(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 117377925 B
(45)授权公告日 2024.09.10

(21)申请号 202280024271.3
(22)申请日 2022.03.29
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 117377925 A
(43)申请公布日 2024.01.09
(30)优先权数据
17/219,097 2021.03.31 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.09.25
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2022/022359 2022.03.29
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/212385 EN 2022.10.06
(73)专利权人 超威半导体公司
地址 美国加利福尼亚州
专利权人 ATI科技无限责任公司
(72)发明人 卡西克·拉奥 因德拉尼·保罗唐尼·易
亚历山大·霍多尔科夫斯基
李奥纳多·德宝拉罗莎皮加
崔元济 达娜·G·刘易斯
斯里拉姆·桑巴穆尔蒂
(74)专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263
专利代理师 樊英如 童礼翎
(51)Int.Cl.
G06F 1/3228(2006.01)
G06F 1/3234(2006.01)
(56)对比文件
KR 20210017536 A,2021.02.17
US 2003105983 A1,2003.06.05
审查员 武晓冬

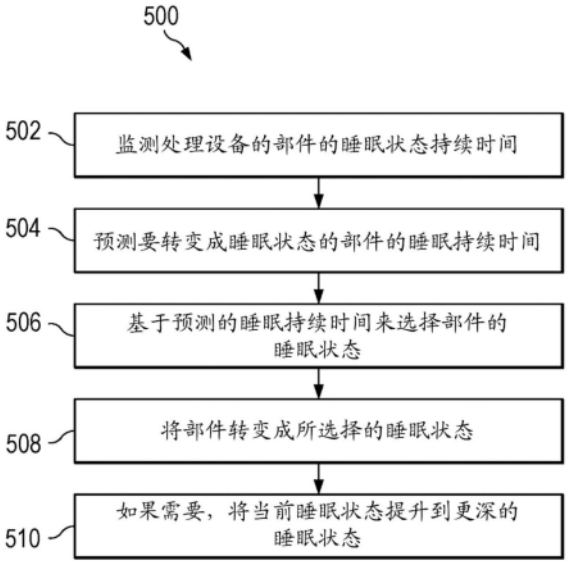
权利要求书4页 说明书13页 附图10页

(54)发明名称

基于空闲持续时间历史的低功率状态选择

(57)摘要

本发明涉及一种装置(100),该装置包括处理器(102)、睡眠状态持续时间预测模块(404)和系统管理单元(316)。该睡眠状态持续时间预测模块被配置为预测该装置的部件的睡眠状态持续时间(416)。该系统管理单元基于预测的睡眠状态持续时间与至少一个持续时间阈值的比较,将该部件转变成选自多个睡眠状态的睡眠状态。该多个睡眠状态中的每个睡眠状态是比该多个睡眠状态中的先前睡眠状态功率更低的状态。



CN 117377925 B

1.一种方法,包括:

基于与睡眠状态的一个或多个先前选择相关联的反馈来预测处理设备的部件的睡眠状态持续时间;以及

基于所预测的睡眠状态持续时间与至少一个持续时间阈值的比较,将所述部件转变成选自多个睡眠状态的睡眠状态,其中所述多个睡眠状态中的每个睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的先前睡眠状态功率更低的状态。

2.根据权利要求1所述的方法,其中:

将所述部件转变成所选择的睡眠状态包括在没有进入滞后延迟的情况下转变所述部件。

3.根据权利要求1所述的方法,其中基于历史睡眠状态持续时间信息来预测所述睡眠状态持续时间。

4.根据权利要求3所述的方法,其中所述历史睡眠状态持续时间信息包括与所述处理设备相关联的先前睡眠状态的持续时间。

5.根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一个持续时间阈值指示所述部件将驻留在与所述至少一个持续时间阈值相关联的睡眠状态内的持续时间,使得通过驻留在所述睡眠状态中而节省的能量至少等于将所述部件转变到所述睡眠状态和从所述睡眠状态转变所述部件的能量成本。

6.根据权利要求1所述的方法,其中选择所述睡眠状态包括:

确定所预测的睡眠状态持续时间未能满足所述至少一个持续时间阈值;以及

响应于所预测的睡眠状态持续时间未能满足所述至少一个持续时间阈值,选择所述多个睡眠状态中的第一睡眠状态,所述第一睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的至少第二睡眠状态功率更高的状态。

7.根据权利要求1所述的方法,其中选择所述睡眠状态包括:

确定所预测的睡眠状态持续时间满足所述至少一个持续时间阈值;以及

响应于所预测的睡眠状态持续时间满足所述至少一个持续时间阈值,选择所述多个睡眠状态中的第一睡眠状态,所述第一睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的至少第二睡眠状态功率更低的状态。

8.根据权利要求1所述的方法,

其中所述反馈指示先前对睡眠状态作出一个或多个不正确选择,以及

其中预测所述睡眠状态持续时间包括基于所述反馈调整用于预测所述睡眠状态持续时间的一个或多个参数。

9.一种方法,包括:

预测处理设备的部件的睡眠状态持续时间;

基于所预测的睡眠状态持续时间与至少一个持续时间阈值的比较,从多个睡眠状态中选择初始睡眠状态,其中所述多个睡眠状态中的每个睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的先前睡眠状态功率更低的状态;

确定与所述部件相关联的中断将在阈值时间量内发出;

响应于确定与所述部件相关联的中断将在所述阈值时间量内发出,从所述多个睡眠状态中选择不同睡眠状态,其中所述不同睡眠状态是比所述初始睡眠状态功率更高的状态;

以及

将所述部件转变成所述不同睡眠状态。

10.根据权利要求1所述的方法,还包括:

确定所述部件当前驻留在所选择的睡眠状态的持续时间;

将所述持续时间与阈值时间量进行比较;以及

基于所述持续时间满足所述阈值时间量,将所述部件转变成不同睡眠状态,其中所述不同睡眠状态是比所选择的睡眠状态功率更低的状态。

11.根据权利要求1所述的方法,还包括:

确定所述部件当前驻留在所选择的睡眠状态的持续时间;

确定与所述处理设备相关联的一组历史睡眠状态持续时间中满足阈值持续时间的睡眠状态持续时间的百分比;

将所述持续时间与阈值时间量进行比较;

将睡眠状态持续时间的所述百分比与阈值百分比进行比较;以及

基于所述持续时间满足所述阈值时间量并且睡眠状态持续时间的所述百分比满足所述阈值百分比,将所述部件转变成不同睡眠状态,其中所述不同睡眠状态是比所选择的睡眠状态功率更低的状态。

12.一种处理设备,包括:

处理器;

睡眠状态持续时间预测模块,所述睡眠状态持续时间预测模块用以基于与睡眠状态的一个或多个先前选择相关联的反馈来预测所述处理设备的部件的睡眠状态持续时间;和

系统管理单元,所述系统管理单元用以基于所预测的睡眠状态持续时间与至少一个持续时间阈值的比较,将所述部件转变成选自多个睡眠状态的睡眠状态,其中所述多个睡眠状态中的每个睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的先前睡眠状态功率更低的状态。

13.根据权利要求12所述的处理设备,其中所述系统管理单元在没有进入滞后延迟的情况下进一步将所述部件转变成所选择的睡眠状态。

14.根据权利要求12所述的处理设备,其中基于历史睡眠状态持续时间信息来预测所述睡眠状态持续时间,所述历史睡眠状态持续时间信息包括与所述处理设备相关联的先前睡眠状态的持续时间。

15.根据权利要求12所述的处理设备,还包括:

睡眠状态选择模块,所述睡眠状态选择模块用以通过以下方式从所述多个睡眠状态中选择所述睡眠状态:

确定所预测的睡眠状态持续时间未能满足所述至少一个持续时间阈值;以及

响应于所预测的睡眠状态持续时间未能满足所述至少一个持续时间阈值,选择所述多个睡眠状态中的第一睡眠状态,所述第一睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的至少第二睡眠状态功率更高的状态。

16.根据权利要求12所述的处理设备,还包括:

睡眠状态选择模块,所述睡眠状态选择模块用以通过以下方式从所述多个睡眠状态中选择所述睡眠状态:

确定所预测的睡眠状态持续时间满足所述至少一个持续时间阈值;以及

响应于所预测的睡眠状态持续时间满足所述至少一个持续时间阈值,选择所述多个睡眠状态中的第一睡眠状态,所述第一睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的至少第二睡眠状态功率更低的状态。

17.根据权利要求12所述的处理设备,还包括:

反馈模块,所述反馈模块用以向所述睡眠状态持续时间预测模块提供所述反馈,所述反馈指示已经作出一个或多个不正确的睡眠状态选择,

其中所述睡眠状态持续时间预测模块基于所述反馈调整用于预测所述睡眠状态持续时间的一个或多个参数。

18.根据权利要求12所述的处理设备,还包括:

睡眠状态提升模块,所述睡眠状态提升模块用以

确定所述部件当前驻留在所选择的睡眠状态的持续时间;

将所述持续时间与阈值时间量进行比较;以及

基于所述持续时间满足所述阈值时间量,将所述部件转变成不同睡眠状态,其中所述不同睡眠状态是比所选择的睡眠状态功率更低的状态。

19.一种处理设备,包括:

处理器;

监测模块,所述监测模块用以监测与所述处理设备相关联的多个睡眠状态中的每个睡眠状态的持续时间,并且进一步将所述持续时间存储为历史睡眠状态持续时间;

睡眠状态持续时间预测模块,所述睡眠状态持续时间预测模块用以基于所述历史睡眠状态持续时间和与睡眠状态的一个或多个先前选择相关联的反馈来预测所述处理设备的部件的睡眠状态持续时间;和

系统管理单元,所述系统管理单元用以基于所预测的睡眠状态持续时间与至少一个持续时间阈值的比较,将所述部件转变成选自多个睡眠状态的睡眠状态,其中所述多个睡眠状态中的每个睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的先前睡眠状态功率更低的状态。

20.根据权利要求19所述的处理设备,还包括:

睡眠状态提升模块,所述睡眠状态提升模块用以确定所述部件当前驻留在所选择的睡眠状态的持续时间满足阈值时间量,并且进一步将所述部件转变成不同睡眠状态,所述不同睡眠状态是比所选择的睡眠状态功率更低的睡眠状态。

21.一种处理设备,包括:

处理器;

睡眠状态持续时间预测模块,所述睡眠状态持续时间预测模块用以预测所述处理设备的部件的睡眠状态持续时间;

睡眠状态预测模块,所述睡眠状态预测模块用以:

基于所预测的睡眠状态持续时间与至少一个持续时间阈值的比较,从多个睡眠状态中选择初始睡眠状态,其中所述多个睡眠状态中的每个睡眠状态是比所述多个睡眠状态中的先前睡眠状态功率更低的状态;

