

В. О. Семенец, М. П. Трухин

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ

V. O. Semenets, M. P. Trukhin

GENERAL PARAMETERS OF CONTROL SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

Аннотация. Сегодня на рынке большое количество различных систем управления беспилотными летательными аппаратами, они доступны для потребителя в любом ценовом сегменте. Нашей задачей будет рассмотреть основные типы систем в различных ценовых сегментах и сравнить их, выделить главные протоколы взаимодействия между станцией и летательным аппаратом, а также провести эксперимент с реальной станцией радиоуправления и замерить основные параметры сигнала.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, система управления беспилотным летательным аппаратом, параметры сигнала, сравнение станций радиосвязи.

Abstract. Today the market has a large number of different control systems for unmanned aerial vehicles, they are available to the consumer in any price segment. Our task will be to consider the main types of systems in different price segments and compare them, as well as to highlight the main protocols of interaction between the station and the aircraft, as well as to conduct an experiment with a real radio control station and to stop the main signal parameters.

Key words: unmanned aerial vehicle, control system of an unmanned aerial vehicle, signal parameters, comparison of radio communication stations.

Общий принцип взаимодействия между станцией управления и беспилотным аппаратом и сравнение различных типов станций

Чтобы разработать эффективную систему радиопротиводействия беспилотным летательным аппаратам, необходимо определить основные типы систем радиосвязи между оператором и беспилотным аппаратом [1, 2].

Для начала приведем базовую схему управления беспилотным летательным аппаратом (рис. 1).

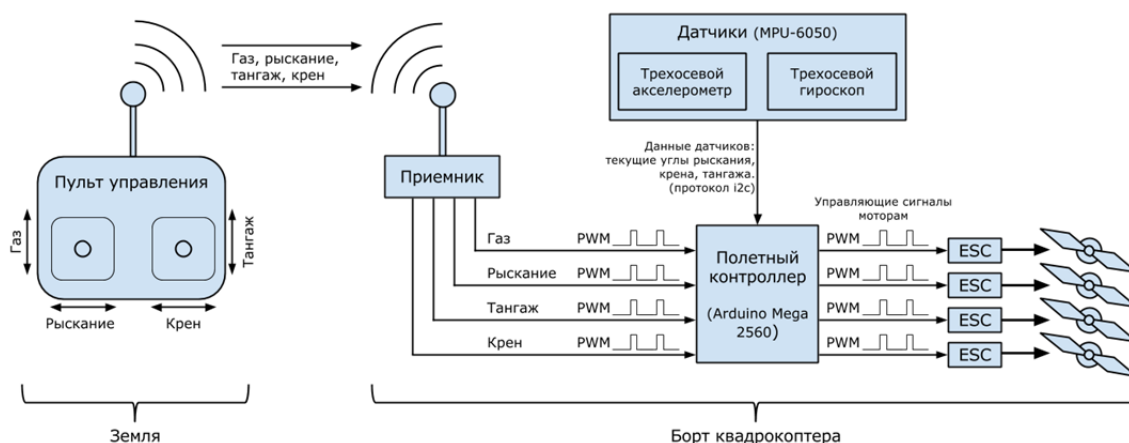


Рис. 1. Типовая схема управления беспилотным летательным аппаратом

Протокол связи между регулятором и непосредственно мотором не имеет значения, так как способов взаимодействия на него извне мы не имеем. Ключевую роль играет протокол общения между полетным контроллером и регулятором, так как на данном этапе происходит программное управление последним.

Самые распространенные типы регуляторов управляются сигналом прямоугольной формы с минимальным значением 0 В и максимальным в 3,5 В и имеют ШИМ или PWM модуляцию.

Для того чтобы передать мотору команду вращаться, необходимо передавать команды с интервалом 2 мс с логическим нулем, общей длительностью от десяти до двадцати миллисекунд. Чтобы остановить мотор, необходимо снизить длительность импульса до 1 мс. Соответственно, чтобы заставить мотор вращаться со средней скоростью, необходимо задать интервал в 1,5 мс, а если задать интервал в 1,7 мс, то мотор будет работать на 70 % мощности.

Длительность нуля не играет роли, важны параметры самого импульса. Мы рассмотрели идеальные условия и параметры управления. Фактически оборудование и комплектующие имеют свои погрешности, и на практике различие в 0,1 – нормальное явление. Отсюда следует то, что для калибровки данных значений проектируются определенные фильтры и защитные алгоритмы, которые в свою очередь имеют свои уязвимости.

По такому алгоритму взаимодействия работают практически все беспилотные летательные аппараты.

Теперь рассмотрим несколько примеров распространенных систем дистанционного управления летательным аппаратом и выделим основные различия между ними. Для наглядности возьмем бюджетный вариант, средний ценовой диапазон и профессиональное оборудование.

Станция управления в минимальном ценовом сегменте

Хорошим примером такой системы является пульт Futaba 6EX. Это 4-канальный пульт. Совместим с моделями БПЛА, такими как самолеты, малогабаритные вертолеты, предназначенные для начинающих пилотов. Такие системы имеют невысокую стоимость и доступны для массового потребителя [3, 4].

Основные характеристики:

- четыре канала связи;
- оснащен разъемом для подключения к всевозможным симуляторам (PPM);
- передатчик 3PM-FM;
- приемник R153F;
- помехозащищенный протокол DSSS;
- время отклика 3 мс, в среднем у аппаратур 20 мс;
- дальность действия 900 м по земле, более 1500 м по воздуху;
- 4096 точек на каждом канале;
- частота 2,4 ГГц.

Станция управления в среднем ценовом сегменте

Хорошим примером такой системы является пульт Futaba 14SG. Это 14-канальный пульт. Совместим с моделями БПЛА, такими как самолеты, малогабаритные вертолеты, предназначенные для опытных пилотов. Такие системы имеют невысокую стоимость и доступны для массового потребителя.

Основные характеристики:

- 14 каналов связи;
- оснащен разъемом для подключения к всевозможным симуляторам (PPM);
- передатчик T14SG;
- приемник R7008SB, он поддерживает последние технологии S.BUS2 и сервы High Voltage;
- помехозащищенный протокол DSSS;
- совместима с системами, использующими протоколы FASSTest, FASST и S-FHSS. Телеметрия FASSTest;
- время отклика 3 мс, в среднем у аппаратуры 20 мс;
- дальность действия не превышает 1500 м;
- 4096 точек на каждом канале;

- частота 2,4 ГГц;
- пульт также имеет универсальную «внутреннюю память». Она может хранить не только данные о моделях и настройках, но и использоваться для хранения файлов звуков и изображений.

Станция управления в высоком ценовом сегменте

Хорошим примером такой системы является пульт Futaba 18MG. Это 18-канальный пульт. Совместим с моделями БПЛА, такими как самолеты, малогабаритные вертолеты, предназначенные для профессиональных пилотов. Такие системы имеют высокую стоимость и недоступны для массового потребителя, но могут приобретаться подготовленными командами [5].

Основные характеристики:

- 18 каналов связи;
- оснащен разъемом для подключения к всевозможным симуляторам (PPM);
- передатчик Futaba 18MZ;
- приемник R7008SB, он поддерживает последние технологии S.BUS2 и сервы High Voltage;
- помехозащищенный протокол DSSS;
- система совместима с системами, использующими протоколы **FASSTest**, **FASST** и **S-FHSS**.

Телеметрия FASSTest;

- время отклика 3 мс, в среднем у аппаратуры 20 мс;
- дальность действия не превышает 1500 м;
- 4096 точек на каждом канале;
- частота 2,4 ГГц;
- может менять частоту сотню раз в секунду, что позволяет найти максимально подходящую для бесперебойного управления частоту;
- предупреждение ошибки. Система FASST способна сканировать всю полученную информацию и самостоятельно исправлять всевозможные ошибки системы, обеспечивая тем самым надежную связь с моделью;
- поддерживает протоколы S-FHSS и FASST.

Как мы видим из примеров выше, приведенные системы отличаются в основном числом каналов, что позволяет управлять аппаратом с большим числом функциональных модулей и «обвесов», а также качеством защиты каналов связи. Все остальные параметры у них схожи, в том числе и протоколы связи.

Отсюда можно сделать вывод, что если получится составить список основных протоколов связи между станцией и БПЛА, а также выделить основные параметры сигнала и разработать способ противодействия, применимый к ним, то мы получим довольно универсальную систему противодействия гражданским беспилотным аппаратам.

Далее рассмотрим основные протоколы, на которых могут работать данные системы связи.

Основные протоколы связи в системах дистанционного управления

В большинстве моделей приемников используются одни и те же протоколы связи, а именно:

- PWM (универсальный);
- PPM (универсальный);
- PCM (универсальный);
- SBUS (Futaba, Frsky);
- IBUS (Flysky);
- XBUS (JR);
- MSP (Multiwii);
- SUMD (Graupner);
- SUMH (Graupner).

Среди них есть универсальные протоколы, а также запатентованные, защищенные протоколы от компаний производителей, точные характеристики которых отсутствуют в общем доступе и являются конфиденциальной информацией.

Протоколы, используемые в передатчиках, часто реализованы только одним брендом. Некоторые бренды позволяют использовать несколько протоколов, в зависимости от имеющихся у вас приемников, примеры:

- D8 (Frsky);
- D16 (Frsky);
- LR12 (Frsky);
- DSM (Spektrum);
- DSM2 (Spektrum);
- DSMX (Spektrum);
- Flysky;
- A-FHSS (Hitec);
- FASST (Futaba);
- Hi-Sky (Deviation).

Частотные диапазоны и параметры сигнала

Рассматривая ряд беспилотных аппаратов и систем управления, было выявлено, что наиболее распространенная частота в 2,4 ГГц, именно на этой частоте функционирует большинство систем. Как мы знаем, на этой же частоте работает и Wi-fi. Поэтому на рынке существует довольно много моделей беспилотных аппаратов, осуществляющих связь именно посредством данной технологии. Но ее применение имеет ряд минусов, а именно: небольшую дальность полета и довольно низкие показатели безопасности, что явно не может удовлетворять показателям качества во многих ситуациях применения беспилотных аппаратов [6].

Поэтому был проведен небольшой эксперимент, чтобы на практике проверить рабочие частоты системы.

В эксперименте участвовала система в минимальном ценовом диапазоне, а именно: станция управления HiTec Laser 4 (рис. 2) и беспилотный летательный аппарат самолетного типа с одним двигателем и аккумуляторной батареей 1500 mA.



Рис. 2. Система управления HiTec Laser 4

В лаборатории на кафедре Уральского федерального университета нами был измерен радиосигнал, излучаемый данной станцией, и выявлены основные рабочие частоты. На станции была установлена опция «автоматическое переключение частот», поэтому станция сама выбирала, в каком частотном диапазоне ей вести работу в зависимости от условий.

В эксперименте станция начала работать на частоте 72 МГц, в процессе, когда создавались различные преграды для прохождения сигнала, она автоматически переключалась на частоту 2,4 ГГц, и наконец, в идеальных условиях прохождения сигнала она продолжила свою работу на частоте 40 МГц, что продемонстрировано на рис. 3.

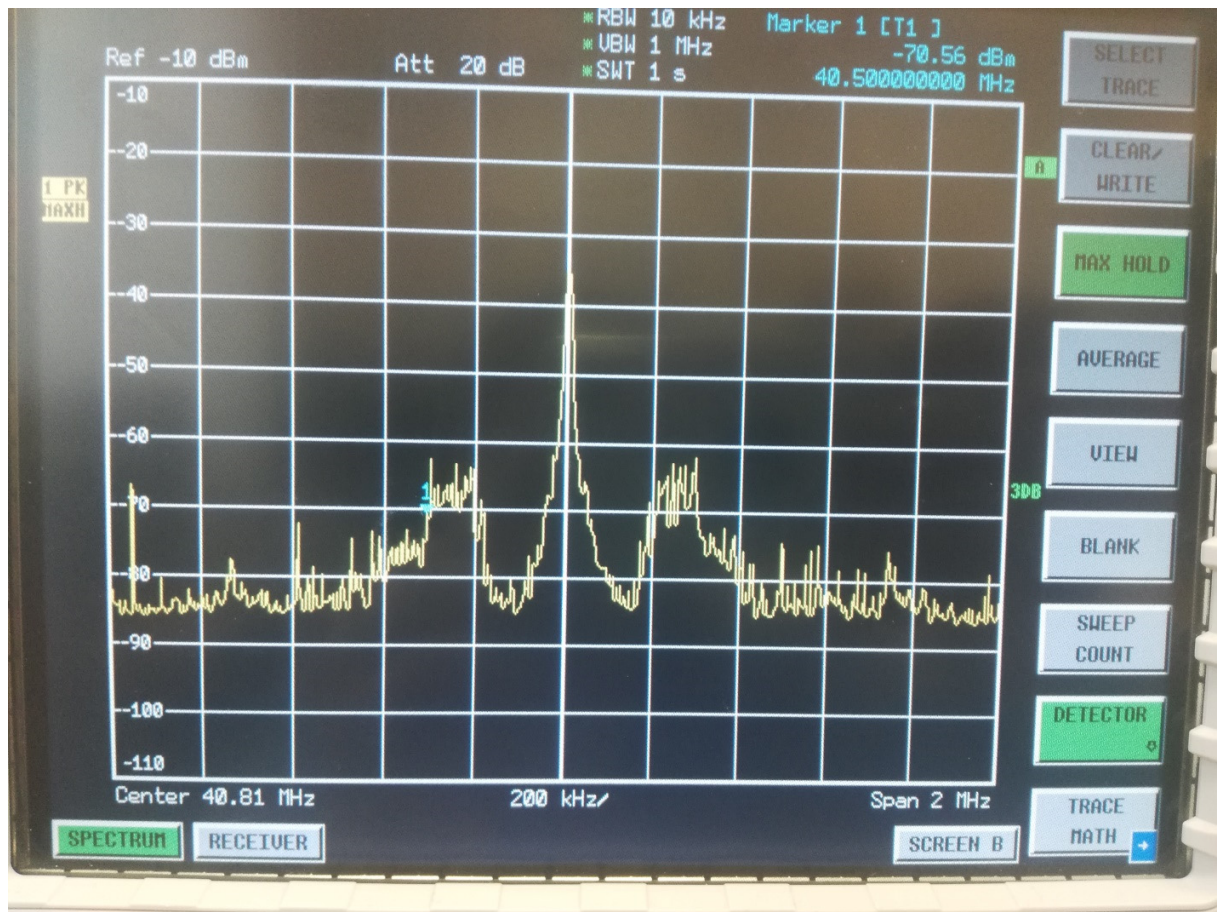


Рис. 3. Экспериментальные измерения рабочих частот

Как мы видим, полученный сигнал был в диапазоне частот от 40 до 42 МГц, имел затухание в районе 70 dBm [7, 8].

Работа именно в данных частотах позволяет беспилотным аппаратам взаимодействовать со станцией на довольно больших расстояниях. Частота 2,4 ГГц не позволит достичь данного результата.

Данный эксперимент не может считаться эталонным, однако позволяет выявить основные параметры сигнала при различных условиях и в дальнейшем позволит разработать систему радиопротиводействия основным типам БПЛА [9, 10].

Библиографический список

1. Тимоти, У. М. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / У. М. Тимоти, У. Б. Рэндал. – М. : Техносфера, 2016. – 312 с.
2. Тищенко, М. А. Вертолеты. Машиностроение / М. А. Тищенко, А. С. Некрасов. – М. : Машиностроение, 1976. 366 с.
3. Красильщикова, М. Н. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / М. Н. Красильщикова, Г. Г. Себрякова. – М. : Физматлит, 2009. – 556 с.
4. *Bespilotnyj letatel'nyj apparat [Unmanned aerial vehicle]*. – URL: <http://www.tadviser.ru/index.php> (date of access 12.11.2017). (In Russian)
5. Ким, Н. В. Групповое применение беспилотного летательного аппарата в задачах наблюдения / Н. В. Ким, И. Г. Крылов // Труды МАИ. – 2016. – № 62. – С. 63–68.
6. Соловьев, В. А. Управление космическими полетами / В. А. Соловьев, Л. Н. Лысенко, В. Е. Любинский ; под ред. Л. Н. Лысенко. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – Т. 2. – 426 с.
7. Белов, Л. А. Устройства формирования СВЧ-сигналов и их компоненты / Л. А. Белов. – М. : Изд. дом МЭИ, 2010. – 320 с.
8. Гвоздев, В. И. Объемные интегральные схемы СВЧ / В. И. Гвоздев, В. И. Нефедов. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 256 с.

9. Пименов, А. И. Механизмы управления в радиоаппаратуре / А. И. Пименов. – М. : Энергия, 1966. – 168 с.
10. Бойко, А. Привязные беспилотники / А. Бойко. – URL: <http://robotrends.ru/robopedia/privyaznye-besplotniki> (дата обращения 28.11.2017).

References

1. Timoti U. M., Rendal U. B. *Malye bespilotnye letatelnye apparaty: teoriya i praktika* [Small unmanned aerial vehicles: theory and practice]. Moscow: Tehnosfera, 2016, 312 p.
2. Tishhenko M. A., Nekrasov A. S. *Vertolety. Mashinostroenie* [Helicopters. Mechanical engineering]. Moscow: Mashinostroenie, 1976, 312 p.
3. Krasilshhikova M. N., Sebyakova G. G. *Sovremennye informacionnye tehnologii v zadachah navigacii i navedenija bespilotnyh manevrennyh letatelnyh apparatov* [Modern information technologies in the tasks of navigation and guidance of unmanned maneuverable aircraft]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 556 p.
4. *Bespilotnyj letatel'nyj apparat* [Unmanned aerial vehicle]. Available at: <http://www.tadviser.ru/index.php> (accessed Nov. 12, 2017).
5. Kim N. V., Krylov I. G. *Trudy MAI* [Proc. of the MAI]. 2016, no. 62.
6. Solov'ev V. A., Lysenko L. N., Lyubinskiy V. E. *Upravlenie kosmicheskimi poletami* [Space flight control]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 2010, vol. 2, 426 p.
7. Belov L. A. *Ustrojstva formirovaniya SVCh-signalov i ih komponenty* [Devices for the formation of microwave signals and their components]. Moscow: Izdatel'skij dom MEI, 2010.
8. Gvozdev V. I., Nefedov V. I. *Obemnye integralnye shemy SVCh* [Volumetric integrated circuits of microwave]. Moscow: Nauka. Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1985, 256 p.
9. Pimenov A. I. *Mehanizmy upravleniya v radioapparature* [Control mechanisms in radio equipment]. Moscow: Energiya, 1985, 168 p.
10. Bojko A. *Privyaznye besplotniki* [Docked UAVs]. Available at: <http://robotrends.ru/robopedia/privyaznye-besplotniki> (accessed Nov. 28, 2017).

Семенец Вячеслав Олегович

аспирант,
Уральский институт связи и информатики
(620109, Россия, г. Екатеринбург, ул. Репина, 15)
E-mail: sublane@mail.ru

Трухин Михаил Павлович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра общепрофессиональных дисциплин
технических специальностей,
Уральский институт связи и информатики
(620109, Россия, г. Екатеринбург, ул. Репина, 15)
E-mail: mptru@mail.ru

Semenets Vyacheslav Olegovich

postgraduate student,
Ural Institute of Communications and Informatics
(620109, 15 Repin street, Ekaterinburg, Russia)

Trukhin Mikhail Pavlovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of general professional disciplines
of technical specialties,
Ural Institute of Communications and Informatics
(620109, 15 Repin street, Ekaterinburg, Russia)

УДК 681.513.3**Семенец, В. О.**

Основные параметры систем управления беспилотными аппаратами / В. О. Семенец, М. П. Трухин // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 65–70. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-3-9.