

Березина Д.М., Беркут И.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Якименко К. А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: dberezina111@yandex.ru

Функциональное моделирование синтезаторов частот на основе ФАПЧ с субдискретизацией

Основными источниками фазового шума и джиттера в современных синтезаторах частоты косвенного метода синтеза на основе фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) выступают частотно-фазовый детектор (ЧФД) и программируемый делитель частоты с переменным коэффициентом деления, входящие в петлю обратной связи. Их основным недостатком является то, что спектральная плотность мощности (СПМ) фазовых шумов выходного сигнала возрастает пропорционально квадрату коэффициента деления в цепи обратной связи, что существенно ухудшает кратковременную стабильность частоты.

В архитектурах ФАПЧ с субдискретизацией (sub-sampling PLL, SSPLL) данный недостаток устранён за счёт исключения программируемого делителя и частотно-фазового детектора из контура обратной связи [1-4]. Субдискретизирующий фазовый детектор (SSPD) выполняет функцию сравнения фаз, осуществляет прямую выборку выходного напряжения ГУН в моменты фронтов опорного колебания. Отсутствие делителя исключает умножение шума на N^2 , поэтому суммарный фазовый шум определяется характеристиками ГУН и опорного генератора, что позволяет достичь значительно более низкого джиттера по сравнению с классической архитектурой.

Целью данной работы является разработка функциональной модели синтезатора частот косвенного метода синтеза на основе ФАПЧ с субдискретизацией и оценка фазовых шумов в программе matlab simulink.

На рис. 1 представлена функциональная модель синтезатора на основе ФАПЧ с субдискретизацией.

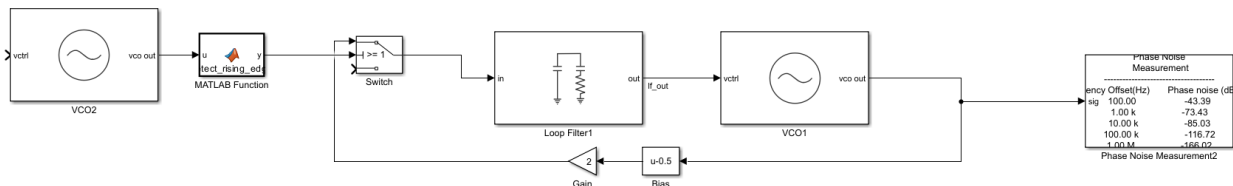


Рис. 1 - Функциональная модель синтезатора на основе ФАПЧ с субдискретизацией

Моделирование осуществлялось при следующих параметрах: $f_{\text{ГУН1}} = 1$ МГц, $f_{\text{CP}} = 1$ МГц, $f_{\text{ГУН2}} = 100$ МГц. В качестве петлевого ФНЧ использовался пропорционально-интегрирующий фильтр второго порядка. Его параметры: ёмкости $C1$ (10,5 нФ) и $C2$ (50,7 нФ), сопротивление $R2$ (7,58 кОм).

Генератор, управляемый напряжением (VCO2) с частотой 1 МГц, формирует опорный сигнал, который поступает на блок MATLAB Function, внутри которого реализован детектор восходящего фронта. В результате генерируется единичный импульс при переходе сигнала через ноль. Этот импульс подается на управляющий вход ключа (Switch) с порогом один, открывая его. Далее сигнал проходит через фильтр (Loop Filter), который сглаживает импульсные помехи и формирует управляющее напряжение для второго генератора (VCO1). Выходной сигнал генератора с помощью обратной связи заводится на блок Bias, который вычитает из него постоянное смещение величиной 0.5 В, затем полученная разность умножается на коэффициент усиления 2 в блоке Gain, и этот преобразованный сигнал поступает на первый информационный вход ключа Switch, замыкая тем самым петлю фазовой автоподстройки частоты. Блок измерения фазового шума (Phase Noise Measurement) подключен к выходной цепи системы для проведения измерений фазовых шумов, генерируемых вторым генератором.

Субдискретизация позволяет исключить программируемый делитель частоты из петли обратной связи. Благодаря этому устраняется умножение фазовых шумов на коэффициент N^2 , что существенно снижает общий коэффициент передачи шумов в системе, а также уменьшает требования к быстродействию фазового детектора и упрощает архитектуру синтезатора.

Результаты измерения фазовых шумов:

1) Частота отстройки от несущей 1 кГц. Классическая система ФАПЧ: -61,03 дБ; а система с субдискретизацией -62,28 дБ.

2) Частота отстройки от несущей 10 кГц. Классическая ФАПЧ: -89,20 дБ; а система с субдискретизацией -94,21 дБ.

3) Частота отстройки от несущей 100 кГц. Классическая ФАПЧ: -101,81 дБ; а система с субдискретизацией -107,59 дБ.

4) Частота отстройки от несущей 1 МГц. Классическая ФАПЧ: -125,64 дБ; а система с субдискретизацией -128,49 дБ.

5) Частота отстройки от несущей 10 МГц. Классическая ФАПЧ: -147,19 дБ; а система с субдискретизацией -144,78 дБ.

Результаты измерения периодического джиттера: классическая ФАПЧ – 21,97 пс; система с субдискретизацией 0,2642 пс.

Проведённое исследование показало, что применение ФАПЧ с субдискретизацией позволяет существенно подавить фазовые шумы в диапазоне частот отстройки от 1 кГц до 1 МГц. Максимальное улучшение достигает 5,78 дБ на частоте 100 кГц. Однако при этом наблюдается ухудшение шумовых характеристик на частоте отстройки 10 МГц, где уровень шума классической ФАПЧ оказывается на 2,41 дБ выше. По результатам измерения периодического джиттера система с субдискретизацией (0,2642 пс) превосходит классическую ФАПЧ (21,97 пс) более чем в 80 раз. Это свидетельствует о значительном повышении кратковременной стабильности частоты. Данные системы формирования сигналов с субдискретизацией являются эффективным решением для построения высокостабильных и малошумящих синтезаторов частот в современных телекоммуникационных и радиотехнических устройствах.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-01291,
<https://rscf.ru/project/25-29-01291/>*

Литература

1. Xu H. et al. Analysis and design of a sub-sampling PLL of low phase noise and low reference spur // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. – 2024. – Т. 71. – №. 8. – С. 3597-3607.
2. Wang L. et al. A compact 20–24-GHz sub-sampling PLL with charge-domain bandwidth control scheme // IEEE Journal of Solid-State Circuits. – 2024.
3. Jiang S., Zhang Y., Xu J. Study on spurious suppression behavior of Fractional-N and DDS based PLL synthesizers with fine frequency resolution // 2023 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT). Qingdao, China. 14-17 May 2023. DOI: 10.1109/ICMMT58241.2023.
4. Kar D. et al. A 14 GHz Integer-N Sub-Sampling PLL With RMS-Jitter of 85.4 fs Occupying an Ultra Low Area of 0.0918 mm² // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. – 2023. – Т. 71. – №. 2. – С. 595-605.

Беркут И. А., Березина Д. М.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Якименко К. А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: irinaberkut07@mail.ru

Функциональное моделирование и оценка спектральных характеристик быстродействующего цифро-аналогового преобразователя

Построение современных систем связи в настоящее время базируется на использовании формирователей сигналов, реализуемых на основе быстродействующих цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) с применением специальных режимов работы.

Применение специальных режимов дает возможность изменять огибающую спектра выходного сигнала, что позволяет подавлять одни зоны Найквиста и усиливать другие. Режим RZ создаёт провал в чётных зонах и подъём в нечётных, тогда как RF-режим дополнительно подавляет первую зону, перенося максимум энергии в третью.

Особый интерес представляет режим RFZ, который обеспечивает отсутствие постоянной составляющей в выходном сигнале и создаёт условия для формирования широкополосного сигнала, охватывающего 2...5 зоны Найквиста [1, 2].

Целью данной работы является создание функциональной модели для формирования выходного сигнала быстродействующего ЦАП в режиме RFZ.

Математические модели импульсных откликов выходных сигналов быстродействующего ЦАП в режимах RZ и RFZ имеют вид:

$$h_{RF}(t) = \begin{cases} A_0, & 0 \leq t \leq T/2, \\ -A_0, & T/2 < t \leq T; \end{cases} \quad (1)$$

$$h_{RFZ}(t) = \begin{cases} A_0, & T/4 \leq t \leq T/2, \\ -A_0, & T/2 < t \leq 3T/4, \\ 0, & (t < T/4) \cup (t > 3T/4); \end{cases} \quad (2)$$

На основе выражений (1) и (2) была создана функциональная модель формирователя сигналов для реализации специальных режимов RF и RFZ, представленная на рис. 1.

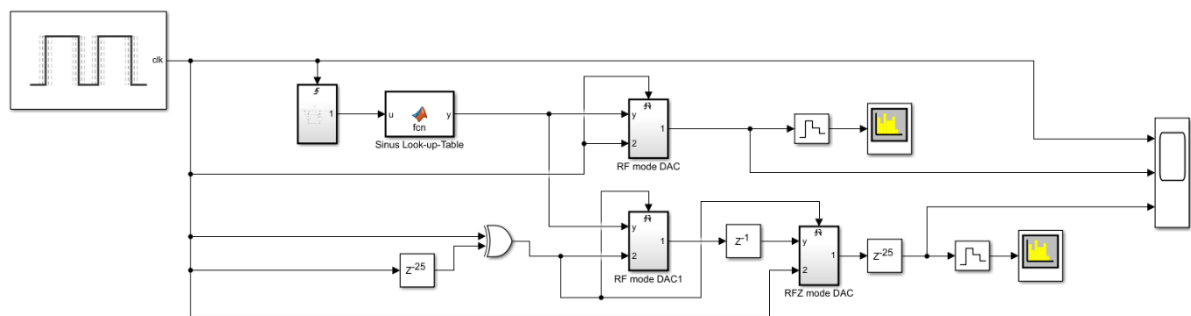


Рис. 1 – Функциональная модель формирователя сигналов RF и RFZ, созданная в программе MATLAB Simulink

Формирование тактовой частоты, удвоенной относительно опорной, осуществляется посредством блока логического ИЛИ (XOR) и линии задержки. С помощью первого высокоскоростного ключа RF mode DAC1 формируется сигнал в режиме RF, тогда как RFZ mode DAC формируется выходной сигнал, соответствующий режиму RFZ. Реализация данных сигналов во временной области представлена на рис. 2.

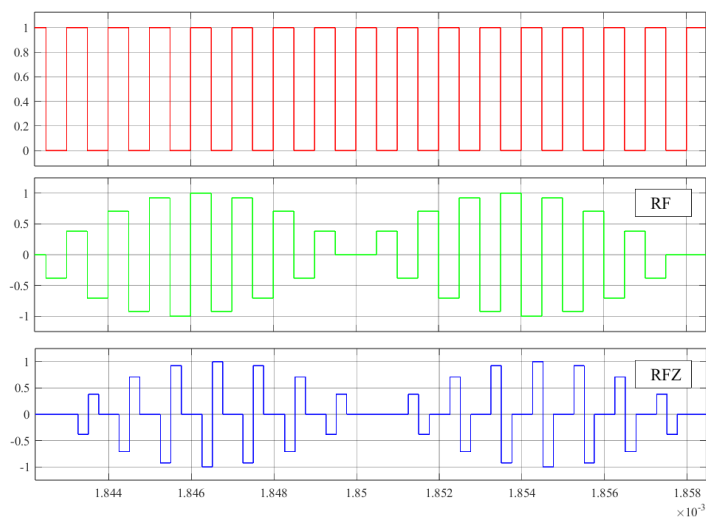


Рис. 2 – Реализация сигналов на выходе формирователя во временной области

Проведем анализ спектров сигналов на выходе формирователя, функционирующего в специальных режимах работы RF и RFZ (рис. 3).

