

LED智能玻璃映射系统设计

熊木地, 郭俞君, 孙宇航

引用本文:

熊木地, 郭俞君, 孙宇航. LED智能玻璃映射系统设计[J]. 液晶与显示, 2020, 35(10): 1019–1025.

XIONG Mu-di, GUO Yu-jun, SUN Yu-hang. Design of mapping software for LED smart glass display[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(10): 1019–1025.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203510.1019>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于 Android 控制的 LED 点阵显示设计与实现

Design and implementation of matrix LED display based on Android control

液晶与显示. 2016, 31(11): 1064–1069 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163111.1064>

一种大功率低噪声的智能可调LED驱动设计方法

Design method for high power and low noise intelligent adjustable constant current source

液晶与显示. 2018, 33(9): 778–786 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183309.0778>

基于4G-LTE的脱机LED控制系统的设计

Design of off-line led control system based on 4G-LTE

液晶与显示. 2018, 33(1): 55–60 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183301.0055>

无线分布式LED交通诱导屏设计

Design of distributed LED variable message sign with wireless network

液晶与显示. 2015(3): 451–458 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153003.0451>

基于 FPGA 的 LED 屏控制器设计

Design of LED screen controller based on FPGA

液晶与显示. 2015(5): 838–843 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153005.0838>

文章编号:1007-2780(2020)10-1019-07

LED 智能玻璃映射系统设计

熊木地*, 郭俞君, 孙宇航

(大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026)

摘要:不同规格的 LED 智能玻璃显示屏由于制作工艺以及应用现场实际需求等原因,其内部的 LED 点阵连接顺序不尽相同,因此在实际应用时需要对硬件控制器进行硬件程序的重新编写以实现 LED 智能玻璃显示屏视频的正确播放,给产品的应用带来了诸多不便,因此本文提出一种将视频像素点与 LED 智能玻璃点阵相映射的上位机软件设计。本系统采用 Piccolo 框架搭建节点与“子”节点来实现 LED 智能玻璃的 LED 点阵映射图绘制,使用 Socket 网络编程实现映射图的远程传输,从而实现 LED 智能玻璃的点亮显示。在实际应用中,只需在上位机界面进行 LED 智能玻璃的点阵绘制,即可实现 LED 智能玻璃的显示点亮。此映射软件的设计使驱动 LED 智能玻璃显示的硬件系统具有更强的适应性、灵敏性和通用性,提高了施工的效率。

关键词:LED 智能玻璃显示;点阵映射;Piccolo 框架;Socket 网络编程

中图分类号:TP319 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/YJYXS20203510.1019

Design of mapping software for LED smart glass display

XIONG Mu-di*, GUO Yu-jun, SUN Yu-hang

(*Information Science and Technology College,
Dalian Maritime University, Dalian 116026, China*)

Abstract: The different specifications of LED smart glass display screens have different LED dot matrix connection sequences due to the manufacturing process and the actual requirements of the application site. Therefore, in actual applications, it is necessary to rewrite the hardware program to realize the lighting of the LED smart glass display screens. It brings a lot of inconvenience to the application of the product, so it is proposed to a PC software design for mapping video pixels to the LED smart glass dot matrix. The Piccolo frame is used to build the node and the “child” node to realize the mapping of the LED smart glass display. The Socket network programming is used to realize the remote transmission of the mapping data. In practical application, only the dot matrix drawing of LED intelligent glass on the upper computer interface can realize the display lighting of LED intelligent glass. The design of the mapping software makes the hardware system driving the LED smart glass display more adaptable, sensitive and versatile, and improve the efficiency of construction.

Key words: LED smart glass display; lattice mapping; Piccolo framework; Socket network programming

收稿日期:2020-03-18;修订日期:2020-05-24.

基金项目:中央高校基本科研业务费专项基金(No.01770327);中国海事局科技专项基金(No.0716-13400003N008)

Supported by Special Fund for Basic Scientific Research Business Expenses of Central Universities(No. 01770327); Science and Technology Fund of China Maritime Safety Administration (No. 0716-13400003N008)

* 通信联系人, E-mail: xiongmudi@qq.com

1 引言

随着 LED 显示技术的不断成熟与进步, LED 显示屏被广泛应用于金融、体育馆等公众场所的电子图文显示^[1-6]。而 LED 智能玻璃显示屏技术最早由德国提出,我国于 2006 年开始了对它的工艺以及控制方法研究,目前依旧处于初级阶段。LED 智能玻璃显示屏在结构组成上与传统 LED 显示屏相近,主要由间隔固定的彩色 LED 点阵组成,通过对输入 LED 信号的占空比控制,实现特定亮度以及颜色的显示^[7-8]。LED 智能玻璃显示屏在具有传统 LED 显示屏特性的同时,还可以根据周围的景观或是环境的风格设计创意视频,实现建筑与周围景观的完美结合,提升整体效果以及格调,表现出一定的艺术性以及观赏性的景观一体特性,使其更受各类应用领域欢迎。

LED 智能玻璃显示屏的控制方式与传统 LED 显示屏的同步控制方式类似,但由于 LED 智能玻璃显示屏具有很强的发散性,不同规格

LED 智能玻璃其内部的 LED 点阵排列方式不同,所以需要将通过 HDMI (High Definition Multimedia Interface) 或 VGA (Video Graphics Array) 等视频接口输入至控制单元的视频数据进行重新排序再发送至后续驱动电路^[9-10]。当前针对不同的室外 LED 智能玻璃需要更改控制器代码才可以实现显示,给产品的应用带来了诸多不便。

本文设计了一种可用于不同规格 LED 智能玻璃显示屏,将视频像素点与 LED 智能玻璃显示屏中的 LED 点阵相映射的上位机软件。在实际应用中,只需在上位机界面进行可视化的 LED 智能玻璃的点阵绘制,即可实现 LED 智能玻璃的显示,提高施工效率。

2 LED 智能玻璃显示系统构成

LED 智能玻璃显示系统总体设计如图 1 所示,主要包括视频生成系统、坐标映射系统、MCU 控制器以及驱动系统。

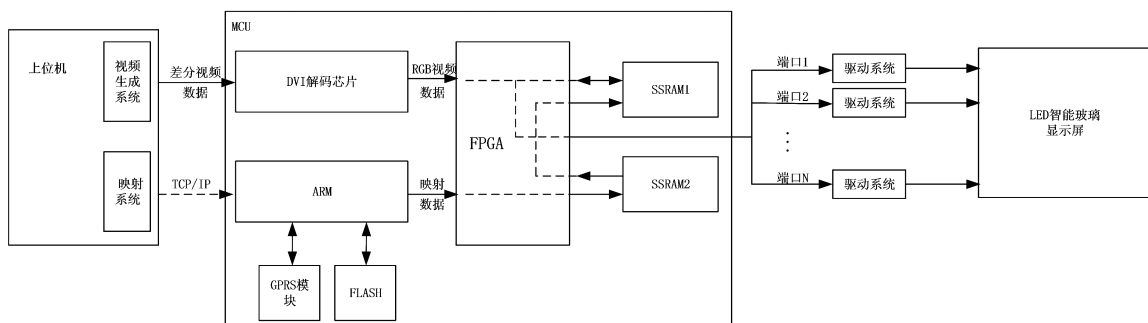


图 1 LED 智能玻璃显示系统总体设计

Fig.1 Overall design of LED smart glass display system

上位机中的视频生成系统主要生成对应 LED 智能玻璃的分辨率的视频,之后通过 DVI 解码芯片将 RGB 视频数据传送到现场可编程门阵列(FPGA),并按地址递增方式存储在 FPGA 的外接 SSRAM1 (Synchronous Static Random Access Memory) 中。

上位机中的映射系统主要实现生成 LED 智能玻璃对应的映射数据,即 FPGA 的 SSRAM1 的读地址表。之后映射数据通过网络传输至 ARM 的外挂 FLASH 中进行存储(以防掉电丢失数据),然后发送至 FPGA 的外接 SSRAM2 中

按地址递增暂存,通过按地址递增方式读取 SSRAM2 的数据作为 SSRAM1 的地址来读取 SSRAM1 中的 RGB 数据,之后对数据进行并转串处理传送给驱动系统。驱动系统采用专用的驱动芯片,将数据串行移位和并行输出,从而实现对 LED 智能玻璃的显示。对于大规格的 LED 智能玻璃采用级联方式进行拼接显示。

对于不同 LED 智能玻璃,只需在映射系统进行可视化绘制即可实现显示,不需要对硬件控制器进行硬件程序的重新编写,使整个 LED 智能玻璃显示系统在使用上更加灵活。

3 映射系统设计

此设计中上位机的最大显示分辨率为 $1\,024 \times 768$ 。上位机中的视频源采用逐行扫描方式存储到控制器外挂的 SSRAM1 中,即 SSRAM1 中的数据存储是从屏幕左上角的第一行开始逐行进行

存储,直到一帧结束。SSRAM1 的一个地址存储一个像素点 RGB 数据,则一个 $1\,024 \times 768$ 显示分辨率需要 $1\,024 \times 768$ 个 SSRAM1 地址去存储一帧的 RGB 数据。上位机部分视频像素点分布如图 2 所示,图中数字表示上位机的视频像素点的存储顺序。

不同规格的 LED 智能玻璃其内部的 LED 点

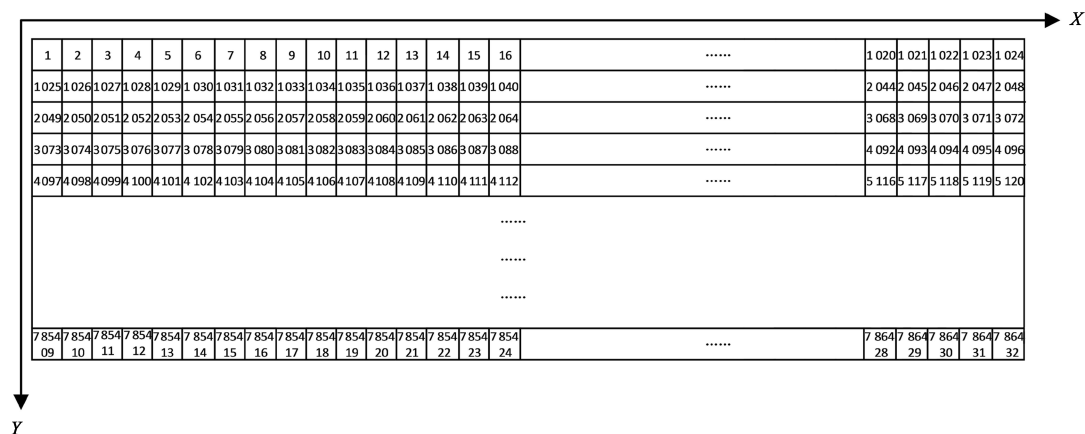


图 2 上位机部分视频像素点分布

Fig.2 Video pixel distribution of the upper computer

阵排列可以看作是由若干个相同的块按照不同的方式排列组成。本文中 LED 智能玻璃分辨率为 16×16 ,其 LED 点阵如图 3 所示,图中数字表示 LED 智能玻璃的 LED 点亮顺序。为实现 LED

智能玻璃视频显示,需要将上位机上的每个像素点与 LED 智能玻璃上的 LED 相对应。

LED 智能玻璃映射系统设计,主要是先建立一个二维坐标画布,然后在此画布上绘制端口与端口内部 LED 点阵排列位置,生成 LED 智能玻璃的映射图,再通过网络传输到控制器中。当 LED 智能玻璃分辨率发生变化,或是 LED 智能玻璃的某一区域显示要进行改动时,只需重新绘制映射图,便可更新 LED 智能玻璃显示。

LED 智能玻璃映射系统支持最大映射分辨率 $1\,024 \times 768$,级联的小模块支持 8×8 、 16×16 、 24×24 。对于 16×16 尺寸的 LED 智能玻璃在映射界面上可将其绘制为 4 个 8×8 或一个 16×16 模块(按照实际 LED 智能玻璃布线方式选取),本文以 4 个 8×8 为例,使用两个端口进行 LED 智能玻璃的级联显示。 16×16 LED 智能玻璃分割如图 4 所示,将 LED 智能玻璃分割为 2 大行 2 大列,图中一个 8×8 大小的模块为一个块,每个带有数字的方框为一个 LED 块,数字标号代表在一个块中的 LED 的点亮顺序。

3.1 绘制映射图界面设计

映射系统设计是利用.Net 平台进行应用开

131	130	129	128	132	133	134	135	120	121	122	123	127	126	125	124
140	141	142	143	139	138	137	136	119	118	117	116	112	113	114	115
147	146	145	144	148	149	150	151	104	105	106	107	111	110	109	108
156	157	158	159	155	154	153	152	103	102	101	100	96	97	98	99
163	162	161	160	164	165	166	167	88	89	90	91	95	94	93	92
172	173	174	175	171	170	169	168	87	86	85	84	80	81	82	83
179	178	177	176	180	181	182	183	72	73	74	75	79	78	77	76
188	189	190	191	187	186	185	184	71	70	69	68	64	65	66	67
195	194	193	192	196	197	198	199	56	57	58	59	63	62	61	60
204	205	206	207	203	202	201	200	55	54	53	52	48	49	50	51
211	210	209	208	212	213	214	215	40	41	42	43	47	46	45	44
220	221	222	223	219	218	217	216	39	38	37	36	32	33	34	35
227	226	225	224	228	229	230	231	24	25	26	27	31	30	29	28
236	237	238	239	235	234	233	232	23	22	21	20	16	17	18	19
243	242	241	240	244	245	246	247	8	9	10	11	15	14	13	12
252	253	254	255	251	250	249	248	7	6	5	4	0	1	2	3

图 3 16×16 规格的 LED 智能玻璃的 LED 点阵分布

Fig.3 LED dot matrix distribution of 16×16 LED display

Block 1								Block 0							
3	2	1	0	4	5	6	7	56	57	58	59	63	62	61	60
12	13	14	15	11	10	9	8	55	54	53	52	48	49	50	51
19	18	17	16	20	21	22	23	40	41	42	43	47	46	45	44
28	29	30	31	27	26	25	24	39	38	37	36	32	33	34	35
35	34	33	32	36	37	38	39	24	25	26	27	31	30	29	28
44	45	46	47	43	42	41	40	23	22	21	20	16	17	18	19
51	50	49	48	52	53	54	55	8	9	10	11	15	14	13	12
60	61	62	63	59	58	57	56	7	6	5	4	0	1	2	3

3	2	1	0	4	5	6	7	56	57	58	59	63	62	61	60
12	13	14	15	11	10	9	8	55	54	53	52	48	49	50	51
19	18	17	16	20	21	22	23	40	41	42	43	47	46	45	44
28	29	30	31	27	26	25	24	39	38	37	36	32	33	34	35
35	34	33	32	36	37	38	39	24	25	26	27	31	30	29	28
44	45	46	47	43	42	41	40	23	22	21	20	16	17	18	19
51	50	49	48	52	53	54	55	8	9	10	11	15	14	13	12
60	61	62	63	59	58	57	56	7	6	5	4	0	1	2	3

图 4 16×16 LED 智能玻璃分割

Fig.4 Segmentation of 16×16 LED display

发,使用 Visual C# 语言进行编写开发。C# 是一种简单、现代、面向对象的和类型安全的编程语言,与 C++ 相比,其增强了抽象描述能力,屏蔽底层实现细节,提高了软件生产率过程^[11-12]。本系统采用桌面应用程序 Winform 开发^[13]。用户通过控件与应用程序进行交互。

绘制映射图界面设计主要在一个空白画布中进行顺序块绘制以及在各块中进行顺序 LED 块绘制,每个 LED 块可以有局部坐标显示,且整个画布可以进行放大缩小、块可平移等操作。

本系统中主要使用 Elegant Ribbon .NET WinForms 控件作为父窗体,使用 Piccolo 相关程序集实现界面的缩放和动画功能,所有的 Piccolo 接口需要放在 PCanvas 以便用户可以查看视图并与之交互,所以本系统添加 PCanvas 控件并将其作为系统中绘制映射图的空画布^[14]。

Piccolo 是一个构建可用于缩放用户界面的框架^[5],可实现元素的缩放、移动等功能。Piccolo 类层次结构如图 5 所示,PNode 节点是 Piccolo 的核心设计概念,在画布上进行绘制的节点都需要继承此节点。绘制在屏幕上的节点可以添加其他的“子”节点,本系统中映射图的绘制是通过建立节点、将各节点集合进行分组以及添加“子”节点方式来实现各块以及块中 LED 块的绘制。本系统软件编程中创建了一个继承 PNode 类的 BlockNode 类,作为块类,在 BlockNode 节

点下又添加 LEDBlock“子”节点作为一个块中映射的各个 LED。PCamera 摄像机节点,包含需要视图转换的节点和层节点,Piccolo 具有事件侦听器,当用户有缩放或移动交互时,事件侦听器通过操作摄像机节点的视图转换来创建缩放移动效果。Piccolo 中的节点转换,本质是一个坐标系的转换,每个节点都有其局部坐标和全局坐标,可相互转换。对于 PLayer 层节点,新节点通常添加到画布的层节点,在层节点中的节点可以被摄像机捕捉,进而实现视图转换。本系统中利用层节点建立了一个网格图层,画布左上角坐标为(0,0),横纵坐标的间隔都是 1 像素,便于查看各个 LED 的局部坐标。PRoot 充当 Piccolo 运行时结构中的最顶层节点,所有绘制的节点都是它的直接子节点或其子节点的后代,可与 PCanvas 进行通信,以管理屏幕上节点绘制的更新以及分配各子节点对事件进行处理。

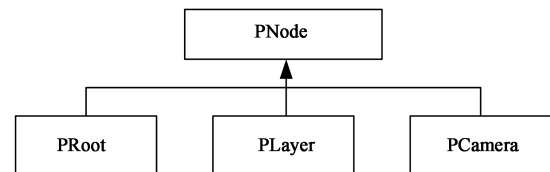


图 5 Piccolo 类层次结构

Fig.5 Class hierarchy of Piccolo

Piccolo 运行时结构如图 6 所示。PRoot 位于顶部,每个 PCamera 节点通常至少与一个 PLayer 层节点相关联进行查看视图转换,本系统中将 PLayer 层节点与 PCanvas 相关联,所以当画布上有新的事件输入时,Camera 会进行捕捉并做出相关事件的处理,图中的 PImage、PText、PPath 都是 Piccolo 默认定义的节点。

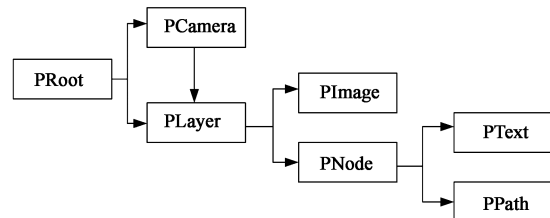


图 6 Piccolo 运行时结构

Fig.6 Runtime structure of Piccolo

绘制的每个块都有端口号和端口号中的块顺序编号属性。绘制的每个 LED 块都有 id、x、y 的属性值,id 是用来表示 LED 智能玻璃上 LED 的

点亮顺序, x 、 y 表示 LEDBlock 在画布上的坐标,通过“ $x+1\ 024y$ ”的公式可以计算出所绘制的 LED 对应的实际屏幕像素点的位置即 SSRAM1 的读地址,即要将此数据发送到控制器中。映射数据的发送顺序是先发送端口 1 中的 Block0 中的 LEDBlock id0、LEDBlock id1...,直到 Block0 中的 LEDBlock 都发送完成,再发送端口 1 的 Block1 中的所有 LEDBlock。当端口 1 的所有 Block 都发送完成,再发送端口 2 的所有 Block...,依次循环,直到画布上的所有绘制的端口的数据全部发送完成才结束。在发送数据的过程中还会向控制器发送通信标志,当有的端口没有被绘制,或者有的端口中有的 Block 没有被绘制都会跳过,不进行任何数据的发送,不会造成端口映射数据错误。此系统中设定的一个 Block 中的 LEDBlock 的 id 最大为 256,一个端口中的 LED-Block 总个数最多为 2 048。

3.2 数据网络传输设计

.Net 拥有 C/S、B/S 两种交互模式^[15],此映射系统网络编程采用的是 C/S 模式,编写的是服务器端向客户端发送映射数据信息的一个 Windows 桌面窗体应用程序。

TCP/IP 网络的应用程序使用 Socket 网络编程。Socket 在网络通信中被称作“套接字”^[16],用来描述服务器端、客户端的 IP 地址和端口号,在程序中作为通信链的句柄,主要用来进行网络请求的应答和发出网络请求。Socket 网络编程中 TCP 的 3 次握手建立连接如图 7 所示:

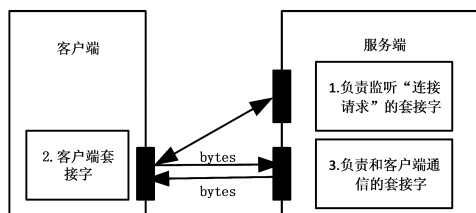


图 7 Socket 网络编程中 TCP 的 3 次握手建立连接

Fig.7 Three-way handshake establishment of TCP in Socket network programming

(1)服务器端监听端口(负责监听客户端是否有连接的信息);

(2)客户端连接服务器端的指定端口(负责接收和发送服务端信息);

(3)服务器端监听到客户端的连接,创建负责

通信的 Socket。

数据网络传输程序设计主要包括读取本机 IP 和端口号、设定监听队列、等待客户端的连接,当有客户端连接时可进行数据发送等流程,数据网络传输程序设计流程如图 8 所示。

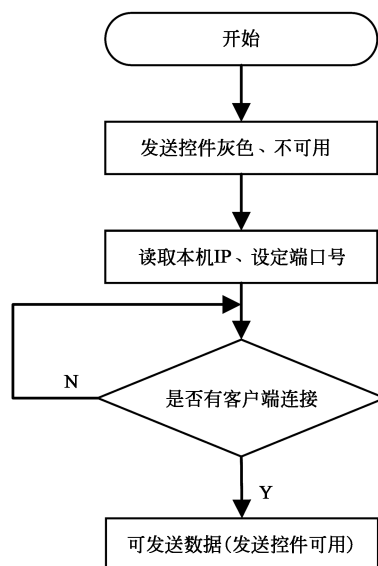


图 8 数据网络发送程序设计流程图

Fig.8 Design flow chart of data network transmission program

4 设计实现

LED 智能玻璃视频生成系统如图 9 所示,使用 LEDVISION 软件生成 LED 智能玻璃对应分辨率的视频,其中视频起点位置(1,0),分辨率为 16×16 。

