

基于蓝牙通信的阅读视力检查仪设计

陈龙翔, 邱飞岳, 傅攀, 叶思娴

(浙江工业大学 教育科学与技术学院, 杭州 310023)

摘要: 阅读视力检查广泛应用于视功能检查、低视力康复等眼科领域, 国内外目前使用的纸质阅读视力表存在光照度无法定量、文字难以根据检查需要逐行显示、数据无法自动收集分析等问题, 同时由于显示阅读视力表最小视标所需的像素密度极高等难点, 目前还没有可以进行自动检查的仪器; 针对上述问题, 采用定制液晶模块, 配以 STM8 单片机、蓝牙 4.2 模块, 设计了具有蓝牙通信、语音识别、App 控制等功能的阅读视力检查仪; 检查仪具有显示效果精确、自动分析检查结果、适用性强等特点; 测试结果表明, 仪器符合检查标准, 在视功能检查和低视力康复等眼科领域具有良好的应用前景。

关键词: 阅读视力表; 液晶显示模块; 蓝牙 4.2; STM8 单片机

The Design of a Reading Acuity Test Instrument Based on Bluetooth Communication

Chen Longxiang, Qiu Feiyue, Fu Pan, Ye Sixian

(College of Education Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Reading acuity testing is widely implemented in ophthalmology field such as visual function inspection and low vision rehabilitation. However, when using the printed version of reading acuity chart in clinics, it's unable to quantify the illuminance, display the sentences line by line or automatically collect and analyze testing data. Meanwhile due to the difficulty of displaying the minimum target in display with extremely high pixel density, there is no such an automatic instrument at home and abroad. Given all that problems, a reading acuity test instrument was designed with customized LCD module, Bluetooth 4.2 module, STM8105 as the main processor. This App controlled device has the capabilities to perform reading acuity test through Bluetooth communication and automatic speech recognition. And has the advantage of high inspection accuracy, automatic analysis of testing results, and strong applicability. The experimental tests show that this design meets the standard accuracy demands. And there is a well applied prospect in the ophthalmology field in both examination and rehabilitation.

Keywords: reading acuity chart; LCD module; Bluetooth 4.2; STM8

0 引言

国内外眼科领域目前一般使用阅读视力表来评估阅读能力。传统 E 字对数视力表使用字母“E”作为视标, 而阅读视力表则一般使用不同印刷大小的文字作为视标, 可以检查受测者适合阅读哪种印刷大小的文字, 反应受测者进行日常阅读时所需要的功能性视力。临床上阅读视力检查用来确定低视力患者近用助视器以及老视者配镜老视眼镜时的配镜参数^[1]; 也用于比较低视力患者治疗前后阅读能力的变化, 来评估视功能康复情况或手术效果^[2-3], 选用合适的阅读视力表, 准确检查阅读视力, 是眼科视功能检查、视觉康复等领域的需要^[4]。

国外最流行的阅读视力表是明尼苏达连续文本阅读视力表, 简称 MNREAD^[5]; 国内学者在 MNREAD 的基础上开发了 C-READ 中文对数阅读视力表等适用于中文本土阅

读者的检查工具^[1, 6-7]。但实际用于临床检查时, 使用的均是纸质版本的阅读视力表, 需要手工记录数据, 检查效率低, 且表存在光照度无法定量、文字难以逐行显示等问题。需要一种专门的检查仪器, 优化检查流程, 减少人工操作, 自动记录分析数据, 呈现直观的检查结果。除了上述功能需求, 检查仪的主要实现难点在于显示最小视标所需像素密度 (pixels per inch, ppi) 远高于主流平板电脑或手机屏幕的像素密度; 例如 C-READ 中文对数阅读视力表中, 小数记录 2.0 视力对应的汉字视标高度约为 0.29 mm, 以一个汉字需要 10 * 10 的分辨率来计算, 需要单位英寸像素点数达到 874 ppi 才能清晰显示。而主流平板电脑或手机屏幕的像素密度一般不超过 350 ppi, 小数记录视力、汉字视标高度和清晰显示所需 ppi 对应关系如表 1 所示。针对上述问题和难点, 为满足正常和低视力人群阅读视力检查的需要, 本文基于 STM8S105 系列单片机, 并配以 BLE103 蓝牙 4.2 模块、定制段式液晶显示模块和手机控制 App 设计了阅读视力检查仪。优化数据收集效率的同时, 也保证了文字视标显示的清晰度。理论上本仪器可以通过定制来适用于多种临床阅读测验。但本设计以 C-READ 中文阅读视力测验^[7]为例, 更好的适用于简体中文阅读者, 以检验本仪器的有效性。