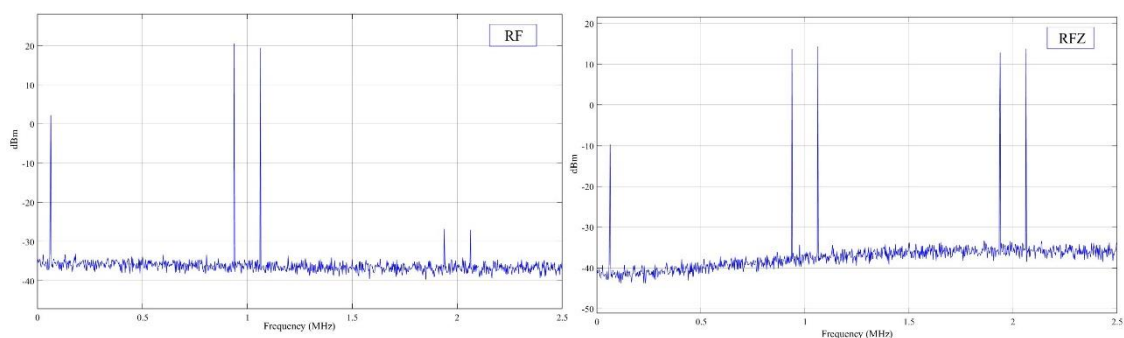


Рис. 3 – Спектры выходных сигналов в режимах RF и RFZ

Установлено, что применение режима RFZ позволяет существенно увеличить амплитуду спектральных составляющих в четвёртой и пятой зонах Найквиста (11,47 дБ и 13,75 дБ) по сравнению с режимом RF (-27,5 дБ и -28 дБ). Данный эффект достигается за счёт перераспределения энергии в спектре выходного сигнала, обусловленного особенностями импульсного отклика в режиме RFZ. Таким образом, режим RFZ может быть рекомендован для применения в тех случаях, когда приоритетом является увеличение уровня сигнала в четвёртой и пятой зонах Найквиста. Предлагаемая архитектура модели может быть использована для схемотехнической реализации цифро-аналогового преобразователя.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-01291,
<https://rscf.ru/project/25-29-01291/>*

Литература

1. Jiang S., Zhang Y., Xu J. Study on spurious suppression behavior of Fractional-N and DDS based PLL synthesizers with fine frequency resolution // 2023 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT). Qingdao, China. 14-17 May 2023. DOI: 10.1109/ICMMT58241.2023.
2. Ромашов В. В., Храмов К. К., Докторов А. Н., Якименко К. А., Сочнева Н. А. Повышение эффективности использования высших зон Найквиста при прямом цифровом синтезе высокочастотных сигналов // Радиотехника. 2022. Т. 86. № 5. С. 135–144.

Горчаков М.О.

Научный руководитель: к.т.н., доцент К.К. Храмов

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: matvey.gorchakov2007@mail.ru*

Разработка системы радиуправления подвижным объектом с видеопередачей

Система радиуправления подвижным объектом – это комплекс технических средств, предназначенный для дистанционного управления мобильной платформой с передачей видеопотока в реальном времени. Такие системы находят широкое применение в робототехнике, позволяя оператору управлять объектом на расстоянии с визуальным контролем окружающей обстановки.

Системы радиуправления с видеонаблюдением применяются в различных областях: от любительской робототехники и радиоуправляемых моделей до профессиональных комплексов для инспекции опасных зон, проведения поисково-спасательных операций и мониторинга территорий. Возможность управления объектом вне зоны прямой видимости с передачей видео делает такие системы незаменимыми в ситуациях, когда присутствие человека представляет опасность [1].

Целью данной работы является разработка системы радиуправления подвижным объектом с интегрированным видеонаблюдением, обеспечивающей устойчивую связь на расстоянии до 1000 метров и передачу видеопотока на смартфон оператора.

Основная функция разработанной системы заключается в беспроводной передаче управляющих команд от пульта оператора к бортовому контроллеру подвижного объекта и одновременной передаче видеоизображения с камеры, установленной на объекте [2]. Для организации канала управления используются специализированные радиомодули, работающие в УВЧ диапазоне. Видеопоток передается по отдельному WiFi-каналу.

Система состоит из двух основных частей: передающего модуля, встроенного в пульт оператора (рис. 1,а) и приемного модуля бортовой системы подвижного объекта. Передающий модуль включает микроконтроллер Arduino Nano, органы управления в виде аналоговых джойстиков и кнопок, радиомодуль NRF24L01 с внешней антенной и усилителем мощности, а также источник питания на основе аккумуляторов. Принцип работы системы заключается в том, что микроконтроллер считывает значения органов управления и преобразует их в цифровые значения, которые масштабируются и преобразовываются в пакеты данных [3]. Сформированные пакеты передаются через интерфейс SPI на радиомодуль, который излучает сигналы на несущей частоте 2,508 ГГц со скоростью 1 Мбит/с с GFSK-модуляцией. Приемный модуль (рис. 1,б) содержит радиомодуль, микроконтроллер Arduino Nano, драйверы двигателей для управления основными моторами и поворотным механизмом камеры, WiFi-камеру для видеонаблюдения и систему импульсных преобразователей напряжения для формирования необходимых уровней питания. В приемном модуле осуществляется прием и демодуляция сигнала, извлечение пакета данных, который передается на бортовой контроллер, формирующий управляющие ШИМ-сигналы для драйверов двигателей. Для управления основными двигателями используется мощный драйвер на полевых транзисторах, обеспечивающий ток до 7 А на канал, что позволяет осуществлять реверс направления вращения и плавную регулировку скорости. Поворотный механизм камеры управляется через отдельный драйвер двигателей. Для обеспечения плавности движения камеры реализован алгоритм плавного ускорения, предотвращающий резкие рывки при старте. Видеонаблюдение реализовано через WiFi-камеру, которая передает видеопоток на смартфон оператора на частоте 2,4 ГГц.

Прототип устройства изготовлен и собран на односторонней печатной плате. Ширина проводников выбиралась дифференцированно для сигнальных линий и шин питания, что минимизирует падение напряжения и нагрев.



а



б

Рис. 1. Передающий (а) и приемный (б) модуль системы радиоуправления

Экспериментальные исследования показали, что на открытой местности в условиях прямой видимости максимальная дальность устойчивой радиосвязи в канале управления составила около 1000 метров. Максимальная дальность видеопередачи в тех же условиях составила около 30 метров, что обусловлено уровнем мощности используемого WiFi-радиомодуля.

В докладе приводится структурная схема разработанной системы радиоуправления, рассматриваются особенности схемотехнической реализации, обсуждаются технические характеристики и ограничения системы.

Литература

1. Журавлев Д. В. Мобильные робототехнические комплексы : монография / Д. В. Журавлев, Д. И. Наумов, М. А. Сиваш ; ВГТУ. – Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2020. – 124 с. – ISBN 978-5-7731-0902-0.
2. Robosobaka. Гусеничные роботы: конструкция, возможности и сферы использования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://robosobaka.ru/expertise/articles/gusenichnye-roboty/>
3. Бужинская Н. В. Программирование микроконтроллеров Arduino : практикум для СПО / Н. В. Бужинская [и др.] ; Урал. гос. пед. ун-т. – М. : Профобразование, 2026. – 156 с. – Гриф УМО. – ISBN 978-5-4488-2695-5.

Горшков А.С.¹, Ростокин П.И.²

Научный руководитель: д.т.н., профессор Ростокин И.Н.¹

¹ Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23

² МБОУ Средняя общеобразовательная школа №4
Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, 23 «А»
E-mail: rostockin.ilya@yandex.ru

Анализ перспектив развития мобильных систем РЭБ

Развитие «умных» систем РЭБ - это фундаментальный сдвиг в методах ведения радиоэлектронного противодействия, переход от простого подавления сигнала к его перехвату, анализу и обману. Этот прогресс основан на трех ключевых технологиях: DRFM (цифровая память радиочастот), применении искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО), а также когнитивных методах:

1) технология цифровой памяти радиочастот (Digital Radio Frequency Memory, DRFM) позволяет системам РЭБ не просто «забывать» эфир шумом, а вступать с противником в сложную «цифровую дуэль», это ретрансляторная система, которая перехватывает входящий сигнал радара противника, оцифровывает его с высокой точностью, сохраняет в памяти и затем ретранслирует обратно, часто с определенными модификациями, лючевое свойство DRFM в том, что создаваемый сигнал когерентен исходному, то есть является его точной цифровой копией, что делает его неотличимым для систем обработки радара, система способна создавать обманные помехи (Desertion Jamming) изменяя задержку сигнала (создавая ложные цели на других дальностях) или его частоту (имитируя движение с другой скоростью), тактика увода строга захвата по дальности или скорости, прицельная шумовая помеха (Coherent Spot Noise), место генерации шума в широкой полосе, DRFM использует принятый сигнал как несущую для создания шумовой помехи, точно сфокусированной в полосе частот радара, современные системы позволяют создавать не один, а множество ложных эхо-сигналов, формируя целые «рои» ложных целей со сложными законами движения;

2) ИИ и МО становятся тем аналитическим ядром, которое превращает набор приемов РЭБ в адаптивную и обучающуюся систему, ИИ способен в реальном времени анализировать параметры незнакомого сигнала, выявлять его ключевые особенности и классифицировать угрозу, даже если ее нет в базах данных, на основе распознанного сигнала алгоритмы ИИ могут мгновенно определить наиболее эффективный тип помехи и параметры для ее постановки, работая на скоростях, недоступных человеку.

3) когнитивная РЭБ - это следующий шаг эволюции, который объединяет DRFM и ИИ в полностью автономную систему, способную к самообучению и адаптации, ее можно представить, как систему, которая думает, а не просто реагирует, такая система постоянно работает в замкнутом цикле, сбор данных об электромагнитной обстановке осуществляется с помощью специальных сенсоров, ИИ-модели анализируют эти данные, выявляют паттерны и угрозы, затем симулируют возможные последствия различных ответных действий, система применяет выбранную стратегию (например, выставляет направленную помеху), после чего мгновенно оценивает ее эффективность и подстраивает тактику.

Эволюция от простой шумовой постановки к когнитивной РЭБ - это смена парадигмы развития систем РЭБ. DRFM дала технологическую базу для высокоточного обмана. Искусственный интеллект и машинное обучение добавили способность к анализу и принятию решений на невиданных ранее скоростях, а когнитивная РЭБ объединяет эти элементы в полностью автономную, обучающуюся систему, способную в реальном времени адаптироваться к самым сложным и неизвестным угрозам. Современная радиоэлектронная борьба - это поле битвы машинной скорости, где исход конфликта все больше зависит от качества данных и алгоритмов, чем от сырой мощности передатчиков.

Губочкин А.А.

Научный руководитель к.т.н. Докторов А.Н.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: agubockin372@gmail.com

Лазерный гравер с ЧПУ-управлением на основе системы Arduino

Современная промышленность нуждается в персонализированных и миниатюрных решениях. Лазерная гравировка, высокоточный метод нанесения изображений, широко используется в ювелирном деле, рекламе, производстве сувениров и микроэлектронике. Однако коммерческие ЧПУ-станки дороги и сложны для малых производств или образования. Актуальна разработка доступного, открытого и настраиваемого решения на микроконтроллерах. Объектом исследования является процесс лазерной гравировки с ЧПУ, предметом — реализация станка на базе Arduino.

