



Interactive Light System Design Based On Simple Gesture Recognition 基于动作识别的灯光交互娱乐装置设计

Xuedan Zou 邹雪丹

Advisor: Ming Zhong 钟鸣

Special Thanks To Yi Xiao 肖懿 (技术指导)

简介



我的毕业设计是一款街机形式外观的使用Kinect识别人体姿势的灯光交互娱乐装置。

通过交互式地呈现像素怀旧风格的图案和一个经典的贪吃蛇游戏，用一种全新的交互方式来审视昔日熟悉的内容。在过去和未来，旧和新的碰撞中带给参观者关于“什么是新，什么是旧？新的技术是否也可以让熟悉的东西焕发出全新的生命力？高速发展的现代科技和沉淀在里面不变的人文情节”等思考感悟。

目录

A 设计背景

- 01.问题定义与解决概览
- 02.设计目标
- 03.案例研究
- 04.技术调研

B 设计构思

- 01.灯板外形设计
- 02.装置外形和展示空间
- 03.装置交互内容
- 04.装置交互流程

C 设计实现

- 01.灯板技术选择
- 02.光斑成像
- 03.LED点阵灯板
- 04.装置外壳制作
- 05.软件实现

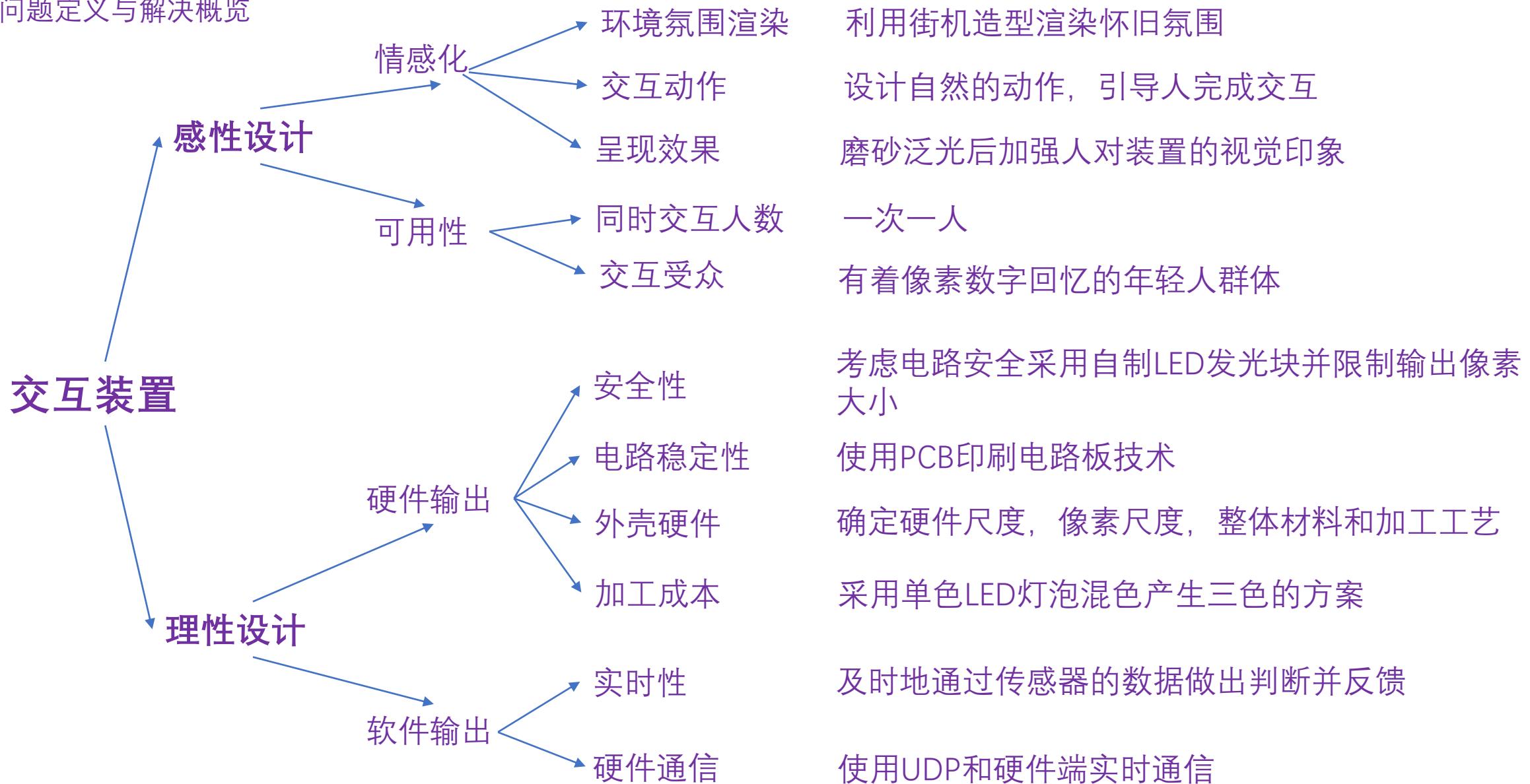
Design Backgrounds

A

设计背景

设计背景

01. 问题定义与解决概览



设计背景

02. 设计目标

项目背景：在科技博览会上将四川灵通电讯公司对物联网智能识别技术科技成果应用于装置呈现给一般大众。

装置形式：一个利用Kinect传感器，计算机视觉图像识别算法，让人远程通过简单的动作控制独立单元的多个灯泡发光，实时地展示反馈灯光图像的交互装置。

装置立意：

PAST MEETS FUTURE.

通过利用新的科技来复现7,8,90年代常见的像素文化，以新的技术唤起人们对旧事物的怀念之情。新和旧被统一在这个项目里面，游戏方式是旧的，而游玩的方式是新的，以此达到“新的技术并不可怕，它也可以使旧的东西重新焕发新生”，“何为新，何为旧”，“21世纪迅速发展的科学技术和沉淀在里面不变的人文情节”等方向的思考。

设计背景

02. 设计目标

针对人群：主要针对有着像素数字回忆的年轻人群体，也面向一般人群。

Pixel Art：最早在“ACM president's letter: Pixel Art”[1]中提出的概念，因为受限于当时硬件设备的限制，在有限的显示资源下不得不精准地控制每个像素点的位置来显示图案。后来应为硬件设备的迅猛发展不再有该限制，而被时代淘汰。一种观点也认为其有着现在图形学技术遗忘的极简主义和固有的谦逊。[2]



[1] Goldberg, Adele and Robert Flegal. "ACM president's letter: Pixel Art". *Communications of the ACM*. Vol. 25. Issue 12. Dec. 1982

[2] Kopf J, Lischinski D. Depixelizing pixel art[M]//ACM SIGGRAPH 2011 papers. 2011: 1-8.

设计背景

03. 案例研究

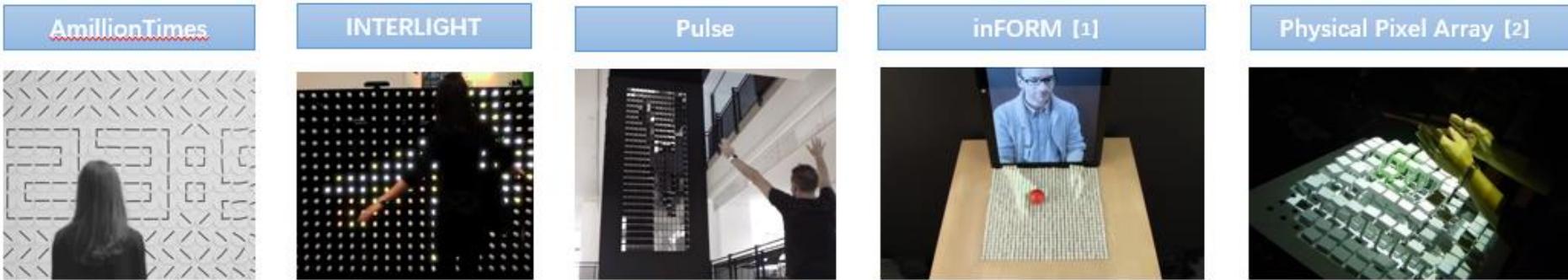


	LED Wall	Wooden Mirror	Echo	BulkScreen[1]	One Hundred and Eight
运用	利用多色多像素点LED屏显示动态图形	实时通过物理形式绘制图案反映检测到的图像	实时通过物理形式的图案反映检测到的图像	输入二维图算法处理后用三维立体图加投影的方式呈现	通过对气袋充气多少的控制对目标位置交互式反映抽象的呼吸效果
输入	人的图像	外界图像	人的图像	任意二维图像	人的位置
输出	LED发光产生图像反映输入的图像	舵机控制木片旋转角度产生不同反光效果构成图像	磁铁的磁极改变控制瓷片的正反面构成二值图像	舵机推动木块形成不同高度的深度图案外加投影仪投影呈现颜色效果	充气泵以不同功率充入气体让气袋产生不同的鼓涨程度和声音形成抽象效果
性质	商业	商业	商业	科研	商业
交互人数	一次一人	一次一人	一次一人	无	一次多人

【1】 Riku Arakawa et.al BulkScreen: Saliency-Based Automatic Shape Representation of Digital ImageswithaVertical Pin-ArrayScreen ACM TEI 2020 Work-in-Process.

设计背景

03. 案例研究



	AmillionTimes	INTERLIGHT	Pulse	inFORM [1]	Physical Pixel Array [2]
运用	利用独立马达带动像素指针移动形成图案	通过独立的一个个灯泡的亮灭绘制人影	人远距离控制安装在巨大墙壁上的金属砖片	远距离捕捉人体动作控制凹凸不平的像素木块配合软件终端实现多种功能	人的手部动作控制凹凸不平的箱数木块和一个投影矩形
输入	无	人的图像	人的图像	人体的手部图像	人的手部位置
输出	由时钟指针各自指向不同方向形成的抽象图案	灯泡对应明暗变化输出一个人的剪影	舵机改变角度造成砖片翻转结合光线反射产生人影图案	舵机推动木块形成不同高度的深度图案外加投影仪投影呈现颜色效果	舵机推动木块形成高度不同的抽象图案，配合投影定位区域
性质	商业	商业	商业	科研	科研
交互人数	无	一次多人	一次一人	一次一人	一次一人

【1】 Follmer, Sean, et al. "inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation." UIST. Vol. 13. No. 10.1145. 2013.

【2】 Physical Pixel Array Height Distortion Interface Siggraph 2011

设计背景

03. 案例研究

结论：

1. 目前的装置大都单纯根据图像实时输出单纯的像素化结果，或者简单根据人的位置输出。基于姿势识别方法判断输出图案的装置十分少见。
2. 目前装置大部分单纯通过像素化方法来输出传入传感器的写实图像。用像素化方法输出设计的抽象图案的装置十分少见。
3. 大部分此类装置缺乏具体的文化导向，以像素文化怀旧的方案少见。

设计背景

04. 技术调研

Kinect由微软开发，利用深度摄像头捕获人体的位置数据。

它可以骨骼追踪，深度检测，人脸识别，语音识别。

Kinect V2各个参数：

Color Resolution 颜色分辨率： 1920*1080

Depth Resolution 深度分辨率： 512*424

Max People 检测人数上限： 6

Joint Number 关节数： 25

Detection Distance 检测范围： 0.5—4.5m

同时需要考虑Kinect的测量范围以及测量精度与距离的影响变化。

在Kinect的机能下来完成交互动作的设计。

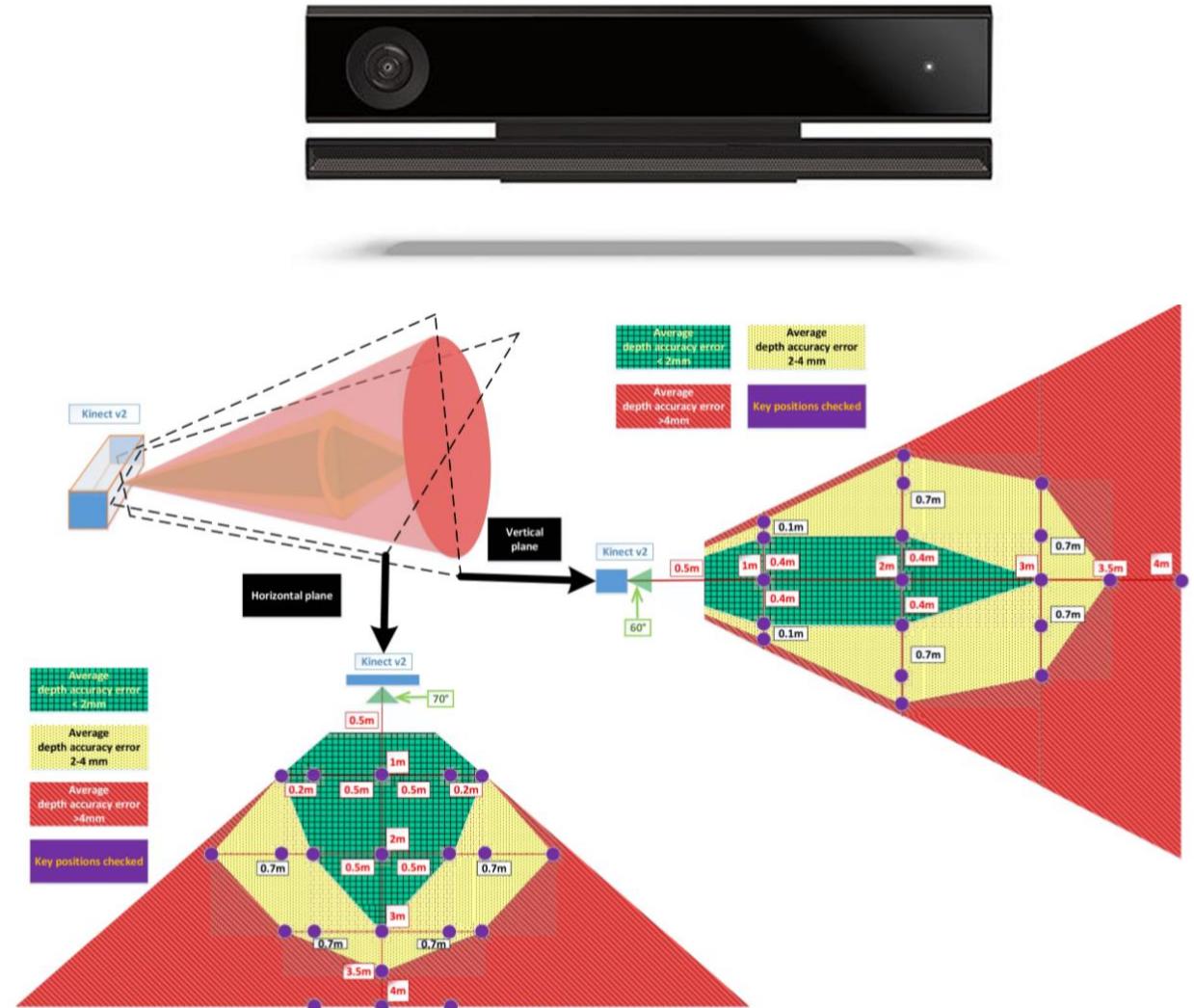


Fig. 6. Accuracy error distribution of Kinect for Windows v2.

