



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102084318 B

(45) 授权公告日 2015. 06. 03

(21) 申请号 200980126357. 1

(22) 申请日 2009. 05. 12

(30) 优先权数据

08290448. 3 2008. 05. 13 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 01. 06

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2009/051957 2009. 05. 12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/138953 EN 2009. 11. 19

(73) 专利权人 新思科技有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 阿图尔·塔德乌什·伯查德

盖尔·克斯滕

安卡·玛丽安娜·莫尔诺什

亚历山大·米卢蒂诺维奇

凯斯·赫拉德·威廉·古森斯

伊丽莎白·弗朗西斯卡·玛丽亚·斯特芬斯

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

有限公司 11112

代理人 陈源 张天舒

(51) Int. Cl.

G06F 1/32(2006. 01)

(56) 对比文件

US 7219245 B1, 2007. 05. 15, 说明书第 6 栏第 31 行 - 第 9 栏第 60 行以及附图 1-3.

US 7219245 B1, 2007. 05. 15, 说明书第 6 栏第 31 行 - 第 9 栏第 60 行以及附图 1-3.

GB 2402504 A, 2004. 12. 08, 说明书第 4 页第 1-9 行, 第 8 页第 13-16 行, 第 10 页第 6 行 - 第 16 页第 15 行以及附图 3 和 4.

US 2008059968 A1, 2008. 03. 06, 说明书第 0024 段.

CN 1983120 A, 2007. 06. 20, 全文.

CN 1701297 A, 2005. 11. 23, 全文.

审查员 聂鹏

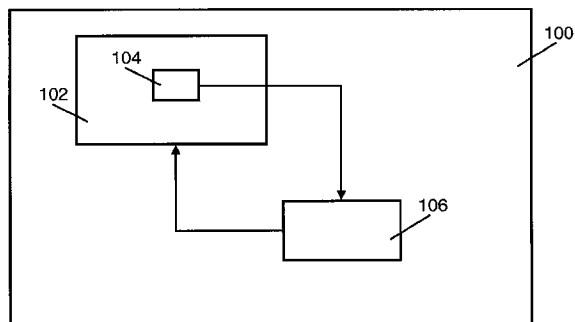
权利要求书2页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

功率管理器和用于管理功率的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种功率管理器 (106) 和用于管理供给电子装置的功率的方法。此外, 提供了一种管理供给电子装置的功率的系统。功率管理器 (106) 可操作用于在监控周期期间监控硬件监控器 (104)。硬件监控器 (104) 连接至电子装置 (102)。电子装置 (102) 在操作使用期间具有工作负荷。硬件监控器可操作用于指示电子装置 (102) 的工作负荷。功率管理器可操作用于根据该监控来控制供给电子装置 (102) 的功率。



1. 一种功率管理器 (106), 可操作用于在监控时间周期期间监控硬件监控器 (104);
所述硬件监控器 (104) 连接至电子装置 (102);
所述电子装置 (102) 在操作使用期间具有工作负荷;
所述硬件监控器能够用于指示所述电子装置 (102) 的工作负荷;
所述功率管理器 (106) 能够检测工作负荷中的至少两个上升沿或者至少两个下降沿;
所述功率管理器 (106) 包括工作负荷频率和工作负荷相位检测器 (202) 以及工作负荷预测器 (204), 并能够根据两个相邻的上升沿或者两个相邻的下降沿之间的时间差来预测未来边沿, 并且根据所预测的未来边沿来控制所述电子装置 (102) 的功率。

2. 根据权利要求 1 所述的功率管理器 (106), 其中

所述功率管理器 (106) 可操作用于选择调节到所预测的未来边沿附近的下一监控时间周期; 以及

所述功率管理器 (106) 可操作用于在所述下一监控时间周期期间监控所述硬件监控器 (104)。

3. 根据权利要求 1 所述的功率管理器 (106), 其中

所述功率管理器 (106) 可操作用于产生用于追踪所述硬件监控器 (104) 的监控轨迹;

所述功率管理器 (106) 可操作用于基于所述监控轨迹并相对于基准时间点来确定工作负荷频率和工作负荷相位;

所述功率管理器 (106) 可操作用于基于所述工作负荷频率和所述工作负荷相位来预测所述工作负荷; 以及

根据所预测的工作负荷来控制所述功率。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的功率管理器 (106), 其中, 所述硬件监控器集成在所述功率管理器 (106) 中。

5. 一种电子系统 (100), 其包括根据权利要求 1-3 中任一项所述的功率管理器 (106);

所述系统还包括:

电子装置 (102), 其在操作使用期间具有工作负荷; 以及

硬件监控器 (104), 其连接至所述电子装置, 并且可操作用于指示所述电子装置 (102) 的工作负荷。

6. 根据权利要求 5 所述的电子系统 (100), 其被配置用于使所述工作负荷基本上是周期性的。

7. 根据权利要求 5 或 6 所述的电子系统 (100), 其容纳于电子移动数据处理装置中。

8. 一种用于管理供给电子装置的功率的方法, 包括以下步骤:

在监控时间周期期间监控硬件监控器 (104);

检测工作负荷中的至少两个上升沿或者至少两个下降沿;

根据两个相邻的上升沿或者两个相邻的下降沿之间的时间差来预测未来边沿; 以及

根据所预测的未来边沿来控制所述电子装置的功率。

9. 根据权利要求 8 所述的方法, 其中, 以监控轨迹的形式来存储所述监控的表示; 所述方法还包括以下附加步骤:

检测所述监控轨迹中的至少两个边沿;

基于所述监控轨迹并相对于基准时间点来确定工作负荷频率和工作负荷相位;

基于所述工作负荷频率和所述工作负荷相位来预测所述工作负荷,其中,根据所述预测来进行所述控制。

10. 根据权利要求 8 或 9 所述的方法,包括以下步骤:

预测未来边沿;

选择调节到所预测的未来边沿附近的下一监控时间周期;

在所述下一监控时间周期期间监控所述硬件监控器 (104)。

功率管理器和用于管理功率的方法

技术领域

- [0001] 本发明涉及一种功率管理器。
- [0002] 本发明还涉及一种包括电子装置的电子系统。
- [0003] 本发明还涉及一种用于管理供给电子装置的功率的方法。
- [0004] 本发明还涉及一种计算机程序产品。

背景技术

[0005] 在现代的电子装置中,功率管理变得越来越重要。例如,依靠电池操作的装置要求更多的计算强化特征,诸如播放视频片段。这样的计算强化特征需要更多的功率。但是,同时存在对更长的待机和操作时间的要求。此外,由于环境的原因,没有不必要地消耗功率很重要。

[0006] 为了减少能量使用(即,功耗),在诸如集成电路(IC)的电子装置中,使用了动态功率管理(DPM)。DPM是一种这样的技术:动态地将输送至电子装置的功率调整到使其符合使用该电子装置的应用程序所需的变化性能水平的电平。

[0007] 在应用程序正在使用电子装置时,该电子装置的工作负荷动态地改变。为了调整输送至电子装置的功率,需要预测未来所需的功率量。由于更加精确地预测了电子装置的未来功率需求,因此,可以节约更多的功率。

[0008] 一种针对在操作系统(OS)上运行应用程序的计算机进行功率控制的方式基于过去在特定任务中所花费的处理器时钟周期的数量。在特定任务中花费的时钟周期的数量由OS确定。问题在于当切换任务时或者当OS计时器滴答(tick)出现时,确定任务中所花费的周期数量仅例如由一些OS相关事件触发。由于OS以软件运行,因此,不能更频繁地确定任务中所花费的周期数量。结果,由OS产生的数据的分辨率太低而不能在时标上以比诸如OS的软件程序所允许的粒度更细的粒度标识功耗的图案。

发明内容

[0009] 现有技术的问题在于,用于电源控制的工作负荷监控太不精确。

[0010] 本发明的目的在于改进对供给电子装置的功率的控制。

[0011] 该目的通过根据本发明的功率管理器来实现。该功率管理器可操作用于在监控时间周期期间监控硬件监控器。硬件监控器连接至电子装置。电子装置在操作使用期间具有工作负荷。硬件监控器可操作用于指示电子装置的工作负荷。功率管理器可操作用于根据该监控来控制供给电子装置的功率。

[0012] 当电子装置工作时,有时其工作负荷高,而有时其工作负荷低。如果可以对其工作负荷进行更好的预测,则可以改进电子装置的功率管理。在这种情况下,可以在工作负荷低时减少对电子装置的功率供给。

[0013] 为了预测电子装置的未来工作负荷,必须收集精确数据以作为预测的基础。可以从硬件监控器获得这样的精确数据。通过使功率控制基于工作负荷的精确数据,实现了更

好的电源控制。结果,将减小供给该装置的功率,从而节省功率。在装置依靠电池工作的情况下,电池将更缓慢地耗尽。

[0014] 工作负载可以被监控的电子装置的实施例包括例如集成电路 (IC)、或者诸如步进电动机的电子机械装置。电子装置的实例还包括计算装置或者数据处理装置,诸如移动电话中的视频处理单元等。

[0015] 具体地,可操作用于执行计算机程序(即,软件)的中央处理单元(CPU)是电子装置。此外,当CPU执行应用程序(诸如,音乐应用程序或视频应用程序)时,CPU的工作负荷有时会很高,而有时工作负荷会很低。

[0016] 工作负荷是在一个时间段内由电子装置执行的工作量的直接表示。例如,工作负荷可以是一个时间段内生产周期的数量与周期总数的商。

[0017] 在操作期间,电子装置需要功率。该电子装置所需要的功率量取决于电子装置正执行的操作。在正常操作下,改变供给该电子装置的功率仅影响该电子装置操作的速度。改变供给该电子装置操作的功率本身不影响由该电子装置执行的操作。

[0018] 硬件监控器可操作用于以细粒度的分辨率指示电子装置的工作负荷。例如,对于时钟控制的电子装置,分辨率可以以每个周期为单位。

[0019] 如果电子装置是CPU,则硬件监控器例如指示:CPU当前是否正执行无操作(NOP)指令,CPU是处于休眠模式还是空闲模式。CPU的一些模型可以通过中断(block)其输出缓冲器来进入空闲模式。硬件监控器可以监控输出缓冲器的中断。

[0020] 硬件监控器的典型实例是所谓的硬件事件计数器,还称为硬件性能计数器,还称为性能监控单元。

[0021] 硬件事件计数器典型地包括在处理器中,并且在现有技术中是已知的。大多数现代处理器提供用于监控与应用程序和处理器的特定子单元的交互相关的性能事件的硬件事件计数器。例如,参见:Intel Corporation. Intel Architecture Software Developer's Manual. Volume 3: System Programming Guide, 2004; SGI. Topics In Irix Programming, Chapter 4; A. Singhal and A. J. Goldberg. Architectural Support for Performance Tuning: A Case Study on the SPARCcenter 2000. ACM SIGARCH Computer Architecture News, Proc. of the 21st Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA 94), 22(2), April 1994; L. Smolders. PowerPC Hardware Performance Monitoring. Technical report, AIX Performance, IBM Server Group, November 2001; L. Smolders. System and Kernel Thread Performance Monitor API Reference Guide. IBM, RS/6000 Division, 2001。

[0022] 可以通过将状态机移动至某些状态来对功率进行控制。特别地,可以通过关掉空闲的电子装置来控制功率。

[0023] 可以通过改变电源的传送来控制功率。还可以通过指示其他单元(例如,功率控制器)减小或增加传送至电子装置的功率量来控制功率。

[0024] 在本发明的实际实施例中,功率管理器可操作用于通过控制连接至电子装置的时钟线上的时钟频率来控制功率。

[0025] 在本发明的实际实施例中,功率管理器可操作用于通过控制电子装置的电源电压来控制功率。

[0026] 本发明在工作负荷实质上是周期性的情况下是特别有利的。

[0027] 如果工作负荷是周期性的,则简化了未来工作负荷的预测。对于周期性的工作负荷,过去是对未来很好的一种指示。如果可以检测到应用程序是周期性的,或当前是周期性的,则可以改善对工作负荷的预测。

[0028] 使用 OS 获得工作负荷数量所带来的问题在于,其仅以例如百分比给出 CPU 工作负荷数量。功率管理器既不能使用该数量来确定新的高工作负荷周期何时开始,功率管理器也不能确定工作负荷重复的频率或时间周期是多少。使用基于 OS 的数量来检测精确的时间周期或精确的周期相位是不可能的。

[0029] 功率管理器可以如下进行操作:检测周期性工作负荷的工作负荷频率,例如检测在第一工作负荷周期与第二工作负荷周期之间经过的时间;检测周期性工作负荷中的工作负荷相位,例如,找出周期性工作负荷中负荷开始的点。

[0030] 在本发明的优选实施例中,功率管理器可操作用于检测被监控的所指示的工作负荷中的上升沿,并且根据所检测到的上升沿来对功率进行控制。

[0031] 通过以信号表明电子装置的工作负荷中的骤升(即,上升沿),可以检测到高工作负荷周期的开始。为了检测边沿,边沿检测必须基于精确的数据。

[0032] 例如,如下检测以信号表明骤升:由硬件监控器指示的值在预定的时间长度内上升了至少预定百分比;硬件监控器的值在预定的时间长度内上升了至少预定量;硬件监控器指示在某值之上的值的的时间的分数在预定时间周期内增大。

[0033] 以信号表明骤升还可以通过首先计算硬件监控器的测量结果的运行平均值、其次检测运行平均值的骤升来完成。在硬件监控器报告二进制值的情况下,后一种技术尤其有用。

[0034] 在本发明的实际实施例中,功率管理器可操作用于检测被监控的所指示的工作负荷的下降沿;根据所检测到的下降沿来对功率进行控制。

[0035] 通过以信号表明电子装置的工作负荷中的骤降(即,下降沿),可以检测高工作负荷的周期的结束。为了检测边沿,边沿检测必须基于精确的数据。

[0036] 在本发明的实际实施例中,功率管理器可操作用于检测被监控的所指示的工作负荷中的另一上升沿;功率管理器可操作用于根据所述上升沿与所述另一上升沿之间的差来预测未来边沿;根据所预测的未来边沿来对功率进行控制。

[0037] 当已确定了至少两个上升沿时,可以通过推断(extrapolating,外推)未来边沿将何时出现来进行预测。例如,可以针对另一上升沿的时间加上该另一上升沿出现与所述上升沿出现之间的时间差,来预测未来边沿。

[0038] 可以通过将供给功率的电平设置为在刚过去的边沿之后的时间间隔内所需的电平,来根据所预测的未边沿对功率进行控制。

[0039] 在本发明的实际实施例中,功率管理器可操作用于检测被监控的所指示的工作负荷中的另一下降沿;功率管理器可操作用于根据所述下降沿与所述另一下降沿之间的差来预测未来边沿;根据所预测的未来边沿来对功率进行控制。

[0040] 当已确定了至少两个下降沿时,通过推断未来边沿将何时出现来进行预测。例如,可以针对另一下降沿的时间加上该另一下降沿出现与所述下降沿出现之间的时间差来预测未来边沿。

[0041] 可以通过将供给功率的电平减小至在刚过去的下降沿之后的时间间隔内所需的电平,来根据所预测的该未来边沿对功率进行控制。

[0042] 在本发明的优选实施例中,功率管理器可操作用于选择调节到所预测的未来边沿附近的下一监控时间周期;功率管理器可操作用于在该下一监控时间周期期间对硬件监控器进行监控。

[0043] 一旦功率管理器可以预测未来的下降沿或上升沿,功率管理器就可以决定停止进行持续监控。通过选择下一监控时间周期(其中,所预测的边沿下降),功率管理器可以验证其预测是否正确。下一监控时间周期不必包含紧随其后的预测边沿,而是功率管理器可以在再次进行监控前跳过一个或多个预测边沿。时常进行测量可能对于校正边沿出现的偏移是有益的。

[0044] 在本发明的实际实施例中,功率管理器可操作用于产生用于追踪硬件监控器的监控轨迹;功率管理器可操作用于基于监控轨迹并相对于基准时间点来确定工作负荷的工作负荷频率以及工作负荷相位;功率管理器可操作用于基于工作负荷频率和工作负荷相位预测工作负荷;根据所预测的工作负荷来对功率进行控制。

[0045] 监控轨迹是由硬件监控器指示的值在时间周期内的历史的记录表示。

[0046] 功率管理器可以通过临时存储由硬件管理器产生的多个值来创建轨迹。还可以通过例如检测边沿来针对周期性图案(pattern)对轨迹进行分析。这种周期性图案具有频率,即,工作负荷频率。可以相对于基准点来确定高工作负荷的周期开始的点,即,工作负荷相位。一旦已知高工作负荷的周期何时开始以及周期每隔多久重复一次,就可以预测未来工作负荷。

[0047] 在本发明的实际实施例中,硬件监控器被集成在功率管理器中。

[0048] 根据本发明的电子系统包括:根据本发明的功率管理器和在操作使用期间具有工作负荷的电子装置;以及连接至电子装置并可操作用于指示电子装置的工作负荷的硬件监控器。

[0049] 在根据本发明的系统的优选实施例中,电子系统被配置用于使工作负荷基本上是周期性的。

[0050] 可以将根据本发明的电子系统容纳在电子移动数据处理装置中。

[0051] 存在电子移动数据处理装置的操作使用受其功率需求限制的问题。降低电子移动数据处理装置的功耗是特别有利的。降低装置的功耗将给予该装置例如更长的待机时间和/或更长的播放时间。

[0052] 电子移动数据处理装置的实施例包括移动电话、个人数字助理(PDA)、mp3播放器、可移动视频播放装置、个人导航装置等。

[0053] 用于管理供给电子装置的功率的方法包括以下步骤:在监控时间周期期间监控硬件监控器;根据该监控来控制供给电子装置的功率。

[0054] 在用于管理供给电子装置的功率的方法的优选实施例中,以监控轨迹的形式存储监控的表示。该方法还包括以下的其他步骤:检测监控轨迹中的至少两个边沿;基于监控轨迹并相对于基准时间点来确定工作负荷频率和工作相位;基于工作负荷频率和工作负荷相位预测工作负荷。根据该预测执行控制。

[0055] 用于管理供给电子装置的功率的方法的优选实施例包括以下步骤:预测未来边

沿 ;选择调节到所预测的未来边沿附近的下一监控时间周期 ;在该下一监控时间周期期间对硬件监控器进行监控。

[0056] 计算机程序产品包括用于执行根据本发明的方法的计算机代码。

[0057] 应该注意, Christos D. Antonopoulos 和 Dimitrios S. Nikolopoulos 的论文“Using Hardware Event Counters for Continuous, Online System Optimization: Lessons and Challenges”公开了一种用于使用硬件事件计数器来修改操作系统 (OS) 的调度程序的方法。

[0058] 应该注意, 通过引用结合于此的第 4,823,292 号美国专利“Data processing apparatus with energy saving clocking device”公开了一种数据处理设备, 其包括具有操作模式和停止模式的数据处理元件。可以通过在这两种模式之间进行切换来降低该装置的能量消耗。第 4,823,292 号美国专利没有利用硬件监控器。

附图说明

[0059] 通过实例并参照附图来对本发明进行更详细地说明, 在附图中 :

[0060] 图 1 是示出根据本发明的电子系统的实施例的框图。

[0061] 图 2 是示出周期性应用程序的工作负荷轨迹的曲线图。

[0062] 图 3 是示出确定正确的工作负荷相位的重要性的曲线图。

[0063] 图 4 是示出功率管理器的实施例的框图。

[0064] 图 5 是示出根据本发明的电子系统的另一实施例的框图。

[0065] 图 6 是示出根据本发明的方法的流程图。

[0066] 在全部附图中, 相同附图标记表示类似或对应的特征。

[0067] 附图标记列表:

[0068] 100 电子系统

[0069] 102 电子装置

[0070] 104 硬件监控器

[0071] 106 功率管理器

[0072] 200 功率管理单元 (PMU)

[0073] 202 工作负荷频率和工作负荷相位检测器

[0074] 204 工作负荷预测器

[0075] 206 工作负荷频率传送

[0076] 208 工作负荷相位传送

[0077] 210 工作负荷传送

[0078] 500 轨迹生成器

[0079] 502 功率管理器逻辑电路

[0080] 508 功率控制器

[0081] 510 动态电压和频率调节 (DVFS) 驱动器

[0082] 512 应用程序存储器

[0083] 1002 在监控时间周期期间检测硬件监控器 (104) 并以监控轨迹的形式进行存储 ;

- [0084] 1004 检测监控轨迹中的至少两个边沿；
- [0085] 1006 基于监控轨迹并相对于基准时间点来确定工作负荷频率和工作负荷相位；
- [0086] 1008 基于工作负荷频率和工作负荷相位预测工作负荷；
- [0087] 1010 根据该预测控制供给电子装置的功率。

具体实施方式

[0088] 尽管本发明能容许多种不同形式的实施例，但是附图中示出并且本文中详细描述一个或多个具体实施例，应该理解，本公开被认为是本发明的原理的示例，并不旨在将本发明限制为所示出并描述的具体实施例。

[0089] 在图 1 中，示出了根据本发明的电子系统 (100) 的实施例的框图。

[0090] 该系统 (100) 包括电子装置 (102)、硬件监控器 (104) 和功率管理器 (106)。在该实施例中，电子装置 (102) 包括硬件监控器 (104)，尽管这不是必需的。

[0091] 硬件监控器 (104) 被配置为指示电子装置 (102) 的工作负荷。功率管理器 (106) 被布置成能够经由连接对硬件监控器 (104) 进行读取。功率管理器 (106) 被布置成控制供给电子装置 (102) 的功率。

[0092] 在操作期间，硬件监控器 (104) 指示表示电子装置 (102) 的工作负荷的值。例如，硬件监控器 (104) 可以是一位寄存器，其指示电子装置 (102) 当前是活动的还是空闲的。功率管理器 (106) 读取硬件监控器 (104) 的内容，并且利用其来预测电子装置 (102) 的未来工作负荷。基于该装置 (102) 的未来工作负荷，功率管理器 (106) 决定电子装置 (102) 所需要的功率量。例如，功率管理器 (106) 可以计算处理器按时完成工作负荷所需的时钟频率；功率管理器 (106) 可以计算刚好足以维持时钟频率的电源电压。

[0093] 电子装置 (102) 具有周期性工作负荷。硬件监控器 (104) 连接至电子装置 (102)，并且指示电子装置 (102) 的工作负荷。功率管理器 (106) 监控硬件监控器 (104)。功率管理器 (106) 对未来工作负荷进行预测，并且基于该预测，调整供给电子装置 (102) 的功率。

[0094] 功率管理器 (106) 通过检测边沿来进行工作负荷周期预测。功率管理器 (106) 使其操作与所检测到的工作负荷周期同步。功率管理器 (106) 确定上升沿的开始、以及上升沿的频率。理想地，还计算工作负荷周期的长度。

[0095] 功率管理器 (106) 不必连续地监控硬件监控器 (104)。一旦功率管理器 (106) 已预测到边沿，功率管理器 (106) 就将仅在所预测到的边沿出现时刻附近的时间间隔内进行监控，以检查其预测，并且如果需要，进行校准（即，重新调节）。在有偏移的情况下，重新调节会是必需的。

[0096] 可以使用专用硬件（诸如，被配置为执行控制和监控的电子电路）来构成功率管理器 (106)，或者可以由使用专用软件控制的通用硬件来构成功率管理器 (106)，或者功率管理器 (106) 可以包括专用硬件和通用硬件的结合。

[0097] 典型地，功率管理器 (106) 将通过中介（功率管理单元 (200)（图 1 中未示出））来控制功率，例如，通过将关于时钟频率和 / 或电源电压的信息发送至功率管理单元 (200)。

[0098] 代替报告每个周期的工作负荷，硬件监控器 (104) 可以报告转化 (combine) 为单个数量的短时间周期内的工作负荷，例如平均或总工作负荷。例如，硬件监控器 (104) 可以

报告 CPU 在短时间周期内的活动周期的数量。如果所得到的由硬件监控器 (104) 给出的转化值对于观察工作负荷的周期性给出了足够的分辨率,则时间周期较短。

[0099] 在图 2a 中,是出了周期性应用程序的工作负荷轨迹的曲线图。该曲线图示出了对于在嵌入式 ARM9 CPU 上运行的周期性应用程序 (即,视频解码) 的示例性工作负荷轨迹。

[0100] 为了利用变化的工作负荷 (即,变化的每个周期所需的有效 CPU 周期的数量) 来预测周期性应用程序的处理器工作负荷,必须对当前周期的工作负荷进行正确测量。

[0101] 以足够的时间分辨率在软件或 (例如) 操作系统中在正确的时间帧 (例如,一个周期) 期间测量该工作负荷是不可能的。当使用按照非常细的粒度测量 CPU 占用期 (occupation) 的硬件事件寄存器或轨迹寄存器时,更精确的同步是可能的。在本发明中,通过独立的观察器来测量应用程序工作负荷。理想地,测量的周期等于工作负载周期,并且测量周期的开始与工作负荷周期的开始同步。

[0102] 对于非 CPU 绑定的应用程序 (即,其不需要约 100% 的恒定 CPU 工作负荷),可以通过以刚好足以按时执行所请求的计算的时钟频率和电压运行 CPU 来降低功耗。可以将 CPU 工作负荷作为 CPU 忙于执行指令的时间的百分率 (fraction) 来计算,或者可选地,作为用于计算的时钟周期的数量与在所限定的周期内可用的时钟周期的总数之比来计算。

[0103] 可以例如通过控制时钟频率和 / 或电压来控制供给 CPU 的功率。例如,可以通过使用可由软件和 / 或由硬件控制的动态电压和频率调节 (DVFS) 来控制功率。

[0104] 对于周期性应用程序,如视频回放,可以通过观察并预测 CPU 的工作负荷来控制供给 CPU 的功率。

[0105] 在诸如 Linux 的操作系统中,由 OS 测量 CPU 工作负荷。在 Linux 中,这是通过计时器滴答中断来完成的:在每次计时器滴答,典型地为每隔 1、4 或 10 毫秒 (msec),使 CPU 中断并对所中断的代码分类。代码类别是以下类型之一:User、System、Nice 或 Idle。类型“User”代表运行应用程序, System 是指执行系统调用。类型“Nice”代表正在处理批量作业。以及类型“Idle”是指 CPU 没有执行任何有用指令,例如, CPU 可能停机。在每次计时器滴答,将一个单位值与由对应类别计数器计数得到的值相加。为了确定在由几个计时器滴答组成的某周期内的工作负荷,必须将在“User”、“Nice”和“System”中花费的滴答的总和除以在该周期内的滴答的总数,以得到在该周期内的 CPU 工作负荷。典型地,计时器滴答频率在 100Hz 到 1000Hz 之间。由于与 CPU 速度相比,计时器滴答频率相当低,所以测量工作负荷是在定时与值精确度之间的折衷,例如,在 10 个滴答期间进行测量则每 10 个计时器滴答产生 10% 精确值;对于 1% 精确度,测量周期应该是若干 100 个计时器滴答,这意味着远远比例如用于视频回放的帧速率长的 100、250 或 1000msec 的测量周期。结果,由操作系统软件报告的这些工作负荷数量对于细粒度的功率控制而言是不够的。

[0106] 大多数现代微处理器配备有专用的片上硬件 (例如硬件事件计数器),其可以监控与处理器的特定子单元和应用程序的交互相关的性能事件。性能监控的结果被写入允许分析 CPU 内核的各部分性能的寄存器。

[0107] 这些硬件事件计数器以比在软件中可能的精确度和 / 或采样分辨率大的精确度和 / 或采样分辨率,对处理器工作负荷给出基于硬件的测量。这些计数器在约为几纳秒的 CPU 时钟频域内进行操作,而不是在 OS 计时器滴答域内进行操作。由于工作负荷频率必须小于 CPU 时钟频率,因此,可以将硬件监控器的采样频率保持足够高,以检测工作负荷周

期。可以将寄存器编程为高度自治地进行操作,这给予了可以以更大的定时精确性来测量处理器工作负荷、而不会对 CPU 造成显著的性能影响的优势。

[0108] 例如,Intel Pentium4 处理器具有用于测量的 44 个轨迹(事件)寄存器,可以选择其中的 18 个轨迹寄存器来提供实时性能数据。例如,寄存器可以监控:高速缓存命中、转移预测逻辑电路效率、和处理器非空闲的时间。处理器非空闲的时间是处理器工作负荷的直接等同,并且以比操作系统可以达到的分辨率更高的时间分辨率测量该时间。与 OS 的毫秒范围相比,硬件事件计数器的分辨率为大约几纳秒。CPU 可以自治地将轨迹数据值输出至主存储器,并且当某些事件(诸如,计数器溢出)发生时产生中断。

[0109] 在附图 3 中,示出了示出确定正确的工作负荷相位的重要性的曲线图。

[0110] 为了正确地预测 CPU 工作负荷,必须知道当前 CPU 工作负荷。对于精确的工作负荷测量,需要应用程序的两种特征。第一特征关于工作负荷变化的频率,即,工作负荷频率。代替工作负荷频率,可以使用代表工作负荷频率的值,例如,周期的长度。例如,视频回放应用程序的工作负荷频率取决于帧速率。第二特征关于工作负荷的工作负荷相位,即,应用程序的高工作负荷的重复周期的开始时间。例如,对于视频回放应用程序,工作负荷相位典型地对应于视频帧的处理开始。

[0111] 可以通过观察 CPU 的工作负荷来推导出这些特征。为此,必须测量 CPU 工作负荷。

[0112] 图 3 的曲线图是周期性应用程序的工作负荷曲线图的详情。在试图控制功率(例如,通过利用分立的独立功率管理器(106)来预测应用程序的工作负荷)中所涉及的问题在于,预先不知道应用程序工作负荷的工作负荷频率(即,应用程序的周期性的频率)和工作相位(其是周期的开始时间)。

[0113] 即使找到了工作负荷频率,检测工作负荷相位对于工作负荷的正确测量而言也是重要的。图 3 中所示的曲线图示出了测量周期与工作负荷周期同步的重要性。

[0114] 首先,在持续了 25 个周期(从 5 到 30)的正确周期期间(即,在‘A’与‘B’之间),测量工作负荷。所测量出的工作负荷值为 10 个周期,或者 $10/25 \times 100\% = 40\%$ 。

[0115] 接下来,假设测量与工作负荷周期不严格地同步。例如,在也持续 25 个周期(从 13 到 38)的‘C’和‘D’之间进行测量。这导致工作负荷的不正确的值,即,8 或 $8/25 \times 100\% = 32\%$,其比较小。

[0116] 使用从错误周期获得的测量结果,导致向 CPU 供给太小的功率。结果,系统(100)可能发生故障。

[0117] 通过足够快速地检测工作负荷的激增,工作负荷预测器(204)可以使其对工作负荷进行的预测与应用程序的实际工作负荷周期同步。

[0118] 在图 4 中,示出了功率管理器(106)的实施例的框图。

[0119] 功率管理器(106)包括工作频率和工作相位检测器(202)以及工作负荷预测器(204)。工作负荷频率和工作负荷相位检测器(202)连接至硬件监控器(104),以监控硬件监控器(104)。经由工作负荷传送(210)将代表工作负荷的信号从硬件监控器(104)传送至检测器(202)。检测器(202)估计工作负荷的工作负荷频率和工作负荷相位。如果检测器(202)发现不能充分预测工作负荷,则检测器(202)禁止通过功率管理器(106)对功率进行控制。

[0120] 工作负荷预测器(204)还可以经由传送(210)使用经由硬件监控器(104)获得的

值。

[0121] 检测器 (202) 经由工作负荷频率传送连接至工作负荷预测器 (204)。检测器 (202) 经由工作负荷相位传送 (208) 连接至工作负荷预测器 (204)。工作负荷预测器 (204) 被配置用于基于工作负荷频率和工作负荷相位来预测电子装置 (102) 的工作负荷。

[0122] 工作负荷预测器 (204) 基于其预测来确定电子装置 (102) 所需要的功率。工作负荷预测器 (204) 设置电源电压的频率和电平,并且将这些值转发至功率管理单元 (PMU) (200)。该单元 (200) 被配置用于根据由工作负荷预测器 (204) 转发至其的信息来控制供给电子装置 (102) 的功率。

[0123] 功率管理单元 (PMU) (200) 基于低压差线性 (LDO) 稳压器、DC/DC 电感稳压器、或任何其他适当的稳压器来设置电源电压。该单元 (200) 还包括时钟产生单元 (CGU)。CGU 基于 PLL、DDS 或分压器方法、或者其他适合的时钟产生方法来产生时钟。

[0124] 为了使工作负荷预测器 (204) 独立于引起工作负荷的应用程序,并且使工作负荷测量周期等于工作负荷周期并使这两个周期同相,使工作负荷频率和工作负荷相位检测作为预测时的中间步骤是有利的。

[0125] 可以通过检测硬件监控器 (104) 所报告的工作负荷值中的边沿来完成工作负荷频率和工作负荷相位检测。这取决于包括硬件监控器 (104) 的工作负荷监控机构的细粒度 (即,高频采样)。可以使用例如用于以高分辨率测量工作负荷的硬件性能计数器来获得细粒度。

[0126] 细粒度对于精确确定工作负荷周期、工作负荷频率计算、以及检测工作负荷相位而言是重要的。工作负荷相位对于使测量周期与工作负荷周期同步而言也是重要的。

[0127] 硬件监控器 (104) 对工作负荷进行采样的频率应该比工作负荷周期的频率高,优选地,高很多。具体地,工作负荷的采样应该频繁得足以检测所测量出的工作负荷的上升沿。

[0128] 可以使用任意适当的边沿检测机构来对工作负荷周期、工作负荷频率和工作负荷相位进行确定。

[0129] 理想地,通过同步机构使工作负荷测量周期与工作负荷周期同步。

[0130] 可以软件应用程序实现功率管理器 (106)。功率管理器 (106) 可以并行于以及独立于装置 (102) 上的其他应用程序而运行。

[0131] 在附图 5 中,示出了根据本发明的电子系统 (100) 的另一实施例的框图。

[0132] 系统 (100) 包括电子装置 (102)。电子装置 (102) 包括硬件监控器 (104)。该装置 (102) 连接至应用程序存储器 (512)。电子装置 (102) 可操作用于执行存在于应用程序存储器 (512) 中的应用程序 (即,软件)。该系统 (100) 包括功率管理器 (106)。功率管理器 (106) 部分以功率管理器逻辑电路 (502) 实现以及部分以轨迹生成器 (500) 实现。

[0133] 功率管理器逻辑电路 (502) 包括工作负荷频率和工作负荷相位检测器 (202)、工作负荷预测器 (204) 和功率控制器 (508)。

[0134] 轨迹生成器 (500) 连接至硬件监控器 (104)。轨迹生成器 (500) 被配置用于将硬件监控器 (104) 所报告的值以轨迹的形式传送至检测器 (202)。轨迹可以表示为一组值。轨迹生成器 (500) 可以包括缓冲器,诸如先进先出 (FIFO) 缓冲器或循环缓冲器。可以通过使缓冲器的内容可用于检测器 (202) 和 / 或预测器 (204) 来将轨迹传送至检测器 (202) 和

/ 或预测器 (204)。

[0135] 检测器 (202) 基于在轨迹中检测到的边沿来确定工作负荷频率和工作负荷相位。将工作负荷频率和工作负荷相位传送至工作负荷预测器 (204)。工作负荷预测器 (204) 预测电子装置 (102) 的未来工作负荷。向功率控制器 (508) 报告所预测的工作负荷。功率控制器 (508) 通过确定时钟频率和电源电压电平, 来确定在下一周期内需要供给电子装置 (102) 的功率量。时钟频率和电源电压被转发至动态电压和频率调节 (DVFS) 驱动器 (510)。该驱动器 (510) 能够设置功率管理单元 (PMU) (200) 中的时钟频率和电源电压。该单元 (200) 能够设置电子装置 (102) 的时钟频率和电源电压。

[0136] 在该实施例中, 驱动器 (510) 是可选的, 功率控制器 (508) 也可以直接设置功率管理单元 (PMU) (200) 中的时钟频率和电源电压。

[0137] 该实施例尤其适合于至少部分地以功率逻辑软实现。具体地, 可以以软件实现功率管理逻辑电路 (502) 及其部件。该软件可以在 CPU 上运行。电子装置 (102) 可以是 CPU, 在其他任务之中该 CPU 可以运行功率逻辑软件。功率逻辑软件还可以运行在独立于电子装置 (102) 的 CPU 上。功率逻辑软件可以存在于诸如应用程序存储器 (512) 的存储器中, 或存在于不同的存储器中。

[0138] 可选地, 可以硬件 (诸如, 以例如 CMOS 电路的 IC)、或任意其他适合的电子电路来实现功率管理器逻辑电路 (502)。

[0139] 电子系统 (100) 的实例是具有运行 Linux 的 Pentium 4 处理器的机器。轨迹生成器 (500) 对 CPU (102) 的事件和 / 或轨迹寄存器 (104) 进行读取, 并且生成轨迹。工作负荷频率和工作负荷相位检测器 (202) 检测工作负荷中的上升沿, 如图 3 中的边沿 A 和 B。优选地, 将轨迹寄存器设置成例如通过定期地 (on a regular basis) 监控轨迹寄存器 'global_power_events' 中的轨迹, 来测量处理器占用。对于该监控, 可以使用应用程序 perfmon2, 其是用于 Linux 的基于硬件的性能监控接口。

[0140] 功率管理器 (106) 被配置为最初与所检测到的工作负荷边沿同步。当功率管理器 (106) 与所检测到的工作负荷边沿同步时, 功率管理器 (106) 可以在再次测量前跳过一个或多个工作负荷周期。

[0141] 所测量出的工作负荷值被转发至边沿检测器。当都以硬件实现硬件监控器 (104) 和边沿检测器 (202) 这两者时, 边沿检测器 (202) 可以根据所检测到的上升沿来使 CPU 中断。然后, 预测器 (204) 可以精确地确定工作负荷周期何时开始。在这种情况下, 可以以软件实现预测器 (204)。这可以用于同步第一工作负荷测量的工作负荷相位。工作负荷周期持续时间可以用于同步测量周期。还可以时常进行重复以避免测量周期与工作负荷周期之间的偏移。另一方面, 可以在每个工作负荷周期来同步工作负荷相位。后者在工作负荷周期高波动的情况下尤其有用。

[0142] 本发明可应用于使用至少偶尔运行周期性应用程序或者至少运行可预测的应用程序的微处理器的任何系统 (100) 中。

[0143] 在图 6 中, 示出了根据本发明的方法的流程图。该方法包括以下步骤。

[0144] 在第一步骤 (1002) 中, 硬件监控器 (104) 在监控时间周期期间进行监控, 并且以监控轨迹的形式存储结果。在下一步骤 (1004) 中, 检测监控轨迹中的至少两个边沿。在下一步骤 (1006) 中, 相对于基准时间点并基于监控轨迹来检测工作负荷频率和工作负荷相

位。在下一步骤(1008)中,基于工作负荷频率和工作负荷相位预测工作负荷。在下一步骤(1010)中,根据该预测控制供给电子装置(102)的功率。

[0145] 可以使用执行以上以流程图形式广义描述的、可以存储在任何适当的电子存储介质上的编程指令的可编程处理器来实现如本文实施例中所描述的本发明。然而,本领域的技术人员应理解,在不背离本发明的情况下,可以任何数量的变化以及多种适当的编程语言来实现上述处理。例如,在不背离本发明的情况下,通常可以改变所执行的某些操作的顺序,可以添加其他操作或者可以删除一些操作。在不背离本发明的情况下,可以添加捕错、增强和变化。这样的变化是可预期并被看作是等同的。

[0146] 可以使用特定用途硬件和/或专用处理器来实现本发明。类似地,可以使用通用计算机、基于微处理器的计算机、数字信号处理器、微控制器、专用处理器、定制电路、ASIC和/或专用硬接线逻辑电路来构造本发明的可选等同实施例。

[0147] 本领域的技术人员应理解,在不背离本发明的情况下,可以使用磁盘存储器以及其他形式的存储器(诸如,只读存储器(ROM)装置、随机存取存储器(RAM)装置、光学存储元件、磁性存储元件、磁光存储元件、闪存和/或其他其他存储技术)来实现用于实施上述实施例的程序步骤和关联数据。应该认为这样的可选存储装置是等同的。

[0148] 尽管结合具体实施例描述了本发明,但是显然,根据前面的描述,多种替换、修改、置换和变化对于本领域的技术人员是显而易见的。因此,本发明旨在包括落入所附权利要求范围内的所有这种替换、修改和变化。

