

基于柔性 LED 阵列的创新产品的研究

(申请清华大学工学硕士学位论文)

培 养 单 位: 计 算 机 科 学 与 技 术 系
学 科: 计 算 机 科 学 与 技 术

研 究 生: 张 庭 梁

指 导 教 师: 郑 纬 民 教 授

副指导教师: 陈 文 光 教 授

联合指导教师: 某 某 某 教 授

二〇一九年三月

An Introduction to L^AT_EX Thesis Template of Tsinghua University v5.4.5

Thesis Submitted to
Tsinghua University
in partial fulfillment of the requirement
for the professional degree of
Doctor of Engineering

by
Xue Ruini
(**Computer Science and Technology**)

Thesis Supervisor : Professor Zheng Weimin
Associate Supervisor : Chen Wenguang

March, 2019

关于学位论文使用授权的说明

本人完全了解清华大学有关保留、使用学位论文的规定，即：

清华大学拥有在著作权法规定范围内学位论文的使用权，其中包括：（1）已获学位的研究生必须按学校规定提交学位论文，学校可以采用影印、缩印或其他复制手段保存研究生上交的学位论文；（2）为教学和科研目的，学校可以将公开的学位论文作为资料在图书馆、资料室等场所供校内师生阅读，或在校园网上供校内师生浏览部分内容。

本人保证遵守上述规定。

（保密的论文在解密后应遵守此规定）

作者签名：_____

导师签名：_____

日 期：_____

日 期：_____

摘 要

本项目提出了一种可靠的柔性 LED 的制作方案，并提出了数个柔性 LED 应用场景，预计能拉动 LED 产能以及促进 LED 时装、灯光秀等新兴产业的发展。

国内柔性 LED 技术尚处于起步阶段，本项目提出了一种可靠的柔性 LED 制作方案，并提出了一多新的艺术表达形式。

初步柔性 LED 解决方案拟采用 Adafruit LED Sequins 以及 LILYPAD，使用编织线包裹的铜导线连接，焊盘经过特殊处理使其在机洗等恶劣环境下不易脱落，整个系统较为分散，从而使其能够嵌入到织物之中。同时尝试新型材料，如导电热塑性塑料等，进一步提高可靠性，并开拓新的艺术表现形式。

之后将分为以下几个应用场景进行开发：（不限于以下提出的应用场景）

应用场景 1：脑电控制的交互式 RGB-LED 点阵穿戴式设备

通过检测脑电信号，将使用者的心情以 Emoji 等形式在休闲帽等穿戴式设备上用柔性 LED 阵列显示，从而达到交互的目的。

同时，穿戴式设备上的图案可以自定义，作为一种现代化的自我表达形式。还可以借助其他模块实现类似的附加功能，如：心率 + 呼吸 + 体温检测等。

由于柔性电路耐水洗且可靠，可以直接使用洗衣机清洗，做到了无负担的使用体验。相对于其他嵌入式的穿戴设备优势明显，消费者认同感较高。

相关技术：TGAM 脑电模块模块可以处理并输出脑波频率谱，脑电信号质量，原始脑电波和三个 Neurosky 的 eSense 参数：专注度，放松度和眨眼侦测。由于能耗小且和人体的界面只需一个简单的干接触点，所以可以适合运用于柔性穿戴式设备中。

应用场景 2：用于摄影行业的柔性 LED 平板

目前，摄影界普遍应用的摄影垫，制作工艺往往是 LED 灯带平铺在柔性材料上面，可靠性和成本低廉不可兼得，且色调单一。若应用柔性 LED 制作照明平板，不仅可靠性大大提升，而且柔性 LED 良好的性能可以实现更多的应用，如制作高尼特的球形光源等。

另外，对于个人用户的 diy 摄影创作，单一色源以及照射方式的摄影补光难以满足需求。柔性 led 照明设施能够很好地达到一种补光光源个性化定制的效果。

本文的创新点主要有：

- 将传统 PCB 电路移植到柔性基底上；
- 方便个性化定制的可穿戴设备的制作；

- 使用脑机接口开发 Emoji 控制。

关键词：LED；柔性电路；脑机接口；穿戴式设备

Abstract

This project proposes a reliable flexible LED production solution, and proposes several flexible LED application scenarios, which are expected to drive LED production capacity and promote the development of emerging industries such as LED fashion and lighting show.

Domestic flexible LED technology is still in its infancy. This project proposes a reliable flexible LED production solution and proposes a new form of artistic expression.

The initial flexible LED solution is intended to use Adafruit LED Sequins and LILYPAD, which are connected by copper wires wrapped in braided wires. The pads are specially treated to make them difficult to fall off under harsh environments such as machine wash, and the whole system is dispersed so that it can be embedded. Among the fabrics. At the same time try new materials, such as conductive thermoplastics, to further improve reliability and open up new forms of artistic expression.

It will be divided into the following application scenarios for development: (not limited to the application scenarios presented below)

Application Scenario 1: Interactive RGB-LED dot matrix wearable device for EEG control

By detecting the EEG signal, the user's mood is displayed in a flexible LED array on a wearable device such as a casual hat in the form of Emoji, thereby achieving the purpose of interaction.

At the same time, the patterns on the wearable device can be customized as a modern form of self-expression. Similar additional features can be implemented with other modules, such as heart rate + breathing + body temperature detection.

Since the flexible circuit is washable and reliable, it can be directly cleaned using a washing machine, and the unburdened user experience is achieved. Compared with other embedded wearable devices, the advantages of consumers are higher.

Related technology: The TGAM EEG module can process and output brainwave frequency spectra, EEG signal quality, original brainwaves and three Neurosky eSense parameters: concentration, relaxation and blink detection. Due to its low energy consumption and a simple dry contact point with the human body interface, it can be adapted for use in flexible wearable devices.

Application Scenario 2: Flexible LED Panel for the Photography Industry

At present, the photographic mats commonly used in the photography industry are often made by tiling LED strips on flexible materials, with low reliability and low cost, and a single color tone. If the flexible LED is used to make the lighting panel, not only the reliability is greatly improved, but also the good performance of the flexible LED can realize more applications, such as making a spherical light source of the Gonit.

In addition, for individual users of diy photography creation, single color source and illumination mode photography fill light is difficult to meet the demand. Flexible led lighting facilities can achieve a personalized custom effect of the fill light source.

The main innovations of this paper are:

- porting traditional PCB circuits to flexible substrates;
- facilitates the production of personalized custom wearable devices;
- uses the brain-computer interface to develop Emoji controls.

Key Words: LED; Flexible circuit; Brain interface; Wearable device

目 录

| | |
|---|----|
| 第 1 章 项目背景 | 1 |
| 第 2 章 研究计划 | 2 |
| 第 3 章 类似产品分析 | 3 |
| 3.1 The Embroidered Computer——刺绣计算机 | 3 |
| 3.2 PIX | 4 |
| 3.3 e-broidery | 5 |
| 第 4 章 技术方案 | 6 |
| 第 5 章 实现 | 7 |
| 第 6 章 展望 | 8 |
| 插图索引 | 9 |
| 表格索引 | 10 |
| 公式索引 | 11 |
| 参考文献 | 12 |

