

文章编号:1007-2780(2009)01-0103-07

LED 光带型交通诱导屏的设计

张 飙,徐和飞,张 玉,牛秦洲

(桂林工学院 电子与计算机系, 广西 桂林 541004, E-mail: zhangbiao@glite.edu.cn)

摘 要: LED 光带交通诱导屏是近年来出现的一类新型交通诱导屏。它由静态文字、图形路段标识区和镶嵌其中的 LED 光带组成,以图形方式呈现道路整体轮廓和走向。LED 光带可显示红、绿、黄三色,以之标示路段堵塞、畅通和拥挤三种路况信息。光带诱导屏控制部分由 1 台工控机和多台光带显示控制器构成,采用 RS-485 总线按自订通信协议以主从方式进行半双工通信。本文重点阐述了光带显示控制器的设计与实现。光带显示控制器主要由单片机、CPLD 和 RAM 构成。单片机的主要作用是通信处理并生成显示数据。对信源实施游程长度压缩编码保证了 LED 光带的及时更新。CPLD 可实现光带逐色灰度显示。单片机与 CPLD 共用外部 RAM,采用中断和软件定时策略解决了访问冲突问题。为简化印制版布线,提出了 CPLD 辅助单片机访问外部 RAM 的方案,采用 16 bit 恒流驱动芯片 MBI5027,其断开故障检测功能使系统无需检测电路,仅用软件就可实现 LED 检测。

关 键 词: LED 光带; 逐色灰度; 游程长度编码; LED 断开故障检测

中图分类号: TB113; TN312⁺.8 **文献标识码:** A

1 引 言

用于发布实时交通诱导信息的 LED 交通诱导屏是 LED 显示屏在智能交通领域中的一类重要应用。LED 交通诱导屏亮度高,显示颜色以红、绿、黄为主,显示亮度可调,具备远程控制 and 智能检测功能,在设计上对信息显示的实时性、准确性和可靠性都要求较高^[1,2]。光带交通诱导屏是一类新型交通诱导屏,由静态文字、图形路段标识区和镶嵌其中的 LED 光带构成,以图形方式呈现道路整体轮廓和走向。LED 光带通过显示红、绿、黄 3 种颜色,形象标识出各路段堵塞、畅通和拥挤的路况信息,起到交通诱导作用,可帮助驾驶员选择最佳行驶路线。光带交通诱导屏具有形象直观、信息量大、视认时间短以及信息可实时更新等优点,适用于城市公路交通干线中的路网密集地段。

2 系统结构及部件功能

图 1 为一个光带交通诱导屏的示意图。在诱导屏面板上,文字部分为固定显示内容。面板上镂空出光带形状,光带贴近面板背面安装,由 6×

4 像素模块级联构成。光带宽度为 6 个像素,每个像素点由 2 红、1 绿、2 黄共 5 个 LED 构成,像素间距为 22 mm。光带长度一般不固定且形状不规则(图 1 中光带长为 5.3 m)。因为整个光带屏面积较大,所以出于防水和维护考虑,光带被分区控制,最大分区数为 20。图 1 中分 6 个区,用了 6 个光带显示控制器,编号为 0~5,各个控制器都装在防护等级 IP65 的控制箱内。