【1】 Yang L , et al. Evaluating and Improving the Depth Accuracy of Kinect for Windows v2[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(8):4275-4285.

【2】 Zennaro S , et al. Performance evaluation of the 1st and 2nd generation Kinect for multimedia applications[C]// IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). IEEE, 2015.

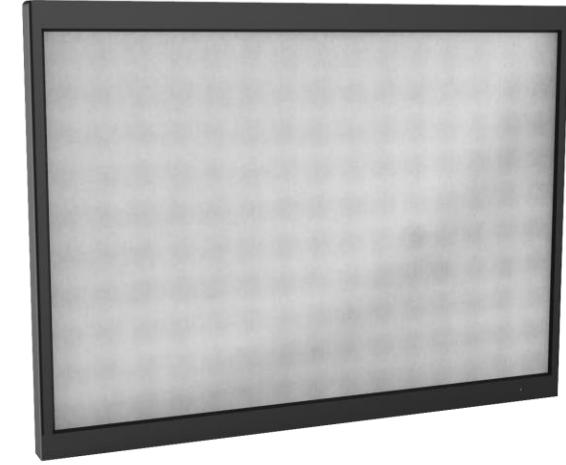
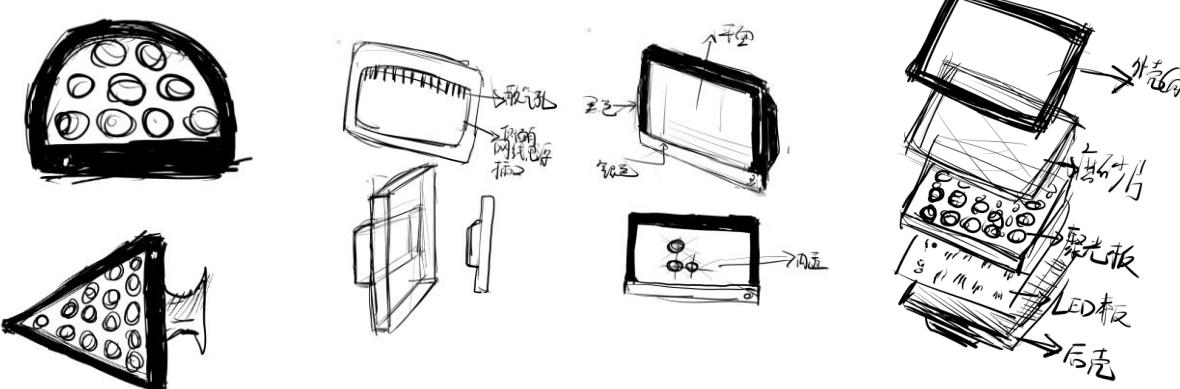
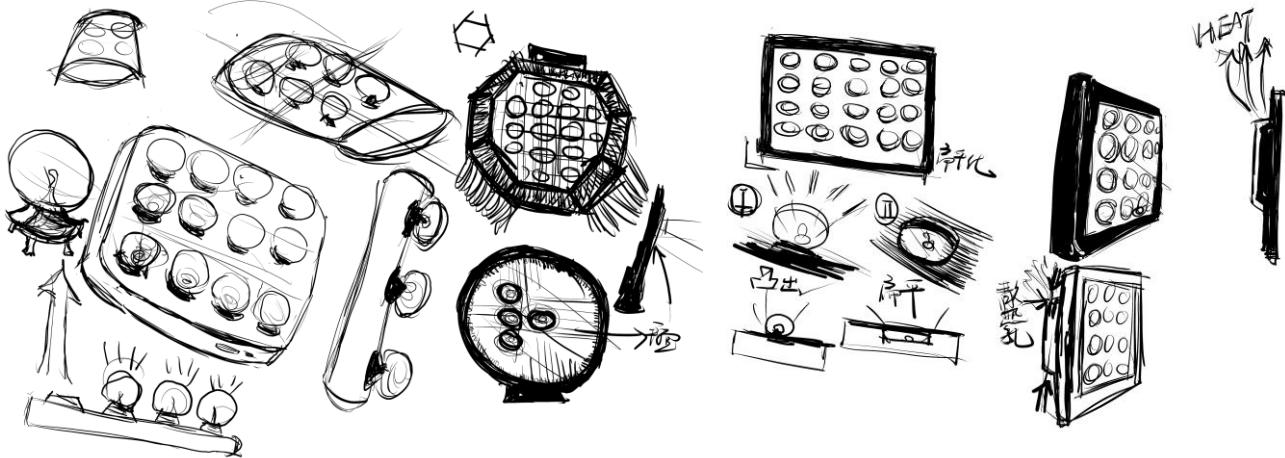
Design Ideas

B

设计构思

设计构思

01. 灯板外形设计

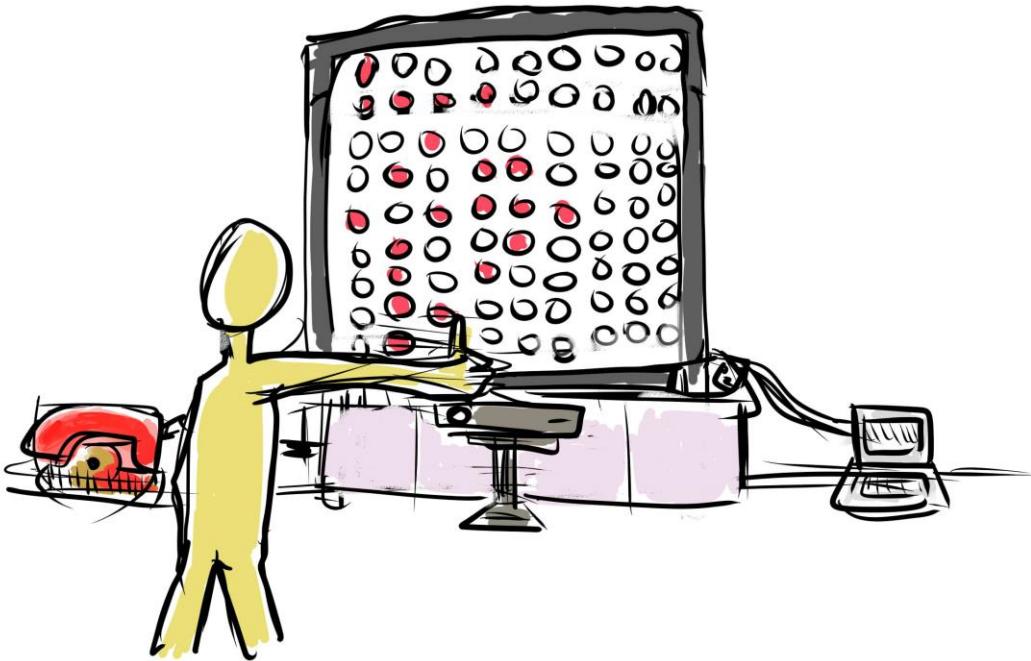


设计草图

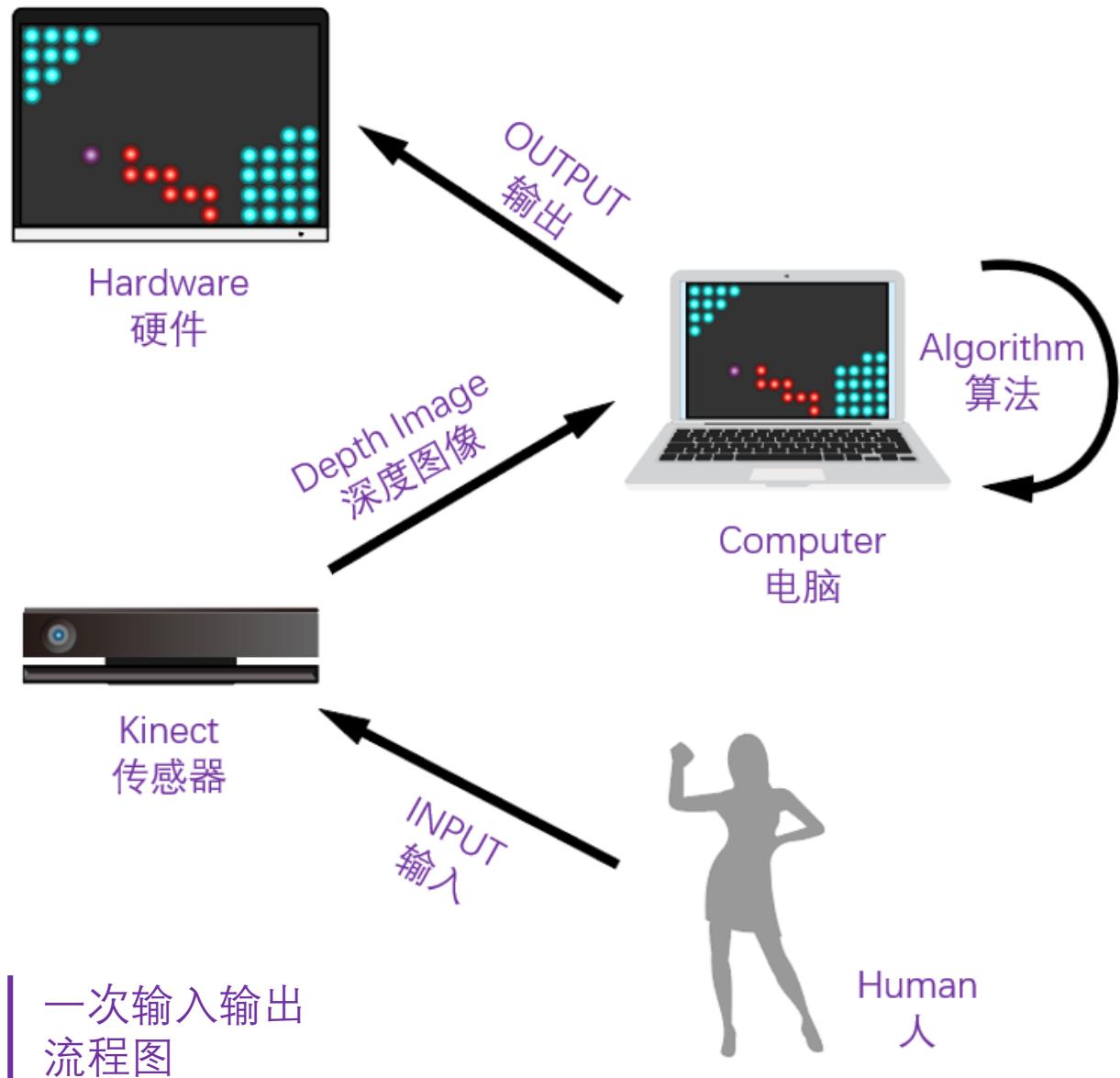
建模

设计构想

02. 装置外形和展示空间

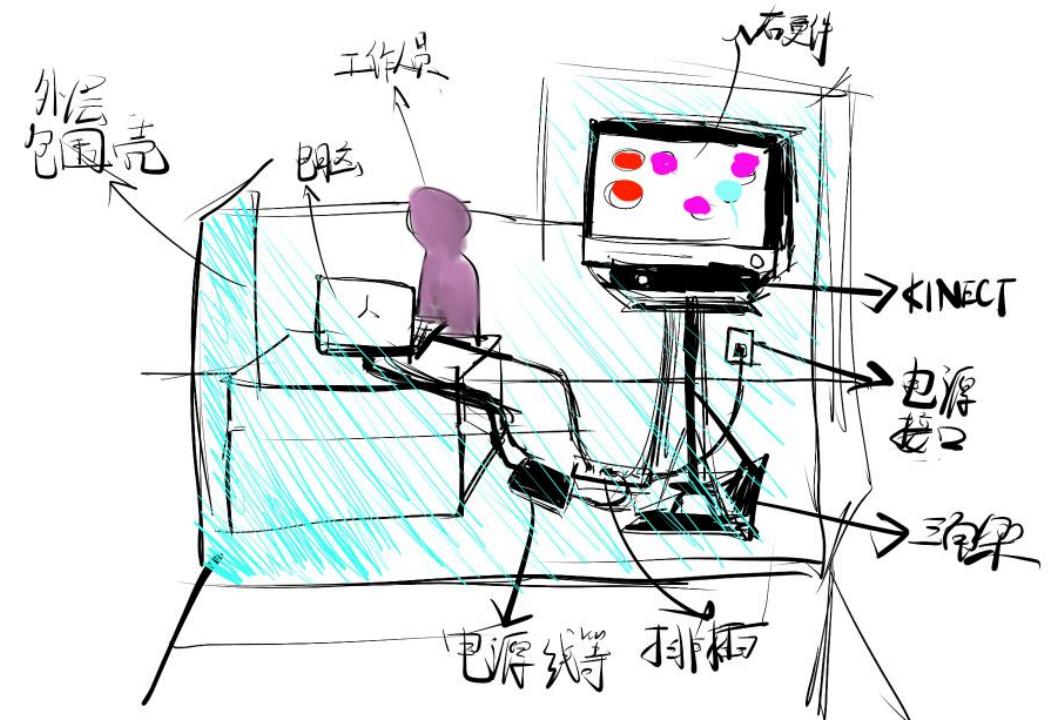
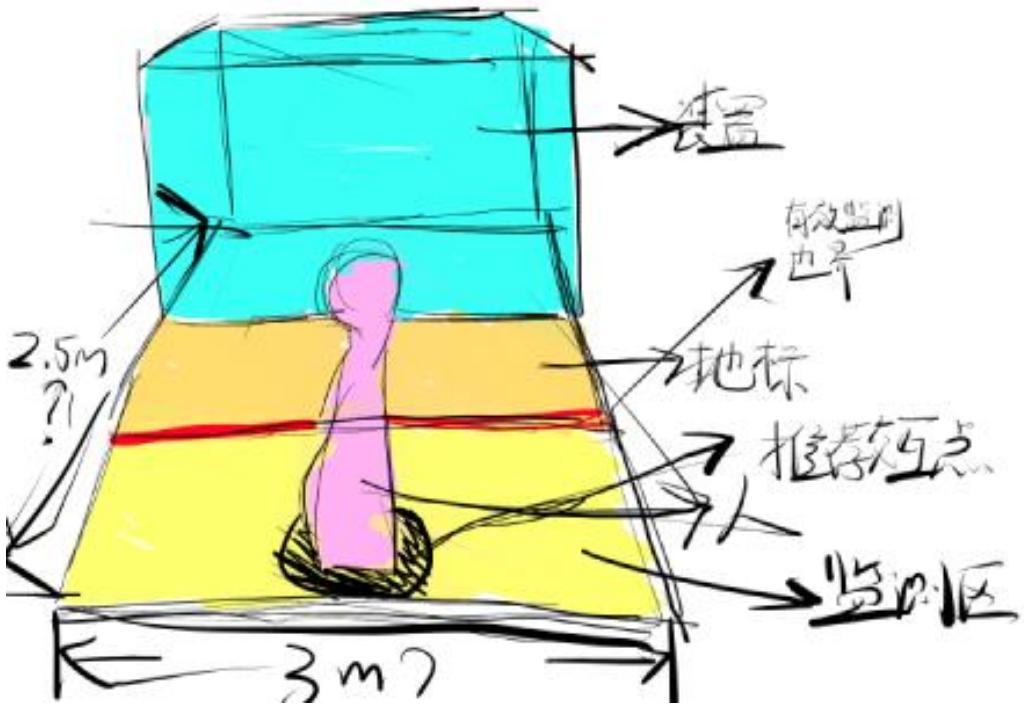


初期概念
草图



设计构思

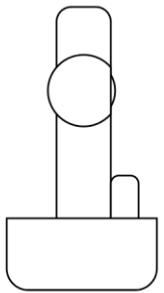
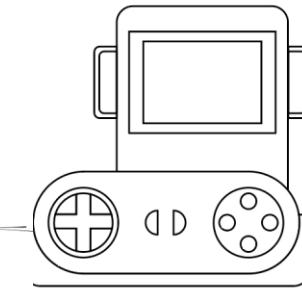
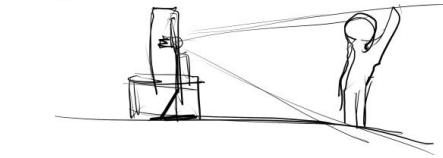
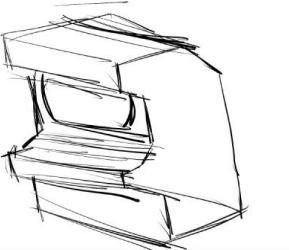
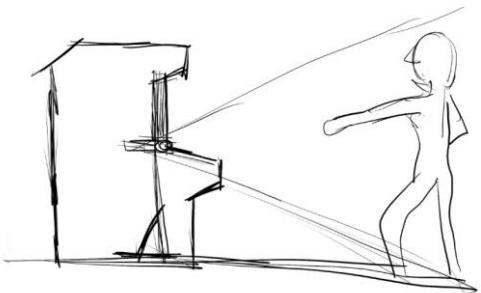
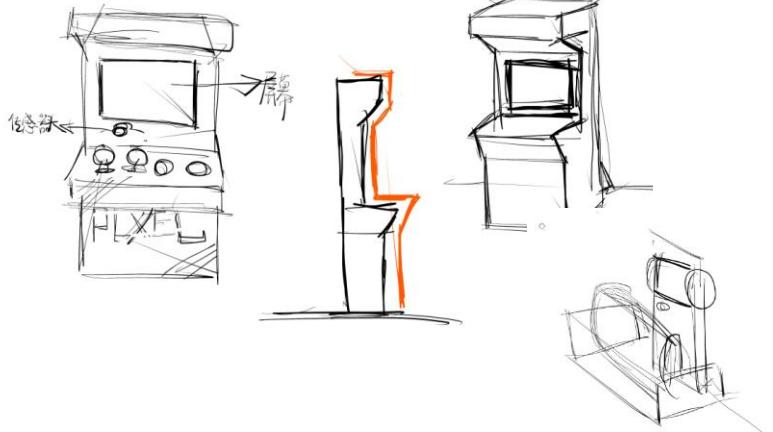
02. 装置外形和展示空间



| 展示空间设计草图

设计构思

02. 装置外形和展示空间



| 街机方案

| 游戏掌机方案

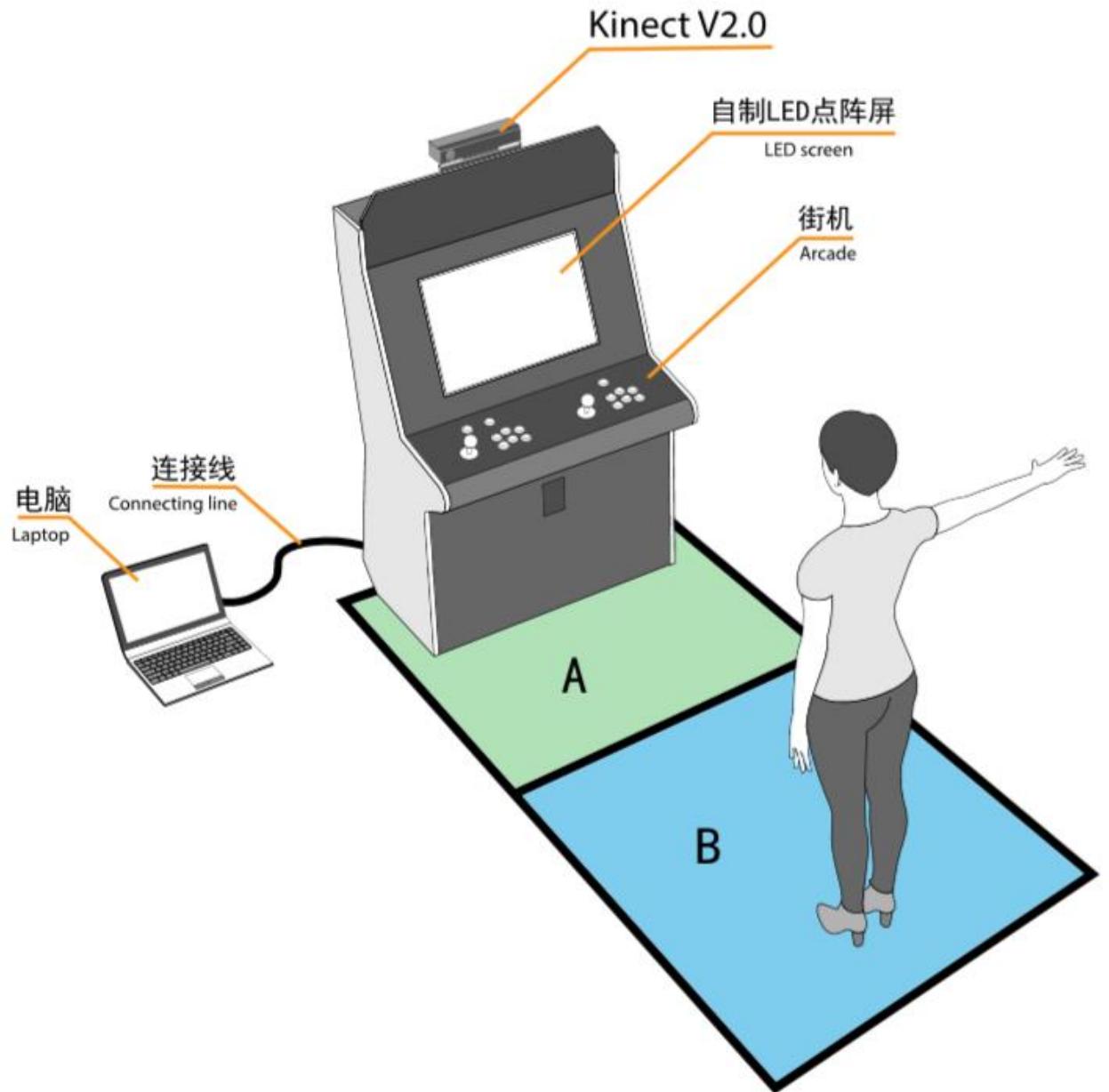
设计构思

02. 装置外形和展示空间

最终的装置外形被确定为街机，借此贯穿像素文化，并和交互主题切合。

交互区域被切成了A, B两个部分。A区域中用户和经典的像素游戏交互，B区域中用户和动态像素图像交互。

利用Kinect的深度感知功能，当人从B区域进入A区域后将触发展示内容的切换，在自然的引导之中让用户自己完成对交互内容的切换。



设计构思

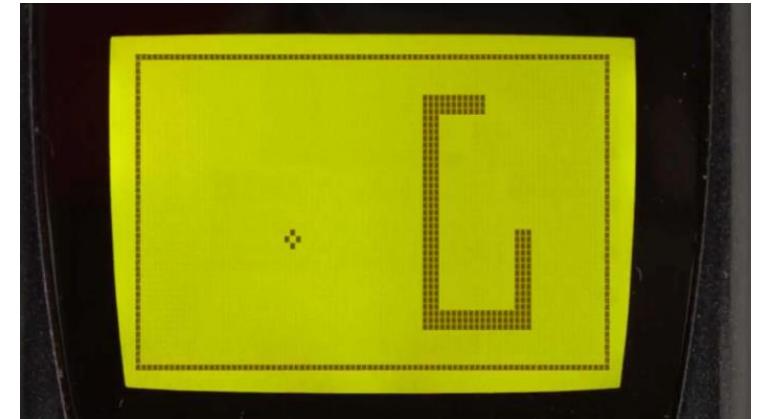
03. 装置交互内容

以什么作为交互的内容呈现？

需要在有限像素的LED点阵屏上展示内容。

在充分的探讨后决定以经典的贪吃蛇游戏作为互动内容的载体，贪吃蛇游戏从1970年代首次推出以来即经久不衰，其自然的游戏方式和规则无需多加说明，让用户能更好地领悟到用全新的方式游玩这款经典游戏的全新体验。

在游戏进行外，需要用动态的交互式图案来表达，考虑使用一些已有的极简的像素图案，并且扩展这些像素图案使得它们富有生命力地运动起来。当用户移动时完成跟随动作，让用户感觉到这些传统像素生物的生命力，仿佛它们只是被束缚在了装置之中，而这个具有科技感的冰冷装置也多了一份人文气息。



设计构想

03. 装置交互内容

在色彩和像素点数量都很少的情况下精心选择了五个经典像素形象，并根据想象延伸设计了它们的动作。



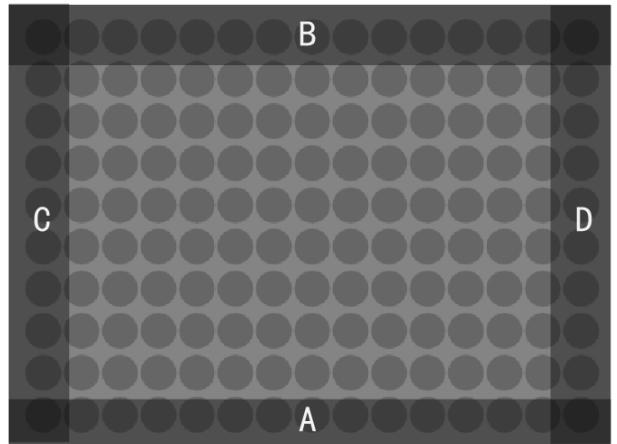
注：像素生物A,B,C,E原型来自经典的电子游戏“太空侵略者”，其中A是一个用于其纪念音乐会的变体版，像素生物D原型来自吃豆人

设计构想

03. 装置交互内容

对每个像素生物设计它们在默认情况下的运动状态，一个动作周期的的帧数，它们的运动范围和初态下的相对移动速度。 (x,y) 分别表示水平和竖直方向相对速度。

将像素区域边界划分为A,B,C,D四个区域，考虑在进入边界区域后考虑像素生物必须在对应边界方向预留多少像素行/列。



	外形	初始相对速度	周期帧数	默认运动状态	A距离	B距离	C距离	D距离
像素生物A		(0, 1)	5	上下飘动	3	3	1	1
像素生物B		(0, 3)	10	上下飘动	5	3	2	2
像素生物C		(0, 0)	11	静止	4	4	3	3
像素生物D		(0, 0)	8	静止	3	3	1	1
像素生物E		(3, 0)	3	左右移动	3	3	2	2

设计构想

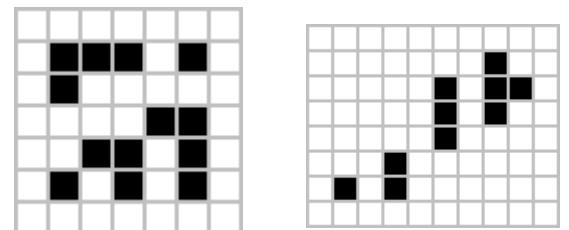
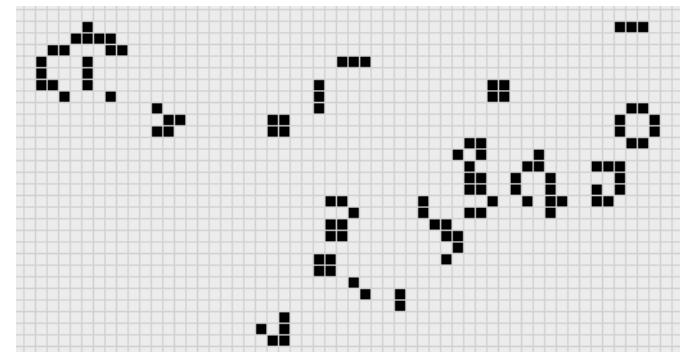
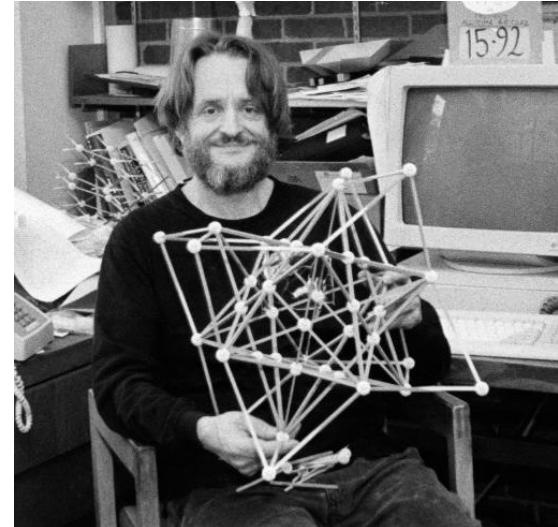
03. 装置交互内容

游离的像素点动画参考John Horton Conway (1937-2020) 提出的生命游戏 (GAME OF LIFE) [1]。这是一种利用简易的规则产生无止尽的迷人的动画的方法，也充分蕴含着科学与美学结合的思想。