确定与所述部件相关联的中断将在阈值时间量内发出;以及

响应于确定所述中断将在所述阈值时间量内发出,从所述多个睡眠状态中选择不同睡眠状态,其中所述不同睡眠状态是比所述初始睡眠状态功率更高的状态;以及

系统管理单元,所述系统管理单元用以将所述部件转变成所述不同睡眠状态。

基于空闲持续时间历史的低功率状态选择

背景技术

[0001] 现代计算机系统通常可支持若干功率管理状态。工作系统状态通常描述系统完全可用和完全通电的状态。在一些条件下,诸如如果系统部件中的一些或全部未被使用,则通过从工作状态进入较低功率系统状态来针对部件中的一些或全部降低功率。

附图说明

[0002] 通过参考附图,本公开可以被更好地理解,并且其许多特征和优点对于本领域技术人员是显而易见的。在不同附图中使用相同的附图标记表示类似或相同的项目。

[0003] 图1是根据一些实施方案的示例性处理设备的框图。

[0004] 图2是示出根据一些实施方案的图1的处理设备的附加细节的框图。

[0005] 图3是根据一些实施方案的示例性片上系统设备的框图。

[0006] 图4是根据一些实施方案的示例性系统管理单元的框图。

[0007] 图5是示出根据一些实施方案的将处理设备的部件直接转变成较深睡眠状态的总体示例性方法的流程图。

[0008] 图6是示出根据一些实施方案的用于图5的框502中所示的持续时间监测过程的更详细方法的流程图。

[0009] 图7示出了根据一些实施方案的两种不同睡眠状态的示例性定时序列。

[0010] 图8是示出根据一些实施方案的用于图5的框504中所示的持续时间预测过程的更详细方法的流程图。

[0011] 图9是示出根据一些实施方案的用于图5的框506中所示的睡眠状态选择过程的更详细方法的流程图。

[0012] 图10是示出根据一些实施方案的用于图5的框510中所示的睡眠状态提升过程的更详细方法的流程图。

具体实施方式

[0013] 处理设备中的部件(诸如中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)及加速处理单元(APU))可在不同功率管理状态下操作,其中处理设备的部分可停用或以较低操作频率或电压运行。例如,处理设备部件可用的功率管理状态可包括活动状态、空闲状态、功率门控状态等。在活动状态下,部件执行指令并且以标称操作频率和操作电压运行。在空闲状态下,部件不执行指令并且可以以较低的操作频率或操作电压运行。在功率门控状态下,通过例如使用标头晶体管将电源与部件断开连接,当功率门控信号应用于标头晶体管的栅极时,该标头晶体管中断供应到部件的功率。空闲和功率门控状态可以被称为睡眠状态,并且可以由处理设备来实现多个级别的睡眠状态。在至少一些具体实施中,当处于最低(最浅)睡眠状态级别时,处理设备的部件比在活动状态下操作时消耗更少的功率,但比下一个更高(更深)睡眠状态级别消耗更多的功率。当部件被置于最高(最深)睡眠状态级别时,该部件通常被功率门控。

[0014] 当没有活动要由处理设备的部件执行时,处理设备可通过将一个或多个部件从活动状态转变到睡眠状态来节省功率。例如,如果部件空闲达相对长的时间,则供应到部件的功率可被门控,从而减少待机和泄漏功耗。然而,在不同睡眠状态之间转变处理设备或其部件对由处理设备消耗的能量和处理设备的性能方面具有重要影响。例如,从活动状态或较深睡眠状态级别转变成睡眠状态或从睡眠状态转变出来由于转变引起的延迟而强加了性能成本。由于在转变之前要执行的操作,也可能带来能量成本。将处理器核心从深度睡眠级别状态返回到活动状态也会带来性能成本,在该深度睡眠级别状态中,部件被功率门控。因此,仅在部件在较深睡眠状态中的驻留足够长以使得与较深睡眠状态相关联的功率节省超过在进入和退出转变到较深睡眠状态/从较深睡眠状态转变期间消耗的功率的情况下,较深睡眠状态才比较浅睡眠状态更有效。

[0015] 睡眠状态管理系统/算法可受益于基于睡眠持续时间的能量性能损益平衡成本来确定适当睡眠状态级别。然而,对于部件睡眠持续时间将有多长的先验知识通常是不可用的。因此,许多常规睡眠状态管理系统试图通过在保存被置于睡眠状态的部件的状态之前引入滞后持续时间来过滤太短的睡眠持续时间。引入滞后持续时间通常导致能量低效,因为滞后持续时间通常太长(例如,毫秒级)。许多类型的工作负荷的睡眠持续时间通常在亚毫秒范围内,偶尔更长的睡眠持续时间在毫秒范围内持续。因此,长进入滞后导致较短睡眠持续时间(例如,亚毫秒)被忽略,并且针对每个单个睡眠请求进入较深睡眠状态(零进入滞后)。另外,常规睡眠状态管理系统通常具有许多可调谐参数、睡眠状态进入的非自适应方法,缺乏未来改进/扩展的框架,并且可由操作系统功率管理算法控制。所有这些特性进一步增加了常规睡眠状态管理系统的低效率。

[0016] 本公开描述了用于通过将部件直接转变成较深睡眠状态而不是在进入滞后周期中消耗能量来提高处理设备的能量效率的系统和方法的实施方案。如下文更详细地描述,监测并记录处理设备及其部件的睡眠状态持续时间以生成历史睡眠状态持续时间信息。历史睡眠持续时间信息用于预测部件的即将到来的睡眠状态持续时间。针对部件可用的一个或多个睡眠状态确定损益平衡持续时间。损益平衡持续时间指示转变成睡眠状态的益处超过转变成睡眠状态的成本的睡眠状态持续时间。将预测的睡眠持续时间与针对一个或多个睡眠状态确定的损益平衡持续时间进行比较,并且基于该比较来选择部件的睡眠状态。然后,将部件转变成所选择的睡眠状态。在至少一些实施方案中,如果部件已经在当前睡眠状态内驻留满足一个或多个睡眠状态持续时间阈值的持续时间,则将部件的当前睡眠状态提升到较深睡眠状态。在至少一些实施方案中,实现决策错误反馈机制以调整随后预测的睡眠持续时间以基于此减少睡眠状态选择中的错误。另外,在至少一些实施方案中,除了预测的睡眠持续时间之外,还使用诸如来自输入/输出设备(例如,高速外围部件互连(PCIe)设备、通用串行总线(USB)设备等)的等待时间容限报告(LTR)值或高级可编程中断控制器(APIC)中断的定时器值之类的信息来选择部件的睡眠状态。

[0017] 图1是示例性处理设备100的框图,其中可以实现本文所描述的功率状态管理技术。在至少一些实施方案中,处理设备100包括例如计算机、移动设备、游戏设备、平板计算设备、可穿戴计算设备、机顶盒、电视或者另一类型的计算系统或设备。在至少一些实施方案中,处理设备100包括处理器102、存储器104、存储装置106、一个或多个输入设备108以及一个或多个输出设备110。在至少一些实施方案中,处理设备100还包括输入驱动器112和输

出驱动器114。应当理解,处理设备100可包括图1中未示出的附加部件。

[0018] 在至少一些实施方案中,处理器102包括中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、位于同一管芯或多个管芯上的CPU和GPU(例如,使用多芯片模块(MCM)),或者一个或多个处理器核心,其中每个处理器核心是CPU或GPU。在至少一些实施方案中,存储器104位于与处理器102相同的管芯上或与处理器102分开定位。存储器104包括易失性或非易失性存储器,诸如随机存取存储器(RAM)、动态RAM、高速缓存等。

[0019] 在至少一些实施方案中,存储装置106包括固定的或可移除的存储装置,诸如硬盘驱动器、固态驱动器、光盘、闪存驱动器等。在至少一些实施方案中,输入设备108包括例如键盘、小键盘、触摸屏、触控板、检测器、麦克风、加速度计、陀螺仪、生物扫描仪、网络连接(例如,用于传输/接收无线信号的无线局域网卡)等中的一者或多者。在至少一些实施方案中,输出设备110包括例如显示器、扬声器、打印机、触觉反馈设备、一个或多个灯、天线或网络连接(例如,用于传输/接收无线信号的无线局域网卡)等中的一者或多者。

[0020] 在至少一些实施方案中,输入驱动器112与处理器102和输入设备108通信并且允许处理器102从输入设备108接收输入。在至少一些实施方案中,输出驱动器114与处理器102和输出设备110通信并且允许处理器102向输出设备110发送输出。需注意,如果输入驱动器112和输出驱动器114不存在,则处理设备100以相同方式操作。在至少一些实施方案中,输出驱动器114包括联接到显示设备118的加速处理设备(APD)116。APD从处理器102接受计算命令和图形渲染命令,处理这些计算命令和图形渲染命令,并将像素输出提供给显示设备118进行显示。如下文所详述,APD 116包括根据单指令多数据(SIMD)范式来执行计算的一个或多个并行处理单元。因此,尽管本文中将各种功能描述为由APD 116执行或与其结合执行,但在其他实施方案中,被描述为由APD 116执行的功能另外地或另选地由具有类似能力的其他计算设备执行,该其他计算设备不由主机处理器(例如,处理器102)驱动并且向显示设备118提供图形输出。例如,在至少一些实施方案中,根据SIMD范式执行处理任务的任何处理系统执行本文所述的功能。另选地,在至少一些实施方案中,不根据SIMD范式执行处理任务的计算系统执行本文所述的功能。

[0021] 图2是处理设备100的框图,示出了涉及在APD 116上执行处理任务的附加细节。在至少一些实施方案中,处理器102在存储器104中保持一个或多个控制逻辑模块以供处理器102执行。在至少一些实施方案中,控制逻辑模块包括操作系统202、内核模式驱动器204和应用程序206。这些控制逻辑模块控制处理器102和APD 116的操作的各种特征。例如,操作系统202直接与硬件通信并为在处理器102上执行的其他软件提供到硬件的接口。内核模式驱动器204通过例如向在处理器102上执行的软件(例如,应用程序206)提供应用编程接口(API)来控制APD 116的操作,以访问APD 116的各种功能。在至少一些实施方案中,内核模式驱动器204还包括即时编译器,该即时编译器编译程序以供APD 116的处理部件(诸如下文详细讨论的SIMD单元210)执行。

[0022] 在至少一些实施方案中,APD 116执行所选功能的命令和程序,诸如可适于并行处理的图形操作和非图形操作。在至少一些实施方案中,APD 116用于执行图形流水线操作(例如,像素操作、几何计算等)以及基于从处理器102接收的命令将图像呈现给显示设备118。APD 116还基于从处理器102接收的命令来执行与图形操作不直接相关的计算处理操作,诸如与视频、物理模拟、计算流体动力学或其他任务相关的操作。

[0023] 在至少一些实施方案中,APD 116包括计算单元208(示出为208-1至208-3),该计算单元包括一个或多个SIMD单元210(示出为210-1至210-6),该一个或多个SIMD单元根据SIMD范式以并行方式在处理器102的请求下执行操作。SIMD范式是这样一种范式,其中多个处理元件共用单个程序控制流单元和程序计数器并执行相同的程序,但具有不同数据。在一个示例中,每个SIMD单元210包括十六个通道,其中每个通道与SIMD单元210中的其他通道同时执行相同的指令,但可执行具有不同数据的该指令。如果不是所有通道都要执行给定指令,则可通过预测来关闭通道。还可使用预测来执行具有发散控制流的程序。更具体地,对于具有条件分支或其中控制流基于由单个通道执行的计算的其他指令的程序,预测对应于当前未被执行的控制流路径的通道,并且不同控制流路径的串行执行可实现任意控制流。

[0024] 在至少一些实施方案中,计算单元208中的基本执行单元是工作项。每个工作项表示要在特定通道中并行执行的程序的单个实例化。在至少一些实施方案中,在单个SIMD处理单元210上作为"波前"同时执行工作项。一个或多个波前包括在"工作组"中,该"工作组"包括被指定执行相同程序的工作项的集合。通过执行构成工作组的波前中的每一者来执行工作组。在其他实施方案中,在单个SIMD单元210上依序执行波前,或者在不同SIMD单元210上部分或完全并行地执行波前。在至少一些实施方案中,波前表示可在单个SIMD单元210上同时执行的工作项的最大集合。因此,如果从处理器102接收的命令指示特定程序要被并行化到该程序不能在单个SIMD单元210上同时执行的程度,则该程序被划分成在两个或多个SIMD单元210上并行化或在同一SIMD单元210上串行化(或并行化和串行化)的波前。调度器212执行涉及调度不同计算单元208和SIMD单元210上的各种波前的操作。

[0025] 在至少一些实施方案中,由计算单元208提供的并行性适合图形相关操作,诸如像素值计算、顶点变换和其他图形操作。因此,在一些实例中,接受来自处理器102的图形处理命令的图形流水线214将计算任务提供给计算单元208以供并行执行。

[0026] 在至少一些实施方案中,计算单元208还用于执行不涉及图形或不作为图形流水线214的"正常"操作(例如,所执行的用以补充针对图形流水线214的操作执行的处理的自定义操作)的一部分而执行的计算任务。在处理器102上执行的应用程序206或其他软件将定义此类计算任务的程序发送到APD 116以供执行。

[0027] 图3是示出处理设备300的另一个示例的框图,其中可以实现本文所描述的功率管理技术。在图3所示的示例中,处理设备300是片上系统(SoC)设备300。在至少一些实施方案中,SoC设备300包括诸如数据织构302、CPU核心复合体304、GPU 306、多媒体处理单元(MPU)308、显示器接口310、I/O集线器312、存储器控制器314和系统管理单元(SMU)316之类的部件。在至少一些实施方案中,这些和其他部件中的一者或多者包括知识产权(IP)块/核心,其是逻辑、电池或集成电路(IC)布局的可重复使用单元。

[0028] 在至少一个实施方案中,数据织构302包括用于在SoC设备300的各种部件之间提供通信互连的电路。在各种具体实施中使用任何合适的互连硬件。在一些具体实施中,从物理观点来看,数据织构302在SoC设备的中心位置中实现,或者跨SoC设备300分布到多个集线器并且使用合适的通信介质(例如,总线)互连。从逻辑观点来看,数据织构302位于数据流的中心,并且关于SoC设备300的不同部件(包括IP块)的空闲的信息集中(例如,存储)在数据织构302中。在一些实施方案中,该信息由SMU316用于确定将Soc设备300的一个或多个

部件转变成功率管理状态(诸如睡眠状态)的适当时间。

[0029] 在至少一些实施方案中,CPU核心复合体304包括一个或多个合适的CPU核心。在至少一些实施方案中,复合体中的核心中的每个核心包括专用高速缓存,并且复合体中的所有核心与共享高速缓存通信。在至少一些实施方案中,SoC设备300包括多个CPU核心复合体。在至少一些实施方案中,GPU 306包括任何合适的GPU或GPU硬件的组合。在至少一些实施方案中,MPU 308包括一个或多个合适的MPU,诸如音频协处理器、成像信号处理器、视频编解码器等。

[0030] 在至少一些实施方案中,显示接口310包括用于驱动一个或多个显示器的任何合适的硬件。在至少一些实施方案中,I/O集线器312包括用于将数据织构302与I/O设备318接合的任何合适的硬件。在至少一些实施方案中,I/O设备318包括通用串行总线(USB)、高速外围部件互连(PCIe)总线、非易失性存储器主机控制器接口(NVMe)总线、串行高级技术附件(SATA)总线、千兆以太网(xGBE)、集成电路间(I2C)总线、安全数字(SD)接口、通用输入/输出(GPIO)连接、传感器融合I/O连接和/或任何其他合适的I/O硬件中的一者或多者。因此,在至少一些实施方案中,I/O集线器312包括USB主机控制器、PCIe根复合体、NVMe主机控制器、SATA主机控制器、xGBE接口、I2C节点、SD主机、GPIO控制器、传感器融合控制器和/或任何其他合适的I/O设备接口。

[0031] 在至少一些实施方案中,存储器控制器314包括用于与存储器320接合的任何合适的硬件。在至少一些实施方案中,SMU 316包括用于管理和访问系统配置/状态寄存器和存储器、生成时钟信号、控制功率轨电压以及实施SoC设备300的安全访问和策略的硬件和固件。在至少一些实施方案中,SMU 316使用系统管理通信网络(未示出)与SoC设备300的其他块互连。在至少一些实施方案中,SMU 316还管理SoC设备300的CPU核心复合体304和其他部件(包括单独IP块)的热和功率条件。因此,SMU 316能够控制供应到SoC设备的部件和子部件(诸如CPU核心复合体304的核心和IP块)的功率。在至少一些实施方案中,SMU 316还被配置为通过改变供应到SoC部件(例如,CPU核心复合体304的核心)的操作频率或操作电压来调整该部件的操作点。

[0032] 在至少一些实施方案中,SMU 316被配置为将SoC设备300的部件转变到一个或多个功率管理状态/从一个或多个功率管理状态转变该部件。需注意,贯穿本说明书,提及将SoC设备300的部件转变到一个或多个功率管理状态/从一个或多个功率管理状态转变该部件包括转变整个SOC设备300、整个部件(诸如CPU核心复合体304、GPU 306、MPU 308、I/O集线器312等)或部件的子部件(诸如CPU核心复合体304的核心或IP块)。功率管理状态的示例包括活动状态和一个或多个睡眠状态,诸如空闲和功率门控状态。睡眠状态也可以被称为低功率或较低功率状态。在活动状态中,部件执行指令并且以标称操作频率和操作电压运行。在睡眠状态中,部件通常不执行指令或对指令进行操作,并且可以以较低操作频率/电压运行。部件还可在睡眠状态中被功率门控,使得电源与部件断开连接。例如,SMU 316向连接到电源的门逻辑发出信号或指令。在该示例中,门逻辑控制供应到部件的功率并且通过断开一个或多个电路以中断到部件的电流流动来门控功率。在至少一些实施方案中,实现了多个级别的睡眠状态。随着睡眠状态级别增加,部件消耗的功率比先前睡眠状态级别少。最低睡眠状态级别可以被称为最浅睡眠状态,并且最高睡眠状态级别可以被称为最深睡眠状态。与较深(较高功率)的睡眠状态相比,较浅睡眠状态是较低功率睡眠状态。通过将部件

转变到一个或多个睡眠状态,可节省功率。

[0033] 虽然较深的睡眠状态可以比较浅的睡眠状态节省更多功率,但是较深睡眠状态通常在转变持续时间中强加性能和功率损失。例如,考虑一组睡眠状态S＝{S1,S2,S3,...,Sn),其中Sn是由平台支持的最深睡眠状态。对于要进入第三睡眠状态S3的部件,由于将该部件及其子部件掉电的逻辑序列,该部件通常首先进入第一睡眠状态S1,然后在进入第三睡眠状态S3之前转变到第二睡眠状态S2。类似地,为了从第三睡眠状态S3转变到活动状态,部件通常将顺序地从第三睡眠状态S3转变到第二睡眠状态S2,并且然后在进入活动状态之前从第二睡眠状态S2转变到第一睡眠状态S1。进入这些顺序睡眠状态中的每一个睡眠状态都消耗时间和功率。更详细地,到每个睡眠状态的转变以及从每个睡眠状态的转变涉及SMU316要采取的各种动作,这需要额外的时间和功率来进行此类转变。较深的睡眠状态比较浅的睡眠状态需要更多数量的(或更多资源密集的)用于进入和退出的动作。另外,与处于较浅睡眠状态相比,较深睡眠状态通常花费更长的时间来恢复到活动/工作状态,并且因此带来更大的等待时间损失。

[0034] 在至少一些实施方案中,SMU 316实现用于将部件转变成睡眠状态的快速睡眠状态转变模式。如下文更详细地描述,SMU 316基于所预测的睡眠状态持续时间和所确定的损益平衡持续时间来选择SoC设备300的部件的睡眠状态,在该损益平衡持续时间转变成睡眠状态的益处超过(或至少等于)转变成睡眠状态的成本。SMU 316将所预测的睡眠持续时间与一个或多个睡眠状态的损益平衡持续时间进行比较。基于该比较,SMU 316确定部件在较深睡眠状态中的驻留是否足够长以使得与较深睡眠状态相关联的功率节省超过(或至少等于)在进入和退出转变到较深睡眠状态/从较深睡眠状态转变期间消耗的功率的情况下,较深睡眠状态才比较浅睡眠状态更有效。如果预测的睡眠持续时间满足较深睡眠状态的所确定的损益平衡持续时间,则SMU 316将部件转变成较深睡眠状态。然而,如果预测的睡眠持续时间不满足较深睡眠状态的所确定的损益平衡持续时间,则SMU 316将部件转变成较浅睡眠状态。

[0035] 因此,SMU 316的快速睡眠状态模式提高设备的能量效率,因为SMU 316能够直接将部件转变成较深睡眠状态,而不是在进入滞后周期中消耗能量。在至少一些实施方案中,快速睡眠状态转变模式可由SoC设备300或联接到SoC设备300的另一设备的硬件或软件部件来启用或禁用。如果快速睡眠状态转变模式被禁用,则常规功率状态管理操作可由SMU 316实现。在至少一些实施方案中,可将位存储在寄存器(诸如模型特定寄存器(MSR))中以向其他硬件、软件或操作系统通知启用还是停用快速睡眠状态转变模式。