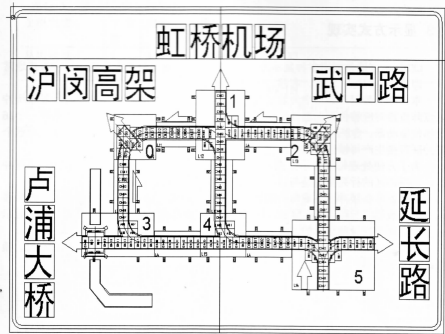


图 1 光带交通诱导屏

Fig. 1 LED light ribbon traffic guiding panel

图 2 是控制系统结构,由光端机、工控机和光带显示控制器构成。每块光带交通诱导屏都是城

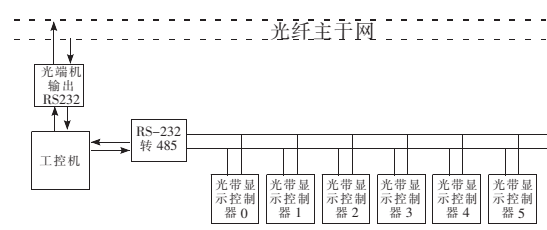


图 2 控制系统结构

Fig. 2 Architecture of control system

市交通控制光纤主干网上的一个信息显示终端，主控制室由光纤网以轮询方式与各块交通诱导屏通信。

光端机接收主控制室从光纤网上发来的数据，并转换为 RS-232 信号输出给工控机。工控机一方面把主控室数据重新编码后以轮询方式下发给光带显示控制器，另一方面向主控室反馈光带显示内容、状态和故障信息。工控机有 4 个 RS-232 串口，一个连接光端机与主控室通信，另一个用与光带显示控制器通信，其余 2 个用于调试或备用。光带显示控制器从工控机获取显示数据后可控制 LED 光带显示路况信息，还可向工控机回馈当前光带显示内容、状态和 LED 检测等信息。工控机与各光带显示控制器都接入 RS-485 总线，工控机为主控设备，以半双工方式轮询 6 个光带显示控制器。

3 光带显示与控制硬件组成

3.1 硬件选型及功能

光带显示与控制部分是设计的重点，其结构如图 3 所示。控制电路主要由单片机、CPLD、外部 RAM 和显示模块组成。系统时钟为 40 MHz，由晶体振荡器提供。

单片机采用 W78E52，其主要功能是完成与工控机的通信，生成显示数据并按灰度位平面存储到外部 RAM 固定地址空间。

- CPLD 主要有 3 个功能：
- (1)实现 LED 光带逐色灰度显示；
 - (2)辅助单片机完成对外部 RAM 的读写；
 - (3)进行 LED 断开故障检测。

实现灰度显示的关键在于快速移位。51 系列单片机工作频率低，无法实现快速移位，这里采用 Lattice 公司的 CPLD 4128V 来实现数据快速移位。这片 CPLD 内含 256 个宏单元，64 个 I/O

口，本设计中其工作频率等于系统时钟 40 MHz。

系统扩展一片读写周期为 15 ns 的 32K RAM IS61C256。该 RAM 分区使用，主要用于按灰度位平面存储显示数据，存储 LED 断开故障检测数据，作串行通信的收、发缓冲区。

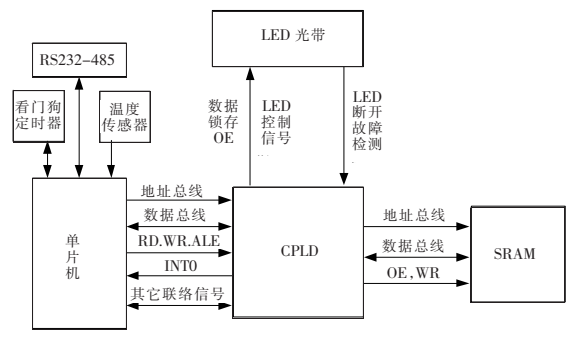


图 3 光带显示系统结构

Fig. 3 Architecture of display system for lighting ribbon

3.2 硬件连接

由图 3 可见，单片机的 P0 口、P2 口和 ALE. RD. WR 信号都连接到了 CPLD I/O 上。CPLD I/O 连接 RAM 的地址线、数据线及读写线。光带显示控制信号由 CPLD 输出，LED 断开故障检测信号由 CPLD 读入。单片机 INT0 信号连接 CPLD。系统中温度芯片 DS18B20 和看门狗芯片 X5045 都连接到单片机 P1 口上，其控制由单片机程序完成。

3.3 电源模块

RAM 和 CPLD 工作电压为 3.3 V，单片机为 5 V。为简化电源系统，采用单 5 V 供电，3.3 V 电平由三端稳压器 AMS1117 转换得到。AMS1117 相比 78xx 系列的优点是：正常工作时，输入电压与输出电压之差可低至 1 V，而 $5\text{ V} - 3.3\text{ V} = 1.7\text{ V} > 1\text{ V}$ ，可见采用单 5 V 供电所有元件都可正常工作。

3.4 显示电路结构

光带显示屏与普通 LED 显示屏一样，是由显示模块级联而成。采用聚积科技公司的 MBI5027 移位驱动芯片对 LED 管进行驱动。它有 16 路恒流输出，具有 LED 断开故障检测、施密特输入整形以及快速输出响应等特点^[3]。显示模块点阵为 $6 \times 4 = 24$ 像素，每个像素包含红、绿、黄三色，一个模块共需 $6 \times 4 \times 3 = 72$ 个控制通道，采用 5 片 MBI5027，使用其中 72 个通道，多余的 8

个不使用。通道电流设定为 20 mA, 电流大小由 MBI5027 的 23 脚 R-EXT 外接电阻阻值限定, 计算公式为:

$$R_{EXT} = 15 \times V_{R-EXT} / I_{OUT} \tag{1}$$

其中 V_{R-EXT} 取 1.26 V^[2], $I_{OUT} = 20$ mA, 经计算得 $R_{EXT} = 945 \Omega$ 。

由于恒流效果与 R_{EXT} 直接相关, 因此采用 1% 精度电阻以保证显示亮度均匀。

4 外部 RAM 访问

由图 3 知, 单片机与 RAM 没有物理连接, 二者的地址线、数据线和读写线都连到了 CPLD I/O 上。这样做虽然简化了 PCB 板布线, 但却使单片机必须在 CPLD 配合下才能访问 RAM, 而且单片机和 CPLD 不能同时访问 RAM, 本节将解决这些问题, 并在最后给出 RAM 地址空间分配表。

4.1 单片机访问外部 RAM

结合图 4, 首先给出单片机如何在 CPLD 配合下完成对 RAM 的读操作。在 ALE 下降沿, CPLD 从 P0 口和 P2 口获得单片机发出的 RAM 地址。在 RD 下降沿, CPLD 得知单片机要从 RAM 读数据, 随后 CPLD 将地址和读信号输出给 RAM。RAM 吐出 8 位数据后, CPLD 把 8 位数据放到 P0 口上。在 RD 上升沿, 单片机从 P0 口取走 8 位数据。可以看到, 单片机发出的地址和读到数据都由 CPLD 中转, 由于 CPLD 运行速度是单片机的 12 倍, 当单片机取数据时, CPLD 已早从 RAM 读出数据并放到 P0 口上了, 保证了单片机能正确读到数据。

单片机写外部 RAM 方法类似。在 ALE 下降

沿, CPLD 获得地址。在 WR 下降沿, CPLD 获知单片机要写外部 RAM, 并得到写数据。随后 CPLD 将数据、地址和写信号输出到 RAM。在 WR 上升沿, 单片机结束本次写操作。实际上在 WR 上升沿之前, 数据早已写入 RAM 中。上述读、写操作均由 VHDL 程序实现。

4.2 CPLD 访问外部 RAM

CPLD 只在两种情况下访问 RAM: 一是获取光带显示数据并移位输出时, 对 RAM 进行读操作; 二是存储 LED 断开故障检测数据时, 对 RAM 进行写操作。两种情况下 CPLD 都要求在一段时间内一直占用 RAM。为防止单片机也在此期间访问 RAM 并引发冲突, CPLD 会在访问 RAM 前申请 INT0 中断。单片机响应 INT0 中断后就释放 RAM 控制权进入等待状态。等待一定时间后, 单片机重新控制 RAM。

等待时间由 CPLD 连续占用 RAM 时间决定。由第一种情况进行计算, 移位频率取 15 MHz, 每移 1 bit 数据需要 2 个周期, 即 134 ns。CPLD 读 RAM 频率为 40 MHz, 每读 1 个字节需 2 个周期, 即 50 ns。

CPLD 占用 RAM 时间 = 移位时间 + 读 RAM 时间。其中:

最大移位时间 = 1 块板总通道数 × 最大板数 × 1 bit 数据移位时间 = 80 × 20 × 134 ns = 215 μs;

最大读 RAM 时间 = 1 块板字节数 × 最大板数 × 每字节读时间 = 10 × 20 × 50 ns = 10 μs;

可见 CPLD 占用 RAM 最大时间为 225 μs, 这样单片机响应 INT0 中断后等待时间应不少于 225 μs。

由于单片机与工控机要一直保持通信, 因此等待时间有上限。当单片机串行口收到 1 字节后, 若超过一定时间不处理, 该字节就会被下一个收到字节覆盖, 从而导致通信帧接收失败。单片机串行口接收器采用双缓冲结构, 在前一字节从 SBUF 读出之前, 第二字节就开始接收, 只有当第二字节接受完毕而前一字节仍未被 CPU 读取时, 前一字节才会被后一字节覆盖而丢失^[4]。可见, 等待时间上限应小于单片机串行口接收 1 个字节的时间。按本设计 19 200 波特率计算, 1 字节接收时间为 520 μs, 大于单片机的最大等待时间 225 μs。单片机在 INT0 中断服务程序中采用指令延时 300 μs, 可保证不影响串行通信。为了

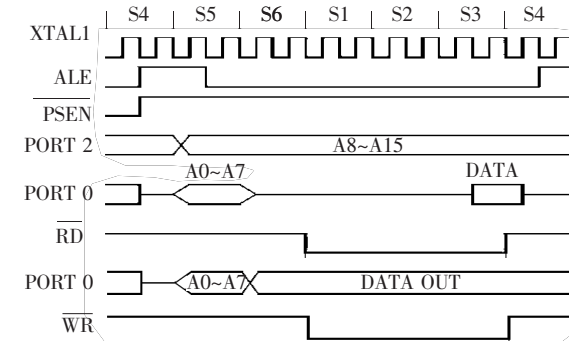


图 4 单片机读写外部 RAM 时序图

Fig. 4 Timing diagram for MCU reading and writing external RAM

防止其它中断引发中断嵌套调用,设置 INT0 中断为高优先级,确保 CPLD 占用 RAM 期间不会被打断。CPLD 在第二种情况下访问 RAM 的分析方法与此类似。

4.3 外部 RAM 地址空间分配

由 3.1 节可知:外部 RAM 地址空间分区使用,显示数据按照灰度位平面分配在固定的两个

地址区内。CPLD 进行 LED 断开故障检测时,将检测数据写入 RAM 固定区域,使单片机可从相同地址空间获得检测数据。单片机与工控机串行通信的收、发缓冲区都是 1K 字节环形缓冲区,也在 RAM 中分配了固定地址空间。表 1 给出了 RAM 主要地址空间分配情况,其中灰度位平面、显示时间和计数范围等内容将在 6.2 节进行说明。

表 1 RAM 地址空间分配及灰度显示控制
Table 1 Arrangement for RAM address and control of gray display

灰度位平面	显示时间 (μ s)	计数范围	显示数据地址 空间分两个区	LED 断路检测 地址空间	通信发送缓冲 区地址空间	通信接收缓冲 区地址空间
Gray 0	1111	0~44439	7F00H~7FC8H 或 7B00H~7BC8H			
Gray 1	2222	44440~133319	7E00H~7EC8H 或 7A00H~7AC8H	7000H~70C8H	6000H~6400H	6800H~6C00H
Gray 2	4444	133320~311079	7C00H~7CC8H 或 7900H~79C8H	7000H~70C8H	6000H~6400H	6800H~6C00H
Gray 3	8888	311080~666599	7D00H~7DC8H 7800H~78C8H	7000H~70C8H	6000H~6400H	6800H~6C00H

5 通信设计

5.1 通信硬件及协议设计

单片机与工控机间串行通信,可使单片机获取更新的显示数据,也可使工控机查询光带显示状况及获取 LED 故障信息。通信采用 RS-485 总线,方式为半双工。工控机作主机,以轮询方式与作为从机的 6 个单片机通信。工控机串口径研华公司 ADAM RS232-485 转换器接入 RS-485 总线,单片机串口则经光电隔离器 6N137 和 RS-485 转换芯片 MAX485 接入。为防止浪涌信号损害 MAX485 芯片,在其差分线对跨接 TVS 管 P6KE6.8CA。

RS-485 总线只制订了物理层电气标准,对上层通信协议没有规定,这样设计者须制订专用通信协议。一套完整协议要从多方面考虑,应具有结构简单、功能完备、可扩展性和可兼容性好等特点^[5]。本系统根据光带显示屏特点制订了专用通信协议。

通信模式采用标准异步串行通信,波特率为 19 200 bit/s,每个数据包括 1 位起始位、8 位数据位和 1 位停止位。每个通信帧都包括帧头(1 字

节)、目标地址(1 字节)和帧类型(1 字节)、帧数据、校验(2 字节)和帧尾(1 字节)。帧头固定为 FCH,帧尾固定为 FBH。主要的帧类型及其功能如表 2 所示。帧类型不同,帧数据长度也不一定相同。光带数据帧长度会随单片机控制的光带模块数而变化。校验采用 CRC 方式,校验值为目标地址、帧类型和帧数据 3 部分的 CRC 计算值。

表 2 帧类型码及功能
Table 2 Types and functions of frame

帧类型	功 能
30H	设置 LED 亮度及红、绿、黄颜色的灰度级
31H	设置显示内容
32H	启动 LED 断开故障检测
33H	读取 LED 显示状态,箱门开关,箱内温度等
34H	读取 LED 断开故障信息

5.2 显示数据编码

每块 LED 光带显示屏只是整个交通信息光纤网络上众多设备中的一个,为及时发布交通信息,每个设备都被分配了最长 1 次通信时间。分配到工控机和每个光带显示控制器的最长 1 次通

信时间为 25 ms。光带和路段对应,路段长短不同对应的光带点阵数量也不同。光带板上最短水平方向路段需 4 列,每列 6 个像素;最短垂直方向路段需 4 行,每行 6 个像素。最短路段共需 $6\times4=24$ 个像素表示,同一路段交通状况相同,则 24 个像素颜色一定相同。24 个像素传输时需要 4 字节(颜色 1 字节,数据 3 字节)。按照波特率 19 200 bit/s 计算,传送 1 字节数据约为 0.52 ms,则 25 ms 只够传送 48 字节,而通信协议规定控制器驱动模块数最大为 20 块,即 80 字节。这样 1 次通信不能传输全部数据,若采用多次通信则会影响光带数据更新的及时性。

为解决上述问题,对显示数据施行信源无损压缩编码后再传送,就可保证一次通信完成数据更新。数据间只要存在冗余就可以压缩,冗余表现为数据间的相关性,相关性强则压缩率大^[6]。光带显示数据就表现出很强的相关性,可依据游程长度编码原理进行压缩编码^[7]:颜色用 1 字节表示。游程长度用 1 字节表示,游程长度最短为 24,加 6 递增,最长为 252。当游程长度超过 252 时,重复编码一次,即颜色 1 字节,游程长度 1 字节。1 个单片机最多控制 20 个光带模块,即 480 像素。当所有路段交通状况相同时压缩率最大,只需 4 个字节就可表示;当相邻路段交通状况互不相同同时压缩率最小,这样每个路段都需 2 字节表示,共 40 字节小于 25 ms 能传送的 48 字节。因此,使用游程长度压缩编码后就能够保证一次通信传输全部数据。

6 光带逐色灰度显示的实现

6.1 逐色灰度的必要性

与图像显示不同,光带上红、绿、黄三种颜色中任一种颜色只需使用相同灰度级显示,本文称其为逐色灰度,灰度级数设计为 16 级。为红、绿、黄 3 种颜色设置灰度级是为了在不同天气和一天中不同时间段,红、绿、黄 3 种颜色交错显示时都有较好的对比度,从而使驾驶员能快速获知路况信息。

6.2 逐色灰度有限状态机的实现

光带屏为 16 级灰度,使用 4 个灰度位平面:Gray 0、Gray 1、Gray 2、Gray 3。各灰度位平面显示时间分别为 $T,2T,4T,8T$,按刷新频率 60 Hz 计算, $T=1\,111\,\mu\text{s}$,则 4 个灰度位平面显示时间