常规的规则方式是，对于每一个像素点用生或死两种状态表示，其八邻域内只要：

1. 有3个以上像素为生则这个像素为生
2. 有2个像素为生则该像素保持先前状态
3. 不足2个像素为生则该像素为死

基于生命游戏的产生思路，结合具体的像素板大小稍加改进就可以产生无止尽的像素图案动画。



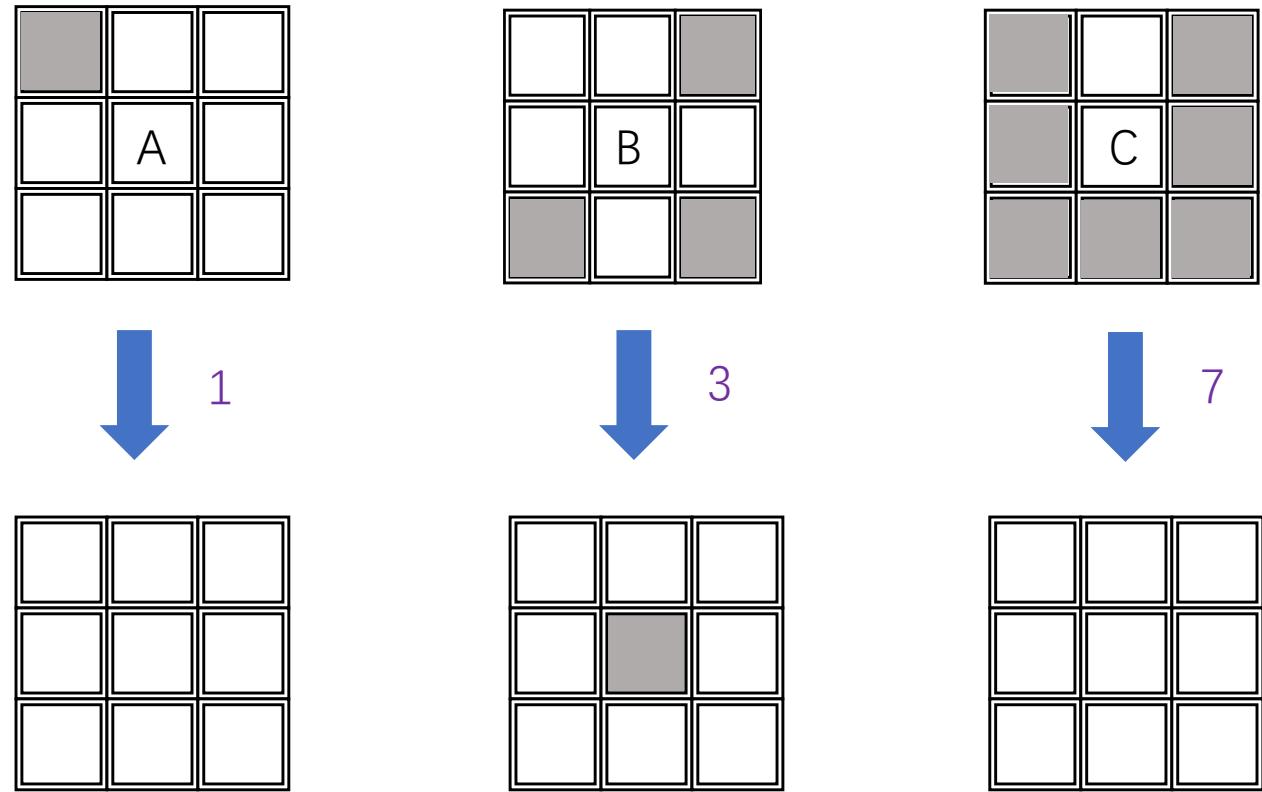
[1] Gardner, Martin (October 1970). "Mathematical Games - The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game 'Life'" . *Scientific American* (223): 120–123. doi:10.1038/scientificamerican1070-120

设计构想

03. 装置交互内容

编写模拟程序，对“GAME OF LIFE”算法进行改进，考虑较小的像素尺寸，经过多次试验，提出如下较为美观的动态图形生成算法，核心部分伪代码如下：

```
no_colored_pixel=true;
for each pixel_not_border in new_img
If 8_neighbor_colored in old_img==3
    pixel_not_border.colored()
    no_colored_pixel=false
else
    pixel_not_border.uncolored()
for random(n) times
    random_border_pixel.uncolored() in new_img
If no_colored_pixel==true
for random(m) times
    pixel_not_border.colored() in new_img
```

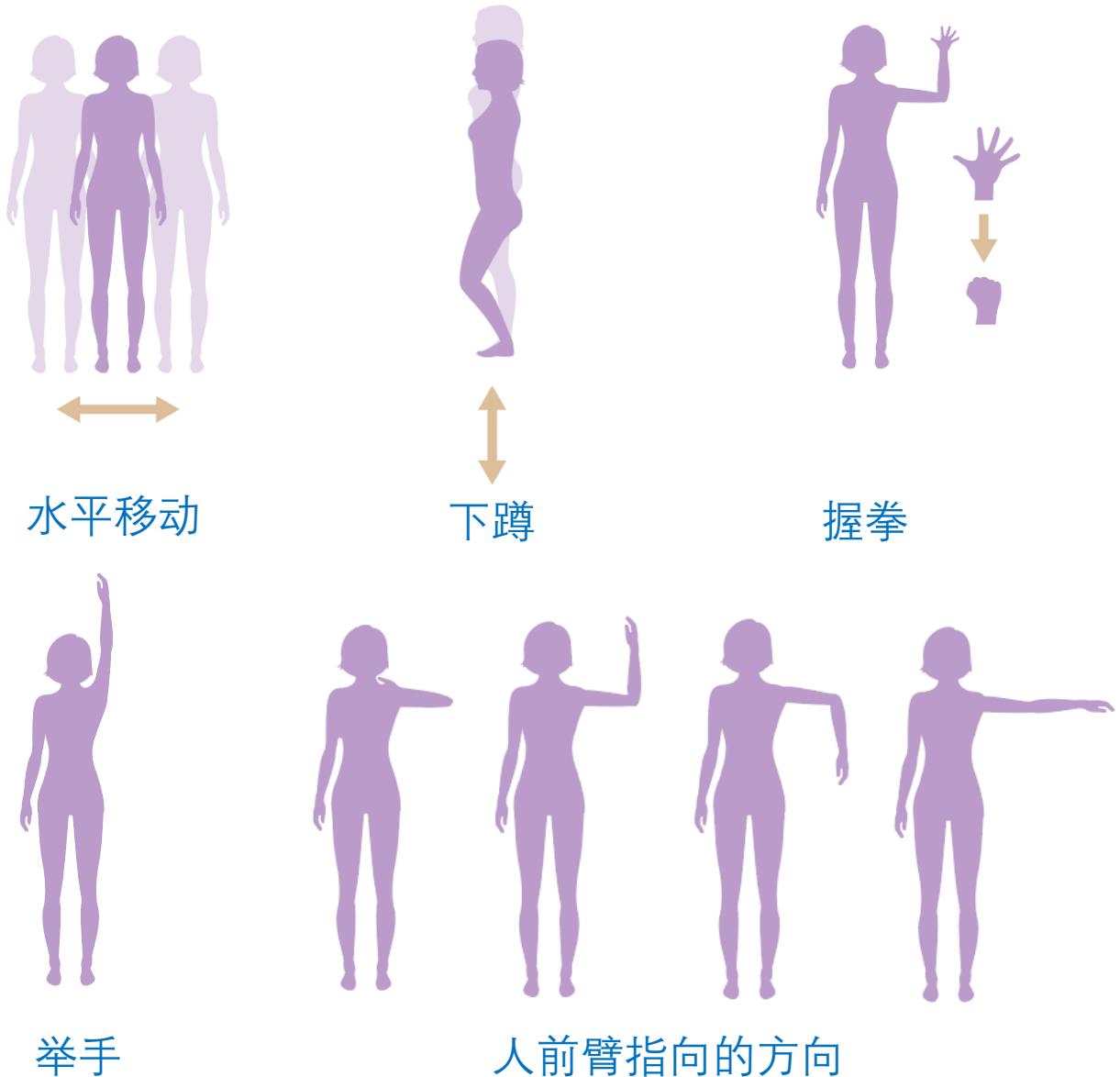


只有中间的情况八领域内有三个像素被染色，其在下一帧被染色，其余情况判定为无色

设计构想

03. 装置交互内容

结合Kinect机能，在考虑识别准确度的基础上设计出了一套自然的交互动作，这些动作都十分的自然简单，符合人们的直觉，无需多加训练，使得用户将关注点更好地落实在交互体验上。



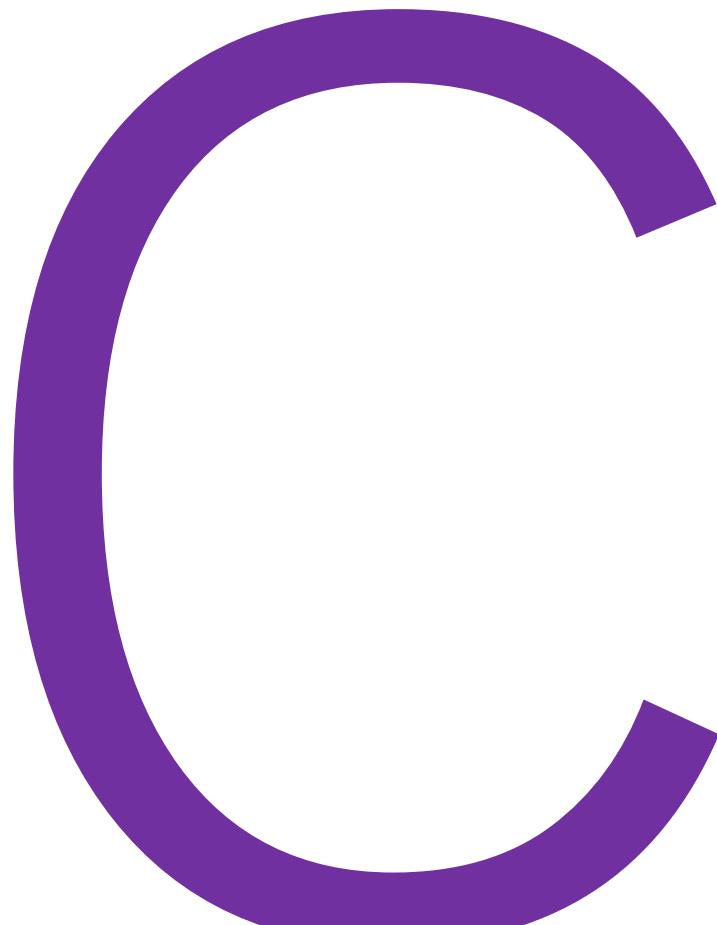
设计构思

04. 装置交互流程

区域 AREA	B区域（触发距离外） AREA B(out of range)			A区域（触发距离内） AREA A(within range)		
模式 Mode	像素观赏 Pixel Animation			贪吃蛇游戏 SNAKE Game		
阶段 Status	像素生物 Pixel Creature	切换 Change	游离像素 Seperated Pixels	选择左右手 Choose Side	控制贪吃蛇 Control Snake	显示得分 Show Score
交互行为 Interactive Behavior	 水平移动 move horizontally	 手由张开到闭合 make a fist	 水平上下移动 move around	 举手 hold a hand	 对应方向前臂移动 move forearm	
装置画面 Output Image	 像素生物跟随人 移动 Pixel creature follow the user	 像素生物和游离 像素切换 Pixel creature change status animation	 蓝色像素点 跟随人移动 blue pixels follow the user	 选中方向被 蓝色填充 chosen side filled with blue	 贪吃蛇被前臂 方向引导移动 snake follows the forearm direction	 最终得分 滚动显示 the final score rolls

装置交互流程图

Design Process



设计实现

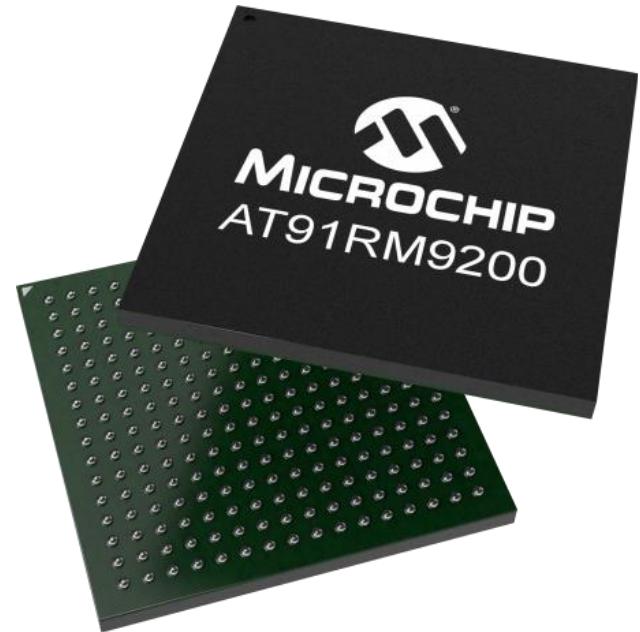
设计实现

01. 灯板技术选择

控制器选择

对于灯板的控制器，相比学生常用的Arduino和51 SCM, 选用了性能更强大稳定的 AT91RM9200微处理器，优势如下。

1. 大规模成熟地工业控制应用
2. 开源资源丰富
3. 主频180MHz, 处理能力强
4. 实时操作系统支持



AT91RM9200



Arduino



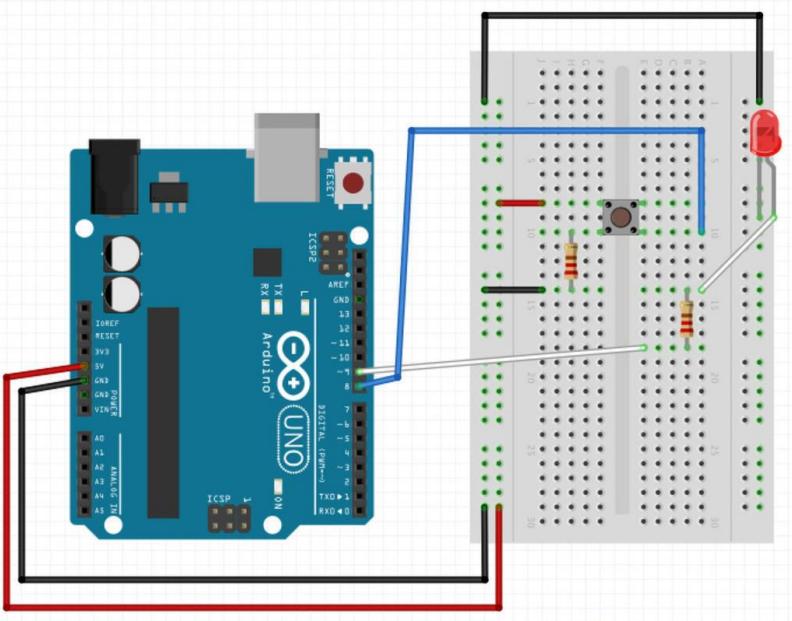
51 SCM

设计实现

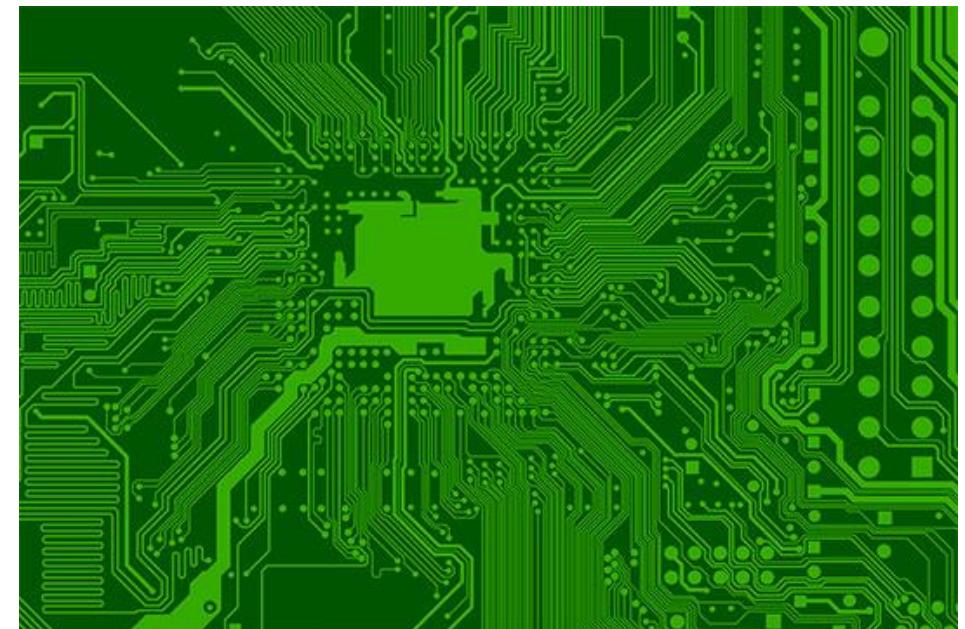
01. 灯板技术选择

电路连接方式

对于LED灯的电路连接，传统手工连线面包板在复杂度到达一定程度后信号质量和可连接信号线密度都存在明显瓶颈。故使用了多层的PCB布板技术, BGA技术，结合高密度的模块化设计达到工业化水准。



传统面包板布线

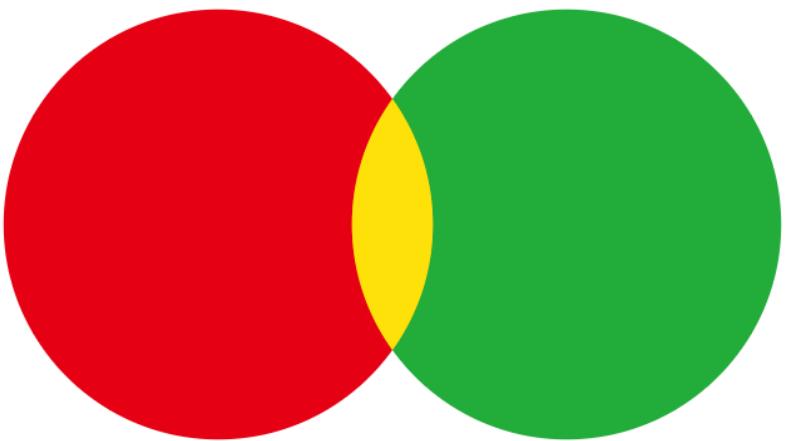


PCB印刷电路板

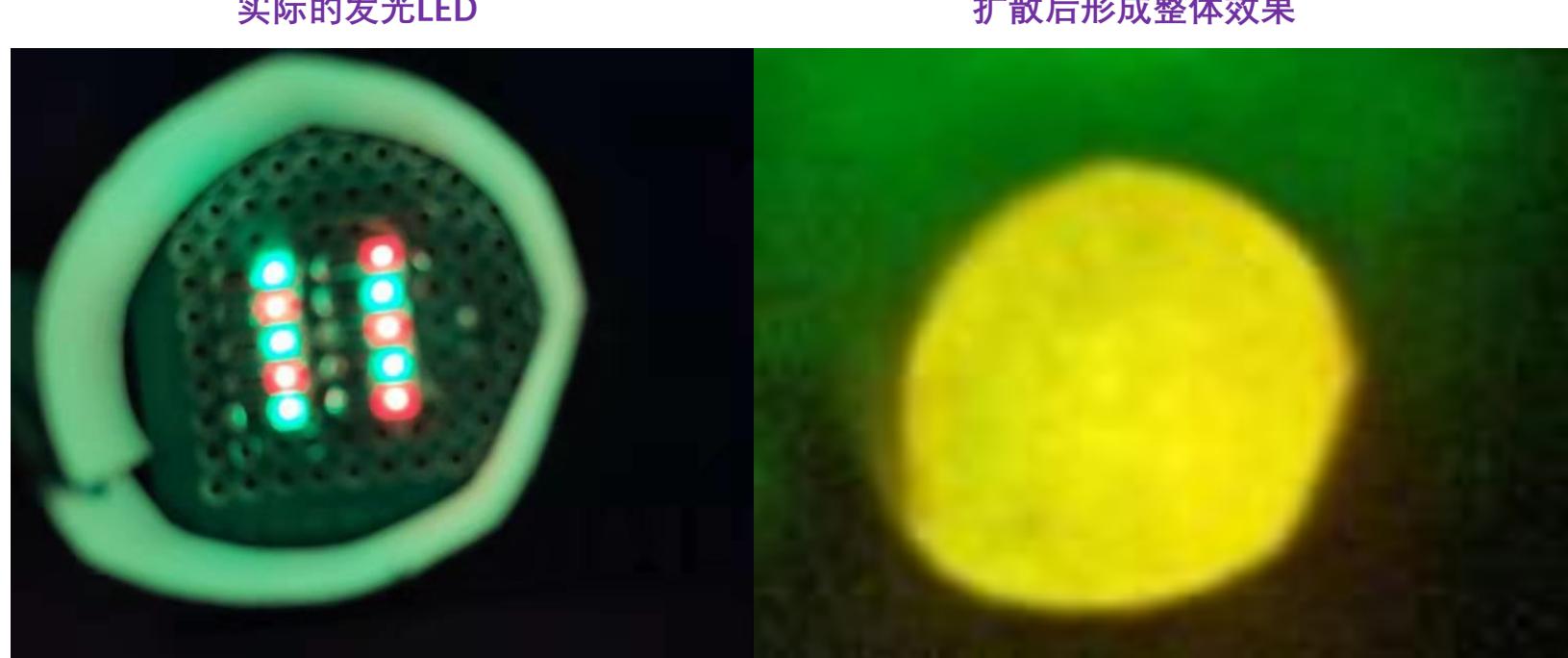
设计实现

02. 光斑成像

| 前期LED点光源设计尝试



Red+Green=Yellow



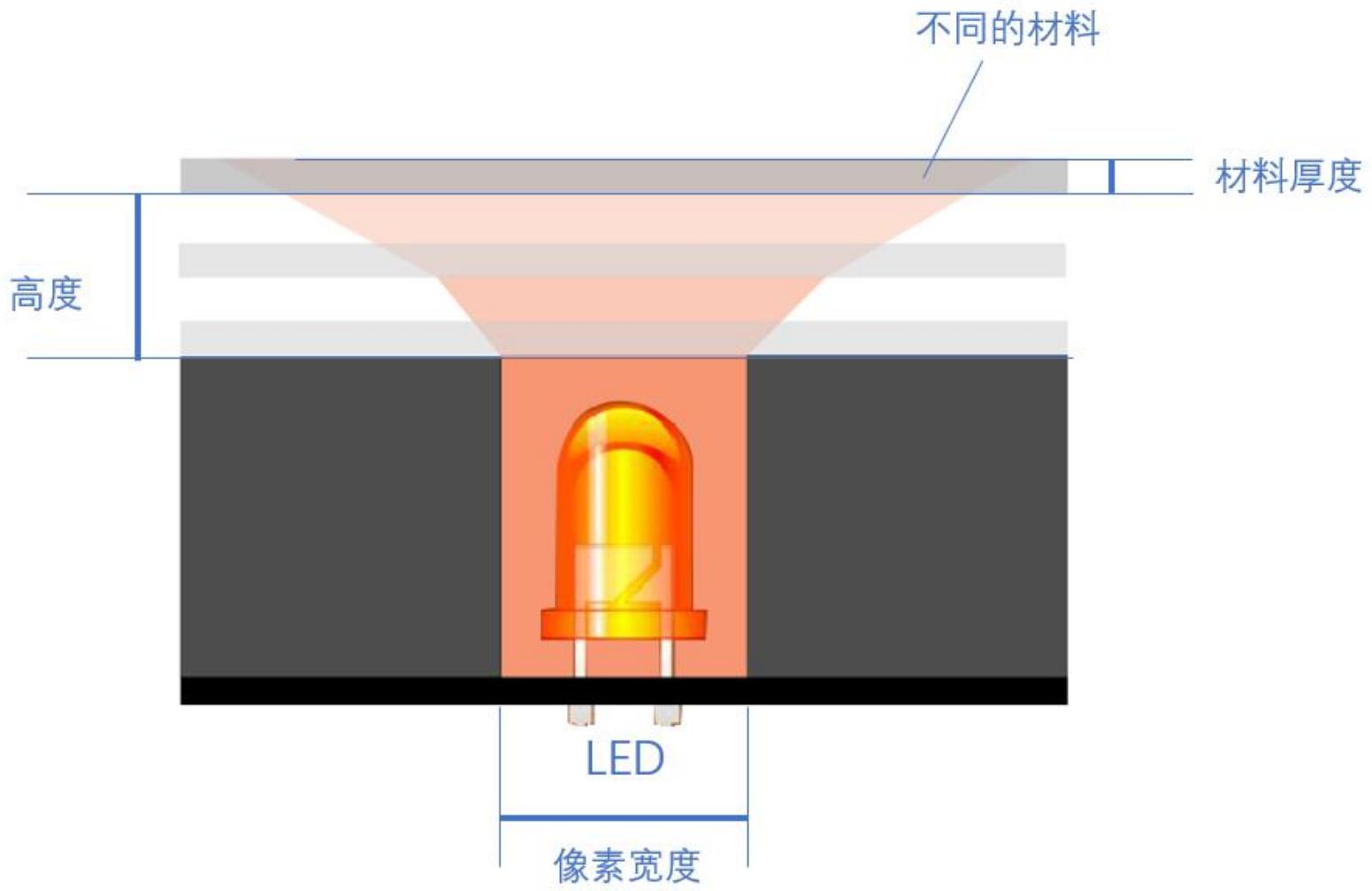
考虑电路板功率限制，最初尝试采用单色LED小灯泡并联，再透过上方一定距离的聚光材质形成一个整体的发光效果。通过两种基本颜色的混色产生第三种颜色。

设计实现

02. 光斑成像

最终光斑的成像效果与LED的透光孔径，透光材料，透光材料的厚度以及透光材料距离透光孔的高度都有关系。像素孔径几乎等于LED的宽度，需要自行实验来确定最终选定的透光材料以及放置的高度。

这里定义的高度是材料下表面到像素控头部的高度。



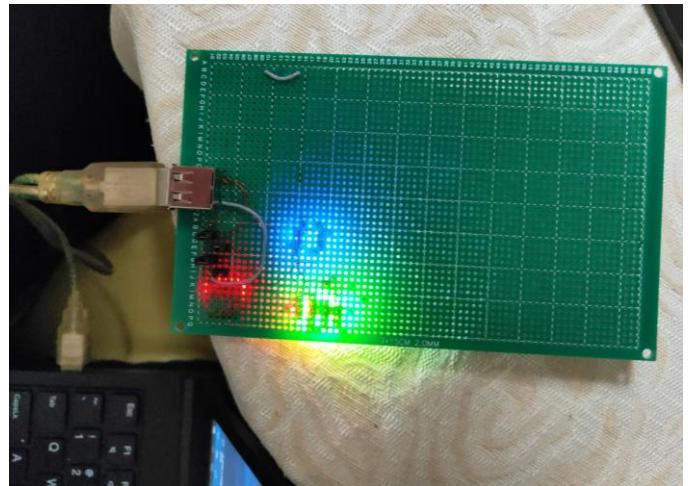
材料选择原理图 |

设计实现

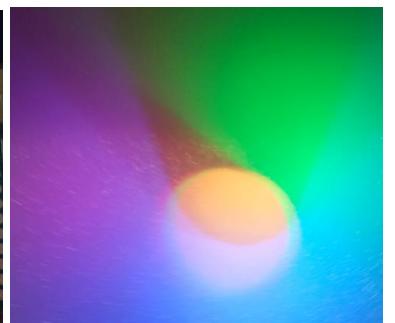
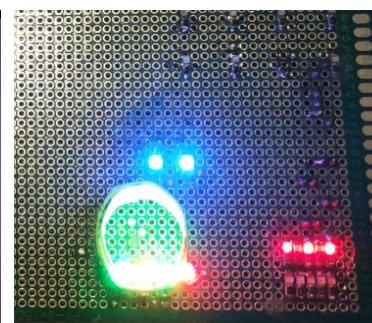
02. 光斑成像

我们通过小的样板原型，对多种材质的散光效果进行了测试。包括：

不同厚度的普通玻璃，聚碳酸酯，聚氯乙烯，涤纶树脂，纸



可以看到，不同材质在不同距离会体现出不同程度的透光效果。

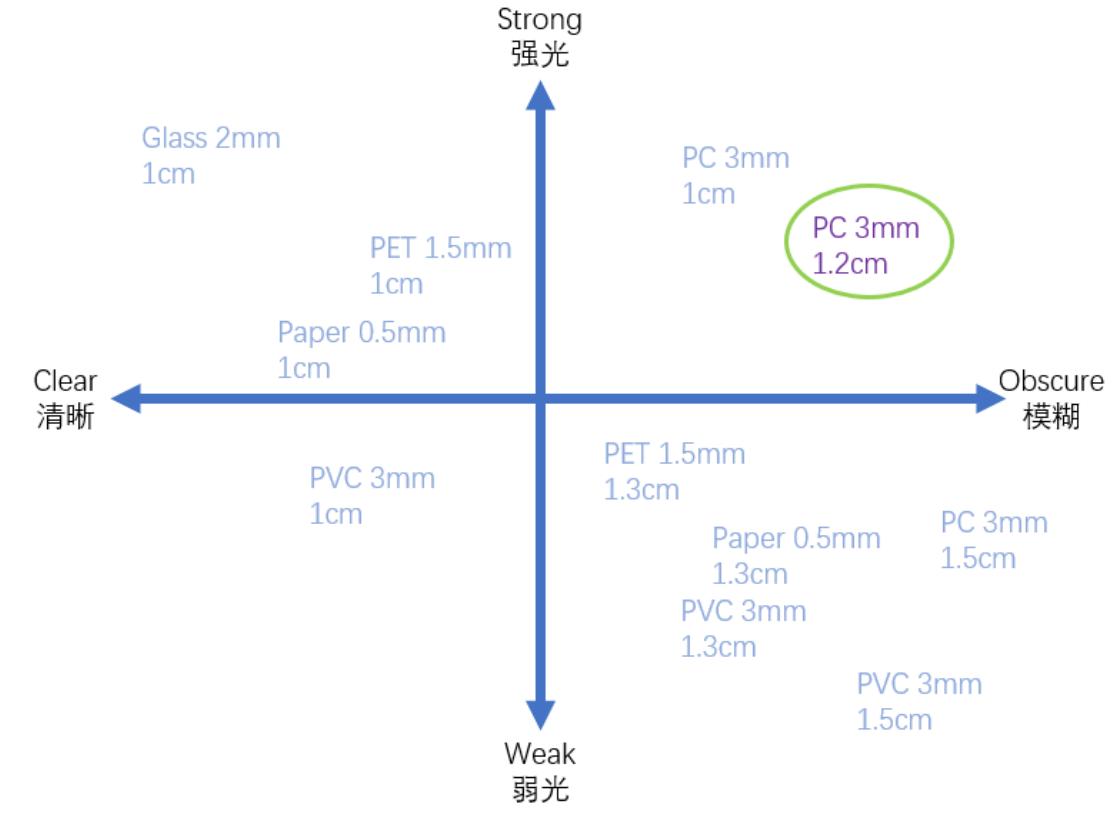


设计实现

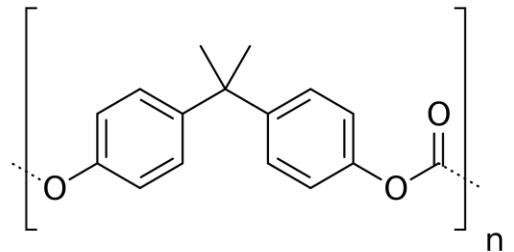
02. 光斑成像

依据不同材料对相同LED灯泡光照不同距离泛光后肉眼评估的视觉效果，按照清晰与模糊，强光与弱光两个尺度进行评估。

最终选择了单层磨砂3mm厚的PC板底部距LED 1.2cm的效果。



PC磨砂板包含光面和磨砂面，磨砂面最高透光率高达85%，光面透光率65%，同时加入扩散剂均衡分布于板面，使光线经过板材时碰撞到扩散剂颗粒产生折射，反射和散射的效果。最终光线可以均匀地透过板材但又不会露出光源，达到从点光源到面光源的变化。

