

УДК 621.396.722

doi 10.54708/22259309_2025_13210

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИЕМНОЙ СТАНЦИИ В ДИАПАЗОНЕ 435 МГц С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

З. З. ГАЛЕЕВ¹, М. С. БУТКИН²

¹gazuza050603@gmail.com, ²MMMax521@bk.ru

^{1,2} ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В статье дается описание системы управления, выполненной с помощью микроконтроллера Arduino и предназначенной для приема информации со спутников. Приводится краткое объяснение принципа действия отдельных компонентов системы, а также описывается функциональность микроконтроллера.

Ключевые слова: системы управления; доплеровское смещение; приемная станция; программное обеспечение; Arduino.

ВВЕДЕНИЕ

В документах 3GPP (3rd Generation Partnership Project), консорциума, занимающегося разработкой спецификаций для телефонии, описаны различные технические особенности использования космических сегментов наземных беспроводных сетей связи. Также определены сценарии для развертывания и продемонстрированы пути интеграции с другими системами связи, включая будущие технологии, такие как 5G и 6G.

ОБОСНОВАНИЕ

К общепризнанным вариантам использования спутниковых систем связи совместно с наземными сетями 5G относятся:

– Широкополосное соединение с ячейками сотовых сетей или узлами ретрансляции в малообслуживаемых районах, совмещенное с наземным беспроводным, сотовым или проводным доступом ограниченной пропускной способности для пользователей.

– Широкополосное соединение между базовой сетью и ячейками в непокрытых (изолированных) областях или на движущихся платформах, таких как самолеты или суда.

– Широковещательный канал для поддержки многопользовательской передачи данных на границах сети 5G.

– Связь между устройствами IoT, включая датчики и активные или пассивные устройства, и космическими платформами, требующая непрерывного обслуживания от космических и наземных базовых станций.

– Потребность в исследовании ближайшего космоса и анализ свойств этого пространства для целей технологий связи.

Внедрение конвергентных сетей на базе 5G в России даст большие возможности в развитии экономики и создании новых сервисов, особенно – в отдаленных регионах. Однако проблема недоступности связи во время поездок на поезде или автомобиле вызывает беспокойство у жителей страны. Для того чтобы обеспечить всеобщую доступность связи, необходимо подключить каждую базовую станцию к магистральной сети. В наземных условиях это может быть сложной задачей, особенно если расстояние между станциями велико. Однако данную проблему можно решить, подключив базовые станции к спутниковой сети, что позволит расширить ее и сделать конвергентной, обеспечив более надежную мобильную связь.

На данный момент в нашей стране активно разворачиваются несколько программ по запуску, обслуживанию и получению полезной телеметрии и информации со спутников типа CubeSAT, которые могут стать прототипами спутников для использования в космическом сегменте в сетях 5 и 6 поколения. Платформа CubeSAT подразумевает малые негеостационарные спутники, движущиеся по низким и средним орбитам. Среднее время пролета над приемной станцией – порядка 11 минут. Высокая скорость передвижения спутника заставляет вносить значительные изменения в частотный план с точки зрения доплеровского смещения частоты приема и соответственно возникает необходимость в разработке системы управления приемной станцией. На рис. 1 представлена методология, используемая для негеостационарных систем при расчете доплеровского сдвига.

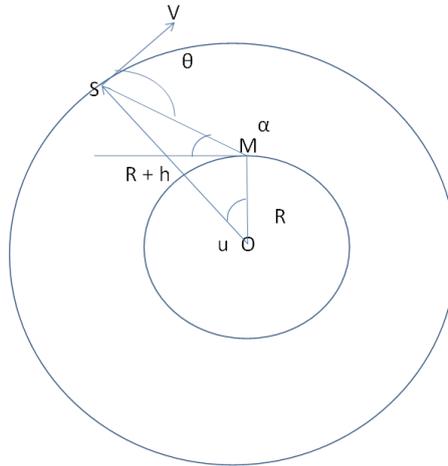


Рис. 1. Геометрическая модель системы для расчета доплеровского сдвига

Величина доплеровского сдвига F_d из-за движения спутника определяется следующим образом:

$$F_d = \frac{F_c}{c} \cdot V \cdot \cos \theta = \frac{F_c}{c} \cdot V \cdot \frac{\sin u}{\sqrt{1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos u}},$$

