

Санкт-Петербургский государственный университет

Программная инженерия

Дулетов Дмитрий Евгеньевич

Разработка режима сменяемой частоты для системы радиуправления ExpressLRS

Отчёт о прохождении учебной (проектно-технологической) практики

Научный руководитель:
д.ф.-м.н., профессор кафедры СП О.Н. Граничин

Рецензент:

Санкт-Петербург
2023

Оглавление

1. Введение	3
2. Постановка задачи	4
3. Обзор	5
4. Реализация	7
5. Эксперименты	10
6. Заключение	11
Список литературы	12

1. Введение

В современном мире набирает популярность использование автономных летательных аппаратов. БПЛА (Беспилотные Летательные Аппараты) либо могут управляться с земли, либо вообще не управляются человеком. Это позволяет сделать их меньше, а их манёвренность больше. Разные виды ”коптеров” используются сейчас во многих отраслях, таких как доставка грузов в труднодоступные места, поисково-спасательные операции, разведка и создание 3D-карт.

Для многих подобных летательных аппаратов важна быстрая и стабильная радиосвязь. Она может использоваться для управления через пульт человеком или для связи дронов между собой. В любом случае для этого используются специальные модули передатчика, отвечающие за отправку и приём сигнала. Одной из самых популярных систем радиоуправления на данный момент является ExpressLRS. ExpressLRS позволяет прошивать модули многих производителей, так как в качестве управляющих контроллеров поддерживаются чипы ESP и STM32.

Система ExpressLRS позволяет при прошивке выбрать одну из пяти доступных частот, однако для связи иногда может потребоваться другие диапазоны или смена частоты может быть нужна по ходу работы устройства. Разработке сменяемой частоты для ExpressLRS и посвящена эта работа.

2. Постановка задачи

Целью работы является разработка режима сменяемой частоты для системы радиуправления ExpressLRS.

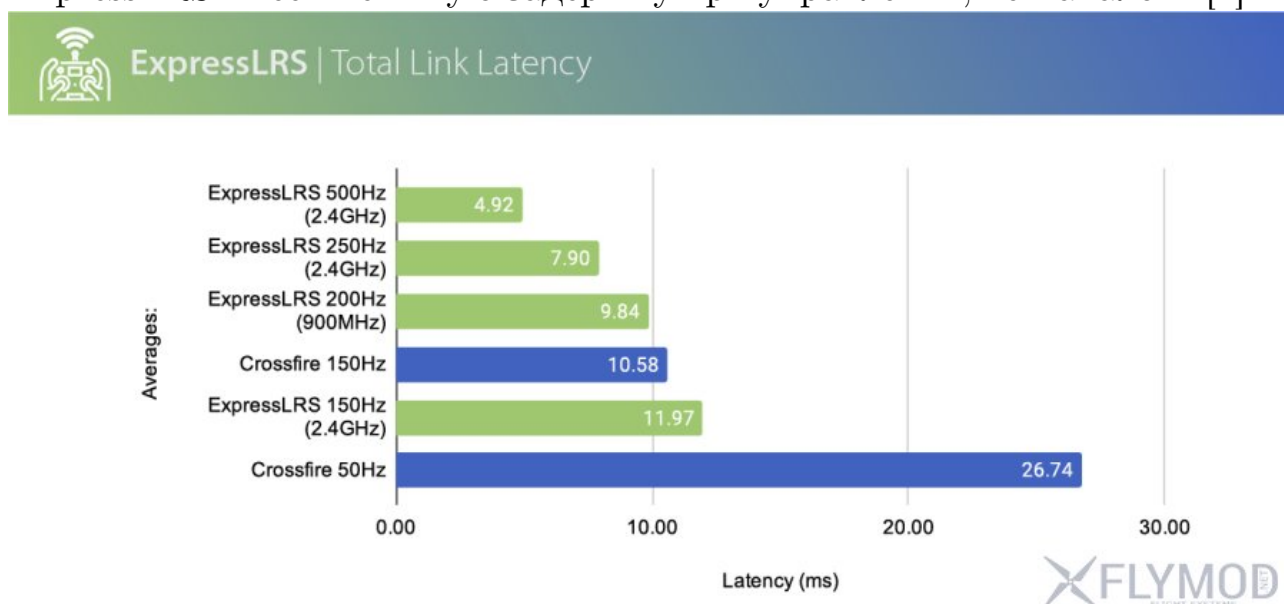
Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследование программного кода системы ExpressLRS.
2. Разработка режима сменяемой частоты.
3. Редактирование lua-скрипта аппаратуры управления для режима.
4. Прошивка модулей и экспериментальная проверка режима.

3. Обзор

Управление дронами обычно производится при помощи аппаратуры радиоуправления - устройства, преобразующего положение стиков в управляющий сигнал. Обычно команды передаются на радиопередатчик (transmitter, tx), который преобразует их в определённый протокол передачи данных. Затем при помощи радиоволн эти команды передаются на радиоприёмник (receiver, rx), который передаёт их на полётный контроллер.

Немаловажной частью эффективности управления дроном является радио система, отвечающая за протокол передачи данных. На данный момент среди таких систем встречаются TBS Crossfire, ELRS, TBS Tracer, IMMERSION RC GHOST [?]. Среди них только ELRS является системой с открытым кодом, при этом по заявленным данным ExpressLRS имеет меньшую задержку при управлении, чем аналоги [2].



Работа с устройством при помощи ELRS происходит в несколько этапов. Сначала под конкретную модель генерируется прошивка при помощи приложения ELRS Configurator. Возможна генерация из исходников с сервера или при помощи локального образа. Затем эта прошивка устанавливается на конечное оборудование посредством Wi-Fi или UART. После этого генерируется lua-скрипт, который устанавливается в аппаратуру управления под системы OpenTX или EdgeTX. При за-

пуске устройства запускается lua-скрипт, который позволяет непосредственно управлять настройками ELRS и отслеживать информацию, получаемую от радиоприёмника.

В оригинальной версии ExpressLRS частота выбирается при генерации прошивки и не может быть изменена при работе устройства, что накладывает ограничения на работу с БПЛА в зонах с большими помехами.

4. Реализация

Для передачи сигнала в ELRS используется псевдослучайная перестройка рабочей частоты. Метод заключается в том, что до начала работы создаётся матрица с временными отметками и частотами, на которые переходят передатчик и приёмник в этих отметках. Такой способ смены частот позволяет добиться хорошего уровня помехоустойчивости [3]. В ELRS данный метод реализован в функции `FHSSrandomiseFHSSsequence` который считывает текущий домен, выставляет значение частоты в соответствии с ним и генерирует псевдослучайную матрицу переходов. Введение редактируемой частоты повлекло за собой изменение этого модуля и добавления функции `CustomFHSSrandomiseFHSSsequence`. Она принимает на вход четыре аргумента - `seed`, `freq_start`, `freq_stop` и `freq_count`. Эти значения являются минимальной и максимальной допустимой частотой и сеткой - количеством необходимых каналов на этом промежутке. После этого генерация матрицы переходов происходит таким же образом, как в методе `FHSSrandomiseFHSSsequence`.

В оригинальной программе модуль `FHSS` вызывался один раз при инициации системы. После добавления смены режима возникла необходимость вызывать этот метод каждый раз после сохранения настроек, что было реализовано при помощи изменения модулей управления передатчиком и приёмником. В модулях `rx_main` и `tx_main` в главной функции `loop` проверяются были ли изменены настройки частоты, и если произошли изменения вызывают метод `CustomFHSSrandomiseFHSSsequence` для изменения частоты непосредственно внутри драйвера.

Также для управления частотой были добавлены новые пункты управления в lua-скрипт. Скрипт позволяет изменять настройки приёмника и передатчика через аппаратуру радиоуправления по ходу работы системы. После принятия изменений модуль управления перезагружается и новые настройки вступают в силу. Для добавления смены режима частот были добавлены следующие пункты настроек в файлы, конфигурирующие lua-скрипт - `rx_devLUA` и `tx_devLUA`:

- Min Frequency

- 750MHZ
 - 800MHZ
 - 850MHZ
 - 900MHZ
 - 950MHZ
 - 1000MHZ
- Max Frequency
 - 750MHZ
 - 800MHZ
 - 850MHZ
 - 900MHZ
 - 950MHZ
 - 1000MHZ
- Grid
 - 10
 - 20
 - 30
 - 40

Прошивка и исходный код могут быть найдены по этой ссылке [4].

Генерация прошивки происходит при помощи программы ExpressLRS Configurator, доступной по ссылке [5]. В конфигураторе необходимо указать локальную версию прошивки и установить путь до папки с прошивкой, указанной выше. После этого необходимо выбрать устройство, для которого будет генерироваться прошивка и метод прошивки - Wi-Fi или UART. После этого прошивка генерируется и передаётся выбранным способом непосредственно на устройство.

При использовании функции смены частоты важно обновлять частоту приёмника раньше, чем обновилась частота передатчика, иначе может произойти сбой и связь не будет установлена пока передатчик не вернётся на предыдущую частоту. При невозможности вернуть предыдущую частоту перезагрузка обоих модулей восстановит соединение.

5. Эксперименты

Прошивка генерировалась и проверялась для следующей конфигурации:

- Аппаратура радиоуправления - Radiomater TX12 MKII EdgeTX
- Радиопередатчик HappyModel ES900 TX
- Радиоприёмник HappyModel ES900 RX

В качестве итогового эксперимента были сгенерированы прошивки для передатчика и приёмника и установлены при помощи Wi-Fi на оба модуля. Устройства были включены, после чего несколько раз менялась конфигурация частот с последующим соединением. Никаких неполадок в работе выявлено не было.

6. Заключение

В рамках учебной практики был реализован режим меняемой частоты для системы радиуправления ExpressLRS. Режим успешно установлен и протестирован на аппаратуре управления Radiomaster TX12 MKII.

Список литературы

- [1] Петренко В., Щедрин А. Как выбрать аппаратуру радиуправления?, <https://propwashservice.ru/intro/tx.html>, дата обращения 11.10.2023
- [2] <https://www.expresslrs.org/>, дата обращения 11.10.2023
- [3] Николаев В., Гармонов А., Лебедев Ю. Системы широкополосного радиодоступа 4 поколения: выбор сигнально-кодовых конструкций.// Первая миля. - № 5 - 6. – 2010. - С. 56 – 59.
- [4] <https://github.com/IvanArkhipov1999/ExpressLRS/tree/custom-frequence>, дата обращения 11.10.2023
- [5] <https://www.expresslrs.org/quick-start/installing-configurator>, дата обращения 11.10.2023