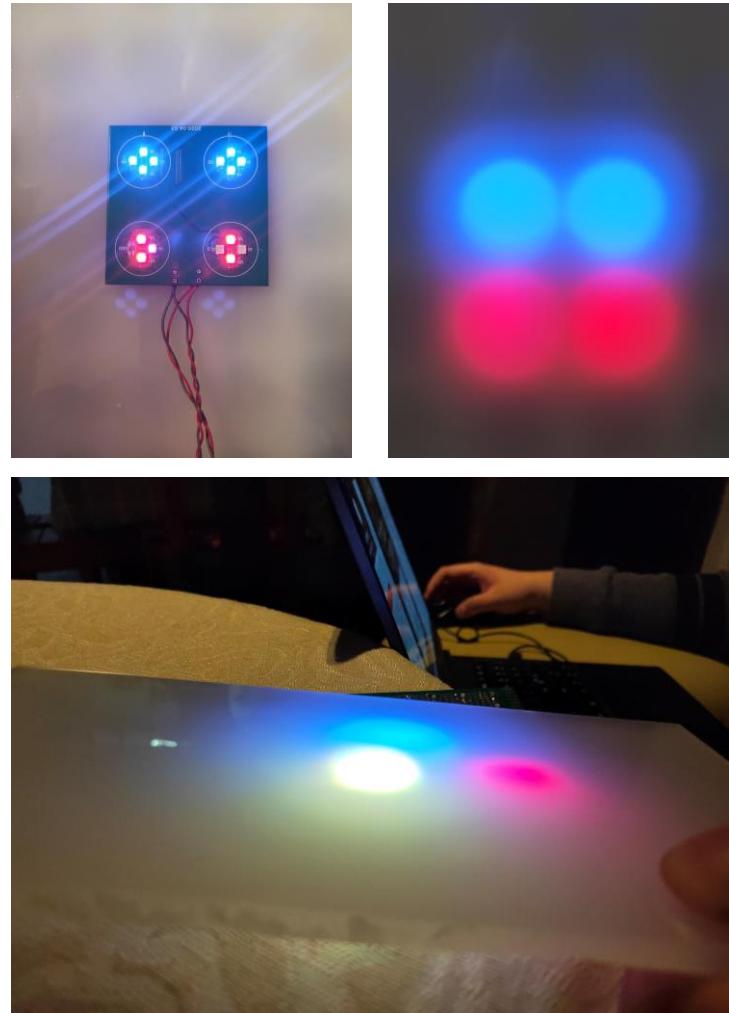
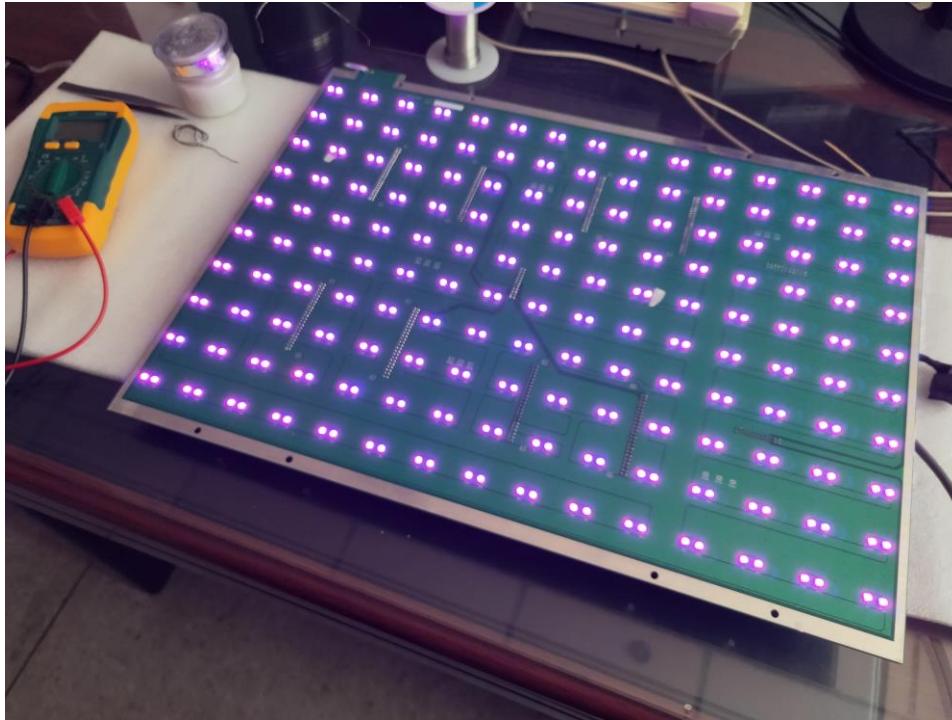


[1] Ouyang X, Li P, Chen D, et al. Light-diffusing materials for LED illumination applications: Comparing the effectiveness of two typical light-diffusing agents[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2016, 133(4).

设计实现

02. 光斑成像

为了保证颜色的纯度，最终方案确定为使用正负极分别发红光和蓝光，同时接通发紫光的LED灯泡来制作LED点阵灯板。用测试样片在选定的PC磨砂板下做透光实验，得到令人满意的视觉效果。

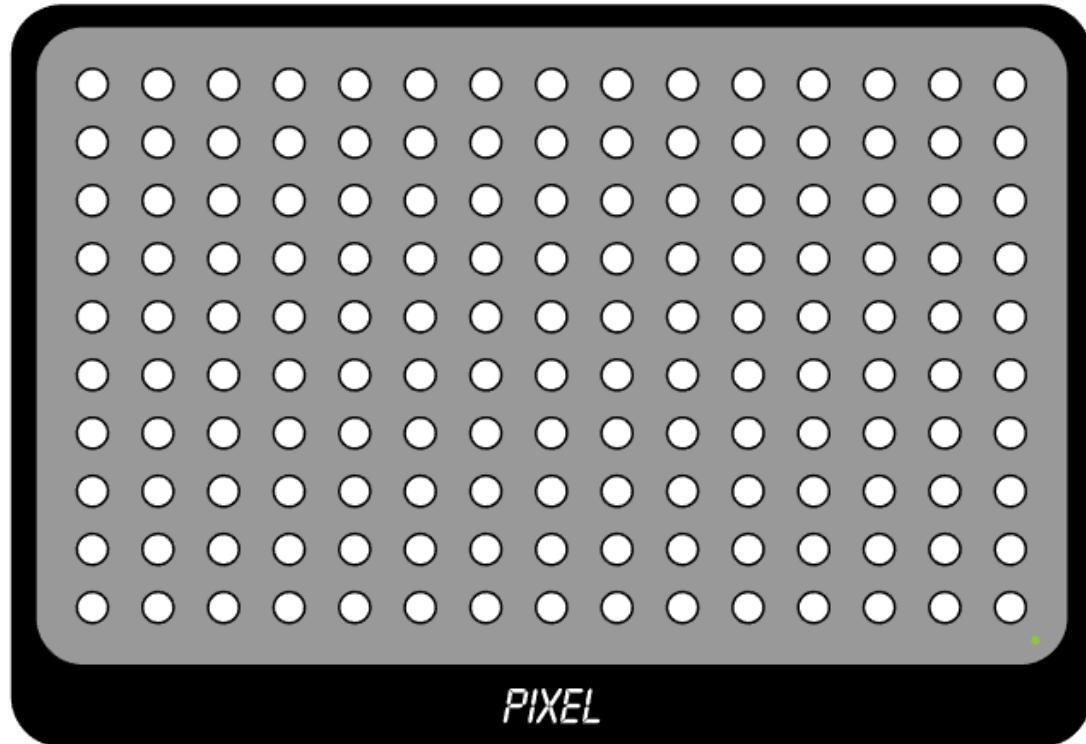


设计实现

03. LED点阵灯板

| 尺寸

约
40
cm



约60cm

制作的LED点阵灯板长约60cm, 宽约40cm, 有15*10个可独立控制的圆孔状光斑。

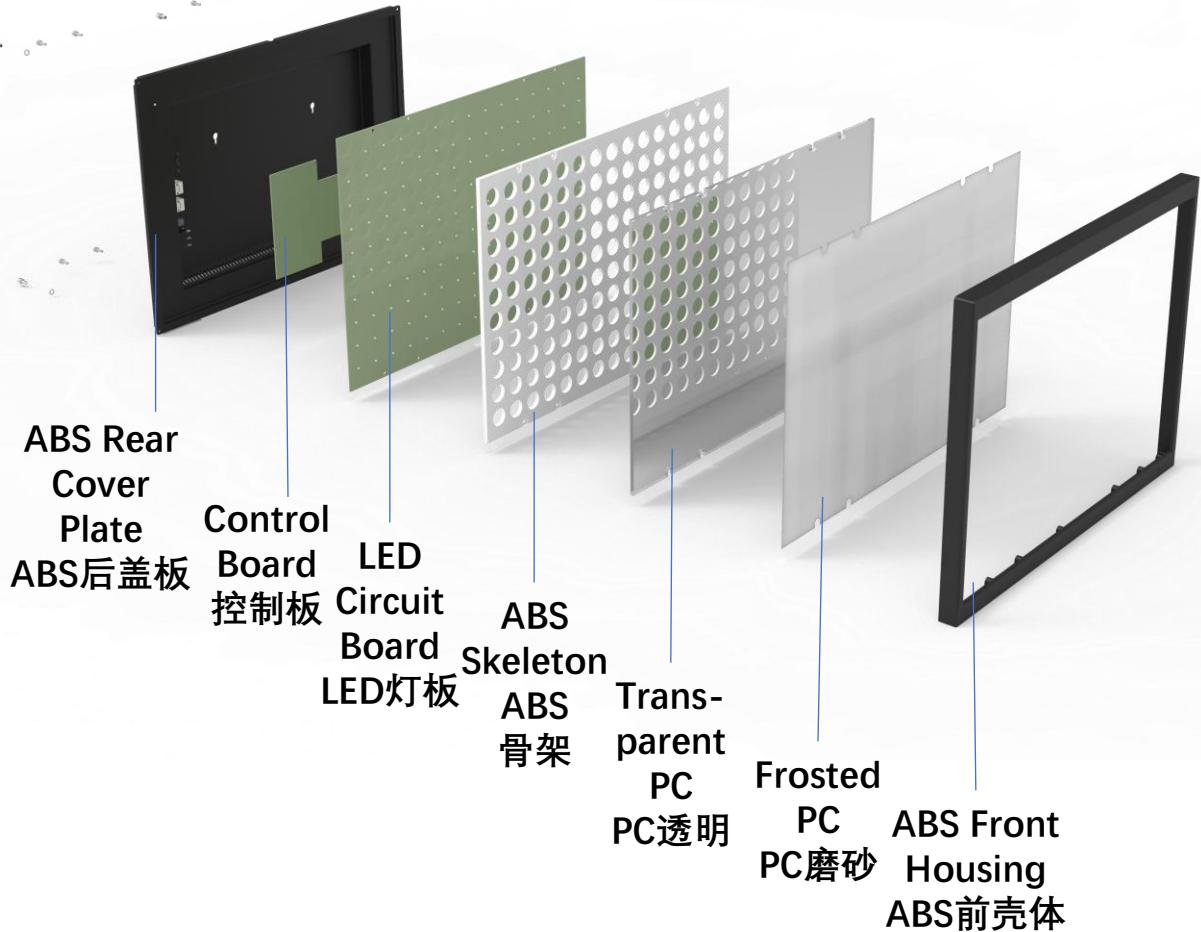
| 人机尺度



设计实现

03. LED点阵灯板

灯板内部结构



控制板和电脑通信控制LED灯板发光



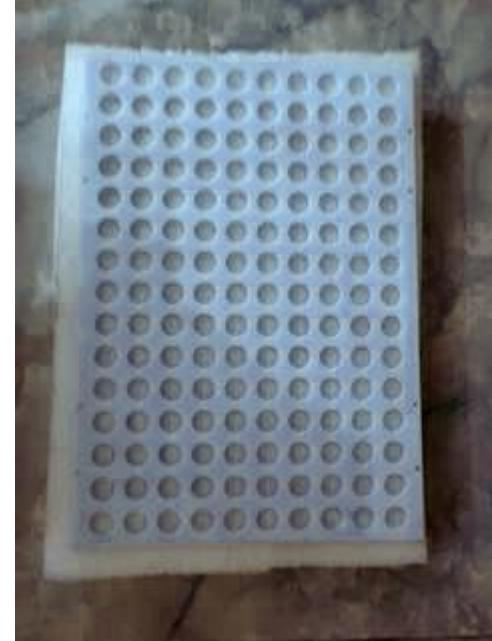
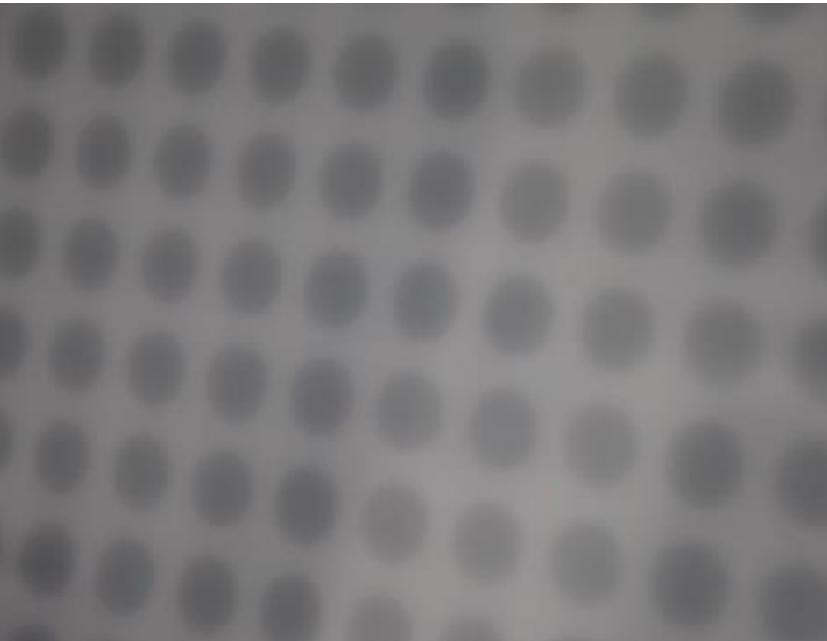
光线通过ABS骨架聚集成一个个圆形光圈



光圈通过一定厚度的PC透明板后被PC磨砂板折射成光斑效果

设计实现

03. LED点阵灯板



在工厂开模生产出LED点阵灯板外壳，可以透过外层PC磨砂板看到内部模糊的一个个圆孔。

设计实现

04. 装置外壳制作

选取了大量的老旧街机造型进行参考，在市场上可能的机型里进行了选择。考虑简洁明了的造型语言最终选定街机。对购入的街机进行了改造，加工了两根钢管使得屏幕被成功地固定住



