

# 基于 ARM Cortex-M0 的高续航可充电定位鞋垫设计与实现

刘文超, 史智明, 周艳玲, 曾张帆

(湖北大学 计算机与信息工程学院, 武汉 430062)

**摘要:** 该文研制了一种新型的基于 ARM Cortex-M0 的高续航可充电定位鞋垫, 该鞋垫能够提供 GPS 定位、基站定位、WiFi 定位等多种定位功能; 该系统通过在 Windows、android 平台上构建 Lighttpd 轻量级 Web 服务器和设计开发功能程序、底层驱动程序、自定义 PCB (Printed Circuit Board) 和 C 语言来实现该系统的软硬件开发; 该系统具有超低功耗、高续航、GPS 定位精准、速度快的特性以及网络设备跨平台控制能力; 大量实验表明该系统能够在不充电的情况下高负荷工作两天, 且系统运行稳定可靠。

**关键词:** Cortex-M0; GPS; Lighttpd; PCB

## High Endurance Wireless Charging Locating Insole Based on ARM Cortex-M0

Liu Wenchao, Shi Zhiming, Zhou Yanling, Zeng Zhangfan

(School of Computer Science and Information Engineering, Hubei University, Wuhan 430062, China)

**Abstract:** This paper developed a new type of ARM Cortex-M0 based high-end rechargeable positioning insole. The insole has a positioning function. The system builds the hardware and software development of the system by building the Lighttpd lightweight Web server and the design and development function program, the underlying driver, the custom PCB (Printed Circuit Board) and the C language on Windows and the Android platform. The system has ultra-low power consumption, high battery life, GPS positioning accuracy, fast characteristics and network equipment cross-platform control capabilities. A large number of experiments show that the system can work in the case of no charge for two days, and the system is stable and reliable.

**Keywords:** Cortex-M0; GPS; Lighttpd; PCB

## 0 引言

据中国之声《央广夜新闻》报道, 中国每年的失踪儿童不完全统计有 20 万人左右, 究其原因, 一部分是人口贩卖分子的犯罪行为, 然而更普遍的情况是由于监护人的疏忽大意造成的。同时, 我国患有痴呆症的老人超过 800 万, 走失的情况也时有发生。儿童、老人的走失给家庭带来严重的灾难, 已成为一类亟需解决的社会问题以达到预期的效果。

基于此, 本文研发出一款能够进行跟踪定位的智能鞋垫。该鞋垫能够实时的对鞋垫使用者所在的地理位置进行获取, 并传输至云平台, 最终在手机上或者网页上进行图形化显示, 利于监护人对家中老人、儿童的远程跟踪, 将大大降低他们失散的可能性。本系统通过在 Windows、android 平台上构建 Lighttpd 轻量级 Web 服务器和设计开发功能程序、底层驱动程序、自定义 PCB 和 C 语言来实现该系统的软硬件开发。

## 1 系统总体架构

高续航可充电定位系统总体架构如图 1 所示, 主要包括两个部分: 可穿戴设备终端; 系统软件平台。

收稿日期: 2017-08-18; 修回日期: 2017-09-14。

基金项目: 国家自然科学基金(61301144, 61601175); 湖北省教育厅科学技术计划青年人才项目(Q2016008)。

作者简介: 刘文超(1983-), 男, 武汉市人, 实验师, 主要从事嵌入式设计方向的研究。

通讯作者: 曾张帆(1983-), 男, 武汉市人, 副教授, 主要从事数字信号处理方向的研究。

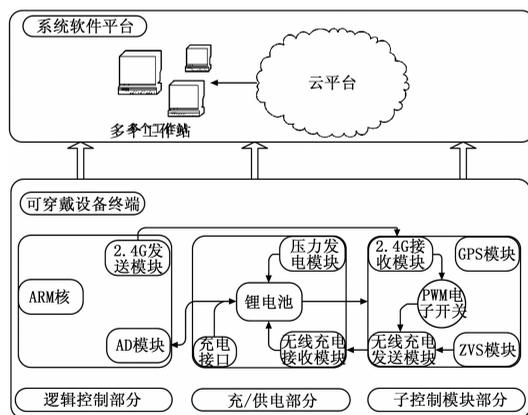


图 1 高续航可充电定位鞋垫系统架构图

系统硬件部分由主控核心 Cortex-M0 芯片、锂电池、无线+压力充电模块、2.4 G 通信模块、PWM 电子开关、ZVS 模块、GPS 定位模块组成。Cortex-M0 负责采集锂电池电量信息, 通过采集到的电量信息数据, 控制无线+压力充电模块给锂电池安全、及时的充电; 同时控制 GPS 模块实时采集位置信息。

