

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.354.3:681.7.015.2

КЛЕЙМЕНОВ
Артем Александрович

**ПОСТРОЕНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ МУЛЬТИТАЧ СЕНСОРНЫХ
ПАНЕЛЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной техники
и систем управления»

Научный руководитель
Станкевич Андрей Владимирович,
кандидат технических наук, доцент

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день человеку доступно большое множество сенсорных экранов (сенсоров), работающих на основе различных технологий определения координат точки касания, например, резистивная либо емкостная сенсорная панель. Так же, существуют реализации этих сенсоров с возможностью определения множественных одновременных касаний (мультикасаний).

На мировом рынке существует множество технологий, применяемых для построения того или иного вида сенсорного экрана. В пример можно привести следующие сенсорные экраны, которые разделяют по критерию технологии изготовления сенсорной поверхности:

- резистивные;
- емкостные;
- проекционно-емкостные;
- инфракрасные;
- оптические сенсорные экраны;
- на поверхностно-акустических волнах (ПАВ);
- с технологией использования дисперсионных волн (Dispersive Signal Technology (DST));
- и другие.

Каждая технология производства сенсорных экранов обладает своими преимуществами и недостатками, которые рассмотрены в обзоре сенсорных технологий.

Из всего множества сенсорных экранов можно выделить инфракрасные (ИК) сенсорные экраны (ИК-сенсор), т.к. они обладают высокой надежностью (неограниченный ресурс нажатий) и высоким качеством изображения (отсутствие искажающих поверхностей перед экраном монитора), поддерживают работу в режиме мультикасаний, исправно работают в широком диапазоне температур, срабатывают от касания практически любым предметом, а также не требуют калибровки, в сравнении, например, с резистивными сенсорными экранами, которые теряют свои характеристики с течением времени и требуют периодической калибровки, имеют сенсорную поверхность, которая вносит искажения в изображение, а также не все они поддерживают множественные касания (более двух).

Также можно утверждать, что ИК-сенсоры наиболее просты в изготовлении в технологическом плане. Но не смотря на простоту в производстве таких сенсоров можно выделить конкретные проблемы, с которыми мы можем столкнуться при их проектировании.

Задачу построения ИК-сенсоров можно разделить на следующие существенные части:

- 1) выбор пространственного расположения компонентов (ИК-диоды, фототранзисторы) на печатной плате с учетом максимального покрытия ИК-лучами рабочей области сенсора;
- 2) выбор компонентов с характеристиками удовлетворяющими поставленной задаче, а также изучение их работы при наличии ИК-фильтра;
- 3) реализация схемотехнических решений (схем управления и усиления) исходя из пространственного расположения компонентов и внешних условий работы ИК-сенсора;
- 4) реализация алгоритма определения положения точки касания с приемлемой точностью (ошибка определения точки касания не более 5 мм) и скоростью работы (задержка выдачи информации контроллером о положении точки касания не более 20 мс);
- 5) разработка и поддержка протокола обмена сенсорного экрана с ПК пользователя.

Для проверки характеристик работы ИК-сенсоров, в идеальном случае, необходима практическая реализация большого множества возможных компоновок элементов, что определенно будет связано с большими временными и финансовыми затратами. Таким образом, вполне целесообразно моделирование работы ИК-сенсорного экрана для различных компоновок посредством программного обеспечения.

Алгоритм управления сенсорной панелью и определения положения точек касаний возможно реализовать на микроконтроллере, т.к. в наше время их доступность на рынке высока, а также они обладают вполне приемлемыми характеристиками для выполнения поставленной задачи.

Обмен данными между сенсорной панелью и ПК пользователя обычно организован по протоколу USB 2.0 (или RS-232).