设计实现

04. 装置外壳制作

下部内侧低矮平台，对应木板打孔，位置矮加上Kinect不好调整角度使得检测精度有风险，可能要让交互对象离得比较远

放在顶部平台，前面的木板加钢化玻璃钻孔，钢化玻璃可能要取下

直接悬挂在顶部漏出，最简单，可以灵活调整Kinect角度



分析了可行的Kinect放置方案

A

B

C



设计实现

04. 装置外壳制作

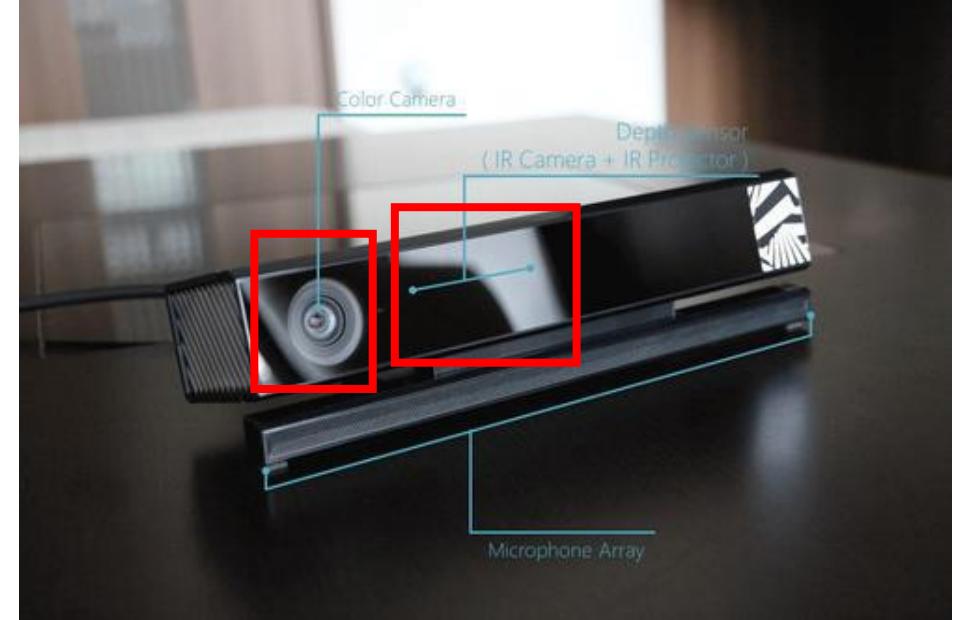
经过测试，KINECT v2摄像头的右图红色部分要全部漏出才能较好地检测到人体。

开孔的话应该要让整个KINECT完全漏出。

在厚木板上开孔的困难有：

1. 在厚木板开长方形孔不容易操作
2. 开完孔后放置的KINECT v2角度不好再根据现场情况调节

最后如果出现问题开的孔无法再复原，影响美观。



最终选择A方案，直接将Kinect放置在装置顶部。
同时使得装置具有更加强烈的科技感。

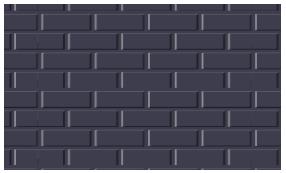


设计实现

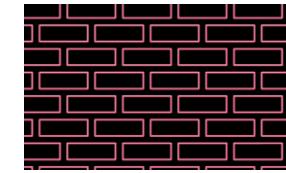
04. 装置外壳制作

提出了多种屏幕框体的纹理设计。利用像素游戏文化的砖块元素，并使得整体风格简洁，和街机风格相呼应。
逆向建模街机尝试视觉效果，最终选择了C方案。

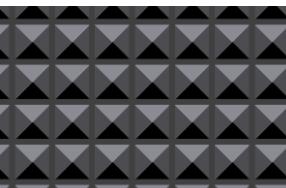
A



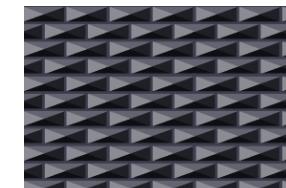
B



C



D



设计实现

04. 装置外壳制作

街机上方的涂装更改为自己设计的作品LOGO。

LOGO图案本意是红色和蓝色混色后产生紫色，揭示装置呈现三色光的原理。结合装置的意义，又可以引申为过去与未来的碰撞下产生了这个装置。

PIXEL揭露装置表述着像素文化，用白色点阵图案拼凑而出和装置的像素显像方式呼应。



设计实现

05. 软件实现

软件实现使用了C++加上Openframeworks创意编程框架。

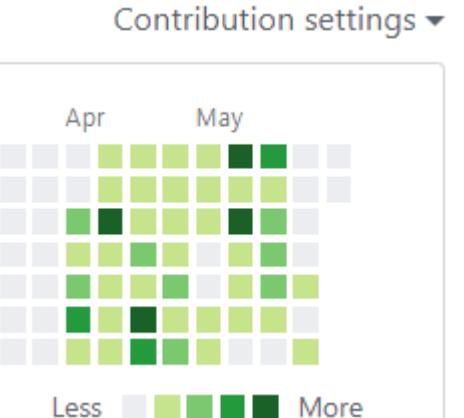
整个项目的源代码在github上完整地公开，并有详细的开发更新过程：

<https://github.com/actbee/Interactive-Light-System-Design-Based-On-Simple-Gesture-Recognition->



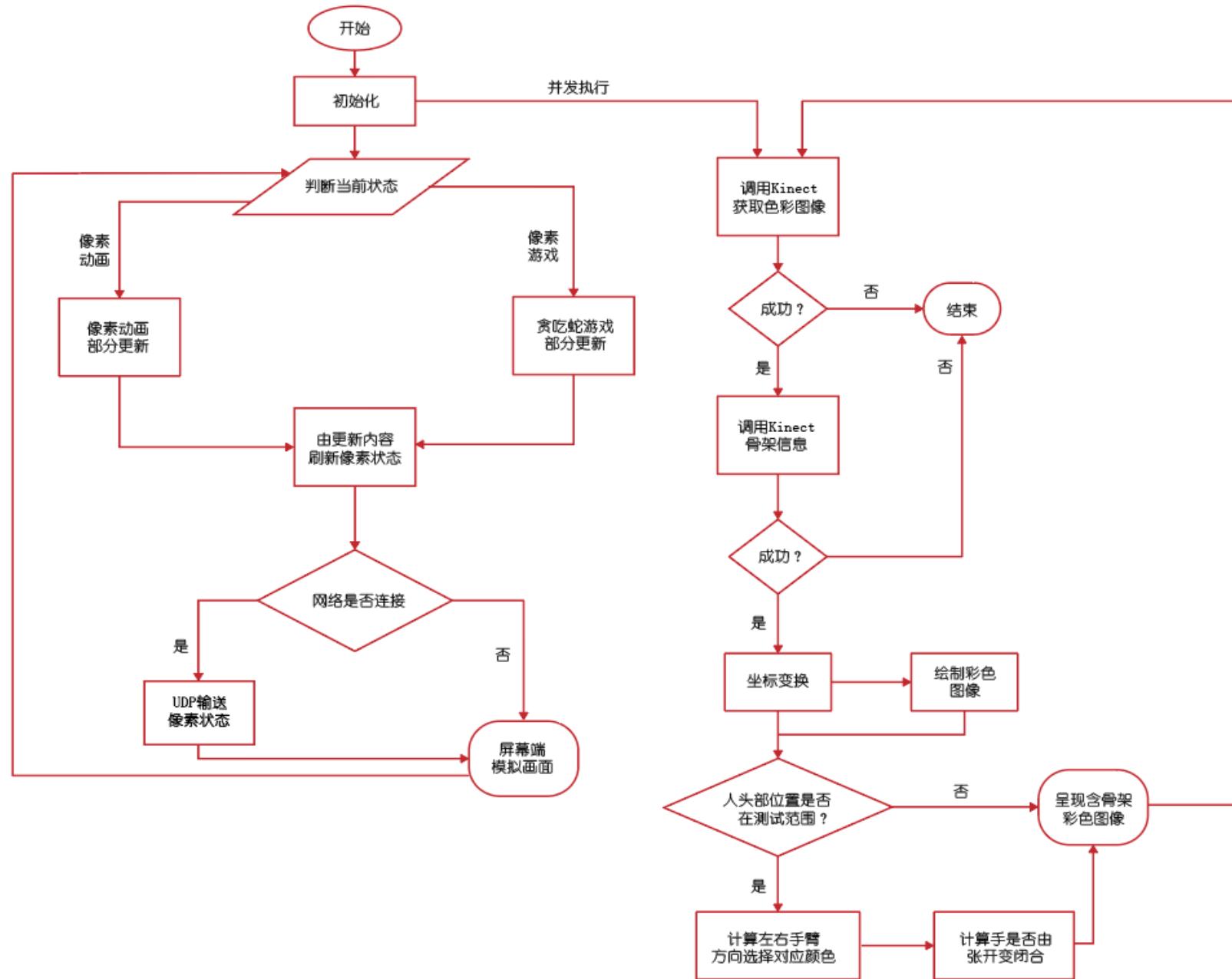
A screenshot of Microsoft Visual Studio showing the project structure and code editor. The code editor displays a C++ file with numerous comments and logic for handling game states and character interactions. The project structure on the right shows files like Depthimage.h, create_pixels.cpp, Depthimage.cpp, pixel_image.cpp, sender.h, ofMatrix4x4.h, chrono, make_dil.h, ofApp.cpp, ofApp.h, ofEvent.h, and main.cpp.

```
940     mycircles[x0][y0].setcolor(my_img[y0][x0]);
941     mycircles[x0][y0].draw();
942   }
943 
944 } else if (game_state == "OVER") {
945   vector<ofPoint> select;
946   for (vector<character>::iterator iter = mycharacters.begin(); iter != mycharacters.end(); iter++) {
947     for (int i = 0; i < 7; i++) {
948       for (int j = 0; j < 4; j++) {
949         if (iter->words[i][j] == 1) {
950           int posx = j + iter->get_topleft().x;
951           int posy = i + iter->get_topleft().y;
952           ofPoint addPos(posx, posy);
953           select.push_back(addPos);
954         }
955       }
956     }
957   }
958 
959   for (int x0 = 0; x0 < 15; x0++) {
960     for (int y0 = 0; y0 < 10; y0++) {
961 
962       for (vector<ofPoint>::iterator it = select.begin(); it != select.end(); it++) { //to find if there is only circles under the view
963         if ((it->x == x0) && (it->y == y0)) {
964           mycircles[x0][y0].setcolor(BLACK);
965           goto dp;
966         }
967       }
968     }
969   }
970 }
```



