



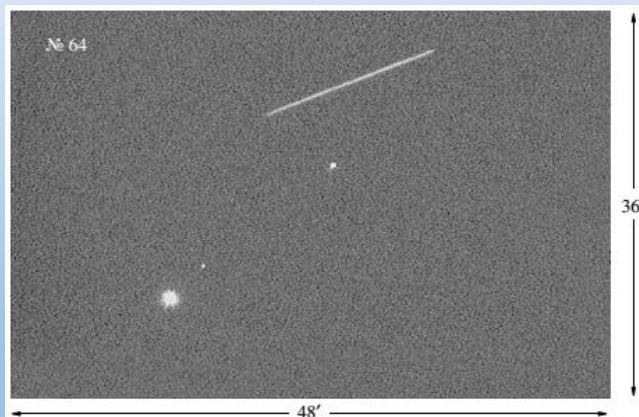
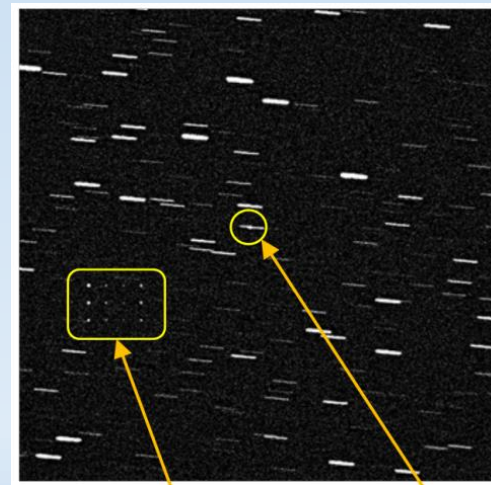
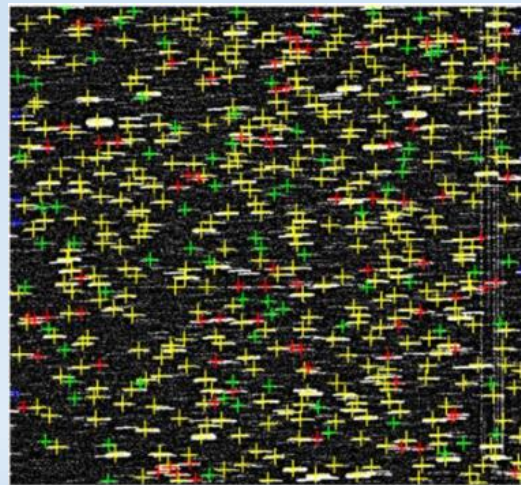
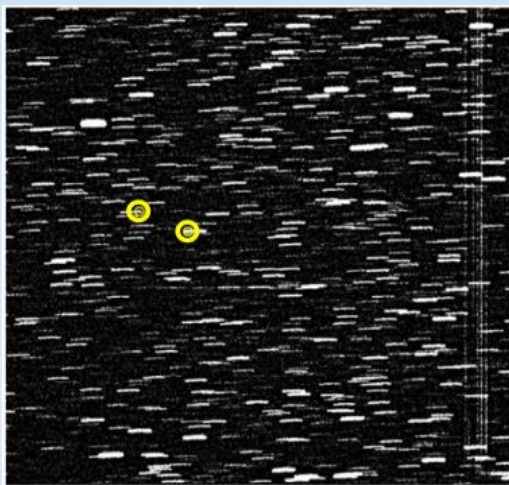
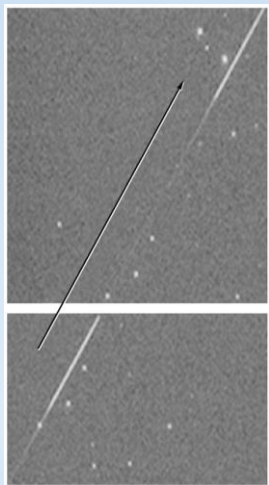
АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО ПРИЗНАКАМ ДВИЖЕНИЯ

А. В. Морозов;
Ю. В. Баскова, А. И. Бобровский, В. А. Павлов.



