

# 视触觉融合感知的点阵刺激装置设计<sup>①</sup>



蔡群<sup>1</sup>, 黄金鹏<sup>1</sup>, 杨文珍<sup>1</sup>, 张文<sup>1</sup>, 吴新丽<sup>1</sup>, 李俊峰<sup>1</sup>, 陈立翰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>浙江理工大学 机械与自动控制学院, 杭州 310018)

<sup>2</sup>(北京大学 心理与认知科学学院, 北京 100871)

通讯作者: 杨文珍, E-mail: ywz@zstu.edu.cn

**摘要:** 探究人的多通道融合感知特性是物理心理学重要研究方向, 本文创新设计了一种视觉和触觉融合感知的点阵刺激装置, 可作为物理心理学的实验研究设备. 此装置包括上位机控制平台, 下位机控制模块, 视觉点阵刺激模块、触觉点阵刺激模块等. 上位机控制平台发出视触觉刺激的控制指令, 下位机控制模块执行控制指令. 视觉点阵刺激模块提供视觉感知, 由 19 行 12 列的 228 盏 LED 灯阵列组成, 最小封装尺寸为 1.0×0.5 mm, 能够提供 10 个等级的明亮灰度值 (7.6–75.8 lux), 最高刷新频率为 85 Hz, 可选用红、白、黄、绿 4 种颜色. 触觉点阵刺激模块提供触觉感知, 由 6 行 4 列的 24 个触点阵列组成, 触点直径为 1.5 mm, 凸起高度为 0.40±0.05 mm, 最大刷新频率为 10 Hz, 触点凸起后处于自锁位置, 能够承受约 10 N 的按压力. 测试结果表明, 此装置可以独立或混合控制视觉点阵和触觉点阵中任意 LED 灯和触点工作, 输出视觉刺激和触觉刺激, 体积小 (长 70 mm、宽 66 mm、高 80 mm), 重量轻 (337 g), 在 15 m 半径范围内可以遥操作, 能为物理心理学研究人的视触觉融合感知特性提供定量化的实验数据.

**关键词:** 物理心理学; 感知实验; 实验装置; 视觉刺激; 触觉刺激

引用格式: 蔡群, 黄金鹏, 杨文珍, 张文, 吴新丽, 李俊峰, 陈立翰. 视触觉融合感知的点阵刺激装置设计. 计算机系统应用, 2020, 29(5): 52-62. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7413.html>

## Visual-Tactile Dot-Matrix Stimulator for Psychological Experiments

CAI Qun<sup>1</sup>, HUANG Jin-Peng<sup>1</sup>, YANG Wen-Zhen<sup>1</sup>, ZHANG Wen<sup>1</sup>, WU Xin-Li<sup>1</sup>, LI Jun-Feng<sup>1</sup>, CHEN Li-Han<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Faculty of Mechanical Engineering and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

<sup>2</sup>(School of Psychological and Cognitive Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Exploring human multi-channels perceptual characteristics is an important research field in physical psychology. This study innovatively designed a visual-tactile dot-matrix stimulator, as an experimental device for physical psychologist to analyze human perception. The device includes a host control platform, a sub-control module, a visual dot-matrix display module, a tactile dot-matrix display module, etc. The host control platform produces the visual-tactile instructions, and the sub-control module executes these instructions. The visual dot-matrix display module provides visual perception. It consists of 19 rows and 12 columns of 228 inch LED lamp arrays with 85 Hz refresh rate and 10 gray-value grades (7.6–75.8 lux). And the minimum package size of an LED lamp is 1.0×0.5 mm with alternative colors of red, white, yellow, and green. The tactile dot-matrix display module provides haptic perception by 6 rows of 4 columns of 24 contact arrays. Each contact has 1.5 mm diameter with 0.40 ± 0.05 mm bump height and 10 Hz refresh rate. In the self-locking position case, the contact can endure 10 N force. The experimental results show that this stimulator can independently or combined control any LED lamps and contacts to provide the visual-tactile stimuli. This function shall

① 基金项目: 浙江省自然科学基金 (LY20F020019, LQ19F020012, LQ20F020001); 浙江省基础公益研究计划 (LGF19E050005); 国家重点研发计划 (2018YFB1004901)

Foundation item: Natural Science Foundation of Zhejiang Province (LY20F020019, LQ19F020012, LQ20F020001); Basic Research Plan for Public Welfare of Zhejiang Province (LGF19E050005); National Key Research and Development Program of China (2018YFB1004901)

收稿时间: 2019-10-18; 修改时间: 2019-11-15; 采用时间: 2019-11-22; csa 在线出版时间: 2020-05-07

satisfy for physical psychologist to acquire quantitative experimental data for analyzing human perception. This stimulator also has compact (70×66×80 mm volume), light (337 g), and mobile (15 m work distance) advantages.

**Key words:** physical psychology; cognitive experiment; experimental device; visual stimuli; tactile stimuli

视觉通道和触觉通道是人们认知事物的主要方式。为揭示视觉通道和触觉通道的融合感知机理,前人虽然开展了系列物理心理学认知研究<sup>[1-3]</sup>,但是由于缺乏高性能的仪器设备,难以深入探究人的视触觉融合感知特性<sup>[4,5]</sup>。针对不同的研究目标,人们开发了一些仪器设备<sup>[6-15]</sup>,能够提供视觉刺激或触觉刺激,用于物理心理学的认知研究。

在触觉刺激的仪器设备方面,Zappe等<sup>[9]</sup>研制了一个气动式点阵刺激装置,在80×80 mm<sup>2</sup>的平面上,布置了8×8=64个触点阵列,行和列间距均为10 mm,触点直径为4 mm。此装置可以提供1.3-2.7 N作用力,最大刷新频率是6 Hz,且有50 ms延时。Neuro Device Tacti™公司也研制了一个气动式点阵刺激装置<sup>[10]</sup>,有6×4=24个触点阵列,行和列间距均为2.6 mm。此装置体积比较大,必须配有一个230 V供电的外接气泵。Kim等<sup>[11]</sup>研制了一个吸气式压力刺激装置,有一个6×6=36 mm<sup>2</sup>大小的吸气孔,指尖覆盖在吸气孔上可以感受到5种不同强度的吸力,用来研究手指的触觉属性。

