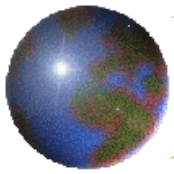




Метод селекции изображений на основе их ранжирования по прогнозируемой информативности дешифровочных признаков

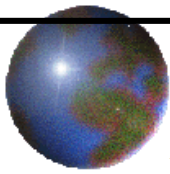
Марков А.В., Харжевский Е.В., Астахова Е.И.



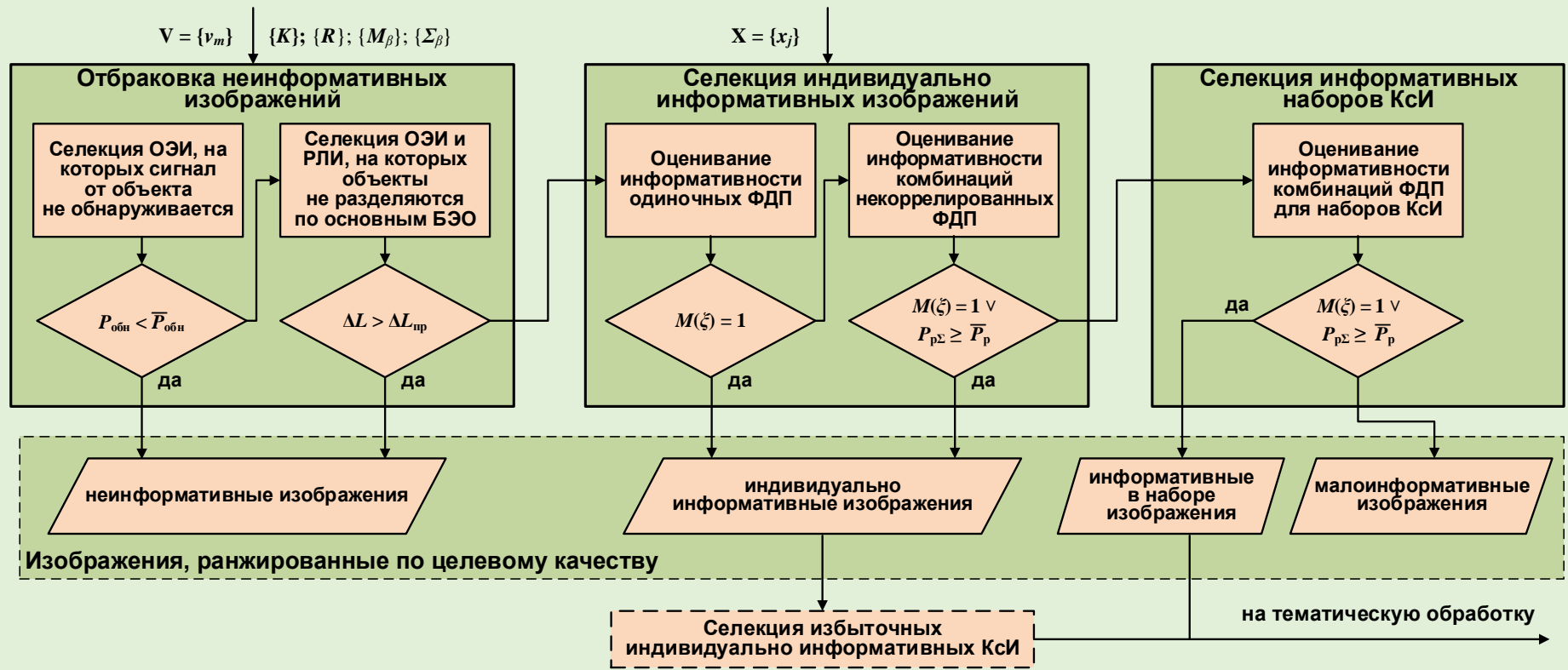
Введение

- ✦ Проведенные исследования, направленные на оценивание пригодности космических снимков к автоматическому дешифрированию, показали различия в требуемом качестве изображений, необходимом для визуального анализа
- ✦ Для определения целевого качества космических снимков предложен подход, позволяющий учитывать сведения об информативности формализованных дешифровочных признаках (ФДП), выявляемых на оптико-электронных (ОЭИ) и радиолокационных изображениях (РЛИ) и используемых в автоматических алгоритмах дешифрирования
- ✦ В результате применения разработанного метода изображения ранжируются на четыре группы:
 - индивидуально информативные, которым следует отдавать приоритет при дешифрировании;
 - информативные в наборе квазисинхронные (КСИ), которые должны отбираться для дешифрирования при отсутствии индивидуально информативных;
 - малоинформативные и неинформативные, исключаемые из процесса автоматического дешифрирования на стадии распознавания.

*Примечание: Под **квазисинхронными** понимаются изображения, зарегистрированные на один и тот же съемочный участок в промежуток времени, в течение которого маловероятными являются значимые изменения объекта наблюдения*



Структурная схема метода селекции изображений на основе ранжирования по прогнозируемой информативности ДП



$V = \{v_m\}$ – множество разномасштабных изображений v_m с различными радиометрическим и пространственным разрешениями, планируемых к обработке в соответствии с планом применения орбитальной группировки;

$X = \{x_j\}$ – множество дешифровочных признаков объекта наблюдения

$\{K\}; \{R\}; \{M_\beta\}, \{\Sigma_\beta\}$ – базовые эталонные описания (БЭО) контура, матрицы расстояний доминантных центров отражения и спектральной сигнатуры

