文章编号:1007-2780(2014)05-0850-06

旋转彩色 LED 显示屏设计与实现

梁光胜*,秦 菁,陈世宏,陈志勇
(华北电力大学 电气与电子工程学院,北京 102206)

摘要:为满足多实际应用场合的显示和一些特定 360°全方位显示的工作需求,降低设备成本,设计了彩色旋转 LED 显示屏。采用 32 个三色七彩 LED 组成单列的旋转 LED 屏,通过单片机智能控制电机旋转、电子扫描三色 LED,实现预设 RGB 三色的彩色图像显示。提出了旋转彩色 LED 显示屏的设计方案,给出硬件电路的设计方法,分析图像数据的提取过程和提取方法,并设计了系统程序流程图,最终进行系统的实际测试。采用 RGB 三色七彩 LED,实现了 32 pixel×150 pixel 像素彩色图像显示。经过长时间测试运行该系统稳定可靠,实现 360°全方位显示、灰度实现 256 级调节。

关 键 词:旋转显示;七彩 LED 屏;POV 原理;可视性强;单片机
中图分类号:TN27 **文献标识码**:A **doi**:10.3788/YJYXS20142905.0850

Design and implementation of colorful rotating LED display

LIANG Guang-sheng*, QIN Jing, CHEN Shi-hong, CHEN Zhi-yong

(*School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing* 102206, *China*)

Abstract: In order to meet the requirements for most applications, a novel design of colorful LED display is proposed by taking Persistence of Vision theory as its theoretical foundation. In this paper, the hardware circuit is presented, the image data extracting procedure is listed, the program flowchart is drawed, and plenty of practical tests are also made about the whole system. The colorful LED display is made by 32 tri-color LEDs spaced at regular intervals in a straight line. High-speed rotating display of this kind would be able to show the intact pre-set image under the control of Microcontroller Unit (MCU). It works better in visibility than monochrome display or Flat Panel Display (FPD).

Key words: rotation display; colorful LED display; POV theory; better visibility; MCU

1 引 言

LED 屏已得到广泛应用。现在随处可见的 LED 屏多是由大量 LED 组成的显示点阵平板,通常采用循环扫描方法,逐行点亮 LED;人眼对动态频次分辨率为 1/16～1/24 s,由于视觉滞后效应,所以屏幕上单行 LED 会连成一幅静态画面。但是这种显示有一些不足,首先整屏 LED 数量巨大,成本高,而且极易坏掉,一定面积 LED 的非正常工作使得整屏显示都受到影响,更换或者维修工作量较大;其次由于正常 LED 屏为平板,可视角度非常有限,再加上通常采用单色 LED 屏,能吸引注意却无美感可言。

收稿日期:2014-05-10;**修订日期**:2014-06-11.
* 通信联系人,E-mail:lgsh@ncepu.edu.cn

本文设计的旋转彩色 LED 显示屏，则能完美解决传统 LED 显示屏的各种问题。它以机械转动方式代替逐行扫描，利用视觉暂留（POV：Persistence of vision）原理[1]，通过电机带动单列显示器件旋转，精确同步旋转位置和 LED 亮灭，产生一系列运动轨迹的残留影像。旋转显示屏是在支架上安装了一列 32 个三色七彩 LED，支架由电机带动旋转，单片机控制这一列 LED 在不同位置的亮或灭，在合适的旋转频率下，就可以看到完整显示的彩色文字或图形。此系统不仅成本低廉，而且可视范围扩展到了 360°，更重要的是，此系统根据色彩学原理，用 RGB 三色 LED 显示七色彩图，达到神奇梦幻般效果。

2　系统硬件总体设计

图 1 为旋转显示的 LED 彩屏系统整体设计框图。带动 LED 屏转动的为直流电机，并配置合适的电机驱动电路；核心控制模块选用凌阳 SPCE061A 单片机，采用电刷供电方式；光电传感器用来感知系统运行状况；外部存储器用于存储图片数据以方便后续扩展。

