

11, ноябрь 2015

УДК 621.396.96

Разработка модели акустического пеленгатора в пакете MATLAB

*Качармина Е.Г., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»*

*Научный руководитель: Глазков В.В., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Автономные информационные и управляющие системы»
wave@sm.bmstu.ru*

В настоящее время огромное практическое значение имеют систем защиты потенциально опасных объектов от несанкционированного проникновения. При этом важно, чтобы сама система была скрытной. Поэтому целесообразно применять пассивные системы, основанные на использовании воздействий, производимых самим объектом обнаружения и сопровождения. Одним из таких воздействий является акустический сигнал, формируемый объектом при движении. Обработывая данный сигнал при помощи акустического пеленгатора, можно осуществить обнаружение и сопровождение объектов, приближающихся к охраняемой территории. Цель данной работы состоит в разработке имитационной модели акустического пеленгатора в пакете MATLAB и проверки ее работы. Исходными данными служит база данных акустических сигналов от движущихся объектов колесной и гусеничной техники и алгоритм работы пеленгатора. Каждая запись представляет собой совокупность сигналов с двух микрофонов, расположенных на расстоянии 1,4 м друг от друга. В качестве системы независимой оценки пеленга использовался видеорегистратор, ось которого совпадала с перпендикуляром к базе микрофонов.

В пеленгаторах локализованных источников излучений визирование объекта относительно опорного направления могут быть осуществлены следующими методами: амплитудным, фазовым, амплитудно-фазовым, частотным и др. [1].

Одним из самых распространенных является фазовый метод, который основан на измерении разности фаз принимаемых колебаний двумя приемниками, разнесенными в пространстве на расстояние d (рис. 1).

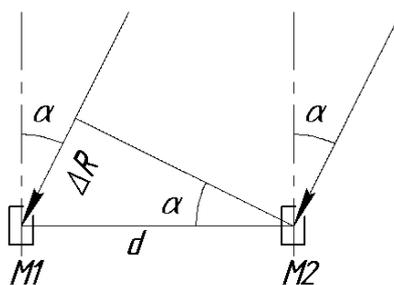


Рис. 1. Принцип фазовой пеленгации:
M1, M2 – приемники сигнала

Разность фаз приемников определяется по формуле:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \alpha,$$

где d – расстояния между приемниками сигнала, λ – длина волны принимаемого сигнала, α – пеленг источника излучения.

Для широкополосных акустических сигналов целесообразно вместо разницы фаз использовать временную задержку прихода фронта волны к каждому из приемников, равную

$$\tau = \frac{\Delta R}{V_{зв}},$$

где ΔR – разности расстояний от источника излучения до микрофонов M1 и M2, $V_{зв}$ – скорость распространения звука.

Следовательно, выразив ΔR через расстояние между приемниками сигнала и пеленг, получим:

$$\tau = \frac{d}{V_{зв}} \sin \alpha.$$

Измерив величину задержки τ и зная базу микрофонов d , можно однозначно определить пеленг источника излучения α :

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{\tau \cdot V_{зв}}{d} \right).$$

Алгоритм работы пеленгатора представляет собой конечный автомат с двумя состояниями: Захват и Сопровождение (рис. 2).

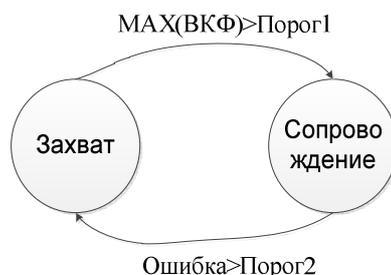


Рис. 2. Диаграмма состояний работы пеленгатора

В режиме «Захват» происходит вычисления взаимной корреляционной функции (ВКФ) по двум каналам микрофона со всех возможных пеленгов:

$$C_n(\tau) = \frac{M[U_1(t) \cdot U_2(t + \tau)]}{M[U_1^2(t)]},$$

где $C_n(\tau)$ – нормированная взаимокорреляционная функция, $U_1(t), U_2(t)$ – сигналы с выходов микрофонов. После расчета ВКФ для всех направлений оценивается значение ее максимума. Если значение максимума ниже установленного порога, то принимается решение об отсутствии точечного источника звука («Цель не обнаружена») и текущий шаг обработки считается завершенным. В случае превышения максимального значения ВКФ Порога 1 принимается решение о наличии сосредоточенного источника акустического сигнала в зоне обнаружения. При этом автомат переходит в режим «Сопровождение».

