

Аппаратная реализация ИК-коммуникации на базе Arduino Nano

Болтовский Гавриил Александрович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью исследования является разработка аппаратной реализации ИК-коммуникации на базе Arduino Nano с использованием недорогих дискретных компонентов. В работе применяется методика проектирования и оптимизации схем обвязки для ИК-светодиода и приемника, включающая усиление сигналов, фильтрацию помех и анализ энергопотребления. Полученные результаты демонстрируют возможность создания устойчивого ИК-канала передачи данных с минимальными затратами.

Ключевые слова: инфракрасная передача данных, Arduino Nano, ATmega328P, ИК-светодиод

Hardware implementation of IR communication based on Arduino Nano

Boltovsky Gavriil Alexandrovich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The aim of the study is to develop hardware implementation of IR communication based on Arduino Nano using inexpensive discrete components. The work applies a methodology for designing and optimizing wiring diagrams for an IR LED and receiver, including signal amplification, noise filtering, and energy consumption analysis. The results demonstrate the possibility of creating a stable IR data transmission channel at minimal cost.

Keywords: infrared data transmission, Arduino Nano, ATmega328P, IR LED

1 Введение

1.1 Актуальность исследования

При проектировании различных устройств возникает необходимость в обеспечении беспроводной коммуникации для встраиваемых систем, особенно в условиях ограниченного бюджета и ресурсов. Проектирование таких устройств с нуля позволяет глубже понимать фундаментальные принципы работы беспроводной передачи данных на физическом уровне, включая особенности модуляции, демодуляции, подавления помех и энергетических ограничений. Кроме того, разработка схем на базе дискретных компонентов вместо готовых модулей дает возможность создавать максимально дешевые и гибкие решения для передачи информации, что

особенно важно для массовых IoT-устройств, образовательных платформ, домашней автоматике и других устройств.

1.2 Обзор исследований

В исследовании А.А. Абидаровой [1] рассматриваются особенности передачи данных и их безопасность при использовании протоколов IrDA, приводится подробное описание технологии инфракрасной передачи с анализом основных протоколов и их уровней. В.И. Пономаренко и А.С.Караваев в своей работе [2] обсуждают возможности аппаратно-программной платформы Arduino как универсального инструмента для научных исследований, демонстрируя на примере создания гибридного хаотического генератора с запаздывающей обратной связью. Д.В. Иванов разрабатывал [3] методологию низкоскоростной передачи информации по ионосферному радиоканалу с высокой надежностью, предлагая использование сложных сигналов типа FMCW-FSK для совмещения диагностики канала и передачи данных. Н.Г. Кудрявцев и коллеги исследуют возможности применения пирозлектрического датчика инфракрасного излучения для быстрых и точных бесконтактных измерений температуры, анализируя условия его практического использования [4]. А.А. Буткина, О.А. Гущина и А.В. Шамаев разрабатывают универсальный модуль для приёма, обработки и передачи данных на базе микроконтроллеров с использованием технологии Ethernet, что актуально для современных интеллектуальных устройств, нуждающихся в сетевом подключении [5].

1.3 Цель исследования

Целью данного исследования является разработка и экспериментальная проверка оптимальных схем обвязки для ИК-светодиода и ИК-приемника, обеспечивающих надежную передачу данных на платформе Arduino Nano.

1.4 Постановка задачи

Для достижения поставленной цели требуется: провести анализ существующих решений ИК-коммуникаций и выявить их недостатки; разработать и рассчитать схему передающей части с транзисторным ключом для управления ИК-светодиодом с оптимальной мощностью; спроектировать приемную часть с предусилителем, полосовым фильтром и компаратором для подавления фоновых помех; изготовить экспериментальные макеты и провести испытания по дальности передачи.

2 Методы исследования

В первой реализации передающего устройства применён биполярный транзистор в режиме ключа (общий эмиттер) для управления инфракрасным светодиодом. Прямое подключение ИК-светодиода к выходу Arduino Nano невозможно из-за ограничения тока ~20–40 мА на вывод, тогда как для уверенной передачи инфракрасного сигнала требуется существенно больший импульсный ток. Поэтому светодиод (длиной волны ~940 нм) подключён

через транзисторный ключ, позволяющий «усилить» ток до ~100 мА – уровня, необходимого для приличной дальности связи. На рисунке приведена схема такого передатчика на BJT (рис. 1).