История лазерной резки и гравировки началась с изобретения лазера в 1960-х. В 1960 году Теодор Маймен, Энтони Сигрест и Чарлз Таунс создали первый лазер. В 1965 году Питер Хупер разработал технологию лазерной гравировки, удаляя слои материала для создания изображений. К концу 1960-х лазерная резка стала применяться в промышленности (автомобильной, аэрокосмической, оборонной) для обработки металлов с высокой точностью. В 1970-х технология распространилась на ремесла и малый бизнес. Главные преимущества лазерной резки и гравировки – высокая точность, скорость, чистота и экологичность. Метод позволяет создавать уникальные формы и рисунки, недоступные другим способом. Сегодня лазерные технологии используются в различных отраслях: от дизайна и искусства (украшения, значки) до автомобилестроения и медицины (протезы). Лазерная резка и гравировка, появившись благодаря научным исследованиям, открывают широкие возможности для промышленности, ремесла и искусства.

Структурная схема устройства показана на рисунке 1.

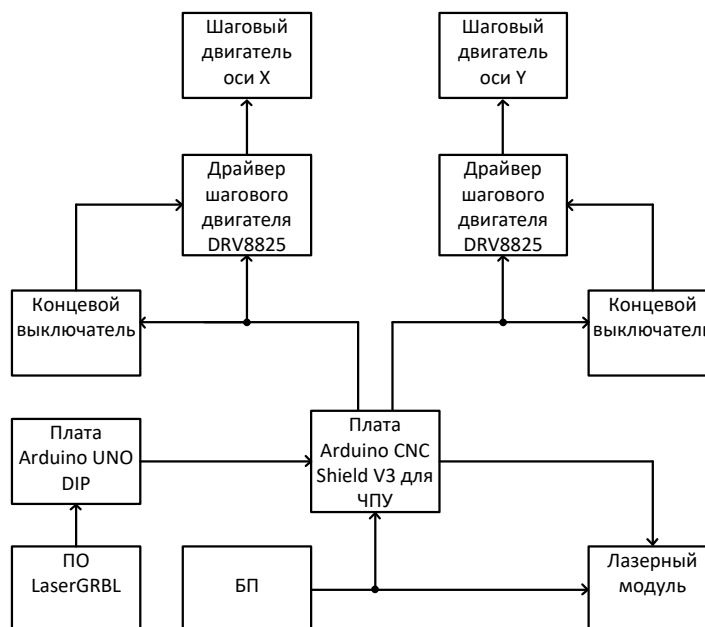


Рис. 1 Структурная схема устройства

Принцип работы устройства таков: программа-рисунок превращается в набор инструкций (G-код) для станка, после чего эти инструкции отправляются на контроллер ЧПУ[1]. Контроллер получает G-код и преобразует его в движения моторов (X и Y). Моторы в свою очередь

двигают лазерную головку по осям[2]. Лазер включается и выключается в нужной точке и нужной длительности. Когда путь идёт по линии, лазер включен и «зажигает» материал точку за точкой. В паузах между точками лазер выключен, чтобы не оставлять лишних следов. На поверхности материал нагревается и при достаточной мощности и времени на нём образуется ожог, обугливание или испарение — это и есть рисунок. При высокой мощности и/или глубокой обработке получается рез или вырез. Лазерная головка маневрирует по столу вдоль X и Y[4]. В большинстве систем фокусировка постоянная (Z регулируется или лазер имеет фиксированный фокус). Контроллер ЧПУ получает данные, шлет сигналы моторам и управляет лазером. Результатом работы становится гравировка, то есть рисунок на поверхности, либо резка[5].

Данное устройство, как видно по схеме, выполнено на Arduino UNO, а в качестве ПО выступает прошивка с открытым кодом laserGRBL, движение осей идет с помощью шаговых двигателей и ременной передачи по направляющим с подвижными каретками.

В результате была создана модель устройства, представленная на рисунке 2

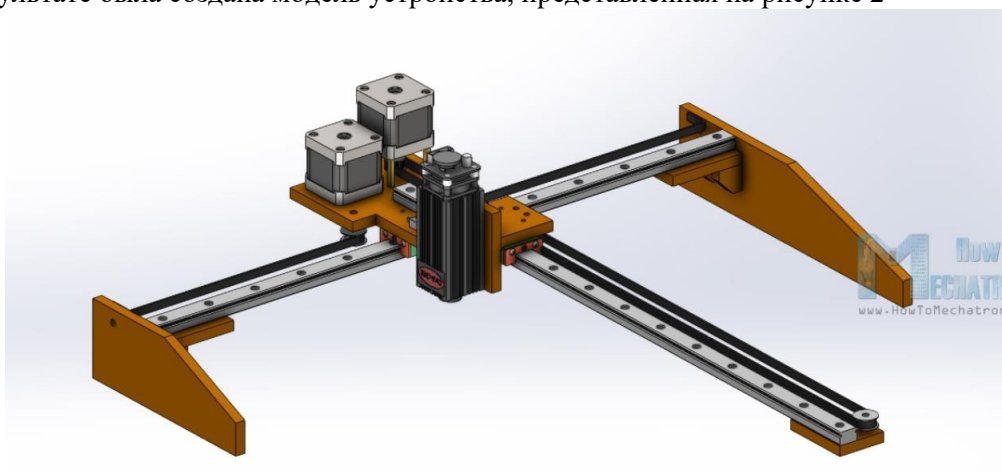


Рис. 2 модель устройства

Таким образом, в данной работе был спроектирован лазерный гравер с ЧПУ-управлением на основе системы Arduino, позволяющий обрабатывать с помощью лазерного излучения поверхности различных материалов. В дальнейшем, после сборки действующего образца, необходимо провести ряд экспериментальных исследований, позволяющий определить оптимальные режимы работы данного лазерного гравера для ускорения процесса гравировки и повышения ее качества.

Литература

1. Прядилов А. В., Позднов М. В., Певчев В. П., Алмаев А. Ю. «Использование G-кода в лазерно-гравировальных станках с ЧПУ».
2. Шавдуrow Д. Э. «Разработка конструкции гравера с ЧПУ с подвижной головкой для маркировки деталей маломощным лазером».
3. Глебов И. Т. «Оборудование отрасли. Конструкция лазерногравировальной машины».
4. «Лазерный гравер ЧПУ LEM0808-0.5. Руководство по эксплуатации»
5. А. С. Борейшо, С. В. Ивакин «Лазеры: устройство и действие. Учебное пособие для СПО»

Гусев А.Р.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Якименко К. А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: artemgusev23g@gmail.com

Разработка стабилизатора для экшн-камеры

Для получения плавного и профессионального видео при съемке в движении, особенно с использованием экшн-камер, необходимо применение стабилизирующего устройства, известного как стабилизатор (или гимбал). Данные устройства предназначены для компенсации нежелательных угловых перемещений, линейных колебаний и высокочастотных вибраций, возникающих в процессе динамической съемки. Портативные модели стабилизаторов, характеризующиеся малыми массогабаритными параметрами, являются оптимальным решением для использования в условиях путешествий, а также для записи динамичных сцен, связанных с интенсивным перемещением оператора.

Актуальность разработки стабилизатора обусловлена устойчивым ростом интереса к любительской и полупрофессиональной видеосъемке, в которой стабильность выходного изображения выступает в качестве одного из ключевых факторов, определяющих итоговое качество видеоматериала. Применение стабилизаторов позволяет достичь эффекта, сопоставимого с кинематографическим, даже при активных и резких перемещениях оператора в пространстве.

Целью настоящего проекта является разработка доступного по стоимости и портативного трехосевого стабилизатора, ориентированного на использование с экшн-камерами, при этом устройство должно соответствовать заранее установленным техническим требованиям и эксплуатационным характеристикам.

Основные функциональные возможности разрабатываемого устройства включают автономность функционирования, под которой понимается обеспечение продолжительной работы от встроенных аккумуляторных батарей без подключения к внешнему источнику питания. К числу возможностей относится также трехосевая стабилизация, а именно компенсация угловых отклонений по трем осям — тангажа (Pitch), крена (Roll) и рыскания (Yaw). Другой важной функцией является простота использования, выражающаяся в реализации интуитивно понятного интерфейса управления, не требующего от оператора специальной подготовки. Кроме того, устройство поддерживает настраиваемость параметров, то есть возможность регулировки чувствительности системы стабилизации, скорости отработки сервоприводов, выбора различных режимов работы, а также выполнения процедуры калибровки.

Устройство включает в себя следующие основные элементы: платформу для крепления камеры, три сервопривода, инерциальные датчики, блок управления и источник питания. Блок управления реализован на основе следующих компонентов:

- модуль Arduino Nano выполняет функции центрального процессора, осуществляющего обработку данных, поступающих от датчиков, и формирование управляющих сигналов для сервоприводов. Выбор данной платформы обусловлен ее компактностью, низкой стоимостью и простотой программирования.
- инерциальный измерительный модуль MPU-6050, объединяющий гироскоп и акселерометр, который обеспечивает высокоточное определение пространственного положения камеры в реальном времени.
- сервоприводы MG996R, обеспечивающие механическое перемещение камеры по трем осям координат, характеризуются высокой надежностью, достаточным крутящим моментом и точностью позиционирования.
- понижающий преобразователь напряжения (Buck Converter), предназначенный для стабилизации питающего напряжения, подаваемого на компоненты устройства, до требуемых номиналов.
- аккумуляторная батарея, используемая в качестве источника автономного питания всех составных частей стабилизатора.

Инерциальный датчик MPU-6050 осуществляет непрерывный мониторинг углового положения камеры в пространстве. Микроконтроллер Arduino Nano выполняет анализ поступающих данных, сравнивает текущие угловые координаты с эталонным (идеальным) положением и на основе вычисленной разницы формирует управляющие сигналы для сервоприводов. Сервоприводы, в свою очередь, обрабатывают полученные команды, поворачивая камеру в направлении, противоположном обнаруженному отклонению, тем самым компенсируя внешние возмущения и обеспечивая высокую плавность выходного видеосигнала. Внешний вид устройства показан на рис. 1.



Рис. 1 – Стабилизатор для экшн-камеры

Литература

1. Татарников Е.В. Проектирование стабилизатора видеокамеры // Сборник трудов конференции ТПУ, 2016. – С. 79–83.
2. RobotClass.ru. Комплементарный фильтр для оценки угла [Электронный ресурс]. URL: <https://robotclass.ru/articles/complementary-filter/>
3. Каримов Б.Х. Ардуино и электронное творчество: учебное пособие. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 256 с.

Гуськов И.М.

Муромский институт (филиал)

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: velikigus@gmail.com*

Исследование возможностей реализации алгоритмов траекторной обработки на основе микроконтроллера с архитектурой RISC-V

Траекторная обработка – это применяемый в радиолокации математический и алгоритмический процесс, который позволяет установить принадлежность радиолокационных измерений к конкретным объектам, сформировать их траектории и выдать параметры движения.

Процесс траекторной обработки можно разделить на следующие стадии: первичная обработка (согласованная фильтрация и пороговая обработка) и вторичная обработка (обнаружение траекторий, сопровождение и сброс).

Встраиваемые системы играют всё более важную роль в современной радиолокации. Их главные преимущества – работа в реальном времени, низкое энергопотребление, компактность и устойчивость к вибрациям и температурным перепадам. Встраиваемые системы могут использоваться как на этапе первичной обработки, так и на этапе вторичной обработки. При первичной обработке встраиваемые системы работают на пределе возможностей, обрабатывая сырые данные с аналого-цифровых преобразователей. На этапе вторичной обработки требования к аппаратным ресурсам меньше, т.к. основные задачи – это обнаружение движущихся целей, подавление пассивных помех, а также стробирование и формирование первичных траекторных отметок.

