



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103168278 B

(45)授权公告日 2017.01.18

(21)申请号 201180048538.4

(22)申请日 2011.08.04

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103168278 A

(43)申请公布日 2013.06.19

(30)优先权数据

61/371,432 2010.08.06 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2013.04.07

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/046620 2011.08.04

(87)PCT国际申请的公布数据

W02012/019022 EN 2012.02.09

(73)专利权人 加利福尼亚大学董事会

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 I·梅兹克 B·A·艾森豪威尔

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 赵蓉民

(51)Int.Cl.

G05B 23/02(2006.01)

(56)对比文件

US 2009302994 A1,2009.12.10,

CN 101116232 A,2008.01.30,

CN 201444247 U,2010.04.28,

US 2009302994 A1,2009.12.10,

US 2009195349 A1,2009.08.06,

US 2010070101 A1,2010.03.18,

Clarence W.Rowley.etc.Spectral

analysis of nonlinear flows.《Journal of Fluid Mechanics》.2009,115-127.

审查员 韩博

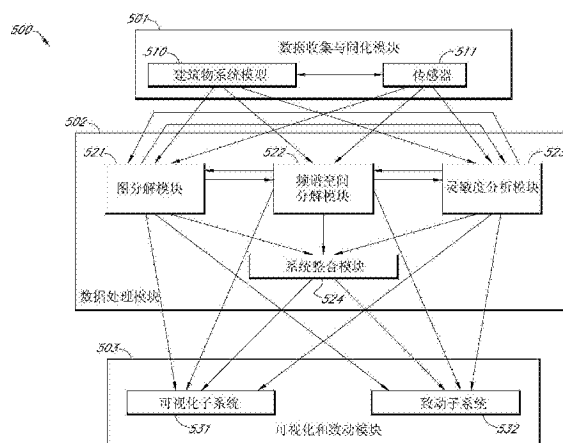
权利要求书3页 说明书17页 附图17页

(54)发明名称

用于分析建筑物操作传感器数据的系统和
方法

(57)摘要

本发明披露用于分析建筑物传感器信息并将其中的信息分解成更易控制且更有用形式的系统和方法。某些实施例将基于能量的和基于频谱的分析方法与参数采样和不确定度/灵敏度分析整合,从而实现建筑物行为的更全面的透视。这个分析的结果可以经多种可视化向用户呈现,和/或用来自动调整某些建筑物操作。在某些实施例中,包括基于库普曼的操作的先进频谱技术被用来从已收集的建筑物传感器数据分辨特征。



1. 一种用于分析建筑物传感器数据的方法,所述方法包含:

接收建筑物的建筑物传感器数据,所述数据包含多个传感器的随时间推移的多个值;

确定以下中的至少一个:

基于应用到所述建筑物传感器数据的频谱分析技术,确定与所述多个传感器中的每个传感器关联的相位值和幅度值,其中所述相位值和幅度值表示频域中的所述建筑物传感器数据,以及

基于应用到所述建筑物传感器数据的基于能量的技术,确定与所述多个传感器中的每个传感器关联的信号能量值;

执行以下任务中的至少一个:

基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个生成可视化,所述可视化包含在建筑物平面布置图上的覆盖图,所述覆盖图示出与多个传感器关联的所述相位值、幅度值或能量值中的至少一个,以及

基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个,确定激活或关闭致动器的时间,

所述方法由包含一个或更多计算装置的计算机系统执行。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法包含基于应用到所述建筑物传感器数据的频谱分析技术,确定与所述多个传感器中的每个传感器关联的相位值和幅度值。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法包含基于应用到所述建筑物传感器数据的基于能量的技术,确定与每个传感器关联的信号能量值。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法包含执行基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个生成可视化的任务,所述可视化包含在建筑物平面布置图上的覆盖图,所述覆盖图示出与多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法包含执行基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个,确定激活或关闭致动器的时间的任务。

6. 根据权利要求2所述的方法,其中所述频谱分析技术包含基于库普曼的技术。

7. 根据权利要求3所述的方法,其中所述基于能量的技术包含本征正交分解。

8. 根据权利要求2所述的方法,其中所述建筑物传感器数据包含源自现实世界建筑物的数据和源自所述建筑物的模拟模型的数据,所述方法进一步包含将从现实世界建筑物传感器数据获得的至少一个库普曼模式振幅或相位与从模拟模型传感器数据获得的至少一个库普曼模式振幅或相位比较。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中随时间推移的所述多个值包含温度值、湿度值、气流值、压力值、人员占用率值、插塞载荷密度值和光强度值中的一个。

10. 根据权利要求1所述的方法,进一步包含:

基于所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个鉴别感兴趣的最终输出;

基于所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个鉴别影响感兴趣的所述最终输出的多个输入;以及

将所述最终输出和影响所述最终输出的所述多个输入表示为图,所述图包含在源自影响所述最终输出的所述多个输入的第一输入和所述最终输出之间的边缘,其中所述边缘的

厚度对应于所述第一输入对感兴趣的所述最终输出的影响。

11. 一种用于评估建筑物属性的电子设备, 包含:

用于接收建筑物传感器数据的装置, 所述建筑物传感器数据包含多个传感器的随时间推移的多个值;

用于基于所述数据确定以下中的至少一个的装置:

基于应用到所述建筑物传感器数据的频谱分析技术, 确定与所述多个传感器中的每个传感器关联的相位值和幅度值, 其中所述相位值和幅度值表示频域中的所述建筑物传感器数据, 以及

基于应用到所述建筑物传感器数据的基于能量的技术, 确定与所述多个传感器中的每个传感器关联的信号能量值;

用于执行以下任务中的至少一个的装置:

基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个生成可视化, 所述可视化包含在建筑物平面布置图上的覆盖图, 所述覆盖图示出与多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个, 以及

基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个, 确定激活或关闭致动器的时间。

12. 根据权利要求11所述的电子设备, 其中所述用于确定的装置包括基于应用到所述建筑物传感器数据的频谱分析技术, 确定与所述多个传感器中的每个传感器关联的所述相位值和幅度值的装置。

13. 根据权利要求11所述的电子设备, 其中所述用于确定的装置包括基于应用到所述建筑物传感器数据的基于能量的技术, 确定与每个传感器关联的信号能量值的装置。

14. 根据权利要求11所述的电子设备, 其中所述用于执行的装置包括用于执行基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个生成可视化的任务的装置, 所述可视化包含在建筑物平面布置图上的覆盖图, 所述覆盖图示出与多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个。

15. 根据权利要求11所述的电子设备, 其中所述用于执行的装置包括用于执行基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个, 确定激活或关闭致动器的时间的任务的装置。

16. 根据权利要求12所述的电子设备, 其中所述频谱分析技术包含基于库普曼的技术。

17. 根据权利要求13所述的电子设备, 其中所述基于能量的技术包含本征正交分解。

18. 根据权利要求12所述的电子设备, 其中所述建筑物传感器数据包含源自现实世界建筑物的数据和源自所述建筑物的模拟模型的数据, 其中所述电子设备进一步包括用于将从现实世界建筑物传感器数据获得的至少一个库普曼模式振幅或相位与从模拟模型传感器数据获得的至少一个库普曼模式振幅或相位比较的装置。

19. 根据权利要求11所述的电子设备, 其中随时间推移的所述多个值包含温度值、湿度值、气流值、压力值、人员占用率值、插塞载荷密度值和光强度值中的一个。

20. 根据权利要求11所述的电子设备, 进一步包括:

基于所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个鉴别感兴趣的最终输出的装置;

基于所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个鉴别影响感兴趣的所述最终输出

的多个输入的装置;以及

将所述最终输出和影响所述最终输出的所述多个输入表示为图的装置,所述图包含在源自影响所述最终输出的所述多个输入的第一输入和所述最终输出之间的边缘,其中所述边缘的厚度对应于所述第一输入对感兴趣的所述最终输出的影响。

21.一种用于评估建筑物属性的电子设备,包含:

用于存储数据集的工具,所述数据集包含建筑物传感器数据,所述建筑物传感器数据包含多个传感器的随时间推移的多个值;

处理工具,所述处理工具经配置基于所述数据集确定以下中的至少一个:

基于应用到所述建筑物传感器数据的频谱分析技术,确定与所述多个传感器中的每个传感器关联的相位值和幅度值,其中所述相位值和幅度值表示频域中的所述建筑物传感器数据,以及

基于应用到所述建筑物传感器数据的基于能量的技术,确定与所述多个传感器中的每个传感器关联的信号能量值;

所述处理工具另外经配置执行以下任务中的至少一个:

基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个生成可视化,所述可视化包含在建筑物平面布置图上的覆盖图,所述覆盖图示出与多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个,以及

基于和多个传感器关联的所述相位值、幅度值或信号能量值中的至少一个,确定激活或关闭致动器的时间。

22.根据权利要求21所述的电子设备,其中所述处理工具包含一个或更多处理器。

用于分析建筑物操作传感器数据的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请在U.S.C(美国专利法)第35条119款(e)下要求共同待决且共同受让的美国临时专利申请序列号No.61/371,432的利益,该申请由Igor Mezic和Bryan A.Eisenhower在2010年8月6日提交,标题为“SYSTEM AND METHOD FOR ENERGY EFFICIENT BUILDING DESIGN AND MANAGEMENT”,该申请通过引用包括在此。

技术领域

[0003] 在此披露的系统和方法一般涉及将建筑物传感器信息分析和分解成更可管理的形式,从而随后确定实际或虚构的建筑物的行为属性。

背景技术

[0004] 办公楼消耗在美国使用的能源的40%,以及在美国使用的电力的70%。能源消耗,无论是电能、矿物燃料或其他能源使用都变成关心的话题,不仅涉及资源的有效使用,而且涉及能源消耗已呈现的全球影响。

[0005] 由于对高效使用能源的兴趣高,因此已使用支持舒适、清洁且有效的建筑物设计的技术和工具多年。然而,这样的技术和工具的固有时间和长度规模一般相对长(多个小时、多天、大的建筑物空间),并且这些工具的性能预期随时间推移和巨大空间域平均化。

[0006] 例如,只要房间中温度保持在预定边界内,那么建筑物的占有者很少对温度的详情感兴趣,同时建筑物的拥有者仅对将其每月总能量成本保持在最小感兴趣。然而,当近来能量成本增加并且考虑环境影响时,这个状况急剧改变。

[0007] 许多现有效率提高方法寻求通过将个体建筑物能量系统部件或子系统最优化来实现全局建筑物效率。例如,更有效的压缩机被用作空调系统的改进,定时恒温器用来预期建筑物占用率,或如果在区域中的能量需求爆发的情况下公共设施公司可以关闭或最小化能量输送,那么从公共设施公司给予系统优先率。这样的方法不对建筑物管理或设计采取系统方法,这将允许甚至比当前使用的改进和可变使用条件更大节省。因此,存在对更全面的建筑物能量分析系统的需要。

发明内容

[0008] 披露用于分析建筑物传感器信息并将其中的信息分解成更可管理或更易控制且更有用形式的系统和方法。某些实施例将基于能量的和基于频谱的分析方法与参数采样和不确定度/灵敏度分析整合,从而实现建筑物行为的更全面洞察。该分析的结果可以经多种可视化向用户呈现,和/或用来自动调整某些建筑物操作。在某些实施例中,包括基于库普曼(Koopman)的操作的先进频谱技术用来从已收集的建筑物传感器数据分辨特征。

附图说明

[0009] 图1图解包括影响部件和建筑物传感器的多个环境的建筑物的剖面透视图。

- [0010] 图2是用于包含多个建筑物传感器的建筑物的平面布置图。
- [0011] 图3是一般化的逻辑流程图,其图解某些实施例的建筑物传感器数据分析怎样可以用于向用户呈现建筑物传感器数据分析的可视化。
- [0012] 图4是一般化的逻辑流程图,其图解实施例中的某些的建筑物传感器数据分析怎样可以在建筑物控制反馈系统中使用。
- [0013] 图5是图解G1oBEMS软件的某些实施例的模块化装置的系统图示。
- [0014] 图6是各种建筑物传感器数据的时间序列曲线图。
- [0015] 图7是一般化的逻辑流程图,其图解实施例中某些的建筑物传感器数据分析怎样可以用来执行特征分类和数据可视化。
- [0016] 图8是一般化的流程图,其图解由实施例中的某些的各种数据分析和处理技术。
- [0017] 图9是频率的曲线图,并更一般地是针对使用第一可视化技术的一组特别传感器数据的库普曼频谱的曲线图。
- [0018] 图10包含频率的曲线图,并更一般地包含针对使用第二可视化技术的一组特别传感器数据的库普曼频谱的曲线图,该第二可视化技术帮助从值的排列在各个频率选择数据。
- [0019] 图11是为源自图10的频率或模式选择的数据的平面布置图上内插覆盖图的图解。
- [0020] 图12示出在从图10的排列选择的特别相位的平面布置图上传感器数据的内插覆盖图。
- [0021] 图13示出用于执行数据的基于库普曼的分析的一般化流程图。
- [0022] 图14包含用于将物理系统建模为一连串输入和一连串输出的一般化系统图示。
- [0023] 图15包含确定性采样技术和使用蒙特卡罗技术的传统采样的并列比较。
- [0024] 图16是示出在一个可能的灵敏度分析中的各种等级的分解变量的表格。
- [0025] 图17是如在某些实施例中以分解的灵敏度网的形式使用的分解操作的结果的可视化。
- [0026] 图18是概括描述如在某些实施例中使用的灵敏度分析的逻辑流程图。

具体实施方式

[0027] 现代建筑物可以包括各种传感器从而监控建筑物的环境和能量使用。尽管这些传感器提供过多信息,但以相干方式组织该巨量数据可以是使人畏缩的任务。现有建筑物或仍有待建造的建筑物的计算机模拟可以相似包括巨量数据,该巨量数据的有用信息是难以提取的。在这些模拟结合源自现实世界和计算机模拟建筑物传感器的数据的情况下,可能尤其难以从传感器结果提取有意义信息。

[0028] 本实施例中的某些设想传感器数据分析套件,其包含便于建筑物传感器数据中相关特征的有效确定的多个数据分析工具。特别地,本实施例改善时间、计算能力,并减少确定影响能效的因素所必需的用户参与水平。这个全局建筑物能量管理系统的某些实施例使得所讨论的建筑物的全部参数和输出的分析可行,供应建筑物范围的最优化结果,其中甚至仅建筑物行为的一般理解可以是先前不可能的。

[0029] 图1图解包含多个环境和能量影响部件以及经配置监控建筑物行为的各种建筑物传感器的建筑物101的剖面透视图100。具体地,该建筑物可以包含电、煤气和加热部件102、

冷却塔104、照明103、供水系统109和其他设施。一些部件例如冷却管105、风扇106以及冷冻器和锅炉107可以经操作以调整建筑物101的各种房间的内部温度。传感器例如恒温器和恒湿器可以存在并在建筑物内局部工作。一些传感器可以向中心局或控制系统传输其数据，并从该中心局或控制系统激活。

