



# 嵌入式系统物联网装置的开发与优化<sup>\*</sup>

林喜辉

(北海职业学院, 北海 536000)

**摘要:** 针对物联网技术存在的问题进行深入的探讨,旨在将其全部底层构件整合到一个软件中,以实现低能耗、产品级的物联网装置的开发和优化。完成了基于线程控制、线程同步、线程通信等多个模块的功能设计;实现了嵌入式物联网系统的中断控制和存储管理以及嵌入式物联网系统的多种通信方式和协议,测试了嵌入式物联网系统的低功耗。实验结果表明,在不使用操作系统的状态下,系统所提供的更多功能会导致耗电量增大,但是在低功率、正常工作状态下,它的耗电量是普通微机的 50%。

**关键词:** 嵌入式系统;物联网;STM32L100RB

**中图分类号:** TP311

**文献标识码:** A

## Development and Optimization of Embedded IoT Devices

Lin Xihui

(Beihai Vocational College, Beihai 536000, China)

**Abstract:** In view of the problems existing in the current Internet of Things technology, this paper makes an in-depth discussion on it, aiming at integrating all its underlying components into one software, so as to realize the development and optimization of low energy consumption and product-level Internet of Things devices. First of all, the functional design based on thread control, thread synchronization, thread communication and other modules is completed. Then, the interrupt control and storage management of the embedded Internet of Things system are realized. A variety of communication modes and protocols of the embedded Internet of Things system are realized. Finally, the low power consumption of the embedded Internet of Things system is tested. The test results show that the more functionality provided by the system will increase the power consumption of the system without using the operating system, but in the low power and normal working state, its power consumption is 50% of that of the ordinary microcomputer.

**Keywords:** embedded system; Internet of Things; STM32L100RB

## 0 引言

物联网通过网络连接各种设备,实现远程监控,其目标是将世界各个角落的事物通过传感器节点连接起来,实现人与物、物与物、人与物之间的无障碍信息交流。传统网络(如互联网、有线和无线网络)连接的设备需要相应的收发模块(如手机、PC端),通过 GPRS、4G/5G 等技术连接到网络。物联网与嵌入式系统密切相关,最早的物联网起源于无线传感器操作系统。常见的物联网操作系统(如 TinyOS)基于嵌入式无线传感器,物联网中的控制运算和数据处理运算都需要嵌入式技术的支持,为了降低功耗,本文提出了相应的研究方法。

<sup>\*</sup> 基金项目:2022 年北海职业学院科研项目—无线传感器网络节点定位优化算法研究(2022YKY06)。

## 1 系统物联网应用设计

### 1.1 系统概述

传统操作系统(如 Windows、Linux)在桌面和服务器环境下具有较好的安全性能,但无法直接用于嵌入式系统,特别是基于 MCU 的环境。尽管 Linux 可以在嵌入式系统中使用,但对硬件需求较高,因此嵌入式操作系统更适合嵌入式物联网应用设计。

嵌入式物联网是指在嵌入式装置上运行的软件系统,能够迅速接收外部事件或数据,并做出相应的反应和调整。常用的操作系统有 eCOS、 $\mu$ C/OS、FreeRTOS 等,这些操作系统由使用者编码和操作系统编码共同编写。在嵌入式系统中,线程管理、存储管理、设备管理、作业管理和安全管理等都是重要功能。在嵌入式物联网中,线程管理是主要功能,具体包括线程控制和调度,通过算法分配

处理器资源和选择线程,并为执行准备一个特定的环境。线程同步是为了协调多个并行执行的线程之间的重要数据访问,通常通过互斥和同步机制来实现。线程间通信主要发生在多个线程之间,用于传递信息和协作。

### 1.2 线程控制

线程是相互独立且并行运行的程序。在系统中,线程可能处于运行状态、就绪状态、待机状态或 Noise。运行状态下只能有一个线程运行;就绪状态表示线程已获得必要资源,在等候时具有最高优先权的线程开始执行;待机状态表示线程正在等待相关活动;Noise 表示没有创建线程且不占用系统资源。

### 1.3 线程同步

在嵌入式系统中,为了实现线程的同步,常使用互斥锁和信号量。

**互斥锁:**类似于全局变量,它确保在执行某段代码时只有一个线程可以运行,有效保证线程按顺序对共享资源进行操作。只有唯一的线程可以控制互斥锁,其他线程必须等待解锁后才能在共享资源上运行。互斥锁包括加锁和解锁两个步骤。

**信号量:**用于决定同时可以访问某个共享资源的线程数量,例如文件读取时可以限制同时打开的文件数目或者服务器对网络连接的限制。通常情况下,信号量的输出具有延迟和释放的特性。

### 1.4 线程通信

嵌入式物联网系统提供了多种线程间的通信方式,包括队列和邮件<sup>[1]</sup>。队列和邮件本质上是相同的,不同之处在于:队列需要额外的内存池,而邮件可以从系统分配内存。此外,从使用的角度来看,两者都基于先进先出队列模式,在该模型中,一个执行绪生成数据,为其他执行绪提供信息。

消息队列流程如图 1 所示,采用 PUT 将消息放入队列,采用 GET 从队列中接收或等待消息。单独使用队列只能传输简单的数据,无法传输结构类型数据。如果使用邮件通信机制,上述功能将更加方便。由于消息是整合了一个排队和一个记忆体,因此只有在一个队列中传输的指针,而在一个记忆体中存储了资料。其工作方式如图 2 所示。

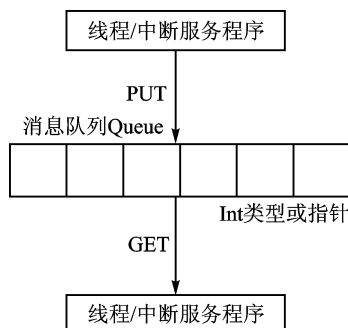


图 1 消息队列流程



图 2 消邮件示意图

## 2 基于嵌入式系统的物联网应用技术与实现

### 2.1 蓝牙

蓝牙具有如下主要功能:1 类设备最远通信距离为 100 m,2 类设备为 20 m;低功耗,1 类约 100 mW,2 类约 2.5 mW;数据速率可达 3 Mb/s;最多支持 8 台设备同时连接。RN-41 蓝牙模块是一个简单的串行通信设备,只需连接 TX/RX 即可使用。它可与任意 DART 串行接口结合,实现嵌入式物联网系统的串行通信。应用程序基于编码实现信息传输,可通过蓝牙双向传输数据,包括从嵌入式物联网系统发送到 PC 和从主机 PC 发送到嵌入式物联网系统。连接嵌入式物联网蓝牙设备或与嵌入式蓝牙设备通信时,需要进行 MAC 地址配对。蓝牙在无线通信和物联网中扮演着重要角色。

### 2.2 异步串行通信

异步串行通信是双向通信,用于主机与辅助设备间的通信。下行通信需要 3 条信号线,发送与接收交叉连接,另一条接地。3 条信号线无时钟信号,因此数据传输速度要相同。字符的传输时间是不确定的(异步的)。该异步串行通信特点是结构简单,操作便捷,但传输速度慢。

在迁移过程中,识别了几个 PIN 文件,并将其初始化为 DART 和其他 PIN。异步串口通信既能实现 PC 与装置之间的传输、接收,又能实现与硬件的交流和中断。使用计时器对程式的输出进行串行侦错,得到串口调试程序结果如图 3 所示。

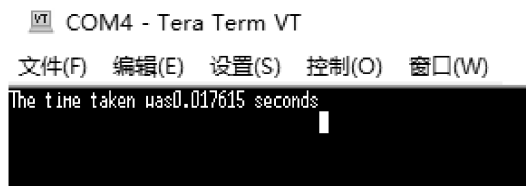


图 3 串口调试程序结果

在此,采用 UART 方式进行单向通信,利用计时装置和电脑屏幕,以串口方式将显示程式的执行时刻还原。这种方法把键盘上的文字输入到硬件中,然后用 ASCII 代码+1 来表示,从而达到双向串行通信的目的。

## 2.3 中断控制

中断控制是指机器运行中出现的突发中断情况,如用户按下预先设计的按钮触发程序中中断时,机器可以立即响应操作,切换到紧急程序。调用最初的通过连续查询轮询来处理事件的方法,与中断程序构成了微处理器事件的方案。轮询视所有输入为相同等级,且每次只能单独线程运行。要解决上述问题,更好的解决方案是在发生紧急变化时自动切换到处理紧急任务。当没有变化时,系统任务不会变化,不会浪费时间和资源,这就是中断的目的。图 4 所示为一个中断响应的流程图。

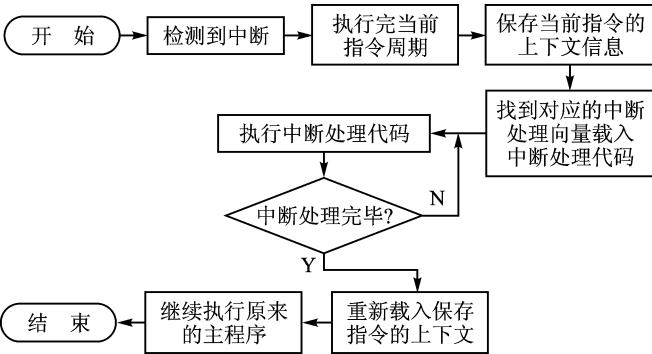


图 4 微处理器中断响应图

嵌入式物联网系统使用中断函数来构造中断。InterruptIn 类函数如表 1 所列。

表 1 InterruptIn 类函数

| 函数                                 | 用途                                    |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| InterruptIn<br>(PinName pin);      | 将 pin 插针设置为中断处理插针的构建器                 |
| void rise<br>(void(* fptr)(void)); | 为引脚上缘触发设定一个打断处理功能                     |
| void fall<br>(void(* fptr)(void)); | 设置引脚的跌落边缘触发的中断处理功能                    |
| void mode<br>(PinMode pull);       | 设定引线的方式将上缘的过程设定为全时,而下行端的触发器设定为 PullUp |

GPIO 中断管理:建立一个中断,并与一个特定的引脚相连,然后把这个引脚作为一个按键。这个故障有一个很容易被打断的方法。在执行原始工作时,启动按键后该程式会终止原来的工作,并进行一个中止程式。如果再一次发生了一个故障,那么原始的工作就会被还原。

串口通信、蓝牙等的网络通信,除了可能受到 GPIO 方式控制干扰外,还可引发以下情况:①DART 串行触发中断,通过连接计算机与 DART 串行接口,键入文字传输到开发板实现中断触发;②通信控制中断,在通信完成后,主机通过串行接口将无线数据传输到开发板,并发送指令

进行操作触发。

中断触发器的最佳实践包括间歇性触发器,以解决周期性活动的问题,并具备固定的优先级次序,满足循环嵌套功能。

## 2.4 嵌入式物联网系统存储管理

SD 卡广泛应用于手机、播放器等存储设备中。SD 卡是存储大量非易失性数据(即使断电也不会丢失数据)的非常便宜的选择,非常适合音频/图像的数据记录和存储。SD 卡和 MMC 卡支持多种协议,但通常基于 SPI 协议。它使用通用的 SPI 接口,SD 卡是块设备,以块大小的倍数(通常为 512 字节)读/写数据,接口基本上是“从块地址 n 读”和“写块地址 m”。

FAT 之类的档案体系就是上面的一个抽象。SDFileSystem 是这个程序的一个程序库,可以让 SD 卡通过 SPI 界面来读取和写入,就像一个文档系统一样。这个软件包的主要功能是 FAT12/FAT16/FAT32。嵌入式物联网系统还具备读写 SD/TF 卡的 SDFileSystem 对象。

构造函数,它设置用于 SD 卡通信的 SPI 引脚,并将整个 SD 卡标识为名称的虚拟文件系统。在其他的档案动作中,也会用 C 程式码来定义 SDFileSystem 物件,易于使用,而且可以使用 C 语言提供的更多函数。

## 3 性能测试

### 3.1 硬件环境

采用 STM32L100RB 作为实验平台,该装置是一种在板式计算机编程过程中用来测定电压的改变。工作电流由端子的电阻计算。

### 3.2 低功耗模式实验设计

① 通过空睡眠调试睡眠功能,分为睡眠模式和深度睡眠模式。睡眠模式维护处理器的状态。深度睡眠模式是仅当高速时钟外围设备不适用时才进入的模式。嵌入式物联网系统会自动选择。

② 覆盖空闲周期任务:空闲周期任务在应用程序等待时间时在后台执行。当单个优先级线程进入就绪状态时,空闲任务将立即切换到新任务。它可以减少空闲时间的能耗,节省电力。

③ 创建异步回调任务:因为总线的处理速度往往要比内核处理慢得多,所以它们常常会被导入很多相似的等候编码。设置异步回调程序,发送到外设执行,传输完成后获取回调状态,释放 CPU。

④ 使用超时和间歇中断:这种方法可以释放 CPU 来做任何事情,并将测量变化时间的任务委托给定时器硬件在后台完成。

### 3.3 实验步骤

- ① 将嵌入式物联网系统移植到单板上；
- ② 编写简单的 LED 闪烁程序；
- ③ 测量正常运行情况下的功耗；
- ④ 创建空闲周期任务,将嵌入式物联网系统切换到低功耗模式；
- ⑤ 低能耗模式 LED 闪烁记录和观察得到数据；
- ⑥ 利用以上流程对没有操作系统和  $\mu\text{C}/\text{OS II}$  系统进行测试,记录数据,电压变化图如图 5 所示。

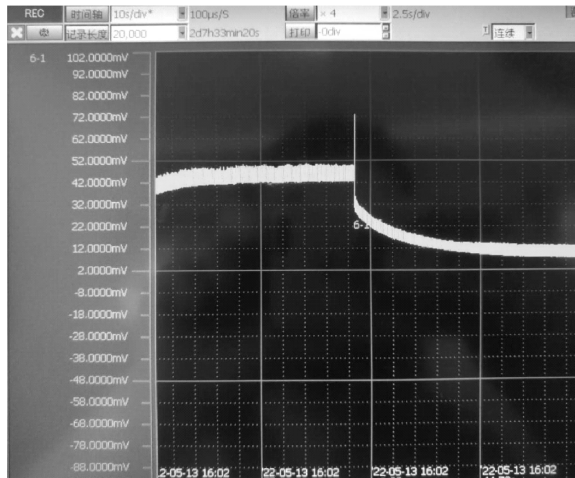


图 5 电压变化图

图 5 为存储记录仪中显示嵌入式物联网系统的电压变化情况,实验结果如表 2 所列。

由表 2 可知,嵌入式物联网系统在无操作系统运行和低功耗模式下,由于支持功能而产生一定的能耗,裸板的功耗表现最差;低功耗和正常运行的情况下,嵌入式物联网系统的功耗表现较好,几乎是  $\mu\text{C}/\text{OS II}$  操作系统的一半。

## 4 结 语

本文针对嵌入式物联网应用的中断控制、存储管理、通信、低功耗等方面进行了深入探讨,并对其集成的云端平台进行了测试,并测试其功耗。研究发现,嵌入式物联

表 2 功耗测试实验数据表

| 操作系统                       | 模式  | 平均电压/mV | 电阻/ $\Omega$ | 平均电流/mA |
|----------------------------|-----|---------|--------------|---------|
| —                          | 正常  | 25      | 10           | 2.5     |
|                            | 低功耗 | 6       | 10           | 0.6     |
| $\mu\text{C}/\text{OS II}$ | 正常  | 70      | 10           | 7.0     |
|                            | 低功耗 | 20      | 10           | 2.0     |
| 嵌入式物联网系统                   | 正常  | 40      | 10           | 4.0     |
|                            | 低功耗 | 12      | 10           | 1.2     |

网技术能够有效拓展网络的应用领域,降低开发成本。而云计算等相关的平台也可为用户便捷、快速地提供物联网信息,但同时也消耗了大量的电力。但是,在这种情况下,嵌入式物联网应用程序因为缺少中文支撑,仍然保持着谨慎的态度。

### 参考文献

- [1] 陈祥国,尚凡,宋君强. 嵌入式系统安全防护方案比较与应用案例分析[J]. 计算机工程与科学,2022,44(3):10.
- [2] 张猛,赵振峰,杨晓鑫. 嵌入式系统在物联网领域中的应用[J]. 仪表技术,2021(6):4.
- [3] 林树森. 基于 STM32 单片机的智能家居物联网平台设计[J]. 电子测试,2020(7):70-72.
- [4] 郭亚楠,肖茜. 基于物联网技术的计算机嵌入式系统分析[J]. 科技资讯,2021,19(34):4.
- [5] 崖海娇. 嵌入式系统与物联网融合发展趋势研究[J]. 经济技术协作信息,2021(10):1.
- [6] 赵慧娟. 物联网与嵌入式系统开发研究[J]. 电子技术与软件工程,2021(18):2.
- [7] 王雪. 嵌入式系统在智能物联网时代背景下的教学研究[J]. 数字技术与应用,2020,38(4):2.

林喜辉(副教授),主要从事计算机及应用研究。通信作者:林喜辉,89286620@qq.com。

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2023-06-02)

- [10] 苗力心. 软件定义协议转换关键技术研究[D]. 郑州:战略支援部队信息工程大学,2020.
- [11] 李晓齐,毛君. 基于 FPGA 的 CAN\_USB 协议转换的研究[J]. 工业控制计算机,2009,22(11):3.
- [12] 苏维嘉,宋宇宁. 基于 FPGA 的 LIN\_USB 协议转换研究[J]. 世界科技研究与发展,2012,34(6):969-971,682.
- [13] 杨会伟,周先飞,马书香. 基于 FPGA 多接口协议间转换系统研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2019,37(6):971-974.
- [14] 满忠昊,权国栋,徐钊. 基于 FPGA 多协议转换网关设计

[J]. 煤矿机械,2015,36(8):298-301.

- [15] WANG Z,CAO S. The Design and Implementation of Intelligent Bedpan for Bedridden Patients[C]//proceedings of the 2021 13th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC),2021.

刘良臣(硕士研究生),主要研究方向为嵌入式系统设计;王真星(副教授),主要研究方向为嵌入式系统、仪器仪表设计。通信作者:刘良臣,20211510180@stu.sspu.edu.cn。

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2023-05-22)