Цель данной работы исследовать возможности встраиваемых систем на базе процессоров с архитектурой RISC-V и определить их место в современной радиолокационной системе.

Архитектура RISC-V представляет собой открытый и свободный стандарт набора команд (ISA), развиваемый международным сообществом. Архитектура RISC-V не является монолитной; она строится из двух частей:

1. Базовый набор команд – это обязательное «ядро», которое должно быть в любом процессоре RISC-V. Оно включает минимальный набор инструкций для целочисленных операций, ветвлений, загрузки и сохранения данных. Существует несколько вариантов базовых наборов, отличающихся разрядностью: 16, 32 и 64-битные целочисленные регистры и адресное пространство.

2. Стандартные расширения. Это опциональные «модули», которые можно добавлять к базовому ядру для расширения функциональности. Основные из них: умножение и деление целых чисел. атомарные операции, операции с плавающей точкой одинарной (F), двойной (D) и четверной (Q) точности, сжатые инструкции для уменьшения размера кода, векторные расширения для эффективной обработки больших массивов данных.

Эта модульность позволяет создавать процессоры ровно с той функциональностью, которая нужна для конкретной задачи – от простого датчика до мощного серверного ядра.

Российский рынок может предложить три модели процессоров RISC-V для встраиваемых систем: MIK32 АМУР от компании «Микрон», K1921BG015 от НИИЭТ и Baikal-U от компании «Байкал Электроникс».

Ниже представлены их характеристики.

Таблица 1. Характеристики российских микроконтроллеров на базе RISC-V

Параметр	МІК32 АМУР	К1921ВГ015	Baikal-U (BE-U1000)
Архитектура	RISC-V	RISC-V	RISC-V
Состав ядер	1 ядро	1 ядро	3 ядра
Макс. частота	32 МГц	50МГц	200 МГц
SRAM (ОЗУ)	16 КБ	64кБ	192 КБ
Встроенная Flash	8 КБ EEPROM	–	256 КБ eFLASH
Внешняя Flash	До 16 МБ	–	16 МБ (в XIP режиме)
Интерфейсы ввода-вывода	SPI, I2C, UART	CAN 2.0b, USB 2 FullSpeed, I2C, QSPI, SPI	USB 2.0 OTG, 2×CAN FD, 8×UART, 4×SPI, 2×QSPI, 4×I2C, 2×I2S
Аналоговая периферия	АЦП: 12 бит, 8 каналов (до 1 МГц) ЦАП: 12 бит, 2 канала	2×АЦП: 12 бит, 16 бит	3×АЦП: 12 бит, 8 каналов каждый, с дифференциальными входами

Как видно из табл. 1 существующая номенклатура российских процессоров предполагает использование только во вторичной обработке, например, в качестве обработчиков для радиолокационный высотомер беспилотников или доплеровский радар скорости на дорожном патруле.

Каримова П.О.

Научный руководитель к.т.н. Докторов А.Н.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: karrimm.1283@mail.ru

Разработка индикационного устройства «Светодиодный 3D-куб»

В данной работе проводится проектирование и создание индикационного устройства – светодиодного трехмерного куба. Он может использоваться как дисплей для систем умного дома, а также для оформления интерьера: ночник, иллюминация, воспроизведение заранее записанных в память микроконтроллера эффектов.

Принципиальная схема устройства показана на рис.1. Основу светодиодного куба составляет сетка из колонн и слоев, позволяющая управлять включением каждого из 512 светодиодов, образующего куб со сторонами 8x8x8. Для включения питания слоя используются биполярные транзисторы BD241C, а для управления колоннами используются дешифраторы 74НС595.

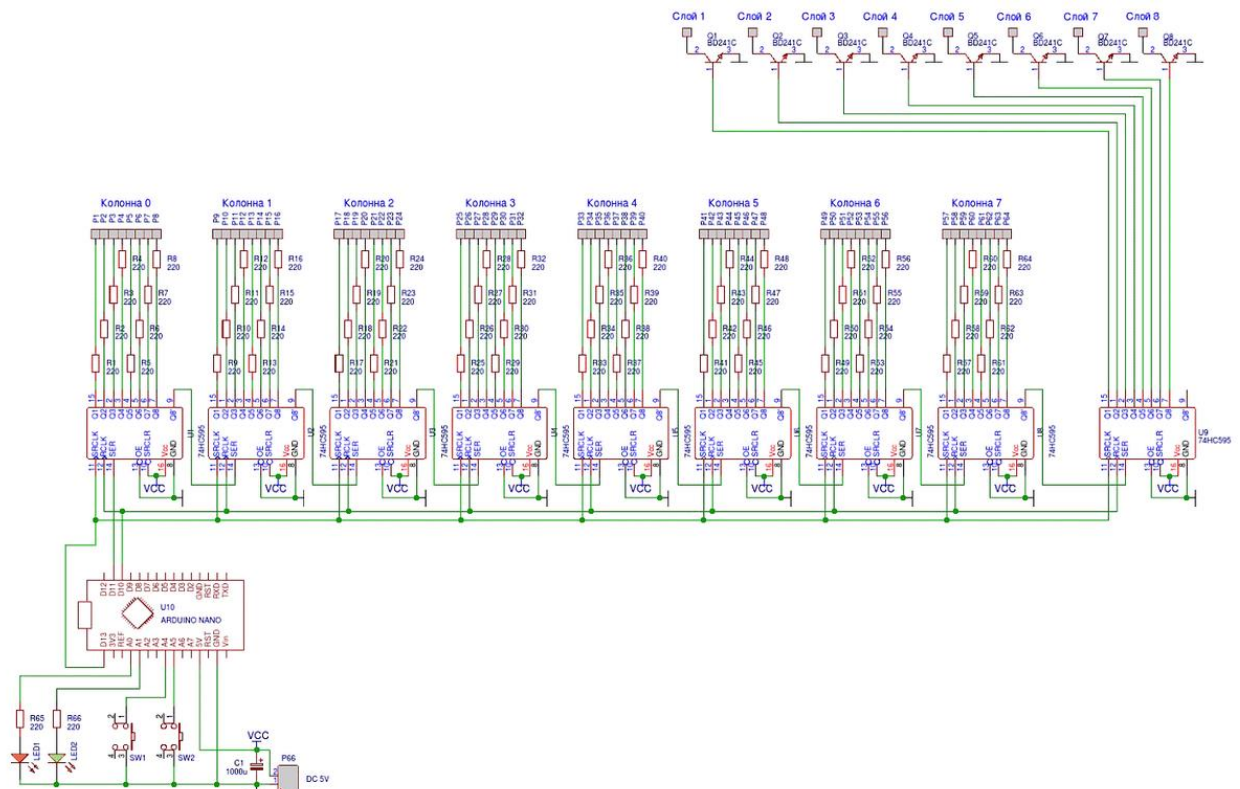


Рис. 1. Принципиальная схема индикационного устройства

Сборка куба требует тщательного подхода: оптимально использовать шаблон с отверстиями для выравнивания элементов. Сначала формируются восемь плоских матриц 8×8, которые затем соединяются вертикальными перемычками в единую трёхмерную конструкцию. После сборки слои скрепляются и фиксируются на несущей раме, а каждая пайка проверяется мультиметром на отсутствие обрывов и коротких замыканий.

Через управление колоннами и слоями реализована динамическая индикация. При динамической индикации эффект одновременной работы множества светодиодов достигается очень быстрым переключением. Частота переключения светодиодов выбирается в соответствии с особенностями человеческого зрения. Известно, что источники света с частотой мигания более

25 Гц вследствие инерционности зрения кажутся непрерывными источниками света. Поэтому частота переключения одиночного светодиода должна быть выше данного значения.

Управление переключениями и адресацию светодиодов выполняет микроконтроллер AT-MEGA328P на отладочной плате ARDUINO NANO [3]. Микроконтроллер будет анализировать поступающие данные и запускать соответствующие эффекты: например, пульсация красным цветом при срабатывании датчика дыма, волна зелёного при открытии двери или анимация изменения температуры (от синего к красному). Пример внешнего вида эффектов и устройства в процессе переключения светодиодов показан на слайде на рис.2. Перепрошивка отладочной платы позволяет изменить вид эффекта. Для использования данного устройства в качестве индикатора для систем умного дома необходимо добавить цифровой управляющий сигнал, который будет поступать на микроконтроллер и обрабатываться им. По результатам данной обработки будут зажигаться те или иные группы светодиодов, свидетельствующие о наступлении того или иного события.

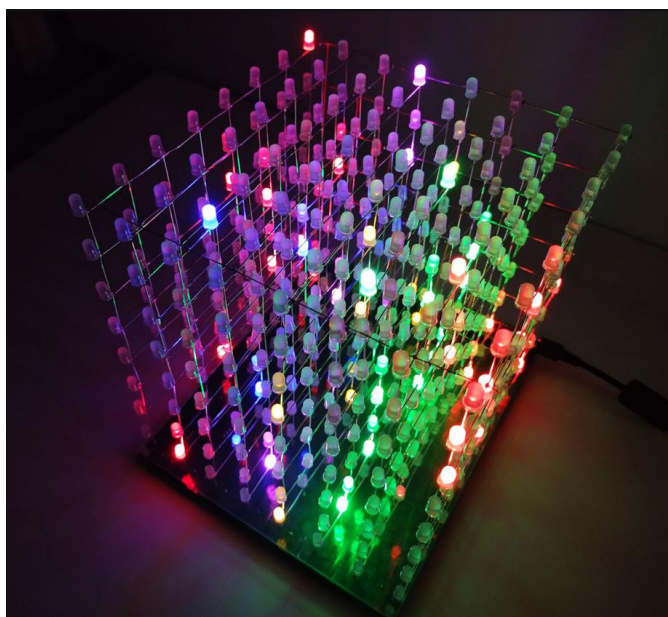


Рис. 2. Внешний вид устройства

В данном проекте разрабатывается печатная плата, проводится сборка, отладка программы и программирование устройства. Печатная плата является двусторонней, с размерами 190x230. Анализируются пути применения данного устройства для индикации событий, происходящих в среде умного дома и в окружающей среде.

Таким образом, светодиодный куб превращается из простого ночника или элемента иллюминации в интеллектуальный интерфейс взаимодействия с средой умного дома. Гибкость аппаратной и программной реализации делает его универсальным решением для самых разных задач.

Литература

1. Теория работы индикационных устройств [Электронный ресурс] <https://studfile.net/preview/2524957/page:14/> (дата обращения: 23.03.2026).
2. Бытовая радиоаппаратура и ее ремонт [Электронный ресурс] <https://uchebana5.ru/cont/1168657-p25.html> (дата обращения: 13.03.2025).
3. DIY LED Cube: ультимативный гайд для сильных духом. Часть 1. Сборка [Электронный ресурс] <https://habr.com/ru/companies/timeweb/articles/866558/>

Климов Т.Р.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Якименко К. А.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
 602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
 E-mail: klimovtrofim1405@gmail.com

Разработка системы автоматического наведения на объект

Современное развитие автономных робототехнических комплексов и высокоточных систем управления предъявляет повышенные требования к средствам автоматического наведения. Эффективность данных систем является критическим фактором, определяющим точность позиционирования исполнительных механизмов, скорость реакции на изменение внешних условий, а также общую энергоэффективность технических средств различного, в том числе специального, назначения. Традиционные методы наведения (визуальные, лазерные, радиолокационные) либо имеют высокую стоимость, либо чувствительны к условиям среды (запыленность, освещенность, наличие радиопомех). Ультразвуковая локация, благодаря доступности компонентов, низкому энергопотреблению и устойчивости к оптическим помехам, представляет собой перспективную альтернативу для создания недорогих и надежных систем автономного наведения в ближней и средней зоне действия. Однако существующие алгоритмы ультразвукового сопровождения объектов часто не оптимизированы по быстродействию и точности применительно к подвижным целям. Это обуславливает необходимость совершенствования методов автоматического наведения на основе доступной элементной базы.

