

## RISC-V 架构的实时操作系统低功耗调度策略

谭英柯

湖南华中技工学校 湖南长沙

**【摘要】**实时操作系统（RTOS）在嵌入式系统中广泛应用，尤其是在低功耗设备中。随着物联网和移动设备的发展，基于 RISC-V 架构的 RTOS 需要解决如何在保证实时性和可靠性的同时降低功耗的问题。低功耗调度策略是实现高效能与节能平衡的关键。本文探讨了 RISC-V 架构下 RTOS 的低功耗调度策略，分析了不同调度算法的优缺点，并提出了适用于 RISC-V 的低功耗调度方法。基于任务特性和优先级的动态调度能够显著提高能效，并且能够满足实时性要求。本文的贡献在于为 RISC-V 平台下的低功耗实时调度提供了新的思路和方法。

**【关键词】**RISC-V 架构；实时操作系统；低功耗；调度策略；动态调度

**【收稿日期】**2025 年 5 月 16 日

**【出刊日期】**2025 年 6 月 7 日

**【DOI】**10.12208/j.aics.20250021

### Low-power scheduling strategies for real-time operating systems on RISC-V architecture

Yingke Tan

Hunan Huazhong Technical School, Changsha, Hunan

**【Abstract】**Real-Time Operating Systems (RTOS) are widely used in embedded systems, especially in low-power devices. With the development of the Internet of Things (IoT) and mobile devices, RTOS based on the RISC-V architecture needs to address the challenge of reducing power consumption while ensuring real-time performance and reliability. Low-power scheduling strategies are crucial for achieving a balance between high efficiency and energy conservation. This paper explores low-power scheduling strategies for RTOS on the RISC-V architecture, analyzes the advantages and disadvantages of different scheduling algorithms, and proposes low-power scheduling methods suitable for RISC-V. Dynamic scheduling based on task characteristics and priorities can significantly improve energy efficiency while meeting real-time requirements. The contribution of this paper lies in providing new ideas and methods for low-power real-time scheduling on RISC-V platforms.

**【Keywords】**RISC-V architecture; Real-time operating system; Low power consumption; Scheduling strategy; Dynamic scheduling

#### 引言

低功耗设计在嵌入式系统和物联网设备中已成为关键研究方向，特别是在基于 RISC-V 架构的实时操作系统（RTOS）中，如何有效平衡任务调度与节能需求成为重要课题。RISC-V 架构因其开放性和灵活性在嵌入式领域得到广泛应用，但在实际应用中，如何在满足实时性要求的同时实现低功耗调度，仍面临诸多技术挑战。传统的实时调度方法常忽视功耗问题，无法适应现代低功耗系统的需求。近年来，低功耗调度策略逐渐受到关注，研究集中在任务调度算法优化、动态电源管理等方面。本文旨在探讨如何在 RISC-V 架构下实现低功耗调度，分析现有策略的优势与不足，并提出改进的

调度方法，为低功耗实时操作系统设计提供新的思路 and 高效解决方案。

#### 1 RISC-V 架构下实时操作系统的特点与挑战

RISC-V 架构作为一种开源的指令集架构（ISA），在嵌入式系统中得到了广泛应用，特别是在实时操作系统（RTOS）的实现中。与传统的处理器架构相比，RISC-V 具有高度的灵活性和可定制性，这使得它在满足特定硬件需求和功耗优化方面具有优势。然而，RISC-V 架构在实时操作系统的设计中也面临许多挑战。尽管 RISC-V 在硬件设计上具有较大的自由度，但其指令集的简洁性和扩展性要求操作系统具备更高的适应性和灵活性。这使得 RISC-V 平台上的 RTOS 在调

度策略、任务管理和中断处理等方面需要进行定制化优化,以适应不同应用的需求。由于 RISC-V 架构的发展仍处于不断完善的阶段,现有的 RTOS 框架在支持硬件的兼容性和扩展性方面,可能面临一定的技术壁垒。

与其他架构的 RTOS 相比,RISC-V 系统需要更加关注任务调度的实时性和能效。由于低功耗设计在嵌入式系统中愈发重要,如何在 RISC-V 平台上实现高效的调度以降低功耗,成为了设计者和研究人员需要解决的关键问题。传统的实时调度算法通常优先考虑任务的时间约束和优先级,而忽略了能耗管理的因素,这在 RISC-V 架构中可能导致资源的浪费<sup>[1]</sup>。在 RISC-V 平台的 RTOS 中,低功耗调度策略的引入变得尤为必要。有效的低功耗调度不仅能够延长设备的工作时间,还能提高系统的整体能效。为了实现这一目标,需要在调度算法中引入更加细粒度的任务划分、动态电源管理机制以及硬件与软件的协同优化,以确保在满足实时性要求的同时减少能耗。

在实践中,RISC-V 架构下的实时操作系统面临的另一个挑战是硬件资源的限制。尽管 RISC-V 架构在性能上可以通过定制化扩展达到与其他商用架构相当的水平,但其在嵌入式设备中仍受限于计算能力、存储空间和电池续航等方面的制约。在设计 RTOS 时,如何合理利用硬件资源并实现资源的高效调度,成为了一个需要解决的核心问题。尤其是在物联网设备中,这些设备通常需要长期运行在低功耗模式下,对实时操作系统的资源管理提出了更高的要求。此时,RISC-V 架构的灵活性为资源优化提供了空间,但同时也要求操作系统设计者在满足应用需求的避免过度占用系统资源,以达到最佳的功耗与性能平衡。

## 2 现有低功耗调度策略分析

低功耗调度策略是实现嵌入式系统能效优化的关键,尤其是在基于 RISC-V 架构的实时操作系统(RTOS)中,如何在保证系统实时性和响应性的同时降低功耗,是一个技术难题。当前,许多低功耗调度策略都依赖于动态调度算法,这些算法通常基于任务的优先级、执行时间、以及功耗模型来动态调整任务的执行顺序。常见的调度策略包括基于优先级的动态调度、事件驱动调度和周期性调度等。在这些方法中,优先级调度被广泛应用,它通过为每个任务分配一个执行优先级,确保高优先级任务能够及时执行,从而保证了系统的实时性。然而,这种传统方法通常未能考虑任务执行过程中产生的能耗变化,导致在某些情况下系统功耗过高,尤其

是长时间运行的任务。

为了提高能效,一些低功耗调度策略引入了任务的功耗模型,在任务调度过程中考虑了功耗优化。电源管理策略,如动态电压频率调整(DVFS)和动态功率管理(DPM),已被广泛应用于实时调度中,以减少不必要的功耗。在 DVFS 中,系统根据任务的执行需求动态调整 CPU 的工作频率和电压,从而降低能耗<sup>[2]</sup>。当任务处于空闲或低负载状态时,系统可以通过降低频率和电压来减少功耗,反之则提高频率以满足实时要求。这种方法在许多基于 RISC-V 的系统中得到了应用,通过对任务的功耗分析,调度算法能够有效减少功耗,同时保障任务的及时完成。

现有的低功耗调度策略仍然存在一定的局限性。动态调度方法虽然能够根据任务的变化调整执行策略,但它们通常会增加调度的复杂性,导致实时性要求难以完全满足。另一方面,虽然 DVFS 等电源管理策略能够有效降低功耗,但过度依赖此类技术可能会导致系统频繁切换,增加系统的调度负担,进而影响系统的稳定性和实时性。低功耗调度策略的优化不仅仅是对现有调度算法的调整,更需要对硬件和软件进行更深入的协同设计,探索更加智能化的任务调度与功耗管理策略,以实现更高效的能效优化。在 RISC-V 架构下,结合其开放性的特点,低功耗调度策略的实现有望通过硬件定制与灵活的软件调整来克服现有技术中的缺陷,提供更加高效且可靠的解决方案。

## 3 基于任务特性优化的低功耗调度算法

基于任务特性优化的低功耗调度算法是一种通过分析和利用任务的行为特征来优化调度策略,从而降低系统功耗的有效方法。在嵌入式系统中,任务通常具有不同的优先级、周期性、执行时间和功耗特性。基于这些任务特性,低功耗调度算法可以根据每个任务的需求动态调整其执行模式。针对周期性任务,可以在非关键执行时段将其执行频率和电压降低,避免在不需要高性能时消耗过多的能量。任务的执行时间也可以作为调度策略优化的依据,通过对任务的精确分析,合理安排任务的执行顺序与资源分配,以减少不必要的系统活动,从而降低功耗。对于那些对实时性要求不高的任务,可以采用低频率或休眠模式执行,以实现节能目的。

任务的执行特性,如任务间的依赖关系和同步要求,也为低功耗调度算法提供了优化空间。在多个任务共享资源时,如何合理调度任务之间的关系,确保高优先级任务的实时性并尽可能减少低优先级任务的能耗,

成为关键问题。基于任务特性的低功耗调度算法通过考虑任务间的依赖性、优先级以及任务间的空闲时间,能够优化资源分配,确保系统在不影响实时性的前提下减少能耗。当任务间存在较强的并行性时,调度算法可以安排多个任务同时执行,而在任务间存在较强的依赖关系时,则需调整调度顺序,避免由于等待时间过长而导致功耗增加。

