

Разработка акустического пеленгатора

Тихомиров А.В.*, Иванов М.С., Омелянчук Е.В.*****

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», площадь Шокина, 1, Москва, Зеленоград, 124498, Россия

**e-mail: tcs@miee.ru*

***e-mail: mikhailivanov.msk@gmail.com*

****e-mail: omelia81@gmail.com*

Аннотация

В статье рассмотрен принцип работы пассивного акустического пеленгатора, определен метод вычисления временных определений, произведена оценка требуемой частоты дискретизации, необходимой для программно-аппаратной реализации цифровой части акустического пеленгатора. Значение частоты дискретизации получено в результате лабораторных измерений, выполненных на макете пеленгационного устройства акустических сигналов. Показано, что уровень развития современной компонентной базы для акустических устройств позволяет существенно уменьшить их габариты и повысить точность временных определений.

Ключевые слова: акустический пеленгатор, база пеленгационного устройства, временные определения, азимутальный угол, частота дискретизации.

Введение

Развитие современных систем локального позиционирования идет по пути интеграции различных способов определения местоположения мобильных объектов, основанных на анализе не только радиосигналов, но и сигналов других типов, в т.ч. акустических [1-3]. Совершенствование компонентной базы для акустических устройств позволяет существенно уменьшить их габариты при сохранении точности временных определений. Совмещение акустических датчиков с блоками цифровой обработки сигналов дает возможность увеличить число одновременно анализируемых акустических каналов, тем самым, исключая влияние уровня входящих сигналов на точность определения дальности до источника звука.

Статья посвящена анализу требований к параметрам блока цифровой обработки акустических сигналов при программно-аппаратной реализации акустического пеленгатора.

Принцип работы акустического пеленгатора

Для того чтобы сформулировать требования к программно-аппаратной реализации цифровой части акустического пеленгатора, необходимо уточнить, каким образом производится определение расстояния от импульсного источника звука до базы устройства.

Традиционно [4] определение расстояния осуществляется на основе анализа звуковых волн, отраженных от цели. Также известен способ определения расстояния на основе анализа звуковых волн, порождаемых целью: сначала вычисляется азимут,

а затем определяется расстояние до источника относительно пеленгационного устройства [5].

Известно несколько методов определения местоположения объектов с помощью радиосигналов (пеленгационный, дальномерный, разностно-дальномерный, пеленгационно-дальномерный), однако для анализа акустических волн, может применяться только пеленгационный метод. Указанный метод основан на вычислении азимута цели в разнесенных на расстояние базы двух пеленгационных устройств (точки «А» и «В» на рис.1).