В работе рассматриваются принципы построения и функционирования систем автоматического наведения на объект. Проведён сравнительный анализ четырёх типов систем: инерциальных, радиолокационных, оптических и магнитных. Обоснован выбор радиолокационного метода как наиболее оптимального технического решения для реализации в условиях неопределённости внешней среды. Разработана и экспериментально исследована структурная схема системы автоматического наведения на базе микроконтроллера Arduino Nano и ультразвукового дальномера. Предложен алгоритм идентификации цели и сопровождения объекта с активацией исполнительного механизма.

Функционирование разрабатываемой системы основано на циклическом выполнении этапов сканирования, обработки данных, идентификации цели, сопровождения и выдачи управляющего воздействия.

Управляющий микроконтроллер (МК) формирует сигналы для сервопривода, который позиционирует ультразвуковой датчик с заданным дискретным шагом $\Delta\varphi$ (например, 5–10 градусов) в диапазоне рабочего сектора $0^\circ \dots 180^\circ$ (либо круговой обзор). На каждом фиксированном угловом положении датчик излучает ультразвуковой импульс, регистрируется время прохождения сигнала до объекта и обратно, после чего рассчитывается дистанция по формуле:

$$L = v \cdot \frac{t}{2}, \quad (1)$$

где v — скорость звука в воздухе (м/с), t — измеренное время (с).

На основе полученных данных в памяти микроконтроллера создаётся массив структур «угол – расстояние». Данный массив представляет собой цифровую модель рабочей зоны (ЦМРЗ), содержащую информацию о всех обнаруженных препятствиях в пределах дальности действия ультразвукового дальномера.

Реализуемый алгоритм осуществляет поиск кластеров точек с аномально малыми расстояниями на смежных угловых позициях. Признаком цели является локальный минимум дистанции, сохраняющийся на нескольких соседних углах. При обнаружении такого кластера вычисляется усреднённый азимут цели φ_{target} как среднеарифметическое углов, входящих в кластер.

После захвата цели система переключается из режима полного сканирования в режим сопровождения. Сканирование ограничивается рабочим сектором $\pm\Delta\varphi$ (например, $\pm 15^\circ$) вокруг зафиксированного направления φ_{target} . В пределах этого сектора производится многократное

измерение расстояния с повышенной частотой для подтверждения устойчивости обнаружения и отслеживания возможного перемещения цели.

При устойчивом детектировании цели в течение заданного числа последовательных циклов (порог подтверждения) микроконтроллер формирует ШИМ-сигнал (широтно-импульсную модуляцию) с расчётными параметрами. Данный сигнал подаётся на затвор полевого транзистора, открывая его и обеспечивая подачу питающего напряжения на исполнительное устройство (нагрузку).

В случае отсутствия отражённого ультразвукового сигнала в пределах рабочего сектора в течение N циклов измерения (параметр настраивается программно) система интерпретирует ситуацию как потерю цели. При этом формирующийся ранее ШИМ-сигнал снимается, полевой транзистор закрывается, нагрузка обесточивается, а система автоматически возвращается в исходный режим полного сканирования пространства.

Литература

3. Лентовский В.В. Системы ориентации и наведения беспилотных летательных аппаратов: учебное пособие / Лентовский В.В., Князева Т.Н., Герт А.В., Васильева Л.И. - Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2019. - 86 с.

4. Ильчук А.Р., Меркулов В.И., Панас А.И., Чернов В.С., Щербаков С.В. Анализ современного состояния и перспектив развития радиолокационных систем для управляемых средств поражения воздушных объектов. РЭНСИТ, 2021, №13(3). С. 227-244.

Косяков А.А.
Акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Субмикрон»
г. Москва, г. Зеленоград, Георгиевский проспект, д.5, стр.2
kaamurom@gmail.com

Разработка программного обеспечения для анализа данных болометрического датчика в задачах повышения эффективности систем обнаружения

Современные системы обнаружения объектов на основе болометрических оптоэлектронных датчиков предъявляют высокие требования к качеству первичной обработки и анализа тепловизионных данных. Эффективность обнаружения во многом определяется не только характеристиками приемника, но и возможностью оперативно исследовать структуру тепловых кадров, выявлять аномальные пиксели, оценивать статистические параметры фона и настраивать алгоритмы выделения целей. В связи с этим актуальной является разработка специализированного программного обеспечения, предназначенного для анализа данных болометрического датчика и повышения информативности экспериментальных исследований.

Целью работы является создание программного комплекса для визуализации, обработки и анализа 16-битных тепловизионных изображений, получаемых с болометрического датчика, в интересах улучшения показателей систем обнаружения. Разработанное программное обеспечение реализовано на языке Python с использованием библиотек OpenCV, NumPy, PySide6, ruqtgraph и Matplotlib и ориентировано на работу с файлами форматов DAT и TIFF, содержащими данные снятые с болометрического датчика с разрешением 384×288 и 640×480 пикселей.

В программном комплексе реализованы средства интерактивного анализа кадров: просмотр последовательностей изображений, масштабирование, поворот, автоматическая нормализация динамического диапазона, выбор строк, столбцов, линий и прямоугольных областей интереса. Для выбранных участков выполняется расчет статистических характеристик, включая среднее значение, среднеквадратическое отклонение, минимумы и максимумы с указанием координат. Дополнительно предусмотрено построение профильных зависимостей и трехмерных карт распределения интенсивности, что позволяет исследовать пространственную структуру сигнала и особенности фона. Пользовательский интерфейс программы представлен на рисунке 1.

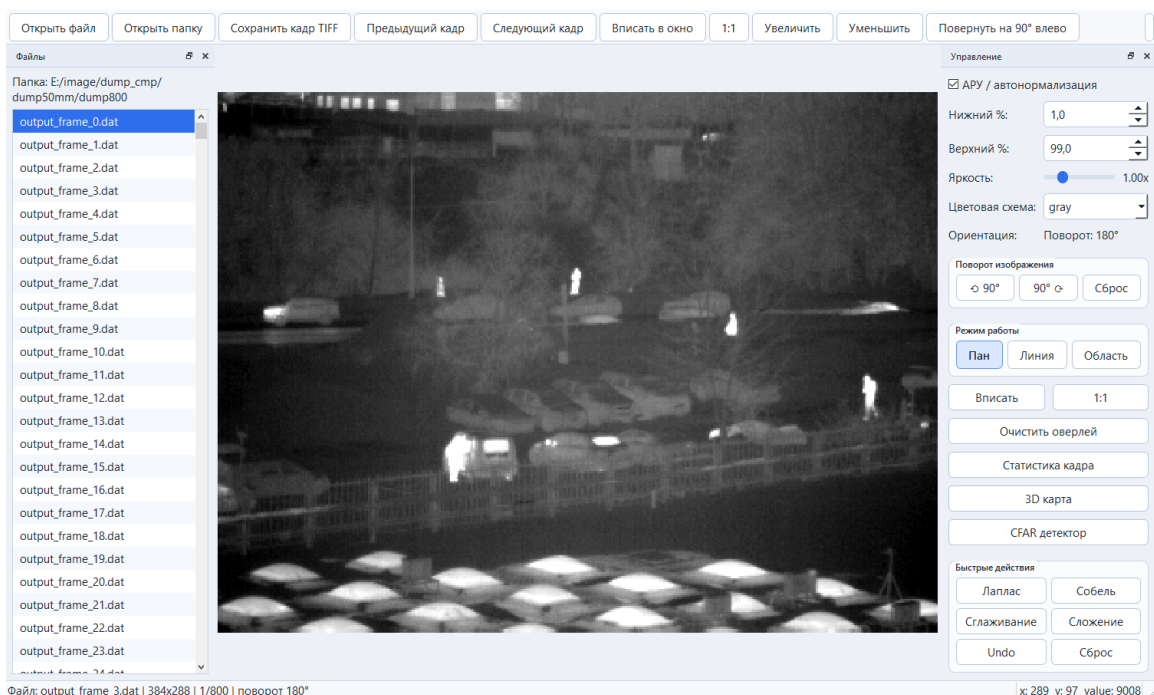


Рис. 1 – Пользовательский интерфейс программного обеспечения анализатора данных болометрического датчика.

С целью изучения влияния предварительной обработки на качество обнаружения в программном обеспечении реализованы операции сглаживания и пространственной фильтрации, включая фильтры Лапласа и Собеля. Для решения задачи выделения локальных тепловых объектов на неоднородном фоне реализован двумерный CFAR-подобный алгоритм обнаружения, в котором порог формируется по локальным оценкам математического ожидания и среднеквадратического отклонения фона с учетом защитной зоны. После пороговой обработки выполняется анализ связанных компонент, определяются центры масс обнаруженных областей и их усредненное положение.

Практическая значимость разработанного программного обеспечения заключается в том, что оно позволяет проводить детальный анализ выходных данных болометрического датчика, исследовать влияние параметров обработки на результат обнаружения, выявлять дефектные элементы матрицы и подбирать рациональные настройки алгоритмов. Использование такого инструмента способствует повышению достоверности экспериментальной оценки алгоритмов обнаружения и сокращает время их отладки при разработке тепловизионных систем наблюдения и сопровождения.

Таким образом, разработанное программное обеспечение представляет собой эффективный инструмент экспериментального сопровождения задач обработки данных болометрических датчиков и может быть использовано при создании и исследовании систем обнаружения малоконтрастных тепловых объектов на сложном фоне.

Панин М.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: radio@mivlgu.ru*

Разработка и конструирование портативного устройства часы-метеостанция

Доклад посвящен разработке и конструированию портативного устройства, которое совмещает в себе функции точных часов и персональной метеостанции. Актуальность этой темы обусловлена растущим интересом людей к персонализированным данным о состоянии окружающей среды. Существующие на рынке решения, такие как смарт-часы или домашние метеостанции, имеют существенные недостатки. Смарт-часы, как правило, получают информацию о погоде из интернета, которая может не соответствовать микроклимату в конкретном месте, например, в комнате или на улице прямо сейчас. Домашние же метеостанции, напротив, достаточно точны, но они громоздки, привязаны к розетке и совершенно не предназначены для ношения на руке. Целью моей работы стала разработка компактного, автономного наручного устройства, лишённого этих недостатков.

Первым и ключевым этапом стал обоснованный выбор электронной элементной базы. В качестве мозга устройства был выбран микроконтроллер ESP32-S2. Этот выбор обусловлен оптимальным балансом между производительностью, низким энергопотреблением и наличием встроенного модуля Wi-Fi, который позволяет при необходимости синхронизировать время или получать долгосрочный прогноз. Для бюджетной версии также подойдет STM32L031, известный своим ультранизким потреблением.

Самый важный блок — это датчики. Для измерения температуры и влажности воздуха выбран цифровой датчик АНТ21, который имеет крошечный корпус размером три на три миллиметра и обеспечивает точность плюс-минус 0,3 градуса Цельсия по температуре и два процента по относительной влажности. Для измерения атмосферного давления идеально подходит датчик LPS22HB с погрешностью всего 0,5 гектопаскаля. Все датчики подключаются по шине I²C, что экономит выводы микроконтроллера.

