

Ультразвуковая система обнаружения препятствий для беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа.

А.Н. Кудрявцев¹, М.А. Мурин¹, А.С. Раков², Д.С. Раков^{1,2}

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, г.Томск, Академический пр.,10/3, e-mail: rds@tpu.ru

В данной статье будет рассмотрен процесс построения системы обнаружения препятствий в ближней зоне на основе использования системы ультразвуковых дальномеров. Приведены краткие сведения о физике процесса измерения расстояний с помощью ультразвуковых волн.

This article will consider the process of construction of an obstacle detection system in the near field through the use of ultrasonic distance measuring system. Brief information about the physics of distance measurement using ultrasonic waves.

Введение

Беспилотные летательные аппараты мультироторного типа (БЛА) в последние годы набирают все большую популярность [1-3]. Однако существует ряд факторов влияющих на полноценное развитие данного направления, и одним из этих факторов является отсутствие регулирования в области систем предупреждения столкновений, размещенных на БЛА. С развитием рынка беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа, возникла необходимость создания надежных систем обнаружения препятствий на всем маршруте полета, а также минимизация риска столкновений двух и более летящих рядом БЛА. Как правило, для решения поставленной задачи, БЛА оснащается различными сканирующими устройствами, позволяющими проводить мониторинг в заданной области пространства на наличие препятствий, создаются алгоритмы управления и обработки информации с различных датчиков [4-7, 10]. В зависимости от дальности действия устройства обнаружения препятствий можно разделить на следующие типы:

- системы контроля пространства в ближней зоне, расстояние сканирования от нескольких десятков сантиметров до 2-5 метров. К таким системам, как правило, относят ультразвуковые дальномеры [8-9];
- системы контроля пространства в ближней и средней зоне. Дальность работы данных устройств доходит до 20-50 метров. К ним можно отнести системы определения препятствий на основе технического зрения, а также лидары [11-12];
- системы контроля пространства в дальней зоне, на расстояния более 50 метров. К данным системам относятся радары [13] и лидары.

В рамках данной статьи остановимся более подробно на задачах построения системы контроля пространства в ближней зоне акустическими методами.

Принцип построения ультразвуковых дальномеров

Использование ультразвуковых датчиков измерения расстояний обусловлено простотой эксплуатации, малым весом, низкой стоимостью. Кроме этого большинство датчиков имеют широкий угол обзора, что позволяет сканировать большую часть пространства по сравнению с оптическими или радио измерителями расстояний.

Недостатком ультразвуковых дальномеров является малый радиус действия (до 5-10 метров в идеальных условиях).

В качестве источника ультразвуковых колебаний в большинстве случаев используют пьезокерамические ультразвуковые преобразователи, принцип работы которых основывается на возможности пьезоэлектрических кристаллов менять свои размеры при воздействии на определенные участки поверхности электрического напряжения, таким образом, преобразовывать электрическую энергию в акустическую, т.е. энергию упругих колебаний среды.

Принцип работы ультразвукового дальномера на основе пьезокерамического датчика поясняется на рисунке 1. В момент времени t_0 передатчик производит излучение ультразвукового сигнала длительностью Δt , который распространяется в среде со скоростью c . По достижению сигналом объекта (препятствия), часть сигнала отражается в обратную сторону и достигает приемного модуля в момент времени t_1 . Расстояние до объекта определяется по выражению 1, где $\tau = t_1 - t_0$.

$$D = \frac{c \cdot \tau}{2} \text{ [м]}, \quad (1)$$

где D – расстояние до объекта (препятствия);

c – скорость звука;

τ – время распространения сигнала до объекта и обратно.

