

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

Датчик цвета на базе микроконтроллера

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студент 4 курса 4081 группы
направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»
институт физики
Сипачев Ярослав Павлович

Научный руководитель:
Доцент, к.ф.-м.н.

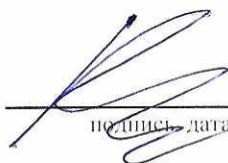


15.06.2023

подпись, дата

Е.И. Боровкова

Зав. кафедрой
динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., доцент



подпись, дата

15.06.2023

А.С. Каравасв

Саратов 2023

Введение

Актуальность темы исследования. Автоматизированная колориметрия имеет высокое значение во многих отраслях, поскольку объективное и точное представление цвета имеет решающее значение для достижения желаемых результатов. Эту информацию о цвете можно использовать для определения различных процессов. Особое значение автоматизированная колориметрия имеет в аналитических биоинженерных тестовых системах, в которых эталонные образцы химических реагентов окрашиваются в различные цвета в зависимости от концентрации в биологической жидкости того или иного агента. Подобные системы могут быть построены на разных принципах распознавания цвета, которые отличаются разным качеством анализа. В случае простых приложений нужны массовые дешевые системы не требующих высокой точности и которые могут быть использованы в биомедицинских и робототехнических системах поэтому целью работы является разработка и создание системы распознавания цвета действующий по принципу последовательной подсветки светодиодами трех основных цветов и регистрации фотоэлементом отраженного света.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Обзор существующих принципов в системах распознавания цвета;
2. Обзор существующей компонентной базы и сравнение схемотехнических решений;
3. Сопоставление фотоэлементов для решения задач распознавания цветов;
4. Разработка, изготовление, отладка, тестирование, аппаратно-программного датчика, распознающего не менее 16 цветовых

оттенков на основе 8-битного микроконтроллера.

Методы исследования. В работе использованы методы теории математической статистики, машинного обучения, цифровой обработки сигналов, методы проектирования и разработки программного обеспечения микро-ЭВМ.

Объем и структура дипломной работа

Дипломная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Материал изложен на 74 страницах, включает 6 таблиц, 38 рисунков и схем, а также одно приложение. Список использованной информации содержит 28 наименований.

Основное содержание работы

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы исследования, характеризуется степень ее разработанности, определяются цели и задачи, осуществляется выбор предмета и объекта исследования. Формулируются положения, выносимые на защиту

В **первой главе** описаны принципы цветового зрения у человека и произведен обзор принципов распознавания цвета в технических системах. Проведено сравнение фотометрического и колориметрического способа измерения цвета по принципу отражения света от поверхности. Рассмотрены достоинства и недостатки каждого из методов измерения цвета. В ходе сравнения осуществлен выбор в пользу фотометрического метода измерения. В качестве преимуществ системы, построенной на фотометрическом способе измерения цвета можно отметить:

1. Гибкость в измерениях из-за возможности измерения в широких диапазонах длин волн;
2. Надёжность и долговечность;
3. Невысокая стоимость для простых приложений, где не требуется высокая точность измерения.

К недостаткам фотометрического метода можно отнести:

1. Сложный анализ данных из-за чего необходимо использовать микро-ЭВМ;
2. Чувствительность к факторам внешней среды, такие как температура, влажность, которые могут вызывать искажение и ошибки, что приводит к снижению точности или ошибочным результатам;
3. Высокая стоимость и сложность для высокоточных приборов. Более

совершенные фотометры могут быть сложными и дорогими приборами, что делает их сложными в использовании и недоступными для определённых приложений или пользователей;

4. Необходимость калибровки и обслуживания. Фотометры требуют регулярной калибровки и технического обслуживания для обеспечения точности, и надёжности с течением времени. Это может требовать дополнительного времени и средств.

Из обзора методов сделан вывод, что оба метода могут использоваться для измерения цвета и взаимозаменяемы в некоторых системах. Датчики, основанные на колориметрическом методе измерения цвета, имеют более продвинутое возможности анализа данных и могут быть полезнее для детального анализа цвета, чем фотометрические датчики, однако в случае простых приложений фотометрический способ имеет ряд преимуществ. Фотометрический метод не использует светофильтры, что упрощает разработку и использование. Также приборы, построенные на этом принципе, могут иметь небольшие размеры. Таким образом, выбор между колориметрическим и фотометрическим методом измерения цвета зависит от конкретных требований к точности и надёжности системы распознавания цвета. Колориметрия обычно более точна для измерения цвета, тогда как фотометрия проще и дешевле в реализации.

Рассмотрены основные полупроводниковые фотодетекторы и типовых схемы их включения. В работе проведено сравнение характеристик фоторезистора, фотодиода, фототранзистора для возможности анализа цвета поверхности. В ходе сравнения в качестве основных фотодетекторов для разработки датчика цвета были выбраны фотодиод и фототранзистор из-за линейной спектральной характеристики в оптическом диапазоне, и быстродействия. При анализе типовых схемотехнических решений выбор был сделан в пользу фотодиода в фотогальваническом режиме работы и фототранзистора, включенного по схеме эмиттерного повторителя.

В работе для программирования микроконтроллера STM8S103F3P6 использовалась связка компилятора SDCC и SublimeText 3. Данная связка позволила компилировать и проводить отладку кода для данного микроконтроллера.

Во второй главе описывается разработанная экспериментальная установка для снятия показаний с фотодетекторов. Экспериментальный стенд представляет собой площадку с светонепроницаемым колпаком покрашенную в чёрный матовый цвет и макетную плату для удобства измерения схемы без необходимости пайки или каких-либо специальных инструментов. На рисунке 1 продемонстрирована экспериментальная установка. С помощью аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера снимались показания с различных фотодетекторов, которые обрабатывались в микроконтроллере и выводились на персональный компьютер. Блок-схема алгоритма измерения цвета на экспериментальной установке показана на рисунке 2. В ходе экспериментов и анализа результатов из полученных датчиков цвета была выбрана схема с фототранзистором, включенного по схеме эмиттерного повторителя из-за свойств буфера, что позволяет использовать данную схему без операционных усилителей.

