

УДК 621.396.969: 681.884

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗВУКОПРИЕМНОЙ СИСТЕМЫ ВНЕШНИХ СИГНАЛОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

К. т. н. В. В. Орлов, К. Ю. Бережной

Одесская национальная морская академия

Украина, г. Одесса

orlov-vv@yandex.ru

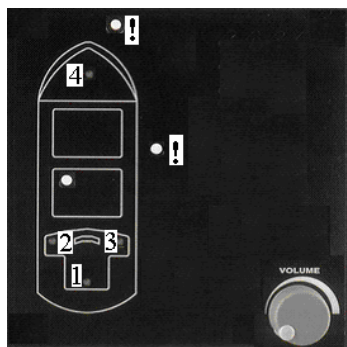
Исследуются возможности звукоприемной системы для определения местоположения и распознавания источников сигнала, прослушивания сигналов. Рассмотрены задачи выбора пространственной конфигурации датчиков, адаптивных алгоритмов корреляционной, спектральной обработки сигналов.

Ключевые слова: звуковой сигнал, адаптация, помеха.

Новые стандарты международных организаций по охране водного транспорта оказывают сильное влияние на разработку научно обоснованных технических мероприятий, направленных на повышение безопасности судов в условиях террористических угроз [1]. Для выполнения охранных процедур на судне применяются информационные технические системы, основанные на различных физических принципах (радиолокации, гидролокации), охранной сигнализации, контроля и управления доступом; телевизионного наблюдения; охранного освещения; связи и оповещения.

В настоящее время вводится в эксплуатацию звукоприемная система внешних сигналов, обеспечивающая возможность вахтенному помощнику прослушивать звуковые сигналы с других судов и определять их направление. Такой системой должны быть оборудованы все суда с полностью закрытым мостиком, в соответствии с поправками к Международной конвенции по охране человеческой жизни на море СОЛАС [2]. Однако в существующих системах SR-8200, NS-201, Zenitel VSS [3] отсутствуют возможности определения координат и распознавания объекта излучения.

Целью работы является расширение возможностей звукоприемной системы за счет выбора пространственной конфигурации датчиков, устранения неоднозначности при определении координат источников излучений, применения адаптивных алгоритмов корреляционной, спектральной обработки сигналов.



На рисунке приведен пример расположения четырех микрофонов, сигналы с выходов которых подвергаются пространственно-временной обработке. Исследуются возможности определения местоположения источников сигнала, прослушивания сигналов с шумоочисткой для заданной точки пространства, визуализации объектов излучения на экране монитора (белые кружки), распознавания опасных источников сигнала по спектру и местоположению (белые кружки с восклицательным знаком). Также предусмотрена адаптация как к стационарным помехам (работа двигателя и ряда других механизмов, шумы вибраций незакрепленных предметов), так и к помехам с изменяющимися параметрами (порывы ветра, волнение моря).

При этом рассмотрены следующие задачи.

Задача выбора пространственной конфигурации микрофонов

Рассматривается метод определения координат источника излучения на основе измерения временных задержек сигналов, приходящих пары датчиков. Из четырех датчиков можно составить несколько баз, каждая из которых содержит два датчика. В частном случае, для двух баз из трех датчиков, при произвольных известных координатах датчиков $x_i, y_i, i=1, \dots, 3$, местоположение источника излучения (x, y) в декартовых координатах определяется из связи измеренных временных задержек $T_{1,2}, T_{3,2}$ каждой из пар, связанных с расстояниями r_1, r_2, r_3 от точки излучения до датчиков $r_{12}=r_1-r_2=cT_{1,2}, r_{32}=r_3-r_2=cT_{3,2}$, где c — скорость распространения волны. Координаты цели (x, y) являются решением системы двух гиперболических уравнений, составленных в соответствии с теоремой Пифагора:

$$r_{12} = r_1 - r_2 = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} - \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2}, \quad (1)$$

$$r_{32} = r_3 - r_2 = \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} - \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2}.$$

Измерение временных задержек $T_{1,2}$, $T_{3,2}$ осуществляется на каждой базе по обнаруженным пикам взаимных корреляционных функций процессов с выходов датчиков.

Необходимо отметить, что получение точных аналитических выражений для решения (1) приводит к неоднозначности в виде двух решений. Для дальностно-угломерных способов вычисления координат существуют несколько видов неоднозначностей, возникающих по следующим причинам.

1. При прямом решении системы (1) методом возведения в квадрат возникает несколько решений, порождающих разбросанные ложные точки, существенно удаленные от координаты источника излучения. В частности, существенная неоднозначность имеет место при аналитическом решении (1) в результате двойного возведения уравнений в квадрат. Это порождает два и более решений, из которых только одно соответствует истинным координатам источника излучения.

2. Из-за различия дискретного пространства в полярной и декартовой системах координат одна пара временных задержек $t=T_{1,2}$, $\tau=T_{3,2}$ в (1) соответствует нескольким рядом расположенным элементам разрешения (ячейкам) $t, \tau \rightarrow x_i, y_i, i = 1, \dots, N_{t,\tau}$ в декартовой системе координат.

3. Возникают погрешности из-за конечного шага дискретизации отсчетов входного процесса.

4. Существует неопределенности местоположения главного пика функции взаимной корреляции, длительность которого может занимать более одного элемента дискретизации.

5. Конечная разрядность входных данных приводит к накоплению ошибок вычислений при первичной обработке сигналов.

Результирующие погрешности определяют интервалы оценок времени запаздывания, которые вносят ошибки при расчетах координат.