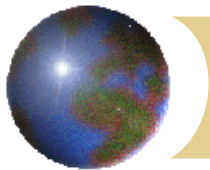
ΔL – значение размера проекции пикселя на местности (РГМ)

$\bar{P}_{обн}; \bar{P}_p$ – требуемые значения вероятностей обнаружения и распознавания объектов на изображениях.

$P_{p\Sigma}$ – вероятность распознавания всех объектов категории

$\Delta L_{пр}$ – предельное значение РГМ, при котором возможно распознавание объектов по БЭО

$M(\xi)$ – значение показателя информативности формализованных дешифровочных признаков.



Этапы метода селекции

1) К **неинформативным** изображения относятся:

- ОЭИ, которые не могут использоваться по причине невозможности уверенного выделения яркостного сигнала от объекта на сопутствующем фоне при имеющемся уровне шумов на изображении;
- ОЭИ и РЛИ, низкая детальность которых не позволит распознать заданные объекты ввиду потери разделительных свойств дешифровочных признаков (ДП);

2) Селекцию индивидуально информативных осуществляется на основе анализа прогнозируемой информативности ДП:

- производится расчет показателя информативности $M(\xi)$ для всего множества ДП, которые могут быть определены на основе имеющихся эталонных описаний. При значении $M(\xi) = 1$, обеспечивается $P_p = 1$ и изображения относят к **индивидуально информативным**.
- при невозможности обеспечения требуемой вероятности распознавания по одиночным ДП исследуется возможность достижения максимальных значений P_p за счет использования комбинаций (сочетаний) ДП. Изображения, позволяющие расклассифицировать все объекты с заданной вероятностью, относят к индивидуально информативным, остальные – к **индивидуально малоинформативным**;

3) При наличии в потоке материалов космической съемки наборов КСИ, являющихся индивидуально малоинформативными, оценивается возможность повышения результативности распознавания посредством комплексной тематической обработки, то есть за счет использования при дешифрировании комбинаций ДП, выявляемых на разнородных КСИ. Изображения, для которых удастся достичь требуемого значения P_p , относят к **информативным в наборе**

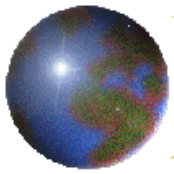
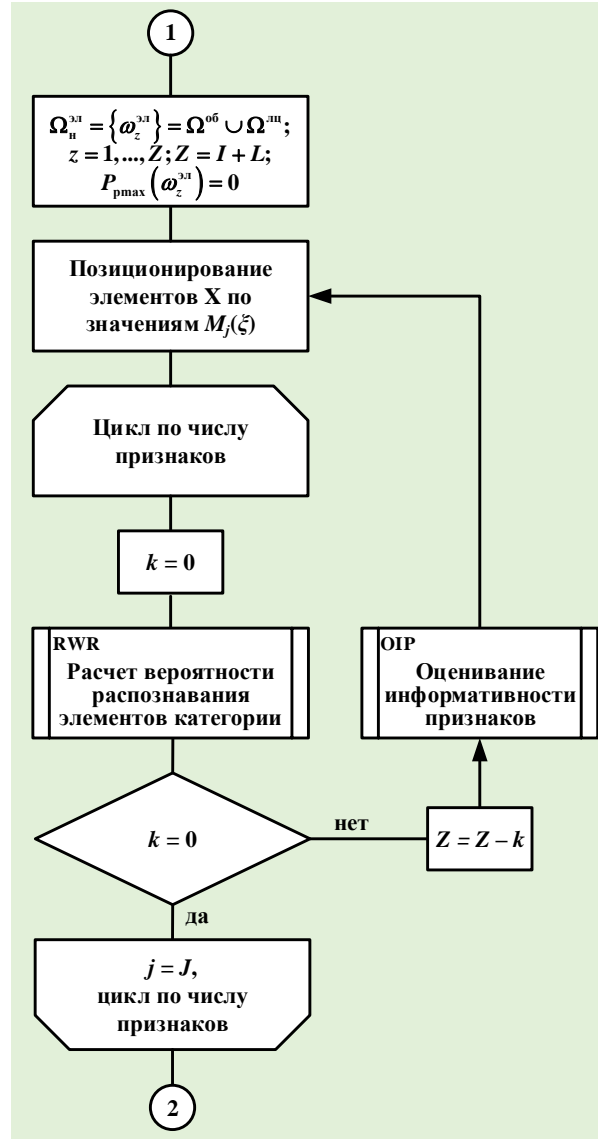
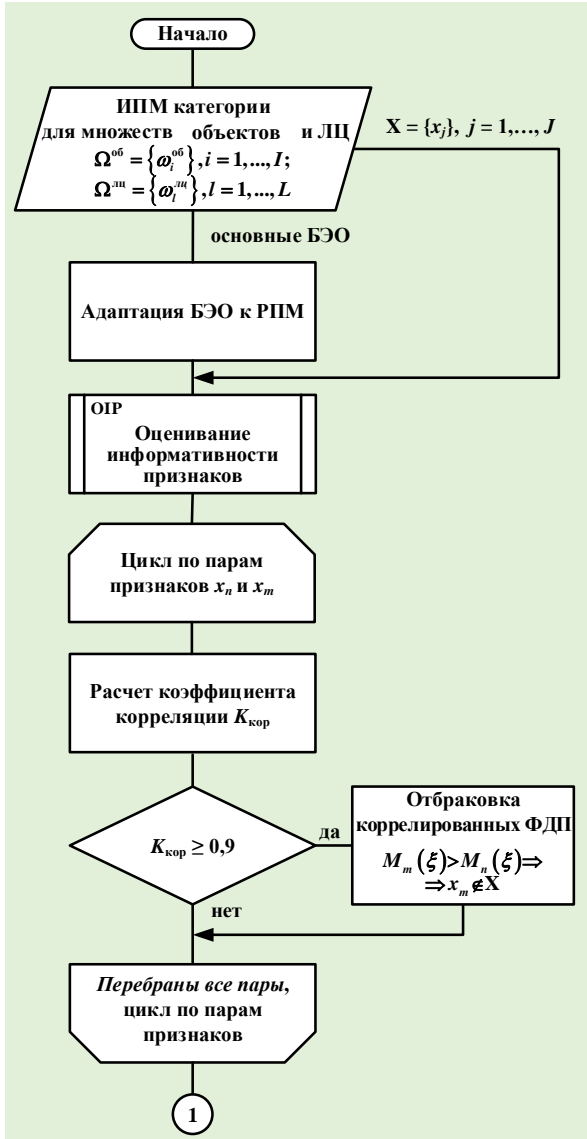
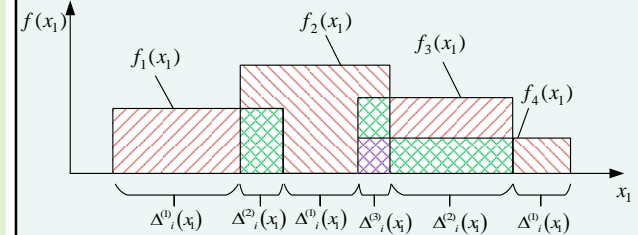