收稿日期: 2019-01-07; **修回日期:** 2019-02-11。

基金项目: 浙江省重大科技计划项目 (2018C01080)。

作者简介: 陈龙翔 (1994 -), 男, 浙江义乌人, 硕士研究生, 主要从事智能控制、特殊教育方向的研究。

邱飞岳 (1965 -), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事智能控制、优化理论与方法方向的研究。

表 1 小数记录视力与汉字视标大小对应表

小数记录视力	400mm 距离下汉字的高度(mm)	所需屏幕 ppi
2.00	0.290888255	874
1.60	0.363610355	699
1.25	0.465421336	546
1.00	0.581776818	437
0.80	0.72722131	350
0.63	0.930843932	273
0.50	1.163556097	219
0.40	1.454447428	175
0.32	1.832608506	139
0.25	2.327131885	110
0.20	2.908933317	88
0.16	3.665293947	70
0.13	4.654421308	55
0.10	5.818174338	44
0.08	7.273006428	35
0.06	9.310103183	28

1 阅读视力检查仪的总体设计

阅读视力检查仪总体结构框图如图 1 所示, 由硬件端和上位手机 App 端两部分组成。其中硬件端由 STM8 主控单片机、蓝牙 4.2 透传模块、定制段式液晶显示模块和电源组成, 手机 App 端的功能主要包括通过蓝牙对单片机发送指令, 通过语音识别判断受测者阅读内容正误, 记录阅读数据和呈现分析结果。STM8 单片机是硬件部分的主控核心, 连接蓝牙 4.2 透传模块对上位手机 App 端发送的数据进行解析, 并驱动段式液晶模块; 段式液晶模块是通过曝光、显影、蚀刻、固化等高精度工艺将每行特定大小的文字与段位一一对应, 在单片机驱动下达到文字显示或不显示的效果; 电源采用四节五号干电池, 通过稳压电路分别给单片机、蓝牙模块和液晶模块供电。使用本仪器进行阅读视力检查时, 首先打开阅读视力检查仪电源, 使检查仪的单片机上电, 唤醒蓝牙模块进入广播状态持续监听指令; 再由医生打开手机 App 连接检查仪, 并将控制指令通过蓝牙串口发送至检查仪的单片机模块; 接着定制液晶模块在单片机的驱动下显示屏幕上特定的汉字或符号, 患者阅读屏幕上出现的句子, 手机 App 通过语音识别等方式记录检查数据; 最终收集多组患者数据, 形成检查结果图表。该仪器减少了人工成本, 简化了操作流程, 且具有显示效果清晰、数据记录完整、功耗低等特点。

2 硬件设计

2.1 主控模块

主控模块是整个阅读视力检查仪硬件的控制中心, 负责与蓝牙模块进行数据交换, 解析控制参数, 驱动段式液晶面板显示。本文使用 STM8S105K6T6C 单片机为阅读视力检查系统主控芯片。它是意法低功耗 8 位单片机, 最高内置 32K 闪存, 嵌入 130nm 非易失性存储器, 提供 EEPROM 数据写入操作, 可达 30 万次擦写极限。片内集成 10

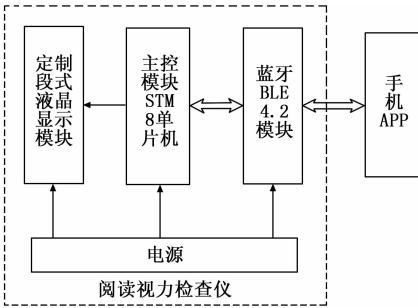


图 1 阅读视力检查仪总体结构图

位 ADC、UART、SPI、I²C 等多个外设接口。可以满足本设计控制系统功能的全部需求。PD6 和 PD5 两个引脚与蓝牙模块的 UART_TX、UART_RX 相连, 实现与蓝牙的 UART 通信。PD7 连接蓝牙模块的 RST 位, 是用于控制蓝牙复位的引脚。PD4 连接蓝牙模块的 WU 位, 用于蓝牙低功耗唤醒。单片机与段式液晶模块之间的通过引脚模拟特定的串行输入信号进行通信, 其中 PC7 连接液晶模块的 LCD_DATA 串行数据输入引脚, PC6 连接 LCD_CL1 时钟信号引脚 1, PCPC5 连接 LCD_CL2 时钟信号引脚 2, PD0 用于控制 LCD 的背光强度, 通过以不同占空比 PWM 驱动三极管将液晶模块的背光负极间隙接通来达到控制亮度的需求。SWIM 作为调试模块接口, NRST 作为复位接口。主控电路设计如图 2 所示。

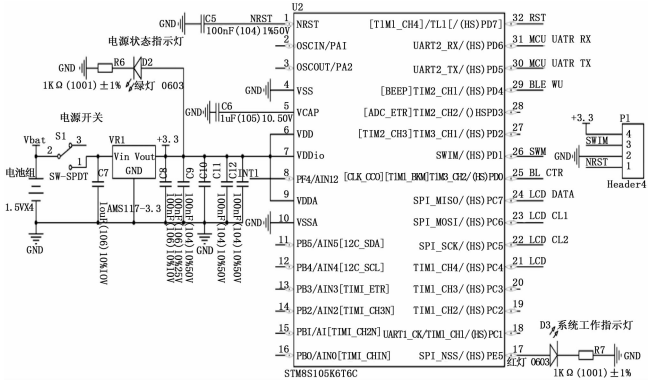


图 2 STM8 单片机电路图

2.2 蓝牙模块

蓝牙模块是实现单片机与上位控制 App 之间通讯的关键。本设计选用目前主流的蓝牙 4.2 解决方案, 使用 BLE 103 芯片, 发射功率-19 dBm 至+8 dBm, 接收灵敏度-78 dBm。工作电压 1.7 V-3.6 V。具有超低功耗、体积小、性能稳定可靠等优点^[8]。通过蓝牙透传的工作方式传输数据, 可以不对单片机与手机 App 之间传输的数据进行任何协议封装上的处理, 可以自己控制数据包的大小, 只是将串口连接在单片机上, 简化了蓝牙通讯的过程。BLE 103 通过 UART_TX、UART_RX 引脚与单片机之间进行数据传输。蓝牙模块电路原理图如图 3 所示。

2.3 液晶显示模块

液晶是一种介于液体和晶体之间的物质, 液晶本身是

小程序启动后, 会直接查询已经记忆 MAC 地址的蓝牙设备, 如果没有已存在的记忆地址, 或无法跟已记忆的建立连接, 则进入匹配状态, 查询附近处于广播状态的蓝牙设备, 获取并解析其特征值。鉴权成功后, 订阅该设备以建立连接状态, 同时小程序还会记忆该蓝牙设备的 MAC 地址, 以便下一次连接时直接访问。连接成功的小程序将会一直处于监听状态。当操作小程序开始进行阅读视力检查时, 小程序按照表 2 格式, 对需要显示的液晶字符段落、背光强度等控制信息进行整合之后调用蓝牙通讯接口 API 将数据发送给蓝牙模块, 蓝牙模块在接收到数据后将数据转发给单片机, 单片机将段码映射表中相应的字符数值传输并写入检查仪上的 LCD 显示储存器中, 控制检查仪逐行显示相应的段落的文字显示。小程序与单片机之间建立蓝牙通讯的逻辑流程图如图 6 所示。

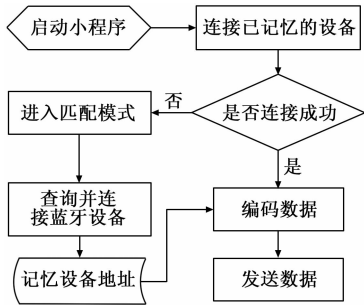


图 6 小程序蓝牙通讯流程图

小程序总体流程图如图 7 所示。程序启动后, 首先通过蓝牙配对连接阅读视力检查仪, 然后医生选择相应的检查项目, 开始对患者阅读视力检查。检查中, 要求受测者要又快又准地阅读文字, 当一行句子出现时程序便开始计时, 受测者停止阅读时结束计时, 程序通过调用语音识别接口听写阅读内容, 以判断受测者本行阅读正确字数, 医生也可以手动修改正确字数, 或者手动停止计时, 防止语音识别误判。小程序每一次发送控制句子显示的指令时, 只会开关一行句子的显示, 以达到逐行显示的效果。若受测者报告完全无法看清屏幕上显示的文字, 该次检查结束, 程序会分析数据, 生成结果图表, 并将结果表单及患者信息等发送至后台服务器储存。阅读视力检查仪处于闲置待机状态时, 小程序还可以通过背光控制按钮调节背光亮度以节省电量。

4 测试结果与分析

本设计尺寸结构紧凑, 长宽高分别为 25 cm, 20 cm, 3.5 cm。小数记录 2.0 视力对应的中文汉字视标在日本 PEAK 带刻度 15 倍放大镜下可以清晰显示, 没有锯齿或污点, 笔段形变量小与 1 μm, 位置误差小与 5 μm。LED 背光源的平均亮度约为 300 cd/m², 达到阅读视力表 100 cd/m² 以上的要求。本设计外观如图 8 所示, 在 15 倍放大镜下显示效果如图 9 所示。其中“她们在身后留下坚实的脚步”、“我们都来画一画家乡的景物”、“队员们脱去了厚厚的防寒服”分别对应小数记录视力 1.25, 1.6, 2.0 下的视标。小

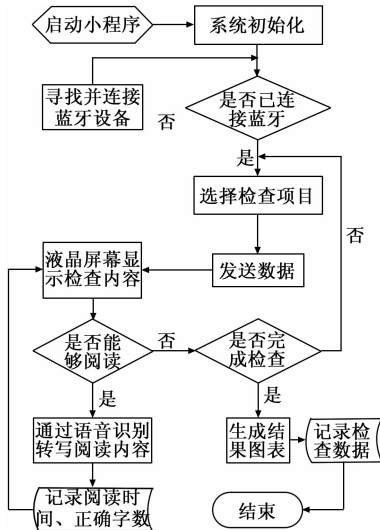


图 7 小程序总体流程图

程序部分界面截图如图 10 所示。其中图 10 (a) 是小程序主界面截图, 从上到下依次是别光亮度调节按钮, 用户名输入框, 阅读视力表类型选择按钮, 开始按钮, 蓝牙连接按钮, 近视力表展示按钮, ABC 表展示按钮。图 10 (b) 是进行阅读视力检查过程中的页面截图, 由上到下依次是倒计时框, 指导语, 计时器, 手动停止按钮, 错误个数选择框, 以及提交按钮。图 10 (c) 是结束当前检查后, 结果呈现页面的截图。包含检查结果折线图以及完成每个句子时记录的错误个数, 阅读时间等数据。



图 8 阅读视力检查仪实物图

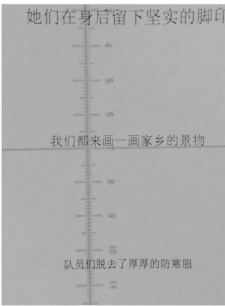


图 9 十五倍放大镜下最小汉字视标

20 名 18~25 岁视力正常的在校大学生在知情同意的前提下自愿参加了阅读视力检查测试。测试前, 先对每位大学生进行了裸眼或矫正视力检查, 20 名学生裸眼或矫正视力均在 4.6~5.0 之间, 无眼科病史。阅读视力表具有 ABC 3 种平行测验, 每位学生都以随机的顺序进行了测试, 以排

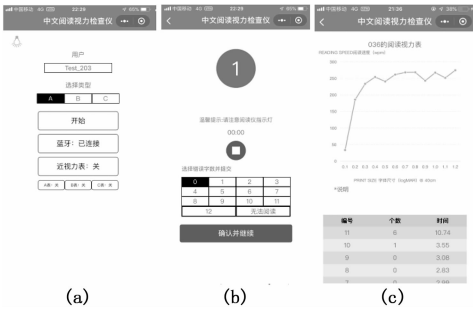


图 10 小程序部分程序界面

除练习效应带来的影响。且在上一张视力表测试完，下一张视力表测试开始前会给每位学生 2 分钟的放松时间，缓解眼部疲劳，以排除疲劳效应对实验结果的影响。受测者的数据以：“编号—年龄—性别—视力—句子编号—对应尺寸—错误个数—阅读时间—阅读个数”的格式进行收集，使用 SPSS 软件分析结果如下表 3 所示。

