



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101356485 B

(45) 授权公告日 2012.07.04

(21) 申请号 200680050186.5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2006.11.01

G06F 1/20 (2006.01)

(30) 优先权数据

H05K 7/20 (2006.01)

11/264,786 2005.11.01 US

审查员 孔昕

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008.07.01

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2006/042927 2006.11.01

(87) PCT申请的公布数据

W02007/053766 EN 2007.05.10

(73) 专利权人 惠普开发有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 C·D·帕特尔 C·E·巴什

P·K·夏尔马 C·G·马隆

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

72001

代理人 刘杰 张志醒

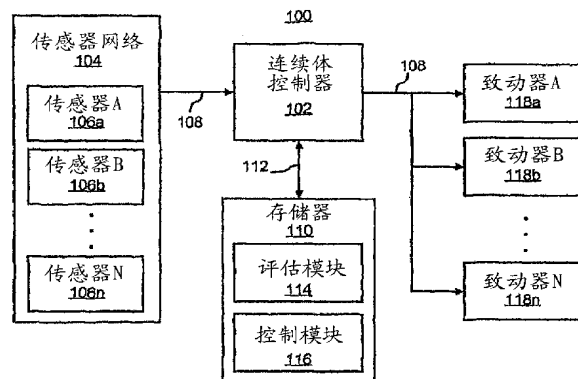
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 4 页

(54) 发明名称

冷却跨越连续体的部件

(57) 摘要

一种冷却跨越连续体 (120) 的部件的方法 (200), 其中该连续体 (120) 包括多级 (122-126), 该方法包括: 接收和评估与跨越连续体 (120) 的部件相关的探测数据。基于所评估的数据开发一种控制方案, 其中该控制方案被配置成操纵跨越多级 (122-126) 的一个或多个致动器 (118a-118n, 158, 168, 178)。此外, 依据所开发的控制方案操纵跨越多级 (122-126) 的一个或多个致动器 (118a-118n, 158, 168, 178)。



1. 一种冷却跨越连续体 (120) 的部件的方法 (200), 其中所述连续体 (120) 包括多级 (122-126), 所述方法包括:

接收 (204) 与跨越所述连续体 (120) 的部件相关的探测数据;

评估 (206) 所探测的数据以判定是否满足一个或多个策略;

基于所评估的数据开发 (210) 控制方案, 所述控制方案被配置成操纵跨越多级 (122-126) 的多个致动器 (118a-118n、158、168、178) 中的一个或者多个; 以及

依据所开发的控制方案, 操纵 (212) 跨越多级 (122-126) 的所述多个致动器 (118a-118n、158、168、178) 中的一个或多个以获得一个或者多个期望策略。

2. 如权利要求 1 所述的方法 (200), 其中所述一个或多个策略包括基于热管理的策略, 且其中评估 (206) 所述数据还包括评估 (208) 所述数据以判定是否满足所述基于热管理的策略, 且其中基于所评估的数据开发 (210) 控制方案还包括开发 (210) 一种控制方案, 该控制方案被设计成保证部件工作于期望温度条件。

3. 如权利要求 1 所述的方法 (200), 其中所述一个或多个策略包括基于能量效率的策略, 且其中评估 (206) 所述数据还包括评估 (208) 所述数据以判定是否满足所述基于能量效率的策略, 且其中基于所评估的数据开发 (210) 控制方案还包括开发 (210) 一种控制方案, 该控制方案被设计成优化配置成冷却所述部件的一个或多个冷却装置的能量效率水平。

4. 如权利要求 1 所述的方法 (200), 其中所述一个或多个策略包括基于不可逆性的策略, 且其中评估 (206) 所述数据还包括评估 (208) 所述数据以判定是否满足所述基于不可逆性的策略, 且其中基于所评估的数据开发 (210) 控制方案还包括开发 (210) 一种控制方案, 该控制方案被设计成最小化所述连续体 (120) 的多级 (122-126) 的热交换的不可逆性。

5. 如权利要求 1 所述的方法 (200), 其中所述一个或多个策略包括基于性能的策略, 且其中评估 (206) 所述数据还包括评估 (208) 所述数据以判定是否满足所述基于性能的策略, 且其中基于所评估的数据开发 (210) 控制方案还包括开发 (210) 一种控制方案, 该控制方案被设计成改善在所述连续体 (120) 的多级 (122-126) 的部件的性能。

6. 一种用于控制跨越连续体 (120) 的冷却的系统 (100、100'), 所述连续体 (120) 包括多级 (122-126), 所述系统 (100、100') 包括:

传感器网络 (104), 具有配置成在所述多级 (122-126) 探测至少一个条件的多个传感器 (106a-106n、154、164、174);

多个致动器 (118a-118n、158、168、178), 被配置成在所述多级 (122-126) 改变一个或多个条件; 以及

至少一个控制器 (102、152、162、172), 被配置成从所述传感器 (106a-106n、154、164、174) 接收条件信息并评估所接收的条件信息以判定是否满足一个或多个策略, 所述至少一个控制器 (102、152、162、172) 还被配置成开发一种控制方案, 以基于所评估的条件信息来控制所述多个致动器 (118a-118n、158、168、178) 从而保证满足所述一个或多个策略, 且其中所述至少一个控制器 (102、152、162、172) 还被配置成在所述多级 (122-126) 控制多个致动器 (118a-118n、158、168、178)。

7. 如权利要求 6 所述的系统 (100、100'), 其中所述一个或多个策略包括基于热管理的策略, 且其中所述至少一个控制器 (102、152、162、172) 被配置成开发控制方案, 以保证跨

越所述连续体 (120) 的部件工作于期望温度条件。

8. 如权利要求 6 所述的系统 (100、100'), 其中所述一个或多个策略包括基于能量效率的策略, 且其中所述至少一个控制器 (102、152、162、172) 配置成开发控制方案, 以优化配置成冷却跨越所述连续体 (120) 的部件的一个或多个冷却装置的能量效率水平。