Схема процесса селекции информативных изображений



Унифицированный показатель информативности ФДП



Вероятность однозначной классификации объектов по признаку x_j

$$P_1 = \sum_{i=1}^I P(\omega_i) P[x_j \in \Delta_i^1(x_j/i)] = \sum_{i=1}^I P(\omega_i) \int_{\Delta_i^1(x_j)} f_i(x_j) dx.$$

Вероятность получения по признаку x_j n -значного решения вида класс ω_1 или ω_2, \dots , или класс ω_n :

$$P_n = \sum_{i=1}^I P(\omega_i) P[x_j \in \Delta_i^n(x_j/i)] = \sum_{i=1}^I P(\omega_i) \int_{\Delta_i^n(x_j)} f_i(x_j) dx.$$

I – количество классов распознаваемых объектов;
 $f_i(x_j)$ – плотность распределения признака x_j для объекта ω_i ;

$\Delta_i^n(x_j)$ – интервал изменения признака x_j , на котором отличны от нуля n функций $f_i(x_j)$.

Информативность признака оценивается через математическое ожидание $M(\xi)$ случайной величины ξ , которая может принимать значения $\xi = 1, \dots, I$ с вероятностями $P_n, n = 1, \dots, I$:

$$M(\xi) = \sum_{n=1}^I n \cdot P_n.$$

Основные свойства показателя $M(\xi)$:

- 1) если существует признак с показателем $M(\xi) = 1$, все классы (типы) объектов разделяются (распознаются) по данному признаку;
- 2) признаки с меньшими значениями $M(\xi)$ имеют лучшую разделятельную способность (информативность).

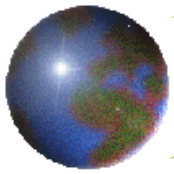
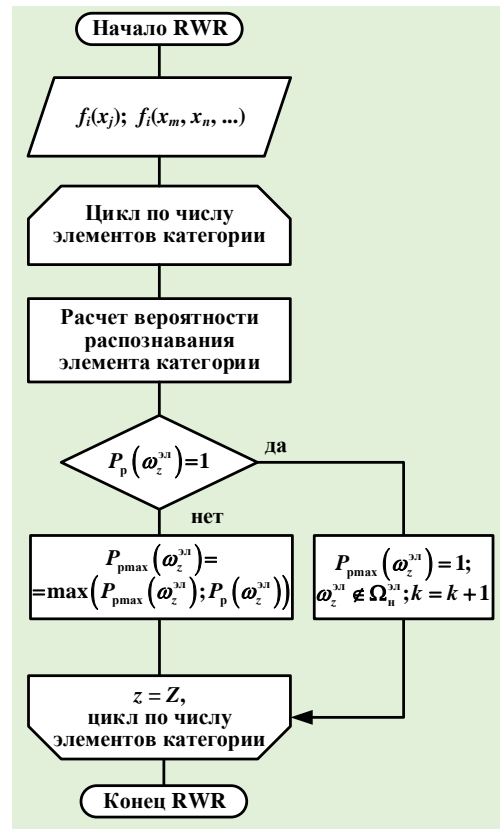
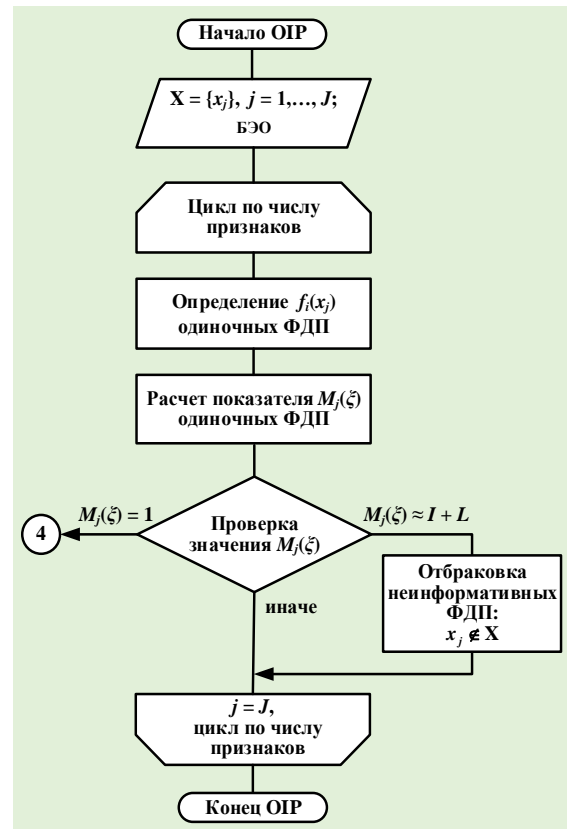
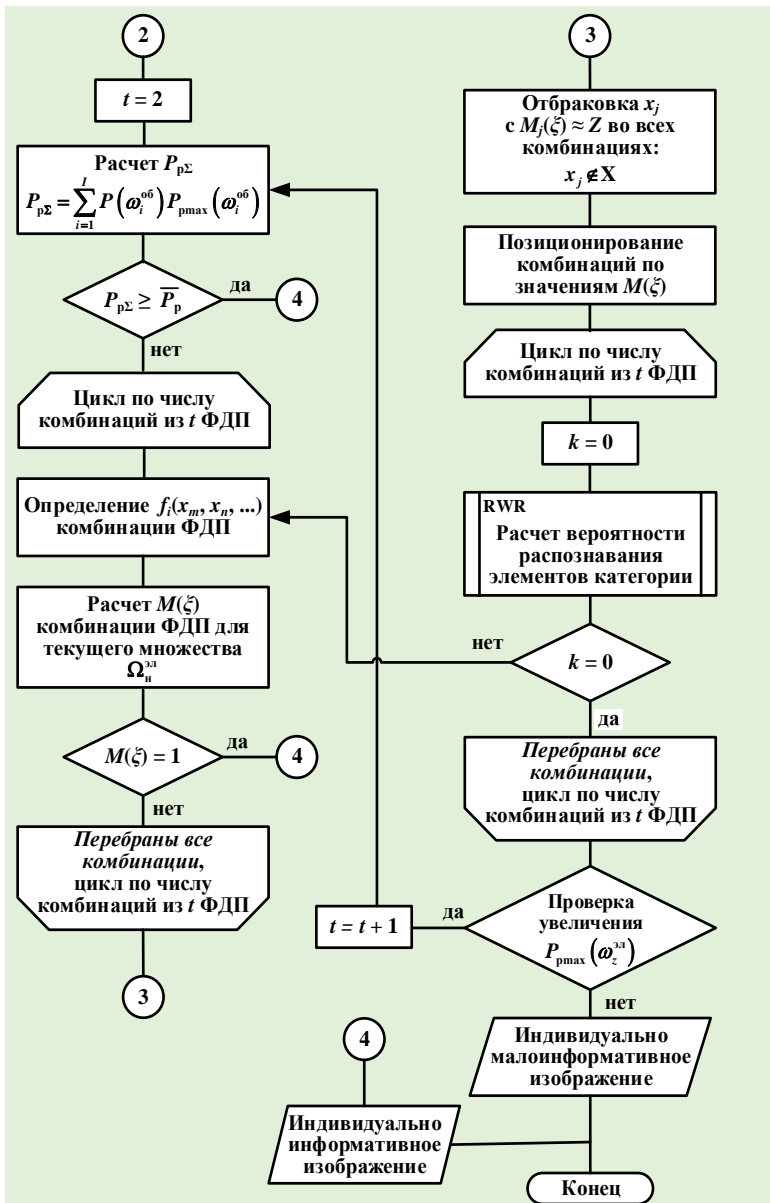