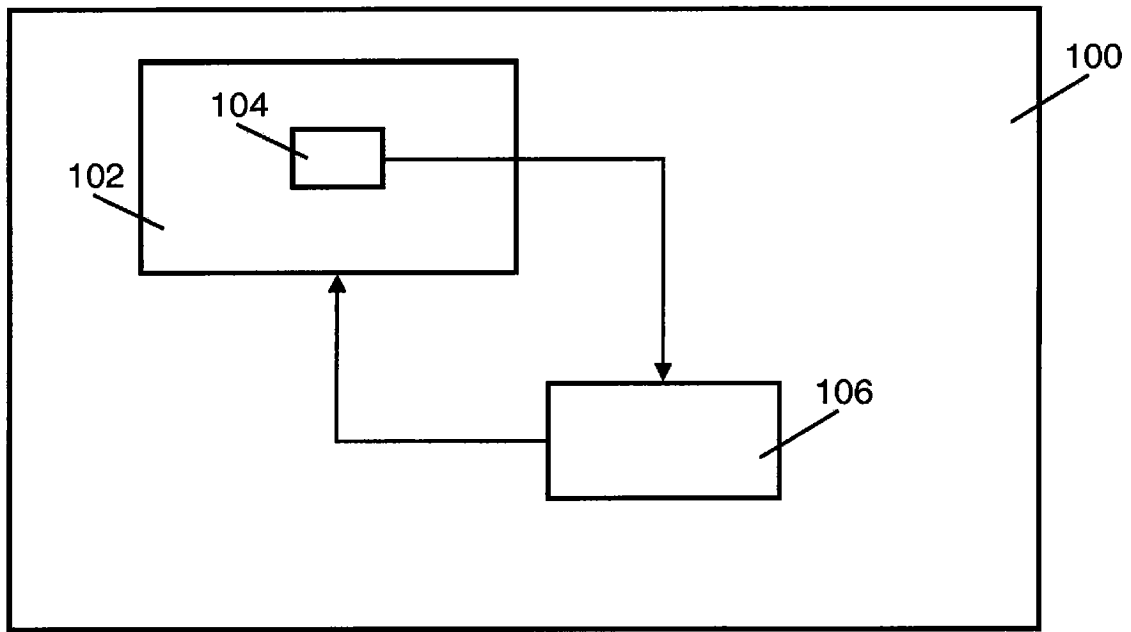


图 1

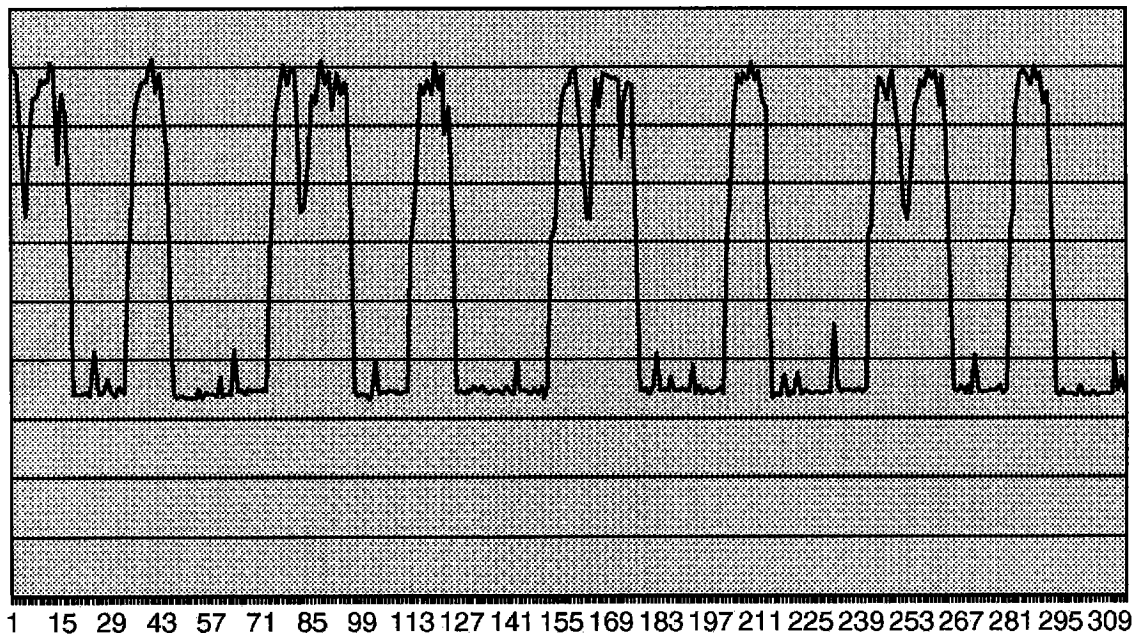


图 2

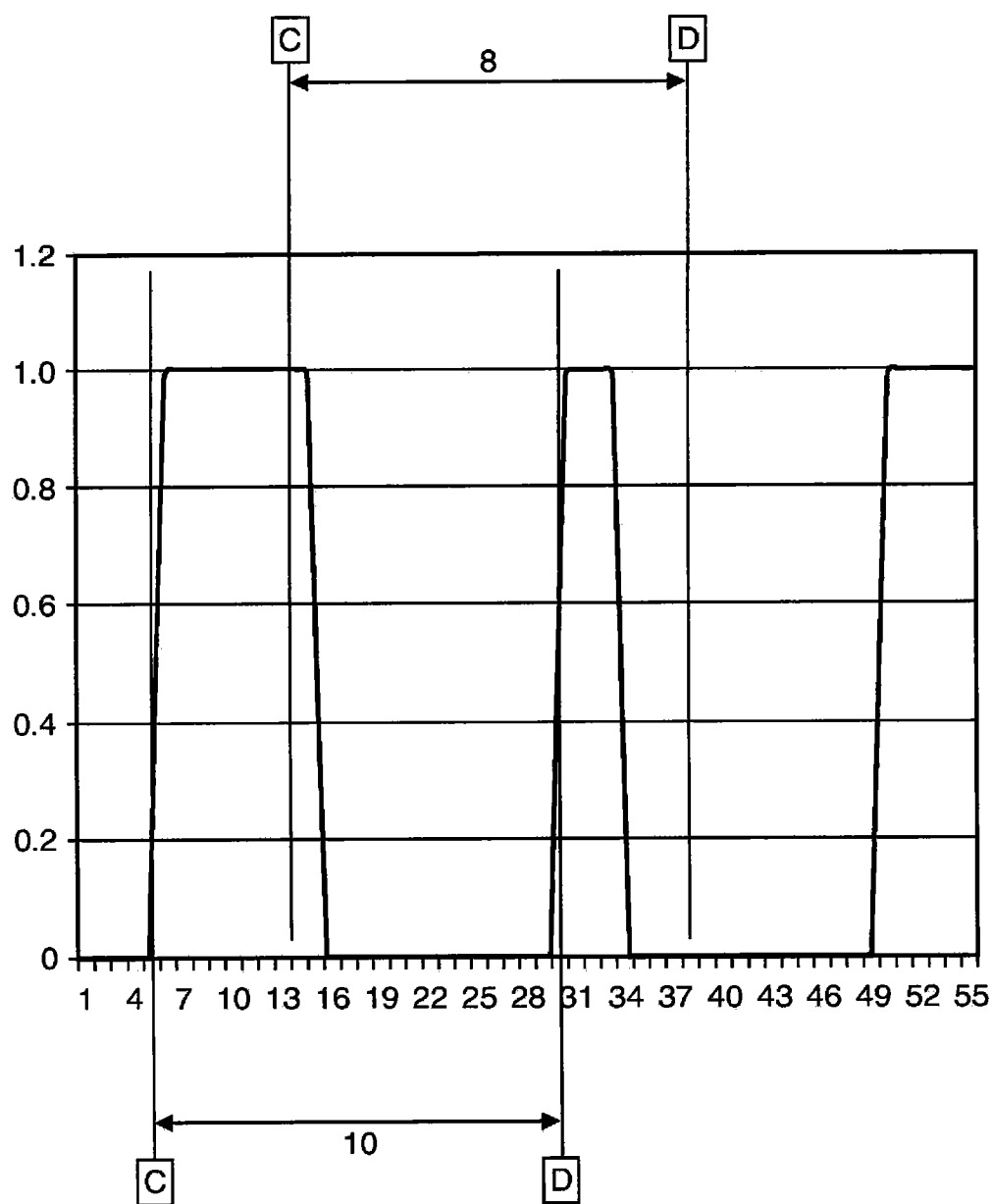


图 3

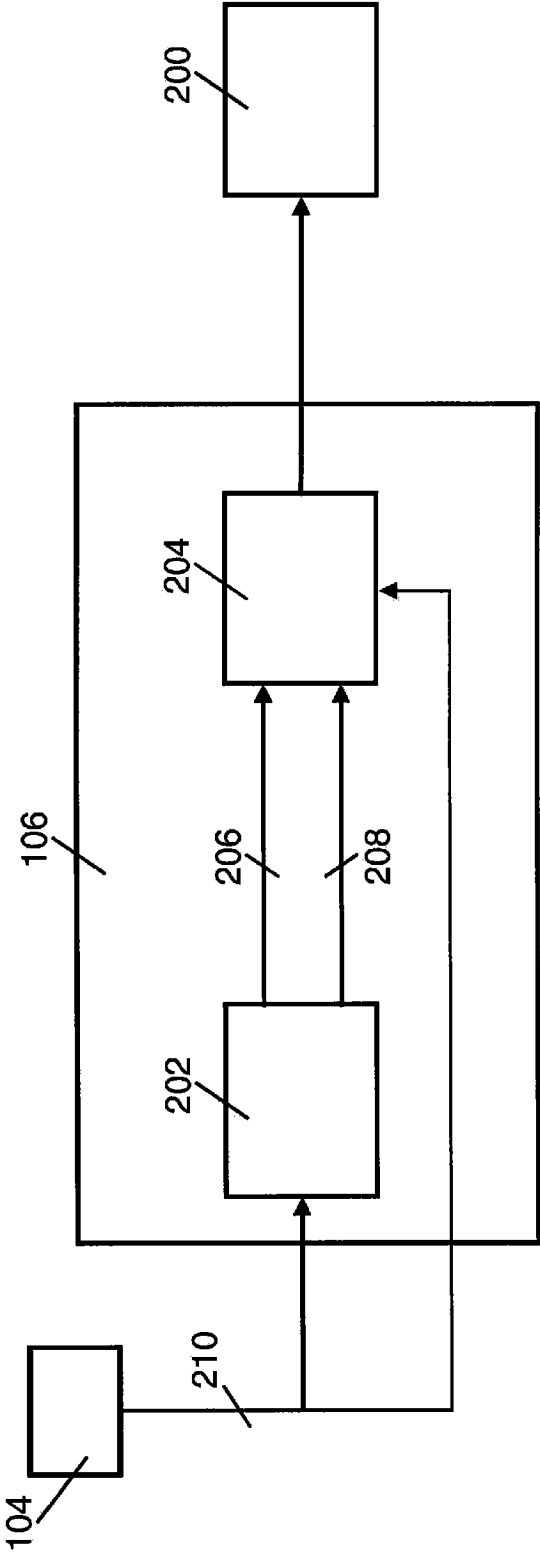


图 4

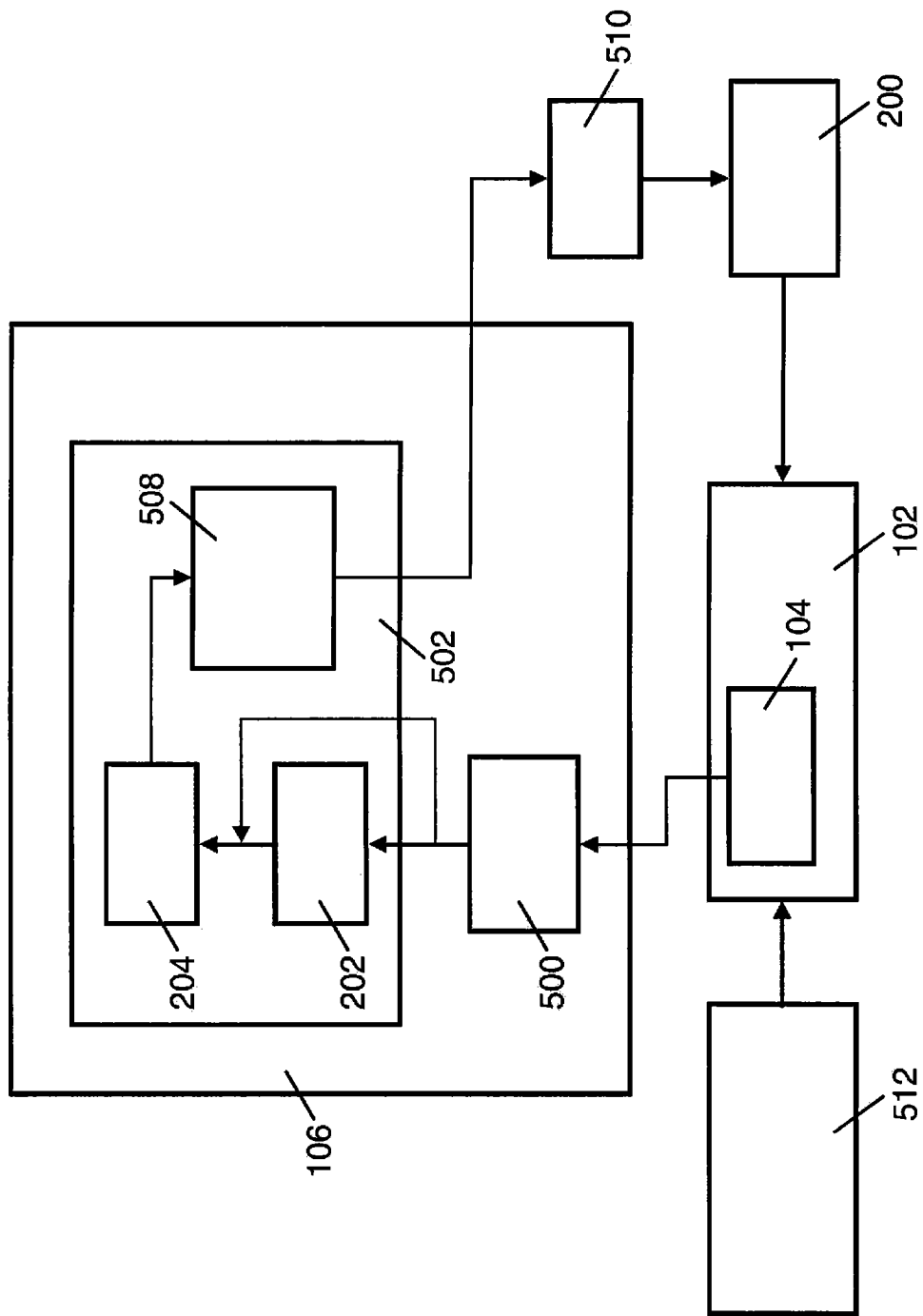


图 5

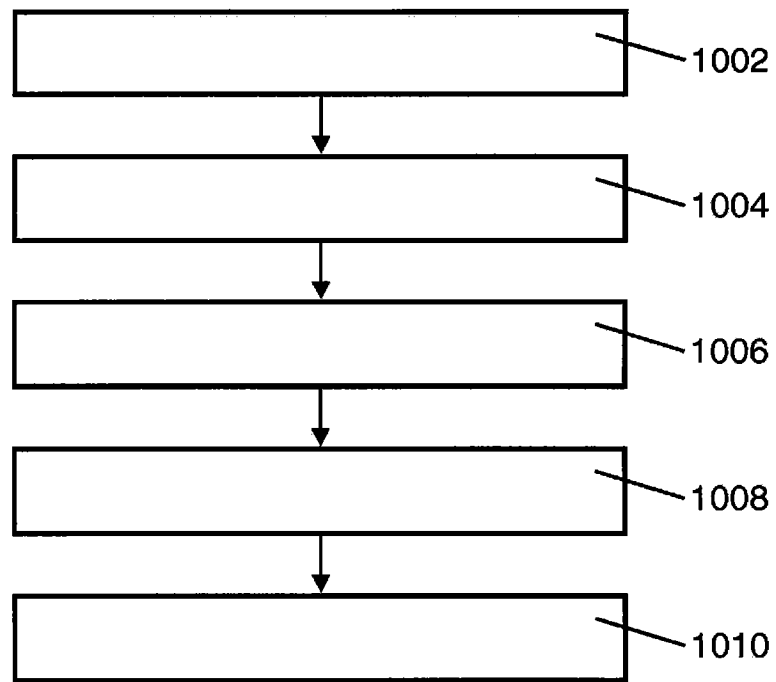


图 6