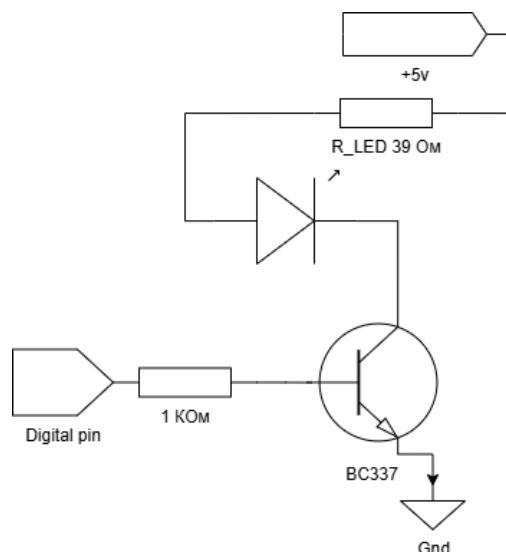


Рисунок 1 – Схема передатчика на биполярном транзисторе

Arduino управляет базой транзистора через резистор, транзистор переключает цепь светодиода с токоограничивающим резистором на землю.

Для расчёта резистора, ограничивающего ток через ИК-светодиод, использовано уравнение баланса напряжений:

$$R_{LED} = \frac{U_{пит} - U_f - U_{CE(sat)}}{I_f},$$

где U_f – прямое падение напряжения на светодиоде, $U_{CE(sat)}$ – насыщение транзистора, I_f – требуемый ток. При питающем напряжении 5 В и желаемом токе порядка 100 мА расчёт даёт ~35–40 Ω (подставляя $U_f \approx 1.2\text{--}1.5$ В, $U_{CE(sat)} \approx 0.1\text{--}0.2$ В). В макете выбран стандартный номинал 39 Ω, способный рассеять не менее 0,5 Вт. Такое сопротивление ограничивает ток светодиода примерно 97 мА, что близко к допустимому постоянному току многих ИК-диодов (обычно 100 мА).

Резистор в базе транзистора рассчитан исходя из необходимости насытить транзистор при максимальном токе коллектора. нужен порядка $I_B \approx 0.5\text{--}1$ мА при питании базы от 5 В. Однако, чтобы гарантировать глубокое насыщение и быструю коммутацию, базовый ток обычно берётся с запасом (несколько миллиампер). Был использовали резистор 1 кΩ, ограничивающий ток базы на уровне ~4 мА, что не перегружает вывод Arduino, но значительно превышает минимально необходимый уровень. Таким образом, выбранное значение ~1 кΩ обеспечивает максимальную мощность излучения без ущерба для микроконтроллера. В качестве транзистора в ключе применён маломощный NPN (BC337), способный коммутировать 100–200 мА.

Во втором варианте передатчика (рис. 2) применена схема с полевым транзистором (МОП-транзистором) в качестве драйвера

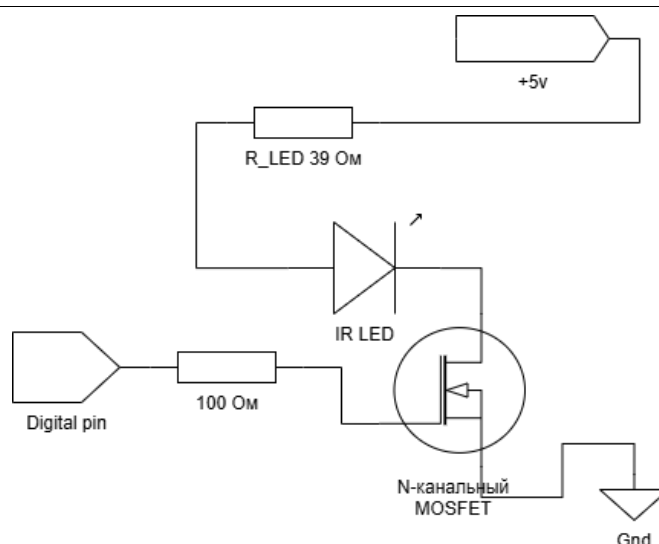


Рисунок 2 – Схема передатчика с MOSFET-драйвером

N-канальный MOSFET с логическим уровнем затвора подключён по схеме с общим истоком: сток через ИК-светодиод и ограничительный резистор подключён к +5 В, исток – на землю. Управляющий сигнал с Arduino поступает на затвор через небольшой резистор (100 Ω), ограничивающий броски тока зарядки затвора и предотвращающий паразитные высокочастотные возбуждения. При подаче HIGH на затвор транзистор насыщается (переходит в состояние с открытым каналом), фактически замыкая светодиод на землю. Расчёт токоограничивающего резистора здесь аналогичен предыдущему случаю.