系统软件部分由云端服务器、Web 客户端、手机 APP 三部分组成。GPS 将采集到的数据通过 TCP/IP 协议上传到云端服务器, 通过 Web 客户端和手机 APP 端实时显示位置信息。

## 2 系统硬件部分

本系统硬件部分主要包括 3 个子模块: 逻辑控制部分; 充

/供电部分；子控制模块部分。

## 2.1 逻辑控制部分

逻辑控制子模块由 ARMCortex-M0 芯片和 2.4 G 发送模块组成。Cortex-M0 芯片内集成了 ARM 逻辑，包括 ARM Cortex-M0 处理器、固定外设和存储系统。采用这类系统结构的运行效率很高 (0.9DMIPS/MHz)，能在较少的周期里完成一项任务。这意味着 CortexM0 可以在大部分的时间里处于休眠状态，消耗很少的能量，具有良好的能耗效率。同样较小的逻辑门数也降低了待机电流。而高效的中断控制器 (NVIC) 需要很小的中断开销<sup>[1]</sup>。

## 2.2 充/供电部分

无线+压力充电模块用于提高锂电池的续航能力。该模块由两个感应线圈、压电陶瓷、整流滤波电路组成，发送端线圈连接有电源产生电磁信号，电磁信号通过 LC 谐振技术推动感应线圈发出电量，给无线充电接收模块，无线充电接收模块上的线圈感应发送端的电磁信号从而产生电流，将电流传输给锂电池，使锂电池开始充电，实现一次无线充电<sup>[2]</sup>。压力发电模块通过压力感应产生电量给锂电池充电，经过极化了的压电陶瓷片的两端会出现束缚电荷，所以在电极表面上吸附了一层来自外界的自由电荷。当给陶瓷片施加外界压力时，陶瓷片的两端会出现放电现象。另外，压电陶瓷具有自发极化的性质，因此当给具有压电性的电介质加上外电场时会发生变化，压电陶瓷会有变形；因此在压力发电模块中，为保证压电陶瓷不被人体重量和压力破坏，采用自主研发的十七层结构，保证压电陶瓷的安全性。

如图 2 所示，无线充电接收端需要在无线感应区实现充电。交流信号通过整流、滤波等子模块最终转换为 3.3 V 电压，给锂电池充电。

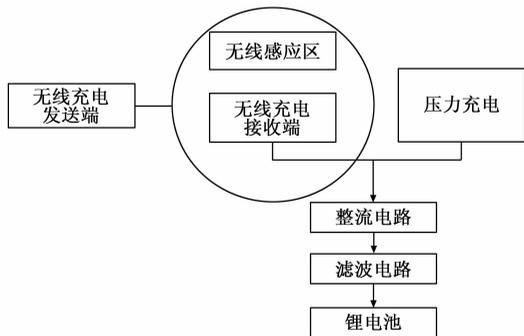


图 2 无线+压力充电工作图

在压力发电模块中，压电陶瓷作为发电源，采用十七层结构作为抗压层。压力充电模块要承受来自人体的重量和冲量，每层结构都能有效的减少冲击。压电陶瓷外面包裹自主设计的十七层结构作为抗压层，在受到外部压力的冲击时，产生足够的电流给电池充电。模块工作原理如下：

1) 整个系统开启时，AD 模块首先检测锂电池电量，锂电池电量充足时，电子开关处于开启状态，反之处于关闭状态；电子开关处于关闭状态时，表明锂电池电量不足，无线充电发射模块开始工作。