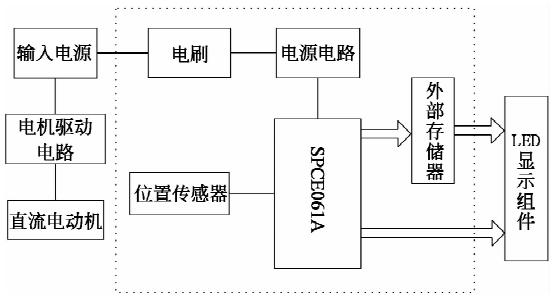


图 1　硬件系统总体设计框图

Fig. 1　Design diagrams of hardware system

2.1　LED 显示组件设计

彩色 LED 显示屏作为系统的关键部件，在设计时需要考虑诸多因素，如发光体的选择、发光体运动方式、发光体引脚数量简化方式等。为了达到彩色显示的目的，发光体选择共阴 RGB 三色七彩直插封装 LED，这种 LED 高亮度、寿命长、色彩丰富、耐冲击、功耗小、驱动简单、工作电压低。这种封装的 LED 包含了红（Red）、绿（Green）、蓝（Blue）3 个发光二极管，每个 LED 都可以单独驱动，因此 RGB 三色可搭配出的颜色如表 1 所示。

表 1　R、G、B 三色产生的七彩配表

Tab. 1　Rainbow of colors created by R、G、B

RGB	000	001	010	011
七彩色	无色	蓝色	绿色	青色
RGB	100	101	110	111
七彩色	红色	紫色	黄色	白色

对于七彩 LED，内部无控制电路，外部四引脚，配四线控制器，因此只能做出上表中的颜色变化。对于炫彩 LED，外部十引脚，配专用十线控制器，内部控制电路可以控制 256 级灰度变化，理论上可以搭配出上万种颜色。

在 LED 显示组件中，将发光体排成一列做柱面式旋转运动。如果保持恒定的旋转速度，则可以产生稳定的圆柱面，使显示效果更均匀，也使制作调试时振动现象易于控制。由“视觉暂留”原理可知，人眼的暂留时间在 0.05～0.2 s 之间，因此彩色 LED 屏必须保证至少 0.2 s 转一周。在合适的转速下，利用单片机精确控制 LED 在固定位置上的亮灭，就可以看到稳定显示的整幅彩色图片。旋转显示屏显示原理示意图如图 2 所示，深色的一列代表 LED 屏在某个特定时刻的位置，而浅色表示在其他位置的影响残留，转速足够快时，影像稳定显示，无闪烁或漂移等。

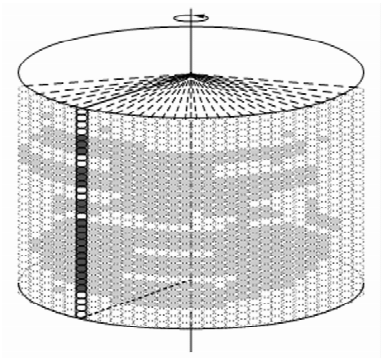


图 2　旋转显示屏显示原理示意图

Fig. 2　Diagram of rotating display

旋转彩色显示屏是由 1 列 32[2] 只 RGB 三色 LED 组成的矩形框。32 个 LED 共计需要 32×3＝96 个引脚来控制其亮灭或者颜色，此三引脚主要用以 RGB 色彩输入，而三色 LED 的第 4 个引脚统一连接到地。为了缓解单片机引脚的压力，选用八进制 3 态非反转透明锁存器 74HC573

来进行扩展，一个 74HC573 可控制 8 个单色 LED，因此共需要 12 个 74HC573 芯片。考虑到单片机引脚资源紧缺，与单片机的接口引线要尽量少，故选用一片 4-16 译码器 CD4514 作为片选信号的转换。

LED 显示屏驱动电路结构示意图如图 3 所示，其中前 8 个 LED 连接及其驱动电路原理图如图 4 所示。32 个 LED 被分为 8 个一组，每 8 个 LED 需要 3 片 74HC573 分别控制 R、G、B 端口，其接法均与图 4 类似。12 个 74HC573 芯片的 LE1～LE12 引脚接 CD4514 的译码输出；而每个 74HC573 的 D1～D8 接单片机 I/O 口，单片机所给数据经 74HC573 锁存并输出至彩色 LED 的 RGB 端口，从而控制 RGB 灯的亮灭。第 1 片 74HC573 的 Q1～Q8 引脚控制 LED1～LED8 的 R 端口，第 2 片 74HC573 的 Q1～Q8 引脚控制 LED1～LED8 的 G 端口，第 3 片 74HC573 的 Q1～Q8引脚控制 LED1～LED8 的 B 端口，后面的情况以此类推。

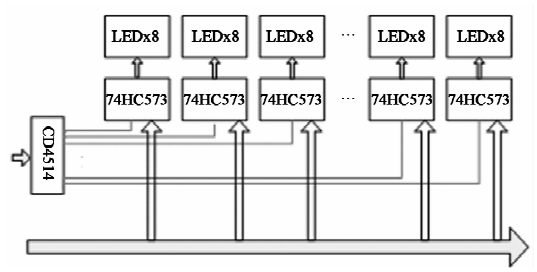


图 3 LED 显示屏驱动电路结构示意图

Fig. 3 Diagram of LED Display driving circuit

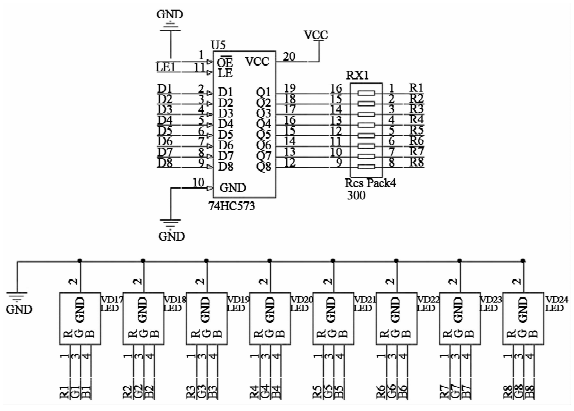


图 4 8 个 LED 及其驱动电路原理图

Fig. 4 Schematic of eight LED driving circuit

在设计时，为了使显示屏在高速转动过程中不发生震动，显示屏 PCB 布局遵从严格对称的原则[4]。

2.2 供电模块和电机驱动模块设计

在七彩旋转 LED 显示屏系统中，为了实现有效控制并简化接线，一般都让主控电路和发光体一起运动。如何给彩色 LED 显示屏和主控电路供电，就成为系统设计时必须考虑的关键问题之一，有以下几种供电方案可供参考。

1. 电池供电。简单易携，但不适合长时间运动，常见的摇摇棒就采用此方案。

2. 柔性导线。常用于需要过度弯曲的频繁移动的场合，适用范围单一，如摇摆式运动。由于 LED 显示屏一直处于高速旋转状态，使用柔性导线会缠绕显示屏。

3. 电刷送电。在底座的电机转轴上安装电刷，并通过电动机轴上或主控显示板上的金属环传输电能，能够提供较大电流强度的电能，保证系统长时间运行。这种方式结构简单，成本低。

4. 发电机供电。在中心轴上面放一个小型发电机，发电机的定子为磁铁，固定在轴上，线圈为转子，直接连接在电路上，高速旋转时即可产生电流，对主电路进行供电。这种方法可克服由电刷产生的干扰[3]。

通过比较，本系统采用电刷供电方式。电机的作用是带动电路部分进行旋转，其关键在于电机的转速要均匀，这样才能保证图像在水平方向不会被局部伸展或者压缩，为此我们要使用匀速直流电机。因作品外形较大，故而选用较大的无刷直流电机进行驱动，电机驱动模块电路原理图如图 5 所示。由于人眼的暂留时间在 0.05～0.2 s之间，所以旋转的 LED 至少 0.2 s 转一周，