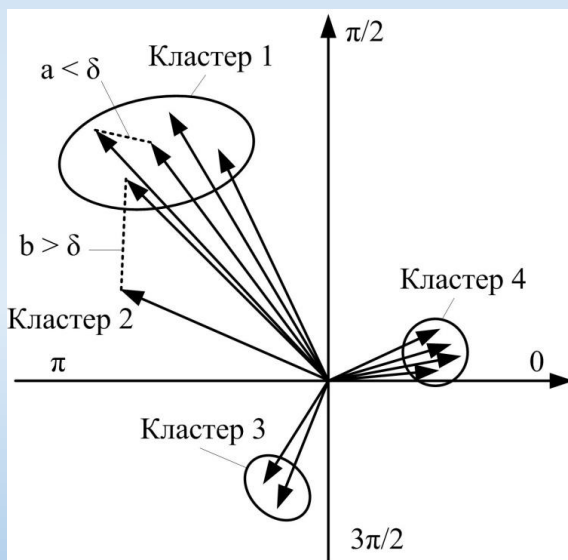
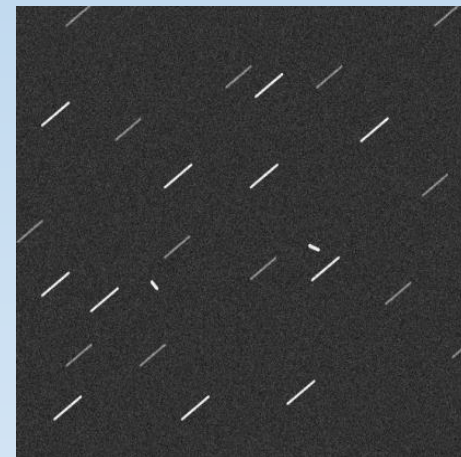
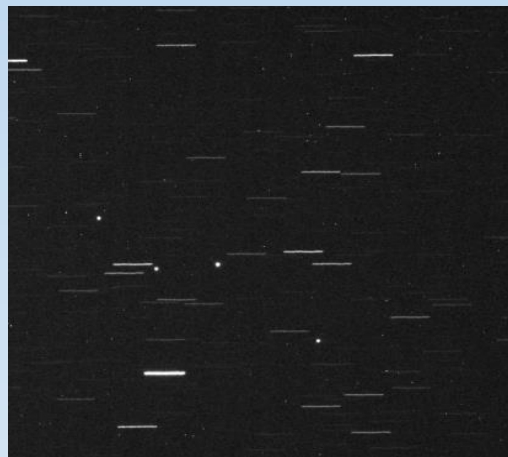
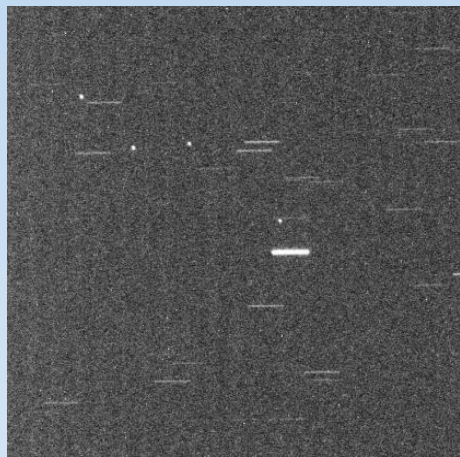
Актуальность

➤ Основная область применения предложенного алгоритма – космические телевизионные системы астроориентации, сопровождения и контроля процесса сближения космических аппаратов на дальней дистанции, космические системы технического зрения для поиска аномально движущихся объектов (космического мусора, метеоров и т.п.).





Идея алгоритма

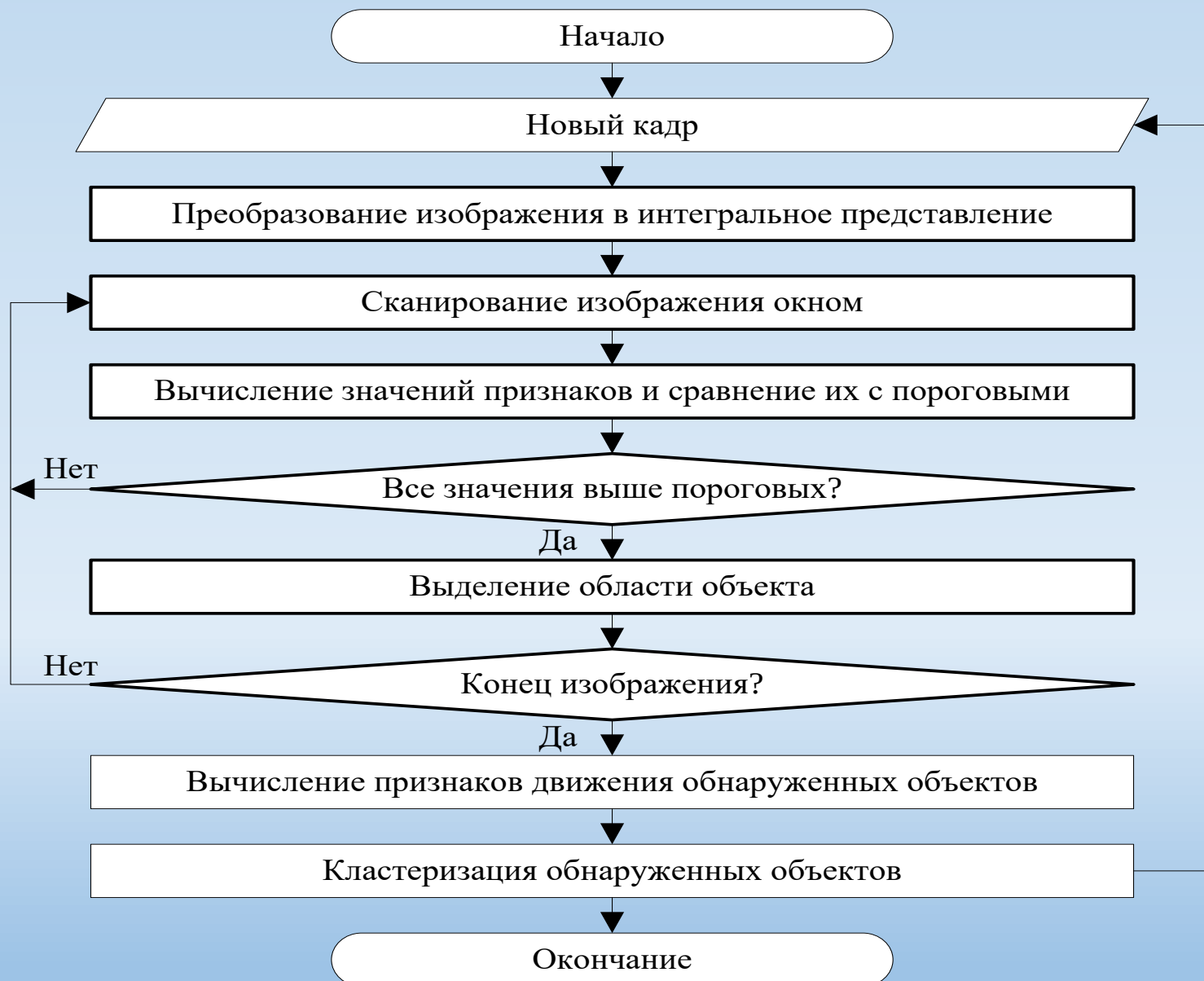


- Обнаружение объектов на изображении;
- Классификация обнаруженных объектов по признакам движения;
- Нанесение их на векторную диаграмму;
- Определение принадлежности объектов тому или иному кластеру.

➤ Рассматривается реализация алгоритма Виолы-Джонса – обучаемого алгоритма обнаружения объектов, использующего итерационное вычисление коэффициентов областей изображения с помощью признаков Хаара, по результатам чего, после сравнения полученных данных с базой данных, сформированной на этапе обучения алгоритма, принимается решение о наличии или отсутствии объекта в данной области.



Блок-схема алгоритма



Обучение классификатора алгоритма обнаружения объектов

Обучающие изображения: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

Для каждого изображения во множестве Y определено, присутствует объект на изображении или нет. $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$

Признак: $j = \{\text{тип маски, расположение, размер}\}$

Слабый классификатор: $h_j = \arg \min_{h_t \in H} \varepsilon_j$

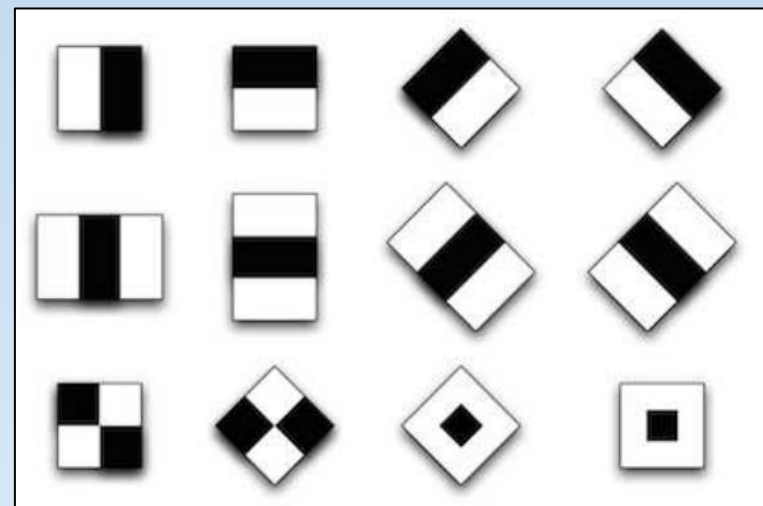
Ошибка классификации: $\varepsilon_j = \sum_{i=1}^m D_t(i) [y_i \neq h_j(x_i)]$

Если величина $\varepsilon_j \geq 0.5$, то алгоритм останавливается.

Вес классификатора определяется как: $\alpha_t = \frac{1}{2} \ln \frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_t}$.

Происходит расчет новых значений весов: $D_{t+1}(i) = \frac{D_t(i) e^{-\alpha_t y_i h_t(x_i)}}{Z_t}$

Конечный классификатор представляет собой взвешенную сумму слабых классификаторов:



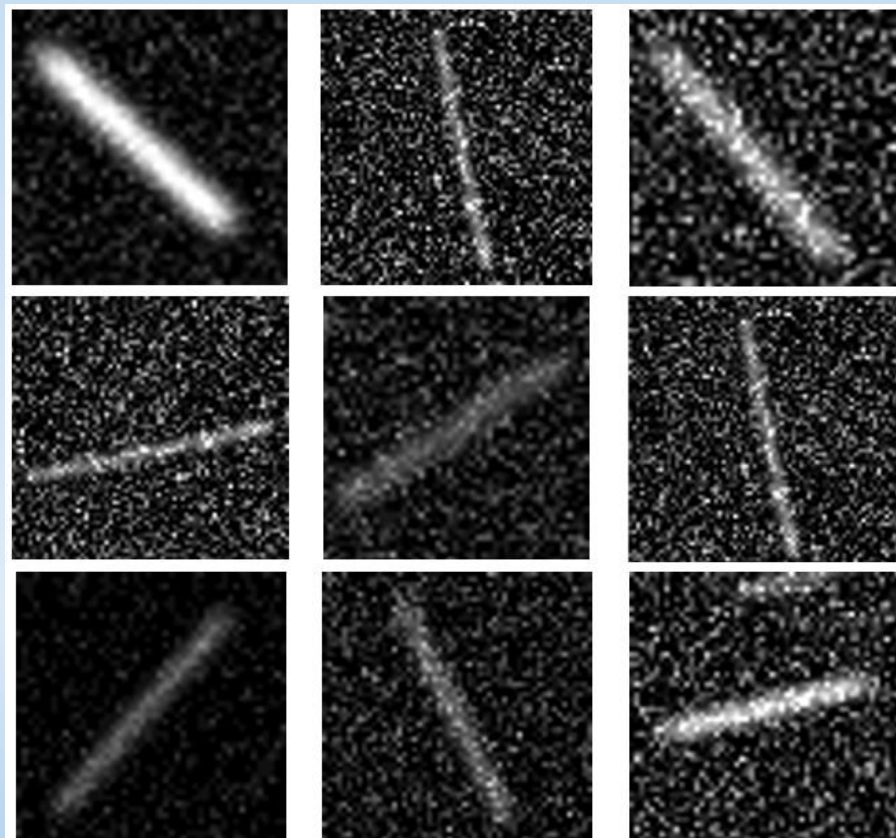
Признаки Хаара

$$H(x) = \text{sign} \sum_{t=1}^T a_t h_{j(t)}(x)$$

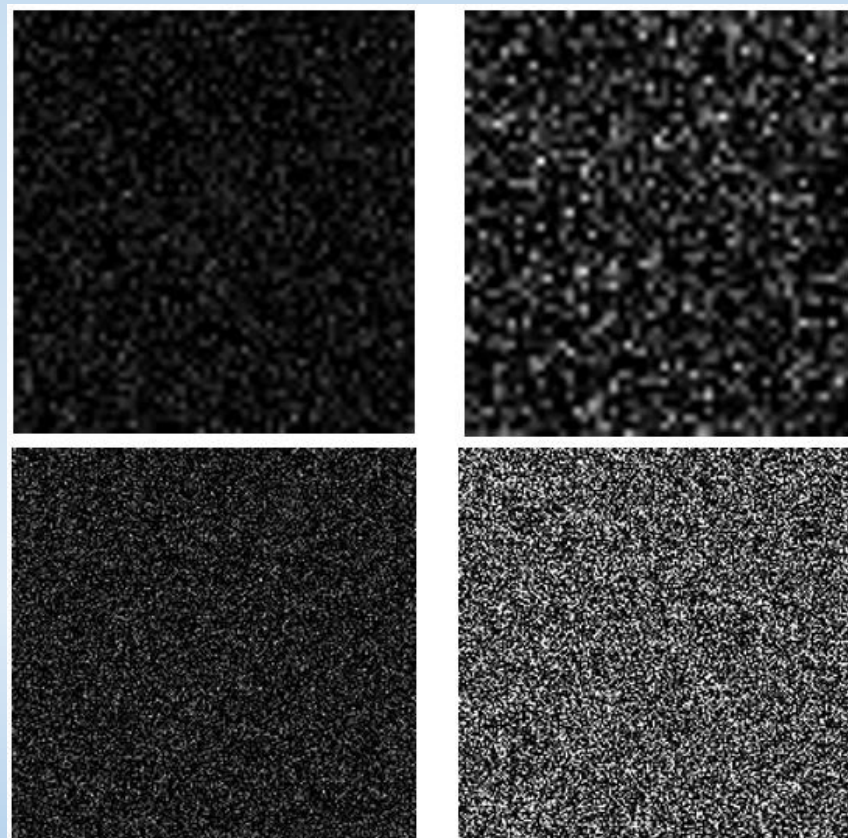


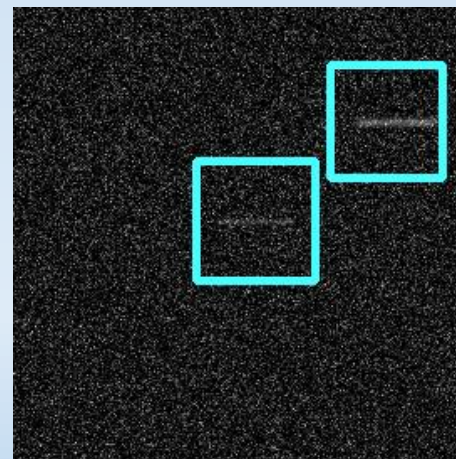
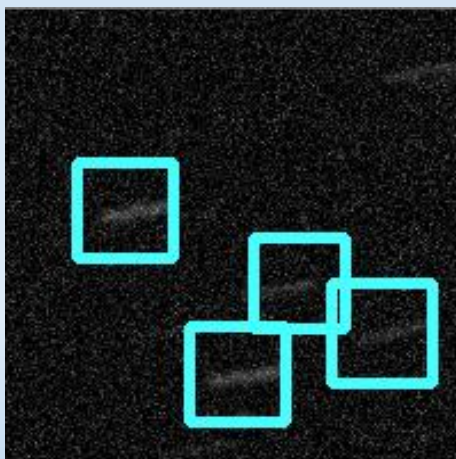
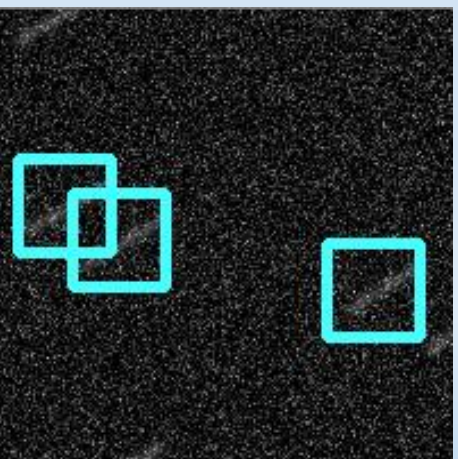
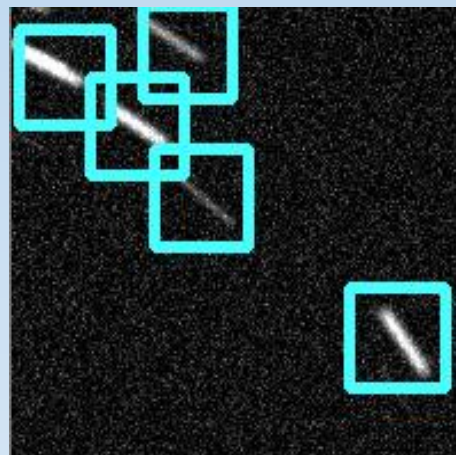
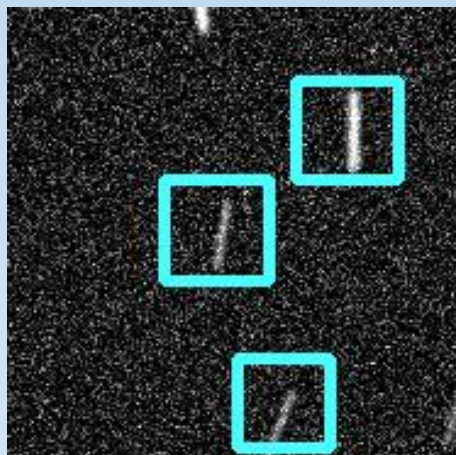
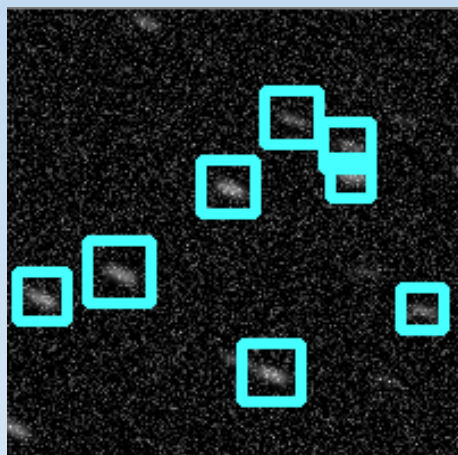
Обучение классификатора алгоритма обнаружения объектов

Пример положительных изображений



Пример отрицательных изображений



Результаты работы алгоритма обнаружения

$$P_{\text{ПО}} = \frac{N_{\text{ОБ}}}{N_0}$$

$$P_{\text{ЛТ}} = \frac{M_{\text{ЛТ}}}{m \cdot n}$$

Алгоритм	$P_{\text{ПО}}$				$P_{\text{ЛТ}}$			
	№1	№2	№3	$\Sigma/3$	№1	№2	№3	$\Sigma/3$
Адаптивная бинаризация	0,75	0,63	0,96	0,78	0,001	0,004	→0	0,002
Виолы-Джонса	0,95	1	0,9	0,95	→0	→0	→0	→0

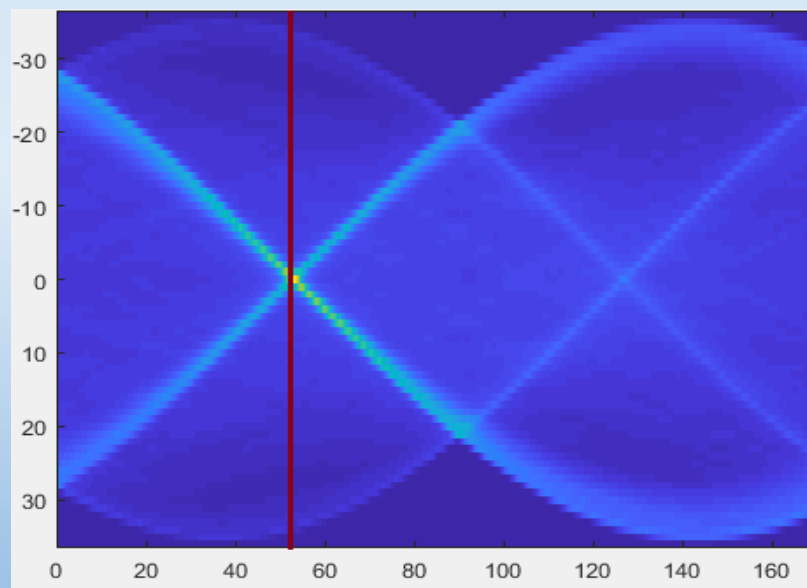
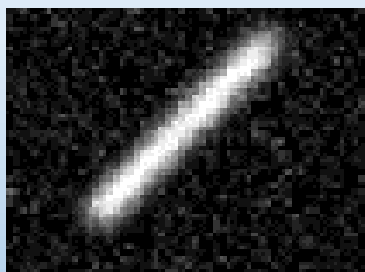


Вычисление признаков движения объектов

Угол наклона трека определяется следующим образом:

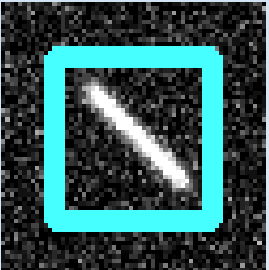
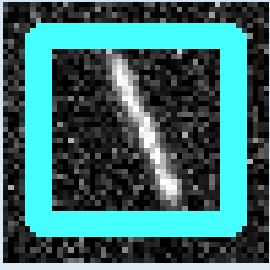
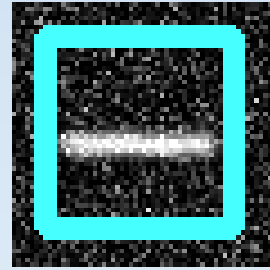
- над входным изображением производится двумерное быстрое преобразование Фурье.
- над полученным изображением выполняется преобразование Радона.
- по максимуму преобразования Радона находится угол наклона треков на изображении.

$$R(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy.$$



Вычисление признаков движения объектов

Длина трека определяется с учетом размера ограничительного окна, которое было получено при обнаружении объекта и угла поворота трека, вычисленного после преобразования Радона.

Изображение трека				
Размер окна, пикс.	30x30	34x34	27x27	32x32
Угол наклона, град.	135	120	55	180
Длина трека, пикс.	40	39	34	31

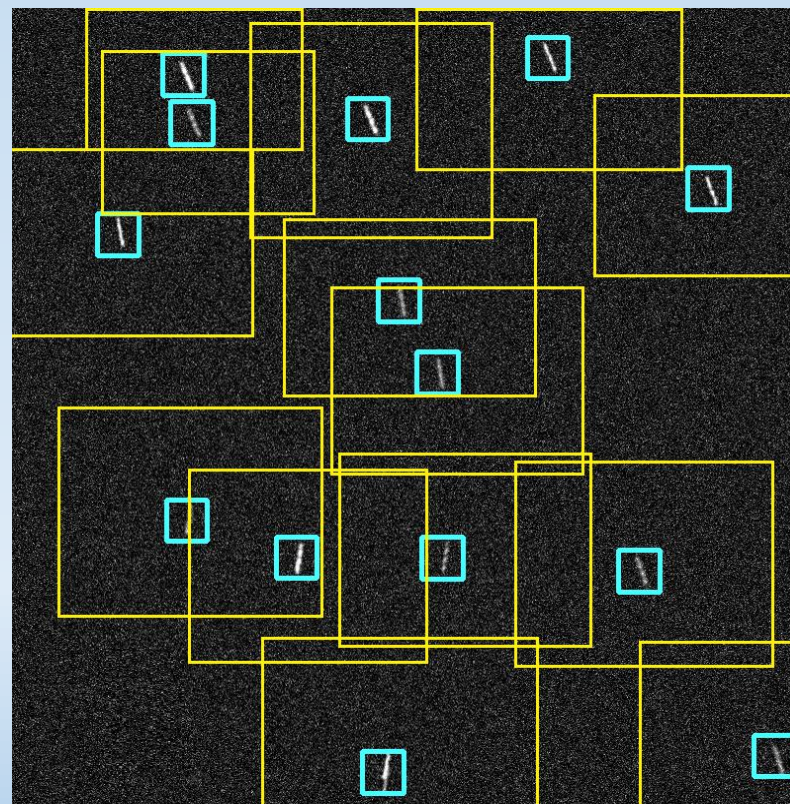


Вычисление признаков движения объектов

Направление движения трека

определяется следующим образом:

1. На первом кадре обнаружен объект окном размером $W \times H$.
2. Вокруг найденного объекта строится область размером $3W \times 3H$
3. На следующем кадре в данной области ищутся все обнаруженные детектором объекты.
4. Вычисляется корреляция данных объектов с найденным на первом кадре.
5. Выбирается максимальный коэффициент корреляции.
6. Максимум корреляции показывает положение объекта во втором кадре.



Выбор метода классификации объектов

Рассмотрены следующие методы:

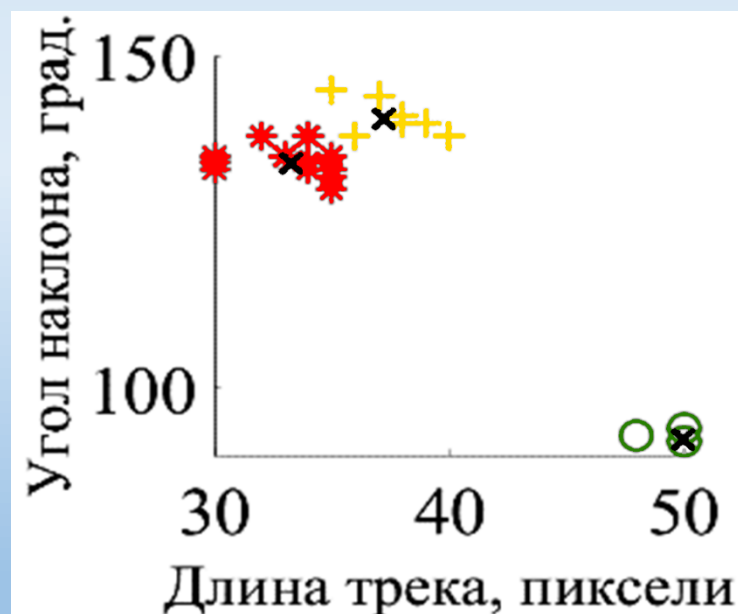
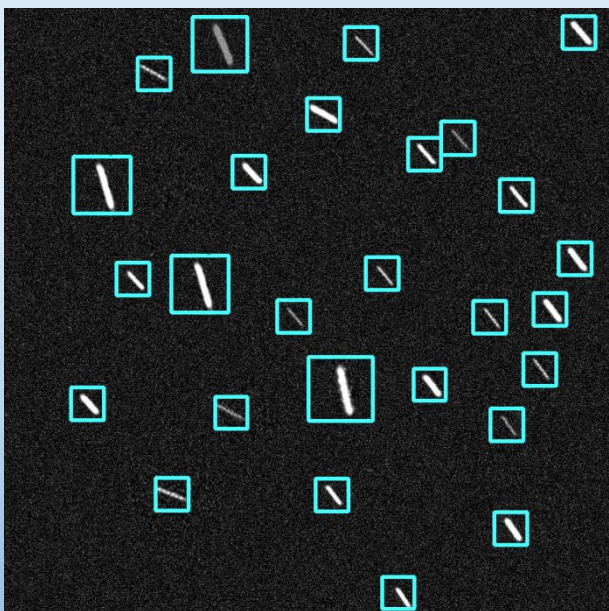
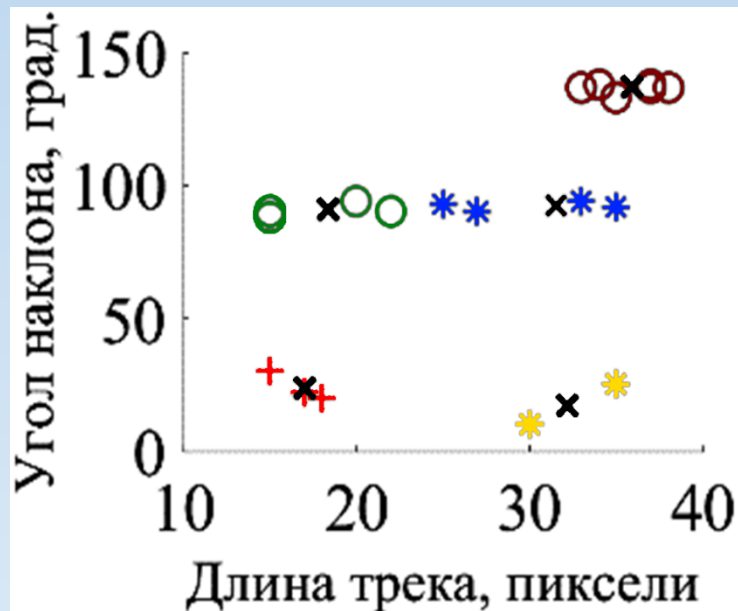
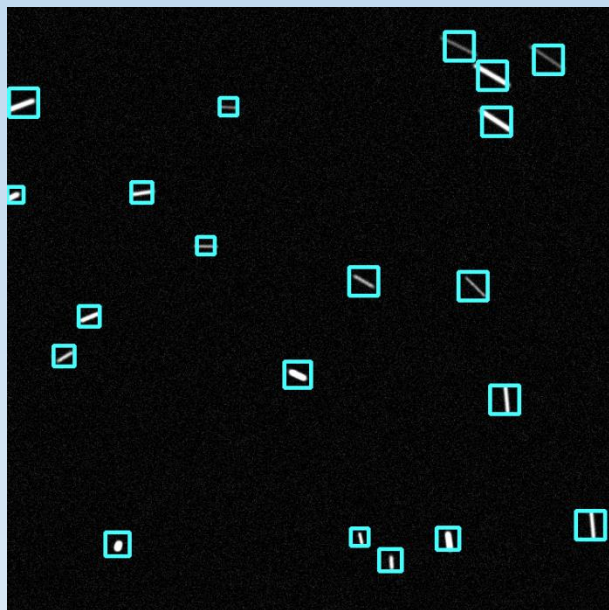
- 1) метод k-средних;
- 2) метод с-средних;
- 3) иерархическая агломеративная кластеризация с использованием расстояния Махланобиса;
- 4) иерархическая агломеративная кластеризация с использованием расстояния Евклида;
- 5) иерархическая агломеративная кластеризация с использованием косинусного расстояния.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad SPC = \frac{TN}{TN + FP}$$

№ метода кластеризации	1	2	3	4	5
Средняя чувствительность	0,98	0,99	0,91	0,93	0,69
Средняя специфичность	0,97	0,99	0,88	0,90	0,67



Результаты работы алгоритма





Заключение

- Предложен новый способ обнаружения и классификации малоразмерных изображений космических объектов, использующий в качестве алгоритма первичного обнаружения объектов обучаемый алгоритм Виолы-Джонса.
- Получены высокая вероятность правильного обнаружения объектов (0,95) и значения чувствительности (0,99) и специфичности (0,99) алгоритма классификации объектов.
- Модификация алгоритма обнаружения и классификации малоразмерных изображений космических объектов с применением обучаемых алгоритмов является целесообразной процедурой, и это особенно актуально в плане использования современных подходов к обработке изображений, общего снижения вычислительных затрат и повышения обнаружительной способности космических телевизионных систем.



СПАСИБО!



Расчет количества математических операций для сравниваемых алгоритмов

Количество математических операций в предложенном алгоритме

Операции	Сложение	Возведение в степень	Деление	Умножение	Прочие
Бинаризация	$129 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	10^9
Поиск связностей	$9 \cdot 10^6$	—	10^6	—	10^6
Измерение векторов	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	10^5	$2 \cdot 10^6$
Вычисление прогноза	$1,7 \cdot 10^3$	300	300	—	10^8
Кластеризация	10^4	10^4	10^4	10^4	10^6

$$\Sigma = 1,25 \cdot 10^9$$

Количество математических операций при корреляционном анализе

Операции	Сложение	Возведение в степень	Деление	Умножение	Прочие
ДПФ	10^6	10^6	10^6	$5 \cdot 10^6$	10^7
Преобразование Радона	$360 \cdot 10^6$	—	—	$720 \cdot 10^6$	$180 \cdot 10^6$
Составление эталона	$200 \cdot 10^6$	—	—	$200 \cdot 10^6$	$200 \cdot 10^6$
Корреляционный анализ	$2,4 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^9$	10^6	$2 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^9$

$$\Sigma = 7,48 \cdot 10^9$$

Количество математических операций при свертке с эталоном

Операции	Сложение	Возведение в степень	Деление	Умножение	Прочие
ДПФ	10^6	10^6	10^6	$5 \cdot 10^6$	10^7
Преобразование Радона	$360 \cdot 10^6$	—	—	$720 \cdot 10^6$	$180 \cdot 10^6$
Составление эталона	$200 \cdot 10^6$	—	—	$200 \cdot 10^6$	$200 \cdot 10^6$
Свертка с эталоном	—	—	$400 \cdot 10^6$	$400 \cdot 10^6$	$800 \cdot 10^6$

$$\Sigma = 3,48 \cdot 10^9$$