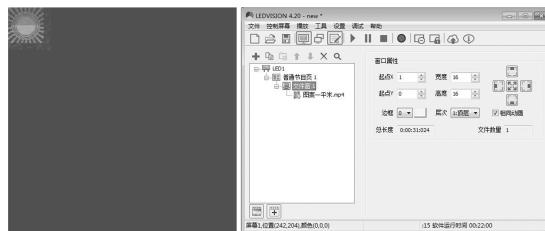


图 9 LED 智能玻璃视频生成系统

Fig.9 LED smart glass video generation system

LED 智能玻璃映射系统设计具体实现如图 10 所示,在画布中画了 4 个 8×8 的块,将鼠标放在块上会显示其对应的端口号和块编号。图中 1×1 方框中的数字编号是 LEDBlock 编号, 8×8

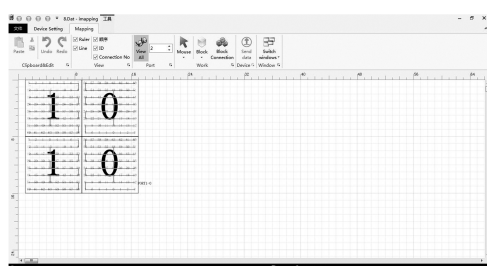


图 10 LED 智能玻璃映射系统设计具体实现

Fig.10 Design specific implementation of LED display mapping system

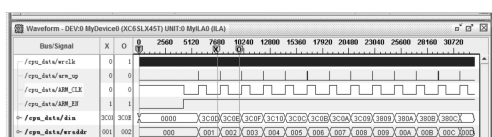


图 11 LED 智能玻璃映射数据发送到控制器

Fig.11 LED smart glass mapping data received by the controller

方框的数字编号为一个端口中的 Block 编号。

控制器接收到的 LED 智能玻璃映射数据如图 11 所示, wrclk、arm_up、ARM_CLK、ARM_EN 为控制信号, din 为 ARM 向 FPGA 传送的映射数据, wraddr 为暂存映射数据 SSRAM2 的写地址, 图中可看出第一个映射数据为 3C0D 十进制为 $15\ 373 = 13 + 15 \times 1\ 024$, 对应上位机映射图

中 $x=13, y=15$ 的像素点, 与 LED 智能玻璃内部的 LED 点阵的第一个显示像素点对应。

LED 智能玻璃显示如图 12 所示, 通过软件可视化绘制实现玻璃级联显示。

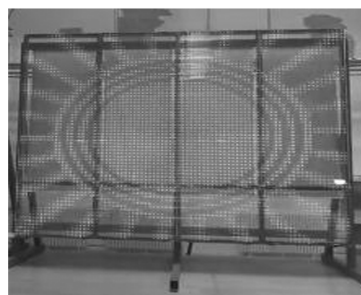


图 12 LED 智能玻璃显示

Fig.12 Display of LED smart glass

5 结 论

LED 智能玻璃映射系统设计是利用 Piccolo 框架建立节点、将各节点集合进行分组以及添加“子”节点方式来实现各块以及块中 LED 块的绘制来完成 LED 智能玻璃映射图的绘制, 利用 Socket 网络编程来实现数据的网络远程传输。此系统的设计使得驱动 LED 智能玻璃显示的硬件系统具有更强的适应性、灵敏性和通用性, 给产品应用带来了方便, 提高了施工效率。

参 考 文 献:

- [1] 高敏. LED 显示屏发展综述[J]. 电子制作, 2015(8): 107.
GAO M. Overview of led display development [J]. *Practical Electronics*, 2015(8): 107. (in Chinese)
- [2] 张芳, 樊柯. LED 显示屏集成控制技术的发展现状及趋势探讨[J]. 电子制作, 2019(2): 88-89.
ZHANG F, FAN K. Development status and trends of integrated display control technology for led display [J]. *Practical Electronics*, 2019(2): 88-89. (in Chinese)
- [3] 冀刚. 室外 LED 显示以及在交通领域的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2018(9): 103.
JI G. Outdoor led display and application in the field of transportation [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2018(9): 103. (in Chinese)
- [4] 冯思悦, 梁静秋, 梁中嵩, 等. LED 微阵列投影系统设计 [J]. 中国光学, 2019, 12(1): 88-96.
FENG S Y, LIANG J Q, LIANG Z Z, et al. Design of projection system for a micro-LED array [J]. *Chinese Optics*, 2019, 12(1): 88-96. (in Chinese)
- [5] 李继军, 聂晓梦, 李根生, 等. 平板显示技术比较及研究进展 [J]. 中国光学, 2018, 11(5): 695-710.
LI J J, NIE X M, LI G S, et al. Comparison and research progress of flat panel display technology [J]. *Chinese Optics*, 2018, 11(5): 695-710. (in Chinese)
- [6] CHENG Y. 显示技术的演进与应用 [J]. 中国光学, 2010, 3(1): 27-32.
CHENG Y. Progress in display technologies and their applications [J]. *Chinese Optics*, 2010, 3(1): 27-32. (in Chi-

nese)

- [7] LU D P. Design of LED dot matrix hand writing display screen [C]//*Proceedings of the 2017 5th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology*. Beijing: Atlantis Press, 2017.
- [8] 郑东吉. LED 显示屏技术分析与产业发展研究[J]. *无线互联科技*, 2017(15): 117-118.
ZHENG D J. Research and analysis on LED display technology and industry development [J]. *Wireless Internet Technology*, 2017(15): 117-118. (in Chinese)
- [9] 吴志诚. 基于光纤传输的 LED 智能玻璃显示系统研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2018.
WU Z C. The research of LED smart glass display system based on optical fiber transmission [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2018. (in Chinese)
- [10] 隋志坤. 基于 ARM 和 FPGA 的 LED 智能玻璃显示系统研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2017.
SUI Z K. The research of LED smart glass display system based on ARM and FPGA [D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017. (in Chinese)
- [11] 罗福强, 白忠建, 杨剑. Visual C#.NET 程序设计教程 [M]. 第 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2012.
LUO F Q, BAI Z J, YANG J. *Visual C#.NET Programming* [M]. 2nd ed. Beijing: Posts & Telecom Press, 2012. (in Chinese)
- [12] 程志祥. 基于 C# 的网络通信实现[J]. *电脑知识与技术*, 2018, 14(17): 31-32, 51.
CHENG Z X. Implementation of network communication based on C# [J]. *Computer Knowledge and Technology*, 2018, 14(17): 31-32, 51. (in Chinese)
- [13] 刘琰, 王清贤, 刘龙, 等. Windows 网络编程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
LIU Y, WANG Q X, LIU L, et al. *Windows Network Programming* [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2014. (in Chinese)
- [14] HCIL. University of Maryland 2117 Hornbake Bldg, South Wing College Park, MD 20742 [EB/OL]. [2019-09-27]. <http://www.cs.umd.edu/hcil/jazz/learn/patterns.shtml>.
- [15] 宋泽瑞. 基于 SOCKET 编程接口的网络通信[J]. *中国新通信*, 2017, 19(5): 29.
SONG Z R. Network communication based on socket programming interface [J]. *China New Telecommunications*, 2017, 19(5): 29. (in Chinese)
- [16] 严谦, 阳泳. 网络编程 tcp/ip 协议与 Socket 论述[J]. *电子世界*, 2016(8): 68, 70.
YAN Q, YANG Y. Network programming tcp/ip protocol and Socket discussion [J]. *Electronics World*, 2016 (8): 68, 70. (in Chinese)

作者简介:



熊木地(1970—),男,四川巴中人,博士,教授,2000 年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事光电检测方面的研究。E-mail: xiongmudi@qq.com