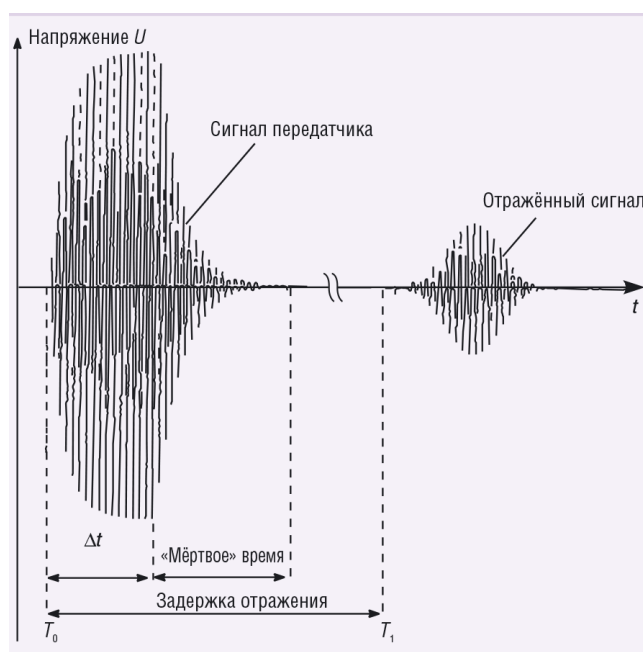


Рис. 1. Определение расстояния методом эхолокации. Источник рисунка [14]

Как следует из рисунка 1, существует так называемое мертвое время (ringing noise) [15], которое объясняется инерционностью конструкции пьезокерамического датчика. Данное мертвое время определяет слепую зону для ультразвуковых измерителей расстояний собранных на основе одного ультразвукового датчика. Для уменьшения слепой зоны применяется схема из двух ультразвуковых датчиков, один из которых является излучателем, другой приемником ультразвуковых колебаний.

При построении ультразвукового дальномера, необходимо учитывать, что скорость распространения звуковых волн зависит от плотности среды, давления, температуры и определяется выражением:

$$C = \sqrt{\frac{\chi \cdot R}{\mu} T} \text{ [м/с]}, \quad (2)$$

где χ – отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме (адиабатический коэффициент расширения для сухого воздуха = 1,402);

μ – молекулярный вес газа (для воздуха равен 28,96);

R – универсальная газовая постоянная = $8,315 \cdot 10^7$ эрг/град;

T – температура, К.

Для сухого воздуха скорость звука определяется:

$$C = 20,067 \sqrt{T} \text{ [м/с]}. \quad (3)$$

В качестве примера на рисунке 2 показана дальность действия ультразвукового датчика UC -4000-30GM Pepperl+Fuchs Group в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха.

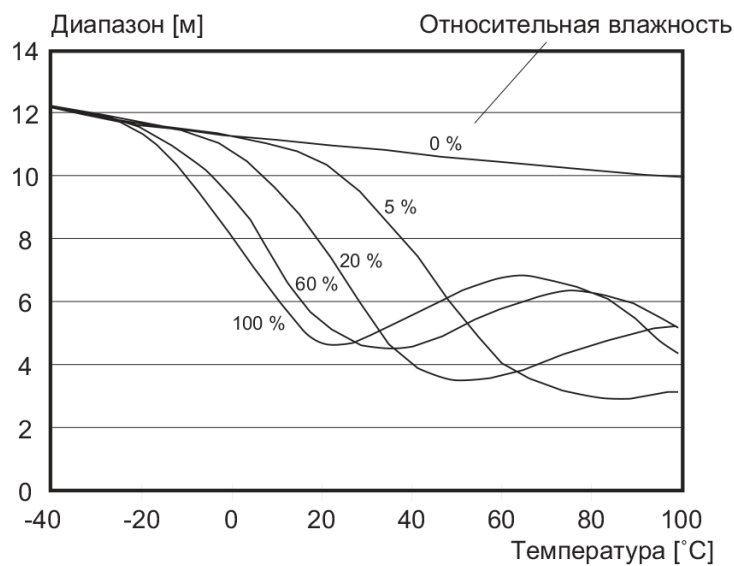


Рис. 2. Зависимость дальности действия ультразвукового датчика UC -4000-30GM Pepperl+Fuchs Group от температуры и влажности окружающего воздуха [14].

Архитектура ультразвуковой системы обнаружения препятствий

Анализ готовых решений ультразвуковых дальномеров, например [18-20], представленных на рынке, показал, что главным недостатком является низкая частота измерений (до 10 Гц), которая имеет существенное значение в случае движущего объекта, на котором установлен ультразвуковой дальномер, что может привести к запаздыванию в принятии решения об уклонении от препятствия. Также следует отметить, что большинство представленных решений для БЛА позволяют контролировать только одну сторону пространства. Данные недостатки выявили необходимость разработки собственной ультразвуковой системы обнаружения препятствия для БЛА.