Целью диссертации является получение и анализ теоретических и экспериментальных данных о работе ИК-сенсорных экранов, выработка рекомендаций о принципах работы и построении ИК-сенсорных экранов различных размеров. Полученные результаты могут лечь в основу дальнейшего построения устройства – ИК-сенсорного экрана.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность темы исследования заключается в необходимости снижения временных и финансовых затрат на макетирование при разработке ИК-сенсорных экранов. Для этого предлагается разработать программное обеспечение для моделирования работы ИК-сенсорных экранов, которое позволяет уменьшить затраты времени и средств при реализации конкретных технических решений. На базе разработанного программного обеспечения будет предложена методика по определению минимально необходимого количества ИК-диодов, обеспечивающих максимальную величину показателя перекрытия рабочей области ИК-сенсорных экранов различных конфигураций и размеров. Под конфигурациями ИК-сенсорного экрана понимаются методы компоновки (расположения) приемников и передатчиков ИК-излучения.

Степень разработанности проблемы

Исследование конкретных применяемых решений при разработке ИК-сенсорных экранов в идеальном случае требует реализации этого выбранного решения, что определенно может быть связано со значительными временными и материальными издержками.

Предложенные в работе подходы направлены на уменьшение указанных издержек. Это достигается с помощью моделирования и тестирования возможных решений до их технической реализации с последующим выбором решений по требуемым критериям эффективности.

Объект исследования – инфракрасный мультитач (от англ. Multi-touch – множественное касание) сенсорный экран.

Предмет исследования – конструкция и конфигурация ИК-сенсорного экрана, рабочая область ИК-сенсорного экрана.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является получение и анализ теоретических и экспериментальных данных о построении и работе ИК-сенсорных экранов различных конфигураций и размеров.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

1. Провести обзор существующих технологий построения сенсорных экранов. Указать их преимущества и недостатки.

2. Разработать программное обеспечение для моделирования рабочих областей ИК-сенсорных экранов различных конфигураций и размеров.

3. На базе разработанного программного обеспечения разработать методику по определению минимально необходимого количества ИК-диодов, обеспечивающего максимальную величину показателя перекрытия рабочей области.

Область исследования

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы в области построения сенсорных экранов, в особенности, построения инфракрасных сенсорных экранов, а также анализа применяемых при построении конструкций. Информационная база исследования сформирована на основе открытой информации, предоставляемой производителями комплектующих, сведений из ресурсов Интернет, а также материалов научных изданий, патентов, конференций и семинаров.

В качестве инструментальных средств применялись объектно-ориентированный язык программирования C#, среда разработки Microsoft Visual Studio 2017, программа для работы с электронными таблицами Microsoft Excel 2013.

Научная новизна

Научная новизна и значимость полученных результатов работы заключается в разработке методики по определению минимально необходимого количества ИК-диодов, обеспечивающего максимальную величину перекрытия рабочей области.

Теоретическая значимость работы заключается в предоставлении критической информации о принципах работы и построения ИК-сенсорных экранов.

Практическая значимость работы состоит в разработке ПО для моделирования работы ИК-сенсора, что позволяет в значительной степени сократить потери времени и средств, которые могут быть затрачены на реализацию конкретных решений.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Преимущества и недостатки ИК-сенсорных экранов, их возможные конструкции и конфигурации.
2. Программное обеспечение для моделирования рабочих областей ИК-сенсорных экранов различных конфигураций и размеров.
3. Методика по определению минимально необходимого количества ИК-диодов, обеспечивающего максимальную величину показателя перекрытия рабочей области, и анализ полученных результатов на примере конкретных решений.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Вопросы, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на 55-ой юбилейной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск, Беларусь, 2019 г.).

Методика проведения эксперимента, результаты анализа, а также отдельные положения, приведенные в работе, могут быть использованы в качестве основы для построения ИК-сенсорного экрана.

Отдельные положения и выводы диссертации могут быть использованы при преподавании смежных с темой работы дисциплин.

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и методы исследования опубликованы в 1 сборнике тезисов докладов научной конференции.

Объем публикации по теме диссертации составляет 2 страницы.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

Во **введении** перечислены основные популярные на мировом рынке типы сенсорных экранов, дано пояснение по выбору ИК-сенсорных экранов в качестве предмета исследования. Выделены задачи, возникающие при построении ИК-сенсорных экранов, по некоторым из них даны краткие разъяснения.