在视觉刺激的仪器设备方面,da Silva Pinto等<sup>[12]</sup>研制了一种便携式低成本LED灯视觉刺激装置,包括6 V电源、微控制器(MSP430F149)、LED灯驱动模块和操作界面等,提供10盏LED灯,最大刷新频率为500 Hz,重量约为525 g,能够诱发稳定、无污染的脑电图反应。Mouli等<sup>[13]</sup>设计了一种紧凑型多功能的LED灯视觉刺激装置,能够产生多种闪烁频率,适用于稳态视觉诱发电位。它的闪烁频率范围在5-50 Hz,有红、绿、蓝3种颜色,需要3-12 V的DC电压。Xie等<sup>[14]</sup>设计了一个LED灯的视觉刺激系统,基于EEG信号响应研究人的空间选择性注意,通过由FPGA最小驱动系统驱动的二组LED灯,在不同闪烁频率和闪烁模式下,可以得到较好的稳态视觉诱发电位结果。

上述这些装置虽然能够提供一定的视觉刺激或触觉刺激,但是不能同步提供视触觉融合感知刺激,在点阵密度、刷新频率、便携性等方面已经难以满足物理心理学认知研究的需求。为此,本文设计了一种高密度的点阵刺激装置,能够同时生成视觉刺激和触觉刺

激,以便研究人的视触觉融合感知特性。此装置的视觉点阵刺激模块能够提供多种颜色、多种明亮灰度值等级、多种闪烁频率和闪烁模式的视觉刺激,其触觉点阵刺激模块能够提供符合指尖皮肤触觉感知分辨率的触觉刺激。通过上位机控制平台,实验设计者可以控制视觉点阵刺激模块和触觉点阵刺激模块中的一个或多个LED灯或触点,设计视触觉融合感知的实验,开展物理心理学的实验研究。

## 1 装置的整体设计

### 1.1 装置的工作原理

本文设计的高密度点阵刺激装置可分为上位机控制平台和下位机执行平台两部分,其工作原理如图1所示。上位机控制平台可运行在PC机或移动设备上,通过USB串口或无线蓝牙与下位机执行平台进行通讯。下位机执行平台由视觉点阵刺激模块、触觉点阵刺激模块以及下位机控制模块等组成。实验设计者通过上位机控制平台经下位机控制模块,控制视觉点阵刺激模块和触觉点阵刺激模块上的LED灯和触点,让被试者感受到视觉刺激和触觉刺激,开展视触觉融合感知的实验研究。

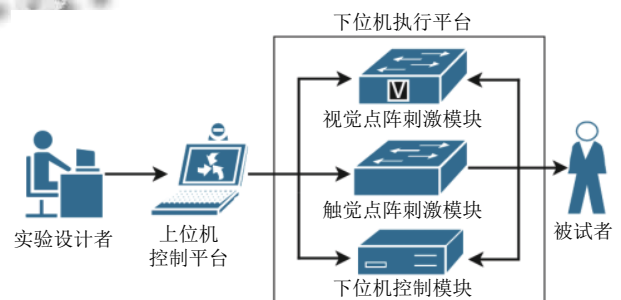


图1 装置的工作原理

### 1.2 装置的物理样机

装置的3D爆炸图如图2所示。视觉点阵刺激模块位于装置的最上层,在其下面是触觉点阵刺激模块,下位机控制模块位于装置的最下层。图3是装置的物理样机,正处于工作状态,被试者手指可以感受到触点的

触觉刺激, 被试者眼睛可以感受到 LED 灯的视觉刺激. 图 4 是拆除视觉点阵刺激模块后的装置, 可以清楚地看到触觉点阵刺激模块.

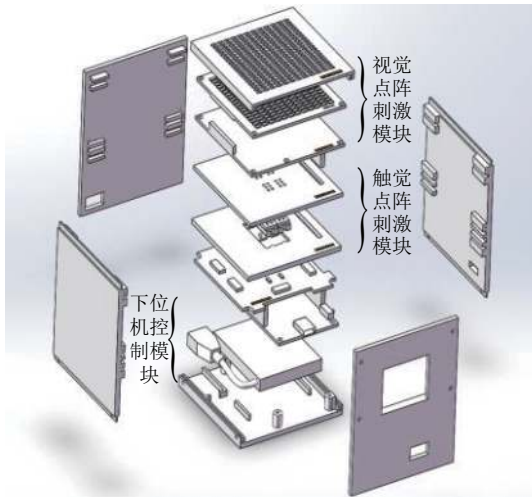


图 2 装置的 3D 爆炸图

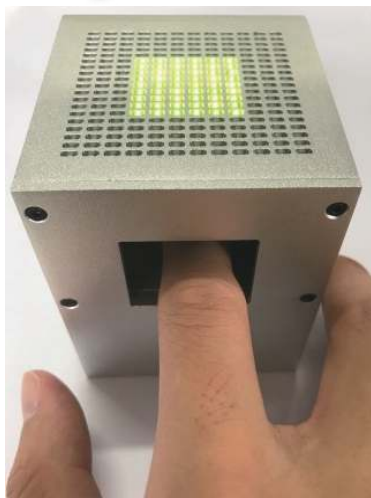


图 3 装置的物理样机

### 1.3 装置的硬件电路

此装置的硬件电路包括单片机最小系统、串口通讯电路、蓝牙通讯电路、电源稳压电路、视觉点阵行驱动电路、视觉点阵列驱动电路以及触觉点阵驱动电路等, 硬件电路的组成体系如图 5 所示.

单片机最小系统由 STC89C52RC 单片机、复位电路和晶振电路组成, 采用 11.0592 MHz 晶振频率. 串口通讯电路由 CH340 总线转接芯片和 USB 串口组成, 实现单片机与上位机之间的串口通讯和程序烧入功能. 蓝牙通讯电路采用 HC-05 蓝牙模块, 实现单片机与上

位机之间无线传输通讯. 电源稳压电路有 5 V 升压稳压电路和过压过流保护功能, 保护电路正常运行, 还有充放电一体功能, 可以给装置的电池充电.

