

УДК 621.391

Деркачев Владимир Александрович, Лысюк Юрий Алексеевич,  
Новодранова Любовь Владимировна, Селиванов Артем Владиславович

**БЫСТРОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОЙ  
СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ  
РАДИОСИСТЕМЫ**

*В последнее время к изучению вопроса быстрого прототипирования систем связи наблюдается повышенный интерес, что связано со стремительным развитием беспроводной связи, применяемой в различных сферах деятельности. Применение в рамках прототипирования программно определяемых радиосистем (SDR) оправдано в виду возможности осуществления быстрой разработки цифровой обработки сигналов (ЦОС) с применением языков программирования высокого уровня, что в значительной степени ускоряет разработку системы и построение прототипов системы.*

*Беспроводная связь, программно определяемое радио, SDR, быстрое прототипирование.*

Derkachev Vladimir Aleksandrovich, Lysyuk Yuri Alekseevich,  
Novodranova Lyubov Vladimirovna, Selivanov Artem Vladislavovich

**RAPID PROTOTYPING OF A WIRELESS COMMUNICATION  
SYSTEM BASED ON A SOFTWARE DEFINED RADIO SYSTEM**

*Recently, there has been increased interest in studying the issue of rapid prototyping of communication systems, which is associated with the rapid development of wireless communications used in various fields of activity. The use of software-defined radio systems (SDR) as part of prototyping is justified due to the possibility of rapid development of digital signal processing (DSP) using high-level programming languages, which significantly speeds up the development of the system and the construction of system prototypes.*

*Wireless connection, software defined radio, SDR, rapid prototyping.*

**Введение**

Появление программно-определяемых радиостанций, несомненно, сильно повлияло на возможности проектирования новых систем связи.

Применяя принципы систем SDR имеется возможность разработки реконфигурируемых систем с широким спектром возможностей. Совместное применение SDR платы и программной платформы с открытым исходным кодом GNU Radio [1] позволяет осуществить тестирование и создавать прототипы приемных и передающих блоков радиостанций. Применяя гибкий подход к проектированию с применением графического интерфейса разработки (с возможностью самостоятельно дополнить библиотеки дополнительными модулями) возможно обеспечить быстрый переход от моделирования к развертыванию полноценной радиостанции [2].

Рис. 1,а) иллюстрирует контраст между традиционными радиостанциями, в которых демодуляция является аппаратно определяемой операцией, выполняемой внутри аналогового приемника, и программно определяемой радиосвязью, в которой все операции демодуляции определяются программно и, следовательно, перепрограммируются. Как показано на рисунке 1б, после некоторой минимальной аналоговой обработки и настройки SDR использует методы ЦОС для интерпретации входящих сигналов или, в случае передачи, для генерации исходящих сигналов. Это позволяет одному и тому же физическому оборудованию работать практически с любым типом сигнала и потенциально имеет множество практических применений [3,4].

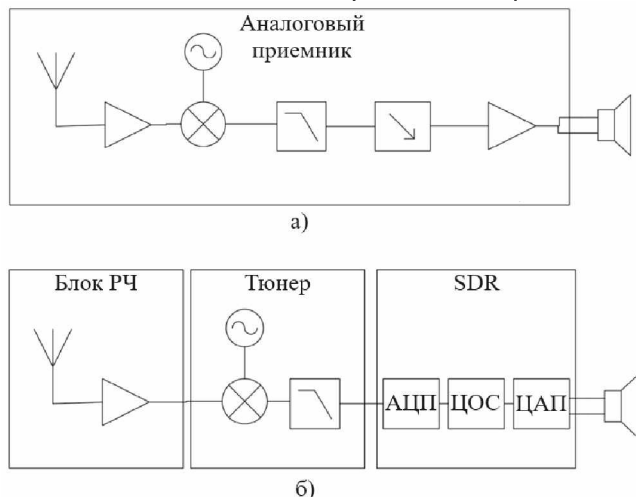


Рис. 1. Сравнение аналоговых и SDR приемников

## **Программное обеспечение**

Для управления платой SDR, получения и передачи данных с ее помощью применяется программное обеспечение известное как GNU Radio. GNU Radio — это программное обеспечение, которое работает на главном компьютере. Данная программа предоставляет пользователю инструменты и блоки для создания радиоприемников или передатчиков, а также для обработки радиосигналов

Пакет программного обеспечения состоит из набора компонентов, одним из которых является встроенное ПО, которое загружается в SDR плату при инициализации устройства во время выполнения. Прошивка, поставляемая с GNU Radio, предназначена для обеспечения эффективной связи с платой через USB. Именно внутри главного компьютера, на котором работает GNU Radio, основные компоненты цифровой обработки сигналов (ЦОС) применяются к сигналу.

В GNU Radio существует две основные абстракции. Блоки кода низкого уровня для повышения эффективности написаны на C++ и состоят из небольших компонентов обработки сигналов. Именно здесь разработчик может реализовать код для демодуляции входящего радиосигнала, реструктуризации информации в пакеты или выполнения фильтрации сигнала в частотной области. Код высокого уровня написан на Python и в основном подразумевает соединения различных блоков обработки сигналов вместе в ориентированный граф. Поскольку Python является интерпретируемым языком, он не требует дополнительного времени компиляции во время разработки или тестирования, и это может быть использовано разработчиком для быстрого развертывания приложений. В приложении к SDR радиостанциям блоки ЦОС в GNU Radio можно рассматривать как относящиеся к одной из трех категорий: Источники — это блоки, имеющие исходящие сигналы и не имеющие входов. Приемники — это блоки, которые допускают один или несколько входов, но не имеют выходов. Фильтры — это промежуточные блоки, которые допускают один или несколько входящих сигналов и один или несколько исходящих сигналов [5].

### **Прототипирование передатчика**

Первым этапом прототипирования является передача сигнала с модуляцией BPSK. Для этого генерируется поток битов и модулируется с применением блока модулятора Constellation. На рис. 2 показана блок-схема тестируемого передатчика. На рис. 3 показаны временная диаграмма, сигнальное созвездие и спектр сигнала передатчика.

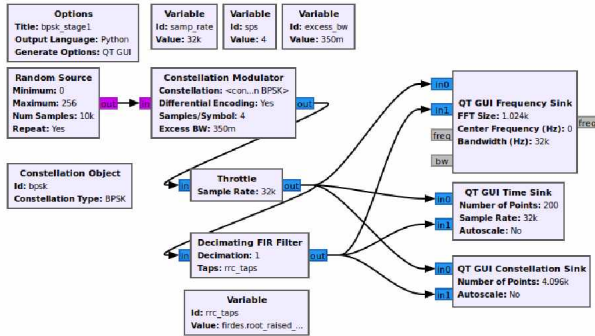


Рис. 2. Схема передатчика

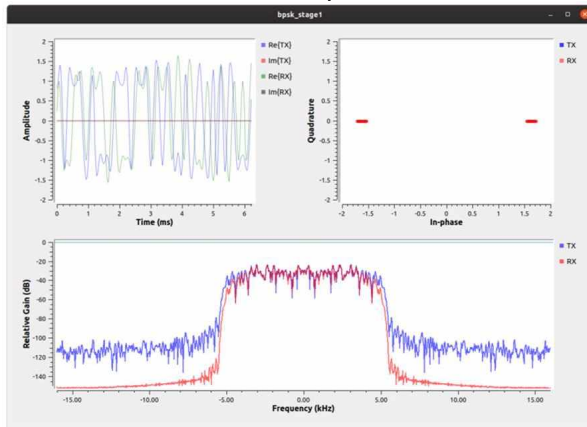


Рис. 3. Временная диаграмма, сигнальное созвездие и спектр сигнала с передатчика

### Прототипирование приемника

Далее на рис. 4 показана схема приемника/передатчика. Дополнительно добавлены блоки Polyphase Clock Sync (блок временной синхронизации), Costas Loop (блок фазовой автоподстройки частоты – ФАПЧ), Constellation Decoder (демодулятор), Differential Decoder (дифференциальный декодер).

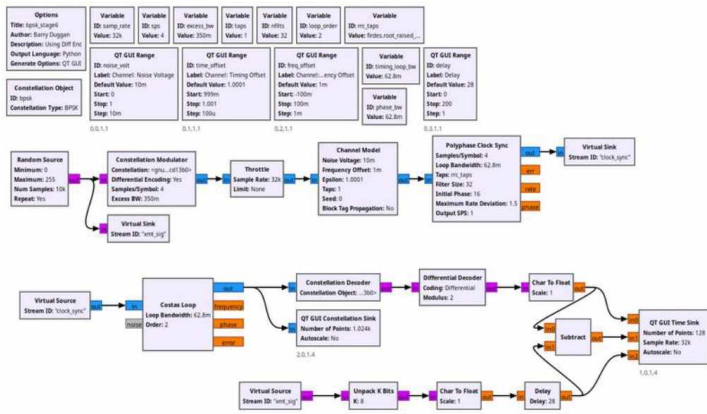


Рис. 4. Схема приемника передатчика

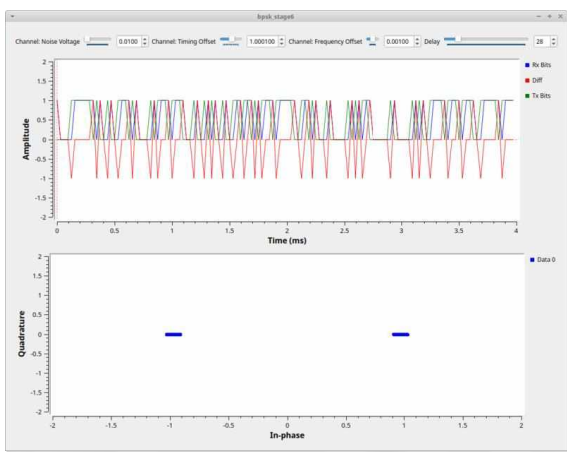


Рис. 5. Временная диаграмма, сигнальное созвездие и спектр сигнала на выходе приемника

### Выводы

Показанный пример демонстрирует возможности быстрого прототипирования с применением программной платформы GNU Radio. Показанная модель позволяет осуществить первоначальное моделирование без использования внешних устройств, таких как SDR платы. При подключении SDR пинга возможно осуществлять натурные эксперименты, а если добавить малощумящий усилитель (МШУ) и подходящей антенны возможно

проведение полевых испытаний моделей. Однако, разработка конечных устройств требует перехода на C++ или CUDA (в зависимости от архитектуры вычислителя, используемого для ЦОС).

**Научные исследования выполнены в рамках студенческого проекта "Разработка макета системы связи программно определяемой радиосистемы" Передовой инженерной школы "Инженерия киберплатформ" ЮФУ.**

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. GNU Radio [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL.: <https://www.gnuradio.org>, свободный – (дата обращения 15.05.2024)
2. *Tucker D. C., Tagliarini G. A.* Prototyping with gnu radio and the usrp-where to begin //IEEE Southeastcon 2009. – IEEE, 2009. – С. 50-54.
3. *Molla D. M. et al.* Software defined radio platforms for wireless technologies //IEEE Access. – 2022. – Т. 10. – С. 26203-26229.
4. *Xu Y. et al.* Software defined radio-based wireless sensing system //Sensors. – 2022. – Т. 22. – №. 17. – С. 6455.
5. *Gummineni M., Polipalli T. R.* Implementation of reconfigurable transceiver using GNU Radio and HackRF One //Wireless Personal Communications. – 2020. – Т. 112. – №. 2. – С. 889-905.

**Деркачев Владимир Александрович**, старший преподаватель, кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем ИРТСУ, Южный Федеральный Университет, Россия, город Таганрог, Некрасовский пер, 44, 347922, телефон: +79614154733, email: [yderkachev@sfedu.ru](mailto:yderkachev@sfedu.ru).

**Лысюк Юрий Алексеевич**, студент, кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем ИРТСУ, Южный Федеральный Университет, Россия, город Таганрог, Некрасовский пер, 44, 347922, телефон: +79198809170, email: [ilvsiuk@sfedu.ru](mailto:ilvsiuk@sfedu.ru).

**Новодранова Любовь Владимировна**, студент, кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем ИРТСУ, Южный Федеральный Университет, Россия, город Таганрог, Некрасовский пер, 44, 347922, телефон: +79654602806, email: [lmaslava@sfedu.ru](mailto:lmaslava@sfedu.ru).

**Селиванов Артем Владиславович**, студент, кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем ИРТСУ, Южный Федеральный Университет, Россия,

город Таганрог, Некрасовский пер, 44, 347922, телефон: +79518403289, email: [seli@sfedu.ru](mailto:seli@sfedu.ru).

**Derkachev Vladimir Alexandrovich**, Senior Lecturer, Department of Radio Engineering and Telecommunication Systems, IRTSU, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane, 44, 347922, phone: +79614154733, email: [vderkachev@sfedu.ru](mailto:vderkachev@sfedu.ru).

**Alekseevich Lysyuk Yuri**, student, Department of Radio Engineering and Telecommunication Systems and DCS, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane, 44, 347922, phone: +79198809170, email: [ilysiuk@sfedu.ru](mailto:ilysiuk@sfedu.ru).

**Novodranova Lyubov Vladimirovna**, student, Department of Radio Engineering and Telecommunication Systems and DCS, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane, 44, 347922, phone: +79654602806, email: [lnaslova@sfedu.ru](mailto:lnaslova@sfedu.ru).

**Selivanov Artem Vladislavovich**, student, Department of Radio Engineering and Telecommunication Systems and DCS, Southern Federal University, Russia, Taganrog, Nekrasovsky Lane, 44, 347922, phone: +79518403289, email: [seli@sfedu.ru](mailto:seli@sfedu.ru).