

УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ ПО РАДИОКАНАЛУ. ПРОТОКОЛ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ DSMX

Жидомиров И. Ф.¹

*(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)*

Повсеместная автоматизация и роботизация привела к широкому распространению малогабаритных летающих аппаратов самого разного назначения. Существует множество способов и каналов управления беспилотными летательными аппаратами, в данном докладе рассматривается один из них, а именно, по радиоканалу с использованием протокола DSMX. Структура доклада состоит из общего описания принципов радиоуправления, рассмотрения типов управляющих сигналов и форматов протокольных единиц.

Ключевые слова: дистанционное управление, квадрокоптер, протокол DSMX.

1. Введение

В настоящее время существует проблема использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, разг. дронов, беспилотников) армиями многих государств и террористическими организациями для разведки, связи с боевыми подразделениями, наведения огня артиллерии и бомбардировки. Те же самые функции могут выполнять и их упрощенные гражданские варианты – квадрокоптеры. Главными преимуществами БПЛА являются отсутствие экипажа на борту, высокая скорость полета, малая заметность для небольших моделей. В связи с этим необходимо разрабатывать методы борьбы с такими БПЛА.

Малые БПЛА представляют особую опасность, так как свободно продаются на рынке, просты в управлении и программировании для широкого круга задач. Технические характеристики военных БПЛА засекречены, их изучение сильно затруднено, однако основные принципы, заложенные в основу работы

¹ Иван Федорович Жидомиров, аспирант (*enegazer@yandex.ru*).

простейших квадрокоптеров, применяются в более сложных моделях.

Управление БПЛА осуществляется по радиоканалу. В общем случае аппаратура радиопередачи состоит из пульта управления (передатчика) и приемника (рис. 1).

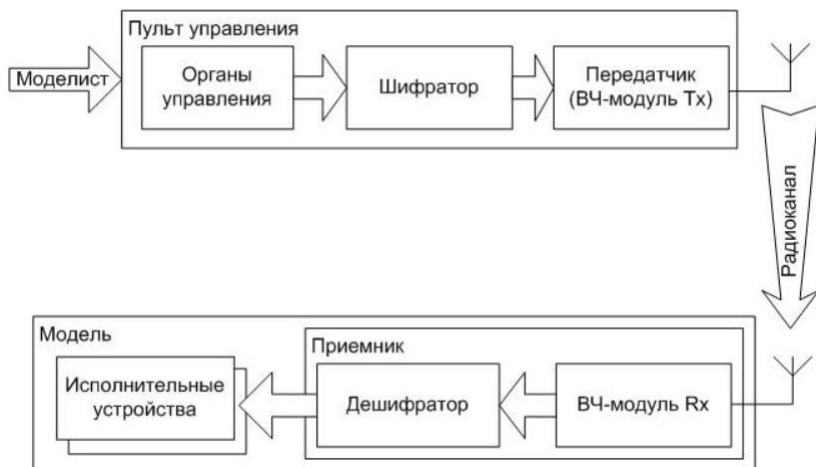


Рис. 1. Функциональная схема системы радиопередачи

Основные параметры – протокол передачи сигналов управления и количество каналов управления.

Рабочие частоты: 2,4 ГГц – самая распространенная частота, а частоты 40 МГц и 72 МГц используются для дальних полетов с передачей видеоизображения по технологии FPV (first person view, «своими глазами»), так как их сигналы меньше подвержены затуханию в атмосфере.

Для управления квадрокоптером используются по меньшей мере четыре канала для передачи команд, которые воздействуют на следующие параметры полёта:

- общий газ (throttle);
- тангаж («вперед – назад», pitch);
- крен («вправо – влево», roll);
- рыскание («вращение в плоскости полета», yaw).

Пульт радиуправления состоит из органов управления, с помощью которых образуются аналоговые или дискретные сигналы (так называемые стики, кнопки, переключатели и т.д.), микроконтроллера, радиопередающей части, дисплея и батареи питания (рис. 2).

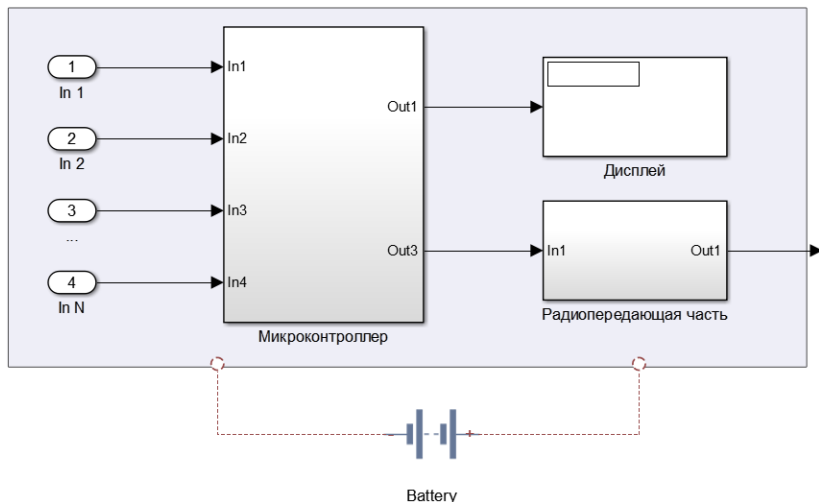


Рис. 2. Структурная схема пульта радиуправления

2. Типы сигналов, применяемые в аппаратуре радиуправления

При формировании импульсных сигналов управления в основном используются стандартные виды модуляций: широтно-импульсная (ШИМ, PWM), фазоимпульсная (ФИМ, PPM), импульсно-кодовая (ИКМ, PCM).

Протоколы передачи сигналов управления по радиоканалу чаще создаются самими производителями пультов управления. Это такие протоколы, как D8, D16, LR12 фирмы FrSky, DSM, DSM2, DSMX фирмы Spektrum, Flysky, A-FHSS – Hitec, FASST – Futaba, Hi-Sky – Deviation. Среди прочих можно выделить закрытые стандарты передачи данных, например, SBUS,

IBUS, XBUS, MSP, SUMD, SUMH, которые основаны на использовании вышеперечисленных типов сигналов.

Значительная часть современных квадрокоптеров использует для связи с пультами дистанционного управления протокол DSMX компании Spektrum (Horizon Hobby) или устаревшие версии: DSM2 и DSM. DSMX поддерживается пультами компаний JR и Spektrum нижнего ценового диапазона и приёмником OrangeRx (универсальный приемник, особенность которого заключается в открытом ПО, дающем неограниченные возможности в самостоятельном программировании устройства и выборе рабочего канала). Для понимания работы протокола DSMX, важно проследить его последовательное развитие из протоколов DSM и DSM2 (таблица 1).

Таблица 1. Протоколы управления БПЛА

Производитель	Название технологии	Ширина одного канала DSSS	Число частот FHSS
Futaba	FHSS	10 кГц	74
Futaba	FASST	1,6 МГц	26
Spektrum/JR	DSM	1 МГц	1
Spektrum/JR	DSM2	1 МГц	2
Spektrum/JR	DSMX	1 МГц	23
JR	DMSS	3 МГц	23, предположительно
HiTec	AFHSS	1 МГц	20
Turnigy	V1	1 МГц	1
Turnigy	V2	1 МГц	16
Airtronics	FHSS-x	1 МГц	15
Wi-Fi	–	22 МГц	1

Протокол DSM (Digital Spectrum Modulation) использует один из 79 каналов связи, отстоящих друг от друга на 1 МГц, из диапазона частот 2400 – 2483,5 МГц.

Передатчик при включении находит свободный канал и «привязывается» к нему – процесс биндинга (binding – организация сеанса связи): отправляет на приемник глобальный уникальный идентификатор GUID (Globally Unique Identification Number), приемник получает его и запоминает, производя

привязку к каналу на той же частоте. Связь работает на расстояниях до 900 м.

Протокол DSM2 использует два канала для уменьшения влияния помех. В стандарт добавлено расширение спектра методом прямой последовательности DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), при котором информационные символы в сигнале перекодируются на основании GUID, а спектр сигнала расширяется. DSSS позволяет увеличить расстояние связи пульта с приемником. Если один канал подавляется помехой, то второй продолжает работать.

В протоколе DSMX добавили расширение спектра методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты FHSS (Frequency-hopping Spread Spectrum). Сигнал скачкообразно перестраивает несущую частоту по сетке, организованной в соответствии с GUID. Частота перестраивается по 23 каналам в диапазоне 2400 – 2483,5 МГц. Каналы разносятся на 1 МГц. Перестройка приемной и передающей аппаратуры может занять несколько миллисекунд.

3. Формат протокольных единиц данных

Во время установления соединения между пультом управления и приёмником определяется протокол, а значит, и формат данных.

Единицей данных в протоколе DSMX является пакет, состоящий из 16 байт, или 8 информационных слов. Информационное слово – 2 байта. В первом слове каждого пакета (рис. 3, обозначено FL) содержится информация о числе потерянных кадров, остальные 7 слов в пакете предназначены для передачи команд для отдельных каналов управления и пронумерованы D1 – D7.

Перед отправкой пакеты укладываются в кадры. Кадр соответствует одному пакету, если для управления квадрокоптером достаточно 7 каналов. Если используется больше 7 каналов управления, кадр будет состоять из двух 16-байтных пакетов (см. рис. 3). Период следования пакетов устанавливается равным 11 мс в протоколе DSMX и 22 мс в протоколе DSM2.

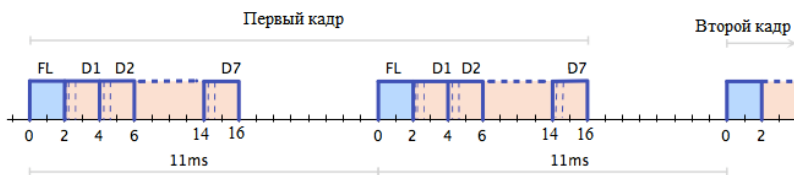


Рис. 3. Структура 32-байтного кадра в протоколе DSMX

В состав 16-битных информационных слов входят поля «номер канала» (Channel ID), «значение канала» (Channel value) и сигнальный бит (рис. 4).

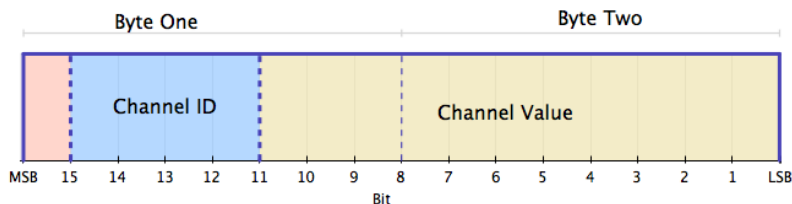


Рис. 4. Структура 16-битного слова в протоколе DSMX

Поле «значение канала» содержит управляющую информацию и занимает 10 младших битов в слове при разрядности цифрового управляющего сигнала 1024 или 11 битов при разрядности 2048.

Поле «номер канала» занимает следующие 3 или 4 бита.

Старший бит слова установлен в ноль, за исключением случая, когда слово является запасным и не несет управляющей информации.

Протокол предусматривает, что в кадре управляющая информация для отдельного канала заложена лишь в одном слове, поэтому возможна ситуация, когда остаются запасные слова. Запасные слова состоят из одних логических единиц (0xFFFF). В протоколе DSM2 с разрядностью 2048 некоторые слова могут повторяться во втором пакете кадра.

Управляющая информация для каждого канала укладывается в пакеты в строгом порядке, определяемом производителем аппаратуры. Например, каналы в аппаратуре компании Spektrum определены следующим образом: D1 – общий газ (Throttle), D2 – крен (Aileron), D3 – высота (Elevator), D4 – руль (Rudder), D5 – привод (Gear), D6-D8 – дополнительные (Auxiliary).

В аппаратуре компании Futaba каналы идут в ином порядке. Данные отправляются в канал связи на скорости 125 кбит/с по схеме 8N1: 8 информационных бит передаются без проверки на четность (по parity), за которыми следует 1 остановочный бит.

Управление квадрокоптером осуществляется при помощи полетного контроллера. Сигналы с приемника поступают на контроллер и обрабатываются им. Извлеченная из пакетов управляющая информация подается на механизмы квадрокоптера в виде импульсов с ШИМ-модуляцией.

В большинстве квадрокоптеров стоят контроллеры, например, Crius, MultiWii, Arduino Mega, в прошивках которых используется открытый программный код на базе проекта Arduino. Прошивка позволяет загрузить на квадрокоптер любую программу. Это одновременно является и преимуществом, и недостатком, которым может воспользоваться третье лицо.

Популярные прошивки: MegaPirateNG, ArduCopterNG, ArduPlaneNG, MultiWii.

На квадрокоптере может устанавливаться и передающее устройство для обратной связи с пультом управления: передача измерений температуры, крена, скорости полета, координат и передача видео. Также на квадрокоптере ведется подсчет интервалов времени в 11 мс, в которые не принимаются пакеты. При следующем приёме пакета, это число передается на пульт управления. Так проводится проверка на потерю пакета.

При внезапном пропадании управляющего сигнала вследствие достижения предельной дальности между передатчиком и приемником, воздействия эфирной помехи или поломки аппаратуры, когда потери пакетов повторяются, срабатывает защита от неисправностей – функция failsafe, либо исполняются последние принятые команды. Функция failsafe задаётся владельцем аппа-

ратуры и может активировать любой порядок действий квадрокоптера.

Литература

1. ЯЦЕНКОВ В.С. *Твой первый квадрокоптер: теория и практика* / Под ред. Е. Кондукова. – 2016.
2. *Specification for Spektrum Remote Receiver Interfacing* / Privileged and confidential property of horizon hobby. – 2016.
3. *Сложно ли угнать коптер.* – URL: <https://geektimes.ru/post/281934> (дата обращения: 14.11.2017).
4. *DSM2/DSMX Remote Receiver Protocol.* – URL: https://pixhawk.org/_media/dev/dsm2_dsm_x_protocol.pdf (дата обращения: 19.11.2017).
5. *RC Spread Spectrum Demystified.* – URL: <https://www.rchelicopterfun.com/RC-Spread-Spectrum.html> (дата обращения: 19.11.2017).

QUADROCOPTER CONTROL BY TO THE RADIO CHANNEL. DSMX REMOTE CONTROL PROTOCOL

Ivan Zhidomirov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, PhD student (enegazer@yandex.ru).

Widespread automation and robotization has led to a wide spread of small-sized flying vehicles of various purposes. There are many ways and channels for controlling unmanned aerial vehicles, this report discusses one of them, namely, via a radio channel using the DSMX protocol. The structure of the report consists of a general description of the principles of radio control, consideration of the types of control signals and formats of protocol units.

Keywords: remote control, quadcopter, DSMX protocol.

УДК 621.3
ББК 32.968.9