设计实现

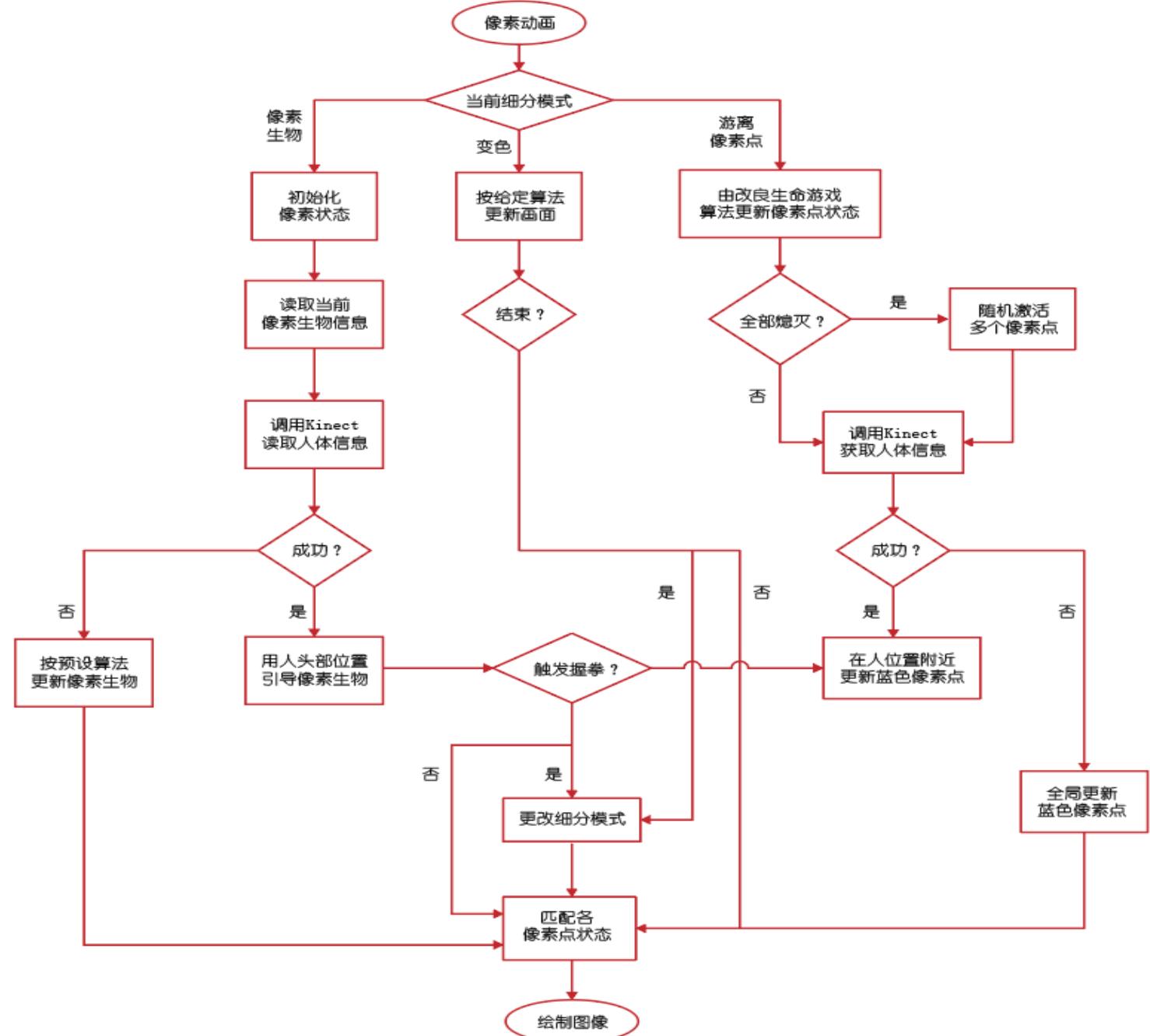
05. 软件实现



| 程序核心逻辑流程图

设计实现

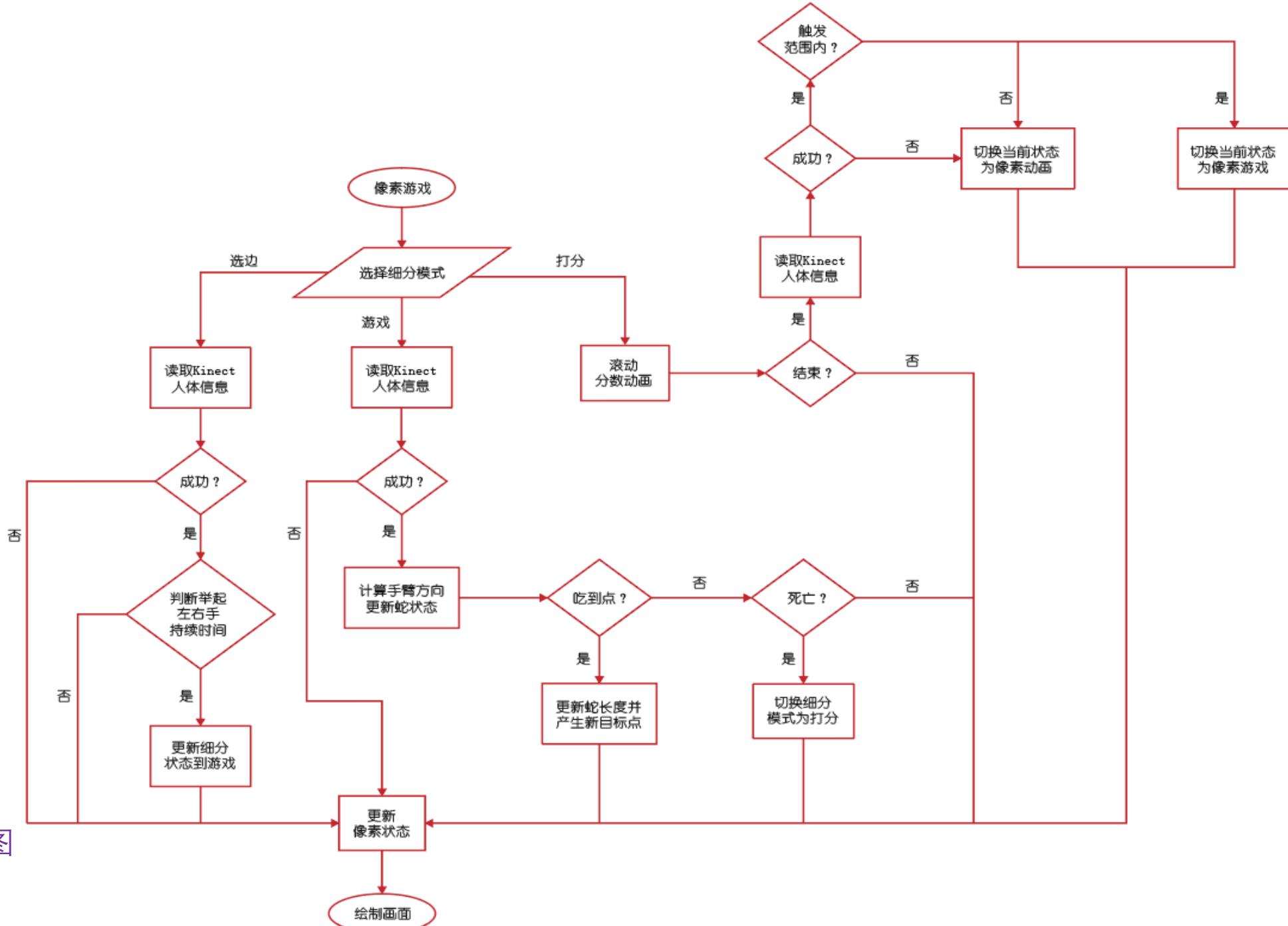
05. 软件实现



| 像素动画部分核心逻辑流程图

设计实现

05. 软件实现



设计实现

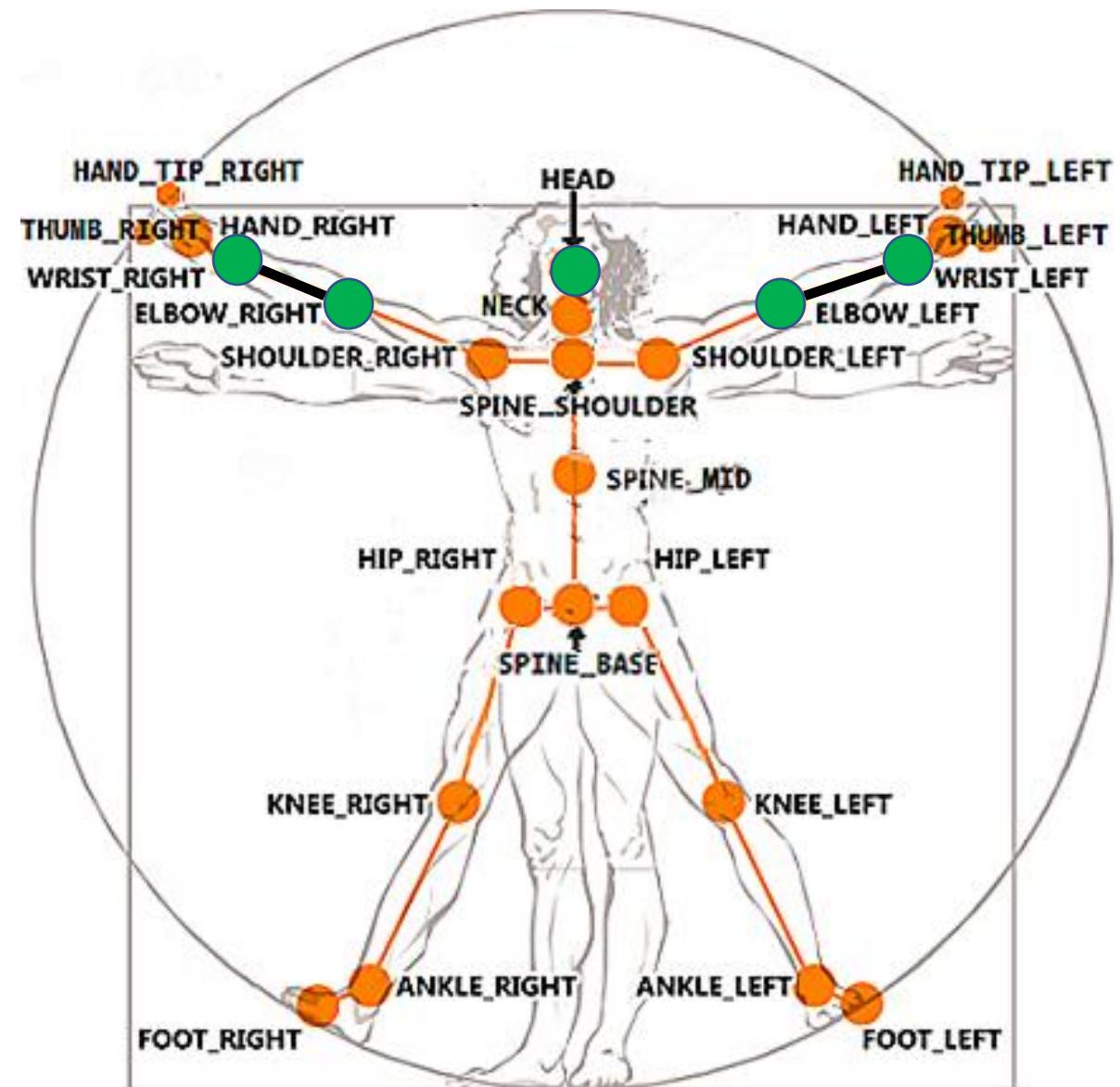
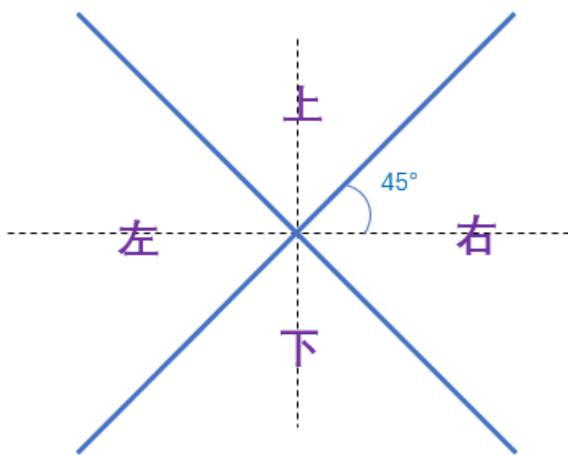
05. 软件实现

在对Kinect提供的人体关节数据的测量精度进行了多次测试后，最终选择使用：

方向向量 (ELBOW_LEFT, HAND_LEFT)
(ELBOW_RIGHT, HAND_RIGHT)

来测算左右前臂方向。通过斜45度对角线划分上下左右四个方向。

使用 HEAD 的 (x,y,z) 坐标来确定人体的位置。



设计实现

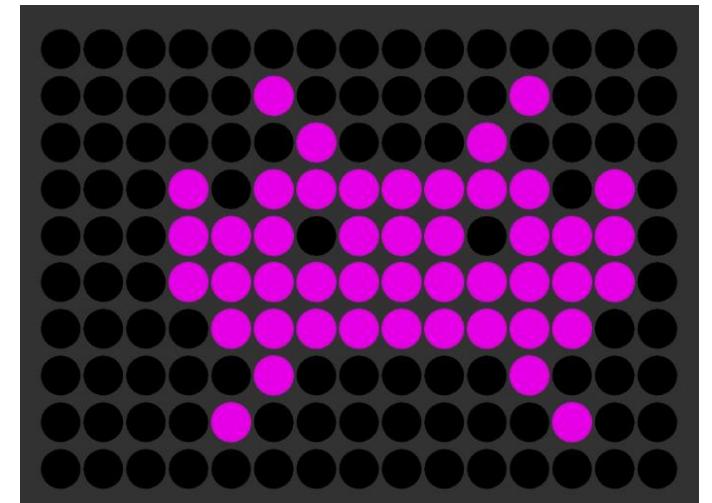
05. 软件实现



不同颜色标记检测到的上下左右四个方向



红和蓝反映检测到的手掌闭合



同步模拟灯泡图像

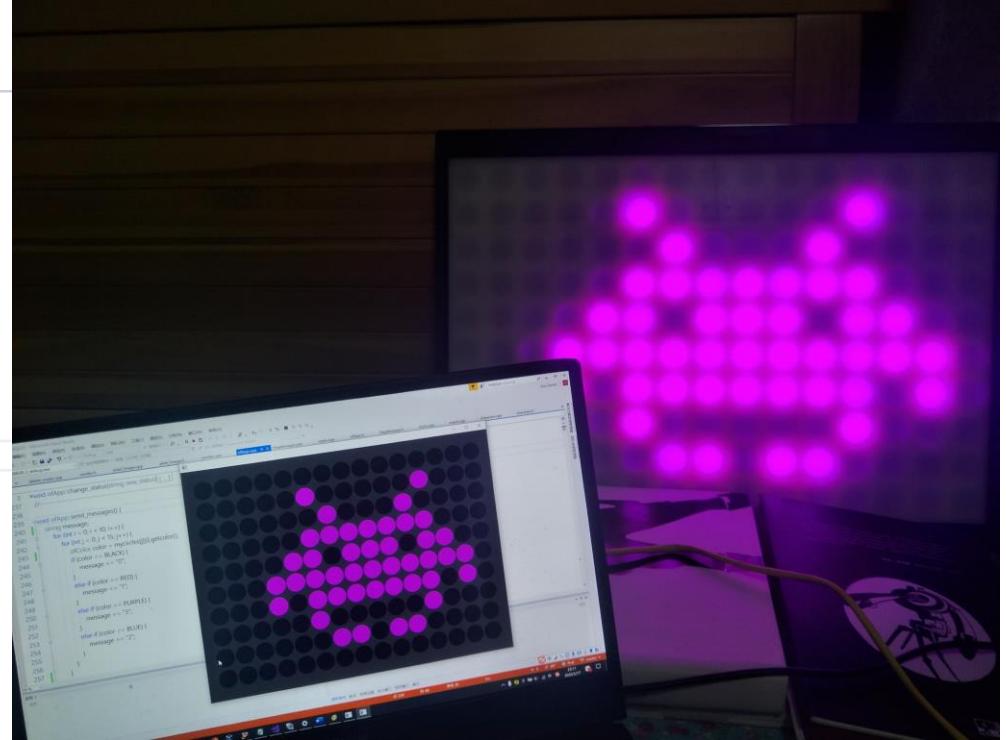
软件执行后，利用多线程编程的方法可以实时地看到Kinect的人体识别界面和模拟的实时灯泡亮灭效果。借此可以很方便地判断动作识别的正确与否，方便代码调试。

设计实现

05. 软件实现

```
19 //sender::~sender() {
20 //    close();
21 //}
22
23 void sender::senddata(std::string output) {
24     char words[151]; //there must be a better way to translate the string to char array, need to improve here
25     char words2[151];
26     strcpy(words2, output.c_str());
27     words[0]=0xBB;
28     for (int i = 1; i < 151; i++) {
29         if(words2[i-1]=='1')
30             words[i] = 0x01;
31         else if (words2[i - 1] == '2')
32             words[i] = 0x02;
33         else if (words2[i - 1] == '3')
34             words[i] = 0x03;
35         else if (words2[i - 1] == '0')
36             words[i] = 0x00;
37     }
38     //char words[2] = "0";
39     sendto(sendsocket, words, sizeof(words), 0, (sockaddr*)&recvaddr, sizeof(recvaddr));
40 //    recvmain(); //test if the send success
41 }
42
43 void sender::recvmain() {
44     char s[2048];
45     sockaddr_in from = { 0 };
46 }
```

```
1 #ifndef _sender
2 #define _sender
3 #include<WINSOCK2.H>
4 #include<string>
5 //using namespace std;
6
7 class sender {
8 public:
9     sender();
10 ~sender();
11     void senddata(std::string output);
12     void recvmain();
13     void close();
14 };
15
16#endif
```



和硬件交互指定了对应的编码规则。在硬件微处理器上进行了编码，同时在软件端利用UDP串口通信来和硬件端交互，实时地传输灯泡的亮灭状态，以此控制LED点阵屏绘制计算的图案。

总结

本项目提供了一个利用极为有限的像素尺度和像素色彩呈现有意义的交互内容的方案。将诸多零碎的概念性质的东西通过新旧事物的交融统一为一个有机的整体，同时试图用新的科技带给过去的事物全新的体验。

在本项目LED点阵屏设计的基础上进行尺度的扩充，可以用来呈现更加复杂的交互图像效果，以供给各种艺术博物馆，科技体验馆，各类展会的大型交互装置使用。



致谢

在这个项目的具体完成中遇到了诸多困难。感谢我的指导老师钟鸣老师在一路上对我方向上的引导，感谢远在美国访学的肖懿老师耐心倾听我在代码实现上的疑问并予以解答，感谢灵通电讯的工程师们在电子硬件实现上的帮助，感谢我的朋友杨乔治和刘沛然在后期视频拍摄上的协助，也感谢我的家人在我一次次的更改设计方案，一次次的效果调试，一次次的被bug困扰的漫漫长夜里的理解陪伴。最后，感谢湖南大学的全体老师，是他们的孜孜教诲让我度过了快乐而有意义的本科四年的美好时光，也最终让这个装置以这样的形态出现在这个世界上。



Thank You!

Xuedan Zou 邹雪丹

Advisor: Ming Zhong 钟鸣

Special Thanks To Yi Xiao 肖懿 (技术指导)