Исследования показали [1], что корреляционная функция широкополосного сигнала существенно зависит от ширины его полосы. Поэтому при построении алгоритма работы необходимо предусмотреть входной фильтр, выделяющий рабочий диапазон частот. На рис. 3 приведен результат численного моделирования корреляционной функции в зависимости от заданного диапазона частот входного сигнала.

В ходе анализа экспериментальных данных было установлено, что спектр шумов, обусловленных растительностью и атмосферными явлениями, располагается в диапазоне до 200Гц. На основании этого факта была выбрана нижняя граница полосы пропускания. Анализ экспериментальных сигналов от моторизованных объектов наземной техники показал, что верхняя граница спектра этих сигналов может быть ограничена значением 1000 Гц, т.к. основная часть энергии сигнала находится именно в этой полосе.

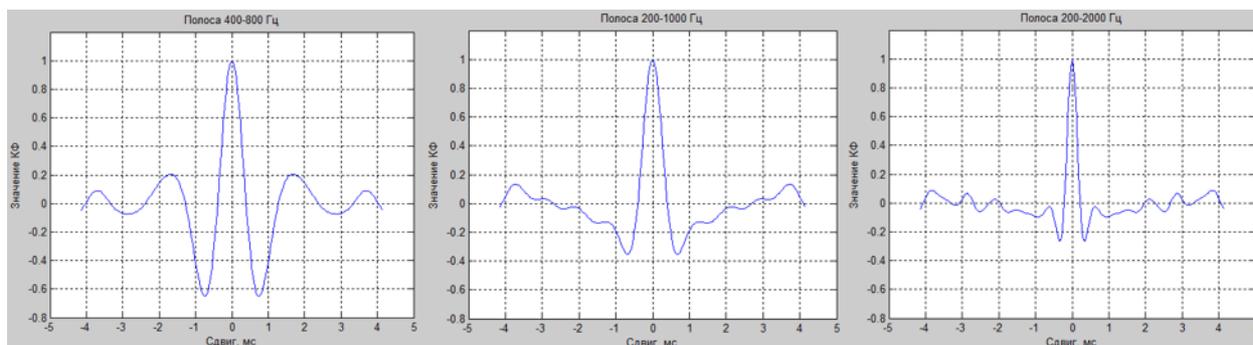


Рис. 3. Зависимость вида корреляционной характеристики от диапазона частот сигнал:

1) 400-800 Гц, 2) 200-1000 Гц, 3) 200-2000 Гц

Таким образом, частотный диапазон входного сигнала пеленгатора был ограничен значениями от 200 до 1000 Гц.

Переход из режима «Захват» в режим «Сопровождение» автоматически означает обнаружение одиночной цели. В режиме «Сопровождение» реализуется работа следящего пеленгатора и находится ошибка рассогласования по пеленгационной характеристике по всем возможным углам. В случае, когда ошибка следящей системы станет больше Порога 2, принимается решение о срыве слежения, и автомат переходит в режим «Захват».

В режиме «Сопровождение» необходимо использовать пеленгационную характеристику, основными требованиями которой являются следующие:

- характеристика должна быть нечетно-симметричной;
- в окрестности нулевого пеленга характеристика равна нулю.

Указанным требованиям удовлетворяет пеленгационная характеристика, которая находится как результат деления ВКФ сигнала, с сигналом сопряженным по Гильберту, на корреляционную функцию самого сигнала:

$$P(\tau) = \frac{C^*(\tau)}{C(\tau)},$$

где $C^*(\tau) = \frac{M[U_1^*(t) \cdot U_1(t+\tau)]}{M[U_1^2(t)]}$, $U_1^*(t)$ - сигнал, сопряженный по Гильберту. Для

выбранного частотного диапазона входного сигнала численно была найдена пеленгационная характеристика, вид которой представлен на рис. 4. Т.к. ВКФ и корреляционная функция, по которым вычисляется пеленгационная характеристика, имеют несколько локальных максимумов, то пеленгационная характеристика является неоднозначной. Рабочим участком является окрестность нулевого временного сдвига.

