равна нулю.

Полученные с учетом статистической обработки результатов расчета частных показателей возможностей средств аэросъемки (телевизионной, инфракрасной и радиолокационной) результирующие значения вероятностей обнаружения и определения формы каждого элемента ГО по формуле (5) с учетом (1-4) могут быть использованы для расчета оценки показателей эффективности классификации самого ГО.

Для получения оценки вероятности обнаружения ГО рассчитанные результирующие значения вероятности обнаружения каждого из N элементов ГО ранжируются по величине. Из ранжированного ряда с длиной N для дальнейших вычислений выбираются $N/2$ (округление в сторону большего целого) наибольшие результирующие значения вероятности обнаружения $R_{\sum Ki}^{**}$ и по этим значениям рассчитывается значение вероятности обнаружения ГО как произведение $N/2$ независимых событий [12]

$$R_{O\Sigma} = \prod_i^{N/2} R_{\sum Ki}^{**}. \quad (6)$$

Расчет оценки вероятности определения формы (распознавания) ГО может быть выполнен тремя способами.

При первом способе используется подход, ставший традиционным для одиночных объектов [21]. Вероятность определения формы ГО $R_{p\Sigma}$ при этом рассчитывается по формуле

$$R_{p\Sigma} = R_{O\Sigma} R_{p\Sigma\Phi}, \quad (7)$$

где $R_{p\Sigma\Phi}$ – вероятность определения формы ГО при условии его обнаружения.

Порядок расчета вероятности $R_{p\Sigma}$ следующий.

С использованием соотношения (6) определяется вероятность $R_{O\Sigma}$.

При значении $R_{O\Sigma}$, равном или меньше принятых нормированных значений этого показателя возможностей средств дистанционного зондирования,

дальнейшие расчеты не производятся, так как определение формы в данных условиях невозможно, и принимается $R_{p\Sigma}=0$.

Вероятность определения формы ГО при условии его обнаружения $R_{p\Sigma\Phi}$, входящая в соотношение (7), рассчитывается по формуле

$$R_{p\Sigma\Phi} = \exp(-0,64Z_{\Phi}), \quad (8)$$

где Z_{Φ} – параметр распознавания ГО.

Параметр распознавания объекта Z_{Φ} , входящий в соотношение (8), рассчитывается по формуле

$$Z_{\Phi} = \frac{(l_1 + l_2)(\sqrt{l_1 + l_2} + l_2)\Delta l^2}{2l_1l_2(l_1^2 + l_2^2)}, \quad (9)$$

где l_1 , l_2 , Δl – усредненные значения длины и ширины элементов ГО, а также линейного разрешения на местности аппаратуры дистанционного зондирования.

Практика классификации недостоверно обнаруживаемых объектов подтверждает возможность применения для радиолокационного диапазона выражений (8, 9), а также и для других диапазонов, при условии получения линейного разрешения на местности менее 0,3 м, что согласуется с выводами трудов по визуальному дешифрированию, например, [21].

При втором способе (косвенный метод) определения вероятности распознавания ГО используется подход, основанный на системном анализе процесса классификации ГО. Сущность этого способа заключается в следующем.

Вероятность определения формы ГО $R_{p\Sigma}$ рассчитывается по формуле (7). Для этого с использованием соотношения (6) определяется вероятность $R_{o\Sigma}$.

Как и в первом способе при значении $R_{o\Sigma}$, равном или меньше установленных нормированных значений этого показателя, дальнейшие расчеты не производятся, так как определение формы в данных условиях невозможно, и принимается $R_{p\Sigma}=0$.

Порядок расчета вероятности распознавания (определения формы) ГО при условии его обнаружения $R_{p\Sigma\Phi}$ представлен следующими положениями.

Основную компоненту значения вероятности распознавания (определения формы) ГО при условии его обнаружения рассчитывают по формуле (1), где в качестве исходных данных для расчёта используются полученные для каждого из набора K -ых условий наблюдения частные значения вероятности определения формы элемента ГО.

Последующие компоненты рассчитываются непосредственно исходя из условий дистанционного зондирования и могут включать в себя:

- учет исхода по распознаванию первых трех специфических элементов ГО или достоверное обнаружение подавляющего большинства элементов ГО на типовых дистанциях размещения;
- распознавание наиболее критичного элемента при условии обнаружения заданного количества остальных и т.д.

Все возможные компоненты учитываются как совместные события по формуле (1).

При третьем способе определения вероятности распознавания ГО используется подход, основанный на применении теории графов и искусственных нейронных сетей [22-24]. Построение графов при этом основывается на формализованном описании набора возможных событий, представляющих вершины графа. Ребрам присваиваются в качестве их веса значения вероятностей перехода из одного состояния в другое. Исходя из этого вероятность распознавания ГО можно представить объединением соответствующих путей графа. Данный способ хоть и наделен большей трудоемкостью, но вместе с тем, обладает повышенной наглядностью и возможностью последующей детализации. Его рекомендуется использовать в качестве основного метода при расчете потенциальной возможности классификации функционального состояния ГО.

