# РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

# О. Д. Гринадёров<sup>1)</sup>, А. А. Ярмантович<sup>2)</sup>, Е. П. Микитчук<sup>3)</sup>, В. С. Баранова<sup>4)</sup>

 <sup>1)</sup> Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 2203030, Беларусь, oleggrinaderov@gmail.com
 <sup>2), 3), 4)</sup> Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, Беларусь, yarmatovich@bsu.by, vbaranova@bsu.by, m.helenay@yandex.by Научные руководители — В. С. Баранова; Е. П. Микитчук, кандидат физикоматематических наук, доцент

В работе рассматриваются вопросы реализации беспроводной оптической связи, предложена альтернатива проводным каналам связи в подвижных соединениях космических летательных аппаратов. Описана реализация демонстрационного макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений, рассмотрены протокол передачи данных в беспроводном оптическом канале, особенности обмена данных.

*Ключевые слова:* беспроводная оптическая связь; космическая связь; протокол связи NEC; защищенный протокол передачи данных; модуляция длительностью пауз.

#### введение

В проектировании космических аппаратов одной из главных проблем является необходимость прокладки кабельных сборок для внутренней передачи данных между различными блоками. Проводка и жгуты занимают значительную часть массы (до 8%) и объема космических аппаратов, а также создают серьезные трудности на этапе сборки, интеграции и тестирования. Проводные соединения в подвижных частях спутника обладают пониженной надежностью. Для решения этой проблемы исследовались радиочастотные беспроводные технологии связи [1], однако они зачастую накладывают неприемлемые ограничения в отношении электромагнитной совместимости и безопасности. В качестве альтернативы предлагаются методы беспроводной оптической связи. Эти системы имеют низкую вероятность перекрестных помех между каналами, сами не создают электромагнитных помех и обладают высокой устойчивостью к взлому и глушению, что значительно повышает безопасность и надежность связи. Легкость изменения направления распространения оптического сигнала повышает энергоэффективность [2].

В работе рассматриваются вопросы реализации беспроводной оптической связи, предложена альтернатива проводным каналам связи в подвижных соединениях космических летательных аппаратов (например, шарнирных или суставных соединениях подвижных частей спутника, между телом и манипулятором). Описана структура разработанного макета модуля беспроводной оптической связи, а также реализация демонстрационного макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений, рассмотрены протокол передачи особенности обмена данными в беспроводном оптическом канале [3].

## УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

На рис. 1 представлены структурная схема и фотография макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений, где Raspberry Pi Pico является центральным управляющим устройством и отвечает за генерацию сигналов для инфракрасного светодиода (L-34F3C), а также обработку сигналов, полученных от фотоприемника (TSOP34833). Инфракрасный светодиод преобразует электрические сигналы в световые импульсы, приемник – импульсы света в электрические колебания, фотоприемник преобразует инфракрасные импульсы в электрические сигналы.



Рис. 1. Электрическая схема подключения (слева) и фотография (справа) макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений

#### ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОПТИЧЕСКОМ КАНАЛЕ

Система использует модулированное инфракрасное излучение для передачи данных от инфракрасного светодиода к фотоприемнику. Существует множество протоколов передачи данных для оптической связи, и в данной работе используется протокол NEC, основанный на модуляции длительностью пауз (МДП), что обусловлено его высокой надежностью и эффективностью в условиях ограниченного энергопотребления. Структура пакета представлена на рис. 2.



Рис. 2 Структура пакета протокола NEC

В протоколе NEC логические единица и ноль кодируются с помощью пауз разной длительности. Длительность импульса всегда одинакова, а значение бита определяется длительностью паузы после импульса: короткая пауза соответствует 0, а длинная – 1 [4].

## ОБМЕН ДАННЫМИ В ОПТИЧЕСКОМ КАНАЛЕ СВЯЗИ

Представленная последовательность функций исходного кода реализует передачу данных по инфракрасному каналу связи с использованием протокола NEC. На рис. 3 приведены алгоритмы работы приемника и передатчика в составе макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений. Алгоритм передачи данных работает в следующим образом:

1. При инициализации определяется GPIO-вывод, к которому подключен инфракрасный светодиод. Инициализируется объект PWM для управления светодиодом. Устанавливается частота модуляции (33 кГц) и скважность PWM для инфракрасного светодиода (50%);

2. функции send\_pulse() и send\_start\_pulse(): end\_pulse() генерирует один импульс оптического излучения длительностью 560 мкс, send\_start\_pulse() генерирует стартовую последовательность протокола NEC (импульс 9 мс + пауза 4,5 мс);

3. при подготовке данных сообщение «the transfer was successful» преобразуется в массив байтов;

4. функция send\_package() отправляет стартовую последовательность. Циклически проходит по каждому байту в пакете данных. Для каждого

бита в байте отправляет оптический импульс. Если бит равен 1, устанавливается пауза 1200 мкс, если бит равен 0, устанавливается пауза 200 мкс, устанавливается пауза 5 мс после отправки пакета.



*Рис. 3.* Алгоритмы работы приемника (слева) и передатчика (справа) в составе макета модуля беспроводной оптической связи для космических применений

Алгоритм приема данных работает в следующим образом:

1. При инициализации определяется GPIO-вывод, к которому подключен фотоприемник. Инициализируется объект Pin для работы с фотоприемником;

2. функция read\_data() ожидает начала передачи данных (стартовая последовательность), затем считывает биты данных с фотоприемника, преобразует биты в массив логических значений и возвращает массив данных;

3. основной цикл вызывает функцию read\_data() для считывания данных, преобразует массив данных в строку и выводит ее на экран. В качестве тестового сообщения отправлен и принят текст "the transfer was successful". Вид консоли приемника представлена на рис. 4.

Для исследования возможности передачи медиафайлов использовалось бинарное изображение размером 80×80. При передаче изображения по инфракрасному каналу связи некоторые символы переданы некорректно, что привело к искажению отдельных пикселей, исходное и принятое изображения представлены на рис. 5. Скорость передачи данных составила 570,96 бит/с с битовой ошибкой 0,21%, что обусловлено использованием Micropython без помехоустойчивого кодирования.

```
Оболочка ×
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT
MPY: soft reboot
```

the transfer was successful

Рис. 4. Вид консоли приемника



*Рис. 5.* Исходное (слева) и принятое из оптического канала (справа) изображения

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения скорости передачи и снижения уровня ошибок планируется использование помехоустойчивого кодирования, дальнейшая оптимизация программного обеспечения, а также учет возможных внешних факторов, влияющих на качество сигнала. В результате, предложенное решение представляет собой перспективную альтернативу традиционным проводным соединениям, так как позволяет снизить массу и объем кабелей, а также повысить общую надежность системы.

#### Библиографические ссылки

1. *Ефимов А.Н., Клименко Д. В.* Беспроводные сенсорные сети: учеб. пособие. М.: Изд. центр «Академия», 2012.

2. *Кузнецов Д.А.* Оптические системы передачи информации: учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2017.

3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2014.

4. NEC Electronics Corporation. Infrared Transmission Protocol. [Электронный реcypc]. URL: http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/nec.php (дата обращения: 15.10.2023).