[0030] 图2图解建筑物例如建筑物101的平面布置图201。尽管在这里示作单层的二维自顶向下视图，但人们认识到包括多层架构的三维描述的多个其他可能表示。在平面布置图201上图解的是数个传感器202a-c的位置。这些传感器中的每个可以在这里称为“物理场”的其特别位置测量建筑物的多个属性。“物理场”可以包含环境方面例如温度或湿度，但也可以包含系统方面例如功耗或电流。物理场传感器读数可以被转换成适当形式从而便于分析。例如，传感器可以记录温度的改变，或湿度的改变，或可以替代记录这些值在时期上的积分。替代地计算机系统能够执行对原始传感器数据的这个后处理。传感器可以例如测量物理场如温度、湿度、气流、电力、占用率、光、烟雾，和/或个别或组合使用的任何其他传感器。每个传感器可以本地存储信息，但也可以向中心系统传输信息。将其信息通信的这些传感器可以是无线的或有线的。某些实施例设想包含便于读数到中央系统的传输的特别基础设施的传感器。在包含无线传感器的某些实施例中，路由器可以用来从本地传感器收集数据，并将它们传递到中心系统。

[0031] 平面布置图201和传感器202a-c可以不反映实际的现实世界建筑物和传感器布局，但可以代替地反映建筑物的虚构模型，例如软件模型。这样的模型可以包含有待建造的建筑物，或已经建造的建筑物。在虚构的平面布置图中，可以通过在不同模拟循环上从模型提取模拟值来模拟每个传感器。在一些系统中，可以使用组合的实际与虚构系统。例如，在图2中，现实世界物理数据可以从现实世界传感器202a和202b取得。然而，传感器202c可以不在现实世界中存在，并可以用虚构的软件传感器代替。相似地，传感器202a-c可以全部实际存在，但可以获取不同数据或经不同标准获取数据。软件模拟可以然后用来补充在传感器之间的数据从而实现均匀的传感器读数。

[0032] 一旦已从传感器202a-c获取数据，那么希望基于已测量的物理场推断建筑物的行为方面。尽管用户例如建筑师或建筑运营者可以直接分析数据，但在没有执行数据处理的情况下分辨重要行为可以是非常困难的。数据处理系统可以包含具有处理器和存储器的计算装置。该系统可以是个人计算机或集群计算机的形式，并可以涉及在计算云中的计算装置，或可以实施为嵌入式系统，或以含有基本处理和存储器单元的其他形式实施。某些实施例设想可以在数据处理硬件上运行的数据处理软件。该软件可以包含如在下面更详细描述频谱空间信息模块、图分解信息模块和灵敏度分析模块。使用该软件的操作员可以能够分辨否则通过传感器数据的复杂性保持隐藏的建筑物行为。

[0033] 图3示出一般化的逻辑流程图，其图解实施例中的某些的建筑物传感器数据分析怎样可以用于向用户呈现建筑物传感器数据分析的可视化。系统通过从建筑物获取实际的或虚构生成的传感器数据302开始。系统然后分析传感器数据303。分析传感器数据303可能需要将数据转换成更服从分析的形式，如在下面更详细描述的使用正交分解、基于频率的分析，等等。系统可以然后基于分析产生视觉表示304，从而基于一个或更多已测量物理场向用户提供建筑物行为的清晰概念。检查该视觉表示304的用户可以然后人工调整建筑物设计或建筑物操作，从而实现更可取的建筑物行为。

[0034] 图4示出另一一般化的逻辑流程图,此时图解实施例中的某些的建筑物传感器数据分析怎样可以在反馈系统中使用。这里分析被用作反馈过程的部分从而自动调整建筑物的行为。例如,当使用虚构的传感器设计建筑物时,图4的系统可以执行建筑物行为的模拟,分析结果303,然后将建筑物配置作为监督控制过程404的部分调整到更最优设计。该过程可以迭代执行直到达到希望的停止条件。在现实世界系统中,取而代之的是过程可以使用可以包含一个或更多致动器的建筑物控制系统405调整建筑物控制系统参数。例如,在分析之后系统可以为特别房间中的空调建立新的激活模式。某些实施例设想仅执行可视化(图3)或自动控制(图4)中的任意一个,而其他实施例设想执行两者,可能重复使用相同的数据分析303。

[0035] 本实施例中的某些设想统一软件套件,其便于在图3和4中示出的观察和操作中的某些。图5示出称为全局建筑物能量管理系统(G1oBEMS)的该软件系统的一个实施例。提到的能量可以包含和评估建筑物行为相关的热量数据、电数据或由传感器提供的任何其他物理场数据。此外,由系统考虑的一些数据可以得自传感器之外的来源,例如日历信息、建筑物会议安排以及天气信息。G1oBEMS系统可以包括用于有效分析、可视化并控制建筑物能量使用,以及用于设计允许更有效能量使用的建筑物的方法和设备。这样的系统可以在软件、固件或硬件中实施,如在下面更详细描述。

[0036] 图5的软件系统的图形表示可以一般分成三个模块。如在下面讨论的,数据收集可以涉及从现实世界物理场传感器511收集数据,或通过使用虚构的建筑物能量模型510收集数据,或通过使用该两者的组合收集数据。可以使用改善模型信息质量的数据同化技术整合传感器数据和建筑物能量模型数据。第二模块,数据处理模块502可以然后将从数据收集模块501获取的数据变换成更可修正的形式以便分析。可以然后向可视化和/或致动模块503呈现已分析数据,该模块503将数据531可视化或致动某些建筑物系统532,如在上面关于图3和4分别描述的。

[0037] 有效可视化或系统修改需要适当分析数据。某些实施例设想使用图分解模块521、灵敏度分析模块523、频谱空间分解模块522中的一个或更多,其包括库普曼模式方法和基于能量的(在一些实施例中本征正交分解[POD])方法,如在下面更详细描述。这些模块的结果可以向可视化和致动模块503直接提供,或可以首先经系统整合模块524整合。特别地,可以使用系统整合模块524整合并细化源自图分解521、包括库普曼模式方法和POD方法的频谱空间方法522,或灵敏度分析与不确定度和灵敏度分析模块523的信息。源自数据处理模块的信息可以由可视化和/或致动模块用来分别地将数据分析的结果可视化或基于其采取行动。

[0038] 某些实施例设想在图分解模块521、频谱空间分解模块522和灵敏度分析模块523之间的进一步交互。特别地,在系统或用户已经使用频谱空间分解模块522执行分析之后,某些实施例设想使用该结果,从而用灵敏度分析模块523执行灵敏度分析,或使用图分解模块521执行图分解。在一些实施例中,系统可以通过跨多个参数值执行频谱空间分析来迭代执行灵敏度分析或图分解。即,在研究实际建筑物的情况下,例如在下午的窗口阴影长度的参数可以被设定成多个值中的一个,并且频谱空间分析随后为每个值执行。灵敏度分析可以然后在结果模式上执行。相似过程可以为源自虚构模型的模拟建筑物数据发生。系统或用户也可以用相似方式使用频谱空间分解模块522和图分解模块521执行迭代分析。如在图

中表明的,某些实施例也设想灵敏度分析模块523通过与图分解模块521直接交互来执行分析。

[0039] 人们容易认识到并非这些模块中的全部都需要在单个系统中存在,并且某些实施可以省略或包括示出模块之外的另外模块。例如,处理软件模块也可以包括能量模型、流模型或计算建筑物中物理变量的未来状态的任何其他物理模型。处理软件可以含有互链接、组合并另外处理于此描述的软件模块中任何信息的模块。

[0040] 某些实施例设想将系统500与包括可视化装置例如计算机终端的用户接口整合。这样的计算机终端可以位于建筑物的公共区域例如大厅,建筑物的商务部分例如办公室、商店,数据中心以及其他或建筑运营者办公室。致动系统可以包括至少一个致动器,该致动器能够致动系统中的物理改变,例如系统的质量、能量或照明状态的改变,或向占有者或运营者提供使得他们能够在建筑物系统中施加物理改变的信息,例如显示对建筑物中能量控制的重要性消息的可视化系统。

[0041] 传感器数据分析——概述

[0042] 图6图解用于多个传感器的例子数据集601。对于每个传感器,可以生成数据廓线602a-c,其描述随时间604推移的传感器的值603。在该特别例子中,传感器在周期性间隔记录温度值。人们将认识到如果传感器在不同周期或用相对相位偏移采样,那么可以在传感器数据之间内插点从而促进连续数据集。相似地,可以为其他原因例如传感器何时提供稀疏数据集而内插数据。尽管用户可能通过视觉检查示作603的原始传感器数据来分析建筑物行为,但他们可能忽视某些重要特征。

[0043] 图7图解可以通过其将传感器数据转换成更易控制以由用户或由自动化系统分析的形式的一般过程701。初始,可以将原始传感器数据702组织成用于数据操作的形式。在一些实施例中,在感兴趣的时期上的各个传感器值的记录可以组织成矩阵,并且内插在值之间按需执行从而实现完整数据集。该数据集可以然后变换703成所需的分析形式704。在一些实施例中该变换703可以包含傅里叶变换、库普曼或其他基于频谱的技术。一般说来,可以仅在需要库普曼算子的本征值和本征向量的子集时使用例如傅里叶变换和阿诺尔迪(Arnoldi)法的方法。在想要更完整的本征值和本征向量集的情况下,可以使用例如梅兹克(Mezic)法的方法。在一些实施例中,变换703也可以包含POD(例如主分量分析),或其他基于能量的分析技术(本领域技术人员认识到Mori-Zwanzig形式体系(formalism)、最优预测和其他投影方法)。

[0044] 变换数据集704可以然后用来生成705传感器数据结果的可视化706,如在上面关于图3描述的。可视化706的生成705可以与感兴趣区域的用户指定选择一起发生。在一些实施例中,可视化可以包含如在图7中示出的覆盖图。系统可以代替地分析修改的数据704并调整控制行为而不是产生可视化,如在上面关于图4讨论的。

[0045] 传感器数据分析——方法概述

[0046] 本实施例中的某些提供用户或控制系统可以从中选择的一套数据分析技术。图8示出用于按照图7的一般描述过程生成数据的方法中的某些。特别地,由图8图解的实施例包含基于能量的一套方法810,以及基于频谱的一套方法820。基于能量的套件可以包含技术例如本征正交分解(POD)(人们将容易认识到本领域中POD的各种表征,例如主分量分析(PCA)、Karhunen-Loeve变换(KLT)或霍特林(Hotelling)变换)。基于频谱的分析可以包含

傅里叶变换和可能使用阿诺尔迪或Mezic(空间场的调和平均)方法实施的库普曼法,如在下面更详细讨论的。

[0047] 系统通过接收可能被预处理并排列成合适形式的原始传感器数据802而开始801。在一些实施例中已接收数据可以组织为矩阵,其中在时间中特别瞬间的传感器值置于每列或行中。如在上面讨论的,可以执行在传感器值之间的内插。较高阶矩阵或张量可能用来组织更详细的数据集,尽管以下描述为说明为目的的是关于二维矩阵的。

[0048] 某些实施例设想使用源自套件810、820等中的每个的不同方法执行多个分析。可以选择并执行基于能量的分析例如POD分析(如在下面更详细一般地描述的)。POD将生成包含在特别能量水平与每个传感器关联的值的多个向量。用户或系统然后可以选择感兴趣的能量水平812。与已选择能量水平关联的向量可以然后用来在其各自传感器中的每个生成与在下面更详细描述图12的覆盖图相似的可视化830。如提到的,替代地,系统可以分析已选择能量水平从而确定采取的适当行动。

[0049] 传感器数据变换——本征正交分解

[0050] 如提到的,在某些实施例中传感器数据可以经POD变换成更易控制用于分析的形式。由于POD包含多种分解技术,因此以下描述仅是用于描述目的的某些实施例的概括。

[0051] 在POD期间,系统可以首先从实际的、模拟的或部分实际和模拟的建筑物传感器数据接收物理场数据。在一些实施例中,可以然后减去数据的平均值,并且计算已修改数据集的协方差矩阵。可以然后计算该协方差矩阵RR06的本征值和本征向量。可以使用用于本征值的计算或估计的已知技术,例如矩阵分解(支持向量分解)或雅可比本征值算法。带有最高值的本征值可以称为“主分量”,并且基于本征值的各自量值/大小执行本征值的总排序。对应于每个本征值的本征向量可以基于本征值大小相似地排序。这些本征向量中的每个都可以称为模式(第一模式是“主分量”,等等)。取决于系统配置,可以选择一些数目的最大本征向量从而形成“特征向量”。数据然后投影到这个特征空间上从而推导POD特征或模式。上面仅是POD过程的一般概述,并且本领域技术人员容易认识到众多各种和省略的详情。

[0052] 因此,POD生成多个实向量(即包含实分量的向量)和关联能量值(本征值或奇异值)。这些向量或模式可以然后用来将传感器数据的支配动能的空间位置可视化。为清楚,传感器数据的“动能”或“频谱能”在这里在信号处理意义上指代信号中的“能量”。该能量可以与建筑物中的热能、电能或其他物理场能量相关或相同或可以与之不相关或相同。

[0053] 系统或用户可以然后选择能量水平和关联本征向量,从而执行外观上相似于图11的可视化。特别地,源自向量的每个值在平面布置图上对应传感器的空间位置处的覆盖图中描绘,并且可以按需适当缩放。可以然后执行值之间的内插从而描绘在覆盖图上传感器位置之间的中间值。这可以使得更容易确定建筑物行为属性,并将错误操作从非错误操作区分开,尤其是通过鉴别既不典型的(其中可以基于建筑物的操作的测量值或通过运行能量模型来建立典型行为)也非用户请求的本征正交模式中的动能含量来区分。这样的信息也可以用来设计监督控制器。当使用POD在空间位置鉴别错误操作时,可以指示在该位置的致动器执行校正操作。

[0054] 遗憾地,尽管POD对确定数据的一些特征有用,但其不总是适合于建筑物行为的全面理解。具体地,上面POD分析的最大本征值表明已变换数据集的最高能量模式。基于最高模式组织数据不总是有用的。这些能量可以包含反之反映建筑物操作中的异常行为的许多

不同频率的信息。此外,POD的每个本征向量可以与其同位体正交。因此,在一些实例中,可以更优选基于将数据变换成便于具体包括频率内容的数据内容的更通用反映的形式之后的数据来观察或采取行动。在某些实施例中,频谱变换例如傅里叶或更一般化的基于库普曼的分析提供该通用性。

[0055] 传感器数据变换——基于频谱的途径——傅里叶变换

[0056] 数据的频谱和模态内容可以揭露关于数据内容的有用信息,尤其在该数据源于建筑物传感器时。可以检测到传感器故障、不适当安装或委托的控制系统,以及老化或功能故障的设备。尽管库普曼和傅里叶法在该文档中分开讨论,但人们容易认识到傅里叶法包含在此提到的更一般的基于库普曼的方法的具体实例。

[0057] 频谱分析也对建筑物模型的校准有用。频谱分析提供确定建筑物性能的迅速方式,并可以因此用作确定与现实世界数据中所见性能相比的模型性能的不同的度量。频谱分析可以用来通过将模型的频谱模式与数据比较来重校准建筑物系统模型。例如,如果源自模型的相位响应不同于在数据中所见的相位响应,那么可以重校准模型。

[0058] 在某些实施例中,快速傅里叶变换(FFT)可以用来确定传感器数据的频率特性。在这些实施例中,系统可以迭代通过数据集中的每个传感器,并且在已选择周期上为传感器值计算FFT。人们将容易认识到用于计算傅里叶变换的替换方法,例如通过执行数据的多维FFT来计算。在任一情况下,在某些实施例中的傅里叶变换将产生包含复值项(表示对应相位和幅度)的“模式”矩阵,在这些实施例中,矩阵的第一维可以对应于传感器值中的每个(M个传感器的矩阵中的M行)。矩阵的第二维可以对应于同样由傅里叶变换产生的频率的向量(N个频率的矩阵的N列)。因此,对于包含M行和N列的矩阵($M \times N$ 矩阵),该矩阵项表示与第N个频率关联的第M个传感器的值。再次,这些项中的每个都是复合的从而表示相位和幅度。在这样的排列中,N个列中的每个都可以称为“模式”。

[0059] 同样,M个行中的每个都可以从矩阵分离从而为传感器创造“频率向量”。模式可以从矩阵类似地分离。因此,矩阵的每个列都包含和频率向量中第i个频率相关的模式。人们认识到该排列仅用于说明目的并且相同数据可以被不同地组织。

[0060] 一旦获取傅里叶表示,那么用户或系统可以然后选择感兴趣频率或模式824(矩阵的第N列),并且确定对应向量或频率值825(该列的M个传感器项中的每个)。系统可以然后基于已选择矩阵行的复合项为每个传感器确定幅度和相位826。这将生成可以与每个传感器关联的一对值。系统可以生成幅度的第一曲线图830和相位的第二曲线图830。幅度曲线图的讨论参考图11做出,并且相位曲线图的讨论参考图12做出。如先前讨论的,取而代之地,该系统可以对分析采取行动。

[0061] 图9示出如通过方法例如傅里叶变换确定的传感器数据集频谱特性的一个可能可视化900。这里,周期901而不是频率已经被用来组织每个传感器值。值的大小由纵轴904示出。每个圈902a-c代表对应于特别周期/频率的传感器值,在此情况下是42小时/循环903。尽管图9的表述900是准确的,但人类运营者或自动化系统可能难以从这样的可视化确定建筑物的行为。

[0062] 图10示出使用例如傅里叶变换或基于库普曼的途径确定的数据集的频谱特性的另一可能可视化。这里传感器值沿纵轴组织,对应于已生成矩阵的M个行。频率/周期1030沿横轴表示,对应于已生成矩阵的N个列。一般地,频率分辨率可以由可用数据约束。然而,算

法例如FFT可以提供参数以便指定有待对其执行计算的频率网格(frequency grid)。用于在可用数据点之间内插的另外方法也是本领域技术人员容易已知的。对于每个项1010,传感器值的对应幅度由强度示出。在一些实例中,强度可以用项的色彩或亮度反映,或如果可视化在3D视图中呈现那么可以由高度反映。这个三维表述(传感器、周期和幅度)便于在特别频率的与传感器关联的值的用户选择。例如,在某些软件实施中,用户可以在范围1060中沿频率1050a-c移动滑块,并在已选择频率1050a-c中的每个为全部传感器生成对应可视化1051a-c。通过可视化的检查1020,用户可以鉴别异常频谱行为,例如在项1010表示的异常频谱行为。用户可以选择对应频率1050a并生成对应的可视化1051a。

[0063] 一个这样的可视化1110在图11中示出。已选择所需频率,系统可以在对应向量的每个传感器值之间迭代。这些值可以被分配到建筑物平面布置图上覆盖图中的每个传感器1120a-d。尽管在这里图解为二维平面布置图,但人们认识到也可以提供三维表示。系统可以然后将附近传感器内插或平均化在传感器1120a-d值的每个之间生成值,例如在像素位置1140。在该例子中,对应于传感器1120c和1120d的值非常高,而邻近值低得多。如果不意图使在这些传感器位置的物理场在已选择频率是活跃的,那么这可以表示异常行为属性。人们将认识到已鉴别行为属性是与建筑物的物理场相关的任何属性,例如温度波动、能量使用波动、电活动波动等。确定这样的行为属性可以涉及从上面处理的数据识别行为属性的自动化系统或作为可视化的部分向用户呈现的属性。在一些实施例中,传感器影响可以由从像素位置1140到传感器的距离加权。人们将容易认识到相似的内插覆盖图可以为任何基于传感器的值集例如POD分析的结果生成。任何物理场可以用该方式绘图。例如,温度、湿度、气流、压力、人员占用率、插塞载荷密度、光强度等可以全部在建筑物的平面布置图上覆盖。

[0064] 如提到的,矩阵的每个复合项将帮助传感器的幅度和相位信息两者。对于这些基于频谱的技术,可以为传感器的相位信息生成类似1110的可视化。图12描述在平面布置图1200上再次覆盖的相位可视化。这里,与传感器关联的每个值表示传感器数据和在已选择频率1050a的参考频率之间的相位差。某些频谱技术例如傅里叶变换一般生成关于零参考的相位,或无相位。在一些实施例中,取而代之的是,传感器数据1230的相位相对于环境室外气温1220的频率校准。即,如果传感器数据具有30个循环的相对于零相位的相位,并且室外气温具有20个循环的相对于零的相位,那么用于生成可视化1200的传感器相位值可以是10个循环。用户或系统可以选择环境气温之外的替换参考,例如与建筑物的工作小时关联的相位。这样,可视化1200基于兴趣示出传感器。

[0065] 尽管傅里叶分析提供关于建筑物传感器数据的频谱特性的重要信息,但系统或用户受约束从而根据该变换固有的原理分析频谱特性。

[0066] 如果系统或用户具有对已生成频谱内容的特性的更大灵活性和控制,那么系统或用户可以更好能够鉴别异常建筑物行为或感兴趣区域。某些实施例设想应用比傅里叶变换更复杂的技术,例如基于库普曼的频谱技术。一般地,库普曼分析为评估一组传感器数据的频谱特性提供较少约束的工具集合。在一些实施例中通过应用阿诺尔迪、Mezic或相似方法来确定数据的库普曼特性。

[0067] 传感器数据变换——基于频谱的途径——基于库普曼算子的频谱方法

[0068] 库普曼算子是与完全非线性系统关联的无限维线性算子。特别地,考虑在流形M上

演变的动态系统,以使对于 $x_k < M$,

$$[0069] \quad x_{k+1} = f(x_k) \quad (1)$$

[0070] 其中 f 是从 M 到其自身的映射,并且 k 是整数系数。作为例子,流形 M 可以包含传感器集合的可能传感器值的整个域。系统整体上可以在时间 k 拥有状态 x_k ,并随后在时间 $k+1$ 拥有状态 x_{k+1} 。映射或函数 f 然后表示系统通过其从每个连续状态即在每组传感器值之间转换的手段。库普曼算子是用以下方式在 M 上作用于标量值函数的线性算子 U :对于任何标量值的函数 $g: M \rightarrow \mathbb{R}$, U 将 g 映射到由以下方程给出的新函数 Ug

$$[0071] \quad Ug(x) = g(f(x)) \quad (2)$$

[0072] 依靠算子以此方式将这些函数相关的能力,算子拥有关于函数 f 的本性的重要信息。若为与建筑物关联的函数确定算子,那么其产生关于该建筑物的质量的重要信息。遗憾地,尽管动态系统是非线性的并且在有限维流形 M 上演化,但库普曼算子 U 自身是无限维的。因此,精确计算库普曼算子自身一般是棘手的。此外,建筑物系统通常包含大组的传感器数据 x_k, x_{k+1}, x_{k+2} 等,并且描述该关系的函数 f 通常极复杂且未知。

[0073] 因此,希望分析在库普曼算子中含有的系统信息,但仅使用可用的通过数值方法或经验收集的数据并且不必须明确计算算子。本实施例中的某些反而设想计算库普曼算子 U 的本征函数和本征值,并使用这些作为系统分析的基础。此外,这些实施例采用仅从一组有限已知数据推导本征函数和本征值的方法。令 Φ_j 表示库普曼算子的本征向量或本征函数(在此称为库普曼本征函数),并令 λ_j 表示本征值(在此称为库普曼本征值),那么:

$$[0074] \quad U\Phi_j(x) = \lambda_j \Phi_j(x), \quad j = 1, 2, 3 \dots \quad (3)$$

[0075] 已知数据集可以然后被表征为向量值的可观察量 $q: M \rightarrow \mathbb{R}^p$ 。即,源自可能值的全域的值集合。可观察量 q 可以被投影到库普曼本征向量上从而获得所需的频谱信息。可以然后按照其相对于库普曼本征空间的分量来表示数据集,即表示为:

$$[0076] \quad q(x) = \sum_{j=1}^{\infty} \phi_j(x) v_j \quad (4)$$

[0077] 其中 v_j 是向量的线性组合,其表示沿库普曼本征向量或有时称为本征函数 Φ_j 的分量的 $q(x)$ 的分量。一些实施例将这些向量称为数据的“库普曼模式”。因此,库普曼本征值 λ_j 表征对应库普曼模式 v_j 的时间行为。 λ_j 的相位确定频率,并且幅度确定增长率。库普曼本征值表征对应库普曼模式的时间行为。可以用与关于图11讨论的傅里叶变换相似的方式视觉描绘库普曼模式。

[0078] 库普曼本征向量和本征值的计算可以通过各种方法实现,包括阿诺尔迪算法、雅各比法的变体,以及在下面更详细描述的Mezic法。库普曼算子频谱的质量可以用来迅速强调控制器功能中的不一致性。如关于傅里叶变换讨论的,研究库普曼模式一般包含计算库普曼算子的频谱并然后选择感兴趣的特别频率。可以然后获得并研究与已选择频率关联的库普曼模式。库普曼模式信息进一步允许用户快速量化建筑物动力学的这些非常重要的部分是否在模型中被适当建立。这可以便于鉴别预测和测量之间的不同,并因此强调关于建筑物的性能问题。基于幅度和相位信息的理解也可以用来改进对应的模拟模型。基于库普曼的方法良好适合含有显著量的周期性内容的动力学。库普曼法促进关于传感器功能的迅速结论,并也可以用来更迅速比较模型和现实世界数据。库普曼算子的完整描述可以在通过引用包括在此的Rowley等人的“Spectral Analysis of Nonlinear Flows”, Journal of

Fluid Mechanics(2009),641:115-127中发现。

[0079] 图13图解用于执行数据的基于库普曼的分析的一般化流程图。基于库普曼的操作821在频谱技术的套件820的某些实施中发现。一般地,这些基于库普曼的操作基于多个方法(在下面更详细讨论的)中的一个确定数据集的库普曼算子的本征空间1301(本征函数的集合)。系统可以然后将原始数据集投影1302到该已确定的本征空间上,在一些实施例中通过取内积来投影。这将产生频谱数据,感兴趣频率824和关联的可视化可以从该频谱数据产生。尽管在图13中示作两个分离步骤,但人们容易认识到计算实施可以同时执行这些操作或实际上经其他操作执行。

[0080] 库普曼模式的计算——阿诺尔迪法

[0081] 以下公开内容呈现一种可能算法,阿诺尔迪(Arnoldi)法,用于仅给定在规则时间采样的特别可观察量(快照)的值的条件下计算库普曼模式。源自现实世界传感器的数据可以常规地是这些快照的形式。我们假设对于任何状态 x ,可以测量向量值的可观察量 $g(x) \in \mathbb{R}^p$ 。具体地,阿诺尔迪算法在应用到非线性系统时产生对库普曼算子的本征值及其对应模式的近似。

[0082] 以下讨论提供在线性系统上操作并且不需要基础算子 A 的明确知识的阿诺尔迪算法例子版本。然而,某些实施例设想应用到非线性系统的算法的替换解释,并与库普曼模式联系。在非线性背景下的阿诺尔迪法的应用也在通过引用包括在此的Rowley等人的“Spectral Analysis of Nonlinear Flows”,Journal of Fluid Mechanics(2009),641:115-127中讨论。

[0083] 用于线性系统的示例阿诺尔迪算法

[0084] 以下是可以在实施例的某些中应用的阿诺尔迪算法的某些方面的一般讨论。考虑线性动力系统

$$[0085] \quad x_{k+1} = Ax_k \quad (5)$$

[0086] 其中 $x_k \in \mathbb{R}^n$,并且 n 如此大以至于我们不可以直接计算 A 的本征值。某些实施例使用克雷洛夫(Krylov)法计算这些本征值的估计,克雷洛夫法中人们用初始向量 x_0 (经常挑选成随机向量)开始并计算 x_0 的迭代。在 $m-1$ 个迭代之后,人们具有跨越由取值范围 $\{x_0, Ax_0, \dots, A^{m-1}x_0\}$ 给出的克雷洛夫子空间的 m 个向量的集合。某些实施例然后将 A 投影到该 m 维子空间上,并计算产生的低秩算子的本征向量和本征值,将本征值和本征向量求近似。数据向量可以堆叠成 $n \times m$ 矩阵

$$[0087] \quad K = [x_0 Ax_0 A^2 x_0 \cdots A^{m-1} x_0]$$

$$[0088] \quad = [x_0 x_1 x_2 \cdots x_{m-1}] \quad (6)$$

[0089] 然后我们希望寻找 A 的近似本征向量作为 K 的列的线性组合。阿诺尔迪算法是其中人们在每个步骤将迭代正规化的克雷洛夫法的类型,并因此其涉及在任意向量上计算 A 的作用。不需要明确了解 A 的该算法的变体在下面给出。

[0090] 第一,考虑其中第 m 次迭代 x_m 是先前迭代的线性组合的特殊情况。我们可以写作

$$[0091] \quad x_m = Ax_{m-1} = c_0 x_0 + \cdots + c_{m-1} x_{m-1} = KC \quad (7)$$

[0092] 其中 $c = (c_0, \dots, c_{m-1})$,因此,我们具有

$$[0093] \quad AK = KC \quad (8)$$

[0094] 其中 C 是由以下等式给出的伴随矩阵

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & \dots & 0 & c_0 \\
 & 1 & 0 & & 0 & c_1 \\
 [0095] & C = & 0 & & & c_1 \\
 & \vdots & & \ddots & & c_1 \\
 & 0 & 0 & \dots & 1 & c_{m-1}
 \end{array} \quad (9)$$

[0096] 那么C的本征值是A的本征值的子集:如果

$$[0097] \quad Ca = \lambda_a a \quad (10)$$

[0098] 然后使用(8),人们可以验证在具有本征值 λ 的情况下 $v = ka$ 是A的本征向量。

[0099] 更一般地,如果第M次迭代不是先前迭代的线性组合,那么代替方程(7),我们具有余数

$$[0100] \quad r = x_m - Kc \quad (11)$$

[0101] 其在挑选c以使r正交于取值范围 $\{x_0, \dots, x_{m-1}\}$ 时最小化。在此情况下,关系(3.5)变为 $AK = KC + re^T$,其中 $e = (0, \dots, 1) \in \mathbb{R}^m$ 。C的本征值然后近似于称为里兹(Ritz)值的A的本征值,并且对应的近似本征向量由称为里兹向量的 $v = Ka$ 给出。注意完整的阿诺尔迪法比该方法在数值上更稳定,并将A减小到上黑森伯格(hessenberg)矩阵而不是伴随矩阵。

[0102] 如关于图13提到的,上面算法的重要特征是其不需要矩阵A的明确知识:其需要的全部是向量的序列,如在下面概述的。

[0103] 考虑序列 $\{x_0, \dots, x_m\}$,其中 $x_j \in \mathbb{R}^n$ 。通过以下算法定义该序列的经验里兹值 λ_j 和经验里兹向量 v_j :

[0104] 通过(3.3)定义K并找到常量 c_j ,以使

$$[0105] \quad r = x_m - \sum_{j=0}^{m-1} c_j x_j = x_m - Kc, r \perp \text{范围}(x_0, \dots, x_{m-1}) \quad (12)$$

[0106] 通过(3.6)定义伴随矩阵C并寻找其本征值和本征向量

$$[0107] \quad C = T^{-1} \Lambda T, \Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_m), \quad (13)$$

[0108] 其中本征向量是 T^{-1} 的列。

[0109] 将 v_j 定义为 $V = KT^{-1}$ 的列。

[0110] 如果 $x_j = A^j x_0$,那么经验里兹值 λ_j 是在阿诺尔迪法的m个步骤之后的通常里兹值,并且 v_j 是对应的里兹向量。这些可以提供A的本征值和本征向量的良好近似。然而,如果我们没有 $x_j = A^j x_0$ (例如,如果序列由非线性映射生成),那么在这点上,不清楚上面的算法产生什么。对于非线性系统,该算法产生库普曼模式和关联本征值的近似。非线性系统的对应描述可以在通过引用包括在此的文献(见于例如Rowley等人的“Spectral Analysis of Nonlinear Flows”, Journal of Fluid Mechanics(2009), 641:115-127)中发现。

[0111] 除阿诺尔迪法之外,本领域技术人员熟悉用于计算库普曼算子的其他方法,例如Mezic等人的方法。Mezic途径的一般讨论可以在通过引用包括在此的Igor Mezic的文献“Spectral Properties of Dynamical Systems, Model Reduction and Decompositions”, Nonlinear Dynamics(2005)41:309-325中发现。

[0112] 参数采样和灵敏度分析

[0113] 尽管上面基于频谱和能量的方法可以用来确定传感器数据集的特性,但建筑物行

为的有效表征也取决于选择从其收集数据的合适传感器与合适物理场。因此,独立于或连同用于数据变换和分析的上述方法,本实施例的某些设想也使用建筑物管理系统,其使用建筑物的模型和在下面更详细描述某些分解方法鉴别相关传感器和物理场以便分析。组合的库普曼分析-分解方法也在下面更详细讨论。

[0114] 图14图解系统1403,该系统1403接收多个输入1401a-d并产生多个输出1402a-b。系统1403在这里表示建筑物的虚构的计算机模型,例如通过使用本领域技术人员已知的Energy Plus、TRNSYS或Equest模型中的一个来表示。通过改变输入1401a-d并监控在输出1402a-b上的效果,可以确定输入之间与输入和输出之间的关系。

[0115] 分解方法包含用于通过辨认哪些数据分量最大相互影响或最大影响一个或更多感兴趣物理场,将数据的复杂排列缩小到更有用形式的方法。在建筑物效率的背景下,能效和环保目标可以受系统中广泛种类的分布式部件影响。建筑物的结构元件、通信系统、感测系统、运输系统、空气质量系统以及电力系统可以用高度复杂的方式相互作用。这些部件的行为可以在软件中建模。这些能量模拟工具可以包含描述各种干扰(源自天气、人、控制系统等)影响建筑物的热动力学行为的方式的一套详细物理关系(差分的、代数的等等)。在这些方程内,可以存在数千个参数或输入。有时由分析的最优教导猜测供应这些值。遗憾地,参数错误可以导致准确表示现实世界行为的工具产生错误结果。

[0116] 关于图14,希望为每个输入1401a-d和关联粒度选择值的范围。然后,可以在输入值迭代的每个处运行计算机模拟,并且观察到结果输出。例如,对于包含窗口阴影长度的输入,该范围是以英尺为单位的窗口阴影的从无延伸(0英尺)到完全延伸(4英尺)的距离。由于来自0-4的范围包含无限数目的中间值,所以分析员可以为特别粒度选择离散值。例如,可以选择一英尺的粒度因此考虑的输入值的集合是0、1、2、3和4英尺。对于全部输入,分析员可以在这些值中的每个之间迭代,并运行对应模拟从而生成对应输出1402a-b。通过在迭代经过输入值的每个可能组合时观察输出1402a-b,分析员可以推断输入中的每个之间以及输入和输出之间的关系。在一些模拟中不是全部参数都个别改变(一次一个)。在其他模拟中,参数可以全部同时改变(这可以计算上更有效)。某些系统可以将粒度调整为另一输入,从而确定模型怎样反应,并且不需要与在该例子中一样在范围内选择均匀分布的粒度。

[0117] 实际上,由于参数范围和分布的选择将影响建筑物模型的已采样行为,因此某些实施例考虑使用伪随机和随机技术选择范围和分布。图15图解与使用随机技术例如蒙特卡罗法1502相比,使用传统采样技术1501的确定性采样方法的结果。本实施例中的某些设想使用任一采样方法。

[0118] 在确定性采样中,不是随机选择下个点来采样,而是方程可以用来寻找下个采样点。这样的方程可以写作

$$[0119] \quad x' = T(x) \quad (14)$$

[0120] 其中 x' 表示下个采样位置,并且 $T(x)$ 描述先前采样位置 x 的映射。如果这样的映射 T 是均匀遍历的,那么可以获得采样的良好收敛属性。随机采样方法取而代之使用随机算法例如蒙特卡罗法选择下个点。在传统方法(蒙特卡罗法)中,聚丛(clumping)可以在采样方法中发生。这些聚丛的采样点可以表示采样方法的低效,并且在建筑物设计的分析中浪费时间。拉丁超立方采样(LHS)可以用来在获取随机样本之前将空间初始划分成均等概率区域从而避免该问题。

[0121] 某些实施例将蒙特卡罗和准蒙特卡罗(即确定性的)方法的使用组合,这可以比单独使用蒙特卡罗方法快得多且精确得多。准随机采样方法可以提供更快收敛速率和更少模拟从而获得与其他方法提供的准确度相同的准确度。这可以允许在相同的时间量中处理更多的不确定参数。

[0122] 不确定度和灵敏度分析

[0123] 一般地,分析员可以不知道给定输入的值的精确范围,并且反而必须做出不确定的猜测。不确定度分析包含输入1401a-d的不确定度怎样影响输出1402a-b的不确定度的量化。灵敏度分析鉴别在输出1402a-b中的不确定度可以怎样在过程或模型中分配到输入参数1401a-d的不确定度。不确定度分析可以一般被认为是数据特性的“自底向上”评估,而灵敏度分析包含“自顶向下”评估。尽管分析员可以从过于简单的拓扑例如图14测量不确定度,但本实施例中的某些设想数据输入的分层排列,从而更优确定其相互关系以及与输出1402a-b的关系。可以使用导数、间隔、变量等或任何其他变化量表征不确定度。在一些实施例中,不确定度和灵敏度分析可以包含三个途径中的一个:参数筛选、局部灵敏度方法和全局方法。这些途径中的每个在其复杂度和准确度上不同。

[0124] 参数筛选是一次粗化一个参数(OAT)途径,其研究参数的极值并通过按重要性将其排序来迅速鉴别其怎样影响输出。该方法对于研究带有少量不确定参数的模型有效。

[0125] 局部灵敏度方法使用输出和输入之间局部导数的数值近似来估计参数灵敏度。存在少量不同方法来计算该导数(有限差分、直接方法、使用格林函数等),但每个方法通常需要OAT采样。再次,该方法对于研究小数目的不确定参数有效。顾名思义,局部方法仅获得在已采样空间中不同位置的近似灵敏度结果。

[0126] 相反,全局方法计算输出的变量怎样由于参数空间的整个已采样范围而变化。不同于局部方法,全局途径不假设数据或产生数据的过程中的线性或单调性。莫里斯(Morris)法是全局SA途径的一个例子,其中随机化矩阵用一次变化一个参数的方法构造。基于导数的全局灵敏度可以从函数例如以下函数计算

$$[0127] \quad u_m = \int \left| \frac{\partial f}{\partial x_m} \right| dx \text{ 或 } v_m = \int \left| \frac{\partial f}{\partial x_m} \right|^2 dx \quad (15)$$

[0128] 其中积分在采样点的全部维度上执行。变量的分析(ANOVA)和其他灵敏度的分析可以用来计算不确定度。

[0129] 图16图解能效变量“Facility Electricity(设备电力)”1602的分解层次。输出可以替换地包含值例如家用热水能量、空调使用,特别房间的电力使用、泵、风扇、照明系统、冷冻器、冷却系统等。中间变量1603a-e可以表示有贡献于能效变量“Facility Electricity”1602的能耗的部件。系统可以进一步分解成变量1604,这些变量1604进而影响变量1603a-e中的每个。图解的分解可以由分析员或建筑物设计师基于其对部件关系的直觉理解及其对建筑物操作的期望来创造。最右节点是在建筑物水平的电气使用。

[0130] 通过迭代经过在一个水平的变量的值范围并在更高水平评估变量上的效果(例如,迭代经过变量1604的值并评估变量1603a-e上的效果),可以生成在图17中图解的灵敏度网。图17的网络包含四个分解水平而不是图17的三个,并也处理热水消耗而不是设施电力。

[0131] 在图17中,节点是在表1中描述的子系统能量变量,并且连接线是灵敏度指数。

[0132]

分解级	类型	例子
1	加热源	区域加热系统(正常容量、最大热水系统温度、环路流速等)
2	冷却源	气冷冷冻器(冷冻器参考容量、参考 COP、参考保留冷冻水温度等)
3	(空气处理单元) AHU	AHU(供应空气温度设定点、冷却管设计流速、设计进口水温、设计进口空气温度等)
4	主原动机: 空气环路	风扇(效率、压力升高等)
5	主原动机: 水环路	泵(额定流速、额定头、额定功耗等)

[0133]

6	终端单元	VAV 箱(最大空气流速、最小气流摩擦等)、最大纬向流速
7	区域外部	建筑物壳(材料热属性例如传导率、密度和比热、窗口热和光学属性等)、户外条件(地面温度、地面反射率等)
8	区域内部	内部热增益设计水平(照明负载、人数、人活动水平等)、日程表
9	区域设定点	区域温度设定点(空间冷却和加热设定点)
10	家用热水	家用热水使用(峰值流速、目标温度等)

[0134] 表1:为分解分析选择的例子参数类型

[0135] 在节点中每个的周围绘制的圆环表示变化的系数。在一些实施例中圆环的大小是任意的,并且反而旨在相对于图中其他圆环观察。在节点周围的圆环图解在每个节点中的不确定度,而在节点之间的边缘图解在节点之间的影响。线的厚度对应于灵敏度指数的大小。较厚边缘表示较多影响,而较薄边缘表示较少影响。这些边缘被称为“灵敏度指数”。在没有线的情况下,灵敏度指数可忽略,并且相反地最厚线表示在变量之间的最强影响。

[0136] 在某些实施例中系统通过首先迭代经过图16的每个分解级(从左到右)并且基于输入的集合为每个输出执行不确定度分析(由此生成圆环),来生成网络1700。一旦不确定度分析完成,那么系统可以然后计算灵敏度指数。一旦不确定度分析已为每级执行并且对应圆环生成,那么系统可以然后执行灵敏度分析从而确定在每个部件之间的线厚度。

[0137] 某些实施例设想用于通过整合各种上面技术模拟建筑物动力学的改善途径。在这些实施例中,准随机采样可以用来生成参数样本。可以然后使用支持向量回归计算响应面,该支持向量回归使用高斯内核。可以然后计算ANOVA和基于L2范数导数的灵敏度。在一些实施例中,仅存在基于L1范数(mm)导数的灵敏度。

[0138] 某些灵敏度实施例的概述

[0139] 图18是一般描述如在某些实施例中使用的灵敏度分析的逻辑流程图。在这些实施例中,系统通过从建筑物获取物理场数据1802来开始1801。如提到的,建筑物可以是真实的或虚构的,并且传感器数据是真实的或模拟的或包含该两者的组合。系统或用户可以然后将建筑物的输入输出映射公式化1803。例如,系统或用户可以指定在上面关于图16描述的分解层次的部件。这样的选择可以基于建筑物架构的属性或在建筑物部件之间的假设关系。尽管这里以该顺序描述,但人们可以容易认识到1802获取的数据可以基于1803生成的输入输出映射来挑选。系统可以然后使用采样方法例如在上面讨论的准随机方法,从而确定最优输入参数值1804。最优输入参数值可以用来确定停止条件1805是否已满足。例如,如果已选择输入将现实世界或建模低效降低到低于指定水平,那么系统可以停止1806或延迟进一步行动。相反,如果建筑物还没有达到所需的操作,那么过程可以重复。不确定度和灵敏度分析的进一步讨论可以在通过引用包括在此的Igor Mezic的“Coupled Nonlinear Dynamical Systems:Asymptotic Behavior and Uncertainty Propagation”,第43届IEEE Conference on Decision and Control(决策与控制会议),2004年12月14-17日,以及通过引用包括在此的Eisenhower等人的“Uncertainty Analysis and Sensitivity Decomposition of Building Energy Models”,Journal of Building Performance Simulation,第4卷,2011年5月10日中发现。

[0140] 合并的基于库普曼分解和可视化

[0141] 替代或连同在上面讨论的分层分解,某些实施例设想将能量810或频谱820分析方法的方面整合到其结构中的分解层次。例如,某些实施例设想应用关于基于库普曼分析的结果在上面讨论的分解框架。源自库普曼分析的第一、第二、第三和第四顺序频率分量可以被分层组织,并且其间的关系影响使用在上面讨论的方法确定的感兴趣物理场。这样的途径可以连同图17的分解一起使用,从而确定在分解的层级和基于频率分析的分量之间的相关性。在不确定度和灵敏度分析的背景下频谱技术的其他应用可以在通过引用包括在的Banaszuk等人的“Spectral Balance:A Frequency Domain Framework for Analysis of Nonlinear Dynamical Systems”,第43届IEEE决策与控制会议(43rd IEEE Conference on Decision and Control),2004年12月14-17日中发现。

[0142] 整合的完整建筑物设计和操作——GloBEMS

[0143] 优选组合上面的方法从而为建筑物提供整合的系统范围设计和操作方法学。如在上面讨论的,频谱空间分解可以在源自工作建筑物的原始建筑物系统数据和模型数据上使用。此外,在图2中呈现的传播可以不仅在模型数据上执行,并且也在源自工作中的建筑物的数据上执行。

[0144] 同样,该方法的组合部分供应用于建筑物的故障诊断和系统范围优化的途径,该途径提供可用的最优能效设计和操作途径。

[0145] 全局建筑物能量管理系统提供能量使用和浪费的详细可视化,以及明确、可行的

智能,其可以在作为结果的能量节省的情况下实施。全局建筑物能量管理系统也允许对全部能量决策的投资例如升级的设备、另外的管理工具等的回报的实时、立即的确定,并使得能够在单个建筑或建筑内部使用之内实现显著的能量节省。

[0146] 全局建筑物能量管理系统的使用也允许建筑物怎样“呼吸”,即其中能量逃离墙壁、其中损失或保持热等的分析,这进而导致对这样的能量损失的矫正行动。进一步地,全局建筑物能量管理系统可以实时实施从而看到任何矫正行动怎样起作用,提取在物理场(其包括温度、湿度、气流、压力、人员占用率、插塞载荷密度、光强度)的空间分布之间的相关性以及由建筑物使用模式导致的时间周期性模式、日循环和控制系统循环,并且基于这样的相关性提供用于允许在结构内更有效使用能量的分析方法。

[0147] 全局建筑物能量管理系统通过为含有许多基于传感器的输出变量的巨大参数依赖系统的分析而修改的算法来实现。由于此,该途径允许本发明在最优化时比当前配备的尝试快几个数量级。进一步地,全局建筑物能量管理系统考虑大量的传感器生成数据值,其数目比当前使用的数目大几个数量级,这允许系统的准确性是消费者指定的而不是建筑物设计指定的。在本发明中灵敏度分析的准确度已示出约为能量单位的百万分之一,这远小于当前标准和配备的分析工具。

[0148] 全局建筑物能量管理系统也允许巨大建筑物能量系统的全面状况分析,这包括初始能量审计、审计的每月更新、经通过建筑物管理系统连续委托的实时监控和控制,以及允许建筑物管理、所有权、工程或能量咨询公司为商业建筑物和复合体分析并提供解决方案。

[0149] 如在此使用的,“指令”指代用于在系统中处理信息的计算机实施的步骤。指令可以在软件、固件或硬件中实施,并包括由系统的部件承担的任何类型的已编程步骤。

[0150] “微处理器”或“处理器”可以是任何常规通用单核或多核微处理器例如奔腾(Pentium®)处理器、英特尔Intel®Core™、8051处理器、MIPS®处理器或ALPHA®处理器。另外,微处理器可以是任何常规专用微处理器,例如数字信号处理器或图形处理器。“处理器”也可以指代但不限于微控制器、现场可编程门阵列(FPGA)、专用集成电路(ASIC)、复杂可编程逻辑器件(CPLD)、可编程逻辑阵列(PLA)、微处理器或其他相似处理器件。

[0151] 系统由如在下面详细讨论的各种模块构成。如可以由本领域技术人员认识到的,模块中的每个包含各种子例程、规程、定义语句和宏。模块中的每个通常分开编译并链接到单个可执行程序。因此,模块中每个的以下描述为方便用来描述优选系统的功能性。因此,由模块中每个经历的过程可以任意重分布到其他模块中的一个、在单个模块中组合在一起,或使该过程在例如可共享动态链接库中可用。

[0152] 本系统的某些实施例可以结合各种操作系统例如SNOWLEOPARD®、iOS®、LINUX、UNIX或MICROSOFTWINDOWS®使用。

[0153] 本系统的某些实施例可以用任何常规编程语言编写,例如汇编语言、C、C++、BASIC、Pascal或Java,并在常规操作系统下运行。

[0154] 另外,模块或指令可以存储到一个或更多可编程存储装置上,例如FLASH驱动器、光盘只读存储器(CD-ROM)、硬盘和DVD。一个实施例包括具有在其上存储的指令的可编程存储装置。

[0155] 尽管上面过程和方法在上面描述为包括某些步骤并以特别顺序描述,但应认识到这些过程和方法可以包括另外的步骤,或可以省略已描述步骤中的一些。进一步地,过程的

步骤中的每个不必以描述其的顺序执行。

[0156] 尽管上面描述已示出、描述并指出应用于各种实施例的本发明的新颖特征,但将理解已说明的系统或过程的形式和详情的各种省略、替代和改变可以由本领域技术人员做出而不背离本发明的精神。如认识到的,由于一些特征可以从其他特征分离使用或实践,因此本发明可以在不提供在此阐述的全部特征和益处的形式内实施。

[0157] 与在此披露的实施例一起描述的方法或算法的步骤可以直接在硬件中、在由处理器执行的软件中,或在该两者的组合中体现。软件模块可以位于RAM存储器、闪存存储器、ROM存储器、EPROM存储器、EEPROM存储器、寄存器、硬盘、可移除磁盘、CD-ROM,或在本领域中已知的任何其他形式的存储介质中。示范存储介质可以耦合到处理器,以使处理器可以从该存储介质读取信息,并将信息写入该存储介质。替代地,存储介质可集成到处理器。处理器和存储介质可以位于ASIC中。ASIC可以位于用户终端中。在替换中,处理器和存储介质可以作为分立部件位于用户终端中。

[0158] 在上面描述的过程中的全部可以在由一个或更多通用或专用计算机或处理器执行的软件代码模块中体现,并经该软件代码模块完全自动化。代码模块可以存储在任何类型的计算机可读介质或其他计算机存储装置或存储装置的集合上。可替换地,方法中的一些或全部可以在专用计算机硬件中体现。

[0159] 在此描述的方法和任务中的全部可以由计算机系统执行并完全自动化。该计算机系统可以在一些情况下包括经由网络通信并且交互操作的多台不同计算机或计算装置(例如物理服务器、工作站、存储阵列等),从而执行已描述功能。每个这样的计算装置通常包括执行存储在存储器或其他非暂时计算机可读存储介质中的程序指令或模块的处理器(或多个处理器或电路或电路集合,例如模块)。在此披露的各种功能可以在这样的程序指令中体现,尽管已披露功能中的一些或全部可以在计算机系统的专用电路(例如ASIC或FPGA)中可替换实施。在计算机系统包括多个计算装置的情况下,这些装置可以但不需要共置。已披露方法和任务的结果可以通过将物理存储装置例如固态存储器芯片和/或磁盘变换成不同状态来永久存储。

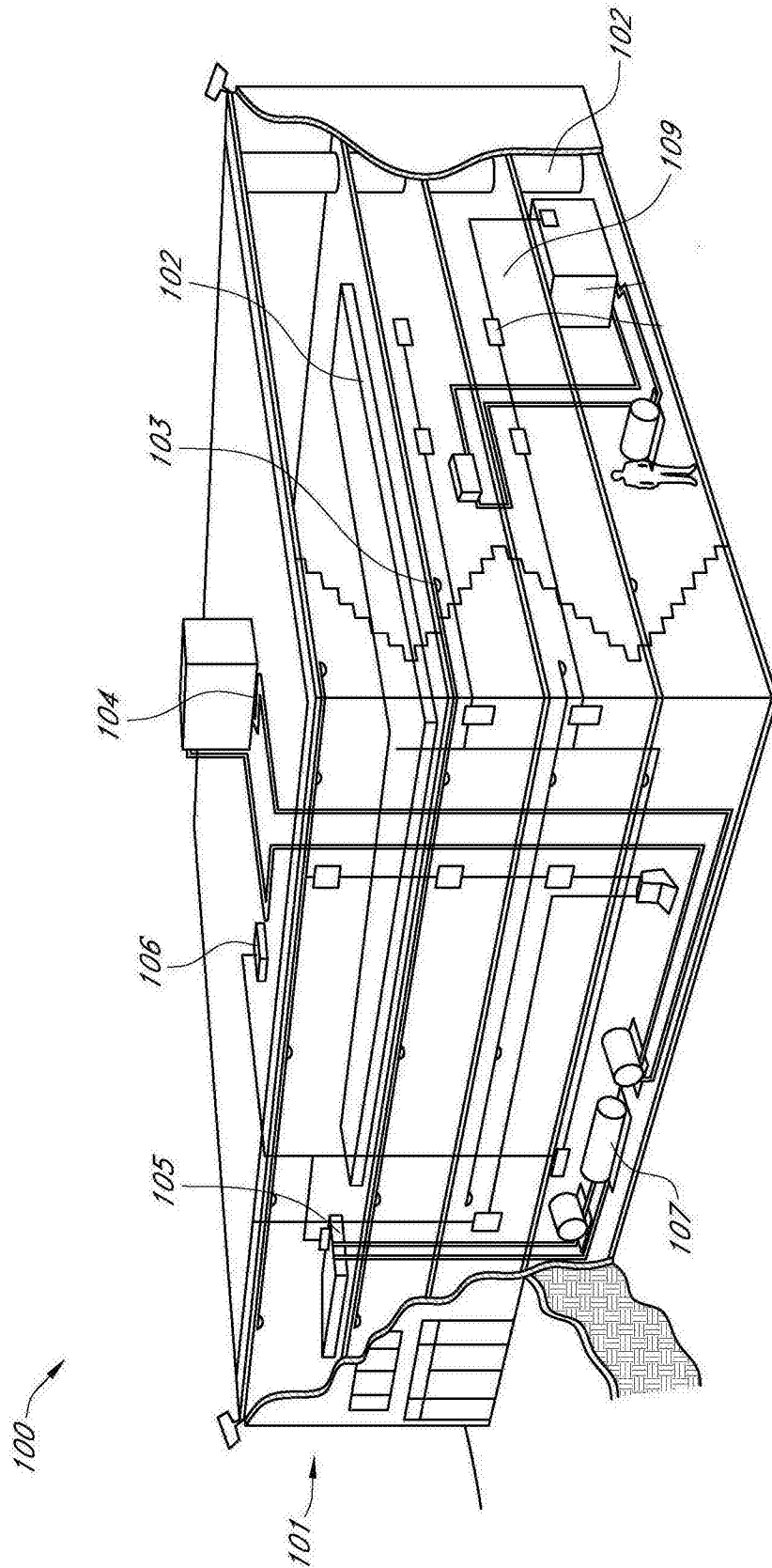


图1

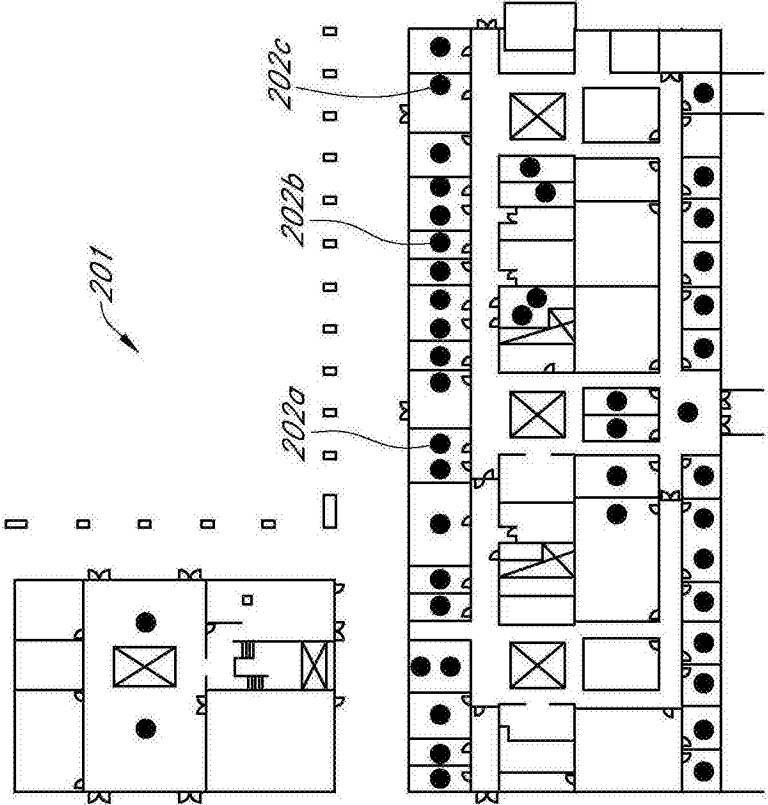


图2

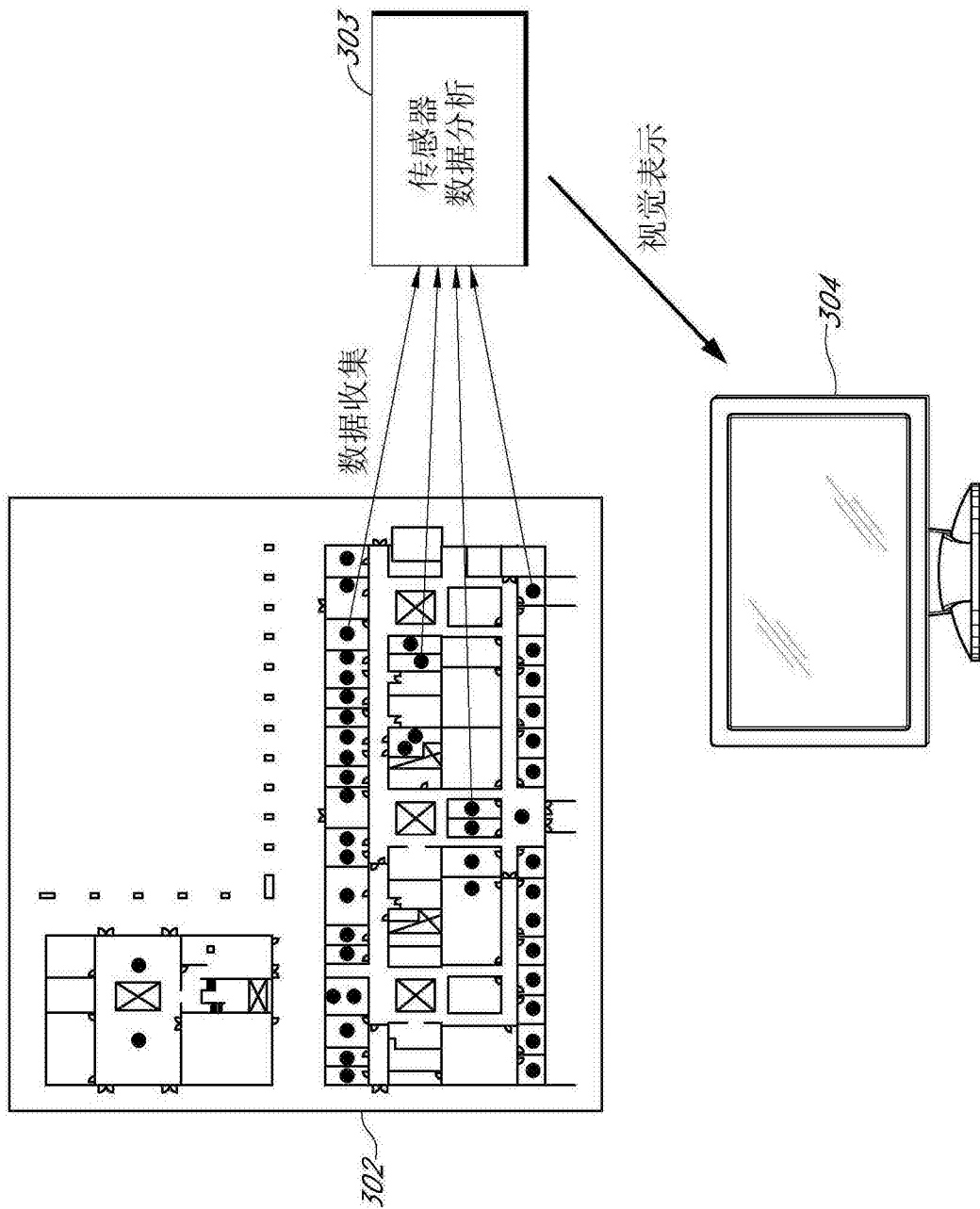


图3

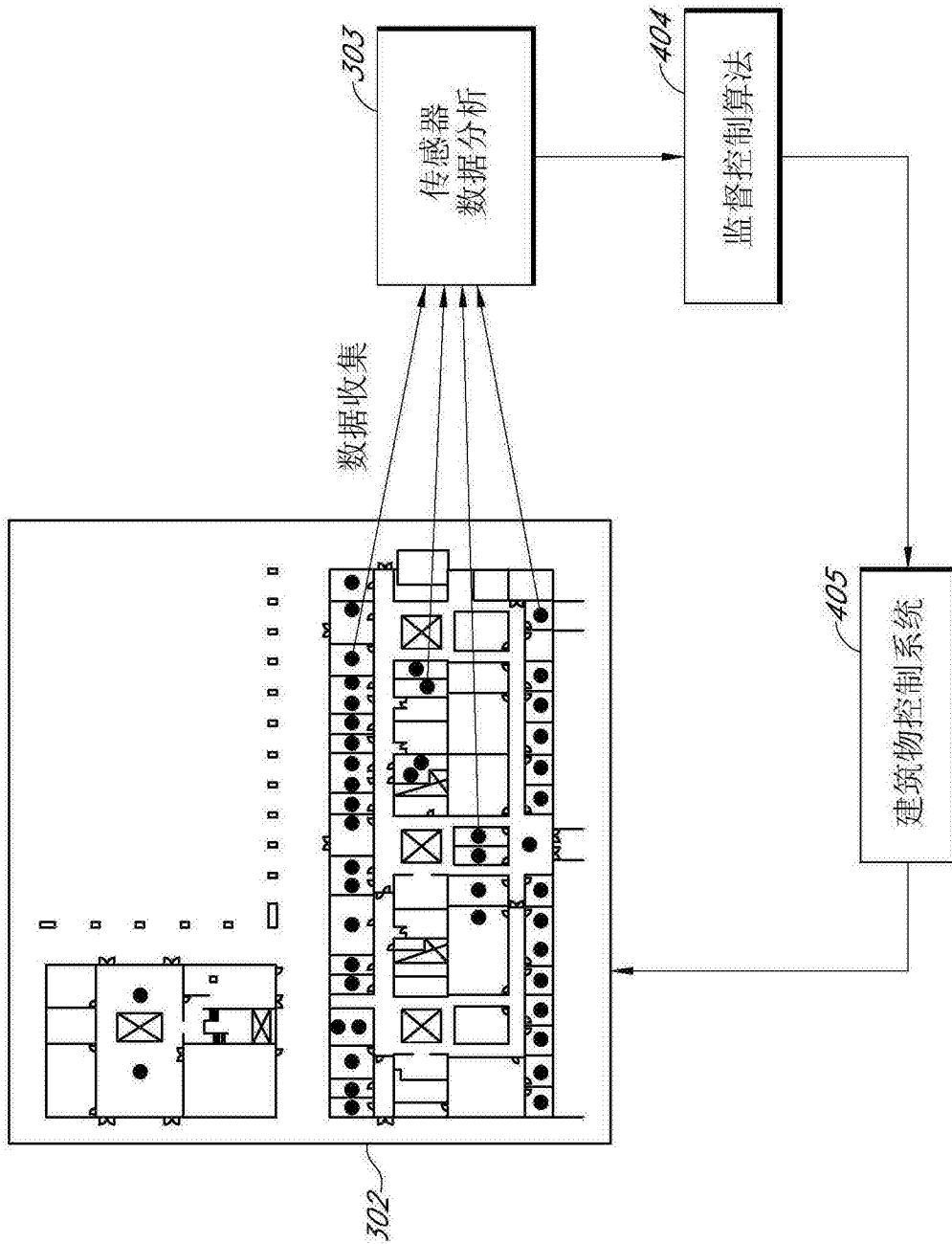


图4

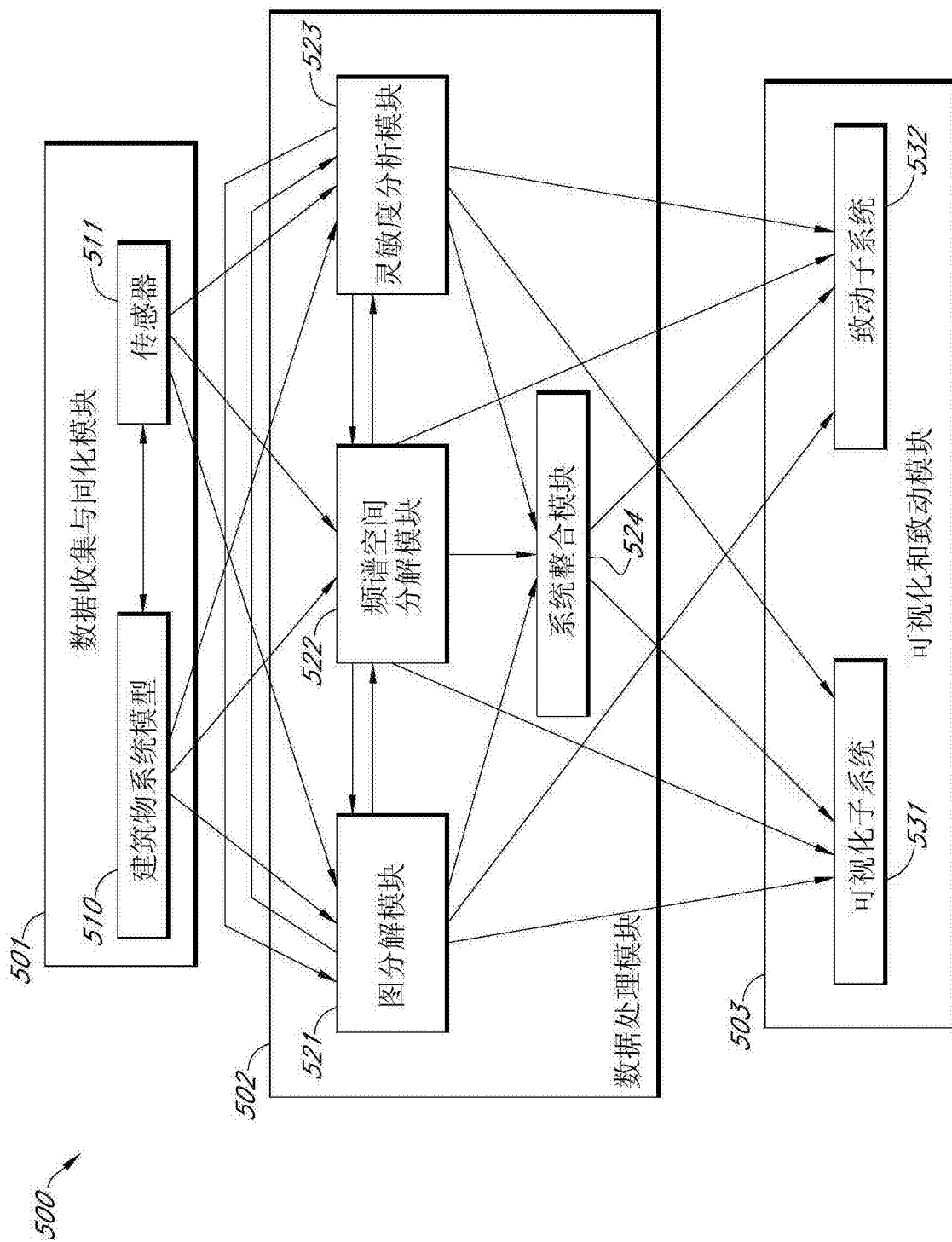


图5

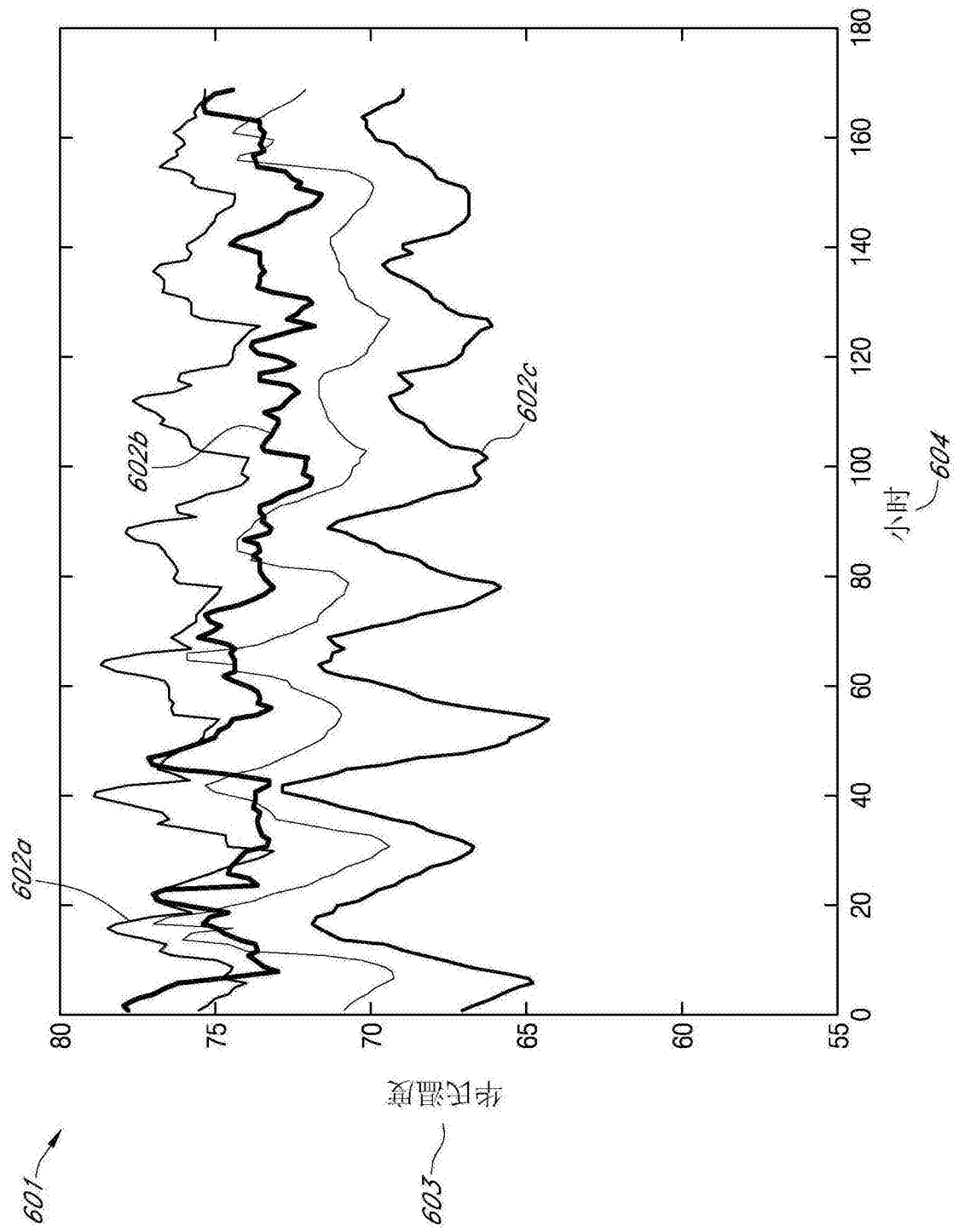


图6

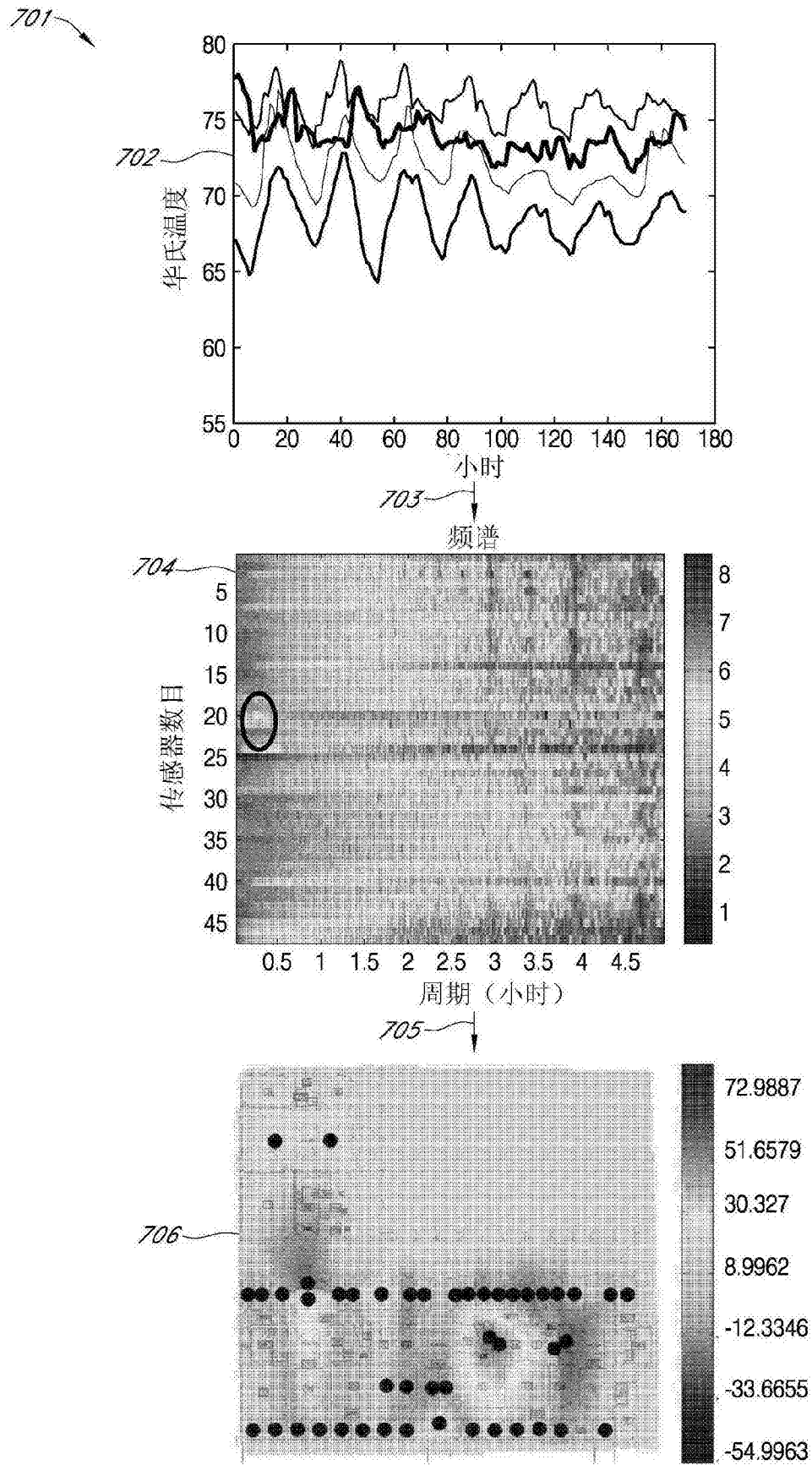


图7

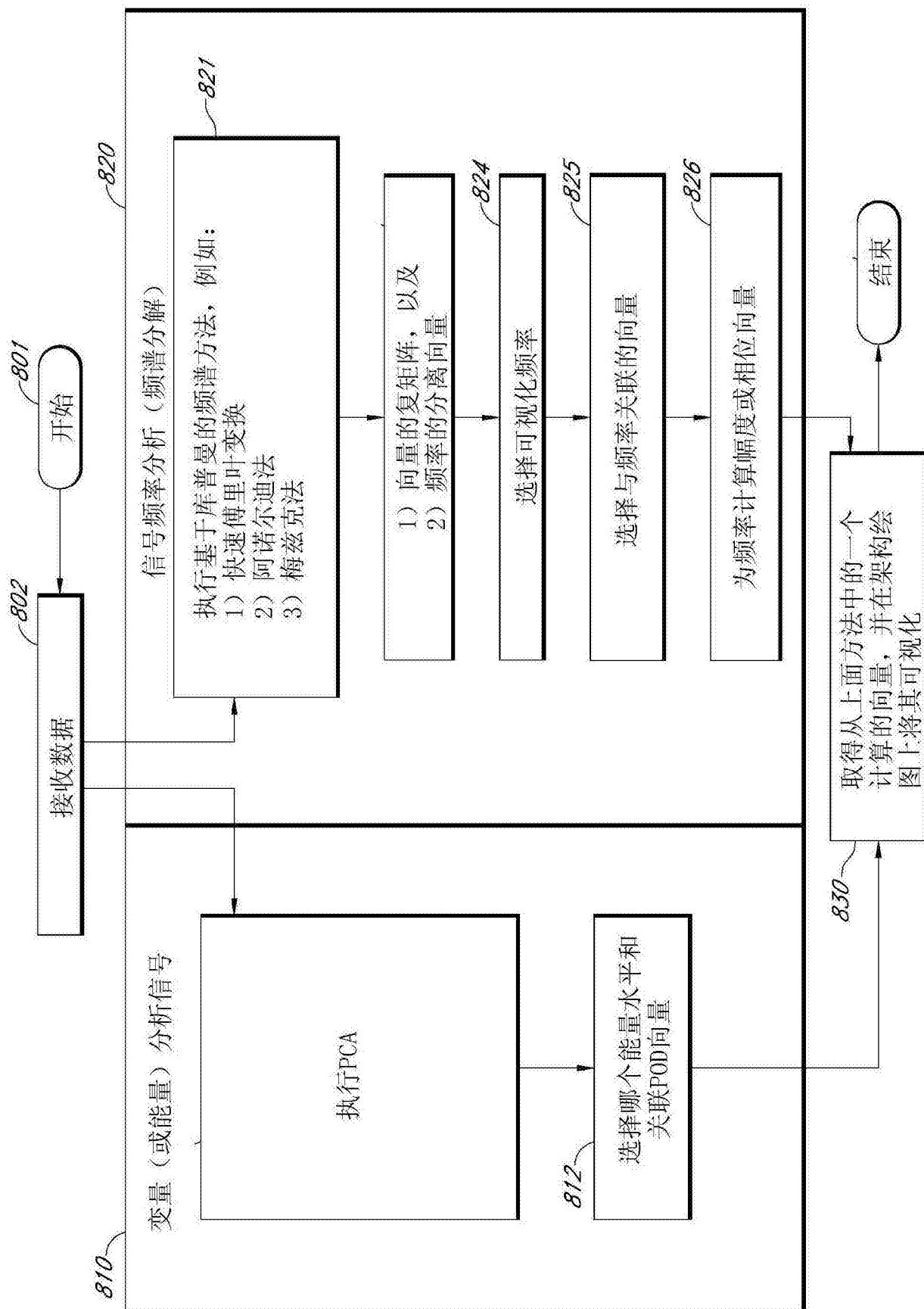


图8

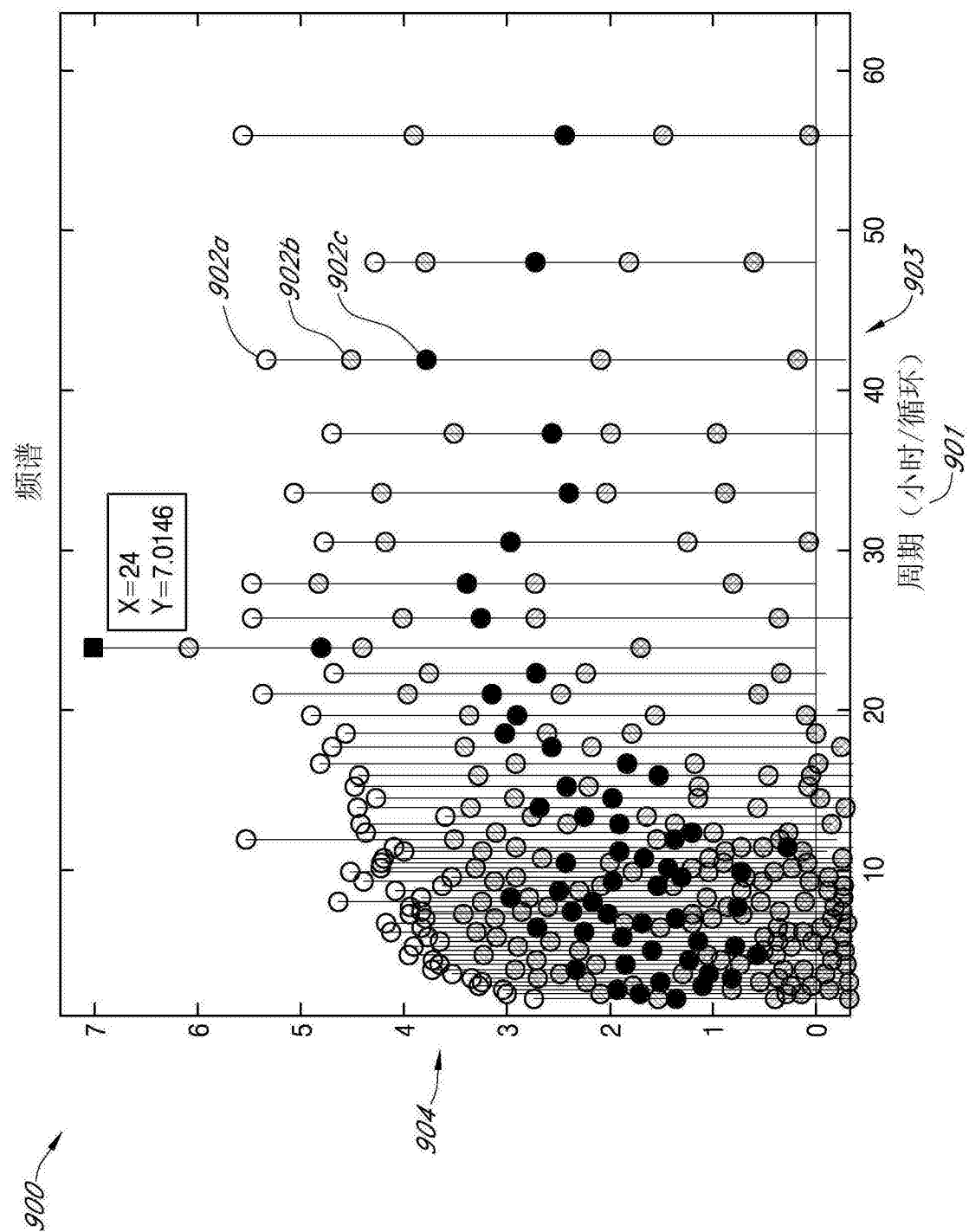


图9

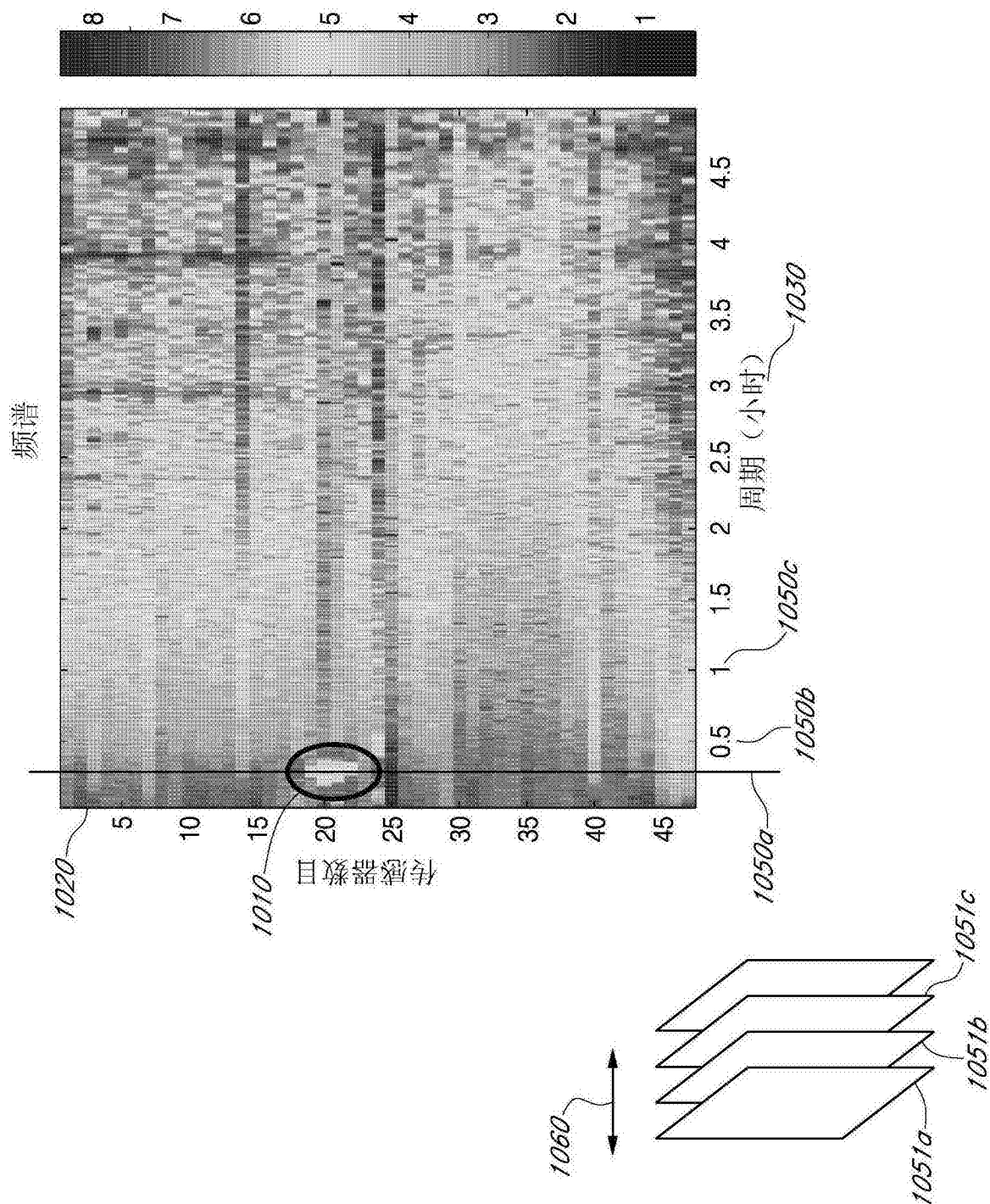


图10

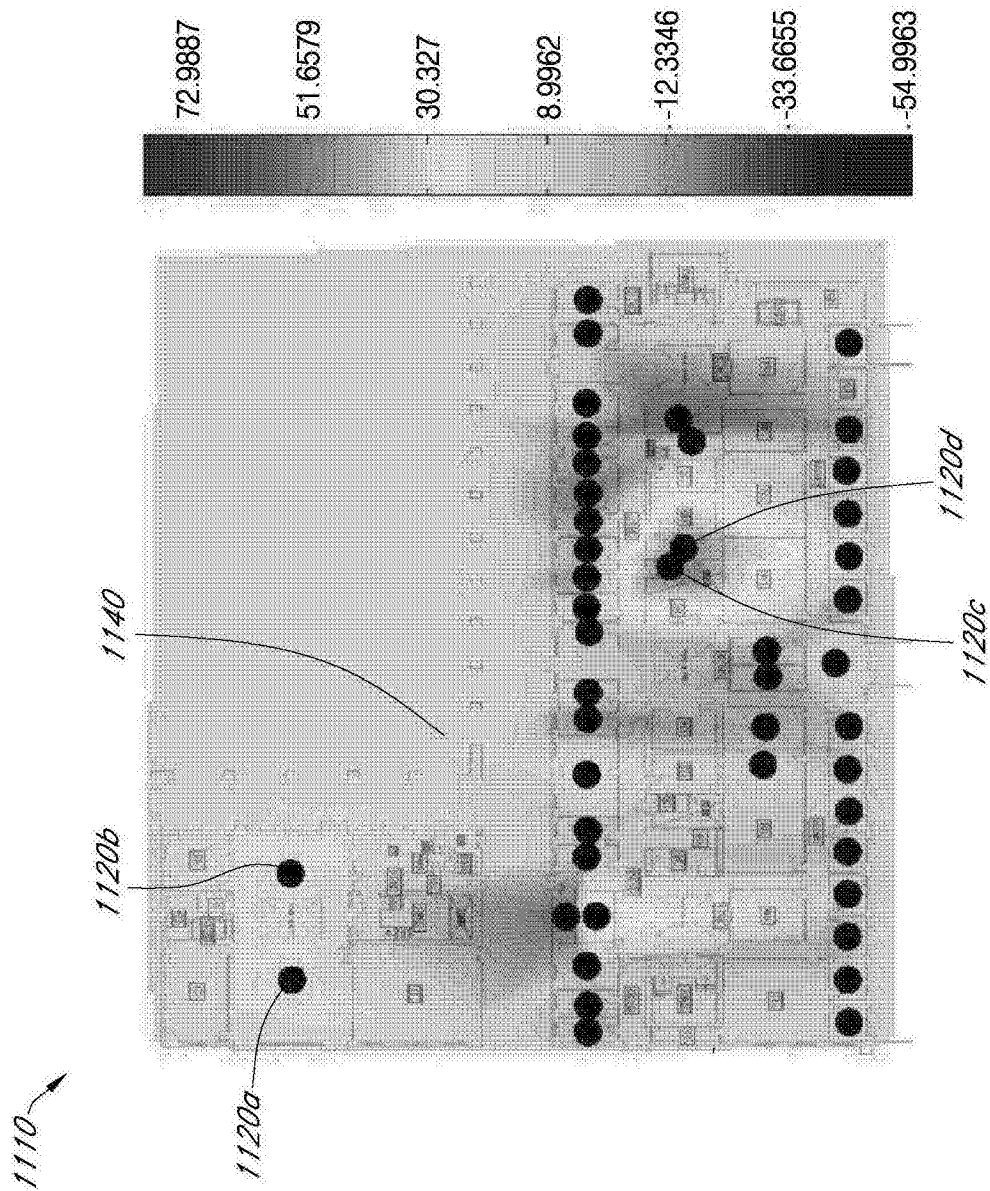


图11

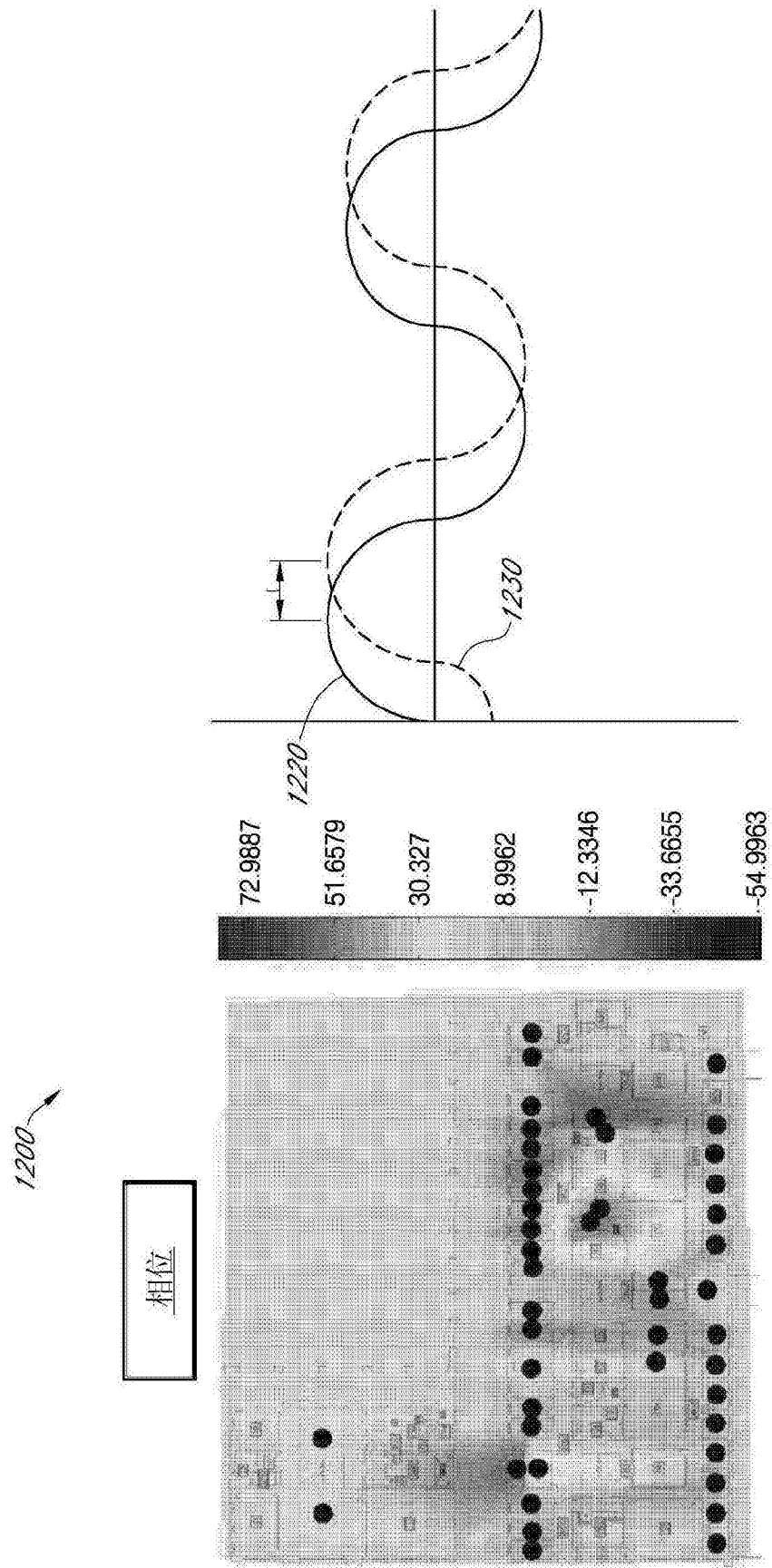


图12

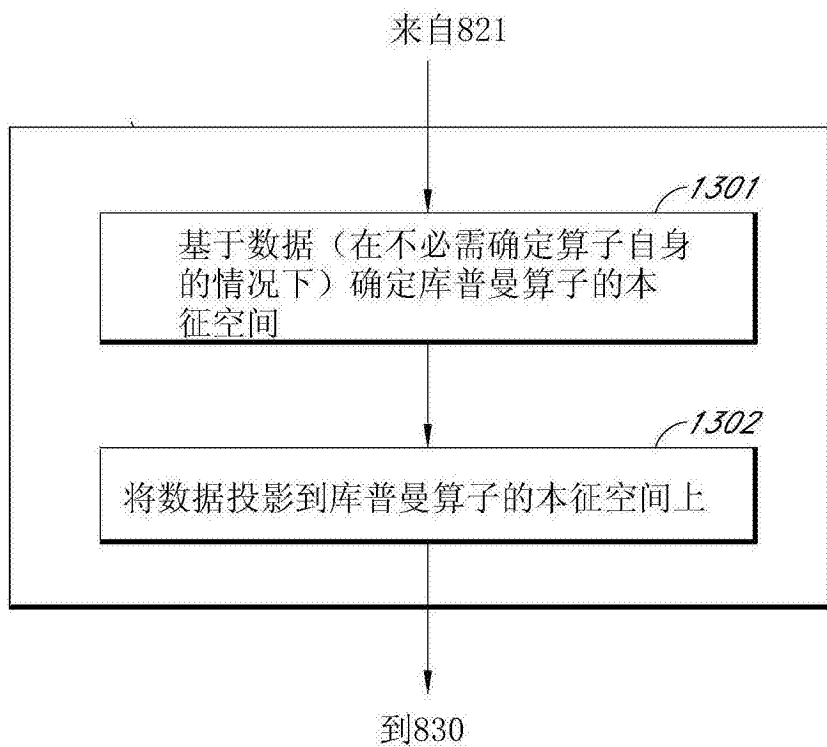


图13

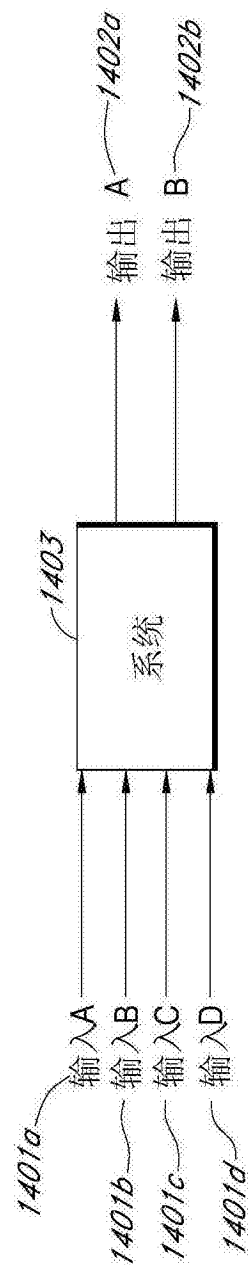


图14

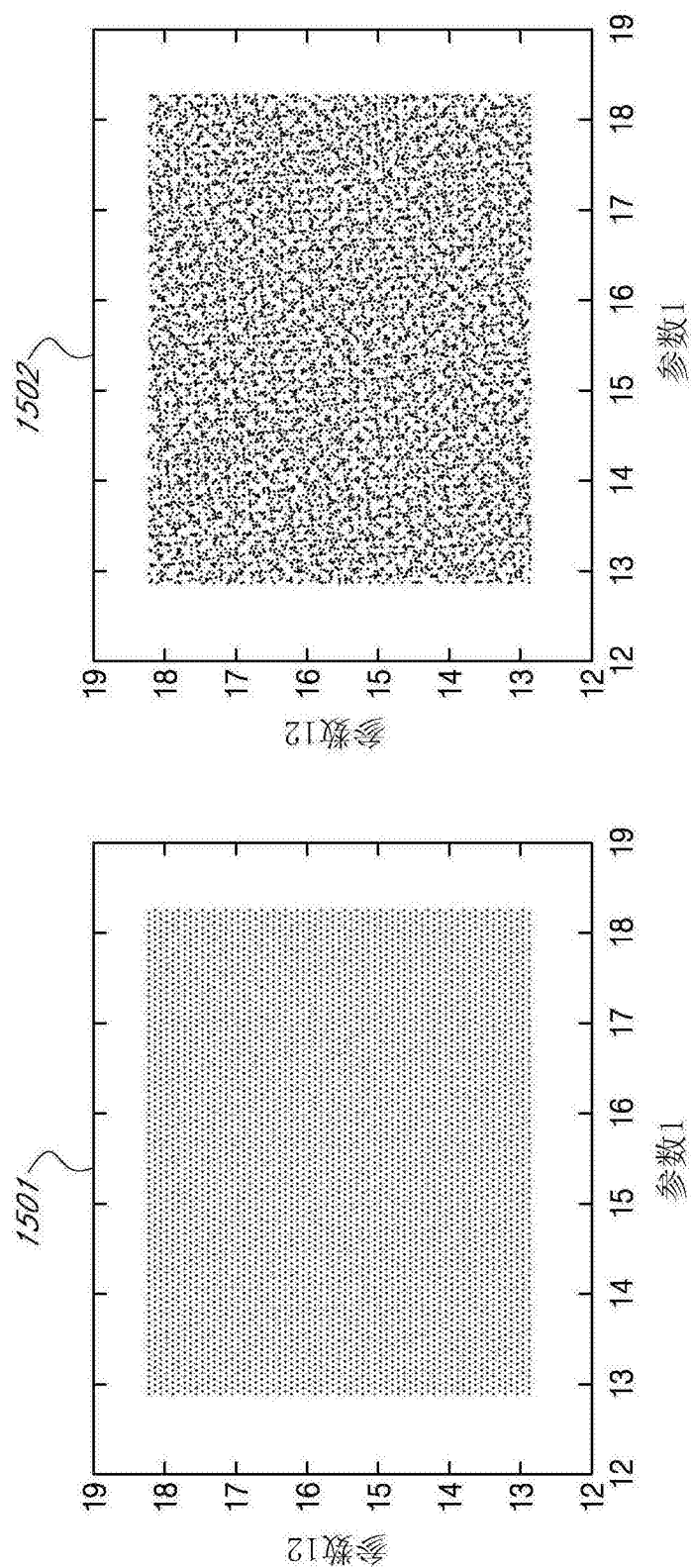


图15

等级 3	等级 2	等级 1
Equipment: Office area [J] Equipment: Drill Deck [J] Lights: Office area [J] AHU4RFAN:Fan Elec. Cons. [J] AHU3RFAN:Fan Elec. Cons. [J] AHU2RFAN:Fan Elec. Cons. [J] AHU1RFAN:Fan Elec. Cons. [J] AHU4SFAN:Fan Elec. Cons. [J] AHU3SFAN:Fan Elec. Cons. [J] AHU2SFAN:Fan Elec. Cons. [J] AHU1SFAN:Fan Elec. Cons. [J] DHW PUMP: Pump Elec. Cons. [J] PRIMARY PUMP: Pump Elec. Cons. [J] HWPUMP: Pump Elec. Cons. [J] SECONDARY PUMP: Pump Elec. Cons. [J] CHILLER2: Chiller Cond Fan Elec. Cons. [J] CHILLER2: Chiller Elec. Cons. [J] CHILLER1: Chiller Cond Fan Elec. Cons. [J] CHILLER1: Chiller Elec. Cons. [J]	Interior Lights: Elec. [J] 1603a Int. Equip.: Elec. [J] 1603b Fans: Elec. [J] 1603c Pumps: Elec. [J] 1603d Cooling: Elec. [J] 1603e	Facility Elec. [J] 1602

1604

图16

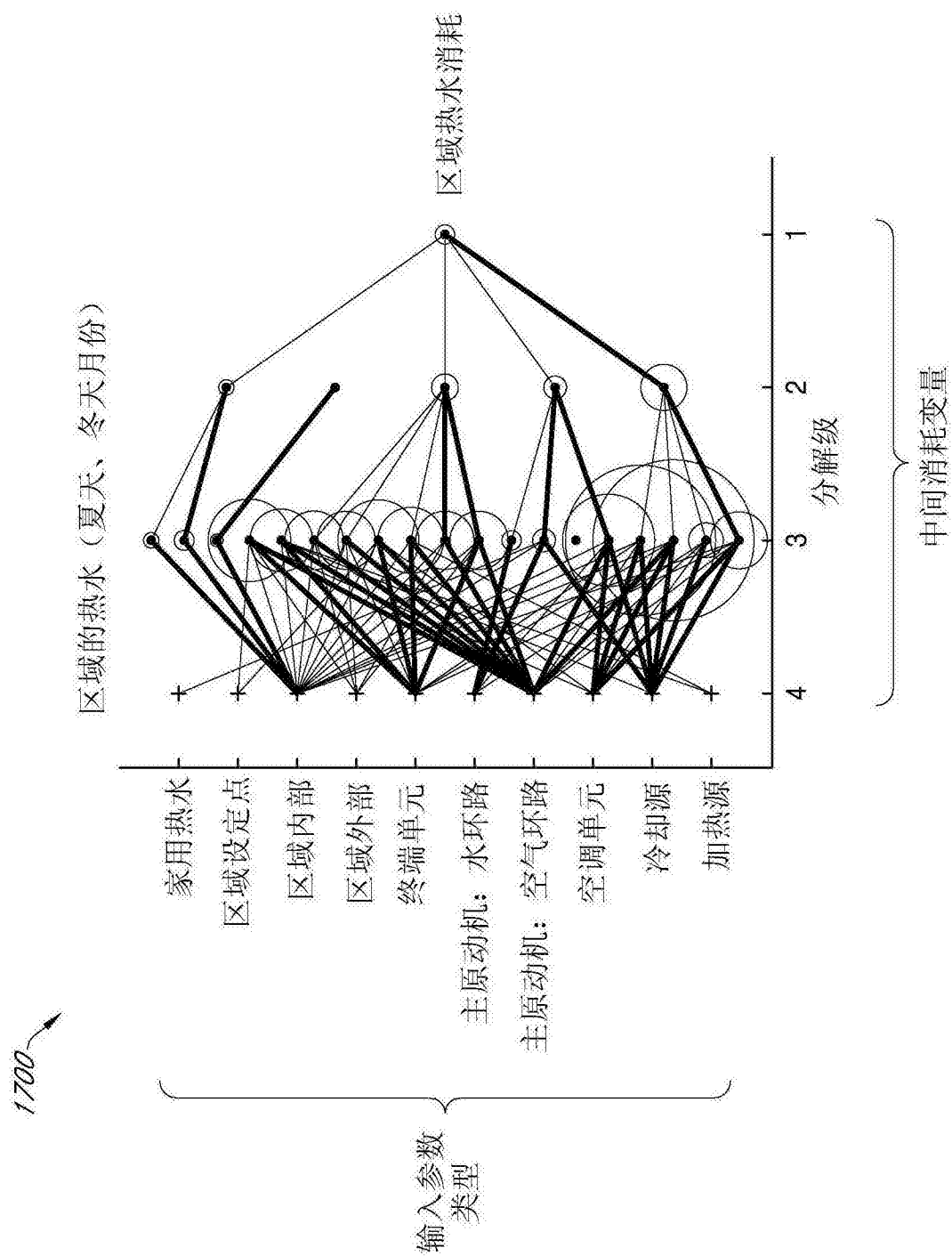


图17

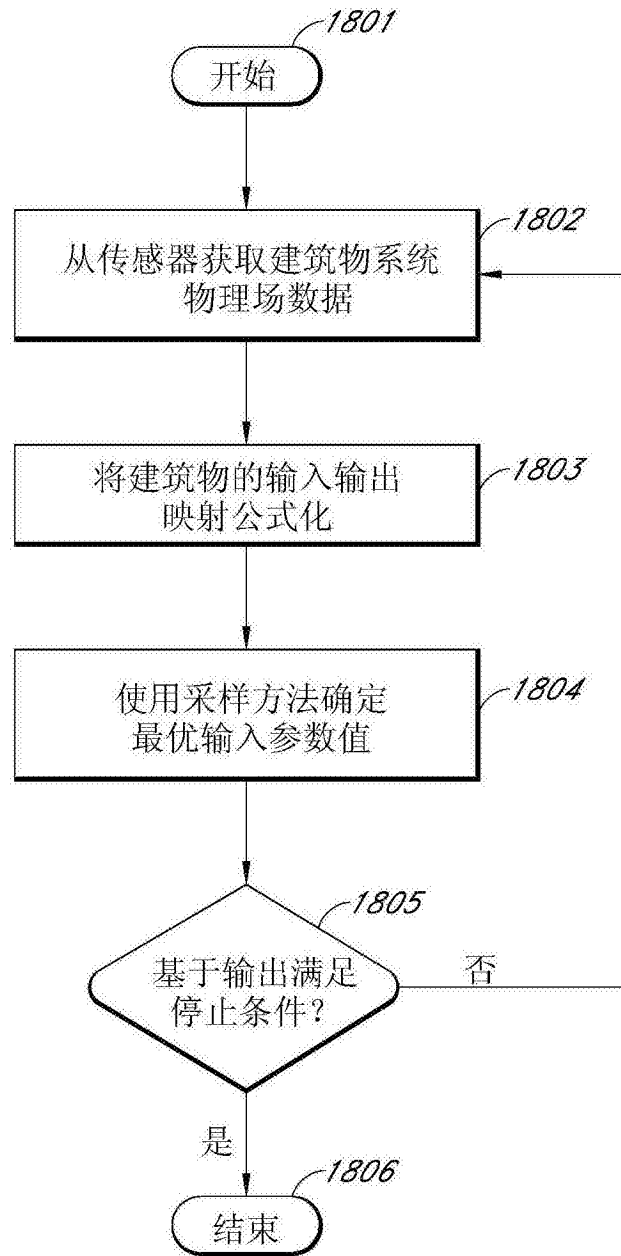


图18