

$$D(z) = \frac{0.128z^2}{(z-1)(z+0,392)}.$$

В этом случае получается минимальная колебательность за счет полюса –  $z=-0,392$ .

Аппроксимируя и этот полюс путем смещения в точку  $z=-0,392$ , можно найти передаточную функцию системы, имеющую следующий вид:

$$D(z) = \frac{0.128z^2}{(z-1)(z-0,392)}.$$

Соответствующая этой передаточной функции передаточная функция имеет вид

$$h(t) = 0,209u(t) - 0,082e^{-0,936t}.$$

Таким образом, изменяя расположения полюсов и нулей передаточной функции цифрового регулятора при синтезе алгоритма управления, можно уменьшить колебательность процесса, тем самым улучшить качество управления и уменьшить износ рабочих органов исполнительных механизмов.

#### Список использованных источников

1. Битус, Е. И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов формирования гребенной ленты в шерстопрядении / Е. И. Битус. – Москва: Знание, 2007. – 238 с.
2. Марахимов, А. Р., Игамбердиев, Х. З., Юсупбеков, А. Н., Сиддиков, И. Х. Нечетко-множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. – Ташкент: ТГТУ, 2014. – 243 с.
3. Гостев, В. И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.

УДК 001.891.573: 621.3.049.7

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАССЛОЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФА ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

**Шандриков А.С.<sup>1</sup>, преп., Клименкова С.А.<sup>2</sup>, ст. преп., Куксевич В.Ф.<sup>2</sup>, ст. преп.**

<sup>1</sup>*Витебский государственный политехнический колледж учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрен метод расслоения многослойных печатных плат. В качестве исходных данных использована математическая модель соединений печатной платы, в которой каждому соединению сопоставлен прямолинейный отрезок.

Ключевые слова: многослойная печатная плата, математическая модель, граф, матрица, сигнальный слой.

При проектировании радиоэлектронных средств часто применяют конструкции многослойных печатных плат (МПП), в которых не допускается применение дополнительных межслойных переходов (в частности, платы с открытыми контактными площадками). Тривиальное решение задачи расслоения для таких конструкций предусматривает проведение трассировки всех соединений, которые можно расположить на первом слое. Оставшиеся непроеданные соединения трассируются во втором, третьем слое и т. д. Очевидно, что при таком подходе к решению задачи количество слоёв может получиться неоправданно большим и, к тому же, слои будут заполнены соединениями неравномерно. Избежать этих недостатков можно, если выполнять расслоение МПП с использованием системы автоматизированного проектирования. Для этого необходимо совокупность соединений МПП представить в виде математической модели. В работах [1–5] такая модель описывается в виде графа, вершинами которого являются печатные проводники, а рёбрами – пересечения между ними. Пересечение рассматривается как конфликт между

проводниками, то есть невозможность проведения конфликтующих проводников в одном слое. В работах [1–5] приводятся также описания некоторых методов расслоения МПП. Наиболее простой метод расслоения МПП, который может быть автоматизирован, описан в [3].

В данной работе приводится описание достаточно простого оригинального метода расслоения МПП. В качестве исходных данных используется математическая модель соединений печатной платы, аналогичная описанной в [3], в которой каждому соединению сопоставлен прямолинейный отрезок. На рисунке 1 представлены 14 соединений, которые необходимо распределить по трём сигнальным слоям с минимальным количеством пересечений.

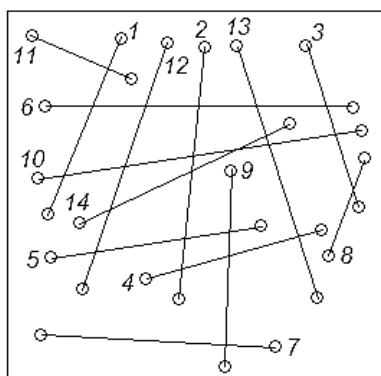


Рисунок 1 – Соединения МПП

Расслоение МПП осуществляется в следующей последовательности.