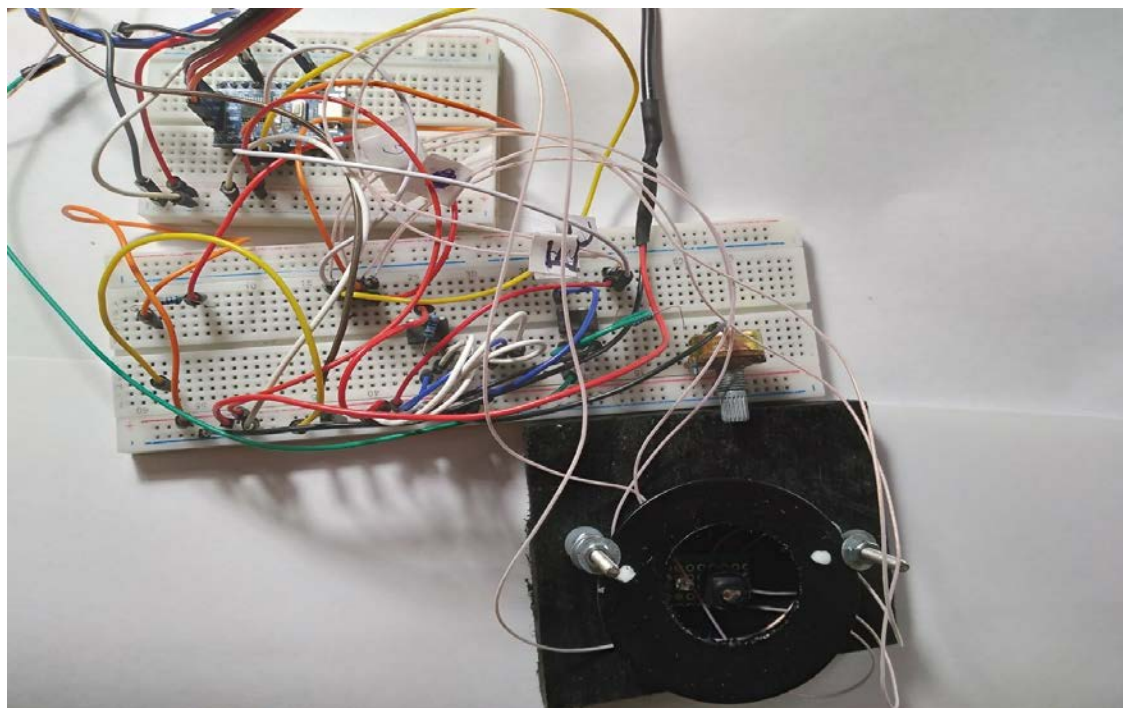


Рисунок 1 — Экспериментальный стенд для получения сигналов с тестовых образцов

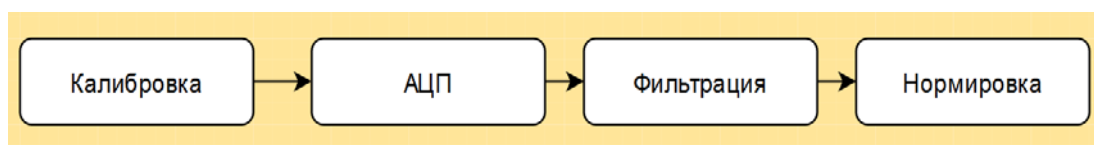


Рисунок 2 — Блок-схема процедуры измерения цвета

В третьей главе предложены и описаны методы для уменьшения погрешности и нелинейности полученного датчика цвета, а также способ классификации цвета.

Три предложенных метода:

- Метод минимума;
- Метод с использованием регрессии;
- Метод с использованием нейронной сети.

Метод минимума не требователен к вычислительным ресурсам, что является существенным преимуществом по сравнению с другими описанными методами. Из-за низких требований к вычислительным ресурсам, данный способ классификации цвета был полностью реализован в микроконтроллере. Следует отметить, что метод не является точным, но он классифицировал все 16 оттенков. Метод с использованием регрессии позволил получить лучшие результаты кластеризации и соответственно лучшую точность измерения цвета. А метод с использованием нейронной сети показал наилучшую точность кластеризации. На рисунке 3 показан график расстояний для каждого метода. По формуле 1 сумма всех расстояний до эталонных значений для метода минимума $SD = 1530$. Для метода с использованием регрессии $SD = 893$. Для метода с нейронной сетью $SD = 530$.