Важно также устранить недостаток итерационного решения (1), связанный с затягиванием вычислительных процедур, который резко проявляется при многоцелевой ситуации. Путь к этому основан на предварительном расчете дискретизированной карты решений, состоящей из таблицы соответствия задержек координатам $T_{1,2}, T_{3,2} \rightarrow x, y$ для всех ячеек контролируемой зоны [4]. Вся область разбита на элементы разрешения $x=c/f$ в соответствии с частотой дискретизации f . Объем таблицы определяется отношением ограниченного размера сетки координат целей для всех возможных задержек $T_{1,2}, T_{3,2}$ к размеру ячейки контролируемой зоны. Снижение числа неоднозначных решений достигается за счет использования всех возможных баз на данной конфигурации датчиков.

Задача распознавания источников сигналов повышенной опасности

Рассмотрены возможности распознавания сигналов повышенной опасности, генерируемых выстрелами из различного оружия. Созданы упрощенные математические модели сигналов, излучаемых современным стрелковым оружием различного калибра. Импульсные сигналы, порожденные выстрелами, имеют N -образную форму, состоящую из положительной и отрицательной полуволн. В зависимости от калибра оружия, сигналы различаются такими основными параметрами: амплитудой V_{\max} положительной полуволны, размахом амплитуды V наклонной части сигнала и ее длительностью T , а также коэффициентом наклона $r=V/T$. Из теоретических зависимостей для ударной волны [5] получены соотношения, связывающие V_{\max} и r для $L=3$ калибров стрелкового оружия

$$D_1 = 5,45 \text{ мм}, D_2 = 7,62 \text{ мм}, D_3 = 12,7 \text{ мм} : r_1 = 0,00815 \cdot V_{\max}^{0,152}; r_2 = 0,019 \cdot V_{\max}^{-0,022}; r_3 = 0,0837 \cdot V_{\max}^{-0,482}.$$

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 , зависящие только от i -го 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 статистики $d = \min_{i \in N} d_i$ из L возможных статистик. Результаты полунатурного моделирования показали, что вероятности ошибок распознавания не превышают 0,25 для объектов, удаленных до 1 км.

Задача прослушивания сигналов

Задача связана с трудностями пространственной обработки широкополосных речевых сигналов в условиях широкополосных помех. Кроме того, из-за отсутствия несущей частоты принимаемых не-

стационарных сигналов становится невозможным применение методов пространственного фазирования сигналов, используемых в гидролокации и радиолокации. Также значительно усложняется реализация адаптивных алгоритмов шумоподавления, так как пространственно-временная обработка должна проводиться с учетом частотной зависимости параметров системы от пространственного расположения источников сигналов и помех. Попытки разбить полосу сигнала на ряд полос с целью раздельного фазирования в каждой из них, приводят к применению многоканальных по частоте адаптивных фильтров, что существенно затягивает процесс адаптации и требует резкого повышения производительности систем цифровой обработки сигналов.

Предлагаемое решение основано на комплексном использовании технологий пеленгации и фильтрации, что позволяет сначала с помощью корреляционной пространственной обработки сигналов определять местоположение источников звука (на мониторе выделяется область указателем) и источников помех (за ее пределами). Затем формируются оценки мощностей и временных задержек сигналов и помех для формирования весовых коэффициентов для алгоритмов обработки сигналов. Подавление выявленных внешних помех осуществляется весовым вычитанием и задержкой реализаций с выходов микрофонов. При этом имеют место искажения сигналов, поступающих в каналы временной обработки. В каждом канале проводится спектральная фильтрация для устранения искажений выбранного источника звука. Установлено, что для подавления одной помехи в открытом пространстве при использовании $N=2$ микрофонов удается достичь повышения отношения сигнал/помеха на 12 дБ. Для подавления нескольких помех и устранения реверберации разработаны трех- и четырехмикрофонные решетки, что позволяет расширить до $N-1$ число подавляемых внешних помех и акустического эха. Макет системы реализован на компьютере с тактовой частотой процессора 1,7 ГГц, в котором четыре аудиосигнала поступают на линейные стереовходы двух звуковых плат.

В результате исследований разработан ряд алгоритмов, существенно расширяющих возможности звукоприемных систем. Для определения координат при многоцелевой ситуации предложено устранить затягивание вычислительных процедур за счет применения дискретизированной карты решений, которая предварительно рассчитана.

Исследованная возможность распознавания опасных источников сигналов позволила установить их приемлемую эффективность в заданной зоне контроля. Разработанные алгоритмы пространственно-временной обработки позволили расширить возможности прослушивания сигналов и подавления помех.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Завьялов Ю. Л., Колпаков А. М., Трусов Н. К. Современный терроризм и морской транспорт.— СПб.: РИУС, 2005.
2. Электронный ресурс [режим доступа] <http://pilotservice.narod.ru/docs.html>
3. Электронный ресурс [режим доступа] <http://radionav.ru/catalog/57/536/>
4. Orlov V.V. Simulation of the Sensor Network Configuration for the Removal of Ambiguity in Determination of Coordinates in Passive Location // *Frontiers in Sensors (FS)*. Science and Engineering Publishing Company. — 2013.— Vol. 1. Iss. 1.— P. 1—6.
5. Carrapezza E. M. et al. DARPA Counter Sniper Program Phase I Acoustic Systems Demonstration Results, SPIE, vol. 2938, Aug. 1997, pp. 299—310.

V. V. Orlov, K. Yu. Bereznoy

Research of possibilities of the sound processing system of external signals of water-carriage.

Possibilities of the sound processing system are probed for the position fix and recognition of signal sources and for listening of signals. The tasks of choice of spatial configuration of sensors, adaptive algorithms of cross-correlation and spectral processing of signals are considered.

Keywords: *voice signal, adaptation, clutter.*