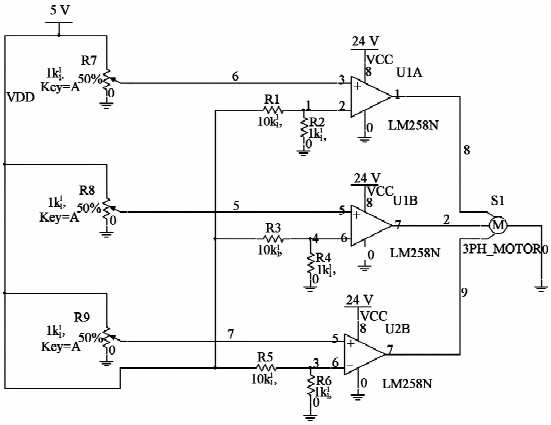


图 5 电机驱动模块电路原理图

Fig. 5 Schematic of motor driving circuit

即每分钟至少 300 转。设计时电机转速为 5 r/s 左右，可大大增强旋转稳定性和精确性，可保证清晰的显示效果。

2.3　运行状态感知模块设计

在彩色 LED 显示屏高速旋转时，显示内容的稳定与否取决于转动的角度和 LED 亮灭及色彩的配合，要使运动的发光体形成正常和稳定的显示效果，系统大多需要通过传感器来感知发光体的运动位置或状态，以确定显示的起始位置，并对系统进行校正。本系统采用光电传感器来确定第一列 LED 显示位置，并与合适的计数器配合来控制列数据更新频率，以合适的电机转速来确保显示内容的完整性。与传统显示器相比，此处传感器的作用类似于场同步信号发生器，保证旋转彩色 LED 屏在固定位置产生同一内容，确保图像不会产生漂移。

2.4　数据存储模块设计

显示一幅同样大小的画面，七彩图案的数据量是普通单色图案的 3 倍。另外考虑到单片机内存非常有限，为了显示功能的实用和扩展，故图案的数据采用外部存储方式，存储芯片选择 512k 位紫外线擦除存储器和 OTP 存储器 M27C512[5]。以我们选取的图片为例，其大致为 32×150 像素，一幅图片大小为 1.8 KB，M27C512 大致可存储 284 张同大小的图片数据，以传统电影放映机每秒 24 帧的放映速度，视频数据可持续 11 s。

3　软件设计

3.1　图像数据提取

本文设计的彩色 LED 显示屏，有一项最重要的任务是提取出彩色图片的显示数据。首先要选取大小合适的图片。因为所设计的 LED 显示屏只有 32 个 LED，所以需要调整图片的宽度为 32 像素。然后将彩色图像分离出 R、G、B 三通道图，存为 .bmp 格式，如图 6 所示。

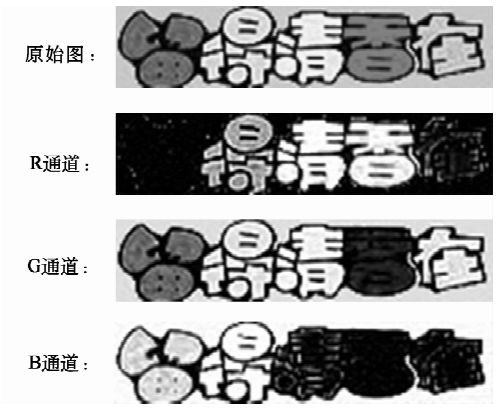


图 6　原始图片与 R、G、B 三通道图

Fig. 6　Original picture and RGB channel graph

由于没有现成的直接提取图案数据的取模软件，因此只能手工提取。利用凌阳“DM Tool 字模提取工具”，分别对 R、G、B 三通道的图像提取二进制数据。图 7 为提取 R 通道二进制数据示例。

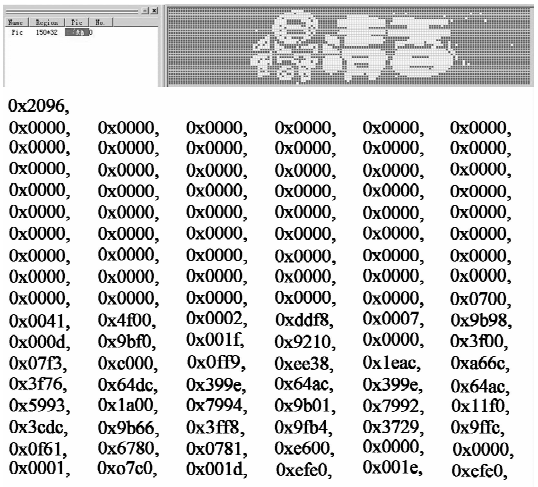


图 7　取模软件对图像的处理过程

Fig. 7　Processing of image by DM Tool

3.2　程序设计

为了保证显示画面的稳定性，系统运用了光电传感器，在特定位置设置反光点，记为初始位置；光电传感器随着显示屏一起转动。当每次转

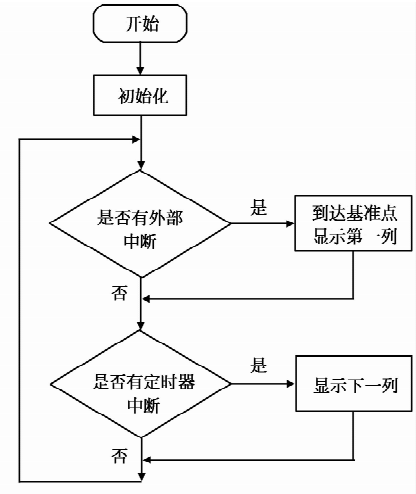


图 8　主程序流程图

Fig. 8　Main program flow diagram

动到初始位置时，传感器将位置数据传递给单片机，单片机接收到外部中断信号后，从内存中读取第一列应该显示的数据，并传递给 LED 控制电路；在转动当圈的其他位置，采用定时器计时方式来决定在哪个位置显示下一列数据。这样的显示方式能保证图片无形变，但是定时器的计数初值需要与电机转速严格匹配[6]。为了更精确地显示或者满足某些变速系统实时显示的要求，可以引入速度传感器来实时测定当前转速，根据特定算法得到当前定时器的计数初值。

4 系统的实际测试

在硬件电路制作完成后，我们编写 C 语言程序，经过测试、调试程序查看电路是否能正常工作；然后用专用的烧录器，手工编程将数据写入外部存储器；最后将系统的主控程序下载至单片机，其实际运行效果如图 9 所示。从图中可以看出，旋转扫描使图像在横向上发生了点阵粘连，这是由于扫描 LED 时点亮的时间稍长导致的，如果要达到传统显示屏类似效果，需要在显示数据时序上增加 LED 灭的时间。所以显示的图像大小与显示图片质量与扫描速度有关，如果采用时钟速度更高的控制芯片，如 ARM、FPGA 等快速单片机显示的效果会更好，显示的精度控制可以更加准确。今后我们会通过一定的改进，提高硬件时钟或进一步进行程序调试，采用电影放映原理，在旋转显示屏上不但可以放映一张彩色的图片，还可以放映一段彩色动漫。



图 9 彩色 LED 屏实际运行效果图

Fig. 9 Practical tests of colorful LED display

5 结 论

本系统以凌阳单片机为核心，通过控制 LED 显示组件的旋转，显示了一幅彩色图案。设计的新型旋转柱式显示屏，以机械转动扫描方式替代逐行扫描，同时采用 32 个 RGB 三色七彩 LED，实现了 32 pixel×150 pixel 像素彩色图像显示，经过长时间测试运行该系统稳定可靠，实现 360° 全方位显示、灰度实现 256 级调节。旋转彩色 LED 显示屏设计新颖，成本低廉，尤其是 360°观看角度使之非常适合展厅一类的场合。

参 考 文 献：

[1] 张勇，金保华. 一种无线旋转柱式图文显示屏的设计[J]. 郑州轻工业学院学报：自然科学版，2005，20(4)：82-84.
Zhang Y, Jin B H. Design of wireless rotate pole scanning display screen [J]. *Journal of Zhengzhou University of Light Industry: Natural Science*, 2005, 20(4): 82-84. (in Chinese)

[2] 赵梓权，王瑞光，郑喜凤，等. 基于视觉感受的 LED 显示屏系统精度分析[J]. 液晶与显示，2012，27(3)：324-231.
Zhao Z Q, Wang R G, Zheng X F, *et al*. Systemic accuracy analysis of LED displays based on visual perception [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(3): 324-231. (in Chinese)

[3] 周正华. 51 单片机 POV 趣味制作详解[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2011：21-97.

[4] 雷鑑铭，范文，邹雪城，等. 图像硬件旋转显示功能的研究与实现[J]. 微电子学与计算机，2007，24(5)：4-6.
Lei J M, Fan W, Zou X C, *et al*. The Study and Implement of hardware rotation of an image [J]. *Microelectronics & Computer*, 2007, 24(5): 4-6. (in Chinese)

[5] 魏天兵，刘锦高. 立体旋转显示屏中数据传输问题的研究与实现[J]. 信息技术，2011(8)：227-229.
Wei T B, Liu J G. Study and realization of data transmission in three-dimensional rotating screen [J]. *Information Technology*, 2011(8): 227-229. (in Chinese)

[6] 邓宏贵，李志坚，吴让亮，等. 基于步进电机细分驱动技术的旋转 LED 显示屏设计[J]. 液晶与显示，2008，23(5)：

595-598.

Deng H G, Li Z J, Wu R L, *et al*. Design of rotating LED display screen based on micro-stepping of moto [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(5): 595-598. (in Chinese)

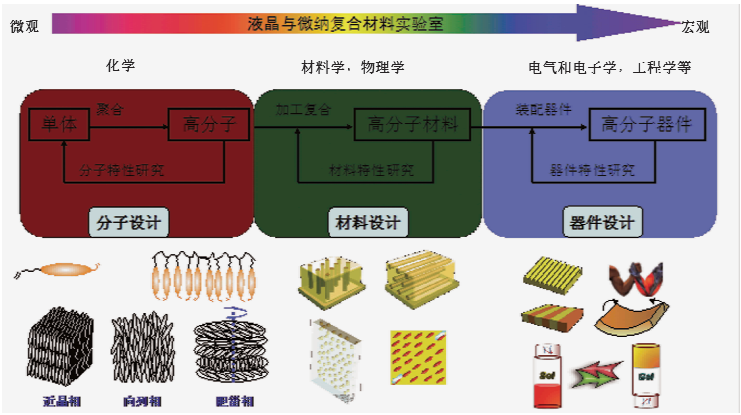
作者简介：梁光胜(1966—)，男，山东嘉祥人，副教授，硕士生导师，主要研究方向为嵌入式系统与智能控制、集成电路及系统芯片设计与应用。E-mail: lgsh@ncepu.edu.cn

北京大学液晶与微纳复合材料实验室

北京大学液晶与微纳复合材料实验室由 2011 年中组部首批“青年千人计划”引进的人才于海峰研究员组建。目前有研究员 1 人，高工 1 人，博士后研究员 3 人，在读博士生 7 名，访问学者 4 人。每年招收博士生 1 人，博士后研究人员与科研助理若干。

实验室以光功能性液晶与微纳米复合材料为研究对象，围绕着材料的分子结构或微观相分离结构与其液晶性能的关系，在液晶材料在有机纳米科技、光控取向、全息光栅存储、光驱动器件和智能软物质等领域进行了系统而深入的研究，旨在揭示液晶与微纳米复合材料的分子结构、微观结构对其性能影响的机理与作用规律。通过对材料的分子结构或微观结构的调控，利用光化学、光物理过程以及光热效应等实现对纳米结构、光学性质、液晶取向状态的精确控制，为相关材料与器件的制备提供系统的理论依据，为未来信息处理过程中器件的小型化、轻量化、高密度等奠定材料方面的基础。

在中组部“青年千人计划”、自然科学基金委“优秀青年基金”、教育部“留学回国人员基金”和“博士点基金”、北京大学“985 工程”以及北京市科委的资助下，实验室具备比较完善的液晶与微纳米复合材料的制备及其相关器件的表征手段，包含可精密控温的偏光显微镜，紫外－可见－近红外吸收光谱，荧光激发与发射光谱仪，傅里叶红外光谱仪，热重分析，差示扫描量热分析，凝胶渗透色谱仪，旋涂仪，摩擦配向机，真空手套箱，椭偏仪，原子力显微镜，可控温的万能试验机，激光平台与紫外－可见－近红外激光光源与相关的光学元件，紫外－可见光源等。同时利用北大的平台，实验室与国内外的科研机构、业界建立了密切的交流及合作关系，争取为国家的科技发展作出应有的贡献。欢迎业界同行与科研单位到本实验室作短期和长期访问和合作，更多信息请参考实验室的主页 http://www2.coe.pku.edu.cn/faculty/yuhaifeng。



地址：北京市海淀区成府路 207 号 北京大学工学院 1 号楼 614
邮编：100871
电话：010-62764244(于海峰)
邮箱：yuhaifeng@pku.edu.cn