где угол u , меняется в зависимости от движения спутника, для $t = 1$ мин находится по формуле:

$$u(t) = v \cdot \frac{t}{R + h},$$

а коэффициент γ можно вычислить следующим образом:

$$\gamma = \frac{R + h}{R}.$$

КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИЕМНОЙ СТАНЦИЕЙ

Для приема и обработки телеметрической информации со спутников и организации приема телеметрических и полезных данных в диапазоне 435 МГц необходим комплекс специализированного ПО на основе программно-определяемого радио (SDR, Software Defined Radio) (рис. 2).

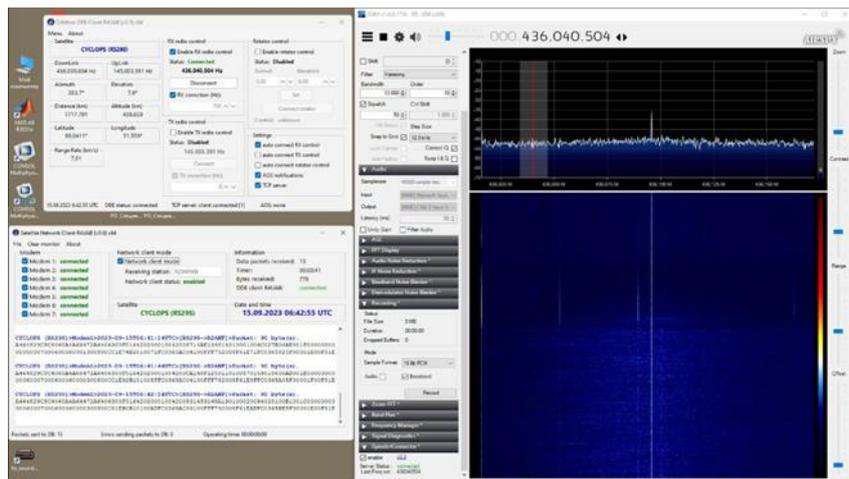
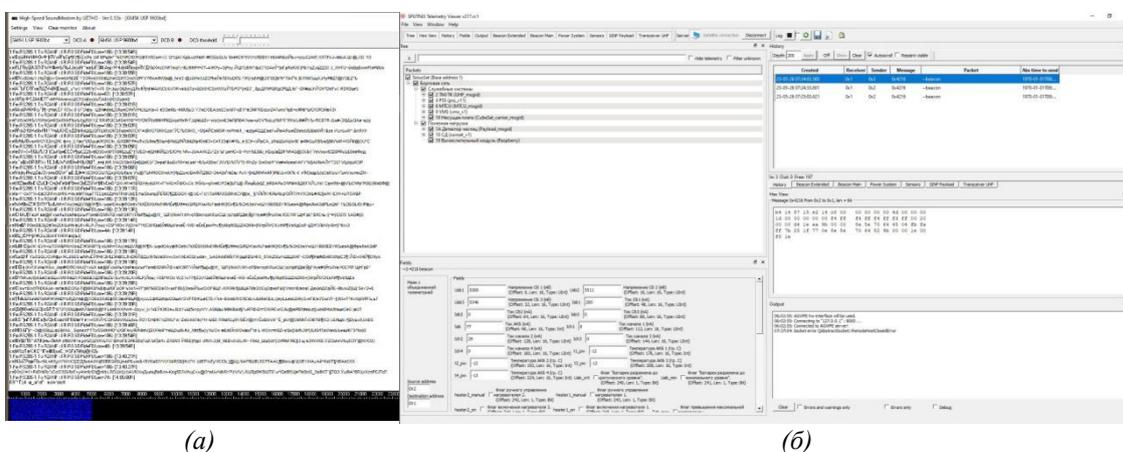


Рис. 2. Интерфейс программного обеспечения для приема телеметрии, примеры маяков



(a)

(б)

Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения:

а – образец принятой телеметрической информации, маяков с различных спутников;
б – пример расшифровки сигнала маяка со спутника KUZBASS-300 (RS34S)

Для управления приемной станцией отслеживания спутников используется аппаратная платформа Arduino, которая обеспечивает надежную работу системы. В состав управляющей системы входят следующие компоненты:

- Используем Arduino в качестве основного управляющего устройства для системы приемной станции. Arduino отвечает за программное управление и обработку данных от всех компонентов системы.
- Шаговый мотор используется для осуществления поворота приемной станции по азимуту. Подключаем шаговый мотор к Arduino и программируем его для точных и контролируемых поворотов.
- Сервопривод используется для управления углом элевации. Arduino подает соответствующие сигналы на сервопривод для выполнения нужных действий.
- Для управления приемной станцией используются кнопки. Подключаем кнопки к Arduino, чтобы обнаруживать и обрабатывать события нажатия кнопок. В зависимости от нажатой кнопки Arduino может отправлять команды шаговому мотору для поворотов в нужном направлении и сервоприводу для задания нужного угла подъема.
- Потенциометр используется для управления скоростью вращения приемной станции. Подключаем потенциометр к Arduino, чтобы изменять скорость работы шагового мотора в реальном времени в зависимости от положения потенциометра.
- Подключаем Liquid Crystal Displays (LCD) к Arduino и используем его для отображения различных параметров и информации о состоянии приемной станции. Через программное

управление Arduino передает соответствующие команды и данные на LCD экран, который отображает их в удобочитаемой форме.

Все эти компоненты взаимодействуют между собой через Arduino, который выполняет программную логику и управление всей системой приемной станции согласно схеме на рис. 4.

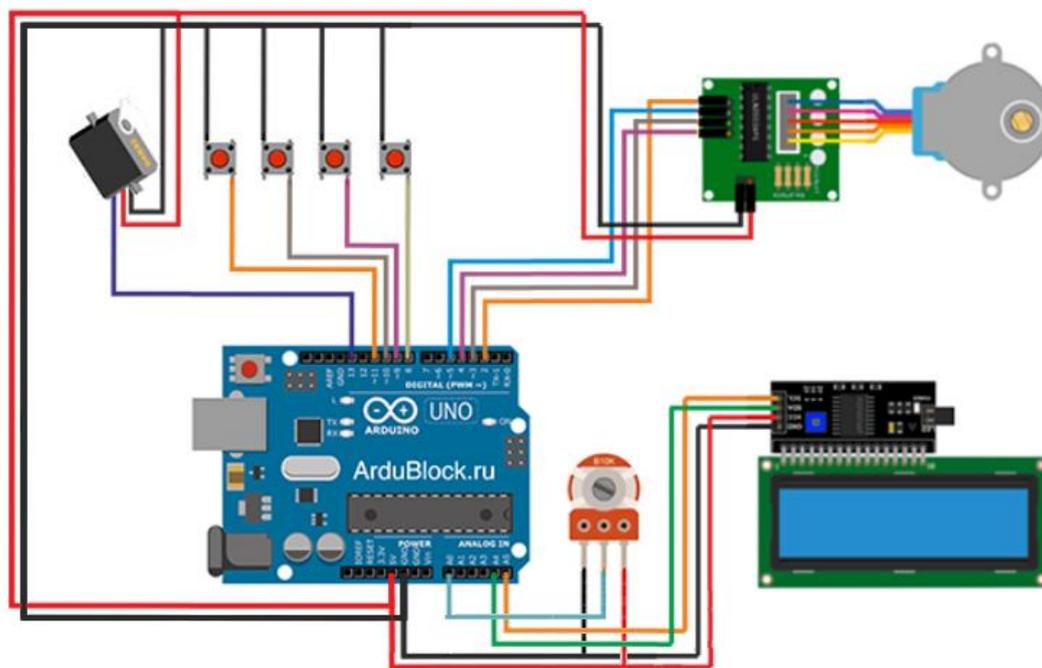


Рис. 4. Схема подключения элементов

Скетч Arduino содержит программный код, поделенный на пять кодовых ячеек.

Ячейка 1 (подготовка инструментария): импорт библиотек, задание параметров и их начальных значений.

Ячейка 2 (режимы работы пинов): здесь организована одна из обязательных функций в Arduino IDE и используется для инициализации различных параметров и настроек перед началом выполнения основного программного кода.

Ячейка 3 (сигналы управление): чтение значения с потенциометра, а также считывание состояние кнопки для управления.

Ячейка 4 (управление шаговым мотором): управление шаговым мотором с использованием кнопок и заданием скорости потенциометром.

Ячейка 5 (управление сервоприводом): управление сервоприводом с использованием кнопок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная система управления шаговым мотором и сервоприводом на основе Arduino продемонстрировала высокую надежность и точность управления. Этот проект подчеркивает возможности и гибкость Arduino для разработки сложных систем управления с достижением высокой точности результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **3rd Generation** Partnership Project Technical Specification Group Radio Access Network // Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 17). 2022.
2. **Пехтерев С. В., Макаренко С. И., Ковальский А. А.** Описательная модель системы спутниковой связи Starlink // Системы управления, связи и безопасности. 2022. № 4. С. 190–255. DOI: 10.24412/2410-99162022-4-190-255. [S. V. Pehterev, S. I. Makarenko, A. A. Kovalsky. Descriptive Model of Starlink Satellite Communication System. Systems of Control, Communication and Security, 2022, no. 4, pp. 190-255 (in Russian).]

3. **Ань Н. Д.** Система «Марафон IoT» и новый рынок спутникового IoT / Н. Д. Ань, А. Ершов // Технологии и средства связи. 2021. № S1. С. 75–80. EDN QDEXAT. [N.D. Anh, A. Ershov. Marathon iot system and new satellite iot market. Technologies and means of communication, 2021, no. S1, pp. 75-80.]

4. **Ozger M. et al.** 6G for Connected Sky: A Vision for Integrating Terrestrial and Non-Terrestrial Networks // Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit). Gothenburg. Sweden. 2023. Pp. 711–716. Doi: 10.1109/EuCNC/6GSummit58263.2023.10188330.

5. **Разработка** полезной нагрузки спутника CYCLOPS формата CubeSat / Н. В. Сотникова, А. В. Кададова, Д. М. Кадочников, В. В. Уткин // Сибирский аэрокосмический журнал. 2023. Т. 24. № 1. С. 144–154. Doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-1-144-154. [N. V. Sotnikova, A. V. Kadadov, D. M. Kadochnikov, V. V. Utkin. Development of the CYCLOPS CubeSat payload. Siberian Aerospace Journal. 2023, Vol. 24, no. 1, pp. 144–154.]

6. **Ефимова Е. А.** Частные компании в космической промышленности России: особенности функционирования и факторы развития // Вестник университета. 2023. № 3. С. 39–49. Doi.org/10.26425/1816-4277-2023-3-39-49. [E. A. Efimova. Private companies in the Russian space industry: features of functioning and development factors. Vestnik Universiteta. 2023, no. 3, pp. 39-49 (In Russian).]

ОБ АВТОРАХ

ГАЛЕЕВ Зуфар Забирович, студент каф. ТС

БУТКИН Максим Сергеевич, студент каф. ТС

METADATA

Title: Development of a receiving station control system in the 435 MHz band using the Arduino platform.

Authors: Z. Z. Galeev¹, M. S. Butkin²

Affiliation:

^{1,2} Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia,

Email: ¹gazuzza050603@gmail.com, ²MMMax521@bk.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (32), pp. 10-14, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article describes a control system made using an Arduino microcontroller and designed to receive information from satellites. A brief explanation of the principle of operation of the individual components of the system is provided, as well as the functionality of the microcontroller is described.

Keywords: Control systems; doppler shift; receiving station; software; Arduino.

About authors:

GALEEV, Zufar Zabirovich, Student. Dept. of Telecommunication Systems.

BUTKIN, Maxim Sergeevich, Student. Dept. of Telecommunication Systems.