

**Обзор и классификация методов пространственного мониторинг
акустических сигналов**

Б.А.Староверов, И.В. Семенов

**Review and classification of the acoustic signals spatial monitoring
methods**

B.A.Staroverov, I.V.Semenov

Рассмотрены методы определения координат источника звука для управления мобильными роботами на основе применения микрофонных решётки и пространственной фильтрации звуковых сигналов. Определено, что наиболее перспективным является применение фазированной акустической решетки с пространственной фильтрацией методом Delay-and-sum бимформинга.

В последнее время, в связи с бурным развитием вычислительной техники, в научной среде появилось множество публикаций, связанных с такой областью знаний, как компьютерное зрение. Эта направление безусловно важно для проектирования и построения мобильных роботов. Однако незаслуженно мало внимания уделяется «компьютерному слуху», с помощью которого мобильный робот также может получать большое количество информации об окружающем мире. При этом, наряду с информацией содержащейся в самом звуковом сигнале, ценными могут оказаться сведения о положении источника звука в пространстве.

Задача определения координат источника звука может быть решена применением методов пространственной фильтрации. Пространственная фильтрация – это процесс выделения сигналов, приходящих с желательных направлений, и подавления сигналов, приходящих с нежелательных направлений из набора всех регистрируемых сигналов.

Произвести пространственную фильтрацию и определить расположение источников звука возможно с использованием нескольких подходов. Самым простым из них является экранирование. Принцип работы такого фильтра представлен на рисунке 1. На рисунке изображен датчик, почти полностью окруженный экраном. Экран позволяет предотвратить сбор информации датчиком со всех направлений, кроме желаемого. Поворотом экрана вокруг оси возможно сканирование окружающего пространства и таким образом определять направление нахождения источника звука.

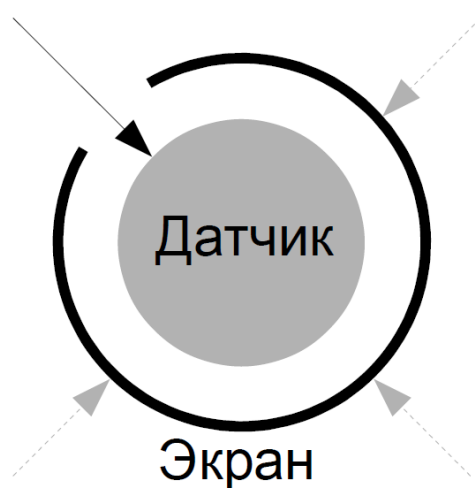


Рис. 1. Пространственная фильтрация с использованием экранирования.

Не смотря на простоту описанного выше подхода, его применение ограничено рядом недостатков, таких как: ограниченная скорость сканирования пространства, невозможность одновременной оценки сигналов с различных направлений, а также наличие в системе движущихся частей.

Более гибким подходом, который не имеет перечисленные выше недостатки, является группа методов, основанных на обработке информации с массива датчиков, определенным образом расположенных в пространстве. Гибкость такого подхода заключается в возможности смены

желаемого направления чувствительности системы мониторинга без изменения ее физических характеристик.

Массив датчиков, используемый для пространственной фильтрации звуковых сигналов, обычно называют микрофонной решёткой. Микрофоны в таких решетках можно располагать в пространстве различными способами, которые называют конфигурациями. Причем важной характеристикой конфигурации является ее размерность, о которой можно судить по размерности фигуры, составленной из датчиков. Одномерная, двумерная или трехмерная решетка позволяет определять положение источника звука в одномерном, двумерном и трехмерном пространствах соответственно. На рисунке 2 приведены некоторые примеры возможных конфигураций.

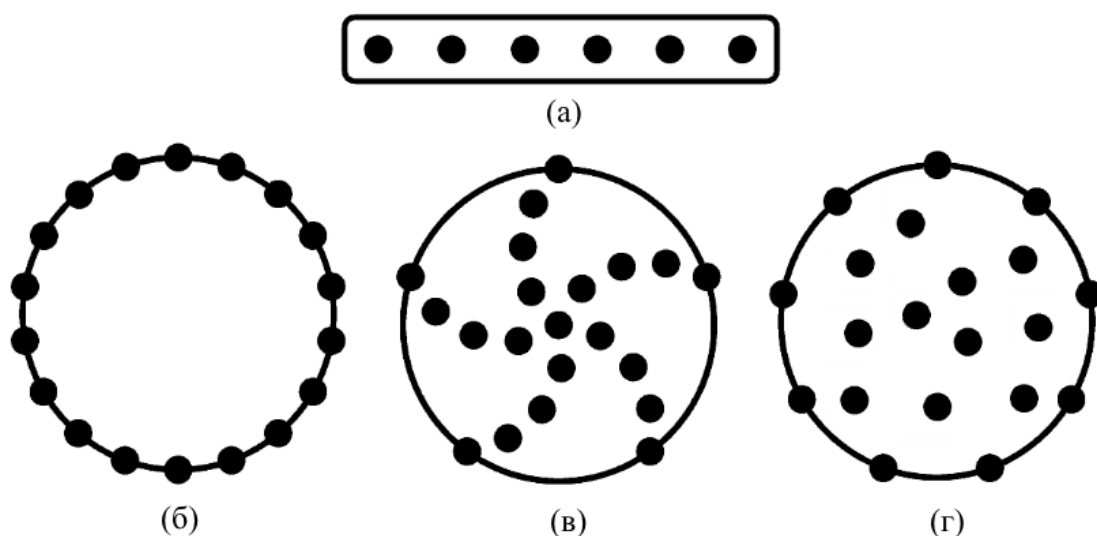


Рис. 2. Различные виды конфигураций микрофонных решеток:

а – линейная; б – круговая; в – спиральная; г – рандомизированная.

От выбранной конфигурации микрофонов в решетке будут зависеть некоторые ее характеристики [1]. Применение микрофонных решеток делает возможным применение различных методов обработки информации. Одним из таких методов является акустическая голография в

ближнем поле (англ. near-field acoustic holography, сокр. NAH). Как видно из названия, данный метод применим в ближнем поле источника звука, под которым понимается та область пространства, в которой звуковые волны, излучаемые этим источником, могут быть рассмотрены как сферические. Обычно в ближнее поле входит область, находящаяся от источника звука на расстоянии не более чем 1-2 длин рассматриваемых звуковых волн [1].

Другой метод под названием бимформинг (англ. beamforming – лучеформирование) базируется на предположении о плоской форме воспринимаемых звуковых волн. Исходя из этого, можно говорить о том, что этот метод применяется в дальнем поле (англ. far-field), которым принято считать область за пределами примерно семи длин волн от источника звука [1].

Выделяют три основных типа бимформинга [3]: Delay-and-sum бимформинг; спектральный бимформинг; параметрический бимформинг. Delay-and-sum бимформинг наиболее прост в реализации. Его работа схематично представлена на рисунке 3. Фронт плоской волны падает на плоскость решетки, состоящей из микрофонов $m1-m4$ под углом α . Сигналы получаемые с этих микрофонов поступают на элементы задержки с временами задержки $T1-T4$, после чего все сигналы суммируются. Из рисунка 3 видно, что время задержки между сигналами с микрофонов зависит угла падения фронта волны, а также от расстояния между микрофонами, т. к. фронт достигает каждый из микрофонов поочередно. Если подобрать задержки $T1-T4$ таким образом, чтобы компенсировать время распространения волны между микрофонами, то сигналы на выходе элементов задержки будут синфазными и при последующем суммировании дадут усиление кратное числу микрофонов. Исходя из этого, можно добиться высокой чувствительности системы к сигналам приходящим с желаемого направления путем регулировки задержек $T1-T4$.

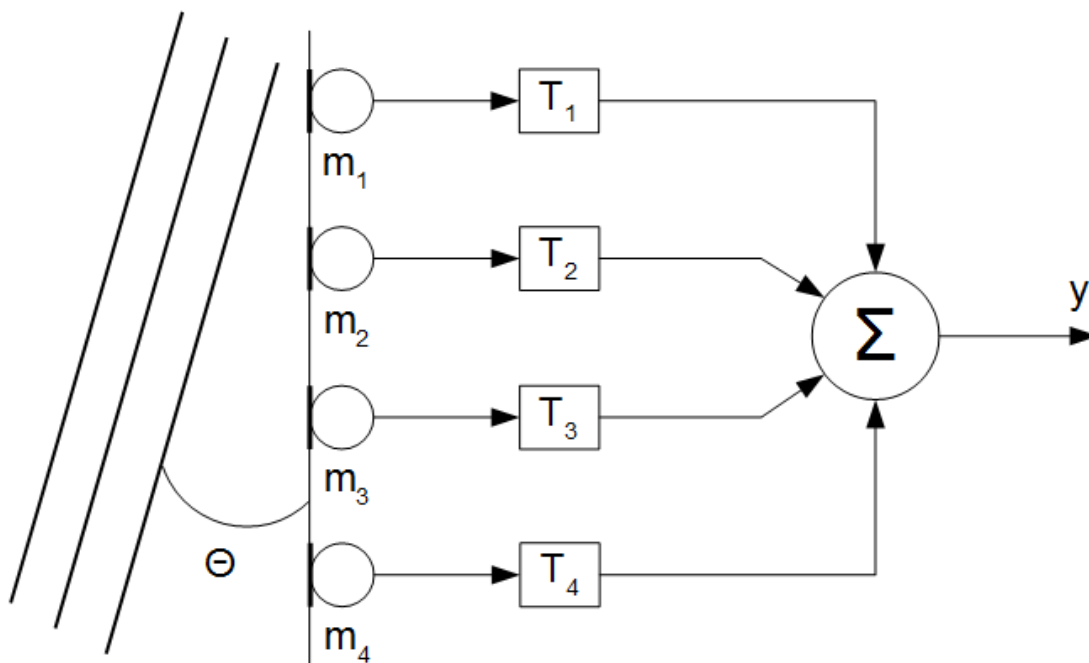


Рис. 3. Delay-and-sum бимформинг

Для задержек T_1 - T_4 равных нулю, зависимость амплитуды выходного сигнала бимформера от угла падения звуковой волны на микрофонную решетку, записывается в виде выражения [2]:

$$y(\theta) = \sum_{i=0}^{N-1} e^{\frac{j \cdot 2\pi \cdot f \cdot i \cdot l \cdot \sin(\theta)}{c}}. \quad (1)$$

где: N – число микрофонов в решетке; l – расстояние между микрофонами; c – скорость звука; θ – угол падения фронта волны по отношению к плоскости решетки.

На рисунке 4. представлен график зависимости (1). График демонстрирует наличие у системы направления избирательность, так имеет место существенно увеличение амплитуды выходного сигнала при нулевом угле падения фронта волны по отношению к плоскости решетки в сравнении с сигналами с других направлений.

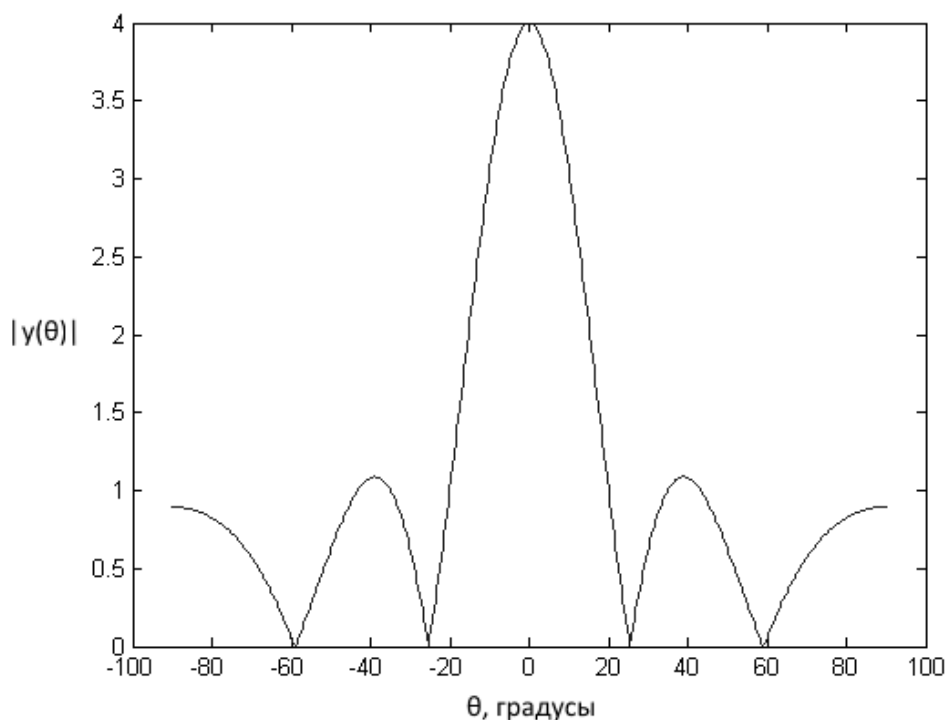


Рис. 4. Зависимость выходного сигнала от угла падения фронта звуковой волны при $f = 1000$ кГц, $l = 0,4$ м и $N = 4$

Таким образом, наиболее перспективным способом определения координат источника звука для «очувствления» мобильных роботов является применение фазированной акустической решетки с пространственной фильтрацией методом Delay-and-sum бимформинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Farrell Doug. Using Acoustic Beamforming for Pass-By Noise Source Detection [Электронный ресурс]. Электронные данные. – 2013. – Режим доступа: <http://www.ni.com/pdf/app-note/acoustic-beamforming.pdf>.
2. Delay Sum Beamforming [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.labbookpages.co.uk/audio/beamforming/delaySum.html>.
3. Sensor array – Wikipedia, the free encyclopedia [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_array.