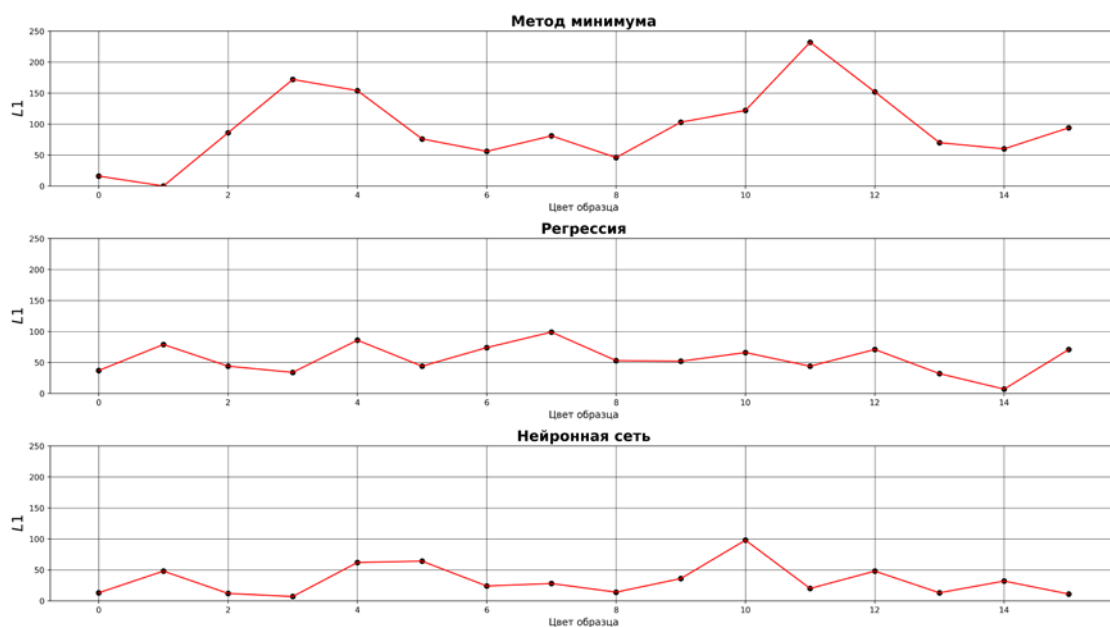


Рисунок 3 — График расстояний до эталонных кластеров для каждого метода

$$SD = \sum_{i=0}^{15} L1_i , \quad (4)$$

где SD — сумма всех расстояний до центра кластеров, $L1$ — манхэттенское расстояние до эталонных значений.

Заключение

В работе был проведён обзор существующих способов измерения цвета, их достоинства и недостатки. Проведена проверка и сравнение трёх основных типов полупроводниковых фотодетекторов: фоторезистора GL-5539, фототранзистора BPW85, фотодиода BPW34 в датчике цвета на принципе отражения от поверхности. Проверено три типовых схемотехнических решения для построения подобных систем. Смоделированы, изготовлены, протестированы три датчика цвета с тремя разными фотодетекторами. Фоторезистор из-за своей спектральной характеристики не позволяет определять все цвета, но его возможно использовать для определения насыщенности зелёного цвета. Сделан вывод в пользу использования фототранзистора из-за низкой стоимости и подходящей спектральной характеристики для распознавания основных цветов. Также фототранзистор, включённый по схеме с общим коллектором, можно использовать без усилительных схем, что существенно упрощает проектировку датчика цвета и уменьшает его стоимость. Однако стоит отметить, что датчик цвета с фотодиодом в фотогальваническом режиме даёт лучшую точность оценки цвета поверхности, но существенно дороже из-за необходимости использования двух операционных усилителей.

В ходе работы была разработана программа для микроконтроллера STM8S103F3P6 с предварительной калибровкой и фильтрацией сигнала, написана библиотека для работы с АЦП. Для распознавания 16 оттенков по полученным выборкам АЦП в условиях шумов и нелинейных искажений выбирались методы предварительной обработки и анализа данных. Были выбраны методы обработки сигналов: калибровка, усреднение, медианная фильтрация. Комбинируя эти способы фильтрации сигнала, удалось получить надёжное распознавание цветов и уменьшить погрешность измерения. Калибровка позволяет учитывать параметры фототранзистора,

светодиодов и расстояние до поверхности. Усреднение показаний АЦП уменьшает погрешность вызванные шумами. Количество выборок для усреднения равно 64. Медианная фильтрация позволяет избежать одиночных выбросов в выборке из трех значений по каждому из каналов. Для 16 основных цветов из таблицы производилась оценка близости измеренного кластера и эталонного с помощью манхэттенского расстояния. Такой метод позволил классифицировать все 16 основных цветов с использованием вычислительных ресурсов микроконтроллера.

В качестве дополнительных способов уменьшения погрешности и нелинейности показаний датчика цвета использовались методы машинного обучения. Полученные модели регрессии и нейронной сети продемонстрировали улучшения классификации цветов без улучшения аппаратной части. Расстояния до центров кластеров уменьшилось, что демонстрирует улучшение классификации всех цветов и соответственно лучшую точность. Регрессию можно использовать в микроконтроллере, а нейронную сеть для существенного улучшения классификации с использованием персонального компьютера.

Таким образом, в ходе выполнения работы была разработана аппаратно-программная колориметрическая система, которая позволяет распознавать 16 основных цветов. Ограничениями данного датчика цвета является сильно отражающая глянцевая поверхности и внешняя засветка. Эти факторы будут приводить к ложным показаниям и вносить сильную погрешность в распознавание цвета объекта. Полученный датчик применим в робототехнических системах с машинным зрением. Также такой датчик можно использовать для сравнения цвета объекта с эталонным образцом, что можно использовать для анализа в различных приложениях. В дальнейшем планируется улучшение программной части для обеспечения высокой точности оценки цвета поверхности. Цель и задачи были выполнены в полном объёме.

15.06.2023  Суварев С.С.¹¹