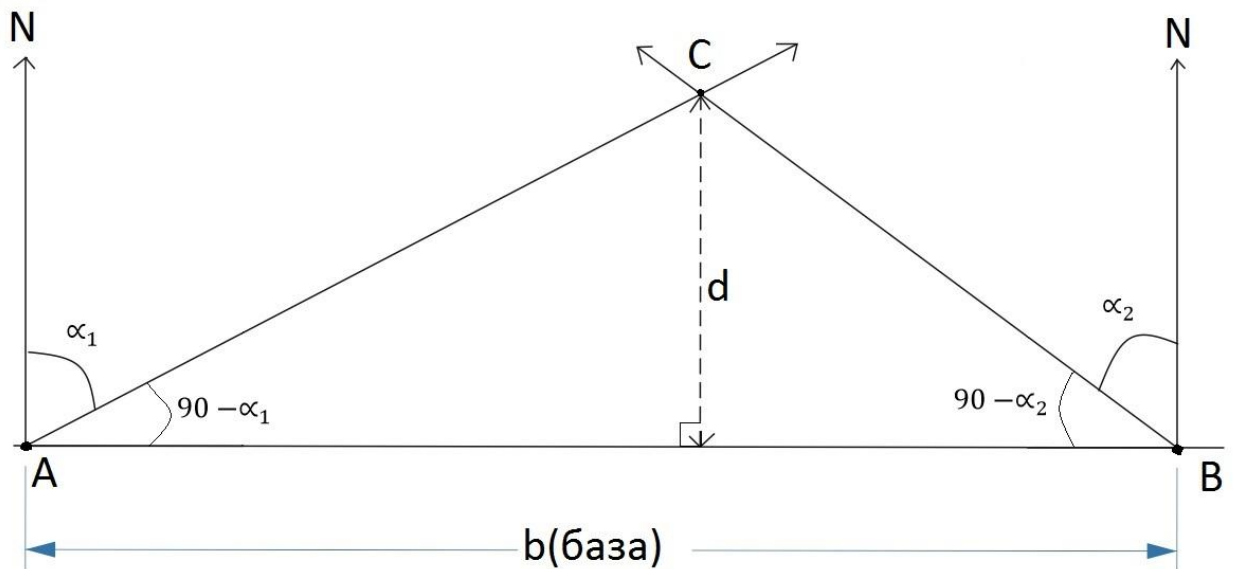


Рис. 1 – Принцип вычисления расстояния по известным азимутам источника акустических волн относительно разнесенных точек «А» и «В».

Зная величины углов α_1 и α_2 , а также размер базы устройства b , можно решить систему уравнений треугольника ABC:

$$\begin{cases} S_{ABC} = \frac{b^2}{2} * \frac{\sin(90-\alpha_1)*\sin(90-\alpha_2)}{\sin(180-\alpha_1-\alpha_2)} \\ S_{ABC} = \frac{d*b}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Решением системы (1) будет являться расстояние d до источника импульсных акустических сигналов.

Для определения азимута в каждой из точек потребуется система из двух акустических датчиков, разнесенных на небольшое относительно базы акустического пеленгационного устройства расстояние. Фиксируя звуковой сигнал в каждом из датчиков, можно вычислить задержку сигнала и определить разность хода звуковой волны, приходящей на каждый из датчиков:

$$r = v_{\text{звука}} * \Delta t \quad (2)$$

На рисунке 2 показан метод вычисления азимута в одном из пеленгационных устройств. При больших значениях b относительно A_1A_2 (порядка 10 раз) можно пренебречь разностью углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ [1]. Тогда значение угла α_1 является решением уравнения $\alpha_1 = 90^\circ - \cos^{-1}\left(\frac{r}{A_1A_2}\right)$.

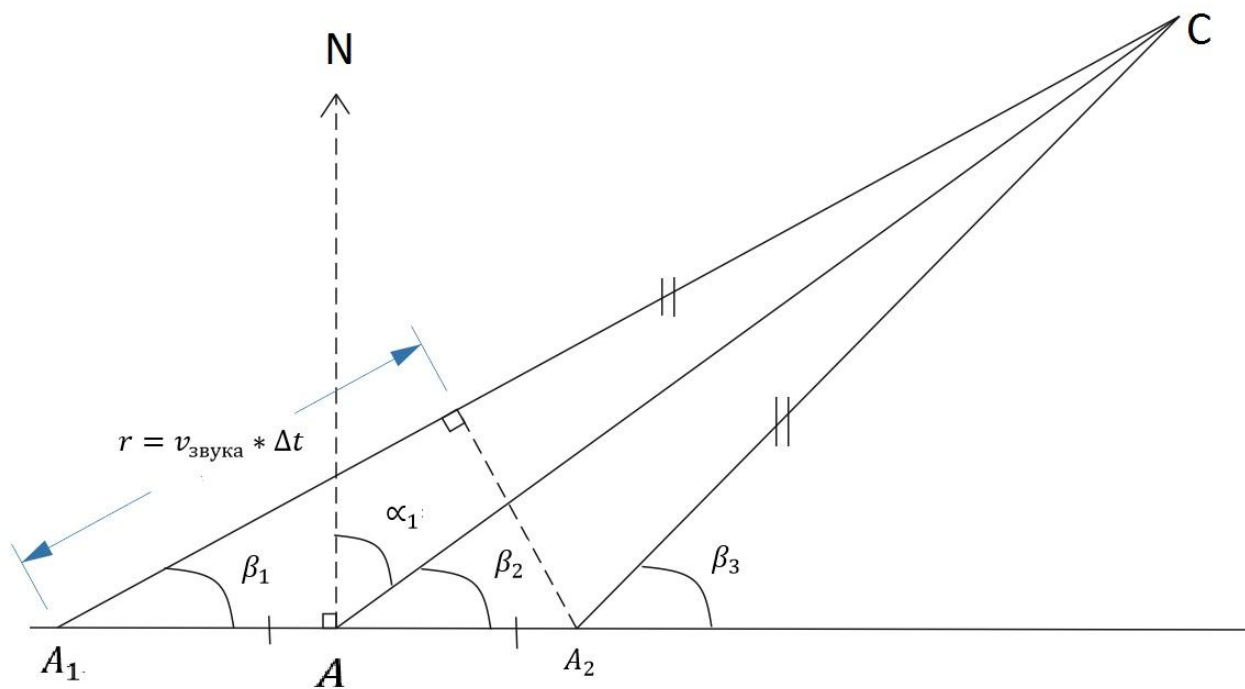


Рис. 2 – Схема определения азимута в одном из пеленгационных устройств

Таким образом, основной задачей является измерение задержки между акустическими импульсами нескольких каналов, поступающими на акустические датчики.

Определение требований к составу макета акустического пеленгатора

Для разработки архитектуры макета акустического пеленгатора и уточнения его системных параметров были проведены предварительные лабораторные измерения с использованием двух акустических датчиков, расположенных на расстоянии 30 см друг от друга, и источника звуковых импульсов, находящегося на расстоянии 1,5 м от середины базы пеленгационного устройства. Для упрощения эксперимента при анализе звуковых сигналов была использована встроенная

стереозвуковая карта персонального компьютера (ПК) [6]. Сигналы с акустических датчиков поступают на вход внешней звуковой карты TASCAM US-144mkII, где происходит их обработка для отображения на мониторе ПК.

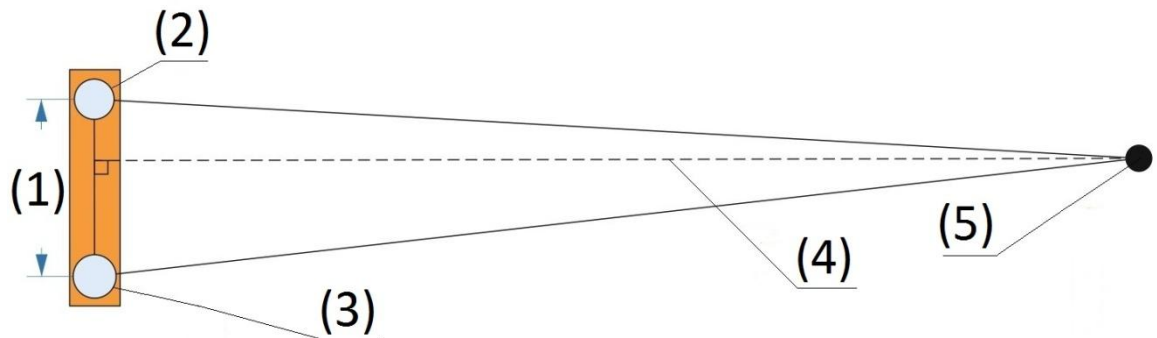


Рис. 3 – Схема лабораторных испытаний макета пеленгационного устройства (1 – база пеленгационного устройства, 2,3 – акустические датчики, 4 – расстояние от источника звука до базы пеленгационного устройства, 5 – источник звука)

Целью лабораторных испытаний является установление формы принимаемого акустического сигнала и определение требований к частоте дискретизации программно-аппаратной реализации цифровой части акустического пеленгатора. Были произведены измерения направления на источник звука при положении базы акустических датчиков под азимутальным углом 45° к источнику звука. На рисунке 4 показан дискретизированный акустический сигнал с каждого из датчиков, значение задержки прихода сигнала на датчик Δt составляет $6e-4$ с, что соответствует значению азимутального угла $\alpha_1 = 45^\circ$.

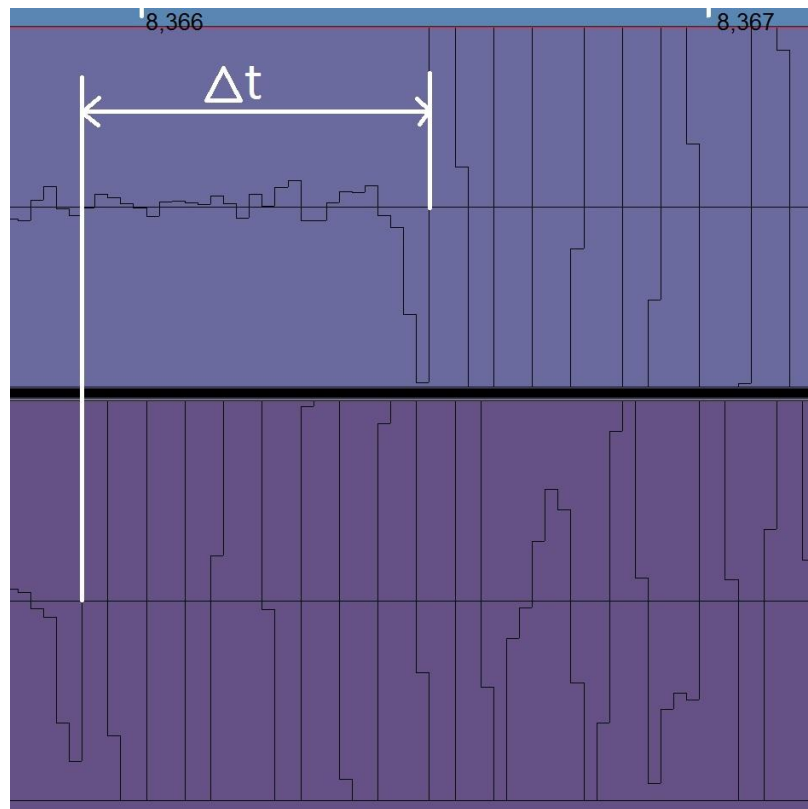


Рис. 4 – Сигнал на входах акустических датчиков при значении азимутального угла $\alpha_1 = 45^\circ$

Зная данную задержку и скорость звука можно вычислить разность хода звуковой волны на пути до акустических датчиков:

$$r = v_{\text{звукa}} \Delta t, \quad (3)$$

где $v_{\text{звукa}}$ – скорость звука, 330 м/с.

Для оценки точности определения азимутального угла рассмотрим два предельных случая: при определении значения задержки с точностью до периода одного оцифрованного акустического колебания и при возможности зафиксировать значение задержки с точностью до величины периода дискретизации. На основании анализа данных, представленных на рисунке 4, можно заключить, что период

колебания в среднем составляет 133 мкс, что соответствует расстоянию $r=4,4$ см. Тогда точность определения азимутального угла составляет $8,4^\circ$.

Точность определения азимутального угла можно существенно повысить путем увеличения количества отсчетов на период акустического сигнала. Если установить точность определения азимутального угла α_1 , равную 3° , то значение периода дискретизации составит 33,25 мкс, что соответствует частоте дискретизации 30 кГц. Как показано в [7] значение точности по дальности при заданной точности определения азимутального угла в общем случае зависит от величины угла, под которым видна база. В рассматриваемом случае можно оценить точность по дальности как 7 м на дистанции 100 м.