2) 将无线充电接收模块放置于无线感应区，锂电池开始充电。

3) 压力充电模块在受到力量冲击时，就会产生电流给锂电池充电。

为了保证压力充电模块在受到人体脚部力量的冲击时，仍然能够正常工作，在压电陶瓷上使用了自主设计的十七层结构

作为抗压层。十七层结构从上到下依次为：鞋垫层、聚苯乙烯层、压力发电薄膜层、聚苯乙烯层、304 不锈钢板、聚苯乙烯层、B7000 填充层、PCB 主控板层、B7000 填充层、聚苯乙烯层、青科纸层、B7000 填充层、锂电池、B7000 填充层、Fe304 瓷片层、B7000 填充层、无线充电线圈层，其中鞋垫层、聚苯乙烯层、B7000 填充层作为 PCB 主控板缓冲保护层，青科纸层作为电池绝缘层，Fe304 瓷片作为电池保护层，304 不锈钢作为整个结构的抗压层，压力发电薄膜作为整个结构的压力发电层，无线充电线圈作为无线充电层。

无线+压力充电模块能够提高锂电池的续航能力，无线和压力充电模块产生的都是交流信号，需要经过整流滤波之后才能给锂电池充电<sup>[3]</sup>。

## 2.3 子控制模块部分

子控制模块的输入为 2.4 G 发送模块，发送模块将数据传输到 2.4 G 接收模块，2.4 G 接收模块控制 PWM 电子开关开启/关闭无线充电模块。其输出为无线充电发送模块的电量。该模块使用 ZVS 模块将直流信号转换为交流信号，同时将转换的交流信号传输到无线充电模块上，通过 LC 谐振技术产生电流。GPS 模块采用 A-GPS (Assisted GPS) 定位方式，支持 LBS (location based service) 定位，LBS 定位它是基于位置的服务，通过电信、移动运营商的无线电通讯网络 (如 GSM 网、CDMA 网) 获取移动终端用户的位置信息 (地理坐标，或大地坐标)，在 GIS (geographic information system, 地理信息系统) 平台的支持下，为用户提供相应定位服务。因此此定位模块无论是在室内还是室外都能精确、快速、稳定的工作<sup>[4]</sup>。GPS 模块的工作流程如图 3 所示。

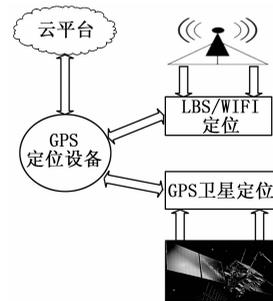


图 3 GPS 模块工作流程图

在室外环境下，GPS 定位模块会主动搜索 GPS 定位卫星，最多能够搜索到 18 颗卫星信号。模块接收来自定位卫星的数据，同时设备会将接收到的数据传送到云端服务器，云端服务器接收到数据之后，对数据进行解析，解析之后的数据传输至 Web 端和 APP 端，Web 端和 APP 端显示模块地理位置。

在室内环境下，GPS 定位模块会主动搜索附近 WIFI 信号和基站信号，最多能够搜索到 8 个 WIFI 热点和 5 个基站。设备接收来自 WIFI 热点和基站的数据，同时将数据传送到云端服务器，云端服务器接收到数据之后，对数据进行解析，解析之后的数据传输至 Web 端和 APP 端，Web 端和 APP 端显示模块地理位置。

GPS 定位模块采用联发科公司生产的 MT2503 芯片，内置 A-GPS 定位，支持 LBS 定位，低功耗设计<sup>[5]</sup>。

## 3 系统软件部分

### 3.1 整体软件架构

系统在软件架构设计方面实现了软硬件可编程工作方式。

该架构不仅充分实现了软件编程开发速度与硬件实现响应迅速的优点, 同时增加了硬、软件资源配置的灵活性<sup>[6]</sup>。此外, 整体的软件架构模块化程度高, 易于维护和后续的功能扩展。该系统的软件架构如图 4 所示。

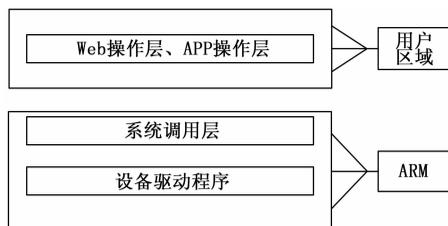


图 4 系统软件架构

软件架构由上至下依次包括 Web 操作层、APP 操作层、系统调用层和设备驱动程序。Web 操作层和 APP 操作层负责页面设计, 定义用户交互界面; 系统调用层负责具体的功能设计; 设备驱动程序负责初始化 AD、SPI、GPIO 等外设。采用这种模块化的设计思想, 符合新硬件推广的流程, 硬件厂商在推出一款新硬件的同时也会推出设备驱动程序, 用户不需要明白底层的详细设计, 只需要明白具体的功能, 就可实现软硬件的应用开发。

### 3.2 Web、APP 操作层

Web、APP 操作层的功能设计目标就是基于网络控制的定位系统, 给整个硬件系统按照制定的协议进行网络通信, 并且实现了跨平台的通信。在软件层次方面的主要工作分为三块: 移植 Lighthttpd 网页服务器、手机 APP 开发、设计 Web 页面和制定数据交互协议。Lighthttpd 服务器是一套开源的网页服务器, 相较其他类似的开源网页服务器, 它仅需要少量的内存及 CPU 资源即可达到同样的性能, 同时在支持静态对象时, 例如图片文件, Lighthttpd 响应速度更快、更理想<sup>[7]</sup>。为后续实现更加复杂的 Web 端留有余地。移植步骤及配置过程在此就不详细描述, 主要步骤包括下载源码、编译、修改配置文件等。数据交互主要通过 Windows 中的 Html Script 来捕捉输入参数值再传给应用程序, 为了加强数据交互的可靠性及规范性, 本作品自定义数据交互协议, 增加奇偶校验、隔离码等常用手段。

### 3.3 系统调用层

系统调用层的功能设计需要完成两个功能, 一是通过调用 AD、SPI 的功能函数库控制 ARM 核, 实现 AD 采样和 SPI 实时通信, 二是围绕特定功能添加或删减功能函数。保证 AD 和 SPI 模块能够符合系统功能, 稳定、高效的工作。

### 3.4 设备驱动层

设备驱动程序设计需要完成 3 个功能, 一是硬件初始化, GPIO 的功能初始化、AD 模块的配置初始化、2.4 G 无线通信模块接口的 SPI 配置初始化以及一些基本电路的初始化工作; 二是读取控制模块中正在输入输出的控制信号; 三是硬件数据保存, 以便设备使用时出现问题可以现场恢复。

## 4 实物效果、系统测试与分析

依据上述整体架构与软、硬件技术, 本文设计的高续航可充电定位鞋垫如图 5 所示。

可以看到, 该系统左边上层放置的是高续航可充电定位鞋垫。中间上层的是无线感应区域, 右边上层放置的是无线充电发射装置, 中间下层放置的是鞋垫内部嵌入的设备。

该系统的测试包括底层硬件电路测试、ARM 编码逻辑测



图 5 系统实物图

试以及 Web、APP 页面功能控制模块测试等。

底层硬件电路测试包括对硬件电路模块稳定性测试、2.4 G 无线通信模块的 SPI 通信时序测试、续航能力测试、压力发电测试、无线充电测试等。对隔离、解码、锁存和驱动等各个模块分别进行单元测试, 其输入输出满足功能需求。在整体集成测试时, 电源模块经常不能正常工作, 最终导致整个系统不能工作。经过全面分析后, 定位问题于滤波电容的选择不正确, 原因是经过整流之后的信号依然保留着较高的频率, 纸质电容器损耗大只适用于低频电路, 导致整个电源模块处于振荡状态<sup>[8]</sup>。解决方案为将原先采用的塑料薄膜电容更换成云母电容, 采用云母电容之后电源模块正常工作。最终硬件的整体集成测试达到目标需求。

ARM 编码逻辑测试是通过 SPI 采集数据再用逻辑分析仪对输出时序进行测试, 测试结果如图 7 所示。

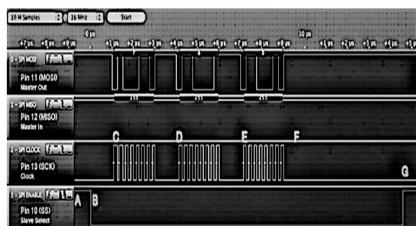


图 6 SPI 典型工作时序

第三行 SCK 为数据传输心跳时钟; 第一行 MOSI 为传输的数据; 第四行 SSI 为从设备使能信号; 图中 MOSI 管脚传输的数据为 0111\_1101; 对主设备的预置数据和从设备输出的时序数据对比分析后, 从设备数据时序与主设备的预置数据相对应, 时序验证均正确。

鞋垫续航能力经过多次测试, 得出在使用 GPS 定位的情况下, 鞋垫能够稳定运行 35 个小时, 使用 LBS/WIFI 定位的情况下, 鞋垫稳定运行 48 小时, 使用 A-GPS 定位的情况下, 鞋垫稳定工作 24 个小时, 在休眠状态下鞋垫能够待机 96 小时。

压力充电模块测试, 压力充电模块受到外力冲击时候, 产生电流。由于压力冲击压电陶瓷产生的电流是一个瞬时的过程, 难以通过常用设备对模块的发电能力进行准确测量, 因此在测量上我们引入了常规的 LED 灯进行了定性测试。当用力敲击压力充电模块时, LED 开始发光, 证明此时产生了能够使 LED 正常工作所需的 3.3 V 电压, 30 mA 电流。进而证明了本系统压力充电功能可行。

无线充电接收模块测试, 将无线充电接收模块放入到感应区之后, 给锂电池充电。由于无线充电的原理是 LC 谐振技术, 难以通过常用设备对本系统的充电性能进行准确测量。在测量上我们引入了常规的 LED 灯进行了定性测试。可以看到, 当测试终端放置在无线充电线圈上时, LED 开始发光, 证明此时产生了能够使 LED 正常工作所需的 3.3 V 电压, 300 mA

电流。进而证明了本系统无线充电功能可行。

Web 页面的功能控制页面，Web 页面显示支持多种比例放大、查看多个设备信息。此外，通过对该页面进行多设备切换显示实验，验证了该网页控制模块的功能性和稳定性。

### 5 结论

本文介绍了一种新型的基于 ARM Cortex-M0 的高续航可充电定位系统。该系统突破了传统可穿戴设备续航时间短、充电方式繁琐的问题；通过多次续航能力测试，鞋垫在满负荷工作的情况下，依然能够稳定工作 24 个小时；无线+压力充电模块能够给锂电池实时充电，总功率达到 2 W；实时的对鞋垫使用者所在的地理位置进行获取，并传输至云平台，最终在手机上或者网页上进行图形化显示。本系统通过云端服务器将控制数据准确的传递到手机 APP 和网页服务器，通过 APP 和网页端实时查看设备位置、设备电量等信息。这不仅能够实时定位设备位置信息，而且还较好的体现当前社会普遍关心的话题——儿童、老人走失等问题的防范方法，促进社会和谐发展。

(上接第 222 页)

结果表明输入信号通过采集模块后，各通道输出信号幅度基本保持一致，符合设计要求。

表 7 幅度一致性

通道	幅度/V, 频率/Hz						
	200	500	800	1 000	1 200	1 300	1 400
1	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02
2	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03
3	2.02	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03
4	2.03	2.04	2.04	2.04	2.03	2.03	2.03
5	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03
6	2.03	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04
7	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04	2.04
8	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03
幅度误差 (dB)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09

#### 3.3.4 相位一致性

当采集模块 8 通道模拟输入，相位一致性测试结果见表 8。测试结果表明各通道延时基本保持同步，相位基本无偏差，符合设计要求。

表 8 相位一致性

通道号	多板通道相位/(°), 频率/Hz						
	200	500	800	1 000	1 200	1 300	1 400
1	69.92	-136.50	-111.64	-86.88	-93.97	141.95	
2	70.01	-136.46	-111.61	-86.86	-93.95	141.97	
3	69.97	-136.49	-111.63	-86.89	-93.98	141.94	
4	69.93	-136.51	-111.65	-86.90	-93.99	141.93	
5	69.95	-136.50	-111.64	-86.89	-93.98	141.94	
6	69.91	-136.51	-111.64	-86.89	-93.98	141.94	
7	69.98	-136.49	-111.63	-86.88	-93.97	141.95	
8	69.93	-136.51	-111.65	-86.90	-93.99	141.93	
相位差(°)	0.10	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	

