

УДК 629.7.05

Аппаратное обеспечение системы управления мультироторным беспилотным летательным аппаратом

Васильев И.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Системы автоматического управления»*

Научный руководитель: Чулин Н.А., к.т.н., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru*

Тенденция к увеличению значимости и расширению спектра задач, выполняемых беспилотными летательными аппаратами, в наше время является очевидной. Разнородность возможных применений, однако, создает также и проблему выбора оптимальной конструкции, обладающей наименьшей стоимостью и способной достичь приемлемых результатов при решении конкретной проблемы. Одной из важнейших частей конструкции является вычислительно-управляющих комплекс, обеспечивающий сбор информации о состоянии летательного аппарата, связь с оператором и принятие управляющих решений в реальном времени. Выбор компонентов вычислительно-управляющего комплекса также осложняется наличием различных вариантов компоновки системы и зачастую является нетривиальной задачей, при решении которой может помочь эмпирический опыт, полученный ранее разработчиками систем подобного рода.

Далее при рассмотрении существующих решений и выборе наиболее подходящих компонентов будет считаться, что целью является создание аппаратной платформы, пригодной для проверки алгоритмов стабилизации и траекторного управления мультироторным ЛА. Помимо этого преследуется цель минимизации стоимости такой платформы.

Существующие на данный момент проекты мультикоптеров можно условно разделить на три группы, каждая из которых обладает собственной спецификой:

– проекты, разрабатываемые в учебных и научных учреждениях (MIT ACL, ETH Zurich Flying Machine Arena, University of Pennsylvania GRASP Laboratory), использующие БПЛА в качестве экспериментальных платформ для проверки новых алгоритмов и технических решений;

- открытые проекты, разрабатываемые свободными сообществами разработчиков (Arducopter, Open Pilot);
- коммерческие проекты с проприетарным программным и аппаратным обеспечением (Parrot AR.Drone, DJI Phantom).

В таблице 1 приведены основные компоненты аппаратного обеспечения четырех из указанных выше проектов.

Таблица 1

Элементы аппаратного обеспечения различных проектов мультикоптеров

Название проекта	Инерциальные датчики	Устройства неавтономной навигации	Основное вычислительное устройство	Модуль радиопередачи
Open Pilot Revolution Platform	MPU6050 акселерометр/ гироскоп	MS5611 барометр; HMC5883L магнетометр; NEO6Q GPS датчик	STM32F4	RFM22B
Arducopter APM 2.6	MPU6050 акселерометр/ гироскоп	MS5611 барометр; HMC5883L магнетометр, MT3329 GPS датчик	ATMEGA2560	RFM22B/ Xbee
MIT ACL UberPilot	ITG3200 гироскоп	Система камер Vicon, реализующая технологию захвата движения Vicon	PIC32F	Xbee
ETH Zurich Flying Machine Arena quadrotor	MPU6050 акселерометр/ гироскоп	Система камер Vicon, реализующая технологию захвата движения	NXP LPC2148	LT2510/ LT1110

Из таблицы видно, что в инерциальной навигационной системе лишь одного из рассматриваемых проектов не используется акселерометр. Это свидетельствует о большей надежности систем, в которых используются оба вида инерциальных датчиков.

В третьем столбце указаны устройства, используемые для коррекции данных об угловых координатах летательного аппарата и определения его линейных координат. В качестве источников дополнительной информации об угловом положении ЛА могут служить видеокамеры и магнетометры. Использование видеокамер, однако, неизбежно влечет за собой необходимость использования более мощных и дорогих вычислительных платформ, а также исследования алгоритмов систем компьютерного зрения, поэтому использование магнетометров является предпочтительным.

Можно заметить, что оба из рассматриваемых научно-исследовательских проектов используют специальные, внешние относительно летательного аппарата, системы компьютерного зрения для определения и уточнения его положения в пространстве. Такие

системы, помимо прочего, хороши тем, что позволяют достаточно легко определять координаты не только летательных аппаратов, но и некоторых объектов внешней, относительно аппаратов, среды, и, таким образом, упрощают взаимодействие аппарата с окружением. Существенным недостатком таких систем является их высокая стоимость, что делает невозможным их применение в данном проекте.

Использование систем глобального позиционирования также не выглядит целесообразным, так как они имеют большую погрешность определения местоположения, и, следовательно, не могут быть применены при реализации траекторного управления.

В то время как измерение горизонтальных координат является важным при исследовании траекторного управления и может быть не принято во внимание при разработке базовой системы стабилизации мультикоптера, информация о вертикальной координате имеет критическое значение при реализации основных алгоритмов; это обуславливает жесткую необходимость наличия устройства для определения высоты. Из таблицы видно, что двумя основными вариантами в данном случае является использование вертикально установленных ультразвуковых дальномеров, либо прецизионных датчиков давления. Барометры в данном случае являются более приемлемым решением, так как дальность действия дальномеров ограничена, и, кроме того, на точность их работы значительное влияние оказывают неровности подстилающей поверхности.

Обосновывая выбор в пользу применения акселерометра, гироскопа, магнетометра и барометра, необходимо заметить, что все рассматриваемые датчики являются МЭМС-устройствами и имеют малые габариты и вес, что также положительно влияет на характеристики летательного аппарата. Основными параметрами, применимыми к каждому из указанных МЭМС-датчиков, вне зависимости от природы измеряемой величины, являются следующие:

- Диапазон измерений. В совокупности с разрядностью АЦП этот параметр определяет чувствительность устройства;
- Интерфейс датчика. Наиболее распространены два варианта: аналоговый выход или один из цифровых интерфейсов, обычно SPI или I2C. Считается, что аналоговые устройства более просты в обращении. Сенсоры с цифровыми интерфейсами, в свою очередь, менее подвержены шумам и, как правило, обладают дополнительными особенностями и возможностями;
- Количество осей, по которым измеряется значение величины. Как правило, предпочтительны трехосевые датчики, так как их стоимость незначительно выше

стоимости датчиков с меньшим количеством осей, в то время как они обладают сравнимыми характеристиками точности преобразования;

- Потребляемая мощность. Этот параметр может являться существенным, так как питание электроники осуществляется от батареи;

- Дополнительные возможности. Зачастую датчики позволяют не просто измерять значения некоторых величин, но также предоставляют дополнительные возможности при измерении, такие как выбор диапазона измерений, управление спящим режимом, детектирование свободного падения, выполнение предварительной фильтрации сигнала и другими.

Таблица 2

Характеристики МЭМС-датчиков

Наименование датчика	Диапазон измерений	Чувствительность	Выходной интерфейс	Потребляемый ток
BMA150, акселерометр	$\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$	256/128/64 LSB/g	SPI/I2C	290 мкА
ADXL345, акселерометр	$\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$	256/128/64/32 LSB/g	SPI/I2C	140 мкА
MPU6050, гироскоп /акселерометр	$\pm 250/\pm 500/\pm 1000/\pm 2000$ °/с; $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$	131/65,5/32,8/16,4 LSB/(°/с); 16,4/8,2/4,1/2 LSB/g	SPI/I2C	3,8 мА
ITG3200, гироскоп	$\pm 250/\pm 500/\pm 1000/\pm 2000$ °/с	115,8/57,9/29/14,4 LSB/(°/с)	I2C	6,5 мА
MS5611, барометр	10 – 1200 мбар	72 мкбар/LSB	I2C/SPI	12,5 мкА
HMC5883L, магнетометр	$\pm 0,88 - \pm 8,1$ Гс	1370 – 230 LSB/Гс	I2C	100 мкА

Что касается магнетометра и барометра – их выбор стандартен для большинства летательных аппаратов подобного рода и отражается двумя описанными в приведенной выше таблице устройствами этого рода. Выбор акселерометра и магнетометра подразумевает большее количество возможных вариантов; абсолютное большинство имеющихся на рынке решение имеют, однако, сходные характеристики. Для применения в проекте решено использовать акселерометр ADXL345 и гироскоп ITG3200.

Параметрами микроконтроллера, которые влияют на производительность системы, являются разрядность и тактовая частота. Однако, это влияние неоднозначно, поэтому для оценки производительности вычислительных архитектур проводятся специальные тесты. Из таблицы 1 видно, что при реализации систем стабилизации мультикоптеров предпочтение отдается 32-битным микроконтроллерам, в частности контроллерам с архитектурой ARM (STM32F4, LPC2148), однако с решением данной задачи справляется

и 8-битный контроллер AVR ATmega2560, работающий на частоте 16МГц – эти характеристики можно принять как нижний требуемый предел производительности выбираемого микроконтроллера. Что касается требований к периферии микроконтроллера, то приложение требует наличия цифрового интерфейса передачи данных I2C для работы с датчиками, а также последовательного интерфейса UART для взаимодействия с модулем радиопередачи. Кроме того, микроконтроллера должен иметь четыре вывода таймеров, доступных для работы в режиме ШИМ. Важно отметить, что указанные функции выводов портов не должны пересекаться, так как важна одновременная работа указанных периферийных устройств.

В качестве цифрового устройства управления выбран удовлетворяющий указанным требованиям микроконтроллер STM32F100C6T6. Устройство имеет в своем составе 32 килобайта flash-памяти, 4 килобайта оперативной памяти, 2 интерфейса UART. Ядро микроконтроллера – ARM Cortex-M3. Корпус устройства – LQFP48.

Основной задачей модуля беспроводной связи является обеспечение канала связи между наземной станцией и летательным аппаратом для передачи телеметрических данных, служебной информации о состоянии летательного аппарата и передачи управляющих сигналов.

Таблица 3

Параметры модулей радиосвязи

Название модуля	Дальность действия	Потребляемый ток	Частота передачи	Передаваемая мощность	Скорость передачи
RFM22B	600 м	88 мА @ 3,0 В	433/470/868/915 МГц	100 мВт	256 кб/с
HM-TRP	1 км	100 мА @ 3,3 В	433/470/868/915 МГц	100 мВт	115,2 кб/с
Xbee Pro, Wire Antenna	0,75 км	150 мА @ 3,3 В	2,4 ГГц	10 мВт	250 кб/с
LT2510	4 км	180 мА @ 3,3 В	2,4 ГГц	1 Вт	460,8 кб/с
LT1110	5,1 км	230 мА @ 3,3 В	915 МГц	800 мВт	460,8 кб/с

Параметрами, которые необходимо учесть при выборе модуля беспроводной связи, являются следующие:

- номинальная дальность действия, расстояние в пределах зоны прямой видимости при нормальных погодных условиях, на которое передается сигнал;
- максимальная мощность, потребляемая модулем в ходе передачи радиосигнала;

- частота радиопередачи, определяет интенсивность поглощения сигнала окружающей средой и его склонность к интерференции;
- максимальная мощность передаваемого сигнала;
- скорость передачи данных по радиоканалу.

В таблице 3 приведены параметры модулей беспроводной связи, используемых в рассматриваемых проектах.

Так как для задачи, которые будут решаться при помощи проектируемого летательного аппарата не подразумевают значительного отдаления летательного аппарата от управляющей станции, а требуемая скорость соединения для передачи телеметрических данных и управляющих сигналов также не слишком высока, в качестве модуля беспроводной связи выбран Xbee Pro.

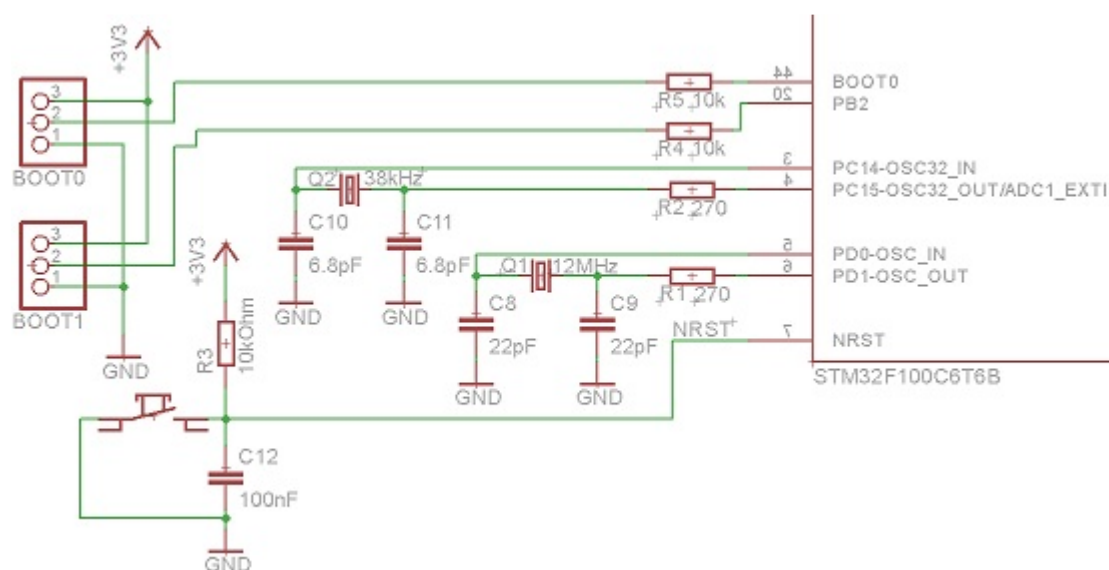


Рис. 1. Схема сброса, тактирования и выбора режима загрузки микроконтроллера

Для выбранных компонентов разработано схемотехническое решение, позволяющее обеспечить их совместную работу. При создании схемотехнического решения рассмотрены такие аспекты как обеспечение возможности питания схемы от различных источников с разным уровнем напряжения, тактирование и выбор режима загрузки памяти микроконтроллера, обеспечение взаимодействия между элементами схемы при помощи цифровых интерфейсов, загрузка и отладка программного обеспечения микроконтроллера через интерфейс внутрисхемной отладки JTAG.

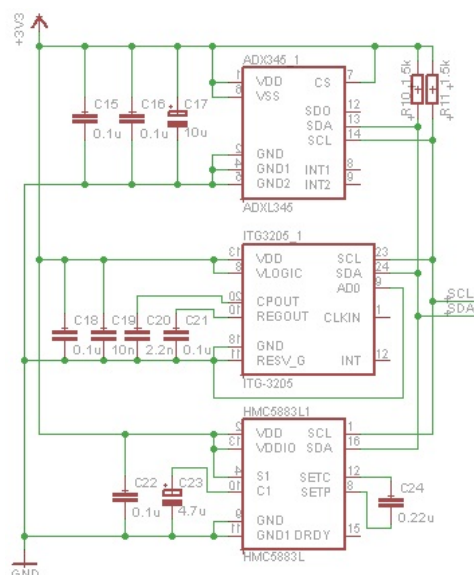


Рис. 2. Подключение блока инерциальных датчиков

Произведенная процедура выбора позволяет быть уверенным в том, что выбранные компоненты обладают приемлемыми характеристиками, и комплектуемый ими летательный аппарат может являться пригодным к полету. Разработанное схемотехническое решение дает возможность приступить к дальнейшим работам по исследованию алгоритмов управления мультироторным летательным аппаратом и их реализации.

Список литературы

1. Mark Johnson Cutler. Design and Control of an Autonomous Variable-Pitch Quadrotor Helicopter. Massachusetts Institute of Technology, 2012. Available at: http://acl.mit.edu/papers/Cutler_Masters12.pdf, accessed 10.03.2014.
2. Lupashin S. A platform for aerial robotics research and demonstration: The Flying Machine Arena. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechatronics>, accessed 10.03.2014.
3. Analog Devices. ADXL345 3-axes digital accelerometer datasheet. Available at: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL345.pdf, accessed 10.03.2014.
4. InvenSense Inc. ITG-3200 Product Specification. Available at: <http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-ITG-3200A.pdf>, accessed 10.03.2014.
5. Honeywell. 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L product information. Available at: <http://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/29133-HMC5883L-3-Axis-Digital-Compass-IC-Datasheet.pdf>, accessed 10.03.2014.