主要符号对照表

| | |
|------------|---|
| HPC | 高性能计算 (High Performance Computing) |
| cluster | 集群 |
| Itanium | 安腾 |
| SMP | 对称多处理 |
| API | 应用程序编程接口 |
| PI | 聚酰亚胺 |
| MPI | 聚酰亚胺模型化合物, N-苯基邻苯酰亚胺 |
| PBI | 聚苯并咪唑 |
| MPBI | 聚苯并咪唑模型化合物, N-苯基苯并咪唑 |
| PY | 聚吡咯 |
| PMDA-BDA | 均苯四酸二酐与联苯四胺合成的聚吡咯薄膜 |
| ΔG | 活化自由能 (Activation Free Energy) |
| χ | 传输系数 (Transmission Coefficient) |
| E | 能量 |
| m | 质量 |
| c | 光速 |
| P | 概率 |
| T | 时间 |
| v | 速度 |
| 劝学 | <p>君子曰：学不可以已。青，取之于蓝，而青于蓝；冰，水为之，而寒于水。木直中绳。鞣以为轮，其曲中规。虽有槁暴，不复挺者，鞣使之然也。故木受绳则直，金就砺则利，君子博学而日参省乎己，则知明而行无过矣。吾尝终日而思矣，不如须臾之所学也；吾尝跂而望矣，不如登高之博见也。登高而招，臂非加长也，而见者远；顺风而呼，声非加疾也，而闻者彰。假舆马者，非利足也，而致千里；假舟楫者，非能水也，而绝江河，君子生非异也，善假于物也。积土成山，风雨兴焉；积水成渊，蛟龙生焉；积善成德，而神明自得，圣心备焉。故不积跬步，无以至千里；不积小流，无以成江海。骐骥一跃，不能十步；弩马十驾，功在不舍。锲而舍之，朽木不折；锲而不舍，金石可镂。蚓无爪牙之利，筋骨之强，上食埃土，下饮黄泉，用心一也。蟹</p> |

六跪而二螯，非蛇鱗之穴无可寄托者，用心躁也。——荀况

第 1 章 项目背景

LED 产业发展迅速，在时装、新媒体艺术、纺织等领域，LED 因其体积小、可靠性高、能耗低的特点，收到青睐，特别是柔性 LED 相关技术，更是亟待发展。

第 2 章 研究计划

目前将进行柔性电路的研究和测试，之后将分为以下几个应用场景进行开发：（不限于以下提出的应用场景）

应用场景 1：脑电控制的交互式 RGB-LED 点阵穿戴式设备

通过检测脑电信号，将使用者的心情以 Emoji 等形式在休闲帽等穿戴式设备上用柔性 LED 阵列显示，从而达到交互的目的。

同时，穿戴式设备上的图案可以自定义，作为一种现代化的自我表达形式。还可以借助其他模块实现类似的附加功能，如：心率 + 呼吸 + 体温检测等。

由于柔性电路耐水洗且可靠，可以直接使用洗衣机清洗，做到了无负担的使用体验。相对于其他嵌入式的穿戴设备优势明显，消费者认同感较高。

相关技术：

TGAM 脑电模块模块可以处理并输出脑波频率谱，脑电信号质量，原始脑电波和三个 Neurosky 的 eSense 参数：专注度，放松度和眨眼侦测。由于能耗小且和人体的界面只需一个简单的干接触点，所以可以适合运用于柔性穿戴式设备中。

应用场景 2：用于摄影行业的柔性 LED 平板

目前，摄影界普遍应用的摄影垫，制作工艺往往是 LED 灯带平铺在柔性材料上面，可靠性和成本低廉不可兼得，且色调单一。若应用柔性 LED 制作照明平板，不仅可靠性大大提升，而且柔性 LED 良好的性能可以实现更多的应用，如制作高尼特的球形光源等。

另外，对于个人用户的 diy 摄影创作，单一色源以及照射方式的摄影补光难以满足需求。柔性 led 照明设施能够很好地达到一种补光光源个性化定制的效果

第 3 章 类似产品分析

3.1 The Embroidered Computer——刺绣计算机

刺绣计算机是 Irene Posch 探索使用历史金刺绣材料和知识来制作可编程 8 位计算机。

<http://www.ireneposch.net/>

该产品仅由各种金属线，磁性，玻璃和金属珠子构成，并受到传统制作程序和图案的启发，对我们周围的当前数字和电子技术的外观以及我们与它们的互动提出质疑。

从技术上讲，该产品由（纺织）继电器组成，类似于半导体发明之前的早期计算机。在视觉上，金材料，这里用于它们的导电性能，排列成特定的图案以实现电子功能，主导着工作。传统上纯粹是装饰性的，这里的图案定义了它们的功能。它们裸露的核心数字例程通常隐藏在黑盒子里。邀请用户与编织纺织品的部分进行交互以为其计算。

