

基于子任务及其执行时间的动态电源管理

姜连祥^{1,2}, 杨根庆¹, 李华旺¹

(1. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 为降低嵌入式设备的能量消耗, 在对能量最优化设备调度策略 (EODSA) 及其改进策略 IEODSA1 不足进行分析的基础上, 提出了一种基于子任务及其执行时间的设备调度策略——SEBDSP. 该策略将任务分成多个子任务, 基于子任务执行时间和设备收支平衡点的关系进行外部设备管理, 从而拓展了 EODSA 和 IEODSA1 动态电源管理策略的适用范围. 实验结果表明, SEBDSP 比 EODSA 的平均功耗降低 31.94%, 比 IEODSA1 的平均功耗降低 4.95%.

关键词: 动态电源管理; 子任务执行时间; SEBDSP; 收支平衡点

中图分类号: TP316 **文献标识码:** A

Dynamic Power Management Based on Subtask and Executing Time

JIANG Lianxiang^{1,2}, YANG Genqing¹, LI Huawang¹

(1. Shanghai Institute of Micro-system and Information Technology, Chinese Academy of Science, Shanghai 200050, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: In order to reduce the energy consumption of embedded systems, a subtask and executing time-based device scheduling policy (SEBDSP) was proposed by analyzing the drawbacks of EODSA (the energy-optimal device-scheduling algorithm) and IEODSA1 (the improved EODSA1). The SEBDSP divides tasks into several sub-tasks and manages I/O (input/output) devices in light of the executing time of the subtasks and the break-even points of the devices to extend the application area of the EODSA and the IEODSA1. The experimental results show that the average power consumption is respectively 31.94% and 4.95% lower with the proposed policy than with the EODSA and the IEODSA1.

Key words: dynamic power management; subtask executing time; SEBDSP (subtask and executing time-based device-scheduling policy); break-even point

随着手持设备的广泛使用, 功耗问题已成为嵌入式系统设计者关注的焦点之一. 动态电源管理 (dynamic power management, DPM) 策略通过实时分析系统或功耗可管理部件 (power manageable component, PMC) 的状态和负载, 动态地调整系统或部件的工作状态, 从而降低系统或部件在空闲状态的功耗.

DPM 策略基本上可分为 3 类: 超时策略^[1]、预

测策略和随机策略^[2-4]. 其中, 超时策略的基本思想是预先设定一系列超时阈值, 一旦持续空闲时间超过某一阈值, 就切换到相应休眠模式. 阈值可以固定, 也可以随系统负荷变化自适应调整^[5-7]. 预测策略^[8-10]在开始时就对本次空闲时间长度进行预测, 一旦预测值足够大, 就将 PMC 切换到相应休眠模式. 随机策略将 DPM 作为随机优化问题, 利用随机决策模型设计 DPM 控制算法^[11-12], 基于随机策略

收稿日期: 2007-09-18

基金项目: 上海市科委科研计划项目 (052207046)

作者简介: 姜连祥 (1981 -), 男, 博士研究生, 研究方向为嵌入式系统功耗管理、小卫星自主故障诊断技术, 电话: 15821924249,

E-mail: lianxiang_jhust@163.com

的控制算法虽然可以达到较好的节能效果,但是算法复杂度比较高.

文献[13]提出一种基于任务调度的 LEDES (low energy device scheduler) 动态电源管理策略,但其只适用于周期性任务. 文献[14]在 LEDES 的基础上进一步提出能量最优化设备调度策略 (energy optimal device scheduling algorithm, EODSA) 及其改进的 IEODSA1 (improved EODSA 1), 适用于偶发性和周期性任务. 笔者在对其原理进行分析的基础上,提出了一种基于子任务及其执行时间的设备调度策略 (subtask executing-time based device scheduling policy, SEBDSP). 该策略将任务分成多个子任务,基于子任务执行时间和设备收支平衡点^[15]的大小,管理子任务级别的外部设备的调度,实现系统的动态电源管理.

1 基于子任务及其执行时间的设备调度策略

虽然 EODSA 及 IEODSA1 在某些实际系统应用中体现出较好的性能,但在实际应用中存在很大的局限性. 这些局限性来源于 EODSA 及 IEODSA1 对各种条件的假设:(1)任务执行时间 t_i 都大于收支平衡点 $(T_{BEP})_{max}$; (2)任务 T_i 在整个执行过程中独占所使用的设备. 这两个假设和任务执行过程差别很大. 此外, IEODSA1 是 EODSA 和子任务设备

调度过程 (sub-task device scheduling process, STDSP) 的简单组合,每个子任务用到的设备都要经过两次调度,在每个任务执行之前先根据 EODSA 进行任务级设备调度管理,然后根据 STDSP 进行子任务级的管理,不仅增加了算法的开销,而且使得设备工作状态的切换次数大大增加. 针对以上不足,本文提出基于子任务及其执行时间的设备调度策略 (SEBDSP).

假设系统共有 n 个用户任务,记为 $T_i (1 \leq i \leq n)$,加上系统中的空闲任务,整个系统共有 $(n + 1)$ 个可运行任务. 系统共有 M 个设备,记为 $d_k (1 \leq k \leq M)$. 每个用户任务 T_i 由多个子任务组成, $T_i = \{T_{ij} | j=0, 1, 2, \dots, n_i\}$, n_i 表示用户任务 T_i 的子任务的个数. 对于每个 T_{ij} 都存在一个二维数据结构 $\{D_{ij}, t_{ij}\}$ 与之对应,其中 D_{ij} 表示任务 T_i 的子任务 T_{ij} 所用到的外部设备的集合, t_{ij} 表示子任务 T_{ij} 的执行时间. 在系统所有设备驱动程序的设备描述符数据结构中加入数据成员 T_{BEPk} , 表示对应设备 k 的收支平衡点 (break-even point). 这样,通过定义子任务使得任务调度粒度更加细腻,不会出现在一个任务使用完某设备后,直至该任务执行结束一段较长的时间内,该设备一直处于运行的状态. 通过为每个设备定义 T_{BEP} , 为子任务调度时管理所调用设备的工作状态提供依据.

SEBDSP 策略流程图如图 1 所示.

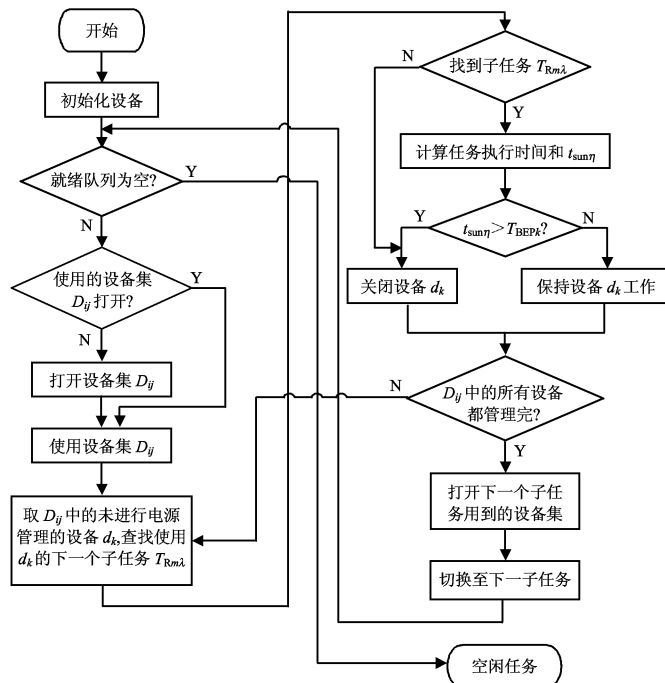


图 1 SEBDSP 策略流程图
Fig. 1 Flow chart of SEBDSP

SEBDSP 策略的任务调度过程如下:当前就绪任务队列用集合 $Q_R = \{T_{R\eta} | S(T_{R\eta}) = R\}$ 表示,其中 $T_{R\eta}$ 表示就绪队列中的第 η 个任务, R 表示就绪状态, $S(T_{R\eta})$ 表示 $T_{R\eta}$ 的状态. 假设设备初始状态为关闭. 在任务 $T_{R\eta}$ 开始运行之前,检测任务 $T_{R\eta}$ 需调用的设备. 首先打开任务 $T_{R\eta}$ 第 1 个子任务 $T_{R\eta 0}$ 用到的设备集 D_{ij} , D_{ij} 由若干设备 d_k 组成. 子任务 $T_{R\eta 0}$ 使用完该设备集后,对于 D_{ij} 中每个设备 d_k 都进行以下操作来管理设备的状态:首先检测就绪任务队列中下一个使用 d_k 的子任务 $T_{Rm\lambda}$ (m 表示就绪队列中的第 m 个任务, λ 表示第 m 个就绪任务的第 λ 个子任务),然后计算从子任务 $T_{R\eta 0}$ 执行到子任务 $T_{Rm\lambda}$ 的时间和

$$t_{\text{sum}\eta} = \sum_{x=\eta}^{m-1} \sum_{k=0}^{n_\eta} t_{R\eta k} + \sum_{y=0}^{\lambda-1} t_{Rm y}, \quad (1)$$

其中: $t_{R\eta k}$ 表示子任务 $T_{R\eta k}$ 的执行时间; n_η 表示就绪任务 $T_{R\eta}$ 所包含的子任务的数量.

子任务 $T_{R\eta 0}$ 管理设备 d_k 的策略:如果 $t_{\text{sum}\eta}$ 大于设备 d_k 的收支平衡点 $T_{\text{BEP}k}$,则关闭设备 d_k ;否则,不关闭设备 d_k ;若就在就绪任务队列中检测不到下一个使用设备 d_k 的子任务,则立即关闭设备 d_k . 在子任务 $T_{R\eta 0}$ 即将执行完之前,开启子任务 $T_{R\eta 1}$ 所用的设备.

2 实验

2.1 实验条件

实验的目的是对比 SEBDSP、EODSA 和 IEODSA1 的性能. 实验环境设置如下:(1) 系统任务队列中共有 4 个可调度任务 $T_0 \sim T_3$,且 $T_i (i=0, 1, 2, 3)$ 为随机生成的任务, T_i 对应子任务 T_{ij} 的执行时间及其所使用的外设如表 1 所示;(2) 系统中的设备 $d_k (k=0, 1, 2, 3)$ 都具有运行状态和休眠状态两种功耗状态,这些状态的功率以及状态转换时间如表 2 所示,其中, P_{run} 表示运行状态的功率, P_{sleep} 表示休眠状态的功率, P_{trans} 表示状态转换时的平均功率, T_{trans} 为状态转换的平均时间.

表 1 任务组特征描述

Tab. 1 Character-description table of task groups

任务	子任务	设备	执行时间/s
T_0	$\{T_{00}, T_{01}, T_{02}\}$	$\{d_0, d_3\}, \{d_2\}, \{d_0, d_1\}$	$\{7, 2, 6\}$
T_1	$\{T_{10}, T_{11}\}$	$\{d_2\}, \{d_1\}$	$\{10, 7\}$
T_2	$\{T_{20}\}$	$\{d_1, d_3\}$	$\{18\}$
T_3	$\{T_{30}, T_{31}, T_{32}\}$	$\{d_3\}, \{d_0, d_2\}, \{d_2, d_3\}$	$\{14, 2, 13\}$

表 2 设备功耗特性描述

Tab. 2 Character-description of devices

设备	P_{run}/W	$P_{\text{sleep}}/\text{W}$	$P_{\text{trans}}/\text{W}$	$T_{\text{trans}}/\text{s}$	T_{BEP}/s
d_0	10	1	5	4	3.6
d_1	7	1	4	2	2.0
d_2	12	2	4	5	2.0
d_3	10	1	6	1	1.1

2.2 平均功率的比较

假设当前就绪任务队列 $Q_R = \{T_{R0}, T_{R1}, T_{R2}, T_{R3}\}$,处理完该 4 个任务后队列为空. 按照先来先服务(FIFO)原则进行任务调度,分别用 SEBDSP、EODSA 和 IEODSA1 3 种策略进行设备管理,则各外设的工作时间(T_{run})和实际工作状态转换次数(N_{trans})如表 3 所示,调度完该任务队列需要的总时间为 T_{sys} ,各设备的平均功率(P_{ave})如图 2 所示,其中平均功率按式(2)计算.

$$P_{\text{ave}} = \{T_{\text{run}}P_{\text{run}} + N_{\text{trans}}P_{\text{trans}}T_{\text{trans}} + (T_{\text{sys}} - T_{\text{run}} - N_{\text{trans}}T_{\text{trans}})P_{\text{sleep}}\} / T_{\text{sys}}. \quad (2)$$

从图 2 可以明显看出,SEBDSP 和 IEODSA1 的平均功率均比 EODSA 低很多,SEBDSP 比 IEODSA1 平均功率略低. EODSA 按任务级别管理设备,避免了设备工作状态的频繁切换,但由于设备调度粒度大,所以设备的工作时间比较长. SEBDSP 和 IEODSA1 把任务分成若干子任务,从子任务级别管理设备,使得设备的调度粒度减小,及时关闭不用的设备,因此设备的工作时间明显缩短.但由于 IEODSA1 首先根据 EODSA 进行任务级设备调度,然后以子任务级别调度设备,因此造成

表 3 设备实际工作时间和工作状态切换次数

Tab. 3 The practical working-time and transit times of devices

设备 调度策略	d_0		d_1		d_2		d_3	
	工作时间/s	转换次数	工作时间/s	转换次数	工作时间/s	转换次数	工作时间/s	转换次数
SEBDSP	17	4	31	4	27	6	52	6
EODSA	44	4	50	6	61	6	62	6
IEODSA1	15	6	31	10	27	10	52	8

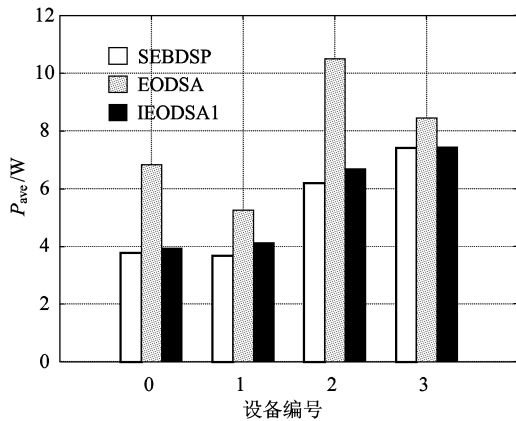


图2 不同算法的各设备平均功率比较

Fig. 2 The power comparison of different DPM algorithms

了设备状态的频繁转换. SEBDSP很好地克服了IEODSA1的缺点,始终以子任务级别调度设备,同时基于子任务执行时间和设备收支平衡点,对于非相邻子任务共用设备的调度更加合理,确保只有节省能量时才将设备关闭.因此,设备的工作时间略长于IEODSA1,但是设备工作状态的转换次数明显小于IEODSA1,避免了设备工作状态的不必要切换的能量开销,从而比IEODSA1具有更低的平均功率.

2.3 QoS的比较

在任务调度的过程中,加入设备调度管理策略在节省系统能耗的同时,势必会给系统的实时响应性能带来一定的影响.为了描述这种影响,沿用文献[14]中定义的服务质量QoS(quality of service)的概念,用 Q 表示,即:

$$Q = M_0 / (M_0 + \Delta M), \quad (3)$$

其中: M_0 为加入设备调度管理的任务执行时间; ΔM 为加入设备调度管理增加的任务执行时间.

假设任务 T_i 可划分为 n_i 个子任务,用EODSA、IEODSA1和SEBDSP策略执行后所需的时间依次为: ΔM_1 、 ΔM_2 和 ΔM_3 ,任务本身的执行时间为 M_0 .根据式(3),3种策略对应的QoS表达式依次为:

$$Q_{\text{EODSA}} = \frac{M_0}{M_0 + \Delta M_1}, \quad (4)$$

$$Q_{\text{IEODSA1}} = \frac{M_0}{M_0 + \Delta M_1 + \Delta M_2(n_i - 1)}, \quad (5)$$

$$Q_{\text{SEBDSP}} = \frac{M_0}{M_0 + \Delta M_1 + \Delta M_3 n_i}. \quad (6)$$

通过对上述3种策略的分析可以看出,对同一个任务而言 $\Delta M_2 \leq \Delta M_1 \leq \Delta M_3$, $Q_{\text{EODSA}} > Q_{\text{IEODSA1}} \geq$

Q_{SEBDSP} .由式(5)和式(6)可以看出由于加入设备调度管理策略任务执行增加的时间开销部分,SEBDSP算法和IEODSA1都为 $\Theta(n_i)$ 的时间复杂度.对于嵌入式计算系统来讲,系统的功耗主要取决于系统所处的状态(如运行或休眠状态),通过SEBDSP算法对设备状态切换的管理,虽然增加了算法开销,但是能够大大降低系统的功耗,如图2所示.因此,SEBDSP有着重要的应用价值,随着嵌入式系统计算能力的提高,算法开销带来的功耗相比该算法节省的功耗越来越小,其应用效果也越来越明显.

3 结论

本文针对EODSA及IEODSA1的不足及局限性,提出了一种基于子任务及其执行时间的设备调度策略SEBDSP.该策略将任务分成多个子任务,根据子任务执行时间和设备收支平衡点的关系管理设备,保证只有在设备状态转换能够降低功耗时才进行状态转换.首先,本策略在功耗方面明显低于EODSA算法,略低于IEODSA1算法;其次,去掉了EODSA和IEODSA1算法的两个假设条件,因而扩展了这两种策略的适用范围.同时,本策略由于需要在线搜索下一个使用同类设备的子任务,并计算和比较下一个子任务和当前子任务间的执行时间与设备收支平衡点的大小,在算法开销方面略大于EODSA和IEODSA1.但是由于该算法保证了设备状态的合理转换,由此节省的功耗远远大于算法开销带来的功耗.因此,该算法有着重要的实际应用价值.

参考文献:

- [1] 江琦,奚宏生,殷保群. 动态电源管理超时策略与随机型策略的等效关系[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(11): 1646-1651.
JIANG Qi, XI Hongsheng, YIN Baoqun. The equivalent relation between timeout and stochastic policies for dynamic power management[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2009, 21(11): 1646-1651.
- [2] 江琦,奚宏生,殷保群. 动态电源管理的随机切换模型与在线优化[J]. 自动化学报,2007,33(1): 66-72.
JIANG Qi, XI Hongsheng, YIN Baoqun. Stochastic switching model and policy optimization online for dynamic power management[J]. Acta Automatica

- Simica, 2007, 33(1): 66-72.
- [3] 储毅,赵敏. 基于马尔可夫决策的动态电源管理技术[J]. 电子科技大学学报,2007,36(3): 521-523.
CHU Yi, ZHAO Min. Dynamic power management based on markov process[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2007, 36(3): 521-523.
- [4] 刘发贵,麦伟鹏,黄凯耀. 动态电源管理随机模型算法的设计与实现[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2007,35(9): 60-65.
LIU Fagui, MAI Weipeng, HUANG Kaiyao. Design and implementation of stochastic model algorithm for dynamic power management[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2007, 35(9): 60-65.
- [5] CHEN Jie, GAO Deyuan, ZHENG Qiaoshi. A research on an optimized adaptive dynamic power management[C]//Proc. of the 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology. Piscataway: IEEE Press, 2009: 52-55.
- [6] CHUNG E Y, BENINI L. Dynamic power management for non-stationary service requests[J]. IEEE Trans. on Computers, 2002, 51(11): 1345-1361.
- [7] DOUGLIS F, KRISHNAN P, BERSHAD B. Adaptive disk spin-down policies for mobile computers[C]//Proc. of the 2nd Usenix Symp. on Mobile and Location-Independent Computing (MOBLIC). Berkeley: USENIX Association, 1995: 121-137.
- [8] GOLDA A, KOS A. Effective supervisors for predictive methods of dynamic power management[C]//Proc. of the Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. Piscataway: IEEE Press, 2007: 381-386.
- [9] HELMBOLD D P, LONG D D E, SHERROD B. A dynamic disk spin-down technique for mobile computing [C]//Proc. of the 2nd Annual ACM Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 1996:130-142.
- [10] LU Y H, De MICHELI G. Adaptive hard disk power management on personal computers[C]//Proc. of the 1999 IEEE Great Lakes Symposium on VLSI. Los Alamitos: IEEE, 1999: 50-53.
- [11] QIU Q, PEDRAM M. Dynamic power management based on continuous-time Markov decision processes [C]//Proc. of the 1999 36th Annual Design Automation Conference (DAC). New Orleans: IEEE, 1999: 555-561.
- [12] SIMUNIC T, BENINI L, GLYNN P, et al. Event-Driven power management[J]. IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2001, 20(7): 840-856.
- [13] SWAMINATHAN V, CHAKRABARTY K. Energy-conscious, deterministic I/O device scheduling in hard real-time systems [J]. IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2003, 22(7): 847-858.
- [14] 卜爱国,刘昊,胡晨,等. 基于任务级的动态电源管理设备调度策略[J]. 电路与系统学报,2005, 10(5): 33-38.
BU Aiguo, LIU Hao, HU Chen, et al. Dynamic power management device scheduling policy on task level [J]. Journal of Circuits and Systems, 2005, 10(5): 33-38.
- [15] WENG Lichuan, WANG Xiaojun, LIU Bin. A survey of dynamic power optimization techniques[C]//Proc. of the 3rd IEEE International Workshop on System-on-Chip for Real-Time Applications, Los Alamitos: IEEE, 2003: 48-52.

(中文编辑:唐 晴 英文编辑:付国彬)