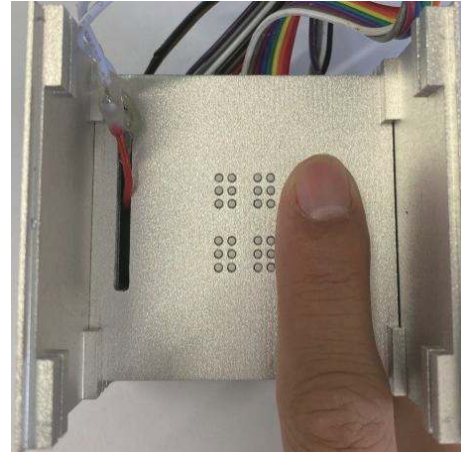


图 4 触觉点阵的触摸方式

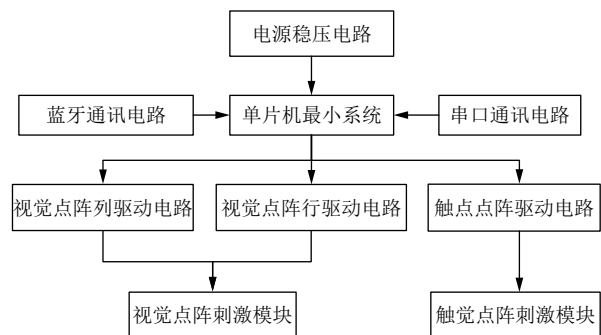


图 5 硬件电路的组成体系

## 2 视觉点阵刺激

此装置可以生成基于 LED 灯的视觉刺激, 由视觉点阵刺激模块、视觉点阵行驱动模块和视觉点阵列驱动模块实现.

### 2.1 视觉点阵刺激模块

LED 灯是一种高性能二极管发光器件<sup>[15]</sup>. 其控制性能良好, 使用寿命长, 视觉效果稳定<sup>[16]</sup>, 因此, 本文采用 LED 灯作为视觉刺激源. 视觉点阵刺激模块由  $19 \times 12 = 228$  盏 LED 灯阵列组成, 每盏灯横向间距为 1.05 mm, 纵向间距为 1.1 mm, 面积约  $49.95 \times 50.02 = 2500 \text{ mm}^2$ , 如图 6(a). 本装置的 LED 灯有 4 种型号可选择, 见表 1, LED 灯最大封装尺寸为  $3.2 \times 1.6 \text{ mm}$ , LED 灯最小封装尺寸为  $1.0 \times 0.5 \text{ mm}$ , 可选用红、白、黄、蓝 4 种颜色. 我们设计了 10 个等级明亮灰度值 (7.6, 14.9, 22.3, 29.8, 39.5, 44.7, 52.9, 61.2, 68.1, 75.8

lux), LED灯最高刷新频率为 85 Hz. 采用足够大的扫描频率, 人眼视觉暂留效应就可观察到持续点亮的视觉刺激<sup>[17]</sup>. 且可输出多种闪烁频率和闪烁模式的视觉

刺激. 228 盏 LED 灯阵列按照扫描驱动方式连接, 其每一行正极连接在一起、对应的每一列负极连在一起, 其电路图如图 6(c). 图 6(b) 为 LED 灯的 PCB 板.

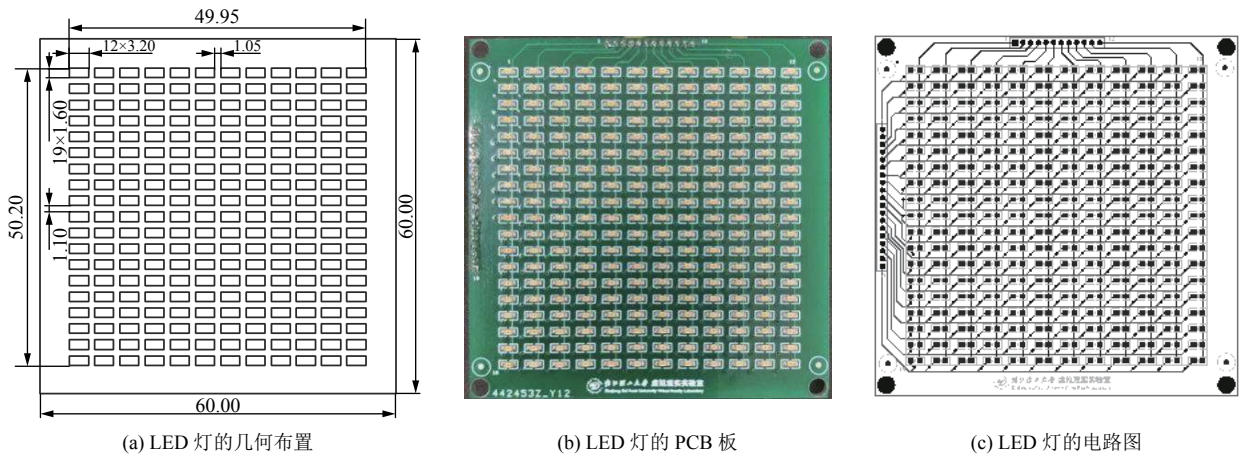


图 6 视觉点阵刺激模块

表 1 LED 灯的封装尺寸

封装型号	长 (mm)	宽 (mm)
1206	3.20±0.20	1.60±0.15
0805	2.00±0.20	1.25±0.15
0603	1.60±0.15	0.80±0.15
0402	1.00±0.10	0.50±0.10

### 2.2 视觉点阵的驱动电路

因为 LED 灯阵列以扫描驱动方式连接, 所以其驱动电路由视觉点阵行驱动模块和视觉点阵列驱动模块组成. 视觉点阵行驱动模块接收单片机 MCU 的行控制指令, 可以输出高电平控制视觉点阵 LED 灯正极的通断. 图 7(a) 为视觉点阵行驱动电路图.

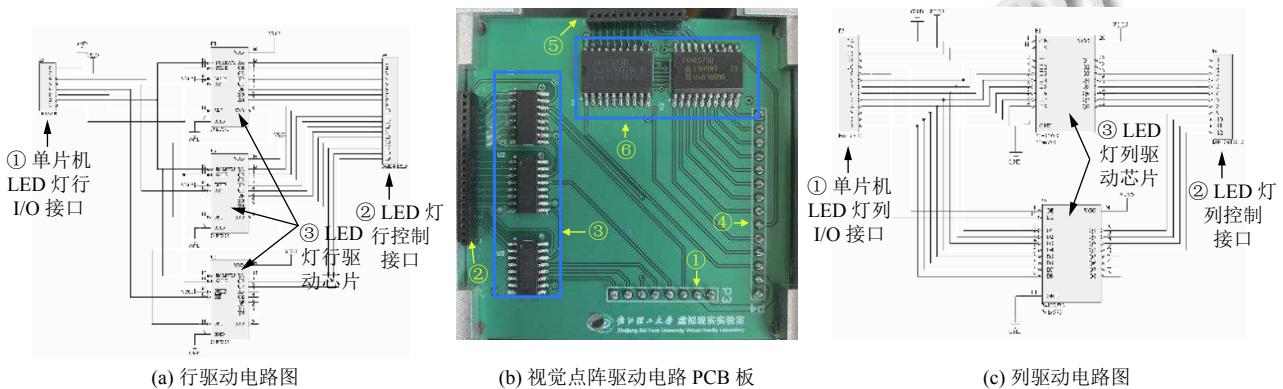


图 7 视觉点阵驱动模块

视觉点阵行驱动模块采用 74HC595 位移寄存器作为行驱动芯片, 其引脚可输出高低电平且输出强度可调, 控制速度快功耗非常较低, 能够驱动数量较多的 LED 灯, 并且具有锁存功能. 74HC595 位移寄存器支持级联方式, 数据可以通过上一片位移寄存器的数据输出端直接输送到下一片位移寄存器的数据输入端,

节省数据输入端口与时钟线控制端口, 从而节省单片机 I/O 口资源.

