

基于LED光立方的音频谱显示

林金阳, 陈知新, 张国成, 谢文明, 郑少锋

(福建工程学院 信息科学与工程学院, 福建 福州 350118)

摘要: 研究一种基于STC12C5A60S2增强型单片机作为主控芯片的光立方音频谱显示方案。以STC单片机为核心,以74HC573为锁存器,采用与点阵相同的动态扫描驱动显示原理,实现LED的光立方显示。同时利用音频输入,结合FFT算法,实现音频谱的光立方显示,给人以良好的视觉和听觉感受。

关键词: 单片机; 光立方; 频谱显示

中图分类号: TN27

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2016)01-0067-04

Audio spectrum display based on LED light cube

Lin Jinyang, Chen Zhixin, Zhang Guocheng, Xie Wenming, Zheng Shaofeng

(College of Information Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: A 3D light cube system of audio spectrum display based on MCU STC12C5A60S2 controller was presented. With STC single chip as the core, LED light cube display of audio spectrum was designed using latch 74HC573 and dynamic scanning in the same way as dots LED screening. The platform provides better display of audio spectrum combined with audio input and FFT algorithm, which can offer a good visual and auditory effect.

Keywords: single chip microcomputer; LED light cube; spectrum display

LED(light-emitting diode)技术已渗透到我们生活的各个角落,从城市夜景、演唱会、晚会等场合,LED显示均给人们展示了视觉盛宴,LED显示屏的广告也无处不在,给人们跟多的信息资源^[1-2]。这些LED显示均以二维平面点阵显示为主,较为单调,已逐渐无法满足人们的视觉需求。随着3D显示技术的发展,人们逐渐将目光转向LED的三维显示,开发设计各种三维LED显示屏^[3-4]。康志强等^[5]利用FPGA为控制核心,结合LED光立方模块、PS/2键盘、触摸屏等,实现3D贪吃蛇游戏、3D文字和图像动态显示等应用;温才等^[6]设计一套三维方式表达晶格结构的LED光立方模型,将复杂的空间结构问题简单化,激发了学生学习兴趣。王欣等^[7]以_ENREF_

1Arduino开发平台为核心,实现LED光立方显示效果,为未来大型户外传媒广告提供一种方案。以上的各种光立方显示中,均没有音频谱的LED光立方显示。在本文中,以红蓝两色 $8 \times 8 \times 8$ LED光立方阵列作为显示的载体,STC12C5A60S2单片机作为主控芯片,利用人的视觉残留原理,实现连续显示,从而实现3D显示,同时结合FFT算法,实现音频谱的3D光立方显示,为音频谱显示和3D视觉信息平台提供了一个新的参考解决方案。

1 设计原理及方案设计

LED光立方也是采用动态扫描的方式,其原理是利用人眼的视觉残留与响应速度较慢来实现,在任一个时刻只有一行被点亮。首先将对应

的行码发送出去,接着点亮该行,依次进行逐行点亮,当扫描到第 64 行时,重新循环。当扫描的速度达到一定的频率时,就会呈现出视频上的 3D 显示效果^[8-9]。

本设计电路以增强型 STC12C5A60S2 作为主控芯片,通过 74HC573 锁存器进行行列扫描,由 ULN2803 控制层驱动,提供足够的驱动电流,以达到一定的亮度显示目的,且此单片机内置 A/D 转换,还具有 1KB 的 RAM 和 60KB 的 ROM,可以进行数据运算和处理控制光立方,并由单片机自行运算,实现 FFT 音频显示效果。

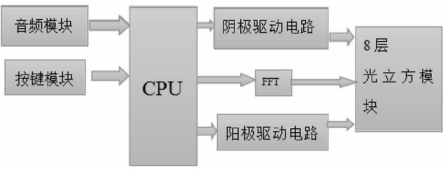


图 1 系统总体结构图

Fig.1 Schematic of LED light cube-based audio spectrum display system

系统总体结构图如图 1 所示。整个系统分为主控模块、驱动模块、显示模块、音频输入模块、电源模块和按键模块。主控模块控制光立方扫描及人机交互,并进行音频数据运算、处理和输出;按键模块可以控制光立方的显示模式,包括静止模式、动态显示模式及其切换。