На основании анализа результатов эксперимента были сформулированы требования к составу макета акустического пеленгатора, представленного на рисунке 5.

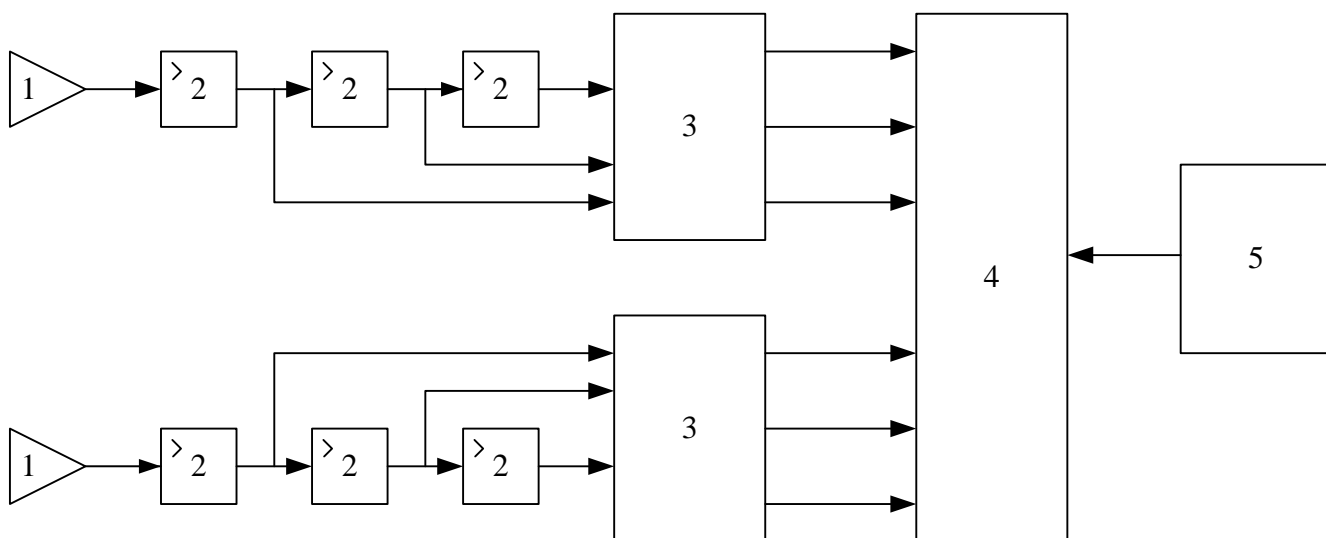


Рис. 5 – Схема макета пассивного акустического пеленгационного устройства

(1 – акустический датчик, 2 – усилитель, 3 – блок предварительной цифровой

обработки сигналов, 4 – логическое решающее устройство, 5 – блок обработки телеметрической информации и предварительной коррекции)

Макет пассивного акустического пеленгатора состоит из набора устройств:

- двух аналоговых каналов, каждый из которых включает в себя акустический датчик (1) и усилители (2), разнесенные на расстояние, равное базе пеленгационного устройства; в свою очередь каждый из каналов делится на три подканала в соответствии с декадным разделением по коэффициенту усиления, что позволяет получить с каждого датчика три сигнала, отличающихся по амплитуде, таким образом, возможно произвести линейную корреляционную обработку поступающих сигналов;
- пространственно разнесенного блока предварительной цифровой обработки сигналов (3), поступающих с выходов усилителей;
- логического решающего устройства (4);
- блока обработки телеметрической информации и предварительной коррекции (5).

Конструкция макета позволяет вынести блок цифровой обработки сигналов за линию базы пеленгационного устройства. При этом на каждый из каналов предварительной цифровой обработки приходится два подканала:

- линейный корреляционный канал;
- канал определения задержки по порогу.

В блоке решающего устройства последовательно вырабатывается сигнал обнаружения, производится расчет азимута и идентификация объектов обнаружения.