视觉点阵列驱动模块接收单片机 MCU 的列控制指令, 可以输出低电平控制视觉点阵 LED 灯负极的通断. 图 7(c) 为视觉点阵列驱动电路图.

视觉点阵列驱动模块采用 74HC573 锁存器作为

列驱动芯片,有高电平、低电平和高阻态的三态输出,可以兼容视觉点阵列的控制和驱动功能,其使能输入端和8路输入端口可以加入PWM脉宽调制波形信号,可以控制其输出端口的输出电压变化,输出2.0V~5.0V电压,满足LED灯不同明亮灰度值的电压要求。图7(b)为视觉点阵驱动电路PCB板。

### 2.3 视觉点阵刺激的生成

视觉点阵刺激由上位机控制平台和下位机执行平台共同完成。例如,实验要点亮视觉点阵中LED灯和调节LED灯的明亮灰度值,实验设计者在上位机控制平台首先输入需要点亮LED灯的行数(1~19行),然后输入需要点亮LED灯的列数(1~12列),最后通过灰度等级按钮来控制LED灯明亮灰度值变化。

采用扫描方式控制LED灯的亮灭,调节PWM波占空比来控制LED灯的明亮灰度值。基于人眼的视觉暂留现象,人眼识别连贯的图像若超过24帧/s约25Hz,人眼所看到的图像变化就不会出现明显卡顿,因此扫描速度足够快,频率足够高就可以产生良好的视觉刺激。同时扫描频率受到程序和硬件电路的制约,也不能不断增加给系统造成负担。因此设置合理的PWM周期即合理的扫描频率对视觉刺激是十分必要的。在LED评测标准里面,当控制LED刚好使人眼观察不到闪烁时候的扫描频率称为临界闪烁频率(Critical Flicker Frequency, CFF)。在不同环境条件下,理论计算CFF只要大于60Hz人眼就不会看到明显的闪烁现象<sup>[18]</sup>。目前市场上的LED显示屏扫描频率多数100Hz<sup>[19]</sup>。基于实际使用情况,扫描频率由LED本身发光亮度与环境共同所决定<sup>[20]</sup>,环境更亮扫描频率也应越高效果才越好。本装置为离散化LED视觉刺激点,因此其发光密度小于LED显示屏,且满足不同环境下的使用,频率应设置为60~100Hz之间。根据LED电子产品实际使用情况若LED灯的扫描频率低于85Hz,人眼能够感知到LED灯的闪烁现象。排除装置本身硬件误差,程序运行时间和满足简化程序使定时器初值设置合理等诸多考虑,进行如下扫描频率计算。

此装置MCU时钟电路的晶振频率为 $f=11.0592$  MHz,时钟周期为 $T=1/f=0.09\ \mu\text{s}$ ,则它的机器周期 $t$ 为:

$$t = 12 \times T = 1.0851\ \mu\text{s} \quad (1)$$

本文应用的STC89C52RC单片机计数器最大值为65 536。我们设置计数器初值为65 036,以500次计

数产生一次溢出,完成一次扫描中断,因此,单片机完成一次中断服务时间 $t_{\text{中}}$ 为:

$$t_{\text{中}} = (65\ 536 - 65\ 036) \times t = 0.5425\ \text{ms} \quad (2)$$

设置20个 $t_{\text{中}}$ 为一次扫描周期,PWM周期 $T_{\text{PWM}}$ 为:

$$T_{\text{PWM}} = 0.5425 \times t_{\text{中}} = 10.85\ \text{ms} \quad (3)$$

LED灯的扫描频率为:

$$f_{\text{LED理论}} = 1000\ \text{ms} / T_{\text{PWM}} = 92.2\ \text{Hz} \quad (4)$$

因此,设置本文LED灯的理论扫描频率为 $f_{\text{LED理论}}=92.2\ \text{Hz}$ 。

为了验证理论LED灯的扫描频率和明亮灰度值是否符合预期,我们开展电子电路的电性能实验测量,通过北京普源数字示波器(型号DS1204B)和苏州特安斯数字照度计(型号TA8133)测量此装置LED灯的实际扫描频率 $f_{\text{LED实际}}$ 和实际明亮灰度值( $L_{\text{LED实际}}$ ),测量结果如表2所示。

从表2中可知,在4.3V电压下,我们调节PWM波的占空比,可以得到不同的明亮灰度值。在1级明亮灰度等级(5%占空比)情况下,LED灯可以产生7.6 lux的视觉刺激,在10级明亮灰度等级(50%占空比)情况下,可以产生最高75.8 lux的视觉刺激。数字示波器实际测得的LED灯扫描频率约为85 Hz,接近于我们设计的理论扫描频率92.2 Hz,LED灯扫描频率的误差率 $f_{\text{error}}$ 约为:

$$f_{\text{error}} = 100\% \times (f_{\text{LED理论}} - f_{\text{LED实际}}) / f_{\text{LED理论}} = 7.8\% \quad (5)$$

由于电子元器件在使用过程中不可避免会受到周围环境电磁波等电子干扰, $f_{\text{LED理论}}$ 和 $f_{\text{LED实际}}$ 存在偏差是必然的。 $f_{\text{error}} < 10\%$ 在电子产品电路设计标准许可范围之内,表明此视觉点阵刺激模块能够可靠工作,人眼观测无频闪无不良发应,产生性能稳定的视觉刺激。

## 3 触觉点阵刺激

### 3.1 触觉点阵刺激模块


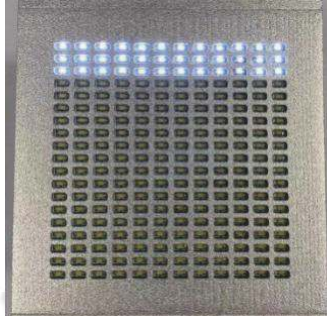
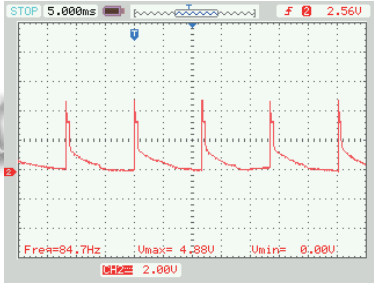

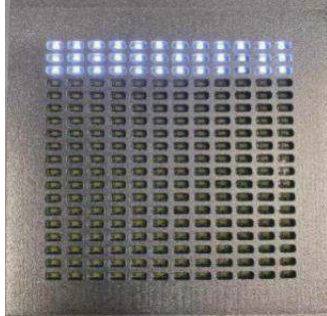
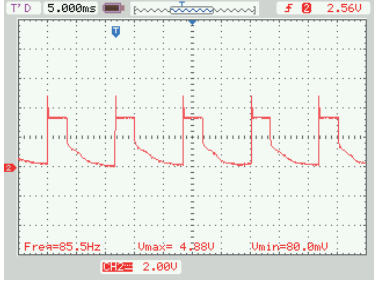

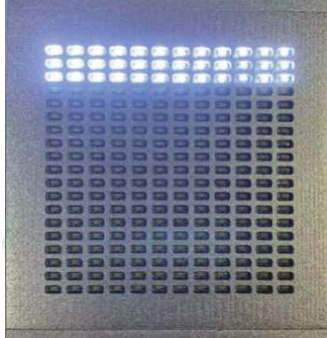
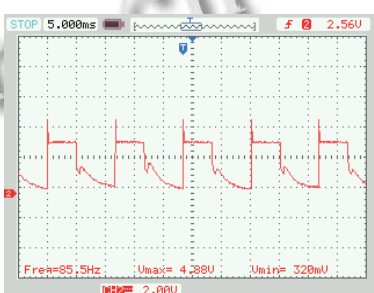
触觉点阵刺激模块由4方尺寸相同的点阵单元,按2行2列的矩形排布组成,如图8(a)所示。每方点阵单元有3行2列的6个直径为1.5 mm的触点,如图8(b)所示,以2.6 mm行和列间距均布,每个触点的凸起高度为 $0.40 \pm 0.05\ \text{mm}$ 。最大刷新频率约为10 Hz,触点凸起后处于自锁位置,能够承受约10 N的指尖按压力。与本文所引用国内外触觉研究装置相比,本文刺

激装置点数更加密集, 在更小的刺激面上所集中触觉点数更多. 同时与气动触觉刺激等装置相比, 其所需功率更小驱动电路更为简洁, 并且在较小的功率下满足了更高的刷新频率.

触点的机械结构如图 8(c) 所示, 每个触点都有一

个电磁线圈, 在不同电流方向作用下, 可以产生不同极性的磁场, 让永磁铁横向来回运动, 从而推动触点上下运动. 当永磁铁与左铁片相吸引, 触点处于凸起状态, 指尖可以触摸到触点. 当永磁铁与右铁片相吸引, 触点处于非凸起状态, 指尖触摸不到触点.

表 2 LED 灯的扫描频率和明亮灰度值

明亮灰度值 (lux)	实物效果	PWM 波形
 1级, $L_{uLED}$ 实际=7.6		 $f_{LED}$ 实际=84.7 Hz
 5级, $L_{uLED}$ 实际=39.5		 $f_{LED}$ 实际=85.5 Hz
 10级, $L_{uLED}$ 实际=75.8		 $f_{LED}$ 实际=85.5 Hz

### 3.2 触觉点阵的驱动电路

点阵单元为功率器件, 其功率参数决定了触觉点阵驱动电路的设计. 触点的电磁线圈电阻为  $34\Omega \pm 10\%$ , 工作电压在  $3.6\text{V} \sim 5.5\text{V}$  之间, 工作电流为  $150\text{mA}$ .

触觉点阵驱动电路模块包括 74HC595 位移缓存器和 MS3111 直流电机驱动芯片, 如图 9(a) 所示. 采用 74HC595 位移缓存器可以节省单片机 I/O 口, 通过单片机 3 个 I/O 口就可以实现 24 个触点的驱动. 但是,

由于 74HC595 端口输出电流小于  $20\text{mA}$ , 无法驱动大功率电子器件, 包括本文中的点阵单元. 为此, 我们采用 MS3111 直流电机驱动芯片作为点阵单元的外部驱动器件. MS3111 是一款高性能的电机驱动芯片, 可以输出  $800\text{mA}$  电流, 足够驱动点阵单元正常工作, 并且其输入端口可以接入 PWM 脉宽调制波形信号来控制输出电流的频率和大小, 从而控制触点的运动频率以及运动强度.

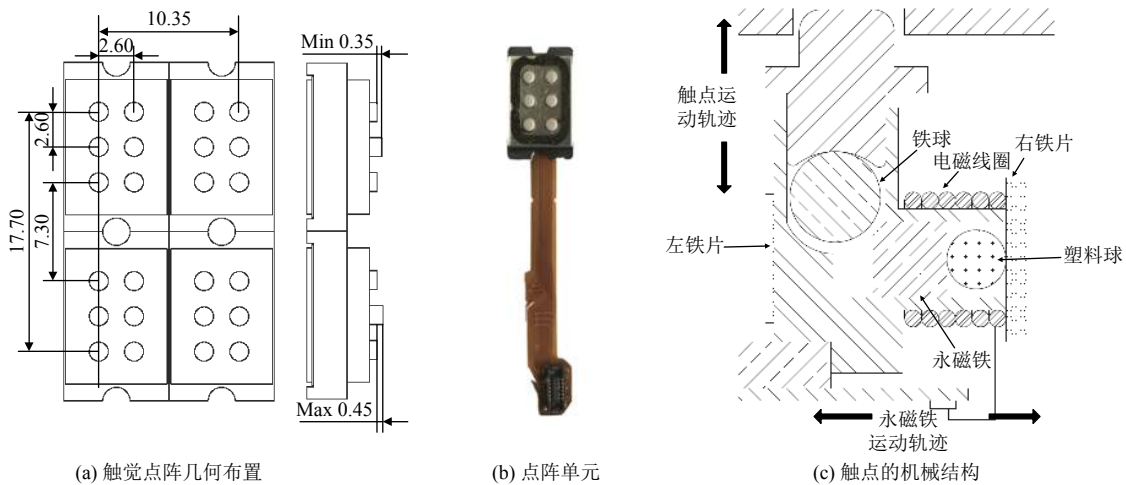


图8 触觉点阵刺激模块

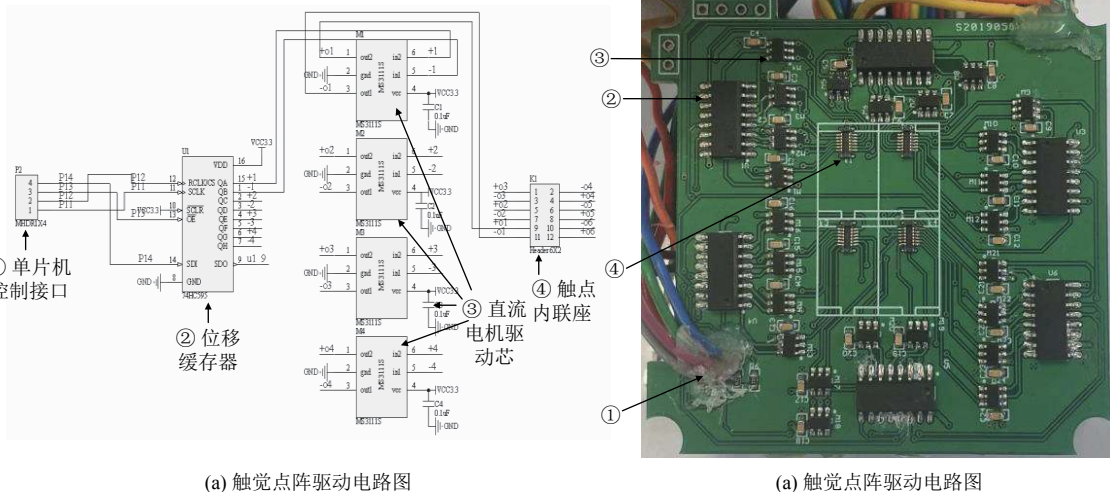


图9 触觉点阵驱动电路模块

### 3.3 触觉点阵刺激的生成

触觉点阵刺激由上位机控制平台和下位机执行平台共同完成。例如，实验要凸起触觉点阵中某一个触点或多个触点，实验设计者在上位机控制平台输入触点编号并发送给下位机执行平台。74HC595 位移寄存器串行接收单片机 MCU 数据，并行输出给 MS3111 电机驱动芯片，进而控制触点运动。

我们以不同周期发送数据，控制触点的刷新速度，可以产生不同的触觉刺激。为了探明触点的最大刷新频率，我们开展电子电路的电性能实验测量，通过北京普源数字示波器（型号 DS1204B）测量触点的刷新频率  $f_{\text{触点}}$ 。在实验测量过程中，我们设定数据的发送周期  $T_{\text{触点}}$  分别 1000 ms、200 ms、100 ms 和 10 ms，测量电

磁线圈的电压波形频率，得到触点的刷新频率，测量结果的如图 10 所示。

图 10(a) 显示当  $T_{\text{触点}}=1000 \text{ ms}$  时，触点刷新频率为  $f_{\text{触点}}=996 \text{ mHz}$ ；图 10(b) 显示当  $T_{\text{触点}}=200 \text{ ms}$  时，触点刷新频率为  $f_{\text{触点}}=4.9 \text{ Hz}$ ；图 10(c) 显示当  $T_{\text{触点}}=100 \text{ ms}$  时，触点刷新频率为  $f_{\text{触点}}=9.8 \text{ Hz}$ ；图 10(d) 显示当  $T_{\text{触点}}=10 \text{ ms}$  时，触点刷新频率还是  $f_{\text{触点}}=10.2 \text{ Hz}$ 。

因此，我们得出此点阵单元的触点最大刷新频率为 10 Hz。

## 4 装置的性能测试实验

### 4.1 装置控制程序

嵌入式系统开发与设计由于性能良好得到了越来越

越多的关注<sup>[21]</sup>. 本装置应用嵌入式开发知识, 设计控制程序包括上位机人机交互程序与下位机 MCU 驱动程序. 上位机人机交互程序提供人机交互界面, 实验者可以在数据发送界面输入视觉点阵的行列序号、触觉点阵的点序号, 可以在灰度控制界面调整 LED 灯的明亮灰度等级, 可以选择定时自动发送数据方式或者手动发送数据方式, 通过 USB 串口或者无线蓝牙, 把数据发送给下位机控制模块. 此外, 上位机人机交互程序还

有通讯端口配置、数据文件管理等功能.

下位机控制模块接通电源后, 下位机 MCU 驱动程序首先执行单片机初始化程序, 完成定时器时钟、标识符等参数的初始化工作, 然后接收并校验上位机控制平台传来的数据, 接着解析和分配数据给视觉点阵刺激模块和触觉点阵刺激模块, 实现 LED 灯的亮灭、LED 灯的不同明亮灰度值以及触点的运动. 图 11 为下位机 MCU 驱动程序的流程图.