Исходными требованиями для проектирования ультразвуковой системы обнаружения препятствия были следующие:

- дальность обнаружения препятствия на расстоянии не менее 3 метров;
- возможность сбора информации с нескольких ультразвуковых дальномеров и передачи данных результатов измерений на бортовую ЭВМ БЛА;
- обеспечить наибольший сектор обзора при размещении ультразвуковых дальномеров по периметру БЛА в горизонтальной плоскости.

В качестве прототипа, была использована схема размещения ультразвуковых дальномеров, предложенная в работе [16]. Для обеспечения кругового обзора в горизонтальной плоскости БЛП 8 ультразвуковых дальномеров располагаются по периметру БЛА под углом 45°. Для обзора верхнего и нижнего полупространства используется по 1 ультразвуковому модулю.

Структурная схема ультразвуковой системы обнаружения препятствия показана на рисунке 3 и состоит из:



Рис. 3. Структурная схема системы ультразвуковой локации.

– 10 ультразвуковых модулей (УЗД 1-10), 8 из которых отвечают за обнаружение препятствий в горизонтальной плоскости, и два модуля ведущие измерения вверх и вниз;

– плату управления и обработки информации с ультразвуковых датчиков на основе микроконтроллера МК STM32F10x;

– датчика температуры, необходимого для внесения поправок в точность определения расстояния;

– преобразователя UART-USB для согласования платы управления и бортовой ЭВМ.

Принцип работы ультразвуковой системы обнаружения препятствия заключается в следующем. С бортовой ЭВМ БЛА подается сигнал о начале цикла измерений на плату управления и обработки информации, после чего с платы управления подается команда на 10 ультразвуковых модулей о начале цикла измерений. Каждый ультразвуковой модуль, состоящий из излучателя и приемника, излучает посылку длительностью 200 мкс (8 импульсов на частоте 40 кГц), после чего принимает отраженный сигнал. В случае наличия препятствия или его отсутствия информация с ультразвукового модуля передается на плату управления и обработки информации, где происходит корректировка показателей расстояния с учетом показаний датчика температуры. После чего вся информация с 10 модулей передается обратно на бортовую ЭВМ БЛА.

Единичный ультразвуковой модуль (дальномер) был разработан с использованием пьезокерамических ультразвуковых датчиков 400SR160 [17] фирмы ProWave. Внешний вид датчика и его амплитудно-частотные характеристики показаны на рисунке 4.

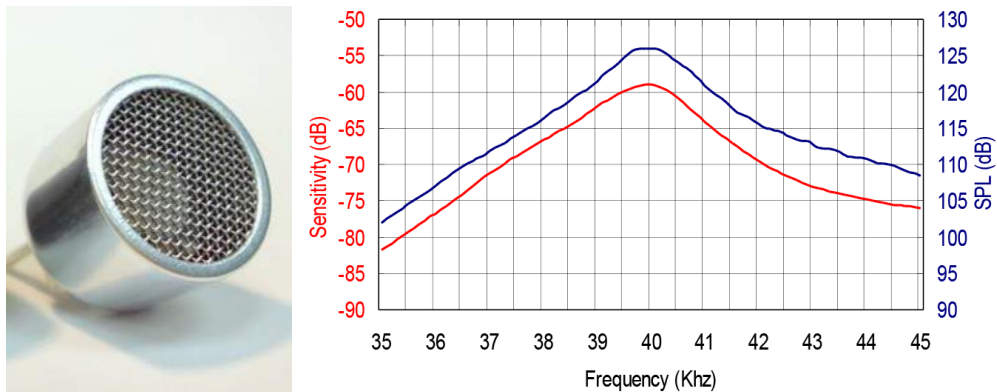


Рис. 4. Внешний вид датчика 400SR160 в металлическом и пластиковом корпусах [17].

Ширина диаграммы направленности на уровне 0.707 составляет 35°.

