

文章编号: 1672-2892(2010)04-0485-04

一种自适应的动态功耗管理预测策略

李 顺, 曾 超, 李 军

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 动态功耗管理通过关闭空闲的系统部件来减小电子系统的功耗。如何提高预测的准确度是当前基于预测动态功耗管理(DPM)研究的主要问题。基于预测的 DPM 策略假设系统部件访问时间具有关联性, 当前应用最为广泛的是指数滑动平均方法, 但其应对突发事件的能力不强。本文基于指数滑动平均改进模型, 对突发事件进行数学定义, 提出一种自适应的 DPM 预测策略, 在面对突发的长延时或短延时情况下, 系统都能自适应调整, 提高了预测的准确度, 优于现有策略。

关键词: 动态功耗管理; 预测策略; 自适应

中图分类号: TN91; TP316

文献标识码: A

An adaptive dynamic power management predictive policy

LI Shun, ZENG Chao, LI Jun

(Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: Dynamic Power Management(DPM) is a design methodology aiming at reducing power consumption of electronic systems by performing selective shutdown of idle system resources. How to improve predictive accuracy is the main problem needed to be solved in DPM policy based prediction. With the assumption of the relevancy among the pieces of idle time, the exponential average policy Under is prevalently used can not predict accurately when abnormal error like a sudden long or short idle period happens. In this paper, the authors propose a new adaptive DPM predictive policy basing on improved exponential average model and mathematic definition of abnormal error. The policy would self-adjust to get higher predictive accuracy if sudden error occurs. The new policy excels the existed ones in prediction accuracy.

Key words: Dynamic Power Management; predictive policy; adaptation

在电池供电系统中, 如何进行低功耗设计以延长电池的供电时间是当前迫切需要解决的问题。低功耗技术研究出现于硬件电路设计领域, 随着研究的发展, 在体系结构、编译器、操作系统及网络等各个层次展开, 涉及领域包括嵌入式系统、桌面系统和服务器系统等^[1]。20 世纪 90 年代以来, 操作系统电源管理技术受到广泛重视, 根据硬件特性的区别, 可以将其划分为动态功耗管理(DPM)策略和动态电压调整(Dynamic Voltage Scaling)策略。

动态功耗管理策略分为 3 类: 超时策略; 基于预测的 DPM 策略; 基于随机过程的优化策略。超时策略设定一个门限值, 若部件空闲时间大于该门限值, 则设置部件进入低功耗状态^[2]。该策略实现简单, 是当前最为通用的 DPM 策略。但是在等待门限值时间到达的过程中, 部件一直处于运行状态, 功耗较大。基于随机过程的优化策略用 Markov 链对部件能耗、状态转换时间和工作负载的不确定性进行建模, 定义给定性能约束下的全局能耗优化问题, 用线性规划方法求解^[3]。该方法求解复杂度和计算开销较大, 难以实现。

基于预测的 DPM 策略较超时策略能降低更多的功耗, 又较基于随机过程策略易于实现, 能有效解决以上 2 种策略存在的问题。预测策略假设系统部件访问时间具有因果联系, 未来的空闲时间可以通过历史信息进行估算, 如何提高空闲时间预测的准确度是当前研究的主要问题。文献[4]采用离线的非线性回归方法较好地拟合了系统部件空闲时间特征, 但是对应用依赖较为严重, 并需要离线计算, 适用于事先确定的工作负载。文献[5]采用指数滑动平均方法预测部件的空闲时间, 易于实现并具有较高的准确性, 但其应对突发事件的能力不强。文献[6-7]对文献[5]中算法进行了一些改进, 其算法应对突发事件能力有所增强。文献[7]提出一种自适应的功耗管理方法,

但是在面对突发的短空闲时，其仍采用超时策略。

本文提出一种新的自适应 DPM 预测策略，在面对长空闲和短空闲时，系统都能自适应调整，提高了预测准确度，从而降低了功耗。

1 DPM 预测策略描述

用 Running, Sleep, Idle 分别代表系统部件的 3 种状态(运行、睡眠、空闲)，如图 1 所示。动态功耗管理的工作就是根据历史信息对系统部件下一段空闲时间值做出预测，以决定系统部件是进入睡眠状态还是处于空闲状态。这个决策是否正确取决于所设定的空闲时间门限值 $I_{timeout}$ 和预测的准确度。 $I_{timeout}$ 与系统部件的功耗平衡时间、功耗管理的需求及历史经验有关。预测的准确度由系统负载模型的准确性、空闲时间之间的关联性以及空闲时间的预测准确程度决定。预测错误是在所难免的，但是一种较优的预测策略预测错误次数少。

功耗管理具体包含以下步骤：1) 确定空闲时间阈值 $I_{timeout}$ ；2) 根据算法计算系统部件下一空闲时间值 I_{n+1} ；3) 做出决策，若 $I_{n+1} \geq I_{timeout}$ 则进入低功耗状态，反之处于空闲状态。

2 功耗平衡时间

系统部件的状态转换是需要消耗能量的。若不恰当地让部件进入低功耗状态，则不但不能降低功耗，反而增加系统的功耗。为了达到降低功耗的目的，必须要求部件进入低功耗状态所节省下来的能耗大于部件状态转换的能耗。如图 2 所示，用 R, I, S 分别表示运行时间、空闲、睡眠时间， E, W 分别表示由运行态进入睡眠态，由睡眠态进入运行态的延时。

令 $P_X (X \in \{R, I, E, W, S\})$ 表示系统部件在 X 状态时的功耗。 EG 表示系统节省下来的能量。则上述约束条件可以形式化为 $EG > 0$ ，有 $EG = IP_R - (EP_E + SP_S + WP_W) > 0$ ，又 $S = I - E$ ， $\Rightarrow I > (E(P_E - P_S) + WP_W) / (P_R - P_S)$ ，取其临界值为 I_{th} ，定义为功耗平衡时间。

由以上分析可知当 $I > I_{th}$ 时，可以为系统节省能量 EG ，但是这是由系统性能的降低换来的(即系统增加延时 W)。动态功耗管理就是一个在功耗和性能间权衡的过程。当 I 较 I_{th} 大很多时，可以降低更多的功耗，这个交易是划算的。

3 自适应的 DPM 预测策略

3.1 突发事件定义

基于预测的 DPM 策略常用于空闲时间具有关联性的应用，空闲时间长度一般在某个范围内波动，空闲时间序列应该是较为平稳的序列。但是，当有突发事件发生，如突然到来的很长的空闲时间或很短的空闲时间，如图 3 所示，采用文献[5]的方法则会降低预测准确度。文献[7]中虽然有所改进，但是针对短延时，没有很好地解决。

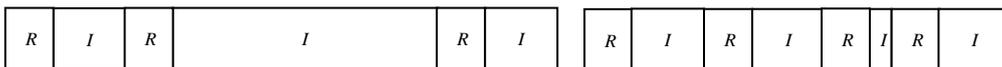


Fig.3 Errors: a sudden long idle period and a sudden short period
图3 突发的长延时和短延时

3.2 算法设计

1) 加权值 a 的取值范围

文献[5]中虽然限定了 $a \in (0,1)$ ，但是没有给出该限定的具体原因。本文给出具体证明，假设应用具有特定的统计特性，部件空闲时间期望为 $E(i)$ ，方差为 $D(i)$ 。若要求预测结果足够准确，则在经过 $n(n \rightarrow \infty)$ 次预测后，预

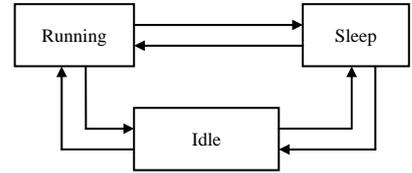


Fig.1 State conversion of DPM predictive policy
图1 DPM 预测策略的状态转换

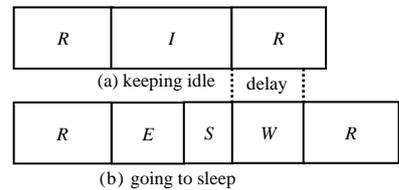


Fig.2 Two possible states of system components
图2 系统部件进入睡眠和不进入睡眠的状态图

测值 I_{n+1} 的期望值和方差值应该趋于真实值 i 的期望值和方差值。在这样的约束条件下求 a 的取值范围，形式化如下：

$$\begin{cases} \lim_{n \rightarrow \infty} E(I_{n+1}) = E(i) \\ \lim_{n \rightarrow \infty} D(I_{n+1}) = D(i) \end{cases} \quad (1)$$

$$I_{n+1} = ai_n + (1-a)I_n \quad (2)$$

由式(1)、式(2)可得出 $a \in (0,1)$ 。

2) 算法定性要求

在突发事件发生后，要减少预测值 I_{n+1} 受突发事件的影响，则应减小上一真实值 i_n 的影响(权重系数)，增大上一预测值 I_n 的影响(权重系数)，即 I_{n+1} 应与 I_n 接近。但是在平稳状态， I_{n+1} 受 I_n 和 i_n 的影响应相当。

3.3 自适应算法

由式(1)中所述约束，提出一种新的自适应功耗管理算法，其预测空闲时间 I_{n+1} 由下式来确定：
 $I(n+1) = e^{-ai(i(n)-I(n))}i(n) + (1 - e^{-ai(i(n)-I(n))})I(n)$, $n = \{0,1,2,\dots\}$, a 为调节指数收敛速度的常数, $a > 0$ 。针对具体的应用设定一个超时的门限值 I_{timeout} ($I_{\text{timeout}} > I_{\text{th}}$)，若空闲时间的预测值 $I(n+1) > I_{\text{timeout}}$ ，则在系统部件空闲下来后就进入低功耗状态。

4 算法验证与分析

1) 定性分析

$a > 0 \Rightarrow 0 < e^{-ai(i(n)-I(n))} < 1$ ，满足加权值取值范围的要求。

当上一预测值和真实值差值 $|i(n) - I(n)|$ 较小时，说明上一次预测较准确， $e^{-ai(i(n)-I(n))}$ 接近于 1，则下一预测值 I_{n+1} 受 $i(n)$ 的影响较大。当上一预测值和真实值差值 $|i(n) - I(n)|$ 较大时，说明上一次预测不准确，可能有突发事件发生，这时 $e^{-ai(i(n)-I(n))}$ 接近于 0，下一预测值 I_{n+1} 受 $I(n)$ 影响较大。这样，无论突发的长延时或短延时到来，系统都可以自适应调整，使下一预测尽量减少突发事件带来的影响。

2) 数据分析

参考文献[4]中样本数据，加入突发事件(加入 3 个长延时和 2 个短延时)，对文献[5]、文献[7]及本文算法进行比较。结果如图 4 所示。

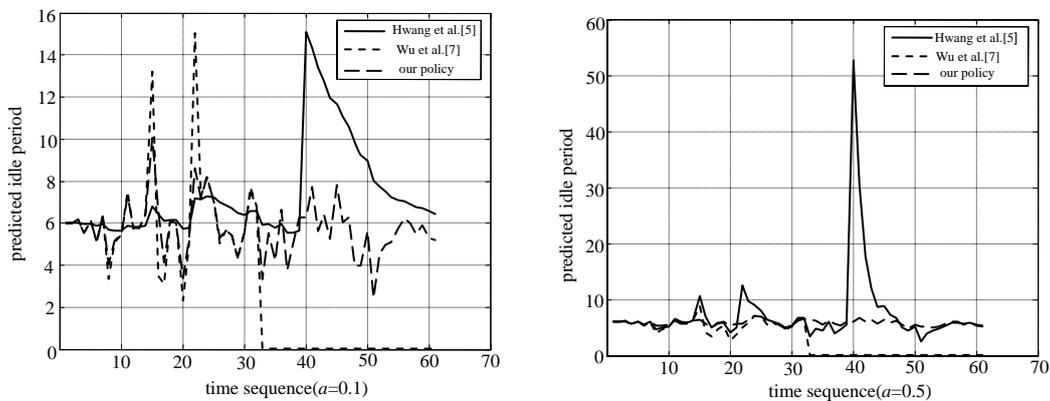


Fig.4 Comparison of three predictive policies when $a=0.1, a=0.5$

图 4 三种策略分别在 $a=0.1, a=0.5$ 的对比图

从图 4 可以看出，本文算法在保证部件空闲时间序列的平稳性方面优于文献[5]、文献[7]中算法，并解决了文献[5]算法在面对突发的短延时情况下无法自适应调整的问题。通过 $a = 0.1$ 及 $a = 0.5$ 两种不同的收敛速度对比可以看出， a 的值越大，收敛越快。可以通过调整 a 的值来满足不同收敛速度的需要。

5 结论

本文对常用的指数滑动平均方法在突发事情境况下预测不准确的问题进行了分析,给出了突发事件的数学定义,基于指数滑动平均改进模型,提出一种自适应的 DPM 预测策略。通过定性分析和仿真表明,无论在面对突发的长延时或短延时,改进策略都能自适应地进行调整,算法是较优的。

参考文献:

- [1] 赵霞,陈向群,郭耀杨,等. 操作系统电源管理研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2008,45(5):817-824. (Zhao Xia, Chen Xiang-qun, Guo Yao-yang, et al. A survey on operating system power management[J]. Journal of Computer Research and Development, 2008,45(5):817-824.)
- [2] Benni L, Bogliolo A, Paleologo G, et al. Policy Optimization for Dynamic Power Management[J]. IEEE Transaction on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 1999,18(6):813-833.
- [3] Chung E, Benini L. Dynamic power management for nonstationary service requests[C]// Proc. of Design and Test in Europe Conf. Los Alamitos:IEEE Computer Society Press, 1999,77-81.
- [4] Srivastava M, Chandrakasan A, Brodersen R. Predictive system shutdown and other architectural techniques for energy efficient programmable computation[J]. IEEE Trans. on VLSI System, 1996,4(1):42-55.
- [5] Hwang C, Wu A. A predictive system shutdown method for energy saving of event-driven computation[C]// Proc. of Int'l Conf. on Computer-Aided Design. Los Alamitos:IEEE Computer Society Press, 1997,28-32.
- [6] Wang Yue, Zhao Xia, Chen Xianqun. A task-specific approach to dynamic device power management for embedded system[C]// Proc. of the Second International Conference on Embedded Software and Systems. Beijing:IEEE Computer Society Press, 2005,7-14.
- [7] 吴福炜,甘骏人. 一种实时功耗管理算法[J]. 计算机工程, 2003,29(5):30-31. (Wu Fu-wei, Gan-Jun ren. An online power management algorithm[J]. Computer Engineering, 2003,29(5):30-31.)

作者简介:



李 顺(1986-), 男, 安徽岳西人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统. email: apenguin@yeah.net.

曾 超(1968-), 男, 贵阳市人, 研究员, 从事引爆控制系统总体设计.

李 军(1970-), 男, 江西上犹人, 副研究员, 研究方向为引爆控制系统总体设计.

(上接第 479 页)

作者简介:



张 荣(1979-), 男, 四川省资阳市人, 硕士, 工程师, 长期从事动态测试技术、测控系统软硬件技术开发. email: rzhang397@sohu.com.