 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i4.5304

# Optimal design of low power embedded system driven by digital electronic technology

**Jian Lin**

Taishan University of Science and Technology, Tai'an, Shandong, 271000, China

**Abstract**

With the rapid development of intelligent hardware and the Internet of Things, low-power embedded systems play an increasingly important role in many application fields, such as mobile devices, sensor networks, smart homes, etc. As the core technology of embedded system, digital electronic technology promotes its continuous progress. However, how to further reduce power consumption while ensuring system performance has become one of the key challenges in designing and implementing embedded systems.This paper discusses the optimal design method of low power embedded system driven by digital electronic technology, analyzes the main factors affecting the power consumption of embedded system, and puts forward a series of targeted optimization strategies, including hardware optimization, software optimization, power management technology and collaborative design method. The effectiveness of these optimization methods in different application scenarios is verified by example analysis. Research shows that low power optimization design can not only significantly extend the service life of embedded systems, but also improve the energy efficiency of the system to meet the increasingly demanding application requirements.

**Keywords**

low power consumption; Embedded system; Digital electronic technology; Optimization design

# 数字电子技术驱动下的低功耗嵌入式系统优化设计

林健

泰山科技学院，中国 · 山东 泰安 271000

**摘　要**

随着智能硬件和物联网的飞速发展，低功耗嵌入式系统在许多应用领域，如移动设备、传感器网络、智能家居等，发挥着越来越重要的作用。数字电子技术作为嵌入式系统的核心技术，推动了其不断进步。然而，如何在保证系统性能的同时，进一步降低功耗，成为设计和实现嵌入式系统的关键挑战之一。本文探讨了数字电子技术驱动下的低功耗嵌入式系统的优化设计方法，分析了影响嵌入式系统功耗的主要因素，并提出了一系列针对性的优化策略，包括硬件优化、软件优化、功耗管理技术以及协同设计方法。通过实例分析，验证了这些优化方法在不同应用场景中的有效性。研究表明，低功耗优化设计不仅能够显著延长嵌入式系统的使用寿命，还能提升系统的能源效率，满足日益严苛的应用需求。

**关键词**

低功耗；嵌入式系统；数字电子技术；优化设计

## 1 引言

嵌入式系统作为现代电子技术的基础组成部分，已经广泛应用于工业控制、通信、汽车电子、家电、医疗健康等多个领域。随着移动设备的普及和物联网技术的发展，嵌入式系统的需求呈现出多样化和高效能的趋势。特别是在需要长时间独立运行的设备（如便携式设备、无线传感器网络等）中，低功耗嵌入式系统的设计成为一个至关重要的问题。

传统嵌入式系统的设计侧重于提高处理能力和计算性能，而对功耗的考虑相对较少。然而，在实际应用中，尤其是在电池供电的设备中，系统功耗直接影响设备的使用寿命和稳定性。因此，如何在保证系统性能的同时，最大限度地降低功耗，成为当前嵌入式系统设计的主要挑战。

随着数字电子技术的不断发展，特别是集成电路、微处理器和存储器技术的创新，为低功耗嵌入式系统的设计提供了更为丰富的手段。近年来，低功耗设计技术逐步引入到嵌入式系统的设计流程中，推动了该领域的进步。本论文旨在探讨数字电子技术驱动下的低功耗嵌入式系统优化设计方法，分析其在不同应用中的实际表现，为嵌入式系统的功耗优化提供理论支持与实践指导。

【基金项目】泰山科技学院 2023 年度校级一流本科专业“电子信息工程”。

【作者简介】林健（1989–），男，中国山东泰安人，硕士，工程师，从事电子信息工程研究。

## 2 嵌入式系统低功耗设计的基础

### 2.1 低功耗嵌入式系统的定义与发展背景

嵌入式系统是专为特定任务而设计的计算机系统，其特点是硬件和软件紧密结合，资源有限。随着信息技术的进步和嵌入式系统应用的扩展，低功耗已成为嵌入式系统设计的重要目标之一。低功耗嵌入式系统不仅能有效延长电池寿命，还能减少能量消耗，降低系统运行成本，特别适用于物联网、便携设备、智能传感器等领域。

低功耗设计在嵌入式系统中涉及多个方面，包括硬件层面的优化、软件层面的优化以及系统整体功耗的管理。随着集成电路技术的进步，数字电子技术使得功耗优化设计在嵌入式系统中变得越来越可行。目前，低功耗技术的发展主要集中在降低静态功耗和动态功耗两个方面，前者主要通过降低集成电路的漏电流来实现，后者则通过优化计算、存储、通信等模块的功耗来实现。

随着物联网和智能设备的普及，低功耗嵌入式系统在未来的应用前景将更加广泛。因此，低功耗嵌入式系统的优化设计成为嵌入式系统开发中的核心问题之一。

### 2.2 嵌入式系统功耗的主要来源

嵌入式系统的功耗主要来源于硬件和软件两个方面。硬件功耗主要包括以下几个部分：

静态功耗：静态功耗是由于集成电路（IC）中的漏电流和静态电流引起的。随着技术的进步，集成电路的制造工艺逐渐小型化，静态功耗逐渐成为功耗的主要来源之一。

动态功耗：动态功耗来源于电路的开关活动，特别是在计算和数据传输过程中，电路的状态变化会导致电流的波动。动态功耗随着操作频率的提高而增加，因此，优化计算频率和减少冗余计算是降低动态功耗的重要手段。

内存和存储器功耗：内存和存储器在数据读取和写入过程中会消耗较多的功率。选择低功耗内存技术和优化内存访问策略，可以有效降低这部分功耗。

通信模块功耗：在嵌入式系统中，通信模块（如 Wi-Fi、蓝牙、Zigbee 等）的工作功耗通常较大。通过优化通信协议、降低数据传输频率以及采用低功耗通信技术，可以有效减少通信模块的功耗。

软件层面的功耗主要与代码执行效率、资源分配和调度策略相关。通过优化算法、减少不必要的计算和内存访问，可以显著降低系统的整体功耗。

## 3 低功耗嵌入式系统的硬件优化设计

### 3.1 硬件架构优化

硬件架构的设计直接影响嵌入式系统的功耗表现。传统的嵌入式系统往往采用单一的硬件架构，而低功耗嵌入式系统则需要根据实际需求，选择适合的硬件组件，并对其进行精细化优化。例如，在选择处理器时，可以选择低功耗的微控制器（MCU）或处理器，这些处理器通常具有较低的静态功耗和动态功耗。此外，现代嵌入式系统还可以采用低功耗芯片和模块，如超低功耗无线通信模块（如 Bluetooth Low Energy、Zigbee 等）和低功耗存储器，以进一步减少系统的能量消耗。

另外，硬件的多核处理架构也是一种有效的优化手段。在嵌入式系统中，采用多核处理器可以根据任务的复杂度动态分配工作负载，低负载时将部分核心关闭，减少无效的功耗消耗。多核架构能够在保证系统性能的前提下，通过灵活的功耗管理策略，实现低功耗运行。

### 3.2 低功耗电源管理

电源管理是低功耗嵌入式系统设计中的关键部分。通过智能电源管理技术，可以有效控制系统各部分的功耗，优化电池使用效率。常见的低功耗电源管理技术包括：

动态电压频率调整（DVFS）：该技术可以根据系统的工作负载动态调整电压和频率，从而实现功耗的动态控制。当系统负载较轻时，可以降低工作频率和电压，从而减少功耗。

休眠模式和待机模式：大部分嵌入式系统在不活动时可以进入低功耗休眠模式，暂停大部分功能，只保持最基本的系统功能，以节省电力。根据应用需求，还可以设计不同的休眠模式，以便在不同场景下灵活调整功耗。

能量回收技术：能量回收技术通过回收系统在工作过程中产生的余热或机械能，将其转化为电能，并存储在电池或超级电容器中，为系统提供额外的电能支持。

### 3.3 功耗敏感硬件设计

为了进一步降低功耗，嵌入式系统的硬件设计应当考虑功耗敏感因素。例如，设计中要考虑电路的时序优化和资源共享，以减少不必要的功耗。针对存储器的优化设计，如采用低功耗 RAM、缓存优化等，能够有效减少内存模块的功耗。此外，处理器与外设之间的数据传输也应当进行优化，避免无效数据传输的频繁操作，降低通信模块的功耗。

## 4 低功耗嵌入式系统的软件优化设计

### 4.1 优化算法设计

软件层面的优化是降低嵌入式系统功耗的重要手段之一。嵌入式系统通常运行在资源受限的环境下，如何提高计算效率并减少不必要的功耗，是提升系统性能和延长电池寿命的关键。通过优化算法设计，可以有效降低系统的计算复杂度，减少内存访问频率，进而减少功耗，尤其在运行时长时间维持低功耗状态时，这一策略尤为重要。

常见的优化方法包括：

算法简化：对于嵌入式系统中的运算密集型任务，尤其是在实时数据处理或传感器数据采集时，优化算法的复杂度至关重要。通过采用更为简化的计算方法或替代算法，可以显著减少不必要的计算量。例如，采用快速傅里叶变换（FFT）等高效算法替代传统的复杂计算方法，或者通过采

样和插值等方式，简化数据处理过程。减少不必要的计算能够有效降低CPU和内存的负载，从而减少整体系统的功耗。

动态调度算法：通过动态调度算法来控制任务的执行顺序和优先级，可以根据系统当前的负载情况动态调整计算资源的分配。动态调度不仅可以平衡系统负载，还能确保在低功耗模式下，任务能够按时高效执行。例如，采用优先级调度和轮转调度等策略，在任务空闲时使处理器进入低功耗状态，避免因空闲期过长而浪费能量。此外，基于负载的动态调整也有助于降低空闲时的功耗，尤其在需要实时反应的嵌入式应用中，动态调度是确保系统高效和节能的关键。

缓存优化：在嵌入式系统中，内存的功耗占据了系统总功耗的较大比例，尤其是对于频繁进行数据读取和写入的系统。缓存优化策略通过减少缓存未命中的次数，可以显著降低内存访问的功耗。通过对缓存行的优化配置、适当调整缓存大小及缓存替换策略（如 LRU、FIFO 等），可以最大化缓存的有效使用，减少对主存储器的访问次数，进一步降低功耗。此外，优化算法的局部性原理（如时间局部性和空间局部性）能够使数据在缓存中的命中率更高，从而减少访问延迟和功耗。

通过这些算法优化策略，不仅能够有效提高系统的执行效率，还能够降低功耗，延长系统的使用寿命，特别是在移动设备、智能传感器等需要长时间电池支持的场合，优化算法设计将是实现低功耗嵌入式系统的基础。

### 4.2 低功耗操作系统

低功耗操作系统是实现低功耗嵌入式系统的关键组成部分。操作系统需要针对嵌入式系统的特性，支持多种电源管理机制和资源调度策略，最大限度地降低系统功耗。低功耗操作系统不仅要支持高效的任务调度和资源管理，还需要通过智能管理系统的各个模块，保证系统在低负载情况下能够有效进入低功耗状态。

低功耗操作系统通常具有以下特点：

支持多种低功耗模式：现代低功耗嵌入式操作系统需要支持多种低功耗模式，以便根据不同的系统状态和工作负载选择最合适的模式。这些模式包括休眠模式、待机模式、深度睡眠模式等。在工作负载较轻或系统空闲时，操作系统能够将处理器、外设和其他关键模块置于低功耗状态，从而节省能量。例如，在传感器节点中，当数据传输不活跃时，系统可以进入休眠模式，暂停大部分的计算任务和传感器读取，降低不必要的功耗。

任务调度与资源管理：操作系统需要具备灵活的任务调度机制，根据系统的工作负载动态调整任务的执行顺序和优先级。良好的任务调度能够使得系统在资源使用最优化的同时，保持最低的功耗。在资源管理上，操作系统可以根据任务的重要性和紧急性调整分配策略，确保高优先级任务的即时执行，而低优先级任务则可以在低功耗模式下延迟执行。此外，操作系统还需要通过智能内存管理、进程调度和多任务处理等技术，降低内存和处理器的功耗。

实时性与低功耗兼得：尽管低功耗操作系统的目标是减少功耗，但它同样需要保障系统的实时性要求。在某些应用场景中，嵌入式系统必须在严格的时间约束下执行任务。低功耗操作系统通过精确的时间管理和优化调度策略，确保在实时性和低功耗之间找到平衡。例如，在工业控制和医疗设备中，系统可能需要在规定时间内完成数据处理和控制指令，而操作系统则需要确保在任务调度中不影响系统的实时响应性能。

通过实现这些低功耗模式和调度策略，低功耗操作系统能够确保系统在完成任务的同时，最大程度地减少能量消耗。在物联网设备、智能家居等应用中，低功耗操作系统的引入使得这些设备能够长时间独立工作，降低了维护成本并提升了用户体验。

## 5 结语

随着嵌入式系统的广泛应用，低功耗设计成为系统设计中的核心需求。数字电子技术的进步，为低功耗嵌入式系统的优化设计提供了丰富的技术手段，特别是在硬件优化、软件优化和功耗管理领域。本文分析了低功耗嵌入式系统的硬件和软件优化设计方法，提出了通过优化算法、改进操作系统以及灵活的资源管理来降低系统功耗的策略。这些优化方案不仅能提高系统性能，还能有效延长电池寿命，满足嵌入式系统日益增长的低功耗需求。随着技术的不断进步，未来的低功耗嵌入式系统将在智能设备、物联网等领域发挥更大的作用，推动这些行业的持续创新与发展。

## 参考文献

[1] 彭少熙,孙政顺,杜继宏.家庭网络中的嵌入式Internet方案[J].电子技术应用,2001,(10):47-50.

[2] 王锐.基于CAN总线的嵌入式测控系统的研究[D].西华大学,2007.

[3] 周黄鹤.可重构嵌入式虚拟仪器的设计方法研究[D].武汉科技大学,2009.

[4] 和亮.嵌入式远程视频监控系统的设计与实现[D].西安电子科技大学,2009.