表 3 阅读视力检查表 ABC 的相关性

	表 A	表 B	表 C	
表 A	Pearson r	1	.817**	.794**
	Sig		.000	.000
	N	222	221	222
表 B	Pearson r	.817**	1	.791**
	Sig	.000		.000
	N	221	221	221
表 C	Pearson r	.794**	.791**	1
	Sig	.000	.000	
	N	222	221	222

数据分析结果显示，表 A 与表 B 之间的相关系数高 0.817，表 A 与表 C 之间的系数为 0.794，表 B 与表 C 之间的相关系数为 0.791，三张表格之间的测试结果均为高相关。表明仪器的数据记录稳定可靠，符合检查标准。3 个平行测验的一致性信度高。

5 结束语

阅读视力检查仪硬件结构简单，采用极高分辨率的定制段式液晶显示模块，显示效果良好；基于蓝牙通信和手机 APP 对中文阅读视力表进行控制，具有测试方便、自动

分析检查结果等齐全的功能。且产品的适用性强，具有较大的拓展空间，将来可以用于繁体中文、英文以及其他语言版本的阅读视力自动检查。测试结果表明，符合视力检查标准、达到设计开发要求。为普通人和低视力患者的阅读视力检查提供了准确且方便快捷的途径，具有向医院和普通家庭推广的良好前景。本研究仍有一定的欠缺，将来进一步研究可以聚焦于收集正常视力人群和低视力人群的阅读视力数据常模，在视力疾病早期筛查，视力康复治疗领域的效果比较方面具有良好的推广前景。

参考文献：

[1] 王晨晓. 中文阅读视力表 [M]. 人民卫生出版社, 2011.

[2] Mahmood Sajjad, Roberts Stephen A, Aslam Tariq M, et al. Routine versus as-needed bevacizumab with 12-weekly assessment intervals for neovascular age-related macular degeneration: 92-week results of the gman trial [J]. Ophthalmology, 2015, 122 (7): 1348-1355.

[3] Legge Gordon E, Pelli Denis G, Rubin Gar S, et al. Psychophysics of reading. I. Normal vision [J]. Vision research, 1985, 25 (2): 239-252.

[4] Rubin Gary S. Measuring reading performance [J]. Vision research, 2013, 90: 43-51.

[5] Mansfield JS, Legge GE, Luebker A, et al. The mnread acuity chart [J]. Psychophysics of reading in normal and low vision, 2007: 167-191.

[6] Cheung Josephine PY, Liu Dilys SK, Lam Catherine CC, et al. Development and validation of a new chinese reading chart for children [J]. Ophthalmic and physiological optics, 2015, 35 (5): 514-521.

[7] Han Qi-Ming, Cong Lin-Juan, Yu Cong, et al. Developing a logarithmic chinese reading acuity chart [J]. Optometry and Vision Science, 2017, 94 (6): 714-724.

[8] 刘先刚, 李玉波, 毕增军. 蓝牙 4.2 协议芯片 bluenrg-1 的低功耗蓝牙通信设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2018, (5).

[9] 林凡强, 马晓茗. 笔段式 lcd 驱动设计 [J]. 液晶与显示, 2012, 27 (4): 523-528.

[10] 肖伟, 李训栓, 刘志勇, 等. 基于微信小程序与单片机的 ble 温度监控系统 [J]. 高校实验室工作研究, 2018, (3): 137-140.

[11] 周虎. 一种基于微信小程序的语音输入技术应用研究 [J]. 电脑知识与技术, 2018, 14 (31): 104-105.

[9] 蔡小琼, 李秋生. 一种快速自适应边缘提取方法的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 36 (3): 307-309.

[10] Haralick R M, Sternberg S R, Zhuang X. Image Analysis Using Mathematical Morphology [J]. IEEE Trans. pattern Anal. & Mach. intell, 1987, 9 (4): 532-550.

[11] Peters R I. A new algorithm for image noise reduction using mathematical morphology [J]. IEEE Trans Image Process, 1995, 4 (5): 554-568.

[12] 赵昭, 张承学. 形态学滤波器结构元素选取原则研究与分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (14): 21-25.

[13] 姚志文, 孙懋珩. 基于图像的中心定位方法 [J]. 计算机测量与控制, 2004, 12 (1): 83-85.