В **первой главе** приведен обзор популярных на мировом рынке типов сенсорных экранов, рассмотрены сведения о принципах их работы, их преимущества и недостатки.

Во **второй главе** рассмотрен вопрос о возможных структурах, применяемых при построении ИК-сенсорной рамки, представлено разработанное программное обеспечение для моделирования ИК-сенсорных

экранов, позволяющее реализовать множество компоновок приемников и передатчиков.

В **третьей главе** представлены рекомендации по выбору входных экспериментальных данных, а также определена методика проведения эксперимента и анализа полученных результатов на примере конкретных компонентов – ИК-диодов VSMY2853SL, SFH4045N, SFH4647 – с различными характеристиками.

В **приложениях** представлены проверка магистерской диссертации на оригинальность и скриншоты слайдов презентации по проделанной работе.

Общий объем диссертационной работы составляет 62 страницы. Из них 45 страниц основного текста, 48 иллюстраций на 31 странице, 9 таблиц на 8 страницах, библиографический список из 35 наименования на 4 страницах, список собственных публикаций соискателя из 1 наименования на 1 странице, 2 приложения на 7 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** перечислены основные популярные на мировом рынке типы сенсорных экранов, дано пояснение по выбору ИК-сенсорных экранов в качестве предмета исследования. Выделены задачи, возникающие при построении ИК-сенсорных экранов, по некоторым из них даны краткие разъяснения.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** проведен обзор наиболее популярных на мировом рынке типов сенсорных экранов, а именно:

- резистивные сенсорные экраны (четырёхпроводные, пятипроводные),
- поверхностно-емкостные (емкостные) сенсорные экраны,
- проекционно-емкостные сенсорные экраны,
- сенсорные экраны на поверхностно-акустических волнах,
- дисперсионные сенсорные экраны,
- оптические сенсорные экраны,
- инфракрасные сенсорные экраны.

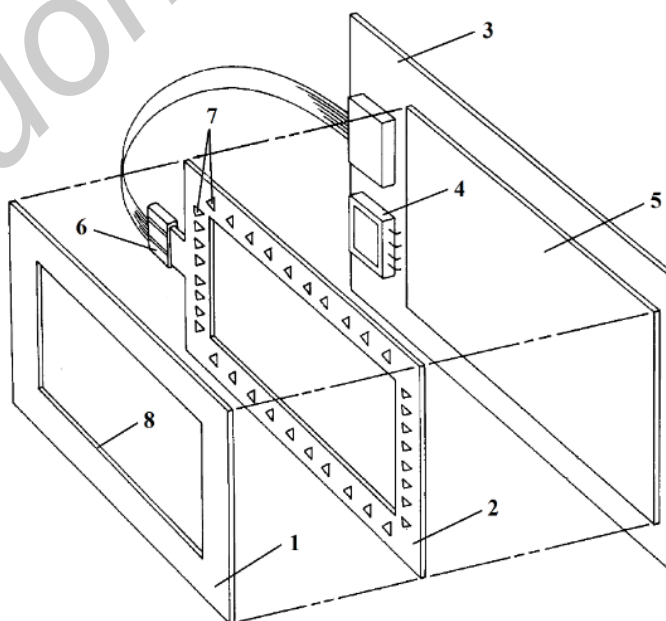
Кратко рассмотрены принципы их работы и построения, технологии регистрации точек касаний. Определены их достоинства и недостатки согласно следующим критериям:

- количество одновременно обрабатываемых точек касания (single-, double-, multi-touch);
- точность;
- надежность (ресурс нажатий);
- светотехнические характеристики (коэффициент пропускания, отражения);
- рабочий температурный диапазон и температура хранения;
- работа в условиях внешней яркой засветки (прямой солнечный свет);
- работа в перчатках;
- устойчивость к загрязнениям;
- устойчивость к повреждениям (вандалоустойчивость).

Во **второй** главе рассмотрен вопрос о возможных структурах, применяемых при построении ИК-сенсорной рамки, представлена разработанная методика моделирования рабочей области ИК-сенсорного экрана посредством программного обеспечения, позволяющего реализовать множество компоновок приемников и передатчиков, показаны возможности этого ПО.

Рассмотрена конструкция (структура) типичного ИК-сенсорного модуля (конечного изделия) состоящая из (рисунок 1):

- корпуса защитного (передняя и задняя часть),
- фильтра ИК-излучения;
- сенсорной рамки,
- платы управления (контроллер сенсорного экрана),
- LCD-панели.



1 – передняя часть корпуса, 2 – сенсорная рамка, 3 – задняя часть корпуса, 4 – контроллер сенсорного экрана, 5 – LCD-панель, 6 – разъем сопряжения, 7 – ИК-диоды и фототранзисторы, 8 – фильтр ИК-излучения

Рисунок 1 – Пример конструкции ИК-сенсорного модуля

Описана типичная структура компоновки излучателей и приемников ИК-излучения на сенсорной рамке изделия – Г-образная структура (рисунок 2). Даны рекомендации по варианту установки сенсора для уменьшения влияния солнечного излучения.

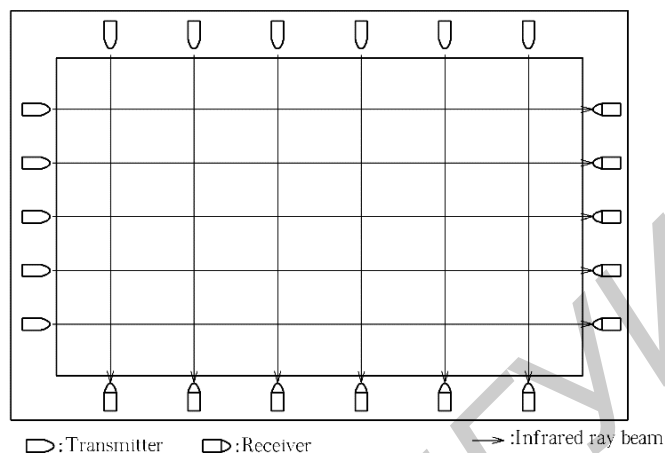


Рисунок 2 – Г-образное расположение приемников и передатчиков

Для проверки характеристик работы ИК-сенсорных экранов, в идеальном случае, необходима физическая реализация множества компоновок, что определенно вызовет большие временные и финансовые затраты. Таким образом, целесообразно провести моделирование работы ИК-сенсорного экрана посредством создания программного обеспечения, в котором будет возможно оценить на сколько ИК-сетка покрывает рабочую область сенсора, в том числе при регистрации касания.

Для выполнения вышеописанного исследования было разработано программное обеспечение, позволяющее задать следующие параметры моделирования:

- длина рабочей области реального сенсора (в мм);
- соотношение сторон реального сенсора;
- количество ИК-компонентов, располагаемых на каждой из сторон сенсорной рамки (верх, право, лево, низ);
- величина угла половинной интенсивности излучения ИК-диодов (в градусах);
- дискретность поля перекрытия.

ПО моделирует рабочую область сенсора исходя из вышеописанных параметров в трех режимах:

1. Г-образная компоновка ИК-компонентов (опция default);
2. Чередование “передатчик – приемник” (опция alternation);
3. Пользовательское расположение ИК-компонентов (пользователь сам устанавливает очередность компонентов) (опция custom).

В рабочую область (рисунок 3) можно вносить до 10 одновременных виртуальных касаний (в форме окружностей).

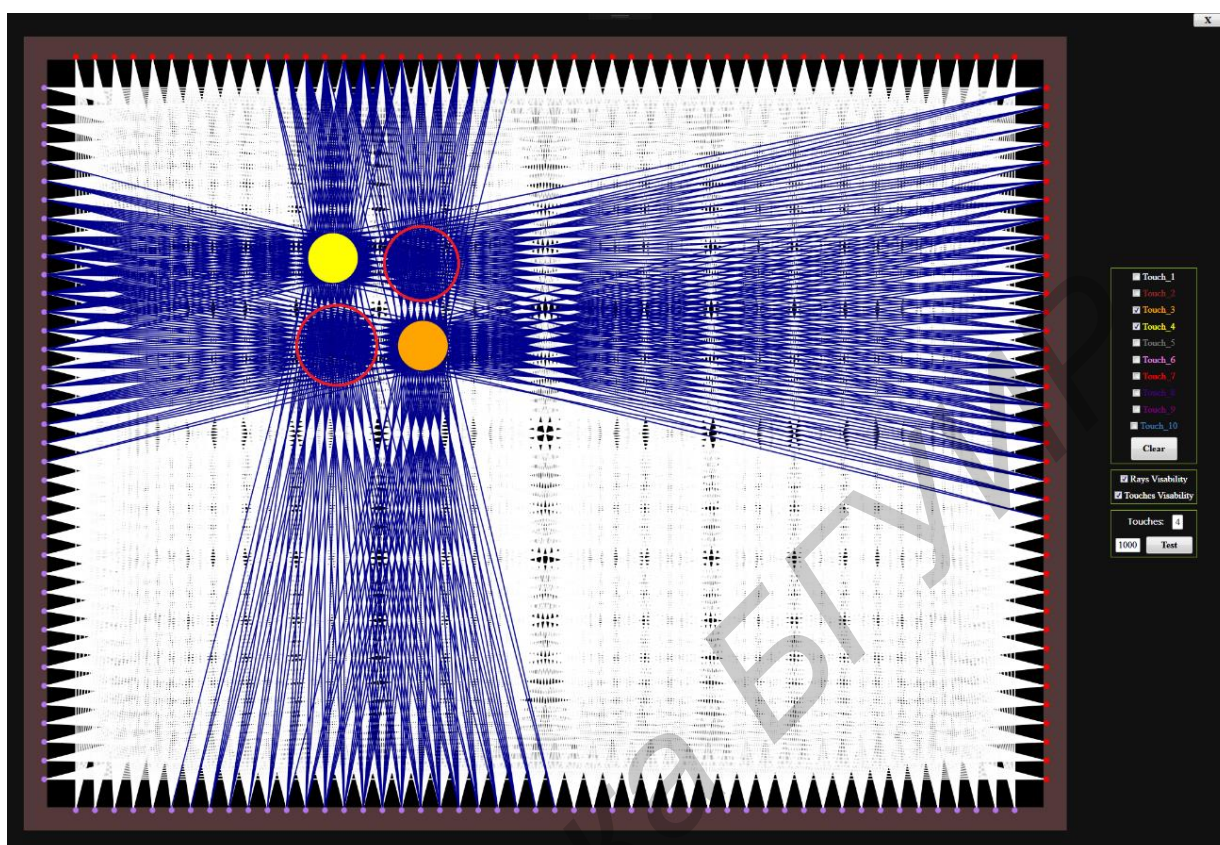


Рисунок 3 – Пример моделирования рабочей области сенсора (добавлено 2 касания)

При работе с ИК-сенсорным экраном возможны случаи такого расположения касаний, при которых явно возникает проблема проявления призрачных касаний (ghost-касаний, ложных касаний), которые могут регистрироваться контроллером сенсорного экрана как реальные касания. Стоит отметить, что данное явление возникает только при наличии одновременных двух и более реальных касаний.

Устранение описанного эффекта является одной из задач при разработке ИК-сенсорных экранов и требует введения специальных мер по обнаружению и фильтрации таких призрачных касаний. Сделать это возможно программными способами: алгоритмически, путем повторного прохода сомнительного участка, сопоставлением площадей касаний между друг другом.

В третьей главе представлена методология моделирования и тестирования рабочей области сенсорных экранов на примере конкретных комплектующих, их характеристики легли в основу моделирования, по результатам тестирования проведен анализ и сделаны некоторые выводы.

В программное обеспечение добавлена возможность автоматического тестирования сенсорного экрана на предмет нахождения пяти наихудших показателей перекрытия рабочей области. Что достигается путем рандомизации положения касаний и последующем вычислении суммарной величины областей не перекрытия в процентном соотношении к величине всей рабочей области (формула (1)).

$$K_{m_N} = m/N * 100 \%, \quad (1)$$

где m – количество дискретов формирующих область не перекрытия,
 N – суммарное количество дискретов всей рабочей области.

Перед началом проведения исследования необходимо определить некоторые параметры, которые будут взяты за основу моделирования сенсора.

Во-первых, необходимо определить параметры ИК-диодов и фототранзисторов, установка которых предполагается на сенсорную рамку, а именно:

- физические размеры компонентов;
- оптимальный угол работы ИК-диода.

Во-вторых, необходимо установить параметры моделируемого сенсорного экрана, а именно:

- размеры сенсорной рамки исходя из размеров применяемой ЖК панели и её соотношения сторон;
- максимально возможное количество ИК компонентов, располагаемых по периметру сенсорной рамки исходя из физических размеров сенсора, а также из физических размеров применяемых компонентов.

Перед тем как приступить к нахождению максимального количества ИК компонентов необходимо определить на каком расстоянии они либо их контактные площадки будут расположены друг от друга.

В основу исследования легли характеристики следующих комплектующих:

- ЖК панель G104XVN01.0 фирмы AUO;
- ИК-диод VSMY2853SL фирмы Vishay;
- ИК-диод SFH4045N фирмы Osram;
- ИК-диод SFH4647 фирмы Osram.

Анализируя полученные в результате моделирования и тестирования данные можно с уверенностью сказать, что величина перекрытия рабочей области сенсорного экрана, при наличии более двух одновременных касаний, на прямую зависит от следующих факторов:

- количества применяемых элементов на сенсорной рамке,
- габаритных размеров выбранных компонентов,

– свойств этих компонентов, а именно, угла половинной интенсивности.

В свою очередь, максимально допустимое количество компонентов на сенсорной рамке, ограниченное габаритами ЖК панели на которую будет установлен сенсор, не обязательно гарантирует минимум показателя не перекрытия рабочей области (таблица 1).

Таблица 1 - Зависимость показателя не перекрытия от количества компонентов

ИК-диод	По большей стороне	По меньшей стороне	Наихудший показатель не перекрытия, %
VSMY2853SL	Максимум возможно		0,4199
	40	30	
	Оптимально		0,3636
	34	26	
SFH4647	Максимум возможно		0,6006
	38	28	
	Оптимально		0,4909
	32	24	

Также можно сказать, что чем больше угол половинной интенсивности излучения исследуемого ИК-диода, тем ниже показатель не перекрытия (таблица 2).

Таблица 2 - Зависимость показателя не перекрытия от угла половинной интенсивности излучения ИК-диода при максимальном количестве компонентов

ИК-диод	Заявленный угол половинной интенсивности, °	Наихудший показатель не перекрытия, %
VSMY2853SL	±28	0,4199
SFH4647	±15	0,6006
SFH4045N	±9	0,707

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты

1. Рассмотрены основные технологии построения сенсорных экранов. Приведены их основные характеристики, достоинства и недостатки. Обоснован выбор ИК-сенсорных экранов в качестве предмета исследования.

2. Разработано программное обеспечение для моделирования рабочих областей ИК-сенсорных экранов различных конфигураций и размеров.

3. На базе разработанного программного обеспечения разработана методика по определению минимально необходимого количества ИК-диодов, обеспечивающего максимальную величину показателя перекрытия рабочей области.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты работы могут быть применены при разработке реальных устройств – ИК-сенсорных экранов.

Материалы диссертации могут быть использованы в учебных курсах смежных с темой работы дисциплин.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Тезисы конференций

1-А. Клейменов, А. А. Построение инфракрасных мультитач сенсорных панелей / А. А. Клейменов // Компьютерные системы и сети: 55-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22-26 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2019. – С. 267–269. – Режим доступа: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/35266>.

Библиотека БГУИР

РЭЗІЮМЭ
Кляйменаў Арцем Аляксандравіч
Пабудова інфрачырвоных мультытач сэнсарных экранаў

Ключавыя словы: мадэляванне, тэставанне, аналіз, інфрачырвоныя сэнсарныя панэлі, вобласць перакрыцця.