Отдельного внимания заслуживает дисплей. В данном проекте используется рефлексивный Sharp Memory LCD диагональю 1,28 дюйма. Его главное преимущество — феноменально низкое энергопотребление: при статичной картинке он потребляет менее пяти микроампер. Это делает его идеальным для часов. Альтернативный вариант — дешевый OLED-дисплей, но он потребляет в сотни раз больше энергии.

Питание осуществляется от литий-полимерного аккумулятора емкостью 120 миллиампер-часов, толщиной всего четыре миллиметра. Зарядка реализована на микросхеме TP4056 с индикацией процесса, а для эффективного преобразования напряжения используется импульсный стабилизатор TPS62743, который сохраняет 90% энергии даже при нагрузках в десятки микроампер.

При разработке принципиальной схемы мы столкнулись с серьезной проблемой: микроконтроллер и схема зарядки аккумулятора греются, и это тепло искажает показания датчика температуры. Для ее решения датчик АНТ21 был размещен не на основной печатной плате, а на отдельном гибком шлейфе, который вынесен к задней крышке корпуса. Между датчиком и тепловыделяющими компонентами проложена теплоизоляционная прокладка из аэрогеля. Это позволяет измерять реальную температуру окружающей среды, а не температуру внутри часов.

Печатная плата спроектирована двухслойной, размером 32 на 28 миллиметров. Все компоненты расположены на нижней стороне, чтобы освободить место под дисплеем для аккумулятора. Для версии с ESP32 на плате сформирована печатная антенна.

Корпус устройства спроектирован в программе Fusion 360 и предназначен для последующей 3D-печати. Для прототипа используется пластик PLA, а для серийной версии — нейлон, обеспечивающий лучшую влагозащиту. Корпус выполнен герметичным по классу IP54, то есть защищен от брызг. Это достигается за счет силиконового уплотнителя по периметру крышки и

резиновой мембраны на кнопке управления. Крепление к стандартному ремешку шириной 22 миллиметра реализовано через традиционные рожки.

Прошивка микроконтроллера организована следующим образом. После инициализации всех периферийных устройств запускается главный цикл. Раз в десять секунд происходит чтение данных со всех датчиков. Полученное значение атмосферного давления пересчитывается в относительное по барометрической формуле, что позволяет оценивать изменения погоды. Затем информация отображается на дисплее, и устройство переходит в режим глубокого сна на пять секунд. В этом режиме потребление падает до восьми микроампер.

Ключевым алгоритмом является тепловая компенсация температуры. Мы измеряем температуру самого микроконтроллера с помощью его встроенного датчика и вычитаем поправку по формуле: реальная температура равна температуре датчика АНТ21 минус некий коэффициент, умноженный на разницу между температурой контроллера и комнатной. Этот коэффициент определяется при калибровке по эталонному термометру.

Пользовательский интерфейс управляется одной кнопкой и имеет три режима отображения. В первом режиме показывается текущее время, температура и иконка облачности, рассчитанная по изменению давления. Во втором режиме выводится график изменения давления за последние шесть часов, по которому можно судить о тренде — будет ли ясно, дождь или ветер. В третьем режиме отображаются влажность, точка росы и уровень заряда батареи.

Давайте оценим энергопотребление. В режиме сна устройство потребляет пять микроампер и находится в этом состоянии 98 процентов времени. Во время измерения датчиков и обмена данными по шине I²C потребление подскакивает до шести миллиампер, но это занимает лишь полпроцента времени. Обновление дисплея требует 15 миллиампер, также на короткое время. В результате среднее потребление составляет около 200 микроампер. С аккумулятором емкостью 120 миллиампер-часов это дает теоретическую автономность в 600 часов, или 25 суток. При редком включении Wi-Fi для синхронизации времени автономность сокращается до семи-десяти дней, что все равно является отличным показателем для такого функционального устройства.

Изготовленный прототип имеет массу 42 грамма с ремешком, диаметр корпуса 42 миллиметра и толщину 14 миллиметров. Точность хода часов после калибровки кварцевого резонатора составляет плюс-минус две секунды в сутки. Погрешность измерений в рабочем диапазоне температур от нуля до сорока градусов такова: температура определяется с точностью до 0,4 градуса, давление — с точностью до 0,8 гектопаскаля (что соответствует изменению высоты всего на шесть метров), а влажность — плюс-минус три процента в диапазоне от двадцати до восьмидесяти процентов.

Сравнение с коммерческими аналогами показывает уникальность нашего решения. Например, гигрометр Xiaomi Miija Bluetooth не имеет датчика давления и не умеет показывать время. Часы Casio Pro Trek с датчиком давления стоят более трехсот долларов и весят 80 граммов. Наше же устройство при себестоимости компонентов всего 35 долларов обеспечивает редко встречающуюся на рынке комбинацию функций.

В ходе работы было успешно спроектировано портативное устройство «Часы-метеостанция». Его ключевые особенности — корректная работа в условиях теплового воздействия от руки пользователя благодаря продуманной тепловой компенсации и рекордно низкое энергопотребление, не превышающее в среднем 200 микроампер. Проект является открытым, и все материалы доступны на GitHub.

В качестве перспектив развития можно назвать добавление магнитометра для использования устройства в качестве компаса и более точного предсказания погоды по изменению магнитного поля. Также интересной возможностью является передача данных на смартфон через Bluetooth Low Energy для построения карты микроклимата в квартире. И наконец, интеграция небольшой солнечной панели прямо на циферблат позволила бы сделать устройство полностью энергоавтономным.

Пантелеева А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: anastasi8shui35@gmail.com*

Моделирование встраиваемых систем на основе online симулятора Wokwi

При разработке встраиваемых систем одной из приоритетных задач является скорость разработки. При этом, работа с макетными или печатными платами предполагает, во-первых, необходимость разнообразного периферийного оборудования, а, во-вторых, постоянная манипуляция с физическим оборудованием. Решением этих проблем может быть использование программных симуляторов. Назначение программных симуляторов – обеспечить возможность разработки, отладки и тестирования программного обеспечения для микроконтроллеров и периферии без использования реального физического оборудования.

Также при помощи программных симуляторов мы можем реализовывать ситуации сложно воспроизводимых в реальных условиях: выявлять сложные и редкие ошибки, например, состояния гонки, тайминги, сбой питания и т.д.; моделировать опасные или недоступные условия, такие как, обрыв датчика, превышение температуры, сбой связи.

На сегодняшний день на рынке предоставлено большое количество разнофункциональных симуляторов от симуляторов поведения процессора (Unicorn Engine, SIMH, MAME), которые воспроизводят поведение центрального процессора, до полносистемных симуляторов, которые эмулируют CPU, память, контроллеры прерываний, таймеры, UART, SPI, I2C, GPIO, DMA, а также разнообразные периферийные устройства.

В качестве инструмента разработки был выбран онлайн-симулятор Wokwi. Он позволяет инженерам и студентам создавать и проверять проекты на базе популярных микроконтроллеров без физического оборудования.

Wokwi симулирует широкий спектр архитектур: AVR, ARM, RISC-V и Xtensa. На сегодняшний момент в симуляторе поддерживаются следующие платы:

- Arduino: Uno, Mega, Nano, ATtiny85.
- ESP32: Широкий спектр моделей на ядрах Xtensa и RISC-V.
- Raspberry Pi
- STM32.

В симуляторе представлена огромная библиотека периферии: датчики (DHT22, MPU6050), дисплеи (OLED, LCD, TFT), светодиоды (включая адресные WS2812), моторы и т.д.

С точки зрения разработки, Wokwi предоставляет широкие возможности. Он обеспечивает совместимость с основными языками: Чистый C, C++, MicroPython и Rust. Также поддерживается подключение отладчика GDB для пошагового выполнения кода, просмотра переменных и установки точек останова.

Из минусов данного симулятор можно отметить: ограниченную аналоговую симуляцию, сложные аналоговые схемы (шум, искажения сигнала, нагрев) симулируются очень грубо; отсутствие поддержки взаимодействия двух и более плат; симуляция проводится только в идеальных условиях, нет проблем с питанием, дребезгом контактов и электромагнитными помехами.

В данной работе производится процесс моделирования и подготовки методических материалов на основе платы NUCLEO C031C6. Все разрабатываемые системы имеют описание кода как на основе фреймворка для Arduino, так и на основе библиотеки HAL (Hardware Access Level).

В процессе данной работы были разработаны следующие системы:

- система управления цифровыми входами и выходами;
- система управления устройствами индикации;
- система обработки данных с датчиков температуры, и датчиков движения;
- система обработки данных ультразвуковых дальномеров;
- система управления силовой нагрузкой (шаговым двигателем и сервоприводом);

Секция 4 Радиотехнические устройства

- система сбора и обработки данных по инфракрасному каналу;
- система сбора и обработки данных по SPI интерфейсу;
- система управления ПИД-регулятором.

Сытов К.Д.

Научный руководитель к.т.н., доцент Якименко К.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
kirillsitov93@gmail.com*

Сборка и анализ работы измерителя интенсивности ионизирующего излучения

Ионизирующее излучение — это поток частиц или электромагнитных волн, который при взаимодействии с веществом способен создавать в нём электрически заряженные ионы. Измеритель интенсивности ионизирующего излучения представляет собой прибор, способный измерять интенсивность ионизирующего излучения на определенной территории. Целью данной работы является сборка и анализ работы измерителя интенсивности ионизирующего излучения

Приборы, предназначенные для обнаружения и измерения ионизирующего излучения, прошли длительный путь эволюции от простых электроскопов до высокоточных полупроводниковых спектрометров. Первым практическим устройством стал счетчик Гейгера – Мюллера, изобретенный в 1928 году и до сих пор остающийся самым распространенным индикатором радиации благодаря своей простоте, надежности и низкой стоимости. Счётчик Гейгера – Мюллера – это газоразрядный прибор для автоматического подсчёта числа попавших в него ионизирующих частиц [1–3]. Счетчик Гейгера – Мюллера показан на рис. 1.

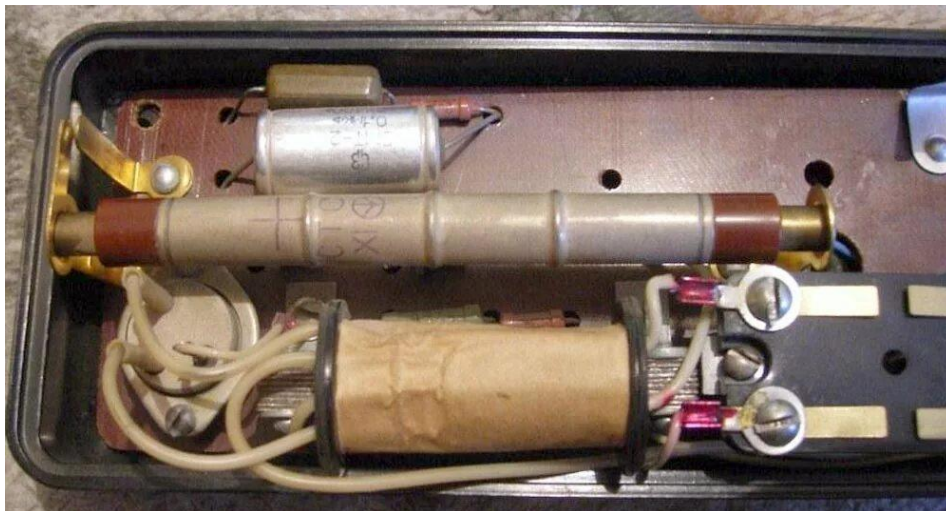


Рис. 1 – Счетчик Гейгера – Мюллера

Работа счетчика основана на явлении ударной ионизации газа в сильном электрическом поле, когда каждая попавшая в счетный объем частица вызывает лавинообразный разряд.