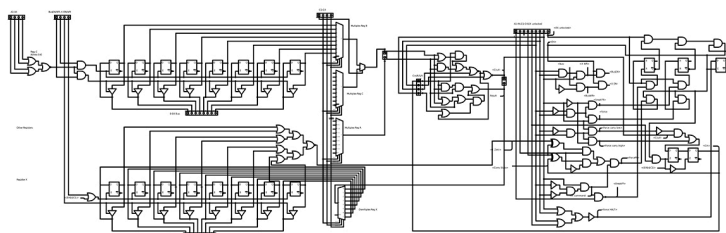


图 3.1 逻辑电路图

由于其基本元件（门）均为继电器形式，固只能作为展品展示，无法抗冲击，但其电气链接可以供我们参考。



图 3.2 刺绣计算机

3.2 PIX

PIX 是一款嵌入半柔性 LED 面板的背包。

Pix Backpack 的设计旨在让生活更加美好。它结合了方便的都市背包和灵活的可编程屏幕。通过免费的 IOS / Android 应用程序控制 Pix。你可以在 app 里找到各种各样的图片/动画/小工具和游戏。只需选择你喜欢的内容，一键上传到 Pix 背包。

作为一款个性化背包，其设计非常个性化。但是 PIX 采用的不是真正柔性的 LED，而是在栅格状的泡沫中嵌入 LED 灯，他的发光平面不能折叠且较为厚重，但在书包这一应用场景中不是一个很大的问题。

<https://www.pix.style/>



图 3.3 PIX

3.3 e-broidery

e-broidery 照明纺织品保证了日夜的迷人印象。集成电子设备可实现暗淡功能和动画。LED 纺织品可以洗涤和悬垂。此外，还保留了基础面料的悬挂特性和质地 - 无论是薄纱还是厚重的织物。

除了标准产品之外，照明纺织品可以由预定的织物和刺绣选择构成。还提供基于个人客户请求的定制。包括：预选面料、刺绣、设计和灯光图案以及亮度水平等。

可以说 e-broidery 很好的实现了单色 LED 灯在织物上的嵌入，但是 e-broidery 并没有加入较复杂的控制（比如只有灯的闪烁控制而没有 RGB 控制），而且织物中只有单一型号的 LED。另外 e-broidery 的价格十分昂贵，大约 2000 欧元/平方米，所以目前只有高端时装界和摄影界在使用。

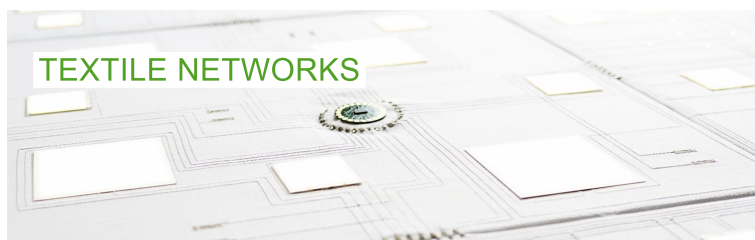


图 3.4 e-broidery 效果图



图 3.5 e-broidery 制成的时装布料

<http://www.frti.ch/en/>

<http://www.e-broidery.ch/en/>

第 4 章 技术方案

第 5 章 实现

第 6 章 展望

插图索引

| | | |
|-------|-------------------------|---|
| 图 3.1 | 逻辑电路图..... | 3 |
| 图 3.2 | 刺绣计算机..... | 4 |
| 图 3.3 | PIX | 4 |
| 图 3.4 | e-broidery 效果图 | 5 |
| 图 3.5 | e-broidery 制成的时装布料..... | 5 |

表格索引

公式索引

参考文献