1. Строится матрица пересечений  $X$  и подсчитывается суммарное количество пересечений каждого отрезка.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$\rho_i$
	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	3
	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	4	5
	3	0	0	0	0	0	0	0	8	0	1	1	0	0	0	3
	4	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
	5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3
	6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	5
$X=$	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	9	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
	10	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	6
	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	4
	13	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	3
	14	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3

2. Выбирается отрезок, имеющий максимальное количество пересечений и строится подмножество, содержащее выбранный отрезок и все отрезки, с которыми он не пересекается. Таким отрезком является отрезок 10. Подмножество  $X_{10} = \{10, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11\}$ .

3. В подмноестве  $X_{10}$  были выявлены подмножества пересекающихся отрезков:  $X_4 = \{4, 9\}$ ;  $X_5 = \{5, 9\}$ ;  $X_9 = \{9, 4, 5, 7\}$ .

4. Объединяют подмножества пересекающихся отрезков.

$$A = X_4 \cup X_5 \cup X_7 \cup X_9 = \{4, 5, 7, 9\}.$$

5. Удаляют отрезки подмножества  $A$  из подмножества  $X_{10}$ . Оставшиеся отрезки подмножества  $X_{10}$  назначаются в список соединений первого слоя МПП:

$$S_1 = 10, 6, 8, 11.$$

6. В подмножестве  $A$  находят отрезки, не пересекающиеся с отрезками из списка  $S_1$ , и назначают их в этот список. Получают:

$$S_1 = 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11.$$

7. Удаляют из матрицы соединений строки и столбцы, соответствующие отрезкам, вошедшим в список  $S_1$ .

$$X = \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 9 \\ 12 \\ 13 \\ 14 \end{array} \left| \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 9 & 12 & 13 & 14 \end{array} \right| \begin{array}{c} \rho_i \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 2 \end{array}$$

8. Отрезки, у которых  $\rho_i = 0$ , автоматически назначают в список соединений второго слоя МПП:

$$S_2 = 1, 3, 9, 13.$$

9. Удаляют из матрицы соединений строки и столбцы, соответствующие отрезкам, вошедшим в список  $S_2$ .

$$X = \begin{array}{c} 2 \\ 12 \\ 14 \end{array} \left| \begin{array}{ccc} 2 & 12 & 14 \end{array} \right| \begin{array}{c} \rho_i \\ 0 \\ 0 \\ 2 \end{array}$$

10. Оба отрезка, 2 и 12, пересекаются с отрезком 14, но не пересекаются между собой, поэтому они могут быть назначены на третий слой:  $S_3 = 2, 12$ .

11. Отрезок 14 может быть назначен либо на первый, либо на второй слой. На первом слое он пересекается с отрезком 10. Отрезок 10 нельзя переместить на второй слой, так как он будет иметь два пересечения: с отрезком 1 и с отрезком 3. На третьем слое отрезок 10 также будет иметь два пересечения: с отрезками 2 и 12. На втором слое отрезок 14 пересекается с отрезком 13. Отрезок 13 можно переместить на третий слой, так как на третьем слое он не будет иметь пересечений, тогда отрезок 14 назначается на второй слой.

12. Учитывая целесообразность равномерного распределения соединений по слоям МПП можно некоторые отрезки переместить на третий слой, имеющий минимальное количество соединений. Например, отрезки 8 и 11 с первого, наиболее загруженного слоя, можно переместить на третий слой. Окончательное распределение соединений:

$$S_1 = 4, 5, 6, 7, 10; S_2 = 1, 3, 9, 14; S_3 = 2, 8, 11, 12, 13.$$

Результат расслоения представлен на рисунках 2–4.

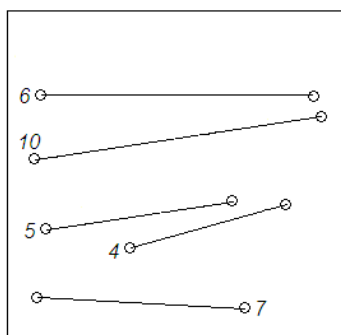


Рисунок 2 – Соединения первого слоя МПП

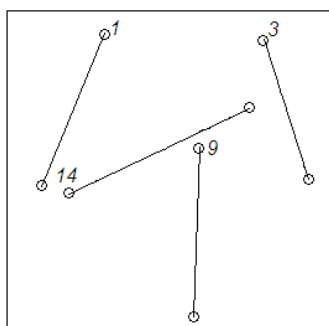


Рисунок 3 – Соединения второго слоя МПП

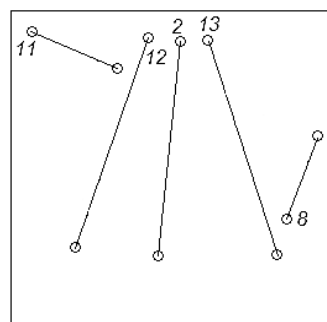


Рисунок 4 – Соединения третьего слоя МПП

Описанный метод по сравнению с [3] позволяет более эффективно выполнять распределение соединений по сигнальным слоям многослойных печатных плат и за более короткое время.