Прибор показывает результат измерения в единицах естественного радиационного фона, отвечая тем самым на вопрос: превышает ли уровень радиации на месте измерения естественный уровень, и если да, то во сколько раз. Заметим, что фоновая активность $N_{\text{ф}}$ счетчика Гейгера, первопричиной которой является естественная радиация Земли и Космоса, — это паспортная характеристика. Иными словами, фоновая активность счётчика Гейгера сама по себе, без каких-либо калибровок, может служить неплохой единицей для отчета.

Принципиальная схема измерителя интенсивности ионизирующего излучения показана на рис. 2. В качестве источника питания для прибора используется батарейка «крона» напряжением 9 В. Для счетчиков Гейгера (типа СБМ-20 и СТС-5) необходимо очень высокое питающее напряжение, порядка 350-400 В. Поэтому, для создания такого напряжения используется трансформатор Т1 с блокинг-генератором на транзисторе VT-1. Так же в данном приборе используются микросхемы К176ЛА7, на которых собраны формирователь импульсов, первичным счетчиком выступает К176ИЕ2, а счетчиками-накопителями, которые связаны со

световыми индикаторами НГ1-НГ3, выступают микросхемы К176ИЕ4. Для световых индикаторов необходимо питающее напряжения в 4–5 В, причем питающее напряжение должно быть импульсным. Поэтому в дополнение к Т2 собран генератор таких импульсов на транзисторах VT3-VT4.

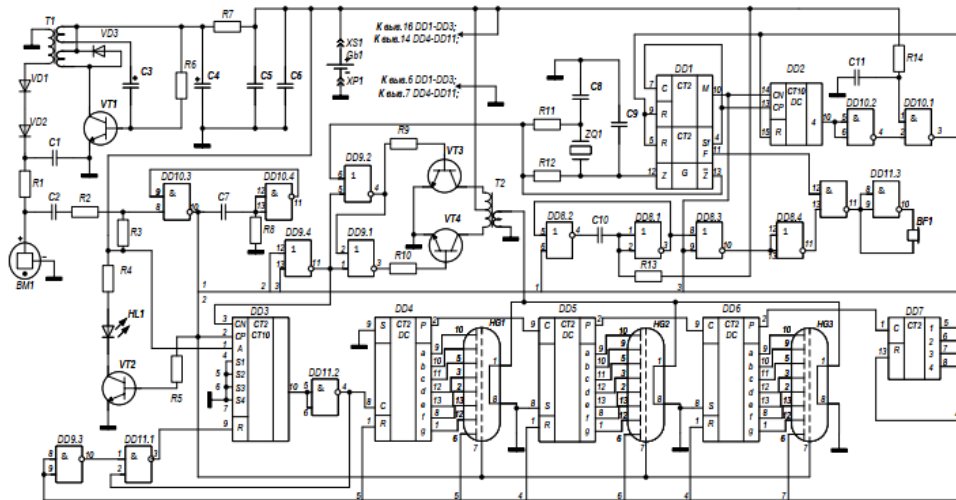


Рис. 2 – Принципиальная схема измерителя интенсивности ионизирующего излучения

Работа прибора представляет собой чередование циклов, каждый из которых составляет 39 секундный измерительный интервал и трехсекундный индикационный интервал, причем начало индикационного интервала сигнализируется звуковым сигналом. Этот же звуковой индикатор позволяет слышать в течение измерительного интервала щелчки от одиночных ионизирующих частиц, регистрируемых детектором. Смена интервалов и циклов происходит автоматически.

Внешний вид устройства показан на рис. 3.

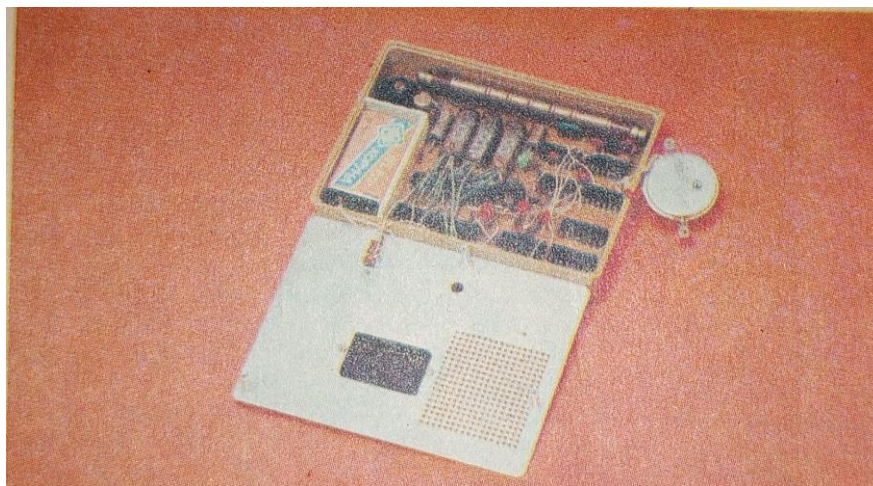


Рис. 3 – Внешний вид устройства

Литература

1. Remon N. M. et al. Build very simple design and cost effective geiger-muller counter //Journal of Recent Advances in Applied Sciences (pISSN 0970-1990). – 2024. – Т. 39. – №. 01.
2. Le A. D. et al. Designing and Building a Low-Cost Geiger-Müller Detector for Radiation Safety Experiments in Physics Education //Revista Brasileira de Ensino de Física. – 2026. – Т. 48.
3. Ионизирующее излучение и его последствия для здоровья [Электронный ресурс]: сайт ВОЗ <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-and-health-effects>

Тараскин Д.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Храмов К.К.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: taraskin0320@icloud.com*

Применение нейронных сетей для обработки радиолокационных изображений

Радиолокационные изображения (РЛИ) – это изображения объектов или поверхности, формируемые на основе регистрации отражённых радиоволн, излучаемых радиолокационной системой [1]. В отличие от пассивных методов наблюдения, радиолокация использует собственное излучение, что позволяет получать данные независимо от внешнего освещения и погодных условий. Важной особенностью РЛИ является их чувствительность к физическим характеристикам поверхности, таким как шероховатость и структура, однако при этом изображения содержат характерный спекл-шум, обусловленный интерференцией отражённых сигналов. Благодаря этим свойствам РЛИ широко применяются в задачах дистанционного зондирования Земли, включая мониторинг природных ресурсов, картографирование, обнаружение объектов и анализ изменений поверхности [1].

При обработке РЛИ всё чаще применяют нейронные сети – методы машинного обучения, которые помогают автоматически находить закономерности в данных. Это связано с тем, что РЛИ имеют сложную структуру, в них много шума, а сами радиолокационные сигналы формируются нелинейно. Кроме того, использование нейронных сетей обусловлено необходимостью автоматической обработки больших объёмов спутниковых данных, что традиционные методы делают менее эффективно [2].

Среди многообразия архитектур нейронных сетей наибольшее распространение при обработке РЛИ получили сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN), которые эффективно извлекают пространственные признаки изображений и демонстрируют высокую устойчивость к шумам. Для задач сегментации часто применяются архитектуры типа U-Net, которые позволяют сохранять пространственную структуру изображения и обеспечивают высокую точность даже при сравнительно небольших обучающих выборках, хотя при этом могут быть склонны к переобучению и требуют значительных вычислительных ресурсов. В задачах анализа временных рядов радиолокационных данных используются рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks, RNN), способные учитывать временные зависимости. Однако такие сети сложны в обучении и уступают сверточным сетям в извлечении пространственных признаков [3]. Современным направлением являются трансформерные архитектуры, в частности Vision Transformers, которые эффективно учитывают глобальный контекст изображения и показывают высокую точность на сложных задачах, но требуют больших объёмов данных и вычислительных ресурсов. Также применяются генеративные состязательные сети (Generative Adversarial Networks, GAN), используемые для повышения качества изображений, в том числе для подавления шума и увеличения разрешения, однако их обучение является нестабильным и требует сложной настройки [3].

Несмотря на превалирующее применение CNN и их модификаций, таких как U-Net, обеспечивающих хороший баланс между точностью, устойчивостью к шумам и вычислительной эффективностью, продолжают работы по совершенствованию методов обработки радиолокационных изображений. К ним относятся: разработка гибридных моделей, сочетающих CNN и трансформеры, повышение устойчивости моделей к различным условиям съёмки, сокращение объёма необходимых обучающих данных и поиск более эффективных способов подавления спекл-шума [4].

Данная работа посвящена проблемам моделирования спутниковых радиолокационных изображений, их аугментации, а также исследования архитектур нейронных сетей для обработки РЛИ, направленных на повышение информативности изображений и скорости обработки.

В работе представлен анализ существующих подходов и методов обработки радиолокационных изображений с использованием нейронных сетей. Рассматриваются алгоритмы форми-

рования и аугментации датасетов спутниковых РЛИ. Предлагается архитектура нейронной сети и подходы к её обучению, направленные на повышение качества обработки радиолокационных изображений.

Литература

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; перевод с английского под редакцией П. А. Чочиа. – М: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Татузов А. Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28. – М: Радиотехника, 2009. 432 с., ил.
3. Мирошкин В. Н., Попов Д. И., Галикеев А. Д., Валеев Е. В. Применение искусственного интеллекта для оптимизации алгоритмов обработки сигналов радиолокационных систем // Актуальные исследования. - 2024. - № 46 (228). - С. 45–47.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. - 2-е изд. - М.: Вильямс, 2017. – 1103 с.

Тараскин Д.А.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Храмов К.К.

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: taraskin0320@icloud.com

Частотный метод передискретизации и масштабирования разрешения радиолокационных изображений космического базирования

Космическая радиолокация с синтезированием апертуры (РСА) обеспечивает получение радиолокационных изображений (РЛИ) высокого разрешения независимо от погодных условий и освещённости. Принцип синтеза РЛИ основан на когерентной обработке сигналов, отражённых от подстилающей поверхности при движении носителя. Сформированное РЛИ характеризуется частотой дискретизации f_s по дальности и частотой повторения импульсов PRF по азимуту, а также шириной полосы B зондирующего сигнала и доплеровской полосы B_{dop} , определяющих пространственное разрешение [1].

Преобразование РЛИ в новое изображение с иными параметрами (ресинтез РЛИ) востребовано при решении задач совмещения данных с разных радиолокационных систем, адаптации под алгоритмы обработки с иными опорными функциями, а также для моделирования съёмки с изменёнными параметрами без повторного обзора.

Процесс ресинтеза РЛИ можно разбить на два этапа:

1) изменение частот дискретизации и ширины полос сигнала по дальности и азимуту без изменения геометрии съёмки и несущей частоты;

2) изменение геометрических и волновых параметров (высота и скорость носителя РСА, угол визирования, длина волны) на основе моделей точечных объектов.

Целью настоящей работы является реализация алгоритма передискретизации и адаптивного масштабирования разрешения в частотной области, который обеспечивает преобразование исходного комплексного РЛИ в новое изображение с требуемыми значениями f_s , PRF , B и B_{dop} .

Последовательность операций включает в себя:

- вычисление двумерного спектра исходного РЛИ;
- формирование частотных осей по дальности и азимуту;
- фильтрация спектра с оконным сглаживанием и масштабированием;
- изменение частоты дискретизации и частоты повторения импульсов с соответствующим масштабированием;
- обратное преобразование Фурье для получения итогового РЛИ [2].