[0036] 图4是示出根据至少一些实施方案的SMU 316的更详细视图的框图。需注意,虽然SMU 316在本文中描述为由SoC设备300实现,但SMU 316也可由图1的处理设备100实现。在图4所示的示例中,SMU 316包括监测模块402、睡眠持续时间预测模块404、睡眠状态选择模块406、睡眠状态提升模块408、决策错误反馈模块410以及一个或多个存储设备412。需注意,在至少一些实施方案中,这些部件中的一个或多个部件在SoC设备300(或处理设备100)的不同于SMU 316的另一个部件(诸如中央微控制器、单独IP管理控制器等)中实现。

[0037] 在至少一些实施方案中,监测模块402监测并记录SoC设备300的部件的睡眠状态持续时间。在至少一些实施方案中,部件的睡眠状态持续时间(τ)被定义为SMU 316接收最低级别睡眠状态(例如,睡眠状态S0)中断与接收部件的任何唤醒事件之间的时间(持续时

间)。换句话说,部件的睡眠状态持续时间是部件从活动状态转变到睡眠状态期间的第一转变(其可包含进入滞后)的发起与部件从睡眠状态转变回到活动状态期间的第二转变的发起之间的时间。需注意,在其他实施方案中,使用不同参数定义睡眠状态持续时间。在至少一些实施方案中,监测模块402使用一个或多个内部定时器来记录部件的睡眠状态持续时间。

[0038] 在至少一些实施方案中,监测模块402将睡眠状态持续时间作为历史持续时间信息414记录/存储在一个或多个存储设备412中。在至少一些实施方案中,一个或多个存储设备412本地驻留在SMU 316内、远离SMU316、或它们的组合。在至少一些实施方案中,历史持续时间信息414存储在设备级别、部件级别、子部件级别、它们的组合等上。如果历史持续时间信息414在设备级别上被记录和存储,则跨SoC设备300的所有部件的过去n个睡眠状态持续时间的条目被存储。例如,如果n=32,则在该示例中,历史持续时间信息414包括与SoC设备300的部件中的任一个部件相关联的先前32个睡眠状态持续时间的条目。如果历史持续时间信息414在部件或子部件级别上被记录和存储,则每个部件或子部件与其自身的历史持续时间条目相关联。例如,如果n=32,则在该示例中,历史持续时间信息414包括第一部件的先前32个睡眠持续时间的条目、第二部件的先前32个睡眠状态持续时间的条目等。在至少一些实施方案中,每个部件或子部件与包括与单独数据结构相关联,该数据结构包括与其相关联的历史持续时间信息414。在至少一些实施方案中,由监测模块402记录的先前睡眠状态持续时间的数量是可配置的。

[0039] 在至少一些实施方案中,睡眠持续时间预测模块404利用历史持续时间信息414来预测即将到来的睡眠状态的持续时间。例如,如果SMU 316确定给定部件空闲,则睡眠持续时间预测模块404处理历史持续时间信息414以预测部件的即将到来的睡眠状态的持续时间。在至少一些实施方案中,睡眠持续时间预测模块404将预测的睡眠状态持续时间416存储在一个或多个存储设备412中。

[0040] 在至少一些实施方案中,睡眠状态选择模块406确定SoC设备300的部件的适当睡眠状态。在至少一些实施方案中,睡眠状态选择模块406从多个睡眠状态中选择睡眠状态,该睡眠状态导致消耗最少量的能量,同时具有最小的性能影响(在本文中被称为选择标准)。在至少一些实施方案中,睡眠状态选择模块406基于预测的睡眠状态持续时间416和睡眠状态损益平衡持续时间418(也被称为损益平衡持续时间418或损益平衡阈值418)来识别满足选择标准的睡眠状态。睡眠状态的损益平衡持续时间418指示部件将停留在睡眠状态的时间量,使得通过驻留在睡眠状态中而节省的能量至少等于转变进入和离开睡眠状态的能量成本。例如,睡眠状态S2的损益平衡持续时间418指示部件将停留在睡眠状态S2的时间量,使得通过驻留在睡眠状态S2中而节省的能量至少等于转变进入和离开睡眠状态S2的能量成本。

[0041] 在至少一些实施方案中,睡眠状态选择模块406将损益平衡持续时间418存储在一个或多个存储设备412中。在至少一些实施方案中,睡眠状态选择模块406还使用与一个或多个输入/输出设备318(例如,PCIe设备、USB设备等)、APIC中断定时器值或它们的组合相关联的等待时间容限信息420来选择部件的睡眠状态。在至少一些实施方案中,等待时间容限信息420指示输入/输出设备318的繁忙级别。APIC中断定时器值指示到下一个APIC中断的时间。当已选择睡眠状态时,SMU 316通过执行一个或多个动作(例如,刷新高速缓存、时

钟门控使电压轨掉电等)而继续使部件转变到所选择的睡眠状态。

[0042] 在至少一些实施方案中,如果确定由睡眠状态选择模块406选择了不正确的(较低效的)睡眠状态,则睡眠状态提升模块408执行校正动作。例如,睡眠状态提升模块408在处于所选择的睡眠状态时监测部件,并且确定部件是否已驻留在所选择的睡眠状态中长于给定阈值。如果是,则在至少一些实施方案中,睡眠状态提升模块408将部件转变到下一个较深睡眠状态。

[0043] 在至少一些实施方案中,决策错误反馈模块410监测由睡眠状态选择模块406作出的睡眠状态决策以检测错误。检测到的错误的示例包括当应该选择较深睡眠时选择较浅睡眠状态,或者当应该选择较浅睡眠状态时选择较深睡眠状态。不正确的睡眠状态选择是例如不正确的睡眠持续时间预测的结果。因此,在至少一些实施方案中,决策错误反馈模块410向睡眠持续时间预测模块404提供输入,使得睡眠持续时间预测模块404调整其随后的睡眠持续时间预测以减少睡眠状态选择错误。

[0044] 图5以流程图形式示出了用于通过将部件直接转变成较深睡眠状态而不是在进入滞后周期中消耗能量来提高处理设备的能量效率的一种示例性方法500的概述。在框502处,监测模块402监测SoC设备300的部件的睡眠状态持续时间。在框504处,睡眠持续时间预测模块404预测SoC设备300的部件要转变成睡眠状态的睡眠持续时间。在框506处,睡眠状态选择模块406基于所预测的睡眠持续时间来选择部件的睡眠状态。在框508处,SMU 316将部件转变成所选择的睡眠状态。在至少一些实施方案中,在框510处,睡眠状态提升模块408将部件的当前睡眠状态提升到较深睡眠状态。

[0045] 图6以流程图形式示出了用于图5的框502中示出的睡眠状态持续时间监测过程的更详细的方法600的一个示例。在至少一些实施方案中,基于作出SoC设备300的部件要转变成睡眠状态的确定来调用监测模块402(框602)。例如,SMU 316接收或检测指示SoC设备300的一个或多个部件空闲的中断。在框604处,基于确定部件要转变成睡眠状态来初始化一个或多个定时器。在框606处,作出是否已检测/接收到部件的唤醒事件的确定。如果尚未检测到唤醒事件,则监测模块402维持定时器直到检测到唤醒事件。如果已检测到部件的唤醒事件,则在框608处停止定时器。在至少一些实施方案中,SMU 316接收睡眠状态请求中断与接收部件的唤醒事件之间的记录时间被称为部件的睡眠状态持续时间。然而,睡眠持续时间的其他配置也是可适用的。

[0046] 在至少一些实施方案中,如果部件的睡眠状态是较深睡眠状态,则睡眠状态持续时间不仅包括部件驻留在较深睡眠状态的持续时间,而且还包括使部件转变通过较浅睡眠状态所花费的时间。例如,考虑睡眠状态S=(S1,S2,...,Sn)的列表,其中Sn是由SoC设备300的部件支持的最深睡眠状态。由于使部件或其子部件掉电的逻辑序列,部件通常在进入较深睡眠状态S2之前进入第一进入睡眠状态S1。因此,如果为部件选择睡眠状态S2,则部件的睡眠状态持续时间包括部件驻留在睡眠状态S2中的时间以及部件从活动状态转变通过每个较浅状态所花费的时间。在至少一些实施方案中,睡眠状态与进入滞后相关联。在这些实施方案中,部件的睡眠状态持续时间还包括睡眠状态的滞后等待时间。

[0047] 图7示出用于将SoC设备300的部件转变成第一睡眠状态(SLEEP1)和较深第二睡眠状态(SLEEP2)的定时的示例性示例。特别地,图7示出用于将部件转变成第一睡眠状态的第一定时序列702以及用于将部件转变成较深第二睡眠状态的第二定时序列704。在图7所示

的示例中,H对应于进入滞后等待时间,该进入滞后等待时间是在部件从活动状态转变到目标睡眠状态之前的延迟周期;T对应于进入和退出等待时间,该进入和退出等待时间为将部件从一个状态转变到另一个状态所发生的时间;并且S对应于部件驻留在目标睡眠状态的持续时间。在图7所示的示例中,第一睡眠状态SLEEP1的定时序列702包括进入滞后等待时间706(H_{Sleep1})、进入等待时间708($T_{Sleep1,entry}$)、睡眠持续时间710($S_{Sleep1,sleep}$)和退出等待时间712($T_{Sleep1,exit}$)。因此,在该示例中,第一睡眠状态的睡眠状态持续时间τ被定义为:

[0048] (等式1) $\tau = H_{sleep1} + T_{sleep1,entry} + S_{sleep1,sleep}$

[0049] 第二睡眠状态SLEEP2的定时序列704包括第一睡眠状态的进入滞后等待时间706(H_{Sleep1}),第一睡眠状态的进入等待时间708($T_{Sleep1,entry}$),第二睡眠状态的进入等待时间714($T_{Sleep2,entry}$),第二睡眠状态的睡眠持续时间716($S_{Sleep2,sleep}$),第二睡眠状态的退出等待时间718($T_{sleep2,exit}$)以及第一睡眠状态的退出等待时间712($T_{sleep1,exit}$)。因此,在该示例中,第二睡眠状态的睡眠状态持续时间τ被定义为:

[0050] (等式2) $\tau = H_{sleep1} + T_{sleep1,entry} + T_{sleep2,entry} + S_{sleep2,sleep}$

[0051] 现在返回到图6,在框610处,监测模块402将针对部件确定的睡眠状态持续时间记录为历史持续时间信息414。如上所述,在至少一些实施方案中,历史持续时间信息414存储在设备级别、部件级别、子部件级别、它们的组合等上。在至少一些实施方案中,如果在每个部件或子部件的基础上记录历史持续时间信息414,则部件或子部件将其忙碌/空闲状态传送到SMU316。在每部件为基础上记录持续时间信息414允许SMU316基于部件(诸如多媒体核心)的空闲模式来优化部件群集的功率。

[0052] 图8以流程图形式示出了用于图5的框504中示出的睡眠状态持续时间预测过程的更详细的方法800的一个示例。在至少一些实施方案中,基于作出SoC设备300的部件要转变成睡眠状态的确定来调用睡眠持续时间预测模块404(框802)。在框804处,获得历史持续时间信息414。在至少一些实施方案中,获得整个SoC设备300的历史持续时间信息414,而在其他实施方案中,获得部件的历史持续时间信息414。在框806处,使用诸如中值计算、移动平均值或其他统计度量、机器学习、它们的组合等的一种或多种技术来处理历史持续时间信息414。然后,在框808处,基于处理历史睡眠状态持续时间信息来预测部件的即将到来的睡眠状态持续时间416。例如,考虑历史持续时间D={D1,D2,D3,...,DL},其中Di表示以秒为单位的第i睡眠的持续时间,并且L是记录的睡眠持续时间的总数。在该示例中,睡眠持续时间预测模块404通过计算D_median=中值(D)来预测部件的即将到来的睡眠状态持续时间416,且将其发送到睡眠状态选择块506以决定适当睡眠状态。所预测的睡眠状态持续时间416然后被存储或传输以供例如睡眠状态选择模块406使用或传输到该睡眠状态选择模块。

[0053] 在至少一些实施方案中,SMU 316实现将输入提供到睡眠持续时间预测模块404的错误反馈模块410。在这些实施方案中,除了历史持续时间信息414之外,睡眠持续时间预测模块404还使用来自错误反馈模块410的反馈输入来预测部件的即将到来的睡眠状态持续时间416。在至少一些实施方案中,错误反馈模块410基于预测的睡眠状态持续时间416监测由睡眠状态选择模块406作出的不正确的睡眠状态选择的数量。在一个示例中,当选择较深睡眠状态时,睡眠状态选择被确定为不正确的,但是部件的实际睡眠状态持续时间使得应当已经选择较浅睡眠状态。在另一个示例中,当选择较浅睡眠状态时,睡眠状态选择是不正确的,但是部件的实际睡眠状态持续时间使得应当已经选择较深睡眠状态。错误反馈模块

410实现一个或多个机制(诸如比例-积分-微分(PID)控制器)以向睡眠持续时间预测模块404提供输入(诸如校正)。睡眠持续时间预测模块404实现从错误反馈模块410接收的输入以调整其预测操作以提供更准确的预测睡眠状态持续时间416。例如,睡眠持续时间预测模块404使用反馈输入来调整用于预测SoC设备300的部件的睡眠状态持续时间的一个或多个参数。

[0054] 图9以流程图形式示出了用于图5的框506中示出的睡眠状态选择过程的更详细的方法900的一个示例。在方法900中,在框902处,针对SoC设备300的部件可用的一个或多个睡眠状态确定损益平衡持续时间418。如上所述,给定睡眠状态的损益平衡持续时间418是部件要停留在睡眠状态的时间量,使得通过驻留在睡眠状态而节省的能量至少等于通过仅转变到并停留在较浅睡眠状态而消耗的能量。在至少一些实施方案中,不仅基于给定睡眠而且基于任何较低级别睡眠状态来确定给定睡眠状态的能量。例如,考虑睡眠状态S=(S1,S2,...,Sn)的列表,其中Sn是由SoC设备300的部件支持的最深睡眠状态。如上所述,由于向部件或其子部件供电的逻辑序列,部件通常在进入睡眠状态S2之前进入第一进入睡眠状态S1。因此,在该示例中,基于(1)进入睡眠状态S1和S2所需的能量;(2)停留在睡眠状态S1和S2所需的能量;以及(3)退出睡眠状态S1和S2所需的能量来计算睡眠状态S2的能量。

[0055] 例如,返回参见图7,对于给定的(预测的)睡眠状态持续时间τ,睡眠状态选择模块406如下确定睡眠状态SLEEP1序列702和SLEEP2序列704的能量(E):

[0056] (等式3)

[0057] $E_{sleep1}=(H_{sleep1}\cdot P_{sleep0})+(T_{sleep1,entry}\cdot P_{sleep1,entry})+((\tau-(H_{sleep1}+T_{sleep1,entry}))\cdot P_{sleep1})+(T_{sleep1,exit}\cdot P_{sleep1,exit})$

[0058] 其中P_{sleep}是当驻留在对应睡眠状态时消耗的功率,P_{entry}是在进入睡眠状态期间消耗的功率,并且P_{exit}是在退出睡眠状态期间消耗的功率。

[0059] (等式4)

[0060] $E_{sleep2}=(H_{sleep1}\cdot P_{sleep0})+(T_{sleep1,entry}\cdot P_{sleep1,entry})+(T_{sleep2,entry}\cdot P_{sleep2,entry})+(\tau-(H_{sleep1}+T_{sleep1,entry}+T_{sleep2,entry}))\cdot P_{sleep2}+(T_{sleep2,exit}\cdot P_{sleep2,exit})+(T_{sleep1,exit}\cdot P_{sleep1,exit})$

[0061] 睡眠状态选择模块406基于针对睡眠状态和一个或多个较浅睡眠状态计算的能量E来确定给定睡眠状态的损益平衡持续时间418。例如,在至少一些实施方案中,当睡眠状态的能量E等于一个或多个先前睡眠状态的能量时,睡眠状态选择模块406将给定睡眠状态的损益平衡持续时间418确定为τ^*的值。因此,在当前示例中,当$E_{sleep1}=E_{sleep2}$时,睡眠状态选择模块406根据以下等式将睡眠状态SLEEP2的损益平衡持续时间(τ^*)418计算为τ^*的值:

[0062] (等式5)

[0063]
$$\tau^* = \left(\frac{1}{P_{sleep1}-P_{sleep2}}\right)\cdot\Big(\big(T_{sleep2,entry}\cdot P_{sleep2,entry}\big)-\big(H_{sleep1}+T_{sleep1,entry}+H_{sleep2}+T_{sleep2,entry}\big)\cdot P_{sleep2}+\Big(\big(H_{sleep1}+T_{sleep1,entry}\big)\cdot P_{sleep1}\Big)+\big(T_{sleep2,exit}\cdot P_{sleep2,exit}\big)\Big)$$

[0064] 现在返回到图9,在框904处,将部件的预测睡眠状态持续时间416与针对部件可用

的睡眠状态中的一个或多个睡眠状态确定的损益平衡持续时间418进行比较。在框906处，基于此比较来选择睡眠状态。在至少一些实施方案中，选择最深睡眠状态，使得部件的预测的睡眠状态持续时间416满足所选择的睡眠状态的损益平衡持续时间418。例如，考虑第一睡眠状态和较深第二睡眠状态。在该示例中，第二睡眠状态的损益平衡持续时间/阈值418是1.5毫秒。因此，如果部件的预测的睡眠状态持续时间416等于或在其他实施方案中大于1.5毫秒，则睡眠状态选择模块406选择部件的较深第二睡眠状态。然而，如果部件的预测的睡眠状态持续时间416小于，在其他实施方案中等于1.5毫秒，则睡眠状态选择模块406选择部件的较浅第一睡眠状态。一旦已选择了部件的睡眠状态，则控制流动到图5的框508，以使得部件转变成所选择的睡眠状态。

[0065] 在至少一些实施方案中，睡眠状态选择模块406在选择部件的睡眠状态时使用输入/输出设备318的等待时间容限信息420。在至少一些实施方案中，等待时间容限信息420包括指示相关联的输入/输出设备318的繁忙级别的值。在一个示例中，较长值指示空闲，而较短值指示输入/输出设备318是活动的。在一些实施方案中，等待时间容限信息420经由一个或多个寄存器暴露于睡眠状态选择模块406。除了等待时间容限信息420之外，在至少一些实施方案中，高级可编程中断控制器(APIC)值在作出睡眠状态选择时由睡眠状态选择模块406使用。存在多个APIC定时器，该多个APIC定时器在到期时发出中断以唤醒处理器。睡眠状态选择模块406可用的APIC定时器值指示到下一个APIC中断的时间。因此，在至少一些实施方案中，睡眠状态选择模块406监测即将到来的强制性定时器中断以确定是否应更新初始睡眠状态选择。例如，如果睡眠状态选择模块406最初选择较深睡眠状态，但是等待时间容限信息420指示活动的输入/输出设备318或者APIC值指示要在给定时间阈值内发出中断，则睡眠状态选择模块406将其睡眠状态选择更新为较浅睡眠状态。

[0066] 图10以流程图形式示出了用于图5的框510中示出的睡眠状态提升过程的更详细的方法1000的一个示例。在方法1000中，在框1002处，针对部件的睡眠状态确定一个或多个睡眠状态提升属性。例如，确定部件已经驻留在所选择的睡眠状态的时间量(当前睡眠状态持续时间)。在至少一些实施方案中，睡眠状态提升模块408使用一个或多个定时器来确定部件的当前睡眠状态持续时间。在另一个示例中，识别历史持续时间信息414内的长睡眠持续时间的百分比或数量。在至少一些实施方案中，长睡眠持续时间是超过给定睡眠持续时间阈值的睡眠持续时间。在框1004处，将一个或多个睡眠状态提升属性与睡眠状态提升标准进行比较。在框1006处，确定一个或多个睡眠状态提升属性是否满足睡眠状态提升标准。例如，作出部件的当前睡眠状态持续时间是否大于或等于阈值时间量的确定。在另一个示例中，作出部件的当前睡眠状态持续时间是否大于或等于阈值时间量的第一确定，并且作出长睡眠持续时间的百分比/数量是否大于或等于阈值百分比/数量的第二确定。

[0067] 如果一个或多个睡眠状态提升属性不满足睡眠状态提升标准，则在框1008处维持当前睡眠状态(即，不提升睡眠状态)。然后控制流动到框1012。然而，如果一个或多个睡眠状态提升属性满足睡眠状态提升标准，则在框1010处，部件从当前睡眠状态转变成至少下一个较深睡眠状态。在框1012处，作出是否已检测到部件的唤醒事件的确定。如果尚未检测到部件的唤醒事件，则控制流程返回到框1002。然而，如果已经检测到唤醒事件，则在框1014退出部件的睡眠状态提升模式。

[0068] 本文中所描述的功率管理技术通过将部件直接转变成较深睡眠状态而不是在进

入滞后周期中消耗能量来提高处理设备的能量效率。本文中描述的各种实施方案实现较少可调谐参数以减少后硅出现时间/复杂性,通过工作负荷自适应而提供跨工作负荷范围的增加的性能,通过使睡眠状态预测系统/算法模块化而允许未来扩展/改进,并且使预测系统/算法摆脱操作系统提示。

[0069] 在一些实施方案中,上述装置和技术在包括一个或多个集成电路(IC)设备(也称为集成电路封装或微芯片)的系统中实现。在至少一些实施方案中,电子设计自动化(EDA)和计算机辅助设计(CAD)软件工具用于标准电池的设计以及实现标准电池的IC设备的设计和制造。这些设计工具通常表示为一个或多个软件程序。一个或多个软件程序包括能够由计算机系统执行的代码,以操纵计算机系统对代表一个或多个IC设备的电路的代码进行操作以执行用以设计或调整制造系统以制造电路的过程的至少一部分。在至少一些实施方案中,该代码包括指令、数据、或指令和数据的组合。代表设计工具或制造工具的软件指令通常存储在计算系统可访问的计算机可读存储介质中。同样,在至少一些实施方案中,表示IC设备的设计或制造的一个或多个阶段的代码存储在相同计算机可读存储介质或不同计算机可读存储介质中并且从其访问。

