

## АДАПТИВНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕЛЕНГАЦИИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ

*Орлов В. В., к. т. н.; Бережной К. Ю.*

*Национальный университет «Одесская морская академия»,  
г. Одесса, Украина*

В настоящее время активно ведется разработка методов предупреждения террористических угроз, пиратством при захвате водного транспорта, борьбы со снайперами при атаках на объекты: атомной энергетики, химической и нефтегазовой отраслей промышленности, хранилищ опасных отходов, аэродромов, портов, посольств, государственных деятелей и др. [1]. Применение ряда акустических систем обнаружения снайперов, таких как Ferret (фирма MDA, Канада), Boomerang (BBN Solutions LLC, США), RedOwl (Irobot, США), Spotlight Mk2 (Rafael, Израиль) выявило ряд их недостатков: низкая помехозащищенность, ложные отметки из-за отражений от зданий, ухудшение точности расчета координат и эффективности распознавания калибра стрелкового оружия в случае нескольких огневых позиций. Эффективность систем зависит также от пространственной конфигурации акустических датчиков, располагаемых как на окружающих зданиях, так и непосредственно на персонале службы безопасности.

Необходимо разработать методы оптимизации адаптивных систем обнаружения и распознавания выстрелов в условиях неопределенности относительно сигнально-помеховой обстановки. Для этого требуется создание упрощенных моделей сигналов, излучаемых современным стрелковым оружием, а также обеспечение защиты от акустических помех (ветра, автомобилей и других механизмов).

Разработаны математические модели акустических сигналов, излучаемых стрелковым оружием различного калибра. Импульсные сигналы, порожденных выстрелами, имеют  $N$  — образную форму, состоящую из положительной и отрицательной полуволн. В зависимости от калибра выстрела, сигналы различаются такими основными параметрами: амплитудой  $V_{\max}$  положительной полуволны, размахом амплитуды  $V$  наклонной части сигнала и ее длительностью  $T$ , а также коэффициентом наклона  $r = V / T$ . По материалам зарубежной печати [1] разработан ряд теоретических зависимостей для ударной волны, получены соотношения, связывающие  $V_{\max}$  и  $r$  для  $L = 3$  типовых калибров стрелкового оружия  $D_1 = 5,45$  мм,  $D_2 = 7,62$  мм,  $D_3 = 12,7$  мм:

$$r_1 = 0,00815 \cdot V_{\max}^{0,152}; \quad r_2 = 0,019 \cdot V_{\max}^{-0,022}; \quad r_3 = 0,0837 \cdot V_{\max}^{-0,482}.$$

Эти математические модели вида  $r_i = a_i \cdot V_{\max}^{b_i}$  являются основой для распознавания оружия и содержат два задаваемых коэффициента  $a_i, b_i$ , зави-

сящие только от  $i$ -ого калибра. При вычислении решающей статистики  $d_i(V, T, V_{\max}) = V / T - a_i \cdot V_{\max}^{b_i}$  используются оценки трех параметров  $V_{\max}$ ,  $V$ ,  $T$ , получаемые по входной выборке обнаруженного сигнала. Распознавание калибров стрелкового оружия осуществляется выбором минимальной  $d = \min_{i \in N} d_i$  из  $L$  возможных статистик.

В настоящее время достаточно подробно разработана статистическая теория обнаружения узкополосных сигналов и недостаточно - для пространственной обработки широкополосных сигналов звукового диапазона, форма которых частично известна, с точностью до некоторых параметров. Наиболее распространенным способом выделения таких сигналов на фоне шумов является накопление результатов межканального перемножения на временном интервале и формирование взаимных ковариационных функций с временными задержками для каждого местоположения источника излучения. При этом необходимо определить методы объединения результатов корреляционной обработки сигналов от большого числа датчиков  $N > 2$ , а также решить задачу выбора пороговых уровней обнаружения. Получено, что решающая статистика пространственно-временной обработки для обнаружения сигнала от  $N$  датчиков, возможно излученного из  $i$ -ой точки пространства, имеет вид  $d(i) = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N d_{m,n}(i) - \sum_{n=1}^N d_{n,n}^2(i) > c \hat{\sigma}_u^2$ , где  $c$  — пороговый уровень,  $\hat{\sigma}_u^2$  — оценка уровня шумов;

$$d_{n,m} = X_n^T X_m = \sum_{K=1}^M x_n(t-k-i_n) x_m(t-k-i_m) \text{ — частные статистики временной обработки в виде ковариационных функций; } X_n, X_m \text{ — обрабатываемые векторы выборок размера } M, \text{ полученные с } m\text{-ого и } n\text{-ого датчиков; } i_n, i_m \text{ — временные интервалы, соответствующие } i\text{-ому местоположению источника излучения. При наличии помех проводится оценивание параметров их моделей ковариационных матриц } R = \sum_{k=1}^K X_k X_k^T, \text{ где } K \text{ — число обучающих выборок. Затем используется очищение входной выборки } X \text{ от помех с помощью треугольной обеляющей матрицы } Y = R^{-1/2} X, \text{ получаемой из разложения матрицы на произведение } R^{-1} = R^{-1/2} (R^{-1/2})^T. \text{ Так как датчики пространственно разнесены, то акустические помехи на их входах могут различаться. Возникает необходимость проведения адаптивного подавления помех в каждом пространственном канале, приводящая к усложнению частных статистик } d_{n,m}. \text{ При использовании обозначения } R_{n,m}^{-1} = R_n^{-1/2} (R_m^{-1/2})^T, \text{ учитывающего совместную обработку процессов от } n\text{-ого и } m\text{-ого датчиков, частные статистики приводятся к виду } d_{n,m} = X_n^T R_{n,m}^{-1} X_m. \text{ В работе получены математические модели расчета эффективности обнаружения в виде совокупности аналитических выражений для определения требований к размеру } M \text{ обрабатываемой выборки, числу } K \text{ обучающих выборок, по}$$

роговому уровню  $c$  в зависимости от вероятностей ложной тревоги и правильного обнаружения. Для уменьшения вычислительных затрат, возникающих при обращении ковариационных матриц, применены методы построения частных статистик  $d_{n,m}$  на решетчатых структурах [2].

Проведено исследование эффективности алгоритмов цифровой обработки сигналов, обеспечивающих эффективную помехозащиту, обнаружение и распознавание источников импульсных акустических волн.

Разработанные модели и ряд алгоритмов обнаружения и распознавания акустических сигналов позволяют оптимизировать параметры существующих систем звукопеленгации для обнаружения снайперов и распознавания применяемого оружия.

---

*Робота виконана при фінансовій підтримці госбюджетної НІР ДР № 0115Г003576 «Акустична система моніторингу терористичних погроз на водному транспорті», проводимої в Одеській національній морській академії по державному замовленню на науково-технічну продукцію.*

#### **Перечень источников**

1. Carrapezza E.M. DARPA Counter Sniper Program Phase I Acoustic Systems Demonstration Results // SPIE. — 1997. — vol. 2938, Aug. — pp. 299—310.
2. Фридландер Б. Решетчатые фильтры для адаптивной обработки данных // ТИИЭР. — 1982. — Т.70, № 8. — С. 54—94.

#### **Анотація**

Розроблено моделі типових сигналів і перешкод для створення адаптивних систем пеленгації джерел імпульсних акустичних хвиль, створюваних стрілецькою зброєю. Пропонуються рішення для підвищення перешкодозахищеності, виявлення і розпізнавання зброї.

**Ключові слова:** адаптивна система, звукопеленгація, терористична загроза.

#### **Аннотация**

Разработаны модели типовых сигналов и помех для создания адаптивных систем пеленгации источников импульсных акустических волн, создаваемых стрелковым оружием. Предлагаются решения для повышения помехозащищенности, обнаружения и распознавания оружия.

**Ключевые слова:** адаптивная система, звукопеленгация, террористическая угроза.

#### **Abstract**

The models of standard signals and noise to create adaptive systems DF generated by small arms sources of pulsed acoustic waves. We offer solutions for improving noise immunity, detection and recognition of weapons.

**Keywords:** adaptive, acoustic direction, the terrorist threat.