Описанный алгоритм позволяет выполнять передискретизацию и масштабирование разрешения РЛИ. Сохранение уровня шума обеспечивается корректным масштабированием спектра. Полученные результаты могут быть использованы для адаптации существующих радиолокационных изображений к другим системам обработки, для создания банков данных с едиными параметрами дискретизации, а также как первый этап полного ресинтеза с изменением геометрии съёмки.

В докладе рассматриваются особенности и ограничения приведенного алгоритма, приводятся результаты преобразований РЛИ точечных объектов в спектральной и пространственной областях.

Литература

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2010. 680 с.
2. Доросинский Л. Г. Обработка радиолокационных изображений: монография / Л. Г. Доросинский, Н. С. Виноградова, О. Ю. Иванов. – Москва: Издательский дом «Академия Естествознания», 2021. – 334 с. – ISBN 978-5-91327-714-5. – DOI 10.17513/np.503.

Чугунов А.И.

Научный руководитель к.т.н., доцент кафедры РТ Докторов А.Н.
 Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23
 E-mail: chugunovandrey.207@gmail.com

Разработка экспонирующей УФ установки для изготовления печатных плат

Экспонирующая УФ установка - это устройство, которое используется для засвечивания фотосаблонов из фоторезиста при изготовлении печатных плат. Существует несколько методов экспонирования:

1 Контактное экспонирование, при котором фоторезист с маской плотно прижимаются друг к другу и при экспонировании УФ-лучи «рисуют» на фоторезисте изображение схемы, после чего засвеченный фоторезист удаляется. Этот метод очень прост в реализации и недорог и обеспечивает высокую точность обусловленную отсутствием рассеяния и дифракции света.

2 Ближайшее (проксимитное) экспонирование, при котором между фоторезистом и маской есть воздушный зазор, из-за чего границы рисунка при засветке размываются. Такой метод позволяет делать платы на больших и неровных подложках, не слишком теряя в качестве.

При разработке будет выбран именно контактный метод экспонирования, ввиду простоты его реализации и относительной дешевизны.

Структурная схема устройства показана на рисунке 1. Принцип работы устройства состоит в следующем. С помощью энкодера и кнопок пользователь задает контроллеру параметры засветки. Интерфейс настройки параметров реализован с помощью ЖК-дисплея и голосового помощника, выполненного на МР-3 модуле с динамиком. После выбора оператором всех необходимых параметров контроллер открывает верхние и нижние полевые ключи, питающие светодиодную матрицу, параллельно управляя системой охлаждения всего устройства, просматривая температуру матрицы и прекращая засветку в случае превышения температуры. Питает все устройство блок питания на 12 В и мощностью 150 Вт. Для контроллера и его периферии питание понижается до 5 В стабилизатором, который реализован на понижающем преобразователе[2].

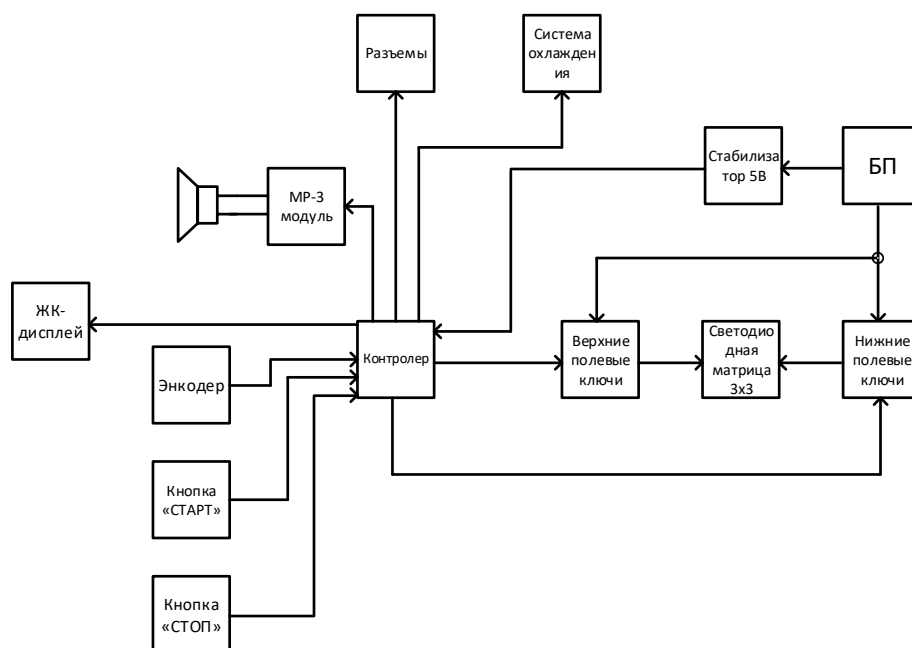


Рис. 1 Структурная схема устройства

Контролером выступает AtMega 2560 с 256Кбайт памяти программ и 8Кбайт ОЗУ. В качестве ЖК-дисплея был выбран LCD2004 с модулем интерфейса I2C. Для светодиодной матрицы были рассчитаны токовые ограничители на микросхемах LM317. Сама матрица реализована на УФ светодиодах с длиной излучаемой волны 370 нм. Полевые ключи были реализованы на транзисторах IRF3205 и IRF4905. Для кнопок и энкодера были рассчитаны фильтры для гашения дребезга контактов [1].

В результате была создана электрическая схема, представленная на рисунке 2

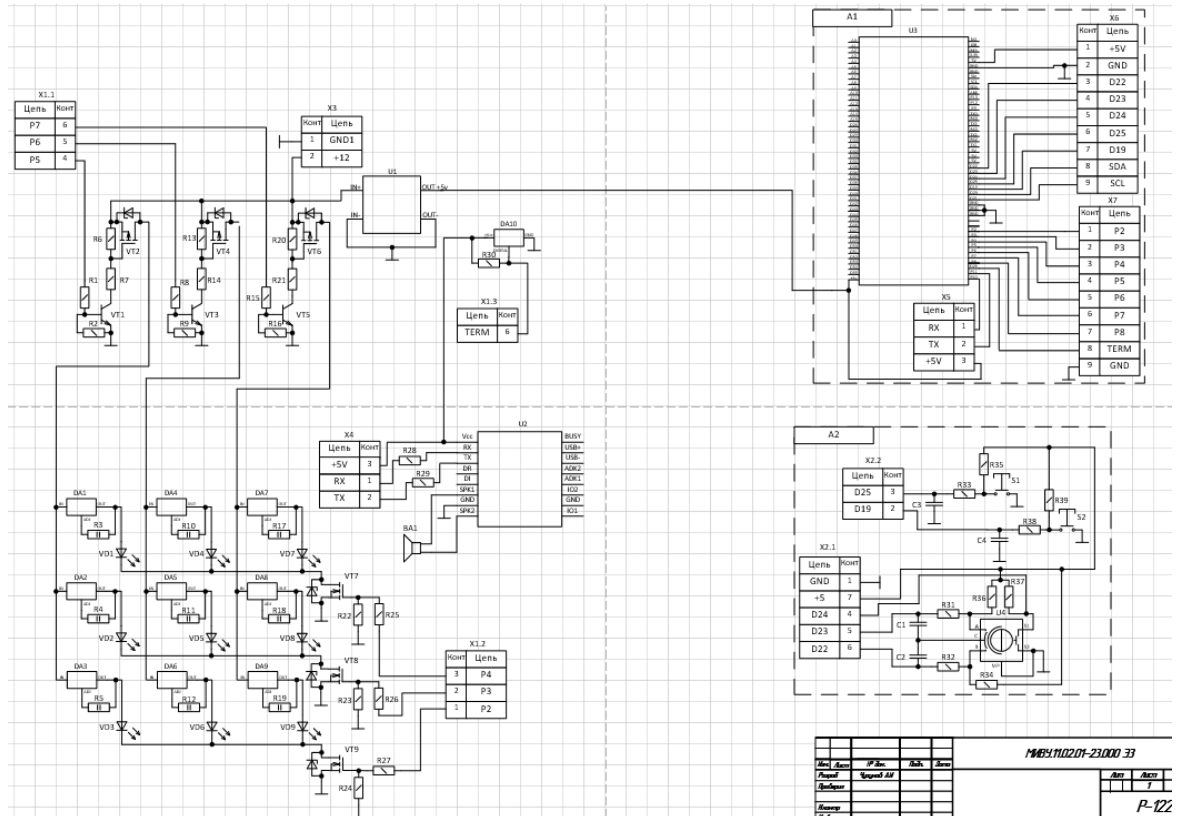


Рис. 2 Схема электрическая принципиальная

Устройство имеет настройку времени засветки, мощности матрицы. Сама засветка производится сессиями, где одна сессия - это засветка, а другая это охлаждение. Так же имеется меню выбора голосового помощника и его настройки, и меню информации об устройстве. Устройство имеет защиту от открытия двери камеры, прерывая засветку, и защиту от перегрева, аналогично прерывая засветку при превышении температуры. Так же пользователь в любой момент может прервать засветку. Для устройства было разведено три печатных платы, одна из которых плата расширения для контроллера, вторая это плата, на которой расположены полевые ключи и голосовой помощник, третья плата представляет из себя плату управления с энкодером и кнопками.

Таким образом, был создан проект экспонирующей УФ установки - устройства, предназначенное для изготовления высокоточных печатных плат как в домашних, так и в промышленных условиях.

Литература

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. (The Art of Electronics) М.: «Бином», 2015. - 1290 с.
2. Изюмов, Н.М. Основы радиотехники / Н.М. Изюмов, Д.П. Линде. - М.: Госэнергоиздат, 2013. - 512 с.
3. Мельников, В.А. Цифровая электроника: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2018. – 432 с.
4. Белов, А. В. “ARDUINO. От азов программирования до создания практических устройств” / Белов, А. В, 2018.

Щеголев Д.В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Романов Д.Н.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
E-mail: radon81@mail.ru*

Исследование спектральных характеристик цифро-аналоговых преобразователей на основе измерительного комплекса National Instruments

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) являются одним из ключевых узлов современной радиоэлектронной аппаратуры. Качество формируемого аналогового сигнала определяется двумя фундаментальными параметрами: разрядностью квантования и частотой дискретизации. Спектральный анализ позволяет количественно оценить шумы квантования, гармонические искажения, алиасинг и динамические характеристики преобразователя. Применение аппаратно-программных комплексов National Instruments (NI) позволяет проводить подобные исследования с высоким уровнем точности и автоматизации.

В работе предлагается провести исследование спектра получаемого на выходе ЦАП генератора NI PXIe-5442. Исследование спектра осуществляется с помощью цифрового осциллографа NI PXI-5105.



Рис.1 - Внешний модуль NI PXIe-5442

Исследование подразумевает сравнение спектров синусоидальных сигналов на выходе ЦАП генератора NI PXIe-5442, сформированных на основе файлов содержащих дискретизированные отсчеты сигнала. Для исследований используется сигнал фиксированной частоты и амплитуды (0.5В, 100кГц), формирующийся на основе отсчетов взятых со значениями разрядности 16, 12, 10, 8, при различных значениях частоты дискретизации 50МГц, 25МГц, 10МГц. Таким образом, получаются 12 различных спектров выходного сигнала, которые в дальнейшем сравниваются и оцениваются по величине коэффициента нелинейных искажений.

Для отображения полученных спектров средствами программной среды LabView формируется виртуальный спектроанализатор, работающий на базе осциллографа NI PXI-5105. Вычисление коэффициента нелинейных искажений проводится студентами. Проверка правильности вычислений проводится средствами LabView, путем ввода значений в окно проверки. Допустимые отклонения в точности вычислений должны составлять не более 1%.