[0070] 在至少一些实施方案中,计算机可读存储介质可包括在使用期间可由计算机系统访问以向计算机系统提供指令和/或数据的任何非暂态存储介质或非暂态存储介质的组合。在至少一些实施方案中,此类存储介质包括但不限于光学介质(例如,光盘(CD)、数字通用光盘(DVD)、蓝光光盘)、磁性介质(例如,软盘、磁带或磁性硬盘驱动器)、易失性存储器(例如,随机存取存储器(RAM)或高速缓存)、非易失性存储器(例如,只读存储器(ROM)或闪存存储器)、或基于微机电系统(MEMS)的存储介质。在至少一些实施方案中,计算机可读存储介质嵌入计算系统(例如,系统RAM或ROM)中,固定地附接到计算系统(例如,磁性硬盘驱动器),可移除地附接到计算系统(例如,光盘或基于通用串行总线(USB)的闪存存储器),或者经由有线或无线网络(例如,网络可访问存储装置(NAS))耦接到计算机系统。

[0071] 在一些实施方案中,上述技术的某些方面由执行软件的处理系统的一个或多个处理器实现。软件包括可执行指令的一个或多个集合,该可执行指令存储在或以其他方式有形地体现在非暂态计算机可读存储介质上。在至少一些实施方案中,软件包括指令和某些数据,这些指令和数据在由一个或多个处理器执行时操纵一个或多个处理器以执行上述技术的一个或多个方面。在至少一些实施方案中,非暂态计算机可读存储介质包括例如磁盘或光盘存储设备、固态存储设备诸如闪存存储器、高速缓冲存储器、随机存取存储器(RAM)或其他一个或多个非易失性存储器设备等。在至少一些实施方案中,存储在非暂态计算机可读存储介质上的可执行指令是源代码、汇编语言代码、目标代码、或者被一个或多个处理器解释或以其他方式执行的其他指令格式。

[0072] 应当注意,并非以上在一般描述中描述的所有活动或元件都是必需的,特定活动或设备的一部分可能不是必需的,并且可以执行一个或多个另外的活动,或者除了所描述的那些之外还包括元件。更进一步地,列出活动的顺序不一定是执行它们的顺序。另外,已经参考具体实施方案描述了这些概念。然而,本领域普通技术人员理解,在不脱离如以下权利要求中阐述的本公开的范围的情况下,可以进行各种修改和改变。因此,说明书和附图被认为是说明性的而非限制性的,并且所有此类修改旨在被包括在本公开的范围内。

[0073] 上文已经关于具体实施方案描述了益处、其他优点和问题的解决方案。然而,益

处、优点、问题的解决方案以及可以导致任何益处、优点或解决方案出现或变得更显著的任何特征不应被解释为任何或所有权利要求的关键的、必需的或基本的特征。此外，上文公开的特定实施方案仅是说明性的，因为所公开的主题可以以受益于本文中的教导内容的本领域的技术人员显而易见的不同但等效的方式来修改和实践。除了以下权利要求书中所描述的之外，不旨在对本文所示的构造或设计的细节进行限制。因此，显而易见的是，可以改变或修改上文公开的特定实施方案，并且所有此类变化被认为是在所公开的主题的范围内。因此，本文寻求的保护如以下权利要求中所阐述。

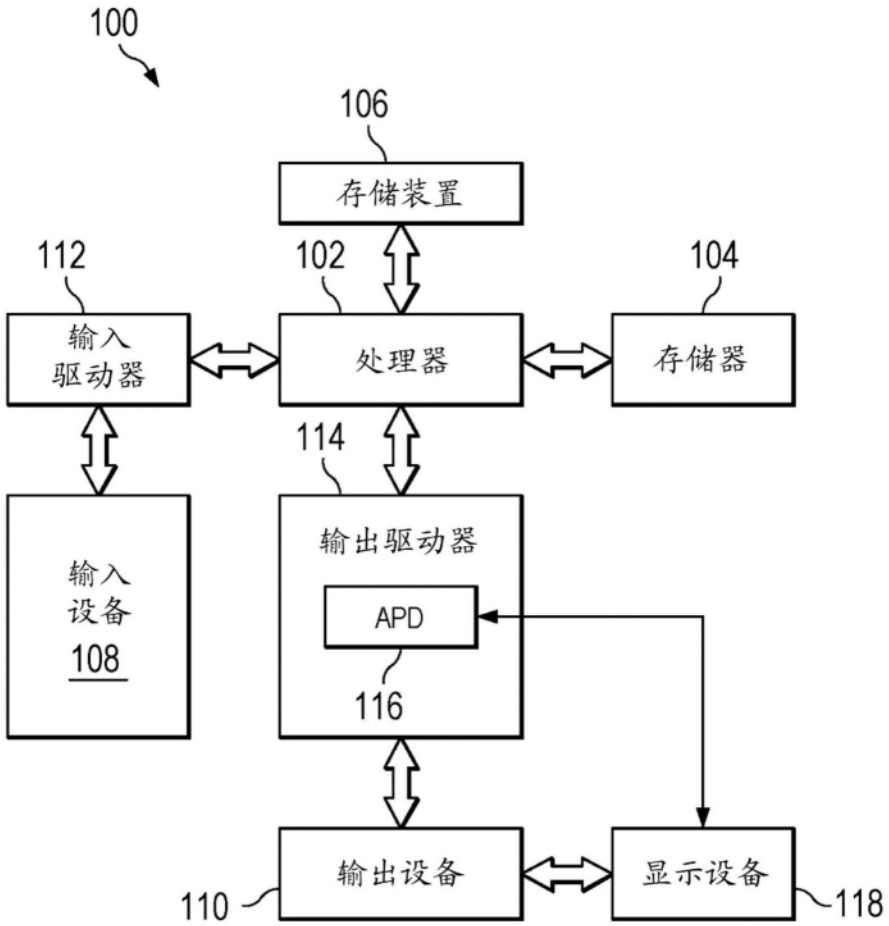

100
106
存储装置
112
102
104
输入
驱动器
处理器
存储器
114
输入
设备
108
输出驱动器
APD
116
输出设备
显示设备
110
118

图1

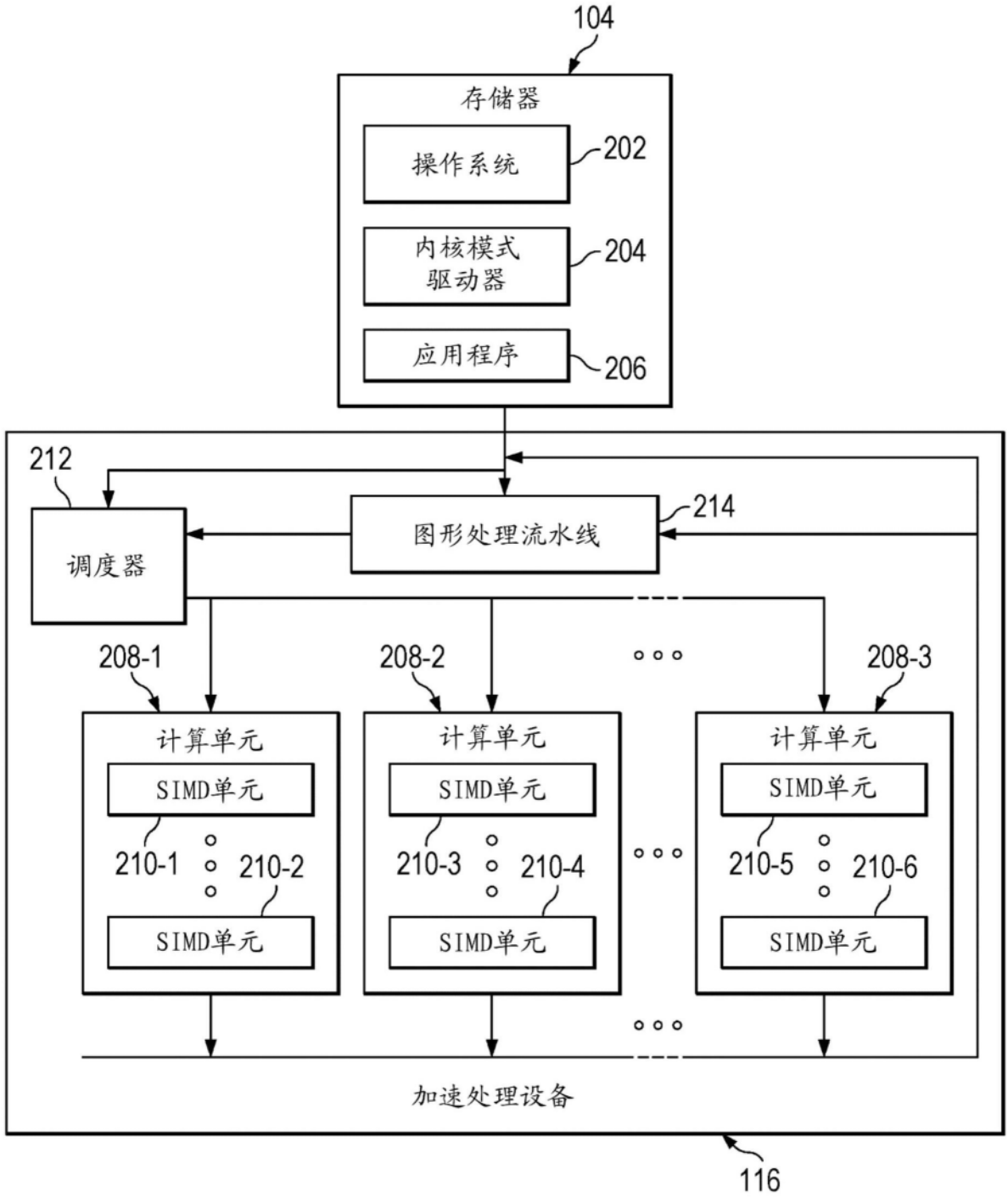

104
存储器
操作系统
202
内核模式
驱动器
204
应用程序
206
212
调度器
图形处理流水线
214
208-1
208-2
208-3
计算单元
SIMD单元
210-1
210-2
210-3
210-4
210-5
210-6
加速处理设备
116

图2

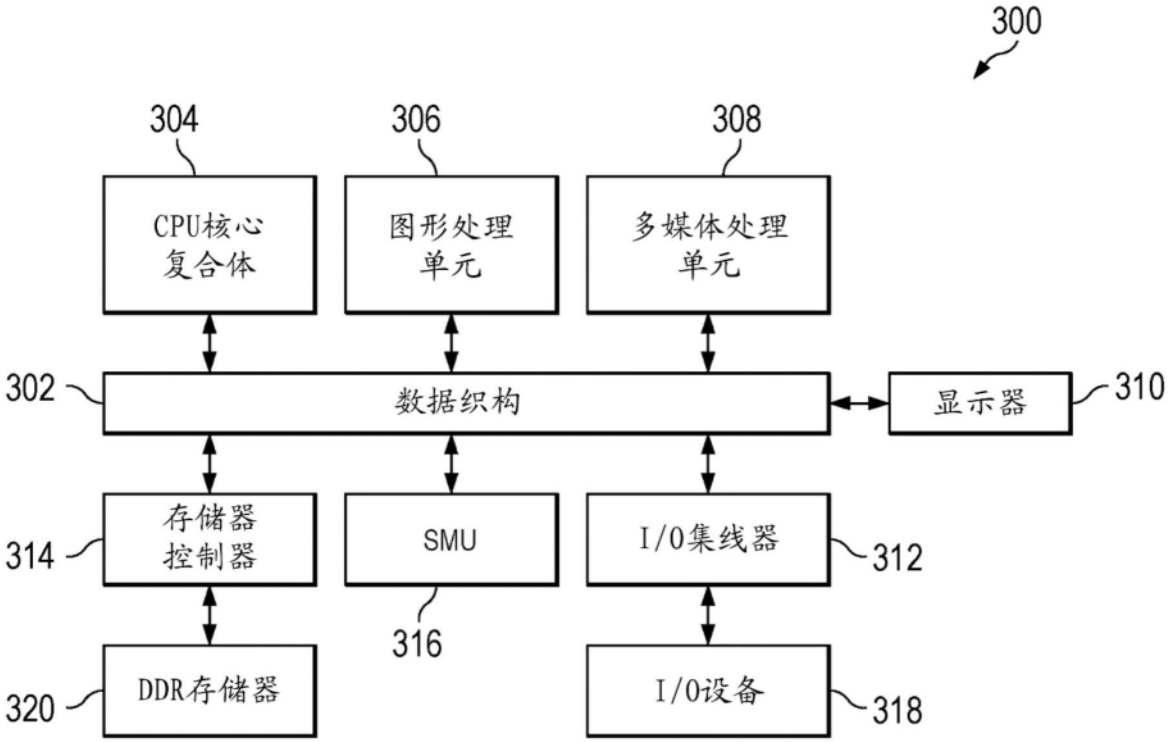

300
304
306
308
CPU核心
复合体
图形处理
单元
多媒体处理
单元
302
数据织构
显示器
310
存储器
控制器
SMU
I/O集线器
314
312
316
DDR存储器
I/O设备
320
318

图3

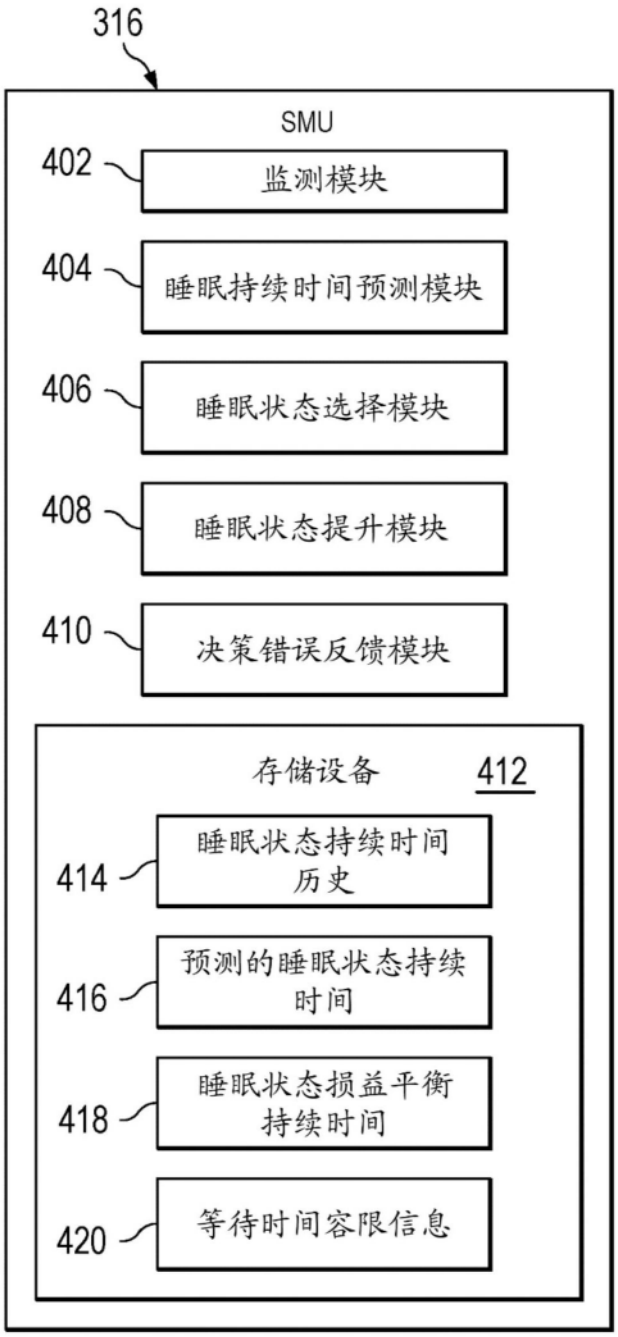

316
SMU
402
监测模块
404
睡眠持续时间预测模块
406
睡眠状态选择模块
408
睡眠状态提升模块
410
决策错误反馈模块
存储设备
412
414
睡眠状态持续时间历史
416
预测的睡眠状态持续时间
418
睡眠状态损益平衡持续时间
420
等待时间容限信息

图4

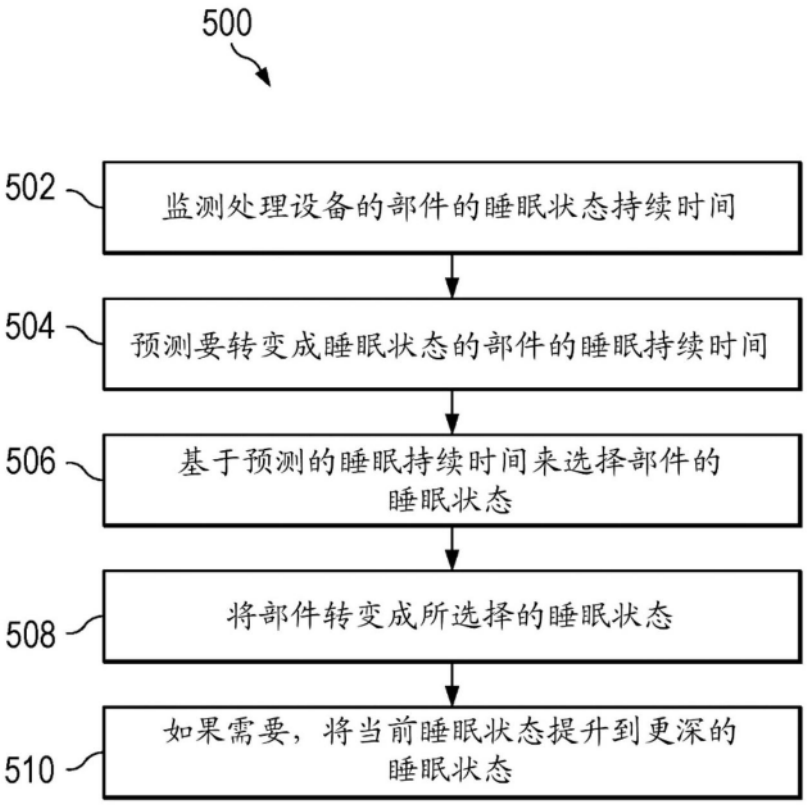

500
502
监测处理设备的部件的睡眠状态持续时间
504
预测要转变成睡眠状态的部件的睡眠持续时间
506
基于预测的睡眠持续时间来选择部件的睡眠状态
508
将部件转变成所选择的睡眠状态
510
如果需要，将当前睡眠状态提升到更深的睡眠状态

图5

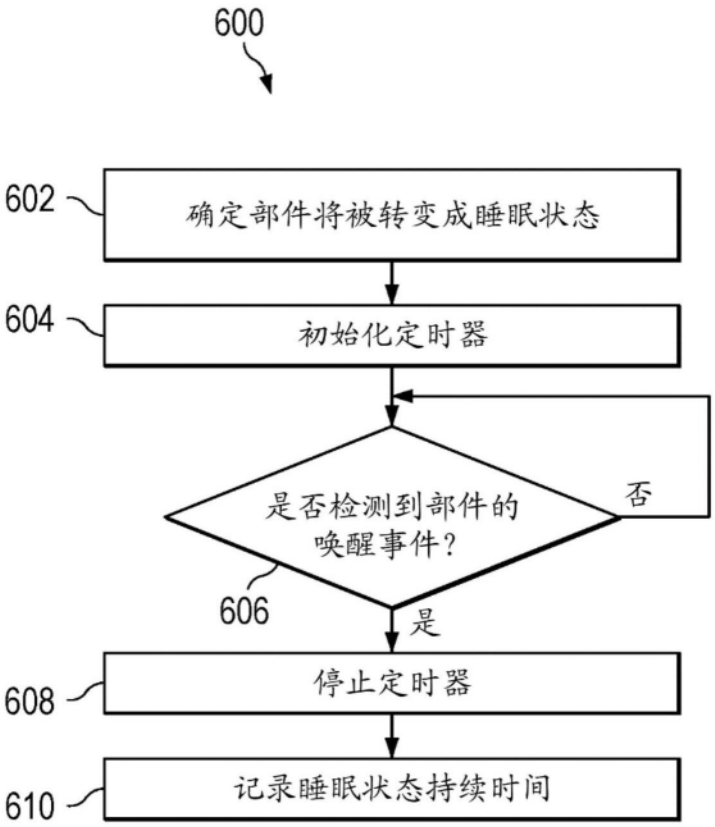

600
602
确定部件将被转变成睡眠状态
604
初始化定时器
是否检测到部件的
唤醒事件?
否
606
是
608
停止定时器
610
记录睡眠状态持续时间

图6

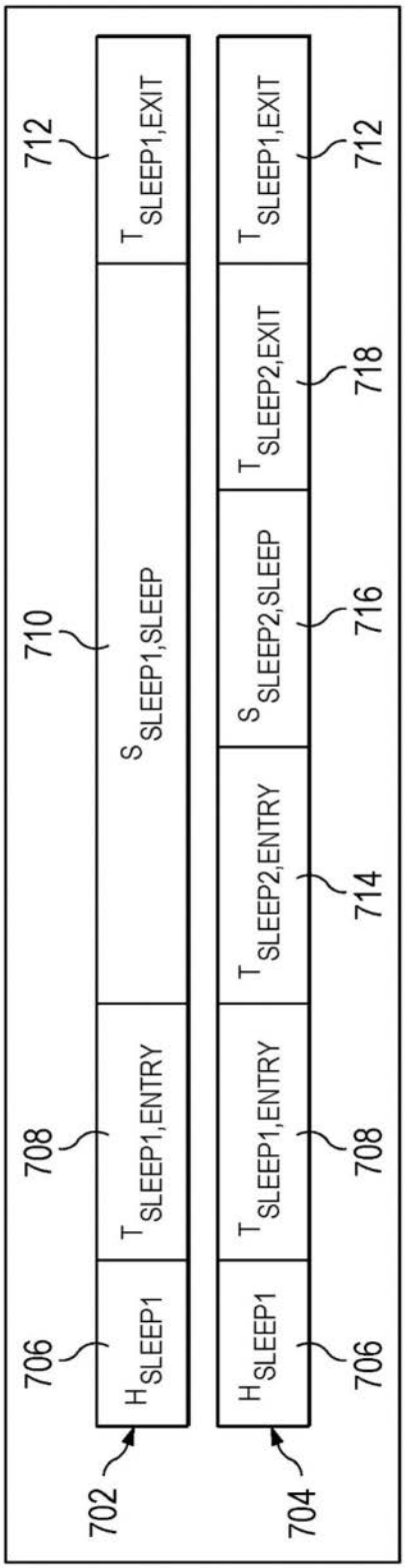

H SLEEP1
T SLEEP1,ENTRY
S SLEEP1,SLEEP
T SLEEP1,EXIT
H SLEEP1
T SLEEP1,ENTRY
T SLEEP2,ENTRY
S SLEEP2,SLEEP
T SLEEP2,EXIT
T SLEEP1,EXIT
702
704
706
708
710
712
714
716
718

图7

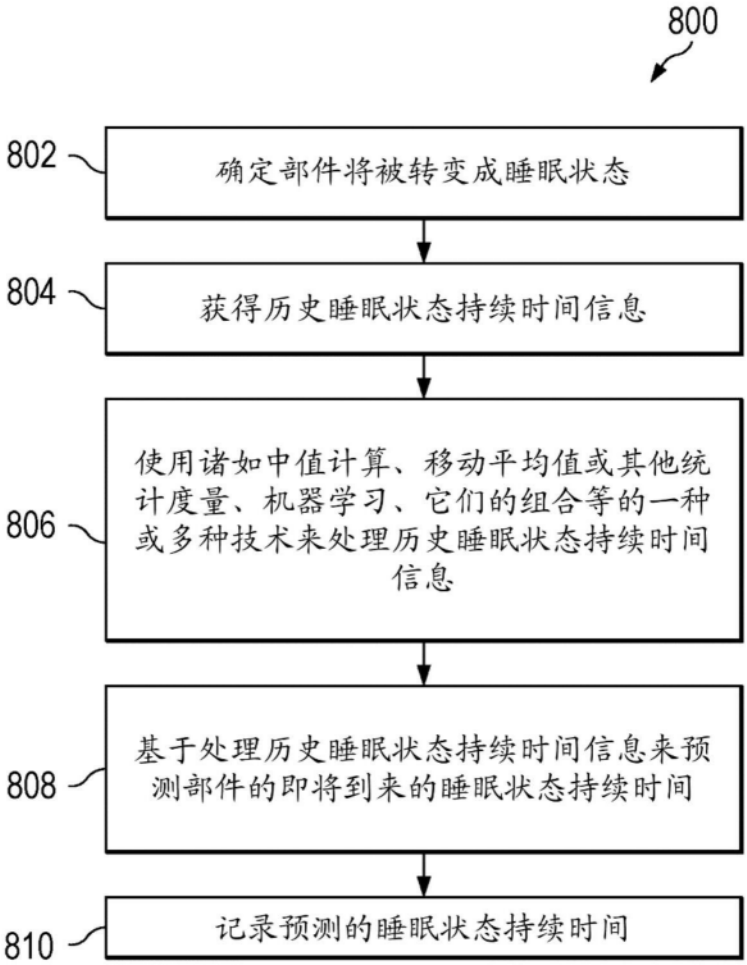

800
802
确定部件将被转变成睡眠状态
804
获得历史睡眠状态持续时间信息
806
使用诸如中值计算、移动平均值或其他统计度量、机器学习、它们的组合等的一种或多种技术来处理历史睡眠状态持续时间信息
808
基于处理历史睡眠状态持续时间信息来预测部件的即将到来的睡眠状态持续时间
810
记录预测的睡眠状态持续时间

图8

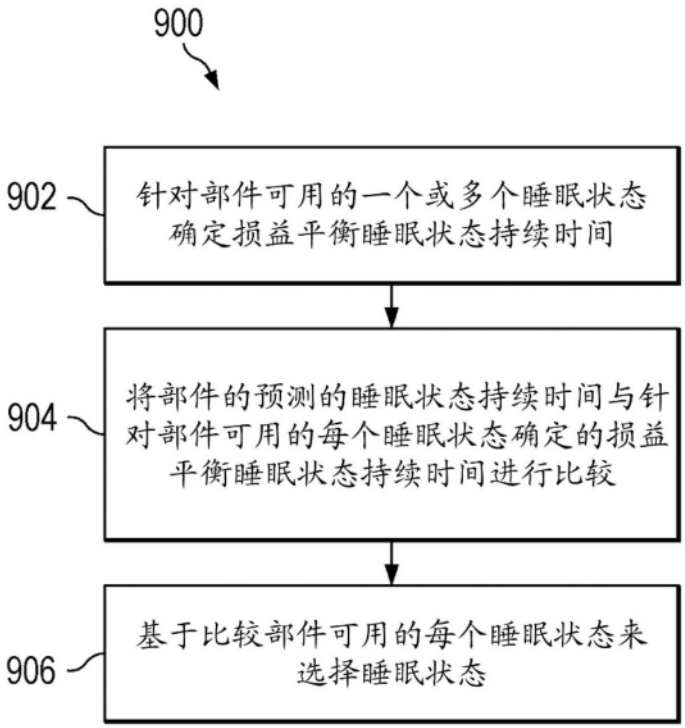

900
902
针对部件可用的一个或多个睡眠状态确定损益平衡睡眠状态持续时间
904
将部件的预测的睡眠状态持续时间与针对部件可用的每个睡眠状态确定的损益平衡睡眠状态持续时间进行比较
906
基于比较部件可用的每个睡眠状态来选择睡眠状态

图9

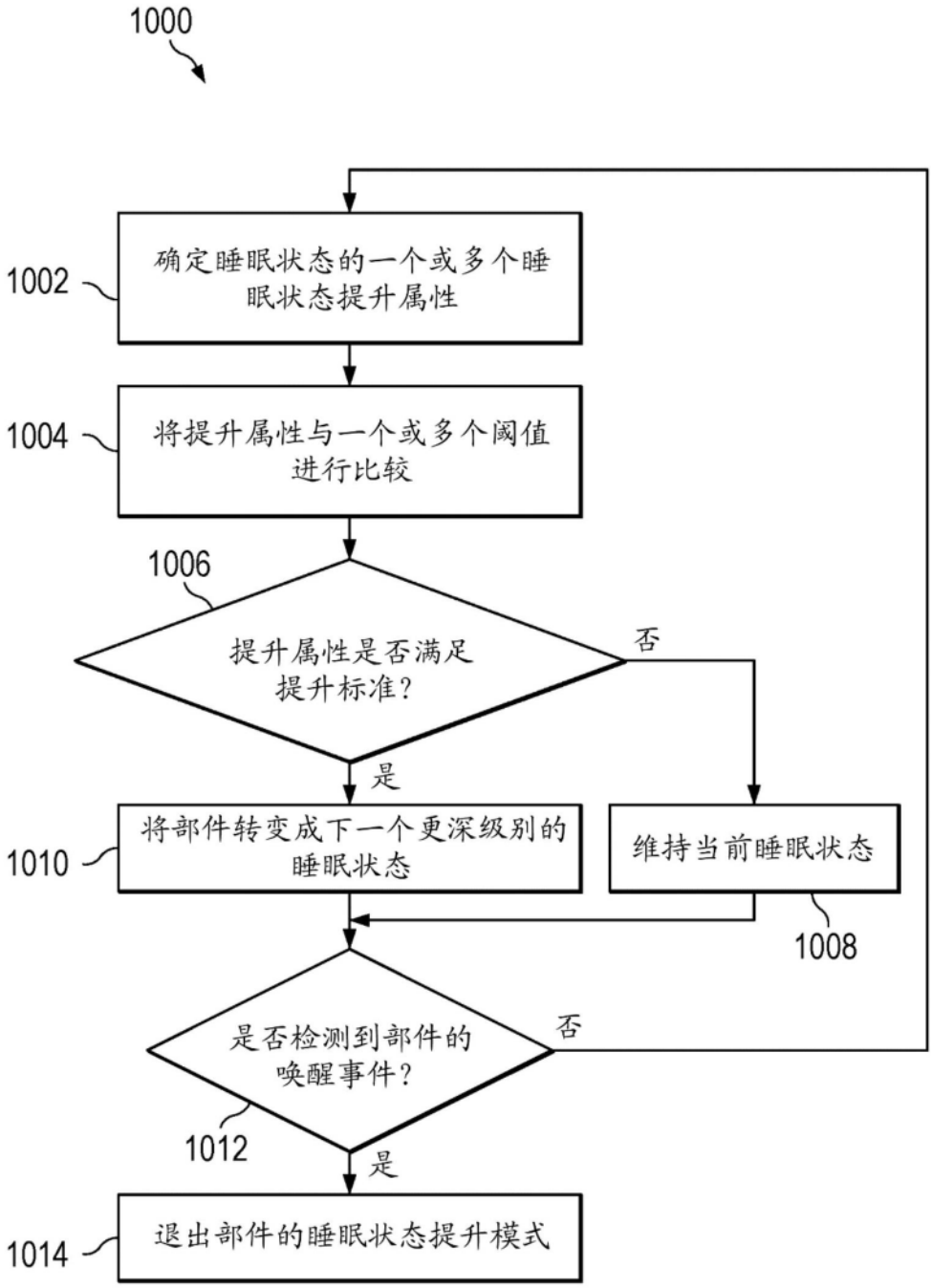

1000
1002
确定睡眠状态的一个或多个睡眠状态提升属性
1004
将提升属性与一个或多个阈值进行比较
1006
提升属性是否满足提升标准?
否
是
1010
将部件转变成下一个更深级别的睡眠状态
维持当前睡眠状态
1008
是否检测到部件的唤醒事件?
否
1012
是
1014
退出部件的睡眠状态提升模式

图10