#### Список использованных источников

1. Абрайтис, Л. Б. Автоматизация проектирования ЭВМ: Автоматизированное техническое проектирование конструктивных узлов цифровых устройств / Л. Б. Абрайтис, Р. И. Шейнаукас, В. А. Жилиявичюс ; под ред. Л. Б. Абрайтиса. – М. : Сов. радио, 1978. – 272 с. ; ил.

2. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств : учеб. пособие для вузов / О. В. Алексеев [и др.] ; под ред. О. В. Алексеева. – М. : Высш. шк. , 1987. – 479 с.
3. Конструирование и технология печатных плат / А. Т. Жигалов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1973 – 216 с., ил.
4. Кофанов, Ю. Н. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Ю. Н. Кофанов, А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов.
5. Селютин, В. А. Машинное конструирование электронных устройств / В. А. Селютин. – М. : Сов. радио , 1977. – 384 с. ; ил.

УДК 004.93; 004.5

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ ЧЕРЕЗ МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ**

**Замотин Н.А., маг., Дягилев А.С., к.т.н., доц., Казаков В.Е., к.т.н., доц.**

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

*Реферат. В настоящее время, при активном развитии мобильных технологий и интернета, инструменты мобильного маркетинга оказывают значительное влияние на поведение потребителей, в том числе при выборе производителей одежды. Влияние смартфонов и тех возможностей, которые они предоставляют, изменило сам путь, который проходят потребители от осознания потребности до совершения покупки товара у производителя. В таких условиях важно разработать мероприятия по вовлечению потребителей в процесс взаимодействия с производителем, применяя новые цифровые технологии. В рамках данной работы был отсканирован ряд готовых швейных изделий и разработано мобильное приложение дополнительной реальности, позволяющее потребителю увидеть эти изделия.*

Ключевые слова: 3D-сканирование, дополнительная реальность, AR, мобильное приложение.

В настоящее время, при активном развитии мобильных технологий и интернета, инструменты мобильного маркетинга оказывают значительное влияние на поведение потребителей, в том числе при выборе производителей одежды. Количество точек взаимодействия потребителя с производителем в процессе принятия решения о покупке значительно увеличилось за счет растущих возможностей онлайн среды: сайты интернет-магазинов, обзоры на форумах, сообщества производителя в социальных сетях, размещение магазина на торговых онлайн-площадках и мобильные приложения. Одновременно с этим растет аудитория мобильных пользователей, которые выходят в интернет исключительно со смартфонов. Влияние смартфонов и тех возможностей, которые они предоставляют, изменило сам путь, который проходят потребители от осознания потребности до совершения покупки товара у производителя [1].

В таких условиях важно разработать мероприятия по вовлечению потребителей в процесс взаимодействия с производителем, применяя новые цифровые технологии.

Технология дополнительной реальности (AR) – новый способ получения доступа к данным [2]. Он предполагает наложение виртуальных объектов на изображение окружения реального мира для лучшего представления о пространственных и внешних характеристиках виртуального объекта. Таким образом, пользователь может увидеть выбираемый товар и лучшим образом с ним ознакомиться без траты физических сил.

В рамках данной работы для оцифровки изделий была использована технология фотограмметрии, ставшая более популярной и доступной из-за увеличения мощностей современных компьютеров. Фотограмметрия – это процесс создания 3D-моделей из нескольких изображений одного объекта, сфотографированного с разных углов [3].

Для получения набора качественных исходных данных в виде фотографий с разных ракурсов был использован программно-аппаратный комплекс на основе цифрового фотоаппарата Canon EOS 550D, поворотного подиума, микроконтроллера Arduino UNO и программного обеспечения для построения 3D-модели RealityCapture [4].

Для отображения полученной 3D-модели через экран смартфона необходимо