Для увеличения точности временных определений макет акустического пеленгатора дополнен блоком обработки телеметрической информации и предварительной коррекции для учета поправок на влияние условий внешней среды: температуры, атмосферного давления, влажности воздуха и скорости ветра [8]. В состав указанного блока включены датчики давления, температуры и скорости ветра; по телеметрическим данным с этих датчиков происходит коррекция величины скорости звука, по которой в дальнейшем определяется дальность до объекта.

Конструктивное решение макета обеспечивает компромисс между уменьшением габаритов макета с одной стороны и устранением возможных отражений акустических сигналов от элементов конструкции – с другой. Следует отметить, что уровень развития современной компонентной базы для акустических устройств позволяет существенно уменьшить их габариты и повысить точность временных определений. Тем самым создаются условия для создания пеленгационных устройств, способных не только одновременно идентифицировать значительное количество объектов без потери точностных характеристик, но и работать в составе существующих радиолокационных систем [9-10] для дораспознавания объектов в условиях сложной локационной обстановки.

Выводы и направления дальнейшей работы

В результате проведенных исследований были сформулированы требования к составу и системным параметрам макета акустического пеленгатора. Определено значение частоты дискретизации, при котором достигается точность определения азимутального угла не хуже 3° . Также рассмотрены требования к конструкции пеленгатора с точки зрения обеспечения максимально возможной точности временных определений.

Кажутся перспективными следующие направления дальнейших исследований с использованием предложенного макета акустического пеленгатора:

- поиск методов, позволяющих расширить динамический диапазон исследуемой акустической системы при сохранении указанной точности определения азимутального угла
- оценка возможности применения предложенного акустического пеленгатора в условиях пересеченной местности и сложного рельефа;
- создание базы данных масок сигналов различных объектов с целью их идентификации;
- исследование возможности интеграции предложенного акустического пеленгатора и радиолокационного устройства в едином многофункциональном модуле.

Рассмотренный принцип работы акустического пеленгационного устройства может быть применен в системах локального позиционирования робототехнических

комплексов, устройствах сигнализации охранных систем, системах обнаружения беспилотных летательных аппаратов.

Библиографический список

1. Зайцев Н.А., Платов А.В., Потапов В.А. Радиолокационные станции разведки наземных движущихся целей. Современный уровень и основные направления развития // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей». 2014. № 1. С. 41-44.
2. Бурага А.В., Костюков В.М. Сравнительный анализ пассивных методов измерения дальности для малого беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ, 2012, №53 <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29624>
3. Малышев А.В., Семенова А.Ю., Омелянчук Е.В. Обзор технологий позиционирования мобильных объектов в реальном времени // Наука. Технологии. Производство. 2014. № 3. С. 115-118.
4. Лёзин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
5. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы. – М.: Советское радио, 1968. – 460 с.
6. Агеев И.М., Рыбин Ю.М., Бубнова М.Д. Устройство сбора данных на основе звуковой карты персонального компьютера // Труды МАИ, 2011, №48: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=27115>

7. Омелянчук Е.В., Семенова А.Ю., Тихомиров А.В. Определение местоположения мобильных объектов в условиях напланетного базирования // Материалы III Всероссийской Микроволновой Конференции, Москва, 2015, С. 261-265.
8. Таланов А.В. Звуковая разведка артиллерии. - М.: Воениздат МВС СССР, 1948. – 398 с.
9. Тимошенко А.Г., Бахтин А.А., Тепляков И.М., Моленкамп К.М., Волков А.С. Ориентирование группы мобильных роботов // Материалы Всероссийской конференции «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем», Москва, РУДН, 18–22 апреля 2016, pp.119–121.
10. Бахтин А.А., Белоусов Е.О., Ломовская К.М., Тимошенко А.Г. Актуальные задачи построения систем связи для напланетных и орбитальных станций // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2015. № 5. С. 74-81