Таким образом, режим работы светодиода в обеих схемах передатчика практически идентичен. Отличие состоит в управлении: MOSFET не требует постоянного тока с вывода Arduino (только импульс заряда ёмкости затвора), тогда как ВJT в предыдущей схеме непрерывно потребляет несколько мА базы во время свечения диода. Стоит отметить, что MOSFET-драйвер легче масштабировать на большие токи или несколько диодов: можно параллельно подключить несколько светодиодов. ВJT в таком случае упёрся бы в ограничения базы и большую рассеиваемую мощность. В нашем же диапазоне (до 100 мА, частота порядка десятков кГц) оба типа ключа работоспособны и практически равнозначны по быстродействию и надёжности. Схема на MOSFET обеспечила аналогичный уровень выходной оптической мощности, но с меньшей нагрузкой на Arduino.

Схема приёмного устройства реализована на дискретных компонентах: ИК-фотодиоде, двухоперационном усилителе LM358 и нескольких пассивных элементах. Структура приёмника включает последовательно: фотодиод (сенсор излучения), предусилитель сигнала на ОУ, полосовой RC-фильтр и компаратор для формирования цифрового уровня. На рисунке показана функциональная схема такого приёмника (рис. 3).

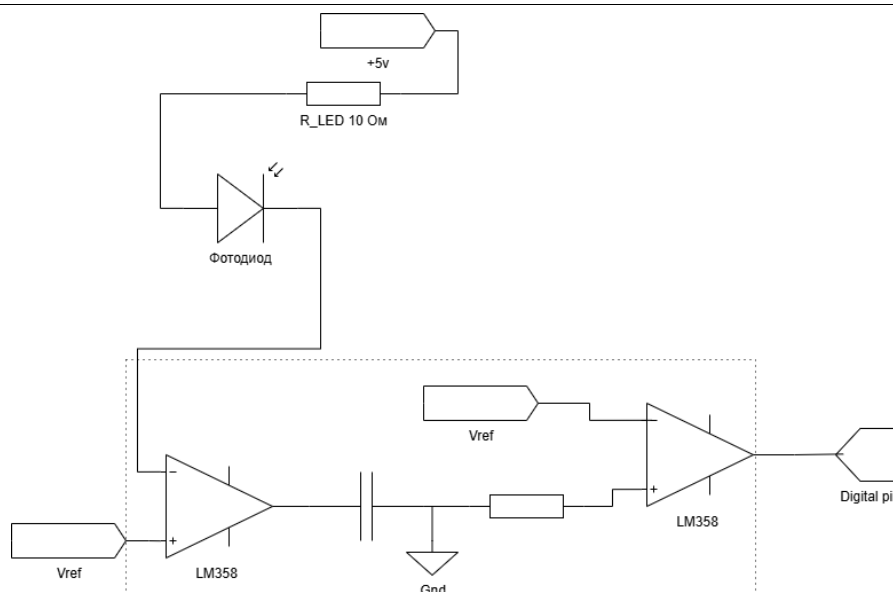


Рисунок 3 – Схема приёмника на фотодиоде, предусилителе и компараторе

Фотодиод, который использовался в схеме, чувствителен именно к той длине волны (~ 940 нм), на которой работает наш инфракрасный светодиод. Он включён таким образом, чтобы его катод (плюсовой вывод) был подключён через резистор к +5 В, а анод – к входу усилителя. Такое подключение называется «обратным смещением» и даёт два важных плюса: фотодиод быстрее реагирует на свет, а его собственная ёмкость становится меньше.

Когда на фотодиод попадает инфракрасное излучение, он начинает генерировать очень слабый ток – чем больше света, тем больше ток. Этот ток сам по себе слишком мал, чтобы его было возможно считать Arduino, поэтому сигнал усиливается с помощью операционного усилителя. Используется схема «транsimpедансного усилителя», в которой ток преобразуется в напряжение. Для этого подключается фотодиод к инвертирующему (минусовому) входу усилителя, а между выходом и этим входом устанавливается резистор. Через него и протекает ток от фотодиода, что создаёт на выходе усилителя напряжение.

Операционный усилитель LM358 удобен тем, что работает от одного питания (обычного 5-вольтового), а вход может быть напрямую подключён к «земле». Чтобы усилитель не «залипал» от постоянного освещения (например, дневного света или лампы), был добавлен в цепь обратной связи конденсатор. Он действует как фильтр: медленные и постоянные изменения (фон) он подавляет, а быстрые колебания (сигнал от передатчика) пропускает. В результате на выходе получается чистый переменный сигнал, который действительно зависит от того, есть ли инфракрасный импульс или нет, а не от общего освещения среды.

Окончательный каскад – компаратор, реализованный на втором операционном усилителе LM358. Он служит для превращения аналогового сигнала после фильтра в двоичный (логический) уровень, удобный для считывания Arduino.

3 Результаты и обсуждения

Проведённые испытания подтвердили работоспособность разработанных схем инфракрасного передатчика и приёмника на базе Arduino Nano. Реализованные модули продемонстрировали стабильную передачу данных на расстояниях до 3 метров в условиях стандартного освещения при использовании модуляции с несущей частотой 38 кГц. Без модуляции надёжная дальность связи существенно сокращалась, а чувствительность приёмника резко падала из-за помех от освещения. Это подтвердило преимущество модулированной передачи в реальных условиях эксплуатации.

Оба варианта передатчика – на биполярном транзисторе и MOSFET – показали сопоставимые характеристики по дальности, скорости передачи и стабильности работы. При токе около 100 мА они обеспечили уверенную передачу данных без заметного нагрева компонентов. Различия в потреблении и стоимости были минимальны. MOSFET оказался чуть более энергоэффективным, но не дал существенного прироста в дальности при прочих равных условиях. Пример исходного кода для приёмника и передатчика соответственно изображён на рисунке (рис. 3).

The image shows two side-by-side screenshots of Arduino IDE code editors. The left editor displays the code for an infrared receiver, and the right editor displays the code for an infrared transmitter. Both codes are in C++ and use the Arduino framework. The receiver code (left) defines a pin (2), initializes a serial port at 9600 baud, and uses a while loop to count pulses. The transmitter code (right) defines a pin (3), sets a carrier frequency of 38000 Hz, and uses a for loop to send a byte of data (0b10101010) by sending individual pulses and pauses. The code is syntax-highlighted with various colors for keywords, comments, and variables.

Рисунок 3 – Исходный код приёмника и передатчика

Приёмная часть, реализованная на дискретных компонентах (фотодиод, усилитель LM358, фильтры, компаратор), показала высокую устойчивость к фоновому освещению и возможность надёжного декодирования сигналов. При этом схема остаётся наглядной и легко модифицируемой, что делает её особенно ценной в образовательных целях. Несмотря на отсутствие автоматической регулировки усиления, как у готовых приёмных модулей (TSOP), дискретная схема позволила продемонстрировать принципы приёма и фильтрации ИК-сигнала.

В целом, поставленная задача – построение простых и воспроизводимых модулей инфракрасной связи – успешно решена. Разработанные устройства пригодны для использования в учебных лабораториях, самодельных

дистанционных управлениях и других проектах, где требуется надёжный и дешёвый канал передачи данных на расстояние до нескольких метров.

4 Выводы

Таким образом спроектирована и протестированы схемы обвязки для ИК передатчика и приёмника.

Библиографический список

1. Абидарова А.А. Особенности передачи данных и их безопасность при использовании протоколов IrDA // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №5.
2. Пономаренко В.И., Караваев А.С. Использование платформы Arduino в измерениях и физическом эксперименте // Известия вузов. ПНД. 2014. №4.
3. Иванов Д. В. Методология и макет программно-конфигурируемой системы для низкоскоростной передачи информации по ионосферному радиоканалу с высокой надёжностью // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2023. №. 3. С. 59.
4. Кудрявцев Н. Г. Об одном эксперименте с пироэлектрическим датчиком инфракрасного излучения // Информация и образование: границы коммуникаций INFO'20. 2020. С. 158-163.
5. Буткина А. А., Гущина О. А., Шамаев А. В. Разработка универсального модуля для приёма, обработки и передачи данных с использованием технологии Ethernet // Современные наукоемкие технологии. 2019. №. 8. С. 20-25.