## 冷却跨越连续体的部件

### 背景技术

[0001] 数据中心可以被定义为一场所,例如,容纳安装在多个机架内的计算机系统的房间。例如电子柜的标准机架被定义为电子工业协会(EIA)外壳,78英寸(2米)宽,24英寸(0.61米)宽以及30英寸(0.76米)深。这些机架被配置成容纳多个计算机系统,大约四十(40)个系统,将来机架的配置被设计成容纳200个或更多的系统。计算机系统通常在相应部件工作期间耗散相当多的热量。例如,包括多个微处理器的典型计算机系统会耗散约250W的功率。因此,包含四十(40)个这种类型的计算机系统的机架耗散约10KW的功率。

[0002] 提供冷却以消散由计算机系统产生的热量的当前方法通常基于在空调单元入口探测到的温度。然而,在空调单元入口探测到的温度经常并不精确地反应被冷却的计算机系统的温度。因此,在许多情形中,冷却措施基于数据中心的铭牌功率额定值,留有一些余地以用于风险容差。这种类型的冷却措施经常导致过多和低效的冷却方案。在大多数数据中心,为最差情况或峰值负载场合提供冷却,此时这一问题进一步加剧。因为估计典型的数据中心工作仅利用部分服务器,用于这些类型场合下的措施通常会加大常规冷却装置中的低效。

[0003] 因此,更有力且有效地冷却计算机系统的热管理是有益的。

### 发明内容

[0004] 披露了一种冷却跨越具有多极的连续体的部件的方法。在该方法中,接收和评估与跨越连续体的部件相关联的探测数据。基于所评估的数据来开发控制方案,其中该控制方案被配置成操纵跨越多级的一个或多个致动器。此外,依据所开发的控制方案操纵跨越多级的一个或多个制动器。

### 附图说明

[0005] 基于参考附图进行的如下描述,本发明的特征对于本领域技术人员而言是显而易见的,附图中:

[0006] 图1A示出根据本发明的一个实施例的冷却控制系统的框图;

[0007] 图1B示出根据本发明的一个实施例的计算连续体的框图;

[0008] 图1C示出根据本发明的另一实施例的冷却控制系统的框图;

[0009] 图2示出根据本发明的一个实施例,用于冷却跨越连续体的部件的方法的流程图;以及

[0010] 图3说明根据本发明的一个实施例,可用于执行冷却控制系统的各种功能的计算机系统。

### 具体实施方式

[0011] 为了简化和说明的目的,通过参考示例来描述本发明。在下述描述中,给出许多具体细节以提供对本发明的全面理解。然而,对于本领域技术人员显而易见的是,本发明的实

践不限于这些具体细节。在其它情形中,没有详细描述公知方法和结构,以免不必要地模糊本发明。

[0012] 这里披露了一种冷却房间内部件的整体方法 (holistic approach)。更具体而言,所披露的用于冷却部件的方法跨越多级连续体以实现一个或多个策略。示例性地,基于指示一个或多个策略未被满足的评估数据来开发一个或多个控制方案。此外,该一个或多个控制方案可以跨越该连续体来实施。

[0013] 参考图 1A,示出了根据一个示例的冷却控制系统 100 的框图。应理解,对冷却控制系统 100 的下述描述仅仅是冷却控制系统 100 工作的各种不同方式中的一种。此外,应理解,冷却控制系统 100 可包括附加部件且某些所描述的部件可以被除去和 / 或调整而不背离冷却控制系统 100 的范围。

[0014] 一般而言,且如下文更详细描述,冷却控制系统 100 被配置成按照整体方式在多个部件级控制冷却。换言之,该多个部件级可以被视为用于控制目的连续体 120 (如图 1B 所示),因为冷却控制系统 100 被配置成基于整体控制方案来控制与多个级的每一个相关联的致动器。在一方面,冷却控制系统 100 可以按照各种方式工作以显著增加房间内部件的紧密状态和密度。此外或者备选地,冷却控制系统 100 可以实施一个或多个算法,该一个或多个算法被设计成减小或者最小化在多个多级冷却部件所耗费的能量数量。

[0015] 计算环境中的多级可包括例如芯片级、系统级、机架级、行级、区域级、房间级等。在图 1B,出于简化说明的目的,仅示出芯片级 122、系统级 124 和房间级 126。然而应理解,图 1B 所示的计算连续体 120 可包括任意数目的上述级。此外,箭头 128 一般表示信息和策略指派可以在不同级 122-126 之间传递。

[0016] 往回参考图 1A,冷却控制系统 100 包括连续体控制器 102,该连续体控制器 102 被配置成执行冷却控制系统 100 内的评估和控制工作。尽管连续体控制器 102 示为包括单个装置,不过由连续体控制器 102 执行的评估和控制工作可以由任意数目的不同装置来执行,而不背离冷却控制系统 100 的范围。一方面,连续体控制器 102 可包括被配置成执行此处所述的各种评估和控制工作的微处理器、微控制器、专用集成电路 (ASIC) 等。

[0017] 连续体控制器 102 被配置成接收来自传感器网络 104 的输入。传感器网络 104 包括多个传感器 106a-106n,其中“n”为大于 1 的整数。传感器 106a-106n 可相对于连续体 120 被定位在各种位置,以探测诸如温度、绝对湿度、压力、气流方向、气流强度等之类的一个或多个条件。更具体而言,传感器 106a-106n 可相对于连续体 120 被定位在多级 122-126 以探测所述一个或多个条件。例如,传感器 106a-106n 的至少一个可被定位以探测诸如处理器、微控制器、高速视频卡、存储器、半导体装置等之类的发热部件周围的条件。此外,传感器 106a-106n 中另一个可被定位以探测诸如服务器、硬盘驱动器、监视器等之类的发热系统周围的条件。再者,传感器 106a-106n 中的另一个可被定位以在容纳连续体 120 的部件的房间内的位置探测条件。

[0018] 与传感器 106a-106n 探测的条件相关的数据可以通过箭头 108 所代表的网络传输到连续体控制器 102。网络 108 通常代表在计算环境中用于在冷却控制系统 100 的各种部件之间传输数据的有线或无线结构。网络 108 可包括现有网络基础设施,或者可包括出于通过连续体控制器 102 控制冷却的目的而安装的分离网络配置。此外,传感器 106a-106n 和 / 或连续体控制器 102 可装备有或者可访问软件和 / 或硬件,以使得这些装置能够在网

络 108 上发送和 / 或接收数据。

[0019] 连续体控制器 102 可将从传感器 106a-106n 接收的数据存储在存储器 110 内。连续体控制器 102 可以通过例如箭头 112 代表的存储器总线与存储器 110 通信。然而,在某些示例中,存储器 110 可以形成连续体控制器 102 的一部分。一般而言,存储器 110 可以被配置成提供软件、算法等的存储,这些软件、算法等提供连续体控制器 102 的功能。示例性地,存储器 110 可以存储操作系统、应用程序、程序数据等。此外,存储器 110 可以实施为诸如 DRAM、EEPROM、MRAM、闪存等这样的易失性和非易失性存储器的组合。此外或备选地,存储器 110 可包括配置成对诸如软盘、CD-ROM、DVD-ROM 或者其它光学或磁性介质这样的可移动介质进行读写的装置。

[0020] 存储器 110 还可存储评估模块 114 和控制模块 116,连续体控制器 102 实施评估模块 114 和控制模块 116 以控制连续体 120 内的冷却措施。更具体而言,例如,评估模块 114 可包括一个或多个算法,连续体控制器 102 可实施该算法以评估从传感器 106a-106n 接收的数据。示例性地,可以实施评估模块 114 以评估该数据,从而判定影响冷却措施的一个或多个致动器 118a-118n 可以如何操作以满足一个或多个策略,其中“n”为大于 1 的整数。

[0021] 合适的策略的示例包括例如基于热管理的策略、基于能量效率的策略、基于不可逆性的策略以及基于性能的策略。基于热管理的策略通常被设计成保证在最高性能水平维持恰当温度。基于能量效率的策略被设计成显著优化计算环境中包含的装置的能量效率。基于不可逆性的策略被设计成通过显著优化流动功、热动力学功和热传递来降低装置的热动力学不可逆性。下面更详细地描述这些策略。

[0022] 连续体控制器 102 可实施控制模块 116 以开发用于操作跨越连续体 120 的致动器 118a-118n 的控制方案,从而获得或者满足一种或多种策略。控制方案可根据诸如操作策略和可持续性策略之类的各种策略而进一步开发。可采用操作策略例如在芯片、系统和房间级 122-126 来支配连续体 120 内的计算和环境资源的操作。此外,操作策略可规定所要求的计算性能、防止或减轻冷却控制系统内的故障、提供热管理、满足各种各样潜在用户需求等。示例性地,通过以更大能量使用为代价而具有冗余或更低温度,操作策略可以允许进行选择以提高对空调故障的反应时间。

[0023] 通过显著改善操作效率并降低不可逆性,可以采用可持续性策略来影响冷却控制系统 100 的操作成本或者降低计算资源对包含该计算资源的环境的影响。示例性地,可持续性策略可以使得冷却系统在更高的温度操作,从而以更低的反应时间为代价来节约能量。

[0024] 这些策略可以根据用户需求和优先级来权重且可以是动态的。此外或者备选地,这些策略可以以连续体 120 内的元件(诸如各个芯片、服务器、机架等)为对象,或者这些策略可以以连续体 120 整体为对象。例如,在夜晚,当电力成本较低时,以操作成本策略为代价,计算性能策略可以具有较大的权重。相反,在白天,由于电力成本上升,性能策略可具有较小的权重。作为另一示例,权重可随用户优先级而改变。

[0025] 策略也可以被定义以支配连续体 120 内或者遍布全球的计算环境内的计算工作负荷的布置。这些策略可以基于计算环境内部或外部的可持续性标准。这种类型策略的机制和结构可以基于网格计算配置,例如如作者 Chandrakant D. Patel 等,在 the ASME International Mechanical Engineering Conference and Exposition, Washington,

D. C., USA 发表的 "Energy Aware GRID: Global Service Placement based on Energy Efficiency of the Cooling Infrastructure" 中所描述。位于各种地理位置的计算环境内的计算工作负荷布置的实施示例描述于共同未决且共同转让的美国专利申请 No. 10/820,786, 该申请于 2004 年 4 月 9 日提交, 题为 "Workload Placement Among Data Centers Based on Thermal Efficiency", 在此引用其公开的全部内容作为参考。

[0026] 连续体控制器 102 可将与开发的控制方案相关的指令传送或者以其它方式发送到致动器 118a-118n 中的一个或多个。更具体而言, 例如, 连续体控制器 102 可发送指令到致动器 118a-118n 中的一个或多个以改变受致动器 118a-118n 影响的条件, 从而满足上述策略中的一种或多种。泛泛而言, 致动器 118a-118n 可包括任何可控部件, 所述可控部件被设计成输送诸如冷却剂、冷却气流、冷却流体、制冷剂等这样的特定资源, 或者被设计成产生诸如热量、热气流等这样的污染物。致动器 118a-118n 也可以变化尺寸或者可操作以在连续体 120 的多级影响冷却和 / 或加热。

[0027] 在芯片级, 例如, 与一个或多个芯片相关联的传感器 106a-106n 和致动器 118a-118n 可按下述专利所述方式来配置: 共同转让的美国专利 No. 6,612,120, 题为 "Spray Cooling with Local Control of Nozzles", 在此引用其公开的全部内容作为参考。此外或者备选地, 与一个或多个芯片相关联的传感器 106a-106n 和致动器 118a-118n 可按下述专利所述方式来配置: 共同转让的美国专利 No. 6,904,968, 题为 "Method and Apparatus for Individually Cooling Components of Electronic Systems", 在此引用其公开的全部内容作为参考。

[0028] 在系统级, 例如, 传感器 106a-106n 可包括置于服务器内各种位置的温度传感器。此外, 致动器 118a-118n 可包括布置成引导气流经过服务器的一个或多个风扇, 如下述专利所述: 共同转让的美国专利 No. TBD (Attorney Docket No. 200312051-1, 于 2003 年 12 月 17 日提交), 题为 "Cooling System for Electronic Components", 在此引用其公开的全部内容作为参考。此外或备选地, 传感器 106a-106n 和致动器 118a-118n 可包括制冷冷却部件, 如下述专利所述: 共同转让的美国专利 No. TBD (Attorney Docket No. 100110202-1, 于 2002 年 2 月 5 日提交), 题为 "Method and Apparatus for Cooling Heat Generating Components", 在此引用其公开的全部内容作为参考。

[0029] 在房间级, 例如, 传感器 106a-106n 和致动器 118a-118n 可以按下述专利所述来配置和操作: 共同转让的美国专利 No. 6,574,104, 题为 "Smart Cooling of Data Centers", 在此引用其公开的全部内容作为参考。如该专利所述, 致动器 118a-118n 可包括空调单元和可控通风瓦 (vent tile) 其中之一或二者。此外或备选地, 传感器 106a-106n 和致动器 118a-118n 可以按下述专利所述来配置和操作: 共同转让的美国专利 No. TBD (Attorney Docket No. 200314965-1, 于 2004 年 5 月 26 日提交), 题为 "Energy Efficient CRAC Unit Operation", 在此引用其公开的全部内容作为参考。

[0030] 应理解, 上述示例代表冷却控制系统 100 可使用的较少数目的传感器 106a-106n 和致动器 118a-118n 的可能配置及操作。因此, 上述示例应被视为仅仅是示意性的, 而不应被理解为从任何方面限制冷却控制系统 100。

[0031] 现在参考图 1C, 示出根据另一示例的冷却控制系统 100' 的框图。如图所示, 与图 1A 所示冷却控制系统 100 相比, 冷却控制系统 100' 具有相对不同的配置。应理解, 对冷却

控制系统 100' 的下述描述仅仅是该冷却控制系统 100' 可操作的各种不同方式中的一种。此外,应理解,冷却控制系统 100' 可包含附加部件以及某些所述部件可被除去和 / 或调整而不离开冷却控制系统 100' 的范围。

[0032] 如图 1C 所示,冷却控制系统 100' 不包括图 1A 所示的连续体控制器 102。相反,冷却控制系统 100' 示为连续体 120 的多级 122-126 的每一个彼此连通。因此,如下文更详细描述,与图 1A 所示冷却控制系统 100 相反,代替具有诸如连续体控制器 102 这样的中央控制器,信息和策略可以相互传送。

[0033] 尽管在图 1C 中描绘了多级 122-126 其中的单级,不过应理解,冷却控制系统 100' 可包含任意合理数目的多级 122-126 而不背离冷却控制系统 100' 的范围。就此而言,应理解,描绘该多级 122-126 中的单级是出于简化目的而非限制性目的。此外,应理解,不同于图 1C 所述级之外的级可被包含在冷却控制系统 100' 内,而不背离冷却控制系统 100' 的范围。这些级包括例如机架级、机架行级、机架群级等。

[0034] 所述多级 122-126 中每一个均包括相应控制器 152、162 和 172。更具体而言,芯片级 122 被描绘成包括芯片级控制器 152,系统级 124 被描绘成包括系统级控制器 162 且房间级 126 被描绘成包括房间级控制器 172。每个控制器 152、162 和 172 可包括被配置成执行此处所述的各种评估和控制操作的微处理器、微控制器、专用集成电路 (ASIC) 等。此外,控制器 152、162 和 172 可以如箭头 128 所示相互通信。

[0035] 一方面,控制器 152、162 和 172 可相互通信与传感器网络 104 探测的条件有关的信息。传感器网络 104 被描绘成配置为在相应级 122-126 探测一个或多个条件。如图所示,芯片级 122 包括芯片传感器网络 154,其可以包括图 1A 所示的传感器 106a-106n 中的一个或多个。此外,系统级 124 包括系统传感器网络 164,其可包括传感器 106a-106n 中一个或多个;房间级 126 包括房间传感器网络 174,其也可包括传感器 106a-106n 中一个或多个。尽管未示出,该传感器 106a-106n 中一个或多个可形成级 122-126 中一个以上级的一部分。就此而言,由一个或多个传感器 106a-106n 探测的条件可用于在一个以上级 122-126 处评估条件。

[0036] 级 122-126 中每一个还可包括被配置成提供软件、算法等的存储的相应存储器 156、166 和 176,该软件、算法等提供控制器 152、162 和 172 的功能。示例性地,存储器 156、166 和 176 可存储操作系统、应用程序、程序数据等。此外,存储器 156、166 和 176 可分别实施为诸如 DRAM、EEPROM、MRAM、闪存之类的非易失性存储器和易失性存储器的组合。此外或备选地,存储器 156、166 和 176 可分别包括配置成对诸如软盘、CD-ROM、DVD-ROM、或者其它光学或磁性介质之类的可移动介质进行读写的装置。

[0037] 一方面,存储器 156、166 和 176 均可存储算法,该算法被设计成使得控制器 152、162 和 172 能够控制相应致动器 158、168 和 178,这些致动器可包括如图 1A 所示的致动器 118a-118n 中一个或多个。示例性地,存储器 156、166 和 176 均可存储一个或多个算法,该一个或多个算法被设计成使得冷却控制系统 100' 能够按照整体方式操作。换言之,存储器 156、166 和 176 中存储的一个或多个算法可以由它们相应控制器 152、162 和 172 基于上述一个或多个策略来实施,基于从级 122-126 中每一个的控制器 152、162 和 172 获得的信息来评估。

[0038] 因此,控制器 152、162 和 172 可以集合地执行上述连续体控制器 102 的各种操作。



例如,控制器 152、162 和 172 可以被配置成实施评估模块 114 和控制模块 116。此外,控制器 152、162 和 172 被配置成基于与连续体 120 内的多级相关的数据来控制其相应致动器 158、168 和 178,并由此实施整体控制方案。下面参考图 2 给出控制器 152、162 和 172 操作方式的描述。

[0039] 现在参考图 2,示出根据一示例的用于冷却跨越连续体 120 的电子部件的方法 200 的流程图。应理解,方法 200 的下述描述仅仅是本发明示例实践的各种不同方式之一。本领域技术人员显而易见的是,方法 200 代表一般性说明且其它步骤可以被添加或者现有步骤可以被除去、调整或重新布置而不背离方法 200 的范围。

[0040] 如上所述,连续体 120 包含多级,该多级可包含例如芯片级 122、系统级 124、机架级、行级、区域级、房间级 126 等。方法 200 可由连续体控制器 102 或者控制器 152、162 和 172 来实施以评估跨越连续体 120 的数据。更具体而言,连续体控制器 102 或者控制器 152、162 和 172 可评估该数据以开发用于控制跨越连续体 120 的一个或多个致动器 118a-118n 的一个或多个控制方案。就此而言,连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 可基于超出连续体 120 的任一单级延伸的策略来控制一个或多个致动器 118a-118n。因此,方法 200 可以被执行以显著增加房间内计算机部件的紧密状态和密度。此外或备选地,方法 200 可以被实施以显著降低或最小化冷却多极连续体 120 内的部件所消耗的能量数量。

[0041] 结合图 1A 和 1C 所示的冷却控制系统 100、100' 做出方法 200 的描述,并因此参考其中所引用的元件。然而应理解,方法 200 不限于冷却控制系统 100、100' 中列出的元件。相反,应理解,可以在具有不同于冷却控制系统 100、100' 中所述配置的系统实践中实践方法 200。

[0042] 响应于多种刺激或条件中任意一个,方法 200 可开始于步骤 202。例如,方法 200 可以随着房间 100 内的部件(诸如空调单元、发热部件等)的激励而开始。此外或备选地,方法 200 可以手动开始,或者连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 可被编程,使得对于设定的持续时间,在各种时间基本连续地等开始方法 200。

[0043] 一旦开始,如步骤 204 所示,传感器 106a-106n 可探测一个或多个条件,且与所探测的一个或多个条件相关的数据可被连续体控制器 102 接收。此外或备选地,在步骤 204,由传感器网络 154、164 和 174 的传感器 106a-106n 探测的条件可以传递到每个控制器 152、162 和 172。如步骤 206 所示,连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 可实施评估模块 114 以评估所接收的数据。如步骤 208 所示,连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 可评估所接收的数据以判定是否满足一个或多个策略。如果满足策略,如步骤 204 和 206 所示,连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 可继续接收和评估数据。

[0044] 然而,如果未满足一个或多个策略,如步骤 210 所示,可以开发跨越多极连续体 120 的控制方案以改变计算环境中的条件。更具体而言,在步骤 210,可以开发出一种控制方案,该控制方案被配置成控制跨越连续体 120 的一个或多个致动器 118a-118n 以获得一个或多个期望策略。

[0045] 可以获得的策略之一包括基于热管理的策略,该策略被设计成基本保证诸如服务器、计算机、硬盘驱动器等之类的发热部件在各种性能级工作于恰当温度条件。根据该策略,可以改变在多级的冷却资源措施,以将温度基本上维持在期望水平。如此,在步骤 210 可以开发控制方案以操纵该致动器 118a-118n 中的一个或多个,从而基本保证发热部件工作在期望条件。

[0046] 另一策略可以包括基于能量效率的策略,该策略被设计成显著优化包含在计算环境中的诸如空调单元、冷凝器、风扇等这样的冷却装置的能量效率。可以根据其相应的性能系数来确定装置的能量效率水平,且在步骤 210 可以开发控制方案以操纵该致动器 118a-118n 中一个或多个,从而基本保证冷却装置的性能系数处于期望水平。在第一示例中,用户可以选择所需要或期望的能量效率,且在所述多级,致动器 118a-118n 可以相应地工作。在第二示例,可以使用功率管理系统来改变芯片和系统上的功率以获得所期望或需要的能量效率水平。

[0047] 另一策略可包括基于不可逆性的策略,该策略被设计成显著最小化在多极连续体 120 的整体不可逆性。不可逆性代表诸如热和冷空气流的混合这样的不可逆过程。通过绘制有限体积并使用在各种边界的温度,可以确定不可逆性水平,例如特定系统的入口和热发生装置的入口之间、发热装置的入口到通风瓦源之间等的温度差。

[0048] 在该策略下,可以在步骤 210 开发用于致动器 118a-118n 的控制方案,以通过优化流动功、热动力学功和热传递来降低(多个)系统的热动力学不可逆性。流动功明智地将空气分布在房间四处,热动力学功压缩制冷剂以在低温到高温交换热量,且有效的热传递保证热交换中的不可逆性较低。如此,连续体 120 内部件的整体不可逆性可以表示为:

[0049] 方程 (1):  $\Sigma \phi = \phi_f + \phi_w + \phi_T$

[0050] 流动中的不可逆性 ( $\phi_f$ ) 发生的原因因为热和冷空气流的混合,或者是通过出口/入口以及跨越过道、天花板空间、通风室等的流动膨胀和收缩。热动力学功中的不可逆性 ( $\phi_w$ ) 发生的原因因为压缩机的低的等熵效率或者冷却循环中的高摩擦损耗。热传递中的不可逆性 ( $\phi_T$ ) 发生的原因因为未优化的热交换器设计和操作。通过使连续体 120 内的部件工作于较接近排热 (heat rejection) 温度或气氛温度,也可以降低热传递中的不可逆性 ( $\phi_T$ )。与每个流动和热传递过程相关联的增量不可逆性由下式给出:

[0051] 方程 (2):  $\delta\phi_f = -mRT_0 \ln\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$ , 以及

[0052] 方程 (3):  $\delta\phi_T = mC_p T_0 \ln\left(\frac{T_{out}}{T_{in}}\right)$

[0053] 其中  $m$  为质量流速,  $R$  为气体常数,  $C_p$  为空气的比热,  $T_{out}$  为出口温度,  $T_{in}$  为入口温度,  $P_{out}$  为出口压力,  $P_{in}$  为入口压力, 并且  $T_0$  为参考温度且在某些情形下为最低排热温度。由于不可逆性是路径变量,总不可逆性为连续体 120 的计算环境中每个主要过程的所有组合值之和。可以基于在每个关键传输区域周围形成的控制体积来识别该过程。典型过程可包括例如服务器中的热添加或者是从通风瓦到热发生装置入口的冷空气流动。

[0054] 另一策略可以是基于性能的策略,其中计算致动器的操纵以显著改善在多极连续体 120 的计算性能。

[0055] 连续体控制器 102 或者控制器 152、162 和 172 可以实施控制模块 116,以基于通过实施评估模块 114 被评估的策略中的一个或多个,开发用于操作致动器 118a-118n 的控制方案。可以根据诸如操作策略和可持续策略这样的各种策略来开发控制方案。操作策略可用于支配计算环境中芯片级 122、系统级 124 和房间级 126 的计算和环境资源的操作。此外,操作策略可规定所需要的计算性能、防止或减轻冷却控制系统 100、100' 内的故障、提供热管理、满足各种各样潜在在用户需求等。示例性地,通过以更大能量使用为代价而具有冗余

或更低温度,操作策略可以允许进行选择以提高对空调故障的反应时间。

[0056] 通过显著改善操作效率,可持续性策略可用于影响冷却控制系统 100、100' 的操作成本或者降低计算资源对包含该计算资源的环境的影响。示例性地,可持续性策略使得冷却系统可在更高的温度操作,从而以更低的反应时间为代价来节约能量。

[0057] 这些策略也可以根据用户需求和优先级来权重且可以是动态的。这些策略还可以以计算环境内的元件(诸如各个芯片、服务器、机架等)为对象,或者这些策略可以以计算环境整体为对象。例如,在夜晚,当电力成本较低时,计算性能策略可以以操作成本策略为代价而具有较大的权重。相反,在白天,由于电力成本上升,性能策略可具有较小的权重。作为另一示例,权重可随用户优先级而改变。如上所述,策略还可以被定义以支配连续体 120 内或者遍布全球的计算环境内的计算工作负荷的布置。

[0058] 在步骤 212,连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 可以将指令传送到该致动器 118a-118n 中的一个或多个,以根据所开发的一个或多个控制方案来改变一个或多个条件。

[0059] 在步骤 214,判定方法 200 是否继续。如果在步骤 214 达成“否定”条件,如步骤 216 所示,方法 200 可以结束。例如在预定时间长度之后,在预定次数的迭代之后,方法 200 可以结束、手动中断等等。如果在步骤 214 达成“肯定”条件,则方法 200 继续开始于步骤 204。如此,方法 200 可以重复多次,从而基于在连续体 120 之间共享的信息来基本连续地改变条件。

[0060] 方法 200 中所示的操作的某些或全部可以作为应用、程序或子程序而包含在任意期望的计算机存取介质内。此外,方法 200 可以由计算机程序来实施,该计算机程序可以按活性和非活性的各种形式而存在。例如,所述操作可以作为包括源代码、目标代码、可执行代码或者其它格式的程序指令的(多个)软件程序而存在。上述任意一种可以按照压缩或者未压缩格式而实施于包括存储装置和信号的计算机可读介质上。

[0061] 示例性计算机可读存储装置包括常规计算机系统 RAM、ROM、EPROM、EEPROM、以及磁性或光盘或带。无论是否使用载波来调制,示例性计算机可读信号为该计算机程序所在的或者运行该计算机程序的计算机系统可访问的信号,包括通过互联网或其它网络下载的信号。前述的具体示例包括 CD ROM 上或者通过互联网下载的程序分布。在某种意义上,作为抽象的实体,互联网本身就是计算机可读介质。对于广义上的计算机网络也是如此。因此可以理解,能够执行前述功能的任何电子装置可以执行上文所列举的功能。

[0062] 图 3 示出根据一实施例的计算机系统 300,其可用于执行如上所述的连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 的各种功能。就此而言,计算机系统 300 可作为一平台,用于执行上文结合连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 所述功能中的一种或多种。

[0063] 计算机系统 300 包括诸如处理器 302 这样的—个或多个控制器。处理器 302 可用于执行在方法 200 中所述的某些或所有步骤。来自处理器 302 的命令和数据通过通信总线 304 来传递。计算机系统 300 还包括:诸如随机存取存储器(RAM)这样的主存储器 306,其中例如连续体控制器 102 或控制器 152、162 和 172 的程序代码可在运行时被执行;以及次存储器 308。例如次存储器 308 包括一个或多个硬盘驱动器 310 和 / 或可移动存储驱动器 312,用于环境控制系统的程序代码的拷贝可以存储在次存储器 308,其中可移动存储驱动器 312 代表软盘驱动器、磁带驱动器、光盘驱动器等。

[0064] 可移动存储驱动器 310 以公知方式对可移动存储单元 314 进行读写。用户输入和输出装置可包括键盘 316、鼠标 318 和显示器 320。显示适配器 322 可与通信总线 304 和显示器 320 接口,且可以从处理器 302 接收显示数据并将显示数据转换成用于显示器 320 的显示命令。此外,处理器 302 可通过网络适配器 324 在网络(例如互联网、LAN 等)上通信。

[0065] 本领域技术人员显而易见的是,在计算机系统 300 内可以添加或替换其它已知电子部件。此外,计算机系统 300 可包括用于数据中心、传统“白箱”服务器或者计算装置等中的机架内的系统板或刀片。此外,图 3 中的一个或多个部件是可选的(例如,用户输入装置、次存储器等)。

[0066] 此处已经描述和示出了本发明的优选实施例及其某些变型。这里使用的术语、说明和附图仅仅是示意性的而非限制性的。本领域技术人员将意识到,在本发明的精神和范围内可以进行许多变型,本发明旨在由下述权利要求及其等同表述来限定,其中,除非另外指出,所有术语意在表明其最宽广合理的含义。

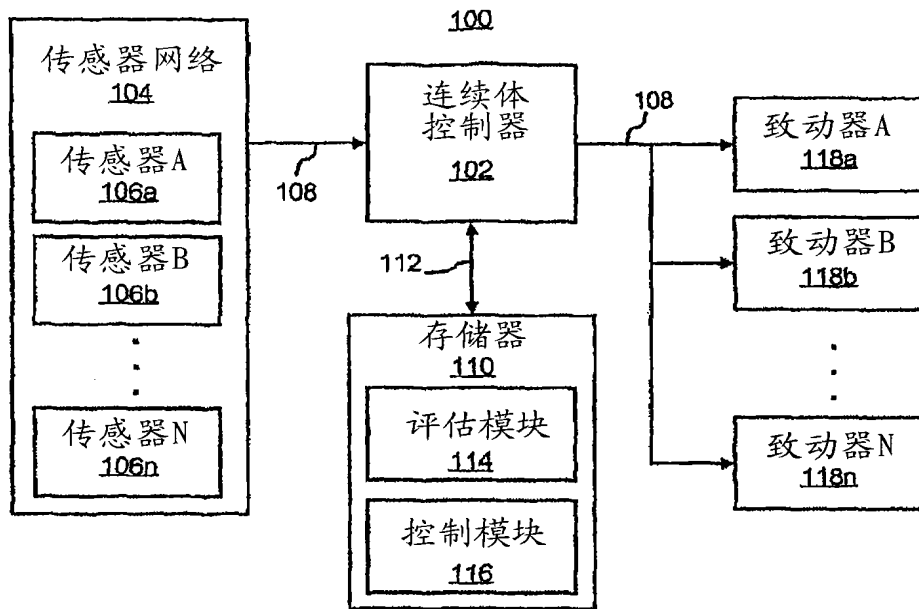


图 1A

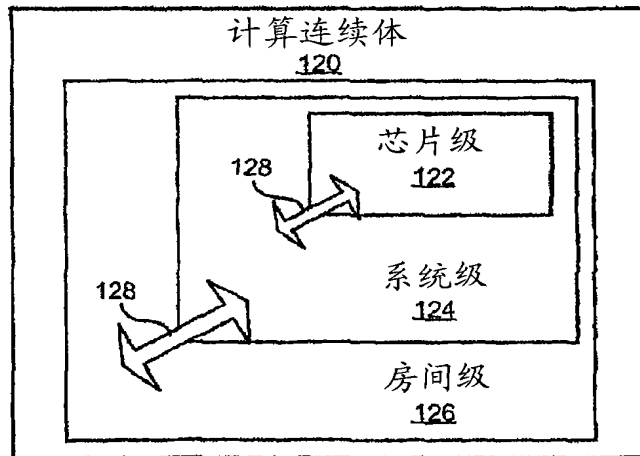


图 1B

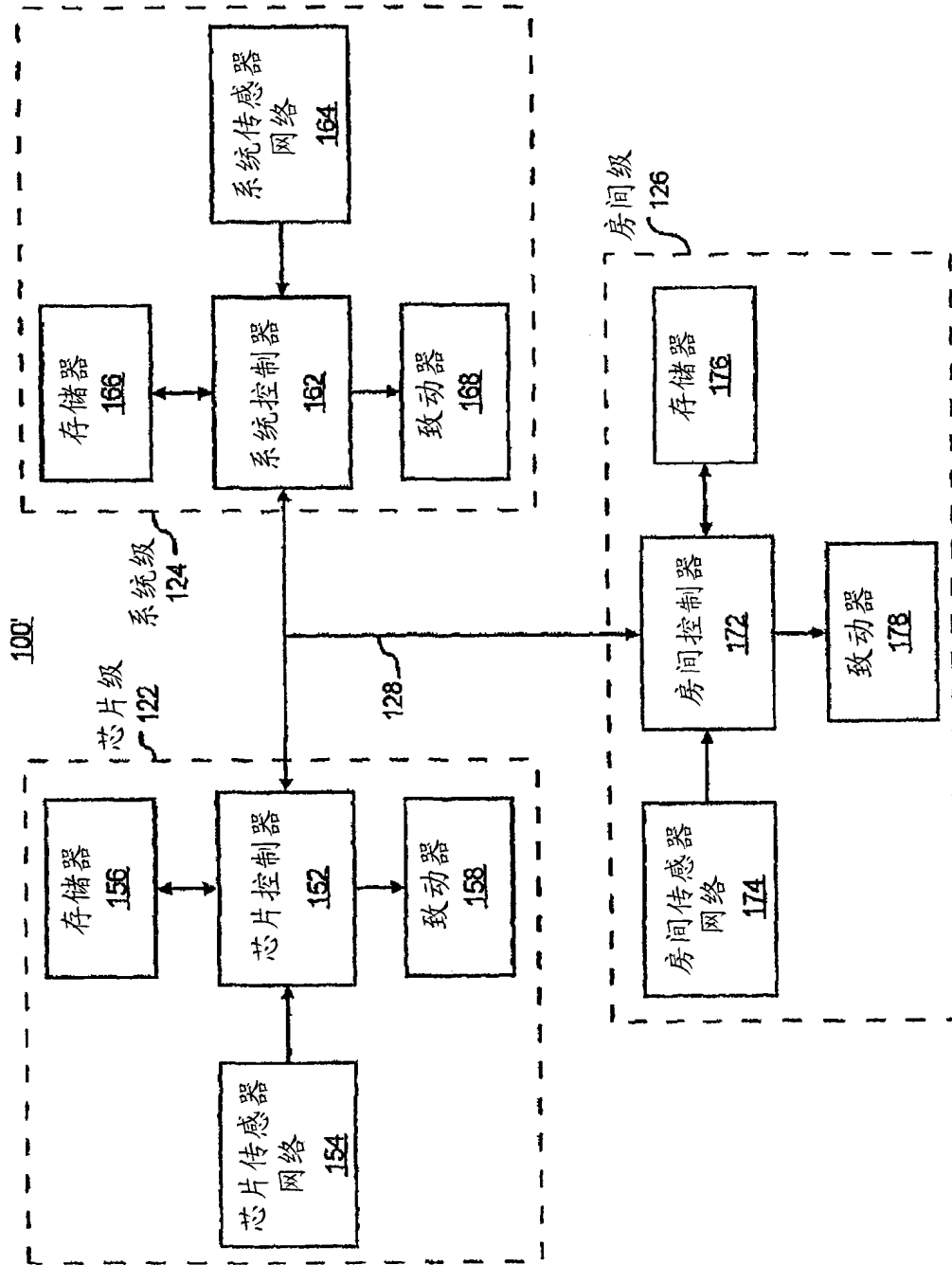


图 10

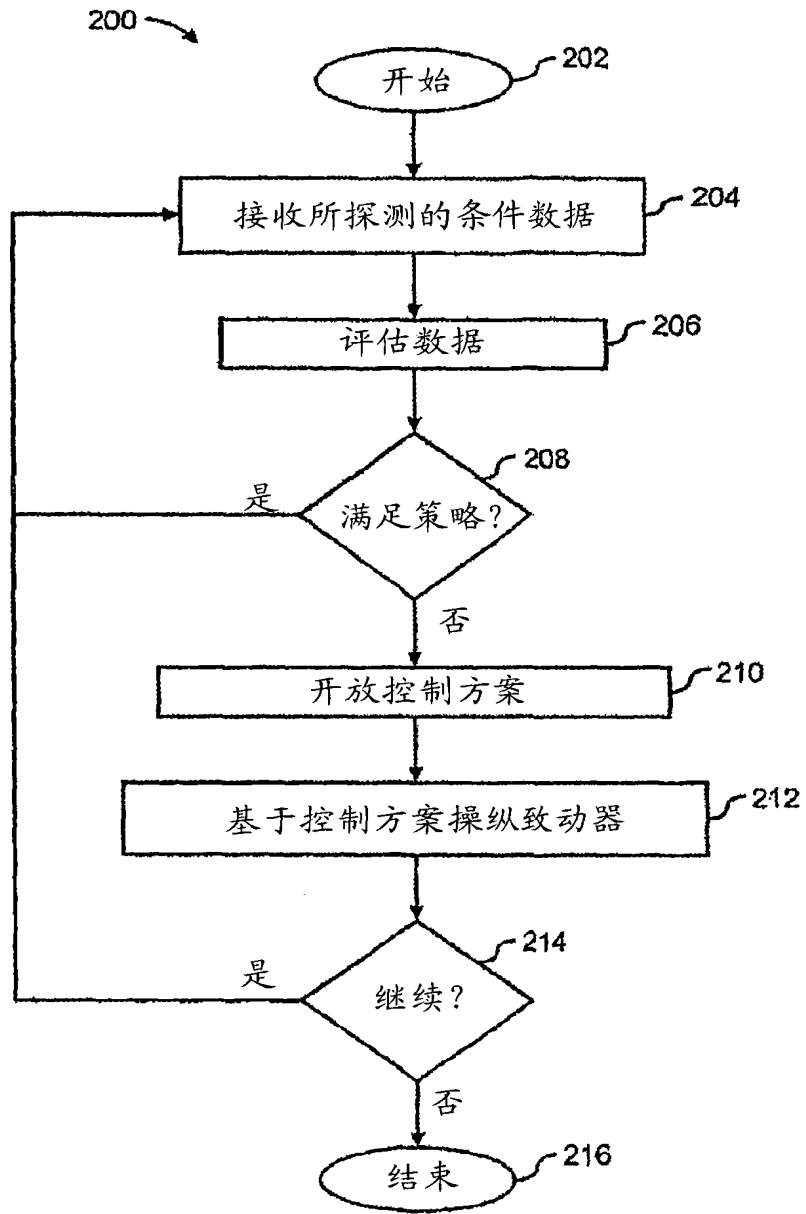


图 2

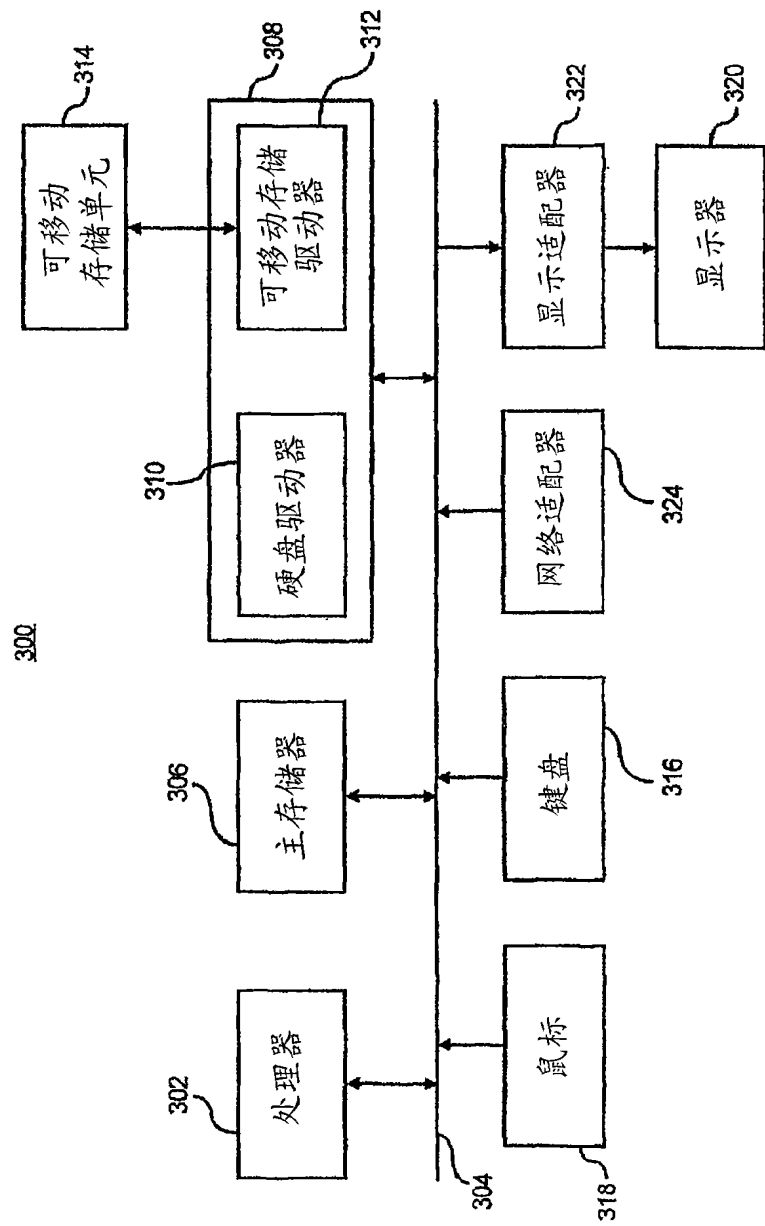


图 3