2 硬件电路设计

2.1 主控模块

本设计主控采用的是 LQFP48 的贴片封装、型号为 STC12C5A60S2 的单片机,该款单片机是基于 51 内核的增强型 51 单片机,它的速度比普通单片机快 8 ~ 12 倍。其工作频率最高可以达 35 MHz,且 IO 接口有 4 种接口状态,内部还带有 10 位的 PWM、AD、EEROM 等,同时其 ROM 和 RAM 都比较大,适合作为光立方显示的主控芯片。

2.2 光立方模块

光立方的灯架是由多个发光二极管组合而成。发光二极管分为高亮雾状灯和普通照明灯,鉴于 LED 光立方应选择高亮雾状灯。灯体由 512 (8×8×8)个雾状红蓝双色 LED 组成,分成 8 层,每层 64 个 8×8 LED,每个 LED 跟其它 LED 之间留有一定的间距,保持良好的通透性,利用 LED 矩阵自身的空间立体性,达到三位显示的效果^[5]。

2.3 音频输入模块

音频输入接口为 USB 接口,主要功能以靠程序来完成。将单片机上的 P10 接入 USB 口,音频通过 USB 口进行输入,这样不仅使得物体的体积减小也使得达到元器件的合理应用。

2.4 驱动电路

光立方扫描驱动电路分为列驱动电路和列驱动电路。数据输送通过列驱动进行输送,。其主要由 16 个锁存器 74HC573 组成点。数据输送时,控制部分将取好的字模码经其 P0 口送入 74HC573 锁存,同时由 P2 与 P4 口片选 LED 阵列,由于每一行的列码都是不一样的,所以一般是输送一列就将其点亮。其原理图如图 2 所示。

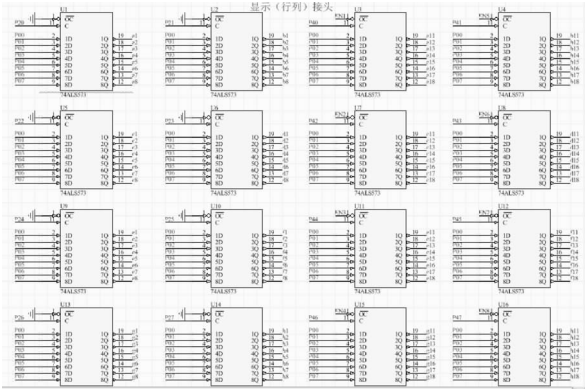


图 2 列驱动原理图

Fig.2 Schematic of column driver

层驱动电路产生层扫描信号,工作时,单片机控制模块输出控制信号,然后由 ULN2803 选通或关闭 LED 层,相对于一些应用电路使用 74HC138 作为层驱动^[5],ULN2803 驱动电流可达 500 mA,无需再接三极管进行电流放大,所以具有电路简单,驱动能力强等特点,所以本文中采用 ULN2803 作为层驱动控制芯片。

3 程序设计及 3D 显示

3.1 总体程序设计

如图 3 所示,首先进行系统初始化,根据硬件电路的思路,将构思所需功能进行编写并实现。本设计的基本工作原理是基于 2D 点阵显示屏的扩展,利用层叠加技术构建立体 LED 矩阵,采用单片机将 64 列对应的数据发给对应颜色的 8 片 74HC573 锁存,在接通对应的层,同时延时,再关闭所有层。同时利用人眼的视觉残留原理(小于 1/24 s 时的不连续实物,在人的眼中是连续的),

依次类推,在人的眼中便可实现动画效果。由设备经音频线输入 MCU,通过 MCU 内部 FFT 算法将信号由时域转化到频域,再经过 A/D 转换,调用相应模块,实现频谱的显示。

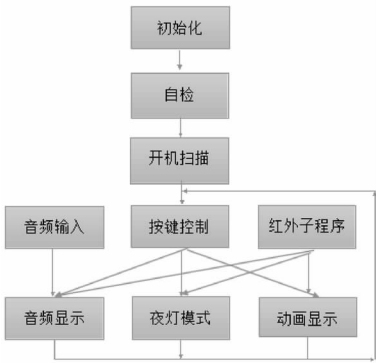


图 3 总程序流程图

Fig. 3 Overall program flowchart

3.2 音谱仿真

FFT(快速傅里叶计算)在音谱显示中经常运用。FFT 揭示了信号时间特性于频率特性之间的联系。在现实中一些信号在时域是看不出特征的,常用的方法就是将其变换到频域,FFT 就是将一个信号变换到频域,从中可以看出其特征。本设计采用的是蝶形算法(Cooley - Tukey 算法)。在 Cooley - Tukey 算法中可以采用 $N = rs$ 的算法,现流行的算法采用 $r = 2$,把 N 个点分成 $\log_2 N$ 级,每一级都有 $N/2$,如图 4 所示。

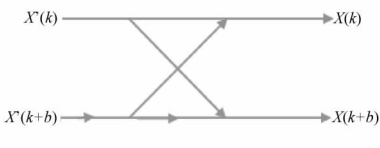


图 4 蝶形运算

Fig. 4 Butterfly operation

蝶形运算的推导过程如下:

$$X(k) = X'(k) + X'(k + b)W_N^p \tag{1}$$
$$X(k + b) = X'(k) - X'(k + b)W_N^p \tag{2}$$

式中 $W_N^p = \cos(2\pi P/N) - j\sin(2\pi P/N)$ 。

将(1)(2)化简为实部和虚部,如下:

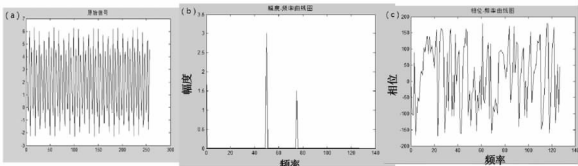
$$X_R(k) = X_R'(k) + X_R'(k + b)\cos(2\pi P/N) + X_I'(k + b)\sin(2\pi P/N) \tag{3}$$
$$X_I(k) = X_I'(k) - X_R'(k + b)\sin(2\pi P/N) + X_I'(k + b)\cos(2\pi P/N) \tag{4}$$

同理,将式(2)化简得到:

$$X_R(k + b) = X_R'(k) + X_R'(k + b)\cos(2\pi P/N) - X_I'(k + b)\sin(2\pi P/N) \tag{5}$$
$$X_I(k + b) = X_I'(k) - X_R'(k + b)\sin(2\pi P/N) - X_I'(k + b)\cos(2\pi P/N) \tag{6}$$

由此可以看出其输入值与某一正弦函数的乘积累加得到的就是蝶形运算的输出。

由 MATLAB 软件编写相关计算程序进行仿真,仿真如图 5 所示。



(a) 原始信号 (b) 幅度 - 频率曲线 (c) 相位 - 频率曲线

图 5 蝶形运算仿真结果

Fig. 5 Simulation result of butterfly operation

在图 5 中第 1、51、76 点上存在比较大的值。3 个点及附近的数据如表 1。

从图 5 和表 1 中可以看出,比较大的值为第 1 点和第 51 点和第 76 点,它们附近点信号幅度为 0。接着,计算各点的幅度值。分别计算模值,结果如下:第 1 点为 512 ,第 51 点为 384,第 76 点

表 1 第 1、51、76 点及邻近点的值

Tab. 1 Values of sampling points 1, 51, 76 and neighbouring points

位置	弧度值	位置	弧度值
第 1 点	512 + 0i	第 52 点	- 1. 670 7E - 12 - 1. 524 1E - 12i
第 2 点	- 2. 619 5E - 14 - 1. 416 2E - 13i	第 75 点	- 2. 219 9E - 13 - 1. 007 6E - 12i
第 3 点	- 2. 858 6E - 14 - 1. 189 8E - 13i	第 76 点	3. 431 5E - 12 + 192i
第 50 点	- 6. 207 6E - 13 - 2. 171 3E - 12	第 77 点	- 3. 026 3E - 14 + 7. 560 9E - 13i
第 51 点	332. 55 - 192i		

为 192,由公式计算出直流分量为: $512/N = 512/256 = 2$;50Hz 信号的幅度为: $384/(N/2) = 384/(256/2) = 3$;75Hz 信号的幅度为 $192/(N/2) = 192/(256/2) = 1.5$ 。可见,从频谱分析出来的幅度是正确的。然后再来计算相位信息。直流信号没有相位可不管。先计算 50 Hz 信号的相位, $\text{atan2}(-192, 332.55) = -0.5236$,结果是弧度,换算为角度就是 $180 \times (-0.5236)/\pi = -30.0001$ 。再计算 75Hz 信号的相位, $\text{atan2}(192, 3.4315E-12) = 1.5708$ 弧度,换算成角度 $180 \times 1.5708/\pi = 90.0002^{[10]}$ 。

由采样点数的增加就可以提高频率分辨率,在短时间内完成分析在实际中是不可能实现的。采用频率细分法能解决这个问题的,频率细分法就是采样短时间信号,在其之后补充数量一定的 0,使点数达到需要,从而在一定程度上提高频率分辨率。

3.3 频谱显示

本设计采用单片机为控制中心,通过 A/D 转换、锁存器、驱动电路等硬件电路和 C 语言程序的编写,实现 LED 光立方的 3D 显示,显示效果如图 6 所示。同时,在该平台上,不但可以实现单色 LED 光立方显示,还可以实现双色的 LED 光立方显示,显示效果如图 7 所示。

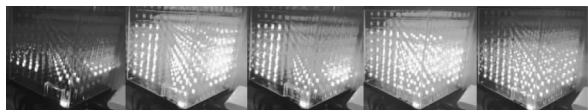


图 6 音频谱显示

Fig. 6 The show rendering of audio spectrum



图 7 光立方效果图

Fig. 7 The show rendering effect of light cube

4 结论

采用 STC12C5A60S2 单片机作为核心,使用动态扫描方式实现光立方的 3D 显示,同时,以音频输入,通过 FFT 算法,实现音频谱的 3D 效果,整体造价低廉,维护简单,具有很好的观赏和实用价值。同时,本设计还可以进一步的改进,如添加上位机,直接通过上位机传输给 LED 光立方,进行 3D 显示,避免重复烧写的麻烦。此外,可以增加感光元件来控制 LED 的亮度,红外接受、远程直接控制等功能,均可以在本设计的基础上,继续开发并进一步实现。

参考文献:

- [1] 梁铭林. LED 显示技术的应用[J]. 智能建筑,2010(3):42-45.
- [2] 苏珊,肖英,李行杰. 基于 STC 单片机的 $8 \times 8 \times 8$ LED 光立方系统设计[J]. 吉首大学学报(自然科学版),2013,34(6):33-36.
- [3] 胡阳. 新型旋转 LED 显示屏的研究[D]. 合肥:安徽理工大学,2013.
- [4] 虞沧. 基于单片机的光立方系统设计[J]. 电子测试,2015(6):28-30.
- [5] 康志强,汪佳,汤勇明. 基于 FPGA 的 3D 光立方设计[J]. 电子器件,2012,35(6):683-686.
- [6] 温才,唐丽红,赖永宽,等. 晶格结构三维模型“LED 光立方”的设计与制作[J]. 大学物理实验,2014,27(4):52-56.
- [7] 王欣,马青玉. 基于 Arduino 的 LED 光立方设计[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),2013,13(4):24-28.
- [8] 侯龙,刘海顺,刘庆玲,等. 基 STC12c5a60s2 单片机的 3D 显示屏设计[J]. 微型机与应用,2015,34(2):91-93.
- [9] 胡阳. 基于视觉暂留的动态扫描 LED 旋转屏[J]. 现代电子技术,2012,35(5):186-188.
- [10] 吴继发,陈特放. 单片机实现音频频谱显示的快速算法研究[J]. 电子设计工程,2009,17(11):70-71.

(责任编辑:肖锡湘)