分别为 $1\,111\,\mu\text{s},2\,222\,\mu\text{s},4\,444\,\mu\text{s}$ 和 $8\,888\,\mu\text{s}$ 。整个灰度显示过程由 Moore 有限状态机控制。以 4 个灰度位平面显示作为 4 个状态。状态的转换由 20 位计数器的计数值决定(计数频率为 40 MHz)。状态转换如图 5 所示。4 个状态对应的计数值范围及读取显示数据的地址范围如表 1 所示。当计数值超过 666 599 后,20 bit 计数器归零。每个状态对应触发一个灰度位平面显示,显示过程包括:CPLD 申请单片机 INT0 中断,中断响应后 CPLD 从 RAM 读取显示数据并以频率 15 MHz 移位输出给 MBI5027,移位期间仍显示上一个灰度位平面,移位结束后开始显示新的灰度位平面。

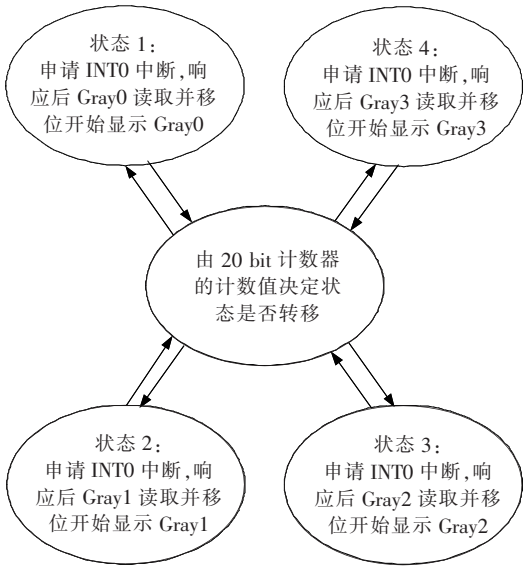


图 5 显示状态转换

Fig. 5 Transfer for display state

光带显示内容的更新只能在单片机按位处理完所有更新数据并存放到 RAM 固定位置后,才允许 CPLD 读取并移位输出新数据。但灰度显示必须定时输出各灰度位平面数据,无法顾及新的显示数据是否准备好。为防止新、旧数据混迭显示,RAM 显示数据空间被分为 Ready 和 Display 两个区,如表 1 所示。两区乒乓操作,Ready 区总是由单片机写入新的显示数据,CPLD 则总是读取并移位输出 Display 区数据。当新显示数据被单片机在 Ready 区全部处理完毕,Ready 区和 Display 区进行功能切换,原 Ready 区变成 Display 区,原 Display 区变成 Ready 区。由于 CPLD 总是读取并移位出 Display 区内容,通过

Ready 区和 Display 区乒乓切换,光带显示内容就能不断更新了。

7 LED 断开故障检测

7.1 MBI5027 断开检测功能

MBI5027 具有断开故障检测功能,无需检测电路就能获取光带上 LED 故障信息。LED 故障信息由 CPLD 检测获得,主控室根据检测数据生成模拟显示后可确定出坏点数量和位置,便于显示模块的维修。

MBI5027 的 LE 和 OE 引脚输出特定时序就可进入断开故障检测模式。此模式下每个 MBI5027 可检测其 16 个输出通道驱动的 LED 连接情况,并将检测结果存入内部移位寄存器中。CPLD 按特定时序可从 SDO 引脚串行读出各点检测信息,从而获知发生断开故障的 LED 物理位置。

以 1 片 MBI5027 为例进行说明。先移位输出全“1”数据给 MBI5027,再将 OE、LE 按特定时序输出后进入断开故障检测模式,然后置低 OE 并保持 2 μs 以上,就可从 SDO 引脚读取检测数据,最先读出的是第 15 输出口连接状态。输出为“0”对应 LED 发生故障,输出为“1”则为正常。全部读出后,又控制 OE、LE 使 MBI5027 回到正常驱动模式。当多片 MBI5027 级联使用时,最先读出的是最后一片的第 15 输出口信息。详细描述