以上结果表明多通道数据采集模块性能满足设计需求。

### 4 结语

多通道数据采集模块主要对数据进行实时采集和同步打包传输。该电路模块配置了 DSP 芯片 BF537，使得用户可自行

#### 参考文献:

[1] Joseph. ARM Cortex-M0 权威指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.

[2] 王红亮, 张天文, 等. 无线充电的关键技术和研究 [J]. 火力与指挥控制, 2014 (11): 183-186.

[3] 黄起升, 肖宇迪, 等. 磁谐振无线电能传输带整流滤波负载的建模与分析 [J]. 电器与能效管理技术, 2017 [2]: 29-35.

[4] 周健民. 应用于移动电子设备的无线充电技术 [J]. 集成电路应用, 2014 (4): 34-36.

[5] MTK\_On\_Line\_FAQ\_HW\_Wearable\_MT2503 (R), 2016.

[6] Rishiyur S. Nikhil. Types, Functional Programming and Atomic Transactions in Hardware Design [J]. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 418-431.

[7] 郑泽栋. WEB 服务器性能分析研究及优化方案 [J]. 信息通信, 2014 (4): 115.

[8] 施健健. 基于 AC-DC 开关电源外接滤波电路设计 [J]. 电子测量技术, 2014, 12 (5): 8-10.

配置 I/O 口, 配置灵活, 易于扩展; 模块使用一块百兆以太网 PHY 芯片 LAN8700i, 可以实现较大数据量通信; 模块使用 ADS1278 作为 A/D 转换芯片, 集成有 8 路通道, 转换精度为 24 位, 每通道最大采样率为 32 ksps, 可利用同步时钟接口实现多板多路信号同步采集; 该模块应用方便, 可通过软件调整相应参数实现放大倍数、采样率的调整。测试结果表明该模块性能优异, 符合一般工业应用需求, 能广泛应用于声纳、语音等微弱信号探测前端硬件技术领域。

#### 参考文献:

[1] 田 坦, 刘国枝, 孙大军. 声纳技术 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2000.

[2] 王华刚, 邓志燕, 董鹏飞. 多功能多通道数据采集系统设计与实现 [J]. 自动化与仪器仪表, 2016 (9): 36-37.

[3] 刘立军. 基于 FPGA 多通道数据采集系统的设计 [J]. 仪器仪表用户, 2017 (6): 31-34.

[4] 马晓蓉, 吴银川. 一种多通道数据采集系统设计研究 [J]. 电子工程设计, 2012, 20 (19): 14-16.

[5] Siew W H, Wang Y, Faheem M. Wireless digital data acquisition system for EMI measurement in power substions [J]. IEEE Trans Inform Theory, 2006, 17 (4): 288-291.

[6] Besaw L E, Rizzo D M, Bierman P R. Advances in ungauged stream flow prediction using artificial neural networks [J]. Journal of Hydrology, 2010, 386 (14): 67-71.

[7] 黄安贻, 叶 菁. 基于交换式技术的工业以太网实时性问题的研究 [J]. 机电工程技术, 2005, 34 (4): 13-16.

[8] 高吉星, 赵 强, 佟为明. 基于 ENC28J60 的 TMS320F2812 以太网通信接口设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 20 (3): 709-711.

[9] 邓 伟, 王文菊. 基于 TMS320 C6455 的以太网通信程序的设计 [J]. 电子设计工程, 2013 (7): 165-168.

[10] 吴 升, 潘宏侠, 高 阳. 基于 TMS320F2812 的以太网通信系统的设计 [J]. 机械设计与制造, 2011 (3): 203-205.

[11] 肖忠祥. 数据采集原理 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2001.

[12] 高忠斌. 模块化接收机与多通道数据采集电路设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.