任务的动态特性也为低功耗调度算法提供了进一步优化的可能。在许多实时操作系统中,任务的执行时长并不是固定的,而是根据任务的输入数据或外部事件变化而动态调整。基于这种动态特性,调度算法可以根据任务的实际执行需求进行精确的功耗控制<sup>[3-7]</sup>。当任务的执行时间较短时,可以通过减少空闲时间、增加调度频率来提高系统的整体效率;而当任务处于较长空闲期时,可以采用低功耗模式或者将处理器置于休眠状态,以减少功耗。通过这种动态调整,调度算法能够更灵活地响应系统需求变化,最大限度地降低功耗,同时确保系统的实时性和响应能力。

#### 4 基于 RISC-V 平台的低功耗调度策略实现与评估

在基于 RISC-V 平台的低功耗调度策略实现过程中,系统的硬件特性与任务调度策略的紧密结合至关重要。RISC-V 作为开放架构,允许对处理器的频率、功耗管理策略等进行定制,充分利用其灵活性来优化调度算法的实施。在这一平台上,低功耗调度策略的实现可以通过两种主要方式进行优化:动态电压频率调整(DVFS)和任务调度的优先级管理。通过实时监测任务的执行状态,动态调整 CPU 频率和电压,在高负载时提高性能,在空闲或低负载时降低频率和电压,有效减少了功耗消耗。结合 RISC-V 的特性,还能通过任务的优先级与执行需求动态调整任务调度顺序,将低功耗模式与任务的实时性要求相结合,避免不必要的资源浪费。

为了评估这种低功耗调度策略的效果,可以通过一系列性能与能效指标进行测试和对比分析。通过比较传统的静态调度算法和基于动态功耗优化的调度算法在不同负载条件下的表现,能够评估低功耗调度算法在维持系统实时性要求的所带来的功耗节约<sup>[8]</sup>。还需要通过实际嵌入式应用场景的测试,验证 RISC-V 平台在多任务环境下的稳定性和能效提升。评估过程中,任务响应时间、CPU 使用率和系统的总能耗等指标都会被重点监控,以确保低功耗调度策略既能满足系统性能要求,又能显著降低能耗。通过这些实验数据的反馈,

进一步优化调度算法,使其在实际应用中能够达到理想的节能效果。

#### 5 结语

基于 RISC-V 架构的低功耗调度策略为嵌入式系统和实时操作系统的能效优化提供了新的解决思路。通过结合 RISC-V 架构的灵活性与任务特性的动态调度,不仅能有效降低功耗,还能保证系统在满足实时性要求的同时提高整体性能。现有的低功耗调度策略为优化任务调度、降低功耗提供了丰富的技术手段,但仍存在一定的挑战,如硬件兼容性、调度算法的复杂性等。未来,随着 RISC-V 架构的不断发展与完善,结合硬件和软件的协同优化将进一步提升低功耗调度的效率。通过持续优化这些策略,可以为更多低功耗嵌入式应用提供可靠且高效的解决方案。

#### 参考文献

- [1] 韩金池,王智栋,马浩,等.Spike-FlexiCAS:支持缓存架构灵活配置的 RISC-V 处理器模拟器[J/OL].软件学报,1-16[2025-06-24].
- [2] 李奕瑾,杜绍敏,赵家程,等.基于 RISC-V VLIW 架构的混合指令调度算法[J/OL].软件学报,1-17[2025-06-24].
- [3] 李传东,衣然,罗英伟,等.RISC-V 架构下的懒惰影子页表模型[J/OL].软件学报,1-15[2025-06-24].
- [4] 厉冉,何梓豪,金笑光,等.基于 RISC-V 架构的智能生鲜仓库环境监控系统设计[J].仪表技术,2025,(03):1-4+9.
- [5] 许霁航,罗敏涛,赵翠华,等.基于 RISC-V 架构的系统级抗单粒子翻转加固设计[J/OL].微电子学与计算机,1-9[2025-06-24].
- [6] 刘箴.基于 RISC-V 与 LooghArch 的多架构融合策略[C]//中国自动化学会.2024 中国自动化大会论文集.西安电子科技大学,2024:571-574.
- [7] 蒲清涛,仵杰.基于 RISC-V 架构 MCU 的永磁同步电机控制系统设计[J].电子制作,2024,32(21):18-22+27.
- [8] 张心怡.RISC-V 一定能成为 AI 时代的原生计算架构[N].中国电子报,2024-08-02(007).

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS