

Пилипенко С.М.

Воронежский государственный технический университет

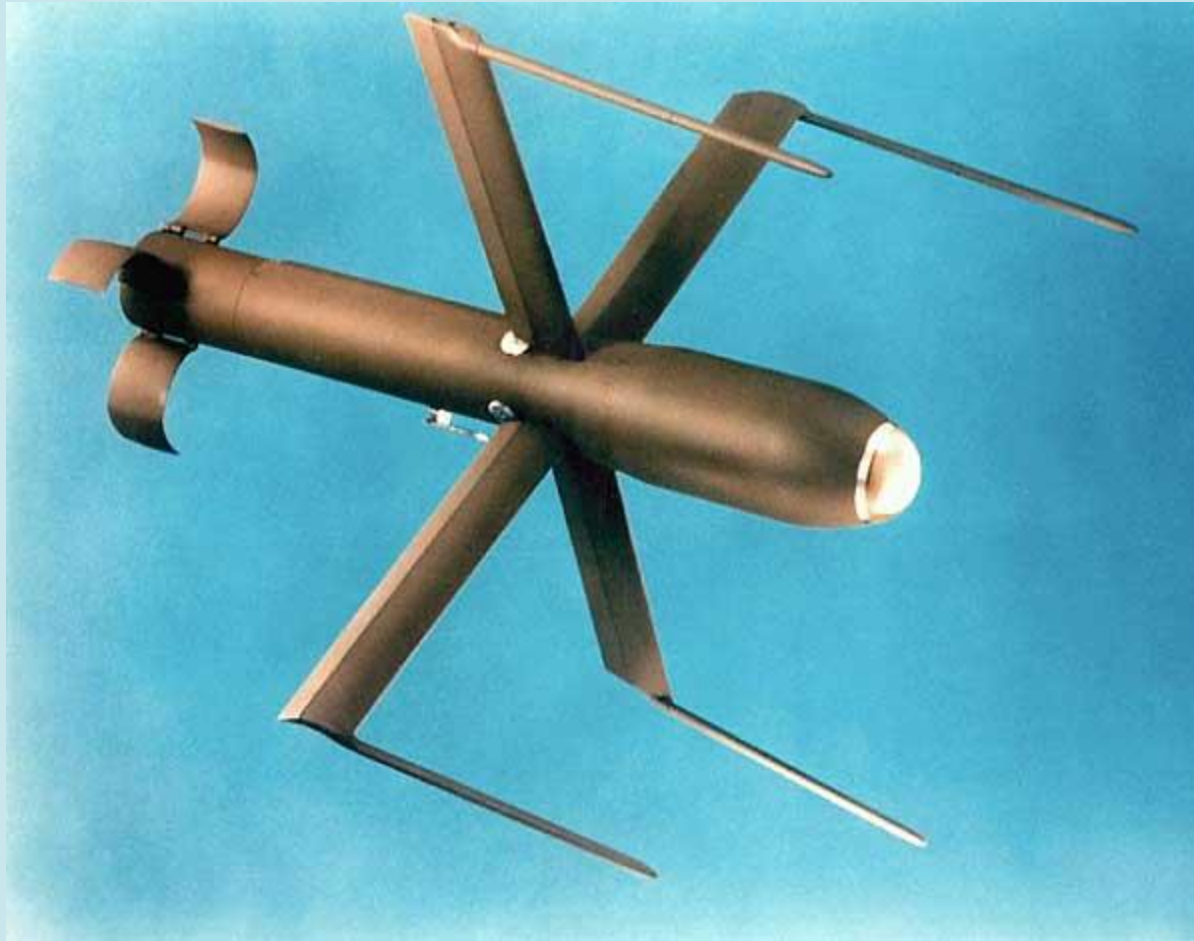
Лютин В.И.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина

ОБРАБОТКА БОЛЬШИХ ДАННЫХ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ АКУСТИЧЕСКОМУ СИГНАЛУ

Воронеж 2022

Анализ возможностей противника



Самоприцеливающийся боевой элемент ВАТ с 4-мя акустическими датчиками (США) для уничтожения танков. Средство доставки – крылатые ракеты с 6-12 элементов ВАТ (Brilliant Anti-Tank).

(<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/atacms-bat.htm>)

Актуальность работы:

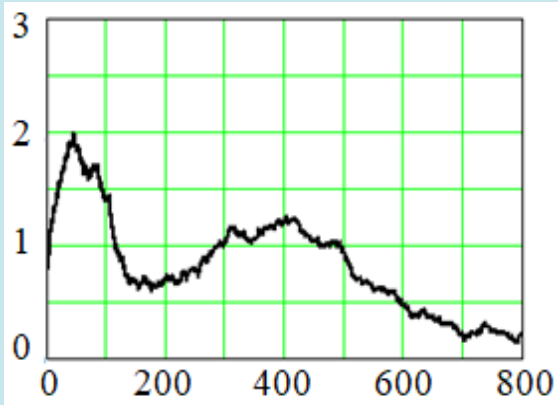
Появление систем пассивного способа обнаружения и классификации объектов по их акустическому шуму приводит к необходимости установления принципов распознавания объектов по их акустическому шуму.

Цель исследований – повышение эффективности и качества распознавания объектов по результатам анализа их акустических шумов.

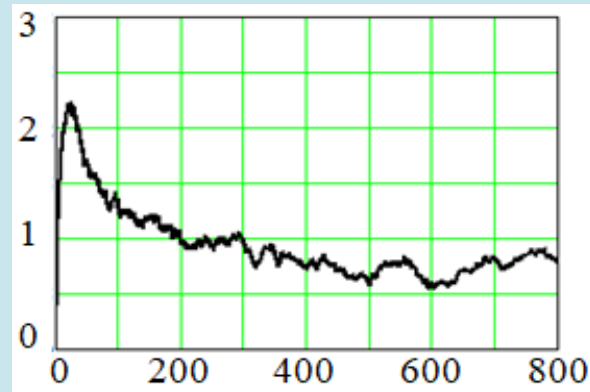
Объект исследований – автоматическая система анализа потоковых данных при сравнении шумов наблюдаемого объекта с шумами известных объектов.

Предмет исследований – оценка возможностей технической реализации и оценка качества распознавания объектов по результатам анализа их акустических шумов.

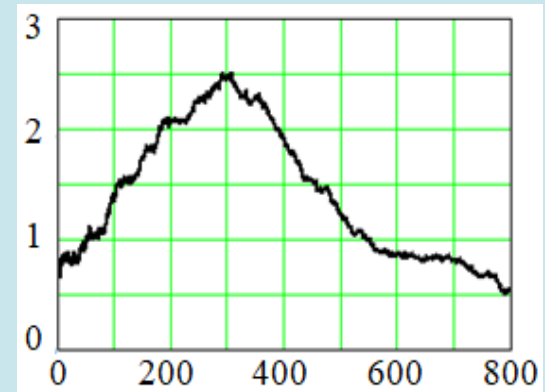
СПЕКТРЫ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ



трактор

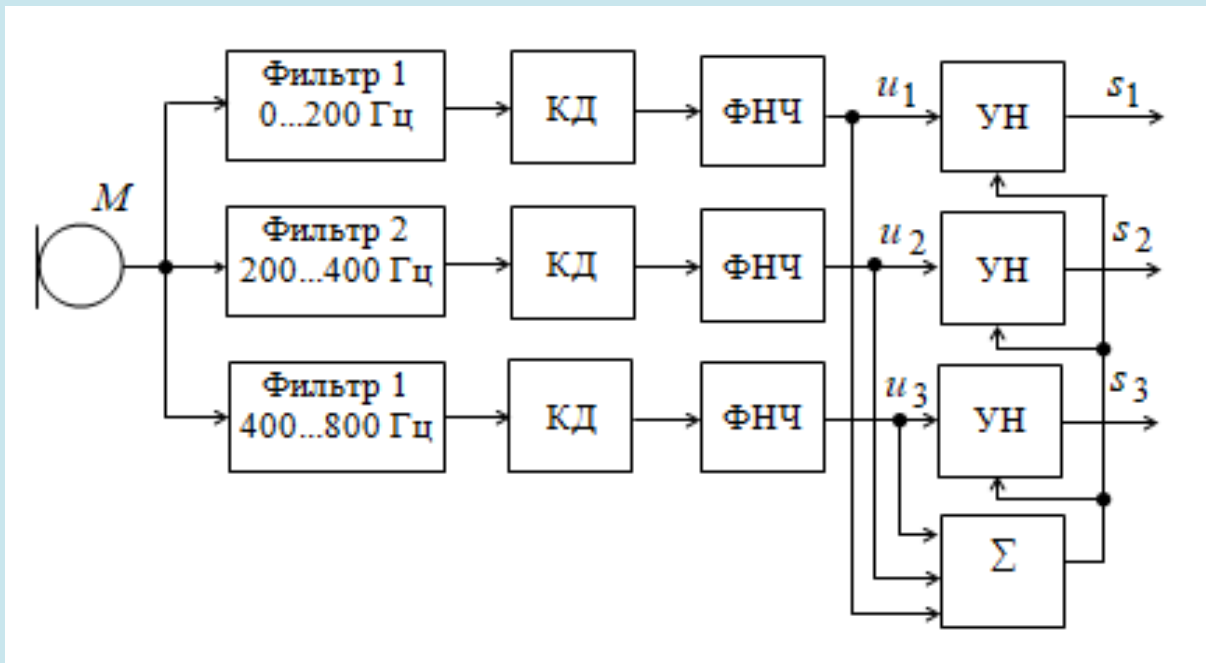


грузовой автомобиль



мотоцикл

Анализатор спектра акустического сигнала



АНАЛИЗ СПЕКТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

$$P_{ij} = \frac{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S_i(f) df}{\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S_i(f) df}$$

Относительные мощности в выделенных полосах частот

№ объекта \ №, полоса	1	2	3
	0...200 Гц	200...400 Гц	400...800 Гц
1	0,30	0,20	0,50
2	0,40	0,30	0,30
3	0,20	0,50	0,40
0 (фон)	0,25	0,25	0,50

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Гипотезы:

$$H_{i_k}, i = \overline{0, I}, k = \overline{1, 2, \dots}$$

Наблюдаемая последовательность данных

$$y_{j_k} = s_{j_i} + n_{j_k}, j = \overline{1, J}, i = \overline{0, I}, k = \overline{1, 2, \dots}$$

Ошибки измерения

$$w_{n_{j_k}} \sim \left(\sigma \sqrt{2\pi} \right)^{-1} \exp \left\{ - \frac{n_{j_k}^2}{2\sigma^2} \right\}$$

Критерий принятия решения о наблюдении объекта, соответствующего проверяемой гипотезе - максимум апостериорной вероятности проверяемой гипотезы

$$P(H_{i_k} | \vec{Y}) \sim P_i \cdot P(\vec{Y} | H_{i_k}) / \sum_{r=0}^I P_r \cdot P(\vec{Y} | H_{r_k})$$

Для любой гипотезы – знаменатель одинаков (формула полной вероятности):

$$\sum_{r=0}^I P_r \cdot P(Y|H_{rk})$$

равенство априорных вероятностей гипотез

$$P(H_i) = 1/I$$

переход к плотностям распределения вероятностей

$$dP(Y|H_{ik}) = w(Y|H_{ik}) dY$$

Введение постоянной нормировки

$$C_k^{-1} = \sum_{r=0}^I w(Y|H_{rk})$$

Условные (обратные) вероятности гипотез

$$P(H_{ik}|Y) = C_k \cdot w(Y|H_{ik})$$

Ошибка измерения мощности шумов

$$n_{jk} = y_{ji} - s_{jk}, \quad j = \overline{1, J}, i = \overline{0, I}, k = \overline{1, 2, \dots}$$

Условная плотность распределения вероятностей одного компонента векторного наблюдения для каждой из гипотез

$$w(y_{ji}|s_{jk}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \frac{(y_{ji} - s_{jk})^2}{2\sigma^2} \right\}$$

Условная плотность распределения вероятностей векторного наблюдения для каждой из гипотез при независимости ошибок измерения:

$$w(Y | H_{ik}) = \prod_{j=1}^J w(y_{ji} | s_{jk}) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^J (y_{jk} - s_{ji})^2 \right\}$$

Достаточная статистика:
$$\xi_{ik} = \sum_{j=1}^J (y_{jk} - s_{ji})^2, i = \overline{0, I}$$

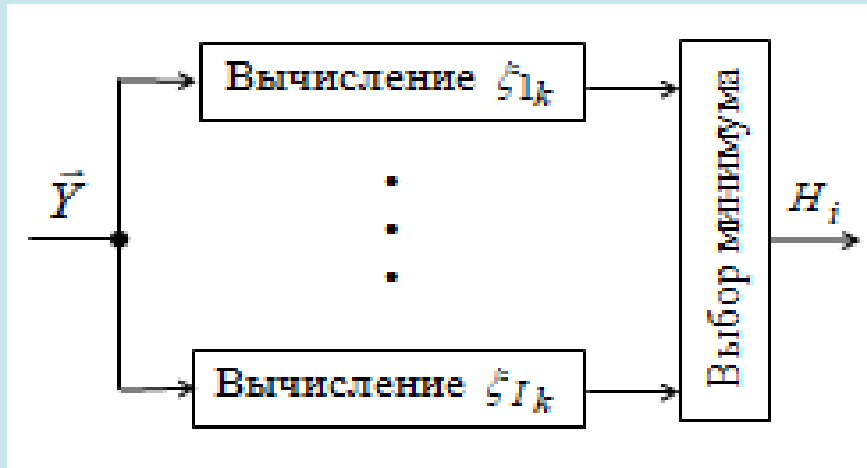
Максимизация апостериорной вероятности гипотезы соответствует минимизации достаточной статистики :

$$H_{ik} : i = \min_i \sum_{j=1}^J (y_{jk} - s_{ji})^2, i = \overline{0, I}$$

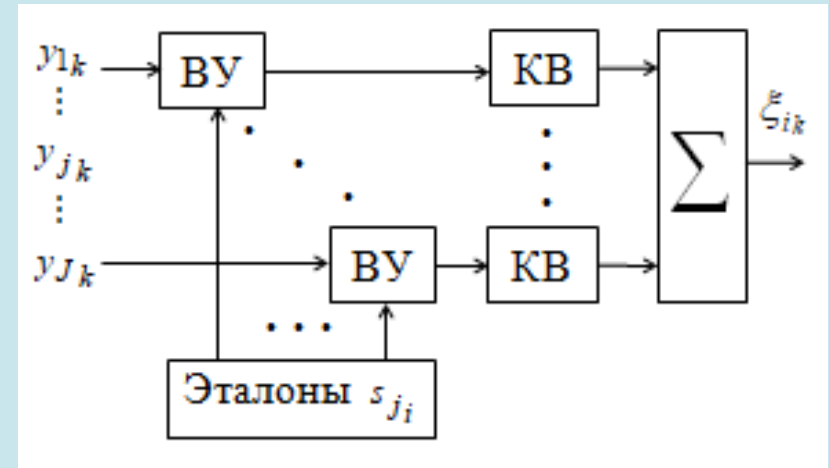
Достаточная статистика есть дисперсия отклонения поступивших данных от ожидаемых значений по различным гипотезам. Решение принимается в пользу того объекта, для которого среднеквадратическое отклонение наблюдения от эталона имеет минимальное значение.

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ

устройство принятия решений:



устройство вычисления достаточной статистики:



АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Вероятность правильного определения гипотезы о типе объекта

$$P_{\text{прав}} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{1}{2} + \Phi_0 \left(\frac{z}{\sqrt{q}} \right) \right] \cdot \exp \left\{ -\frac{z^2}{2} \right\} dz$$

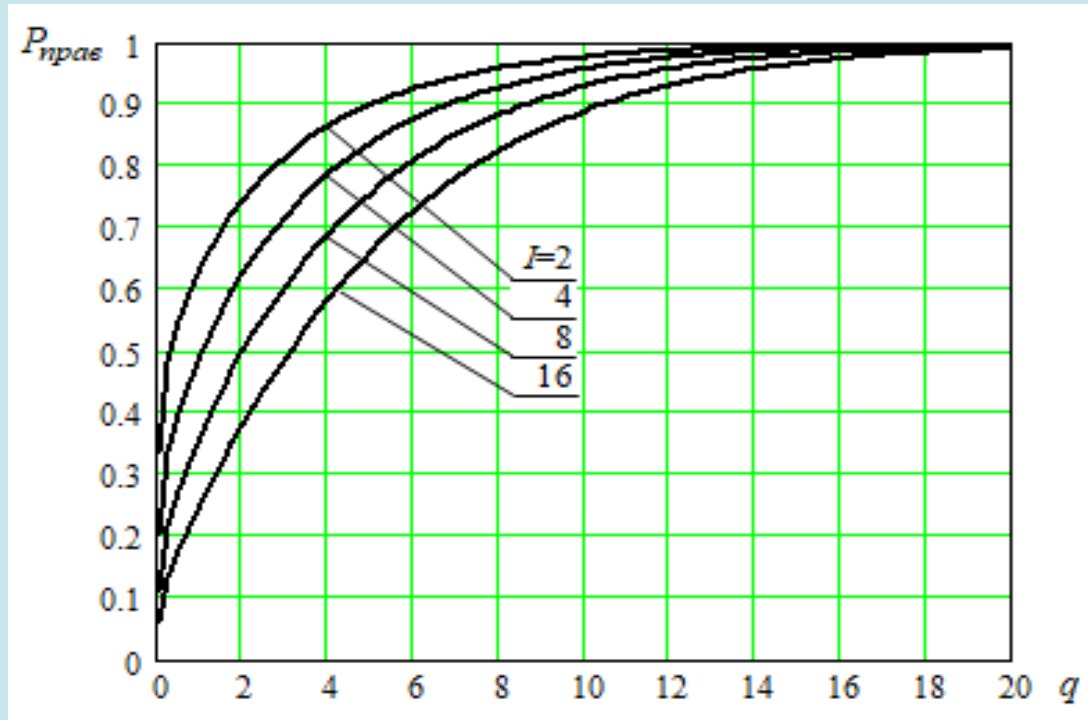
нормированная функция ошибок

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^z \exp \left\{ -\frac{t^2}{2} \right\} dt$$

параметр различения проверяемой гипотезы

$$q = \frac{1}{2 \cdot \sigma^2} \sum_{j=1}^J s_{ji}^2 \quad i = \overline{0, I}$$

Характеристики распознавания объектов



Пусть $\sqrt{\sum_{j=1}^J s_{j_i}^2} = \frac{1}{J} \quad i = \overline{0, I}$ тогда $\sigma = \frac{1}{J \sqrt{2 \cdot q}} = \frac{1}{J \sqrt{20}} \approx 0.223 \frac{1}{J}$

Вывод: для обеспечения вероятности правильного распознавания объектов не менее 0,9 при числе распознаваемых объектов не более 10 точность измерения относительных мощностей в выделенных полосах частот при 3-х частотных полосах должна быть не хуже $0.223/3 \cdot 100\% = 7,0\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан алгоритм анализа спектров акустических сигналов при предварительной подготовке эталонов для сравнения и синтеза оптимального алгоритма автоматической системы принятия решений о наблюдаемом объекте и предложен вариант структурной схемы устройства измерения относительных уровней мощностей, допускающий цифровую реализацию.

2. С применением вероятностно-статистического метода синтезированы алгоритм и структурная схема устройства распознавания объектов по спектру их акустического шума.

3. Получены аналитические соотношения для анализа качества распознавания объектов, с применением которых рассчитаны и построены характеристики распознавания объектов, с помощью которых определяются требования к точности измерения относительных мощностей акустических сигналов в выделенных частотных полосах для обеспечения требуемого качества распознавания объектов.

4. Установлено, что для обеспечения вероятности правильного распознавания объектов не менее 0,9 при числе распознаваемых объектов не более 10 точность измерения относительных мощностей в выделенных полосах частот при 3-х частотных полосах должна быть не хуже $0.223/3 \cdot 100\% = 7,0\%$.

**ДОКЛАД ЗАКОНЧЕН
БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ**