

# РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ УТОЧНЕНИЯ ДИСТАНЦИИ В СОСТАВЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ВЫСОКОТОЧНОЙ КООРДИНАЦИИ ПОЛЕТА ГРУППЫ БВС В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Р.И. Перминов

Научный руководитель: В.С. Шерстнев

Томский политехнический университет

E-mail: rip2@tpu.ru, vss@tpu.ru

## Введение

Комплекс предназначен для высокоточной координации нескольких беспилотных воздушных средств (далее - БВС) в ходе демонстрации ими светового шоу.

Комплекс состоит из группы БВС и наземной станции управления (далее - НСУ). В свою очередь, БВС состоит из системы ультразвуковой локации, технического зрения, связи, автоматического управления, полетной системы, а также аппаратного и программного обеспечения.

Предлагаемое к реализации программно-аппаратное решение предназначено для обеспечения безопасного полета БВС с опасно близкими траекториями (другими БВС или каким-либо препятствиями), обеспечение следования по выбранной траектории на дистанции порядка характерного размера БВС.

Целью данной работы является разработка подсистемы уточнения дистанции между устройствами на протяжении исполнения миссии роя БВС. Эта подсистема включает в себя как аппаратную, так и программную составляющие. В данной статье рассматривается программная составляющая, в частности: разработка и реализация протоколов и алгоритмов обмена информацией между элементами системы.

## Описание подсистемы и постановка задачи

В целях измерения дистанции между летающими объектами, было предложено использование UWB-передатчиков против широко распространенных ультразвуковых датчиков. Это связано с тем, что с помощью ультразвуковых датчиков не удалось добиться желаемых результатов по точности измерения дистанции, а также 100% вероятности обнаружения другого устройства.

Для уменьшения объема логики на пользовательском уровне, а также разграничения пользовательской и сервисной информации, было принято решение о внедрении прослойки — драйвера — между пользовательским ПО и ПО UWB-модулей (далее - модуль). Таким образом, подсистема состоит из трех уровней ПО. В соответствии с этим, были разработаны три протокола взаимодействия ПО. Общая схема взаимодействия приведена на рис. 1.

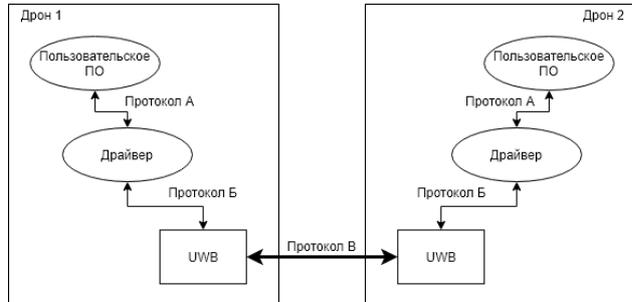


Рис. 1. Общая схема взаимодействия между двумя объектами комплекса через UWB-подсистему

## Уровень модулей

На уровне модулей был использован формат кадра определяемый стандартом IEEE Std 802.15.4-2011 [1], дополненный одним полем, определяющим системную команду (например, «измерение дистанции»).

Общий принцип работы по определению дистанции достаточно прост. В его основу ложится способность выбранной микросхемы фиксировать на аппаратном уровне метку времени приема любого кадра [2]. Пользователь может считать данную метку и установить время отправки своего кадра. Таким образом, одно устройство фиксирует время приема чужого кадра и время отправки своего (с учетом всевозможных аппаратных и программных задержек). Данные метки могут быть переданы другому устройству. Зная разницу между временем отправки и временем приема одного и того же кадра, а также скорость распространения волны, можно без труда определить расстояние между двумя приемопередатчиками.

Разработчик используемой микросхемы предлагает на выбор три варианта обмена дистанцией [3], каждый имеет свои достоинства и недостатки.

В выбранной схеме участвуют два устройства (иные простаивают). Первое устройство отправляет кадр и фиксирует метку времени отправки. Второе устройство принимает кадр и помещает в свой: метку времени приема кадра, а также метку времени отправки нового кадра. Таким образом, устройство Б имеет 6 меток времени.

Схема обмена кадрами приведена на рис. 2.

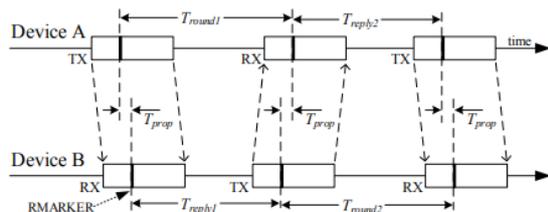


Рис. 2. Схема обмена кадрами

Результирующее время доставки кадра определяется по следующей формуле:

$$\hat{T}_{prop} = \frac{(T_{round1} \times T_{round2} - T_{reply1} \times T_{reply2})}{(T_{round1} + T_{round2} + T_{reply1} + T_{reply2})}.$$

Схема была дополнена еще одним кадром, который передает вычисленную дистанцию инициирующей стороне. Также кадры содержат пользовательскую информацию: широту, долготу и высоту, получаемые с помощью иных подсистем комплекса. Таким образом, каждое устройство комплекса может знать о расположении ближайших соседей в пространстве с высокой точностью.

Схема характеризуется простотой реализации и хорошей точностью измерения, а также большим числом сервисных кадров (из четырех кадров только два несут «полезную нагрузку», при примерно одинаковом размере всех передаваемых кадров).

Для доступа к среде была применена технология CSMA/CA (IEEE 802.11b).

### Уровень драйвера

Введение уровня драйвера позволило загружать конфигурацию в модули (в том числе, с возможностью горячего подключения), необходимую, например, для идентификации отдельно взятого устройства (так как все устройства имеют одинаковое программное и аппаратное обеспечение). Также, уровень драйвера обеспечил выполнение команд пользователя за заранее заданное время, повторы передач пользовательских команд, диагностику модуля на протяжении работы подсистемы.

### Пользовательский уровень

Для обеспечения взаимодействия пользователя с драйвером, был разработан протокол передачи данных, особенностью которого является простота применения: пользователь изредка обновляет необходимые ему значения широты / долготы / высоты, а измерения дистанции проходят независимо.

### Заключение

Были разработаны протоколы обмена данными на трех уровнях подсистемы: пользователь-драйвер, драйвер-модуль, модуль-модуль. На основе

этих протоколов были разработаны алгоритмы программ и реализовано ПО (драйвер и прошивка модулей).

Результаты испытаний подсистемы дали следующие показатели точности измерения дистанции: высокая погрешность на малых дистанциях (до 30% до метра), низкая на больших (до 5% до 10 метров, менее 1% - свыше 10 метров).

Среднее время, затраченное на транзакцию между двумя случайными устройствами, составило около 1.5 мс. Таким образом, скорость обмена «полезными данными» составила около 150 кбит/сек.

Исходя из полученных результатов можно предложить расширение подсистемы функцией передачи данных больших объемов. По предварительным оценкам, такая функция потребует построение MANET-сетей [4].

Перспективами развития данной подсистемы является возможность ее применение в целях отслеживания перемещения объектов в пространстве в помещениях. Опираясь на полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод о том, что разработанная подсистема покажет лучшие результаты в сравнении с широко применяемыми аналогами.

Также имеется возможность применять подсистему в более сложных конфигурациях, где технология CSMA/CA не подходит (например, при большом числе объектов, находящихся на малом расстоянии друг от друга), а значит требуется применение или разработка технологии разделяемого доступа к среде.

### Список использованных источников

1. Standard for Local and metropolitan area networks — Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) [Электронный ресурс] / IEEE STANDARDS ASSOCIATION. URL: [http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm\\_standards/2015S\\_zigbee/802.15.4-2011.pdf](http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm_standards/2015S_zigbee/802.15.4-2011.pdf), свободный. – Дата обращения: 11.10.2018 г.;
2. DW1000 Datasheet [Электронный ресурс] / DecaWave. URL: <https://www.decawave.com/sites/default/files/resources/dw1000-datasheet-v2.09.pdf>, свободный. – Дата обращения: 20.09.2018 г.;
3. DW1000 User Manual [Электронный ресурс] / DecaWave. URL: [https://thetoolchain.com/mirror/dw1000/dw1000\\_user\\_manual\\_v2.05.pdf](https://thetoolchain.com/mirror/dw1000/dw1000_user_manual_v2.05.pdf), свободный. – Дата обращения: 25.07.2018 г.
4. Mobile Ad Hoc Networking [Электронный ресурс] / Cisco, URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/mobile-ad-hoc-networking/index.html>, свободный. – Дата обращения: 08.10.2018 г.