Схема процесса селекции информативных изображений (продолжение)



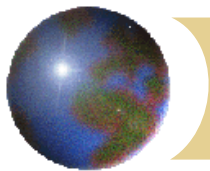
Результаты процесса:

- 1) ранжирование изображений на индивидуально информативные и малоинформативные;
- 2) количественные оценки результативности автоматического дешифрирования изображений, показателем которой является максимально возможная суммарная вероятность распознавания всего множества объектов $\Omega^{06} = \{\omega_i^{06}\}$

$$P_{p\Sigma} = \sum_{i=1}^l P(\omega_i^{06}) P_p(\omega_i^{06}),$$

где вероятность распознавания класса ω_i^{06} (для случая распознавания по одному признаку x_j):

$$P_p(\omega_i^{06}) = \sum_{n=1}^l \left(\frac{1}{n} \int_{\Delta_n^*(x_j)} f_i(x_j) dx \right).$$



Верификация метода селекции изображений по материалам аэрокосмической съемки

Таблица 1 – Потенциально информативные ФДП категории «Авиация» (синим цветом выделены ФДП, коррелированные с признаком x_1 : $K_{кор} \approx 0,99$)

ФДП	Средние значения ФДП для самолетов разных типов																M(ξ) (РПМ 0,15 м)	M(ξ) (РПМ 1 м)
	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9	ω_{10}	ω_{11}	ω_{12}	ω_{13}	ω_{14}	ω_{15}	ω_{16}		
x_1 , длина, м	22,6	21,9	22,0	22,6	17,2	17,3	46,6	46,6	23,5	23,8	33,1	35,9	28,0	47,0	59,4	69,1	1,19	1,76
x_2 , ширина, м	10,37	14,7	14,7	14,0	7,8	11,4	50,5	50,5	29,2	29,2	38,0	37,5	31,9	50,0	48,0	73,3	1,10	1,68
x_3 , периметр, м	104,4	100,2	100,2	92,7	78,3	75,3	288,9	288,0	133,8	138,6	184,2	201,9	141,9	331,8	332,1	425,6	1,17	1,77
x_4 , площадь, м ²	51,6	57,2	57,3	57,8	31,5	36,8	222,7	283,5	85,0	79,9	143,3	144,8	111,0	249,3	355,7	607,2	1,13	1,72
x_5 , инвариант M_1	7,0	6,9	6,5	7,4	5,2	5,8	16,9	16,7	8,6	8,9	11,7	12,1	10,3	16,1	19,0	24,2	1,21	1,78
x_6 , инвариант M_2	0,452	0,128	0,217	0,339	0,369	0,195	0,008	0,002	0,001	0,002	0,000	0,010	0,000	0,000	0,077	0,000	1,31	2,12
x_7 , инвариант M_3	0,467	0,479	0,427	0,425	0,499	0,590	0,002	0,005	0,124	0,110	0,094	0,125	0,075	0,001	0,012	0,000	1,16	2,21
x_8 , инвариант M_4	0,280	0,283	0,252	0,231	0,256	0,392	0,000	0,005	0,049	0,044	0,042	0,060	0,021	0,002	0,007	0,001	1,20	2,43