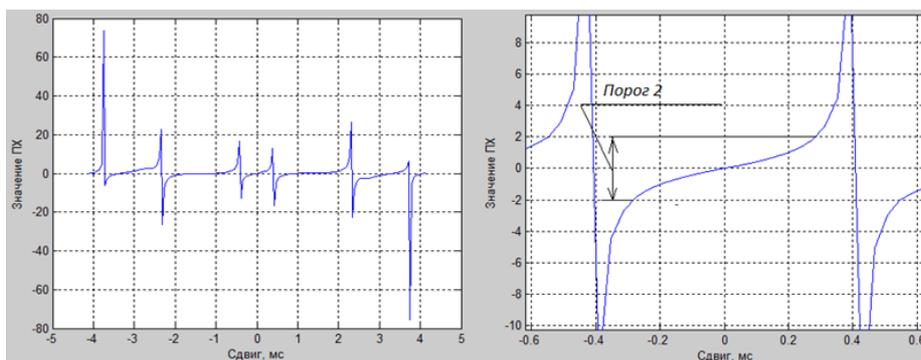


Рис. 4. Пеленгационная характеристика

Для создания модели акустического пеленгатора выбран пакет Matlab.

Модель в пакете Matlab представляет собой m-файл, на выходе которого имеются два графика – зависимости углового положения цели и состояния работы пеленгатора от времени (рис. 5).

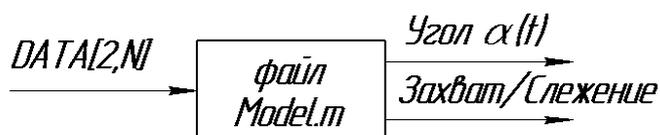


Рис. 5. Схема разработанной имитационной модели

Функциональная схема программы m-файла приведена на рис. 6. Модель работает следующим образом. В рабочую область пакета *MATLAB* загружаются записи акустических сигналов, полученных экспериментально. Каждый сигнал представляет собой двумерный массив, одна размерность которого равна 2 (что соответствует двум входным каналам данных), а другая – N (что определяет длительность сигнала). Запуск на исполнение осуществляется из рабочей области программы с выбранным файлом входных данных.