Мэта працы: атрыманне і аналіз тэарэтычных і эксперыментальных дадзеных аб пабудове і рабоце інфрачырвоных сэнсарных экранаў розных канфігурацый і памераў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Атрыманыя вынікі і іх навізна: праведзены агляд існуючых тэхналогій пабудовы сэнсарных экранаў, прыведзены іх перавагі і недахопы; распрацавана праграмае забеспячэнне для мадэлявання працоўнай вобласці інфрачырвоных сэнсарных экранаў розных памераў; на базе распрацаванага праграмага забеспячэння распрацавана методыка па вызначэнні мінімальна неабходнай колькасці інфрачырвоных дыёдаў, які забяспечвае максімальную велічыню паказчыка перакрыцця працоўнай вобласці. Навуковая навізна атрыманых вынікаў работы заключаецца ў распрацоўцы методыкі па вызначэнні мінімальна неабходнай колькасці ВК дыёдаў, які забяспечвае максімальную велічыню перакрыцця працоўнай вобласці.

Ступень выкарыстання: вынікі працы, а менавіта распрацаванае праграмае забеспячэння для мадэлявання і тэставання працоўных абласцей інфрачырвоных сэнсарных экранаў, а таксама методыка па вызначэнні мінімальнай колькасці інфрачырвоных дыёдаў, ляжаць у аснове далейшай распрацоўкі інфрачырвоных сэнсарных панэляў; матэрыялы работы могуць быць выкарыстаны ў навучальных курсах сумежных дысцыплін.

Вобласць ужывання: вытворчасць, сэнсарныя сістэмы, прылады ўзаемадзеяння, мікрапрацэсарныя прылады.

РЕЗЮМЕ

Клейменов Артем Александрович

Построение инфракрасных мультитач сенсорных панелей

Ключевые слова: моделирование, тестирование, анализ, инфракрасные сенсорные панели, область перекрытия.

Цель работы: получение и анализ теоретических и экспериментальных данных о построении и работе инфракрасных сенсорных экранов различных конфигураций и размеров.

Полученные результаты и их новизна: проведен обзор существующих технологий построения сенсорных экранов, приведены их преимущества и недостатки; разработано программное обеспечение для моделирования рабочей области инфракрасных сенсорных экранов различных размеров; на базе разработанного программного обеспечения разработана методика по определению минимально необходимого количества инфракрасных диодов, обеспечивающего максимальную величину показателя перекрытия рабочей области. *Научная новизна* полученных результатов работы заключается в разработке методики по определению минимально необходимого количества ИК-диодов, обеспечивающего максимальную величину перекрытия рабочей области.

Степень использования: результаты работы, а именно разработанное программное обеспечения для моделирования и тестирования рабочих областей инфракрасных сенсорных экранов, а также методика по определению минимального количества инфракрасных диодов, лежат в основе дальнейшей разработки инфракрасных сенсорных панелей; материалы работы могут быть использованы в учебных курсах смежных дисциплин.

Область применения: производство, сенсорные системы, устройства взаимодействия, микропроцессорные устройства.

SUMMARY

Kleimenov Artem Alexandrovich

Construction of infrared multi-touch touch screens

Keywords: modeling, testing, analysis, infrared touch panels, overlap area.

The object of study: obtaining and analysis of theoretical and experimental data on the construction and operation of infrared touch screens of various configurations and sizes.

The results and novelty: a review of existing technologies for constructing touch screens, a review of their advantages and disadvantages; software was developed for modeling the workspace of infrared touch screens of various sizes; On the basis of the developed software, a methodology has been developed for determining the minimum required number of infrared diodes, which ensures the maximum value of the overlap index of the working area. The scientific novelty of the obtained results consists in the development of a methodology for determining the minimum required number of IR diodes, providing the maximum amount of overlap of the workspace.

Degree of use: the results of work, namely, the developed software for modeling and testing the working areas of infrared touch screens, as well as the methodology for determining the minimum number of infrared diodes, are the basis for the further development of infrared touch panels; work materials can be used in training courses of related disciplines.

Sphere of application: manufacture, sensor systems, interaction devices, MPU devices.