РПМ 0,5 м; ЛРМ 0,6 м;
расчетное значение $P_{p\Sigma} = 1,00$



алгоритм SVM; $P_{p\Sigma} = 1,00$



ИНС YOLO; $P_{p\Sigma} = 1,00$

РПМ 1,0 м; ЛРМ 1,9 м;
расчетное значение $P_{p\Sigma} = 0,68$

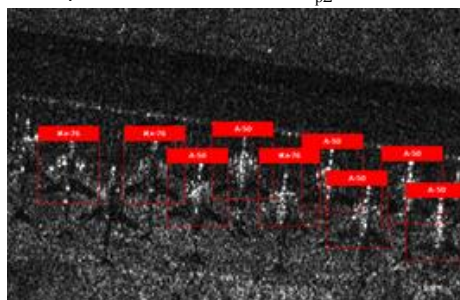


алгоритм SVM; $P_{p\Sigma} = 0,34$



ИНС YOLO; $P_{p\Sigma} = 0,45$

РПМ 0,5 м;
расчетное значение $P_{p\Sigma} = 0,70$



алгоритм SVM; $P_{p\Sigma} = 0,69$

Таблица 2 – Результаты распознавания элементов категории «Авиация» по признаку x_2

Вероятность распознавания самолетов разных типов по признаку x_2								$P_{p\Sigma}$
ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	
0,67	0,33	0,33	0,33	0,67	1,00	0,30	0,30	0,57
ω_9	ω_{10}	ω_{11}	ω_{12}	ω_{13}	ω_{14}	ω_{15}	ω_{16}	
0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,30	0,75	1,00	

Таблица 3 – Значения показателя информативности ФДП для множества нераспознанных типов самолетов в таблице 2

x_1	x_2	x_4	x_6	x_7	x_8
1,94	1,85	1,81	2,26	2,34	2,68

Таблица 4 – Результаты распознавания элементов категории «Авиация» по последовательности признаков $x_2 \rightarrow x_4$

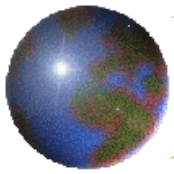
Вероятность распознавания самолетов разных типов путем поочередного применения признаков x_2 и x_4								$P_{p\Sigma}$
ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	
1,00	0,33	0,33	0,33	1,00	1,00	0,50	0,50	0,68
ω_9	ω_{10}	ω_{11}	ω_{12}	ω_{13}	ω_{14}	ω_{15}	ω_{16}	
0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	

Таблица 5 – Значения показателя информативности ФДП для множества нераспознанных типов самолетов в таблице 4

x_1	x_2	x_4	x_6	x_7	x_8
2,32	2,46	2,69	3,59	3,84	3,96

Результаты верификации разработанного метода селекции по 85 ОЭИ и 18 РЛИ:

1. Для уровней $P_p \geq 0,8$ и $P_p \geq 0,9$ всеми методами сформированы одинаковые группы информативных изображений.
2. Коэффициент корреляции значений $P_{p\Sigma}$, полученных расчетным методом и экспериментальным методом SVM, составил 0,93.
3. Коэффициент корреляции значений $P_{p\Sigma}$, полученных расчетным методом и экспериментальным методом с использованием ИНС YOLO, составил 0,82.



Выводы

- ✦ Предложен метод, позволяющий производить селекцию (отбор) в потоке материалов космической съемки оптико-электронных изображений и радиолокационных изображений, пригодных к дешифрированию в автоматическом режиме.
- ✦ В результате применения метода осуществляется ранжирование изображений, имеющих различные спектральные, радиометрические и пространственно-частотные характеристики, по целевому качеству, количественным показателем которого является максимально возможная суммарная вероятность распознавания P_p заданного множества объектов. Условием применения метода является наличие для объектов наблюдения формализованных эталонных описаний дешифровочных признаков
- ✦ Практическая ценность разработанного метода заключается в реализации возможности априорного определения избыточных и неинформативных в рассматриваемой тематической задаче изображений и исключения их из процесса автоматического дешифрирования, обеспечивая тем самым сокращение временных затрат на обработку поступающего на наземные комплексы потока материалов космической съемки