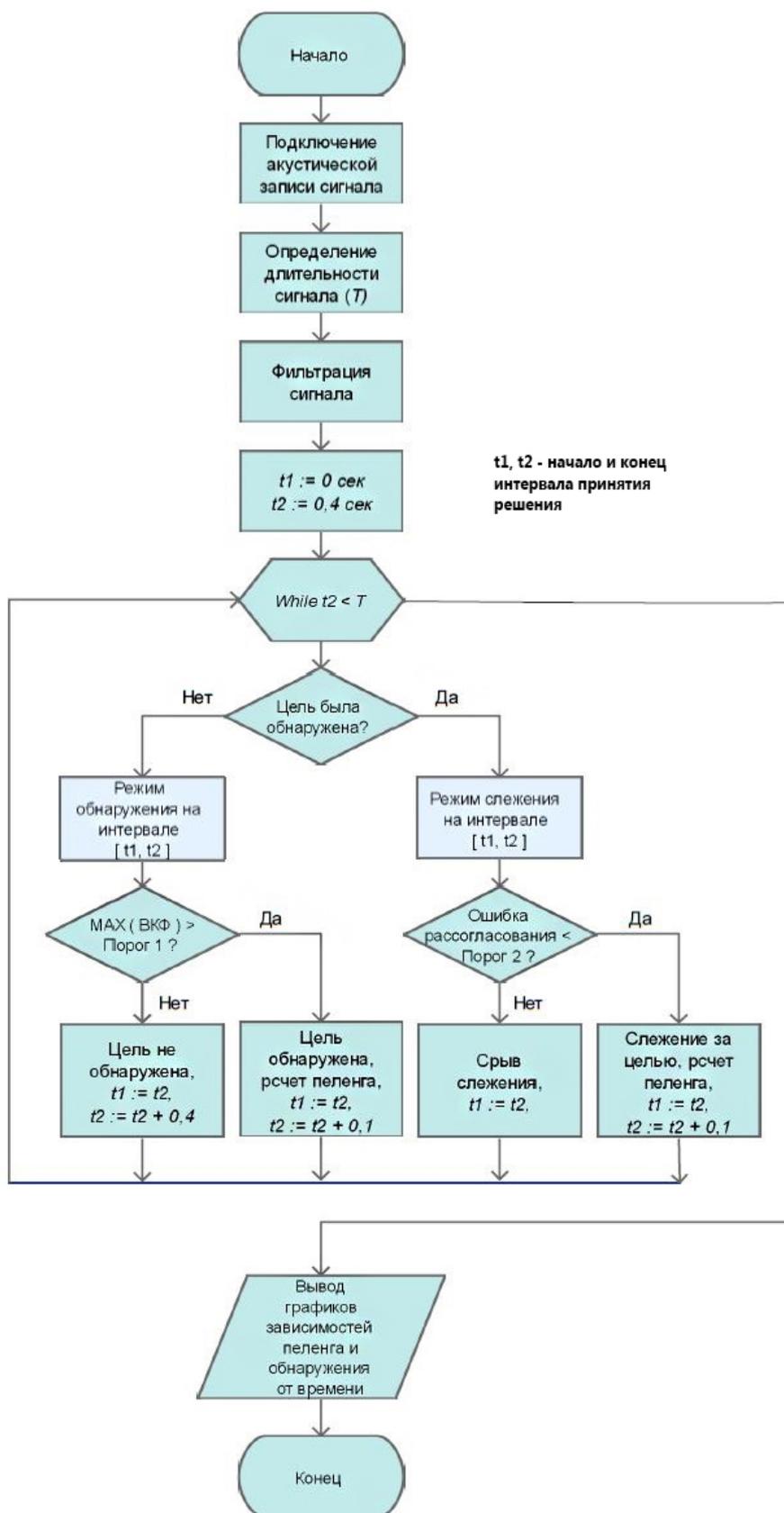


Рис. 6. Схема программы

В качестве примера работы модели на рис. 7 приведены результаты работы модели по нескольким записям сигналов от объектов колесной и гусеничной техники.

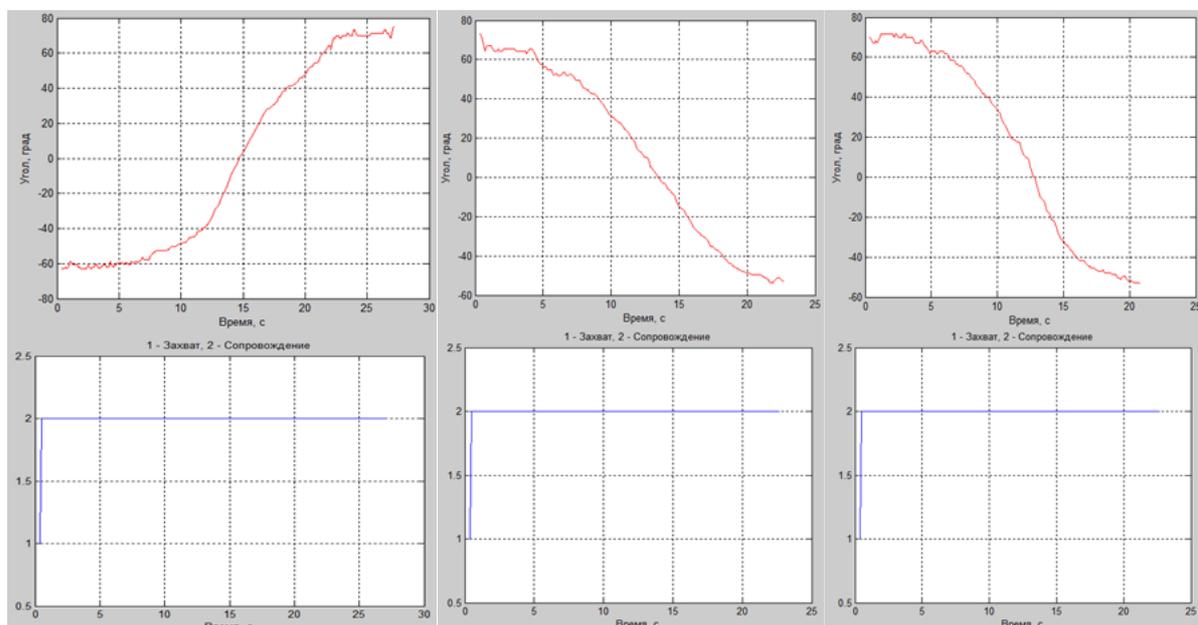


Рис. 7. Результаты работы модели пеленгатора

Сравнение результатов работы модели с показаниями системы видеорегистрации показал, что ошибка оценки пеленга не превысил 5^0 .

Выводы

Таким образом, в данной работе была разработана модель акустического пеленгатора сосредоточенных источников звука. В результате анализа характеристик сигналов, полученных экспериментально, было установлено, что система должна работать в диапазоне частот входного сигнала от 200 до 1000 Гц. Работа модели была проверена на базе акустических сигналов реальных объектов колесной и гусеничной техники. Анализ показал, что ошибка определения пеленга не превышает 5^0 .

Список литературы

1. Хохлов В.К. Обнаружение, распознавание и пеленгация объектов в ближней локации. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 336 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб: Питер, 2002. 608 с.

3. Хохлов В.К., Коршикова Ж.С. Пеленгация локализованного источника акустических излучений на основе спектрального метода обработки сигналов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2010. № 1. С. 62-73.