

基于嵌入式操作系统uC/OS-II的 BMS软件设计

李倩¹, 刘森¹, 刘茂盛¹, 梁瑜²

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111; 2. 中车工业研究院有限公司, 北京 100070)

摘要: 电池管理系统(BMS)的可靠稳定运行, 为实现车辆安全可靠运行提供了重要保障。在这种情况下, 为了确保电动汽车电池的高效安全运行, 并减少软件开发时间周期, 实时操作系统十分必要。实时操作系统(RTOS)具有良好的稳定性、可靠性并易于移植的优点, 基于此在软件开发中引入嵌入式实时操作系统uC/OS-II, 并对电池管理系统的软件整体构架进行了划分设计, 包括任务分配、优先级设定和任务周期等方面, 完成了软件设计、代码移植及实验测试, 结果表明该电池管理系统可以稳定运行, 为后续进一步进行在线SOC算法的性能评估和验证提供了软件支持。

关键词: 嵌入式操作系统; uC/OS-II; 电池管理系统(BMS); 软件设计

The design of BMS software based on embedded operating system uC/OS-II

LI Qian¹, LIU Sen¹, LIU Maosheng¹, LIANG Yu²

(1. CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, China; 2. CRRC Institute Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: The reliable and stable operation of the battery management system (BMS) is key for ensuring the safe and reliable operation of the vehicle. In this case, in order to ensure efficient and safe operation of the electric vehicle battery and reduce the software development time period, a real-time operating system is necessary. The real-time operating system (RTOS) has good stability, reliability and easy portability. Based on the above advantages, the embedded real-time operating system uC/OS-II in software development and design is introduced in the overall frame-work of the BMS software, including task assignment, priority setting, task period, etc. The code is completed, migrated and tested. The results show that the BMS can run stably, providing a software support for further performance evaluation and verification for online SOC algorithm.

Key words: embedded operating system; uC/OS-II; battery management system (BMS); software design

0 引言

电池管理系统(BMS)的可靠稳定运行是实现车辆安全可靠运行的重要保障。然而由于汽车电子和电气系统日益复杂, 为了确保电动汽车电池的高效安全运行, 并减少软件开发时

间周期, 实时操作系统十分必要。实时操作系统(Real Time Operating System, RTOS)是指当外界事件或数据产生时, 能够接受并以足够快的速度予以处理, 其处理的结果又能在规定的时间内来控制生产过程或对处理系统作

出快速响应，并控制所有实时任务协调一致运行的操作系统^[1]。

一般的通用操作系统大部分从分时系统发展而来。在单CPU的条件下，分时操作系统的主要运行方式是对多个任务，将CPU的运行时间分为多个时间片，并将这些时间片平均地分给每个任务，轮流让每个任务执行一段时间，如此循环直到完成所有任务，典型的分时操作系统有UNIX和Linux。而实时操作系统是根据优先级对任务进行切换，这样就提高了处理数据的实时性，系统响应时间可知，并且得到了优化，使得电池组能够更加安全可靠地运行。

在汽车行业，由德国宝马、博世等9家公司共同成立了AUTOSAR，为ECU (Electronic Control Unit) 软件建立了一个标准化平台，摆脱了以往ECU软件开发与验证时对硬件系统的依赖。软硬件分离的分层设计，大大降低了软件开发难度和对软件工程师技能的要求，压缩软件开发周期，提高了开发效率，使得系统集成与产品推出的速度极大提升。但由于AUTOSAR标准开发依赖于许可证，并且相对闭源，导致开发成本实际上依然很高。

对于中小型微处理器和控制器，开源的FreeRTOS与uC/OS-II操作系统更为适合^[2]，但FreeRTOS只提供了消息队列和信号量通信方式。uC/OS-II是美国嵌入式专家Jean J. Labrosse设计的基于ROM运行可裁减的优先级抢占式的实时多任务内核，具有高度可移植性的嵌入式实时操作系统，是在uC/OS的基础上发展起来的，现由Micrium公司提供，支持多个制造商的不同芯片。其绝大部分代码是用C语言编写的，极少部分与处理器相关的代码是用汇编语言编写的，全部内核仅占用2 KB的ROM，有着高度可靠性、鲁棒性和安全性，易于程序的移植和结构模块化。从1992年至今，uC/OS-II已经广泛应用于军事机械、网络通信、消费电子、航空航天和工业控制等领域^[3-5]。

1 BMS的拓扑构架

BMS主要通过采集电池电压、温度和电流等信息，实现高压安全管理、电池状态分析、能量管理、故障诊断管理及电池信息管理等功能，并通过CAN总线将电源系统关键参数与整车通信联系，从而实现对电池系统安全的有效管理^[6]。

BMS从控单元负责实时采集单体信息，并通过CAN总线将单体电池数据发送给BMS的主控单元。BMS主控单元作为电池管理系统的控制中心，负责整个系统的运行过程监控、数据处理、控制策略实现和外界通信控制，从而实现与车载或地面充电机数字交换和充电控制，并对其数据进行诊断和处理，防止电池组出现过充电、过放电和过温的情况，延缓电池使用寿命^[7]。

在轨道交通领域中，综合考虑电池的功能用途、安放位置、安全性和可靠性等相关要求，可以对应选择不同的拓扑结构。如在辅助电池系统中，电池数量较少，电池位置相对集中，一般采用集中式或模块式拓扑结构。而在轨道交通车辆的储能电池系统中，电池数量多、分布较为分散，一般采用主从式和分布式拓扑结构。但由于分布式BMS的通信可靠性较差，所以通常情况下BMS采用主从模式的拓扑结构，如图1所示。

本文就涉及的主从模式下的BMS主控单元进行任务划分及软件设计。

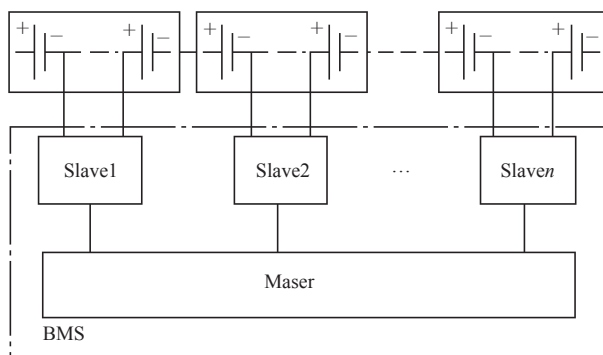


图1 主从式BMS拓扑图

Fig. 1 Master-slave BMS topology

2 目前程序结构与基于uC/OS-II的程序对比

为实现BMS的多种功能，大多数BMS软件架构采用多任务环境，包括从简单的循环任务调度程序到更复杂的完全抢占式的多任务操作系统。由于BMS是一个系统的安全的关键保障，因此必须确保及时执行负责安全功能的任务，例如电压测量以及相关的过充电和过放电保护，温度和电流测量以及接触器控制等。传统的程序结构通常采用前后台模式，程序结构如图2所示。任务通过主循环顺序执行，程序通过时间片的形式决定是否执行，每个任务只有等自己的时间片到了之后，任务才能被执行。因而，可能会出现某个任务的时间片到来，但任务不能被立即执行的情况，即紧急的任务没有得到及时执行，需要等当前任务结束之后才有机会执行，导致系统的实时性不高。

```
main
{
    {任务 1 的时间片到了则处理任务 1};
    {任务 2 的时间片到了则处理任务 2};
    .....
    {任务 N 的时间片到了则处理任务 N};
}
timer_isr_server
{
    {判断每个任务的时间片是否到来，并进行标记};
}
isr_server
{
    {处理中断};
}
```

图2 传统程序结构

Fig. 2 Traditional program structure

因此，为了解决系统实时性的问题，在BMS中引入uC/OS-II系统，如图3所示。uC/OS-II操作系统是一个定位于8/16位及低端32位CPU的RTOS内核，是一种基于优先级的可剥夺型内核^[8]。根据调度算法的不同，内核可以分为不可剥夺型和可剥夺型内核，如图4所示。可剥夺型内核总是让就绪态的高优先级的任务先运行，中断服务程序可以抢占CPU，到中断服务完成时，此时如果有更高优先级任务就绪，则内核会切换到当前优先级最高的任务

然后运行。适合于功能相对固定、任务数量少，但又要求有一定实时性的电池管理系统，并且其相对独立的任务事件特点减轻了软件架构上划分的难度，有利于减少开发周期及后期嵌入状态估算算法验证^[9]，其体系结构如图5所示。

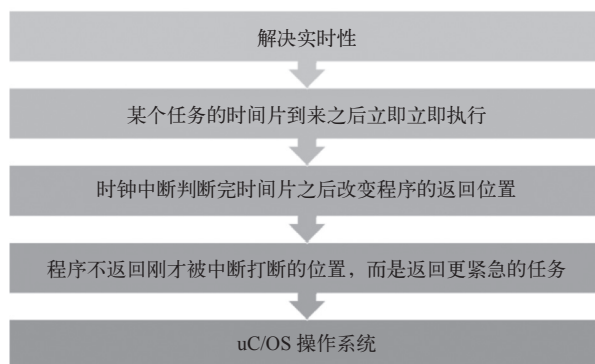


图3 引入uC/OS-II操作系统解决实时性

Fig. 3 Introduce uC/OS-II operating system to solve real-time performance

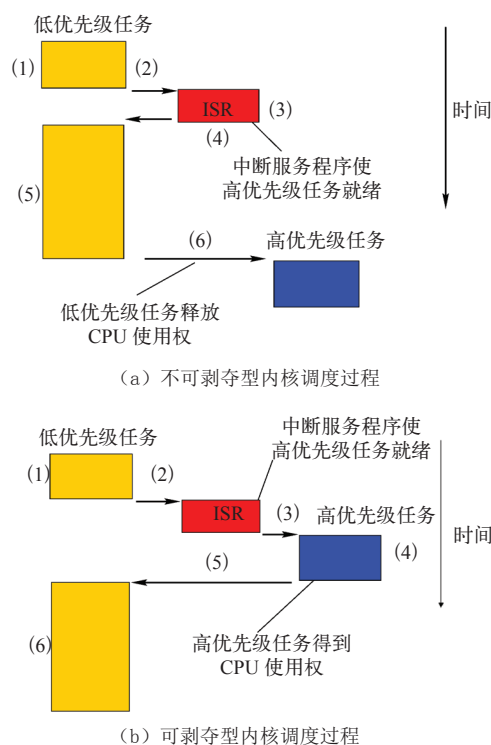


图4 两种内核调度过程

Fig. 4 Two kinds of kernel scheduling process

uC/OS-II的程序构架如图6所示，开启uC/OS-II系统后，程序会查找当前优先级最高的任务所在堆栈位置，而不是在主程序中轮询。任务级系统响应时间得到了最优化，并且可知。

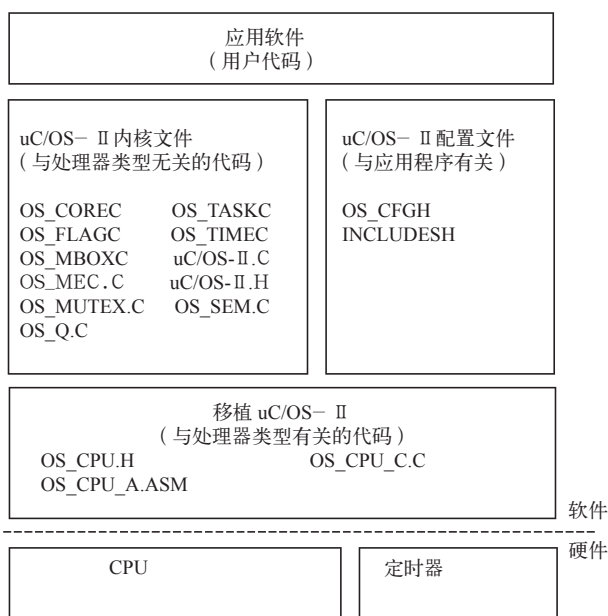


图5 uC/OS-II体系结构
Fig. 5 Architecture of uC/OS-II

```
main
{
    硬件初始化;
    uC/OS-II 初始化;
    创建任务Task1;
    创建任务Task2;
    开启uC/OS-II;
}

void Taskn (void *pdata)
{
    /*只执行一次代码*/
    for(;;)
    {
        /*用户代码*/
        任务挂起或延时;
    }
}
```

图6 uC/OS-II的程序构架
Fig. 6 The program framework of uC/OS-II

3 基于uC/OS-II的BMS软件系统整体构架

3.1 uC/OS-II的构架组成

uC/OS-II大致可以分为系统内核、任务管理、时间管理、多任务同步与通信和内存管理几部分^[10]。

系统内核，也就是uC/OS-II的核心部分，包含uC/OS-II操作系统的初始化、启动、中断管理、时钟中断、任务调度及事件处

理等系统基础函数。任务管理用于建立、删除、挂起和恢复任务等列类操作，其核心是任务调度。时间管理包括维护系统时基，执行与系统时基相关的处理或操作，如任务延时、取消任务延时及获取/设置系统时间等。多任务同步与通信确保了任务之间或中断服务之间的资源同步或活动同步，具体可以通过消息邮箱、消息队列、信号量和互斥信号量等手段实现。内存管理是通过uC/OS-II把一片连续的内存空间分区分块，解决了内存碎片化的问题，实现了内存高利用率，可以通过创建、申请和释放等函数获取分区信息。

3.2 BMS主控单元基本功能

电池管理系统与电池共同组成电池系统，为整车提供辅助供电或动力，电池管理系统一般具有电池状态监测、电池安全分析、电池状态预测、能量控制管理和通信管理等功能^[11]，如图7所示。在不同的应用环境下，功能会有所区别，但通常都会包含通过CAN总线实现与从控BMS的单体数据交互、整组电池状态估计、霍尔总电压、总电流检测和读写EEPROM、控制总正总负等继电器以及与上位机数据监控系统通信等基础功能。

1) 电池状态监测。电池状态信息监测包括单体电压、温度和充放电电流等的监控和检测。

2) 电池安全分析和保护。防止电池过充电、过放电和热失控等情况，对电池的开路和短路故障预警作出及时的反应。

3) 电池状态预测。估算电池荷电状态(State of Charge, SOC)和电池健康状况(State of Health, SOH)。

4) 电池充电管理。结合电池的具体性能进行充电管理，从而提高充电速度并保证充电的安全性。

5) 通信。电池管理系统成为一个有机整体，中央控制单元与电池检测模块、上位机等之间要进行数据交换。

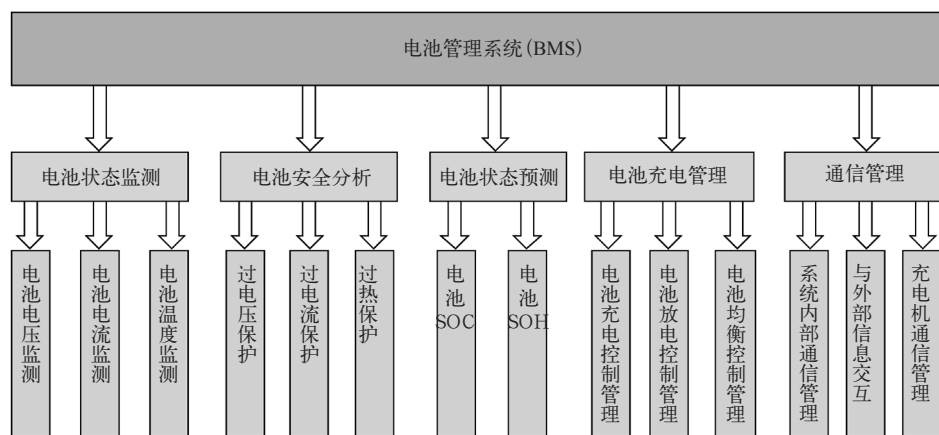


图7 电池管理系统框架图

Fig. 7 Battery management system framework

3.3 基于uC/OS-II的BMS任务分配及优先级

以硬件功能为任务分配目标对BMS的功能进行拆解划分，将主控BMS任务共划分为7个，由于每个任务都会有一个对应的堆栈进行临时数据的存储，若平均每个任务栈的大小为256，则对于具有8 KB RAM的单片机最多可以支持32个任务，根据BMS基本功能，将任务共划分为11个，其中系统初始化任务只执行一次，其他周期性任务的执行周期及优先级如下表所示。

表 uC/OS-II 任务分配情况

Tab. Task assignment of uC/OS-II

任务名称	执行周期/ms	任务优先级
系统初始化	一次性任务	1
CAN 接收数据解析	10	2
霍尔电流检测、按时积分	10	3
最高最低单体电压	420	4
最高最低温度	2 040	
故障检测及判断	420	
CAN 数据打包	50	5
SOC 计算	1 000	6
CAN 数据发送	50	7
霍尔总电压检测	30	8
45 dB 数据存储	200	9

4 结束语

本文对基于嵌入式操作系统uC/OS-II的BMS软件的设计和构架进行了分析与探讨，具

体包括uC/OS-II构架及其特点、BMS的基本功能及两者的结合点，并对BMS主控单元的任务数量及任务优先级进行了划分，完成了基本功能的软件设计，实现了uC/OS-II到飞思卡尔单片机MC9S12XEP100的移植，并对移植后的系统进行了测试，希望能够为电动汽车的电池管理系统软件开发研究提供一点思路。

参考文献

- [1] 刘永喆, 齐铂金, 吴红杰. 基于uC/OS-II的电动车电池管理系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2006(12): 52-54.
- [2] 陈华强, 张盼华. 典型实时嵌入式操作系统应用分析[J]. 电子测试, 2018(23): 22-23.
- [3] 尹叶丹, 吴友宇, 程昌银. uC/OS-II在电动车电池管理系统中的应用研究[J]. 计算机工程与应用, 2004(30): 205-207.
- [4] 纪宇中, 吴鸿霞, 邓彬伟. 基于uCOS的手机监控电池组的系统设计与实现[J]. 湖北理工学院学报, 2017(4): 9-11.
- [5] 汤健强, 周凤星, 沈春鹏. 基于uC/OS-II的蓄电池状态监测与智能控制系统[J]. 电子技术应用, 2017, 43(7): 148-152.
- [6] 仇士玉, 王娟. 基于单片机的纯电动汽车电池管理系统设计[J]. 电子测试, 2018(19): 16-17.
- [7] 李林阳. 电动汽车锂离子电池管理系统研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2018.

- [8] 刘舟. 基于实时操作系统uC/OS-II 的电池管理系统的设计与实现[D]. 长沙: 湖南大学, 2017.
- [9] HE Hongwen, XIONG Rui, PENG Jiankun. Real-time estimation of battery state-of-charge with unscented Kalman filter and RTOS uCOS-II platform[J]. Applied Energy, 2016, 162: 1410-1418.
- [10] 林鹏. 基于嵌入式实时操作系统uC/OS-II 的电池管理系统设计[D]. 北京: 北方工业大学, 2015.
- [11] XU DE, WANG LF, YANG J. Research on lithium battery management system[C]. International

Conference on Electrical & Control Engineering, IEEE, 2010.

作者简介



李 倩

李倩 (1984-), 女, 工程师, 主要研究方向为电池管理系统软件设计。

(收稿日期: 2019-05-10) **EA**