

УДК 630.3

DOI: 10.15393/j2.art.2014.2902

Статья

Система обнаружения препятствий для мультикоптера

Александр С. Гоноболев, Антон Ю. Когочев * и Алексей О. Лекарев

Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина 33, 185910, Петрозаводск,
Россия;

E-Mails: deltapixel@gmail.com (А.С.Г.), antkg@yandex.ru (А.Ю.К.), leshik233@yandex.ru
(А.О.Л.)

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: antkg@yandex.ru (А.Ю.К.);
Tel.: +7(905)2995195.

Получена: 21 ноября 2014 / Принята: 29 ноября 2014 / Опубликовано: 24 декабря 2014

Аннотация: Повышение требований к современным системам технического зрения, функционирующим во все более сложных, неопределенных и изменяющихся условиях наблюдения, делает чрезвычайно перспективными исследования в области разработки систем улучшенного и синтезированного видения, работающих, в том числе, с датчиками различной физической природы. Они обеспечивают существенное повышение эффективности, как в человеко-машинных, так и в автоматических системах управления авиационных и космических аппаратов, наземных, надводных и подводных роботов. Исследование посвящено разработке системы обнаружения препятствий для типового мультикоптера. Существующие решения, используемые на наземных аппаратах, в применении к БПЛА имеют ряд недостатков, связанных с массогабаритными и энергетическими показателями. В статье приводятся требования к разрабатываемой системе определения препятствий, описание её структуры с точки зрения аппаратной части с обоснованием выбора необходимых измерительных устройств. Также представлен общий алгоритм работы системы.

Ключевые слова: мультикоптер; система обнаружения препятствий; беспилотный летательный аппарат; дальномеры; микроконтроллерная плата.

DOI: 10.15393/j2.art.2014.2902

Article

Obstacle detection system for Multirotor

Alexander Gonobolev, Anton Kogochev * and Alexei Lekarev

Petrozavodsk State University, Lenin av. 33, 185910 Petrozavodsk, Russia;

E-Mails: deltapixel@gmail.com (A.G.), antkg@yandex.ru (A.K.), leshik233@yandex.ru (A.L.).

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: antkg@yandex.ru (A.K.);
Tel.: +7(905)2995195.

Received: 21 November 2014 / Accepted: 29 November 2014 / Published: 24 December 2014

Abstract: Increasing demands for modern robot vision systems functioning in an increasingly complex, uncertain and changing conditions of observation, makes research on the development of improved and synthesized vision systems, which include sensors of various physical nature, are extremely promising. They provide a significant increase in efficiency in human-machine and automatic control systems of aircraft and spacecraft, ground, surface and underwater robots. The study focused on developing a obstacle detection system for multirotor. Existing solutions which are used on land-based machines, in conditions of using on unmanned aerial vehicles have a number of disadvantages associated with the weight, size and power conditions. The article describes the requirements for the obstacle detection system, its structure in terms of required hardware. Moreover rationale for the selection of necessary measuring devices is given. Also presents a general algorithm of the system.

Keywords: multirotor; obstacle detection system; unmanned aerial vehicle; range sensor; microcontroller board;

1. Введение

Для большинства автономных мобильных платформ одной из актуальных задач является проблема распознавания и преодоления препятствий. Решение этой проблемы является ключом к созданию алгоритмов навигации робота в пространстве, т.е. анализа окружающей ситуации и выбора маршрута самим роботом без участия человека.

Представленные в литературе решения [1-4] для ориентации в пространстве чаще всего основаны на следующих принципах:

- использование систем глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) и привязка к карте местности;
- использование систем машинного зрения в оптическом диапазоне электромагнитного излучения (инфракрасные камеры, стандартные камеры в видимой области спектра);
- использование разного рода датчиков расстояния.

Основная проблема, возникающая при использовании систем на основе первых двух принципов – высокая вычислительная нагрузка, связанная с задачами обработки изображения от одной или нескольких камер, а также проблема анализа соответствия текущих координат препятствиям, отмеченным на карте местности. Кроме того, системы глобального позиционирования, как правило, имеют значительную погрешность в локальных условиях, а в закрытых помещениях и вовсе могут не работать, что приводит к необходимости оборудования последних специальными средствами локализации (активные маяки, метки).

Не смотря на представленные недостатки применение таких подходов для задач наземной робототехники вполне оправданно. Однако для беспилотных летательных аппаратов, поставленных в жёсткие рамки по массогабаритным показателям и показателям энергоёмкости вычислительной и управляющей систем, скорее подходит третий принцип. В такой ситуации значение имеет использование датчиков, позволяющих только определить наличие препятствия на пути движения, а задачей распознавания объектов вполне может заниматься мощная удалённая рабочая станция. Более того эта способность является критически важной в случае сложной картины местности и особенно в условиях ограниченного пространства. Большое расстояние от оператора, задержки и неточности в управлении увеличивают вероятность возникновения ошибки пилотирования. Для того чтобы избежать этих проблем, БПЛА на основе данных системы обнаружения препятствий должен самостоятельно принять решение о преодолении или огибании препятствия, непосредственно вмешиваясь в контур удалённого управления.

2. Материалы и методы

К разрабатываемой системе определения препятствий ввиду рассмотренных ранее аспектов можно предъявить следующие требования:

- небольшая общая масса – грузоподъемность большинства моделей мультикоптеров составляет от нескольких сотен грамм до 1-2 кг, поэтому система распознавания должна быть максимально легкой, чтобы оставался запас для полезной нагрузки, реализующей основную функцию аппарата;
- малое энергопотребление – поскольку аппарат является автономным – его питание осуществляется от аккумулятора, емкость которого ограничена;
- малое потребление вычислительных ресурсов – в силу невозможности установки полнофункционального компьютера, появляется необходимость использовать полетные контроллеры с ядром на основе архитектуры AVR или ARM с ограниченным быстродействием;
- устойчивость к ошибкам распознавания – используемые средства должны с большой долей вероятности определять препятствия, это должно уберечь мультикоптер от столкновения.
- низкая стоимость.

Исходя из представленных требований осуществлён подбор управляющего микроконтроллера, необходимых датчиков расстояния, приемопередающей аппаратуры. В состав системы входят:

- управляющая плата на основе микроконтроллера фирмы Atmel AtMega2560 [5];
- набор датчиков расстояния (ультразвуковые и инфракрасные дальномеры);
- канал радиосвязи;
- GPS приёмник.

Общая структура системы представлена на рисунке 1.

В качестве БПЛА используется мультикоптер с четырьмя несущими винтами типоразмера 450 мм, оснащенный контроллером стабилизации MultiWii 328p [6], электронными контроллерами скорости для каждого двигателя, аккумулятором ёмкостью 2,2 А*ч. Для оценки окружающего пространства в идеальном случае мультикоптер должен контролировать полную сферу вокруг себя. На практике ресурсы аппарата ограничены, поэтому в поле обнаружения системы технического зрения, по крайней мере, должна быть включена передняя полусфера. В разрабатываемой системе используются ультразвуковые [7] и инфракрасные дальномеры [8]. Выбор этих датчиков обусловлен их низкой стоимостью, простотой эксплуатации, надежностью, малыми массой (~30 г) и током потребления (~20 – 50 мА). Основное отличие этих датчиков с точки зрения эксплуатации заключается в зоне покрытия – у ультразвуковых дальномеров она составляет около 30°, а у инфракрасного диаметр пучка излучаемого света примерно соответствует линейным размерам излучателя. К тому же, инфракрасный датчик не может определить поверхность, поглощающую свет (например, загрязнение в виде сажи или стекло), а ультразвуковой – звукопоглощающую (ковровое покрытие), поэтому их совместное использование является целесообразным.

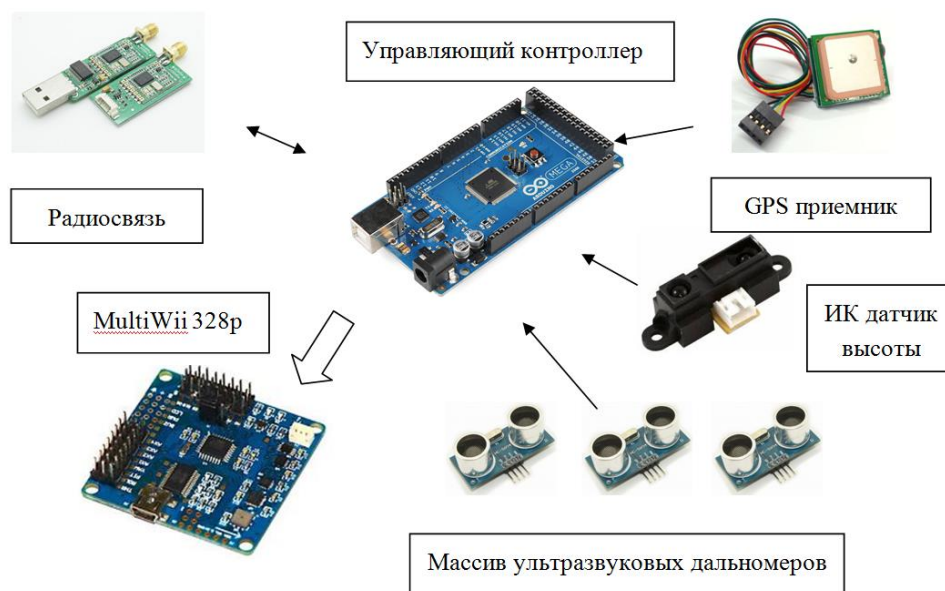


Рисунок 1. Общая структура системы обнаружения препятствий

Диаграмма направленности используемых ультразвуковых датчиков приведена на рисунке 2.

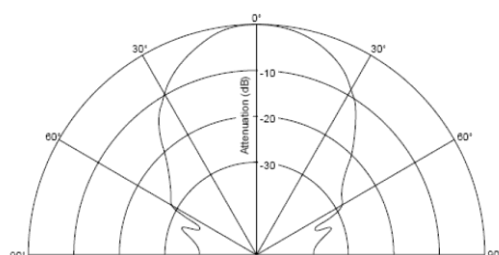


Рисунок 2. Диаграмма направленности ультразвукового датчика

Дальномеры закрепляются на платформе таким образом, чтобы покрывать область, захватывающую несущие винты в передней полусфере мультикоптера. Таким образом достигается обнаружение препятствий в одном из самых уязвимых мест БПЛА.

Основной подход заключается в постоянном измерении расстояния до объектов в разных направлениях, и в случае достижения некоторой минимально безопасной величины, осуществляется коррекция движения аппарата.

3. Результаты

Для создаваемой системы обнаружения препятствий разработано программное обеспечение для управляющей платы на языке высокого уровня С по принципу конечного автомата и реализующее следующие функции:

- запуск измерения расстояний с помощью массива ультразвуковых датчиков расстояния;
- запуск измерения расстояния до пола с помощью инфракрасного датчика расстояния;
- формирование управляющего импульса для платы стабилизации, провоцирующего движение в сторону от препятствия, но с наибольшим запасом свободного пространства.

Алгоритм разработанного программного обеспечения следующий. Системный таймер платы управления раз в 40 мс даёт команду на измерение расстояния ультразвуковым датчиком. В силу ограниченности скорости распространения звука в воздухе на систему обнаружения накладываются определённые временные ограничения. Информация от каждого дальномера поступает в течение от 100 мкс до 25 мс в зависимости от расстояния, поэтому для датчиков с неперекрывающимися областями поиска, старт замера может осуществляться одновременно, тогда как для близкорасположенных измерителей приходится выдерживать паузу равную времени выполненного замера. После того как отработают все дальномеры, осуществляется сравнение результатов, и в случае обнаружения препятствия на расстоянии меньше минимального, управляющий контроллер в течение некоторого времени подаёт сигнал плате стабилизации в один или несколько каналов регулирования углов крена, тангажа и рыскания. При этом внешний радиосигнал от оператора отсекается. Мультикоптер корректирует своё движение, после чего внешний контур управления восстанавливает свою работу.

Инфракрасный дальномер, осуществляющий замер до поверхности под мультикоптером, работает независимо от ультразвуковых, поскольку использует внутренний аналого-цифровой преобразователь контроллера управления. Его показания учитываются для коррекции положения мультикоптера по высоте только в том случае, если от оператора не поступает сигнал на снижение, чтобы предотвратить ошибки в процессе взлёта или посадки аппарата.

Результаты измерений расстояния до объектов окружения сохраняются в специальном буфере и могут быть отправлены оператору по радиоканалу.

4. Обсуждение и заключение

Разрабатываемая система обнаружения препятствий будет обладать следующими качествами:

- обеспечивать возможность движения внутри ограниченного пространства;
- гарантировать оператору мультикоптера безопасный полёт в условиях ограниченного контроля;
- пресекать ошибки оператора;
- обладать универсальностью по отношению к разным типам мультикоптеров поскольку управляющий контроллер использует стандартный интерфейс;

- и являться оптимальной комбинацией аппаратных и программных компонент как с точки зрения их стоимости, так и с точки зрения энергопотребления и вычислительных возможностей.

Кроме того, на основе информации от дальномеров, а также инерциальной системы платы стабилизации возможно построение карты местности и траектории движения мультикоптера.

Следует отметить, что такая система обнаружения препятствий имеет возможности расширения, например, путем добавления новых датчиков в систему, таких как камера. Камера имеет ряд недостатков – требовательна к вычислительным ресурсам, сложна в программировании (алгоритмы обнаружения не гарантируют безошибочное распознавание, а также добавляют задержку между обнаружением препятствия и реакцией аппарата), с другой стороны, использование камеры позволяет мультикоптеру двигаться по меткам, распознавать зоны взлета и посадки, вести аэрофотосъемку.

В заключение отметим, что рынок беспилотных летательных аппаратов, в том числе мультикоптеров, стремительно растёт. Потребность в системах, обеспечивающих безопасность БПЛА будет увеличиваться, поэтому разработки в этой области представляются весьма перспективными.

Благодарности

Выражаем благодарность директору студенческого бизнес инкубатора Петрозаводского государственного университета А. П. Коновалову, ведущему программисту сектора пространственных и графических данных Петрозаводского государственного университета С. А. Завьялову, доценту кафедры ИИСиФЭ Петрозаводского государственного университета С. Ю. Курскову и многим другим за активную помощь в реализации исследования.

Работа выполнена в рамках минiproекта «Разработка системы управления автономного летающего робота на базе стандартной мультикоптерной платформы» программы стратегического развития ПетрГУ на 2012-2016 гг.

Литература

1. Девятериков Е. А., Михайлов Б. Б. Алгоритм автоматического возвращения мобильного робота по данным визуального одометра // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб: Изд-во «Политезника-сервис». – 416 с..
2. Гемуев Ш. Ш., Михайлов Б. Б. Разработка алгоритма выделения маршрута для мобильного робота // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб: Изд-во «Политезника-сервис». – 416 с.
3. Кий К. И., Серединский М. В.. Система технического зрения робота «Амур» для движения на ориентиры // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб: Изд-во «Политезника-сервис». – 416 с.

4. Герасюто С. Л., Прокопович Г. А., Сычёв В. А. Построение навигационной карты внутри помещений по величине магнитного поля земли MEMS сенсором мобильного робота // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПб: Изд-во «Политехника-сервис». – 416 с.
5. ATMEGA2560: 8-bit Microcontroller with 250-Kbytes self-programming Flash Program Memory. Datasheet. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.atmel.com/Images/doc2549.pdf> (дата обращения: 5.11.2014)
6. Newbie's guide to setting up and using the MultiWii Board. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/uploads/189478565X846863X3.pdf?aff=321907> (дата обращения: 5.11.2014).
7. Ultra Sonic range measurement module. [Электронный ресурс]. URL: http://www.seeedstudio.com/wiki/index.php?title=Ultra_Sonic_range_measurement_module (дата обращения: 7.11.2014).
8. GP2Y0A21YK0F datasheet. [Электронный ресурс]. URL: http://www.sharpsma.com/webfm_send/1489 (дата обращения: 7.11.2014).

References

1. Devyaterikov E. A., Mikhailov B. B. Algorithm of mobile robot's return to initial point on the basis of visual odometry data // Proceedings of the international scientific and technological conference "Extreme robotics". – Saint-Petersburg: "Politechnika-service", 2014. - 416 pp.
2. Gemuev Sh. Sh., Mikhailov B. B. Developing an algorithm for selection of the mobile robot route // Proceedings of the international scientific and technological conference "Extreme robotics". – Saint-Petersburg: "Politechnika-service", 2014. - 416 pp.
3. Kiy K. I., Seredinskiy M. V. Computer vision system of robot Amur for motion to landmarks // Proceedings of the international scientific and technological conference "Extreme robotics". – Saint-Petersburg: "Politechnika-service", 2014. - 416 pp.
4. Gerasyuto S.L., Prokopovich G.A., Sychov V.A. Building indoor navigation map based on the magnetic field using mobile robot mems sensor // Proceedings of the international scientific and technological conference "Extreme robotics". – Saint-Petersburg: "Politechnika-service", 2014. - 416 pp.
5. ATMEGA2560: 8-bit Microcontroller with 250-Kbytes self-programming Flash Program Memory. Datasheet. 2012. <http://www.atmel.com/Images/doc2549.pdf> [Cited 5.11.2014].
6. Newbie's guide to setting up and using the MultiWii Board. <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/uploads/189478565X846863X3.pdf?aff=321907> [Cited 5.11.2014].
7. Ultra Sonic range measurement module. 2014. http://www.seeedstudio.com/wiki/index.php?title=Ultra_Sonic_range_measurement_module [Cited 7.11.2014].
8. GP2Y0A21YK0F datasheet. 2006. http://www.sharpsma.com/webfm_send/1489. [Cited 7.11.2014].