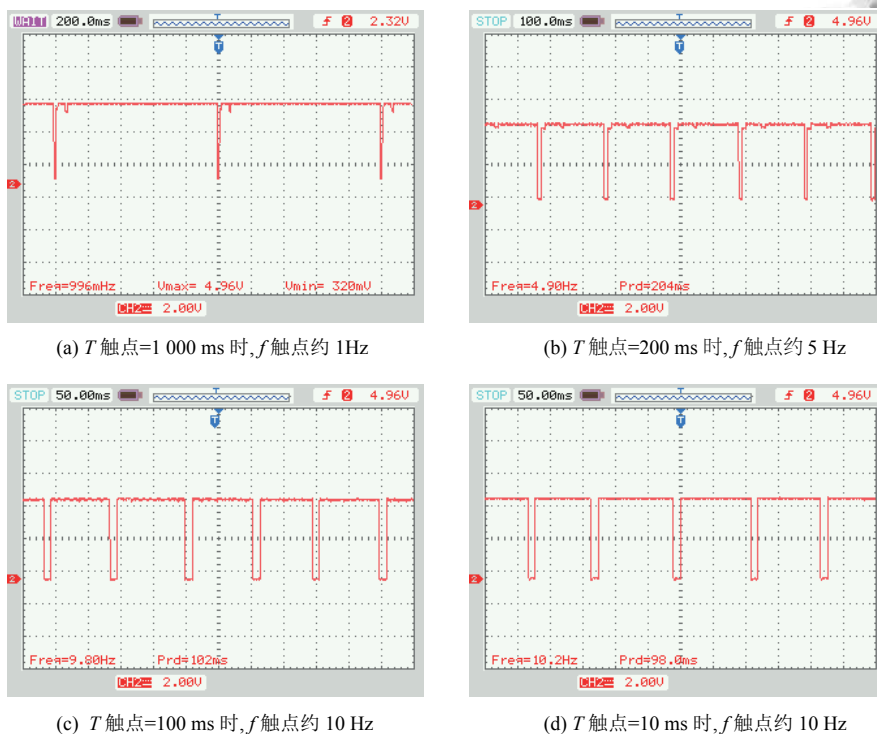


图 10 触点刷新频率测量结果

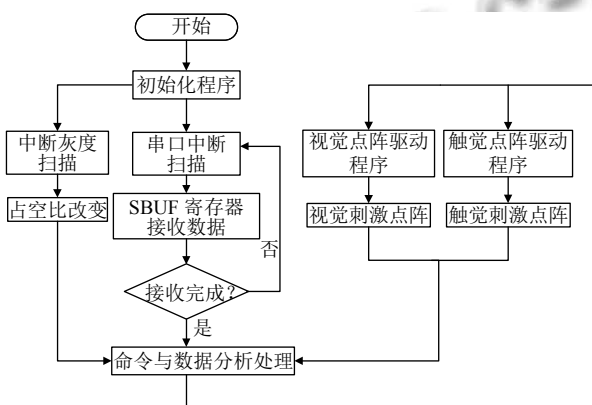


图 11 MCU 驱动程序流程

上位机控制界面由 VS (Microsoft Visual Studio)

软件应用 C#语言编写, 用户界面框架搭建过程中实现界面与程序分离, 简化了程序设计, 秉持人机交互原则使操作界面与使用方法一目了然. 下位机编写语言为 C 语言, 应用 keil 开发平台进行 52 系列嵌入式程序开发.





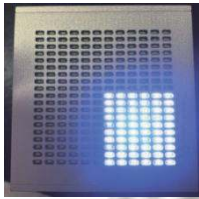

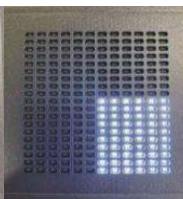

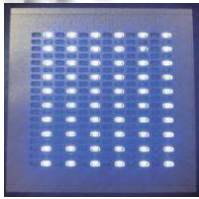
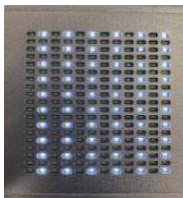
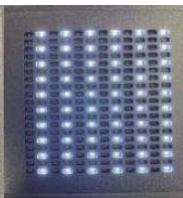

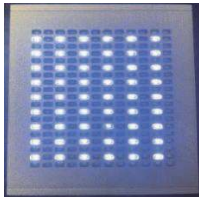



#### 4.2 视觉刺激实验

在此实验中, 我们通过上位机的人机交互界面, 输入 LED 灯的行列数, 调整明亮灰度值等级, 来验证此装置的视觉刺激生成功能. 表 3 罗列了部分视觉刺激生成的实验结果.

实验测试结果表明, 视觉点阵刺激模块工作可靠性稳定, 能够以不同明亮灰度等级点亮不同的 LED 灯点阵, 生成视觉刺激, 由实验证明实时响应速度良好.



表3 视觉刺激生成的实验结果

上位机选择 LED 灯点阵	LED 灯的点亮情况	LED 灯的明亮灰度值情况		
打开 1-9 行和 1-6 列的 LED 灯				
		1级 (7.6 lux)	5级 (39.5 lux)	10级 (75.8 lux)
打开 10-19 行和 7-12 列的 LED 灯				
		2级 (14.9 lux)	4级 (29.8 lux)	10级 (75.8 lux)
打开奇数行和偶数列的 LED 灯				
		3级 (22.3 lux)	6级 (44.7 lux)	8级 (61.2 lux)
打开偶数行和奇数列的 LED 灯				
		4级 (29.8 lux)	7级 (52.9 lux)	9级 (68.1 lux)

### 4.3 触觉刺激实验

在此实验中, 我们通过上位机的人机交互界面, 输入触觉点阵的点序号, 驱动每方点阵单元的触点, 验证此装置的触觉刺激生成功能. 表 4 罗列了部分触觉刺激生成的实验结果.

实验测试结果表明, 触觉点阵刺激模块工作可靠性能稳定, 能够触动不同的触点运动, 生成触觉刺激, 由实验证明实时响应速度良好..



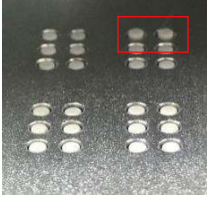
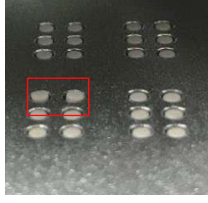
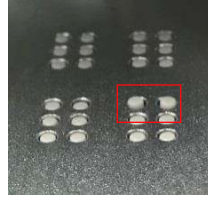

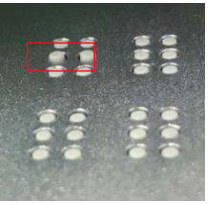
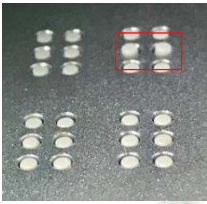
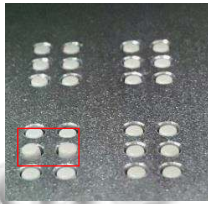
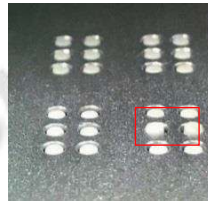

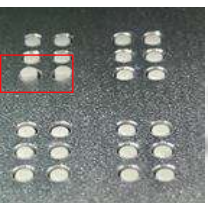
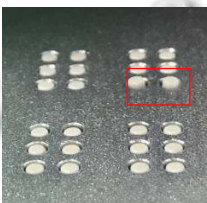
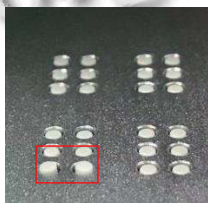

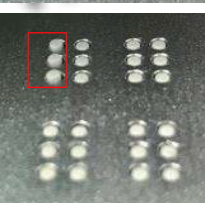
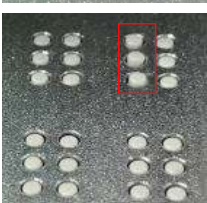

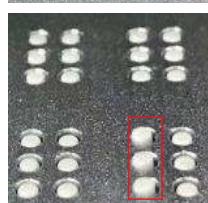


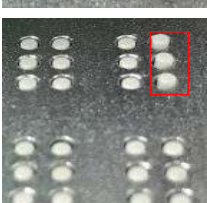
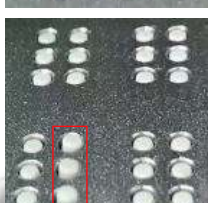

## 5 总结

人们通常由视、听、触、嗅、味等多个通道, 融合感知和认知环境. 探明人的多通道感知特性是物理心理学研究的重要目标, 其中, 能够提供多通道感知刺

激的仪器设备是物理心理学研究必不可少的工具. 本文设计了一种视觉和触觉融合感知的点阵刺激装置, 可以同步给指尖提供触觉刺激, 给眼睛提供视觉刺激, 为物理心理学研究人的视触觉融合感知特性提供实验设备.

相对于前人研究成果, 此装置的主要创新有: 1) 能够提供更高密度、更高刷新频率的触觉刺激; 2) 能够提供不同颜色、不同微小封装尺寸、不同明亮灰度值等组合的 LED 灯点阵视觉刺激; 3) 能够同步产生视觉刺激和触觉刺激; 4) 装置的电子元器件集成度更高、装置的体积更小且重量更轻, 并且能够远程操控. 借助此装置, 人们可以感受到温和不刺眼的视觉感知, 也能够获得清晰辨识的触觉感知.

表4 触觉刺激生成的实验结果

上位机选择触觉点阵	第1方点阵单元	第2方点阵单元	第3方点阵单元	第4方点阵单元
				
				
				
				
				

此装置的不足之处在于: 1) 触点的凸起高度不可调; 2) 触点凸起时, 指尖必须离开触点; 3) 控制程序较复杂。

#### 参考文献

- 1 Vanessa H, Laurence H. Multimodal ternus: Visual, tactile, and visuo-tactile grouping in apparent motion. *Perception*, 2007, 36(10): 1455–1464. [doi: [10.1068/p5844](https://doi.org/10.1068/p5844)]
- 2 Tomassini A, Gor M, Burr D, *et al.* Perceived duration of visual and tactile stimuli depends on perceived speed. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 2011, 5: 51.
- 3 Chen LH, Shi ZH, Müller HJ. Influences of intra- and crossmodal grouping on visual and tactile ternus apparent motion. *Brain Research*, 2010, 1354: 152–162. [doi: [10.1016/j.brainres.2010.07.064](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.07.064)]
- 4 Song MS, Kim J. A paradigm to enhance motor imagery using rubber hand illusion induced by visuo-tactile stimulus. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2019, 27(3): 477–486. [doi: [10.1109/TNSRE.2019.2895029](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2895029)]
- 5 Katus T, Eimer M. Independent attention mechanisms control the activation of tactile and visual working memory representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2018, 30(5): 644–655. [doi: [10.1162/jocn\\_a\\_01239](https://doi.org/10.1162/jocn_a_01239)]
- 6 Harrington GS, Wright CT, Downs III JH. A new vibrotactile stimulator for functional MR. *Human Brain Mapping*, 2000, 10(3): 140–145. [doi: [10.1002/1097-0193\(200007\)10:3<140::AID-HBM50>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/1097-0193(200007)10:3<140::AID-HBM50>3.0.CO;2-0)]
- 7 Dresel C, Parzinger A, Rimpau C, *et al.* A new device for tactile stimulation during fMRI. *NeuroImage*, 2008, 39(3): 1094–1103. [doi: [10.1016/j.neuroimage.2007.09.033](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.09.033)]
- 8 Lee YS, Sehlstedt I, Olausson H, *et al.* Visual and physical

- ffective touch delivered by a rotary tactile stimulation device: A human psychophysical study. *Physiology & Behavior*, 2018, 185: 55–60.
- 9 Zappe AC, Maucher T, Meier K, *et al.* Evaluation of a pneumatically driven tactile stimulator device for vision substitution during fMRI studies. *Magnetic Resonance in Medicine*, 2004, 51(4): 828–834. [doi: 10.1002/mrm.20021]
- 10 Neuro Device Group S. A. NeuroDevice Tacti™. [http://www.neurodevice.pl/wp-content/uploads/2018/06/Tacti\\_brochure.pdf](http://www.neurodevice.pl/wp-content/uploads/2018/06/Tacti_brochure.pdf). [2019-11-22].
- 11 Kim HS, Choi MH, Chung SC. Development of a puff- and suction-type pressure stimulator for human tactile studies. *Behavior Research Methods*, 2017, 50(2): 703–710.
- 12 da Silva Pinto MA, da Souza JKS, Baron J, *et al.* A low-cost, portable, micro-controlled device for multi-channel LED visual stimulation. *Journal of Neuroscience Methods*, 2011, 197(1): 82–91. [doi: 10.1016/j.jneumeth.2011.02.004]
- 13 Mouli S, Palaniappan R, Sillitoe IP. A configurable, inexpensive, portable, multi-channel, multi-frequency, multi-chromatic RGB LED system for SSVEP stimulation. In: Hassanien AE, Azar AT, eds. *Brain-Computer Interfaces: Current Trends and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2015. 241–269.
- 14 Xie SY, Wang LN, Obermayer K, *et al.* Design of visual stimulation system with LED in the study of spatial selective attention. In: Wang RB, Pan XC, eds. *Advances in Cognitive Neurodynamics (V)*. Singapore: Springer, 2016. 461–468.
- 15 Jones PR, Garcia SE, Nardini M. Digital LED pixels: Instructions for use and a characterization of their properties. *Behavior Research Methods*, 2016, 48(4): 1266–1284. [doi: 10.3758/s13428-015-0653-5]
- 16 司栋森, 白中英. LED 模拟屏在电网监控系统中的应用. *计算机系统应用*, 1996, (7): 19–20.
- 17 芦勤桑, 王琪. 基于 PSoC 的多功能精简尺寸型 LED 点阵系统. *计算机系统应用*, 2012, 21(3): 248–251, 58.
- 18 李志坚. 全彩色 LED 显示屏真彩色显示技术研究[硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2009.
- 19 袁胜春, 刘延, 赵小明. PWM 调制 LED 显示屏高灰度高刷新的一种方案. *光电工程*, 2013, 40(5): 145–150.
- 20 龚兆岗, 曹娜, 樊灵晶. 论 LED 可变情报板有关参数的设计. 2008 全国 LED 显示应用技术交流暨产业发展研讨会文集. 杭州, 中国. 2008.
- 21 李祁, 范源远, 韩秋枫. 基于  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  的 LED 控制在 STM32 上的实现. *计算机系统应用*, 2014, 23(4): 209–213.