及时序见参考文献[2]。

7.2 断开故障检测实现

检测数据是由最后 1 片 MBI5027 的 SDO 引脚串行输出,经 74HC244 驱动后经级联模块的 20 芯扁平电缆线中的 1 芯,一直传到与 CPLD 连接的第 1 个模块,使 CPLD 获得检测数据。CPLD 每收到 8 bit 检测数据后,就将其写入外部 RAM 检测数据区。

由于检测数据与移位数据共用 MBI5027 内部移位寄存器,如果检测未完成又进行数据移位,检测数据就会被移位数据覆盖,因此检测过程和移位过程在时间上不允许重叠。当单片机发出检测命令后,CPLD 只会在下一次数据移位输出完成后进行 LED 断开故障检测。

8 结 论

介绍了光带交通诱导屏的设计方法,阐述了光带显示及控制的设计过程。利用游程长度压缩编码算法实现了 LED 光带及时更新,通过 CPLD 有限状态机设计实现了逐色灰度显示。运用 MBI5027,无须检测电路,仅靠软件实现了 LED 断开故障检测。利用中断及软件定时策略解决了单片机与 CPLD 访问外部 RAM 的冲突问题,CPLD 辅助单片机访问 RAM 简化了 PCB 布线。现在,该系统已在国内几大城市投入使用,达到了预期的交通诱导效果。

参 考 文 献:

- [1] 赵才荣,刘金娥,丁铁夫. 室外 LED 显示及其在交通领域的应用 [J]. 电视技术, 2008, 276(6):94-96.
- [2] 王飞,靳桅,邬芝权,等. LED 大屏幕输出电路的优化设计 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(1):102-105.
- [3] Macroblock, Inc. MBI5027 Preliminary Datasheet [M]. Taiwan: Miroblock Inc., 2003:6-18.
- [4] 戴胜华,蒋大明,杨世武,等. 单片机原理与应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2005:126-127.
- [5] 鲍延杰,杨新志. 基于 RS-485 总线的 PC 与多单片机间串行通信 [J]. 电子技术, 2002,(10):9-10.
- [6] 张春田,苏育挺,张静. 数字图像压缩编码 [M]. 北京:清华大学出版社, 2006:76-78.
- [7] 田秀伟,郑喜凤,丁铁夫. 基于 SOPC 的 LED 显示屏控制器设计[J]. 液晶与显示, 2007,22(6):737-741.

Design of LED Light Ribbon Traffic Guiding Panel

ZHAND Biao, XU He-fei, ZHANG Yu, NIU Qin-zhou

(*Department of Electronic and Computer Engineering, Guilin University of Technology,
Guilin 541004, China, E-mail: zhangbiao@glte.edu.cn*)

Abstract

As a new traffic guiding panel, LED light ribbon traffic guiding panel appears in recent years. On the panel, static text and route segment are shown to indicate outline and direction of roads. Traffic condition of roads, such as block, smooth and congestion are expressed by different LED colors: red, green and yellow. Control system of panel consists of an industry computer and many LED light ribbon display controllers, which all connect to RS-485 bus. The system adopts half-duplex mode and self-defined communication protocol. This paper chiefly presents design and implementation for light ribbon display controller. Each controller mainly composes of MCU, CPLD and RAM. MCU performs the task of producing display data and dealing with communication, CPLD accomplishes gray display that same color has same gray. Run length compress code is employed to ensure refreshing LED light ribbon quickly. Visiting conflict that MCU and CPLD visit the same RAM in same time can be avoided by applying interruption and software timing strategy. A method which MCU visits RAM assisting by CPLD leads to simplifying PCB wire arrangement. 16 bit constant current driver MBI5027 with function of LED open circuit error detecting makes LED detecting carry out only by software without circuit.

Key words: LED light ribbon; same color with same gray; run length encoding; LED open circuit error detecting

作者简介:张飙(1969—),男,四川开江人,硕士,讲师,主要从事 LED 显示技术及数字图像处理研究。