Структурная схема ультразвукового дальномера представлена на рисунке 5:

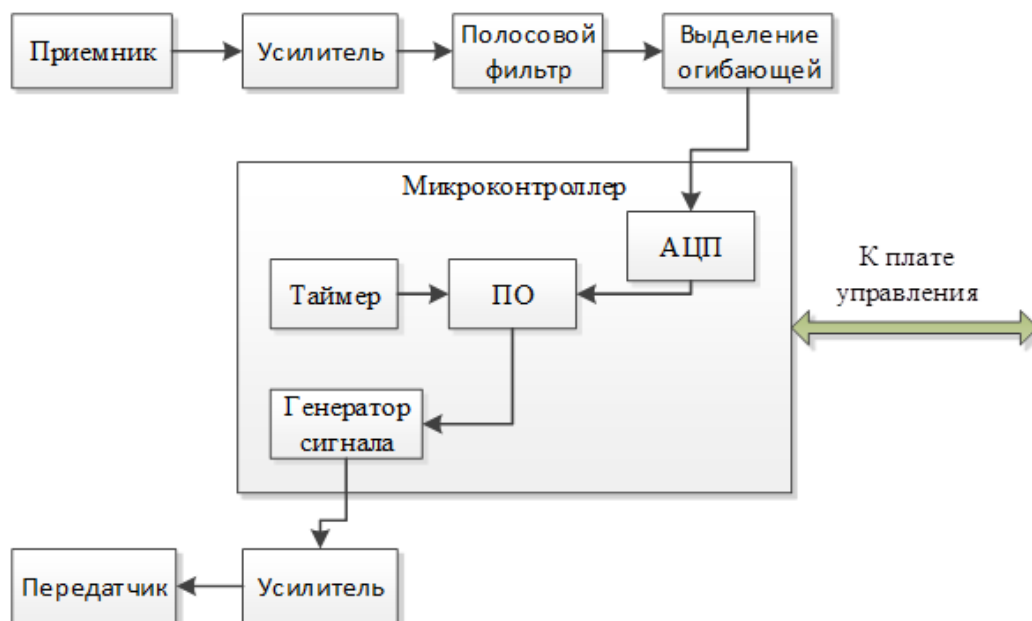


Рис. 5. Структурная схема ультразвукового модуля.

Ультразвуковой модуль работает следующим образом. Генератором сигнала формируется последовательность излучаемых импульсов, которая через усилитель мощности подается на передатчик. Происходит процесс излучения сигнала. В этот момент времени блокируется передатчик, и включается приемник. Входящий в схему таймер, начинает отсчитывать время в тактах. В случае нахождения в зоне измерений объекта с достаточной отражательной способностью, отраженный ультразвуковой сигнал поступает на приемник, где происходит его усиление, фильтрация, выделение огибающей и далее сигнал оцифровывается. После АЦП сигнал поступает на решающее устройство, где отслеживается амплитуда принятого отраженного сигнала. В случае совпадения амплитуды отраженного импульса или его превышение с установленным пороговым значением происходит фиксация времени измеряемого таймеров и вычисляется расстояние до объекта. Данная информация передается на плату управления и обработки информации.

Разработанная ультразвуковая система обнаружения препятствий обладает следующими характеристиками:

- напряжение питания: 5 В;
- диапазон измерения расстояний: 5–500 см;
- сектор обзора в горизонтальной плоскости: не менее 250°;
- сектор обзора в направлении вверх, вниз: не более 30°;
- количество подключаемых модулей к плате управления и обработки информации: 10 шт;

Заключение

В работе была рассмотрена схема построения акустической системы обнаружения препятствия для БЛА. Показано, что при построении данной системы необходимо использовать измерители метеорологических параметров, для обеспечения точности измерения расстояния до препятствия. Разработанная ультразвуковая система обнаружения препятствий представляет собой законченный электронный продукт, установка которого на БЛА позволит обнаруживать препятствия в радиусе до 5 метров.