Заключение

Таким образом, расчет оценки комплексных возможностей средств видового дистанционного зондирования применительно к решению задачи классификации ГО основывается на процедуре статистического обобщения гипотез с учетом значений частных показателей эффективности дешифрирования элементов ГО для каждого средства аэросъемки и выбранных условий наблюдения. Состав исходных данных, необходимых для расчета, включает упорядоченный (по выбранным средствам и условиям) набор частных результирующих значений вероятности обнаружения и определения формы объекта для элементов ГО. Верификация предложенной методики классификации, проведенная в рамках выполнения исследований по ряду научно-исследовательских работ, подтвердила высокую степень ее достоверности.

Литература

1. Арктическая деятельность [web]. *Правительство России*. Дата обращения: 18.05.2022. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/465/events>.
2. Освоение Арктики: проблемы и решения [web]. *Neftegaz.ru*. Дата обращения: 22.05.2022. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/arktika/505550-osvoenie-arktiki-problemy-i-resheniya>.
3. Освоение Арктики. Программа развития [web]. *Правительство России*. Дата обращения: 22.05.2022. URL: <http://government.ru/docs/41894/>.
4. Новости дирекции Северного морского пути [web]. *Атомная энергия*. Дата обращения: 05.05.2022. URL: <https://www.atomic-energy.ru/SMP-Rosatom>.
5. История освоения Северного морского пути [web]. *АО «Универсальная морская компания Арктика»*. Дата обращения: 25.05.2022. URL: <https://umcshipping.ru/article/severnoy-morskoy-put/>.
6. Россия модернизирует порты Тикси и Диксон для усиления охраны Северного морского пути [web]. *Эксперт*. Дата обращения: 25.05.2022. URL: <https://expert.ru/2022/06/1/rossiya-moderniziruyet-porty-tiksi-i-dikson-dlya-dlya-usileniya-okhrany-severnogo-morskogo-puti>.

7. Метеосводка о Дагестане [web]. *Первый канал*. Дата обращения: 27.05.2022.
URL: https://www.1tv.ru/news/2021-09-25/413642-v_dagestane_moschnye_livni_vyzvali_navodnenie_burnymi_potokami_unosilo_t_selye_zdaniya.
8. Туристы пропали в Дагестане из-за мощного антициклона [web]. *Lenta.ru*. Дата обращения: 26.05.2022. URL: <https://lenta.ru/news/2021/08/24/dagestansel/>.
9. Аковецкий В.И. *Дешифрирование снимков*. Москва, Недра. 1983. 307 с.
10. Верещака Т.В., Зверев А.Т. *Визуальные методы дешифрирования*. Москва, Недра. 1990. 279 с.
11. Прэтт У. *Цифровая обработка изображений*. Москва, Мир. 1982. 790 с.
12. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. *Теория вероятностей и ее инженерные приложения*. Москва, Высшая школа. 2007. 491 с.
13. Кремер Н.Ш. *Теория вероятностей и математическая статистика*. Москва, Юнити. 2016. 240 с.
14. Вудс Р., Горсалес Р. *Цифровая обработка изображений*. Москва, Техносфера. 2006. 1072 с.
15. Борисов А. Н., Алексеев А.В. *Обработка нечеткой информации в системах принятия решений*. Москва, Радио и связь. 1989. 304 с.
16. Перов А.И. *Статистическая теория радиотехнических систем*. Москва, Радиотехника. 2003. 400 с.
17. Сколник М.И. *Справочник по радиолокации. Книга 1*. Москва, Техносфера. 2014. 315 с.
18. Ван Трис Г. *Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том 1. Теория обнаружения, оценок и линейной модуляции*. Москва, Советское Радио. 1972. 371 с.
19. Фукунага К. *Введение в статистическую теорию распознавания образов*. Москва, Наука. 1979. 368 с.
20. Верба В.С. *Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития*. Москва, Радиотехника. 2008. 432 с.

21. Травникова Н.П. *Эффективность визуального поиска*. Москва, Машиностроение. 1985. 128 с.
22. Алексеев В.Е., Таланов В.А. *Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений*. Москва, БИНОМ. 2006. 320 с.
23. Борисов А.Н., Алексеев А.В. *Обработка нечеткой информации в системах принятия решений*. Москва, Радио и связь. 1989. 304 с.
24. Солнцева О.Г. Аспекты применения технологий искусственного интеллекта. *E-Management*. 2018. Т.1. №1. С.43-51. <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2018-1-43-51>.

Для цитирования:

Попов А.В., Филиппских Е.Э., Белокопытов М.Л., Журавлев С.В. Методика комплексной классификации групповых объектов по разносектральным данным. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2022. №10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.10.3>