Литература

1. План мероприятий (“дорожная карта”) “Аэронет” Национальной технологической инициативы. [электронный ресурс] URL: http://www.nti2035.ru/docs/DK_aeronet.pdf (дата обращения 25.02.2018 г.).
2. Цепляева Т.П., Морозова О.В. Этапы развития беспилотных летательных аппаратов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 42, 2009. с. 10-16.
3. Norouzi Ghazbi, S.; Aghli, Y.; Alimohammadi, M.; Akbari, A. A. Quadrotors unmanned aerial vehicles: a review // International Journal on Smart Sensing & Intelligent Systems . Mar2016, Vol. 9 Issue 1, p309-333. 25p.
4. Рехлов А.В., Демидов Д.А., Шмаков О.А. методика разработки системы управления для беспилотных летательных аппаратов микро и среднего классов // Экспериментальная робототехника. № 1. 2016 г. с. 159-163.
5. Гоноболев А.С., Когочев А.Ю., Лекарев А.О. Система обнаружения препятствий для мультикоптера // Resources and Technology. Т. 11, № 2, 2014 г., с. 119-126.
6. Тань Л., Фомичев А.В., Гэн К. Решение задачи планирования полета в реальном режиме времени малогабаритного беспилотного летательного аппарата по пространственной траектории в условиях сложного рельефа местности // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 11. С. 485–504.
7. Д.А. Михайлин Нейросетевой алгоритм безопасного облета воздушных препятствий и запрещенных наземных зон // Научный Вестник МГТУ ГА. Том 20, № 04, 2017 г., с. 18-24.
8. Juan S. Guerrero Guerrero, Aldo F. Contreras González, Jose I. Hernández Vega, Leticia A. Neira Tovar Instrumentation of an Array of Ultrasonic Sensors and Data Processing for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Teaching the Application of the Kalman Filter // Procedia Computer Science. Volume 75, 2015, Pages 375-380
9. Kapoor R, Ramasamy S, Gardi A, Schyndel RV, Sabatini R Acoustic Sensors for Air and Surface Navigation Applications // Sensors (Basel). 2018 Feb 7;18(2). pii: E499. doi: 10.3390/s18020499.
10. К.С. Амелин Метод ориентирования сверхлегкого БПЛА при редком обновлении данных о его местоположении // Стохастическая оптимизация в информатике. Том 10., № 2, 2014 г., с. 3-14.
11. А. Антонов Сканирующие лазерные дальномеры (LIDAR) // Современная электроника. № 1, 2016 г., с. 10-15.

12. 12 Top Lidar Sensors For UAVs And So Many Great Uses [электронный ресурс] URL: <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/best-lidar-sensors-for-drones-great-uses-for-lidar-sensors/> (дата обращения 15.01.2018 г.).
13. Echodyne's amazing miniature UAV radar: A huge step towards legal, autonomous drone deliveries [электронный ресурс] URL: <https://newatlas.com/echodyne-miniature-uav-drone-radar/46368/> (дата обращения 15.01.2018 г.).
14. Ультразвуковые датчики Pepperl+Fuchs. [электронный ресурс] URL: <https://www.prosoft.ru/cms/f/437814.pdf> (дата обращения 15.01.2018 г.).
15. Feeney A, Kang L, Rowlands G, Dixon S. The Dynamic Performance of Flexural Ultrasonic Transducers // Sensors (Basel). 2018 Jan 18;18(1). pii: E270. doi: 10.3390/s18010270.
16. Когочев А.Ю., Л.В. Щеглова Система обеспечения безопасности перемещения мультикоптера внутри помещений // Инженерный вестник Дона. № 4, 2016 г. [электронный ресурс] http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_80_kogochev_shchegoleva.pdf_a8c9ab458d.pdf (дата обращения 25.02.2018 г.).
17. Air Ultrasonic Ceramic Transducers 400ST/R160. [электронный ресурс] URL: <https://www.robot-electronics.co.uk/files/t400s16.pdf> (дата обращения 25.02.2018 г.).
18. Guidance [электронный ресурс] URL: <https://www.dji.com/guidance> (дата обращения 15.01.2018 г.).
19. Ультразвуковой датчик HC-SR04 [электронный ресурс] URL: <http://amperka.ru/product/hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-module> (дата обращения 15.01.2018 г.).
20. MB1340 XL-MaxSonar-AE4 [электронный ресурс] URL: https://www.maxbotix.com/documents/XL-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf (дата обращения 15.01.2018 г.).