



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111752257 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 26

(21) 申请号 202010194721.6

(22) 申请日 2020.03.19

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111752257 A

(43) 申请公布日 2020.10.09

(30) 优先权数据
16/366,500 2019.03.27 US

(73) 专利权人 通用电气公司
地址 美国纽约州

(72) 发明人 卢漫雪 R·谢尔顿·卡朋特
约翰·劳伦斯·德雅格

(74) 专利代理机构 上海华诚知识产权代理有限公司 31300
专利代理师 徐颖聪

(51) Int.Cl.

G05B 23/02 (2006.01)

(56) 对比文件

EP 2374714 A2, 2011.10.12

审查员 马波

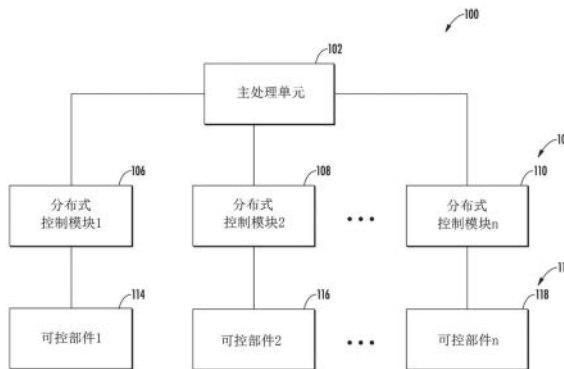
权利要求书2页 说明书17页 附图13页

(54) 发明名称

具有内置测试和控制保持故障响应的分布式控制模块

(57) 摘要

分布式控制系统可以包括主处理单元, 分布式控制模块和可控部件。分布式控制模块可以被构造为使用内置测试模块确定与控制回路相关联的故障状态。内置测试模块可以结合到分布式控制模块中。故障状态可以包括无故障, 通信故障, 传感器操作故障或可控部件故障。分布式控制模块可以被构造为: 当故障状态包括无故障时, 将闭环控制命令从分布式控制模块传输到可控部件; 或者当故障状态包括通信故障或传感器操作故障时, 将增强控制命令从分布式控制模块传输到可控部件; 或者当故障状态包括可控部件故障时, 将断开控制命令从分布式控制模块传输到可控部件。



1. 一种响应具有分布式控制模块的控制回路中的故障的方法, 其特征在于, 所述方法包括:

经由测试模块确定与所述控制回路相关联的故障状态, 所述测试模块内置于所述分布式控制模块中, 所述故障状态包括无故障、通信故障、传感器操作故障或严重故障; 和

基于所述故障状态从所述分布式控制模块传输控制命令,

其中当所述故障状态指示无故障时, 所述传输包括将闭环控制命令从所述分布式控制模块传输到可控部件,

其中当所述故障状态指示通信故障或传感器操作故障时, 所述传输包括将增强控制命令从所述分布式控制模块传输到所述可控部件,

其中当所述故障状态指示严重故障时, 所述传输包括将断开控制命令从所述分布式控制模块传输到所述可控部件。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 其中, 当所述故障状态包括通信故障时, 所述增强控制命令包括闭环控制命令。

3. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 其中, 当所述故障状态包括传感器操作故障时, 所述增强控制命令包括开环控制命令。

4. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 其中, 所述通信故障包括临时通信故障、本地传感器故障和/或主处理单元通信故障。

5. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 其中, 所述严重故障包括处理器故障, 存储器故障和/或可控部件故障。

6. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 包括:

当所述测试模块确定包括临时通信故障的故障状态时, 在增强闭环控制机制中使用先前控制命令和/或先前命令参考, 所述增强闭环控制机制包括构造成传输所述增强控制命令的控制命令模块。

7. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 包括:

当所述测试模块确定包括本地传感器故障的故障状态时, 在增强闭环控制机制中使用备用传感器通道, 所述增强闭环控制机制包括构造成传输所述增强控制命令的控制命令模块。

8. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 包括:

当所述测试模块确定包括主处理单元通信故障的故障状态时, 在增强闭环控制机制中使用预设命令参考和/或先前控制命令, 所述增强闭环控制机制包括构造成传输所述增强控制命令的控制命令模块。

9. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 包括:

当所述测试模块确定包括传感器操作故障的故障状态时, 在开环控制机制中使用开环控制命令, 所述开环控制机制包括构造成传输所述开环控制命令的控制命令模块, 所述增强控制命令包括所述开环控制命令。

10. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 包括:

从传感器接收传感器反馈, 所述传感器被构造成测量所述可控部件的系统变量。

11. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 其中, 所述可控部件包括致动器或伺服致动器。

12. 根据权利要求11所述的方法, 其特征在于, 其中, 所述传感器包括位置传感器, 所述位置传感器被构造为测量所述致动器或所述伺服致动器的位置。

13. 一种分布式控制系统, 其特征在于, 包括:

主处理单元、分布式控制模块以及可控部件, 所述分布式控制模块被构造为:

经由测试模块确定与控制回路相关联的故障状态, 所述测试模块内置于所述分布式控制模块中, 所述故障状态包括无故障、通信故障、传感器操作故障或严重故障; 和

基于所述故障状态从所述分布式控制模块传输控制命令,

其中当所述故障状态指示无故障时, 所述控制命令包括闭环控制命令,

其中当所述故障状态指示通信故障或传感器操作故障时, 所述控制命令包括增强控制命令,

其中当所述故障状态指示严重故障时, 所述控制命令包括断开控制命令。

14. 根据权利要求13所述的分布式控制系统, 其特征在于, 其中, 所述分布式控制模块包括:

内置测试模块, 所述内置测试模块被构造确定所述故障状态。

15. 根据权利要求13所述的分布式控制系统, 其特征在于, 其中, 所述可控部件包括联接到可变几何形状部件的致动器或伺服致动器。

16. 根据权利要求15所述的分布式控制系统, 其特征在于, 其中, 所述传感器包括位置传感器, 所述位置传感器被构造为测量所述致动器或所述伺服致动器的位置。

17. 根据权利要求15所述的分布式控制系统, 其特征在于, 其中, 所述可变几何形状部件包括燃料阀、可变位置风扇叶片、可变位置导向轮叶、可变位置压缩机叶片或可变位置涡轮叶片。

18. 一种包括计算机可执行指令的非暂时计算机可读介质, 其特征在于, 当所述计算机可执行指令由分布式控制模块的一个或多个处理器执行时, 使所述分布式控制模块进行以下操作:

经由测试模块确定与控制回路相关联的故障状态, 所述测试模块内置于所述分布式控制模块中, 并且所述故障状态包括无故障、通信故障、传感器操作故障或严重故障; 和

基于所述故障状态从所述分布式控制模块传输控制命令,

其中当所述故障状态指示无故障时, 所述控制命令包括闭环控制命令,

其中当所述故障状态指示通信故障或传感器操作故障时, 所述控制命令包括增强控制命令,

其中当所述故障状态指示严重故障时, 所述控制命令包括断开控制命令。

19. 根据权利要求18所述的计算机可读介质, 其特征在于, 其中, 所述计算机可读介质被结合到用于涡轮机和/或飞行器的全权限直接发动机控制 (FADEC) 系统或发动机控制单元 (ECU) 中, 或与所述全权限直接发动机控制 (FADEC) 系统或所述发动机控制单元 (ECU) 一起使用。

具有内置测试和控制保持故障响应的分布式控制模块

技术领域

[0001] 本公开大体涉及分布式控制系统,并且更具体地涉及包括具有用于确定故障和控制保持故障响应的内置测试的分布式控制模块的分布式控制系统。

背景技术

[0002] 分布式控制系统通常通过将控制命令定位到与对应的可控部件相关联的各种分布式控制模块来提供增强的可靠性。当单个分布式控制模块发生失效时,通常会将该失效隔离到单个分布式控制模块。但是,即使单个分布式控制模块的单独失效也可能是非常不期望的,特别是对于关键任务分布式控制模块而言。例如,分布式控制系统与涡轮机结合使用以控制与涡轮机相关联的各种可控部件,例如可操作用于控制燃料阀,定子轮叶位置,放气阀位置等的伺服马达或致动器。

[0003] 这种涡轮机可控部件的持续控制是非常重要的,因为与这些可控部件中的任何一个相关联的分布式控制模块失效或故障可能会导致可控部件失去控制,从而降低涡轮机的操作效率或能力,或甚至可能使涡轮机无法操作。分布式控制模块的突然失效或故障也可能损坏涡轮机。另外,与负责分布式控制模块的网络的监督控制的主处理单元相关联的故障或失效可能会影响分布式控制模块的整个网络,包括在某些情况下使分布式控制模块的整个网络无法操作。

[0004] 因此,需要改进的分布式控制系统,包括具有分布式控制模块的分布式控制系统,该分布式控制模块具有改进的能力,以在失效或故障状态的情况下保持可控部件的可控性。

发明内容

[0005] 方面和优点将在下面的描述中部分地阐述,或者可以从描述中显而易见,或者可以通过实践本公开的主题来学习。

[0006] 在一方面,本公开包含响应于与分布式控制模块相关联的故障的方法。示例性方法包括使用内置测试模块确定与控制回路相关联的故障状态。内置测试模块可以结合到分布式控制模块中,并且故障状态可以包括无故障,通信故障,传感器操作故障或严重故障。示例性方法可以包括:当故障状态包括无故障时,将闭环控制命令从分布式控制模块传输到可控部件;或者当故障状态包括通信故障或传感器操作故障时,将增强控制命令从分布式控制模块传输到可控部件;或者当故障状态包括严重故障时,将断开控制命令从分布式控制模块传输到可控部件。

[0007] 在另一方面,本公开包含分布式控制系统。示例性分布式控制系统可以包括主处理单元,分布式控制模块和可控部件。分布式控制模块可以被构造为使用内置测试模块确定与控制回路相关联的故障状态。内置测试模块可以结合到分布式控制模块中。故障状态可以包括无故障,通信故障,传感器操作故障或可控部件故障。分布式控制模块可以被构造为:当故障状态包括无故障时,将闭环控制命令从分布式控制模块传输到可控部件;或者当

故障状态包括通信故障或传感器操作故障时,将增强控制命令从分布式控制模块传输到可控部件;或者当故障状态包括可控部件故障时,将断开控制命令从分布式控制模块传输到可控部件。

[0008] 在另一方面,本公开包含计算机可读介质。示例性计算机可读介质可以包括计算机可执行指令,当该计算机可执行指令由分布式控制模块的一个或多个处理器执行时,使分布式控制模块使用内置测试模块确定与控制回路相关联的故障状态。内置测试模块可以结合到分布式控制模块中。故障状态可以包括无故障,通信故障,传感器操作故障或可控部件故障。示例性计算机可读介质可以附加地或替代地包括计算机可执行指令,当该计算机可执行指令由分布式控制模块的一个或多个处理器执行时,使分布式控制模块进行以下操作:当故障状态包括无故障时,将闭环控制命令从分布式控制模块传输到可控部件;或者当故障状态包括通信故障或传感器操作故障时,将增强控制命令从分布式控制模块传输到可控部件;或者当故障状态包括可控部件故障时,将断开控制命令从分布式控制模块传输到可控部件。

[0009] 参考以下描述和所附权利要求,将更好地理解这些和其他特征,方面和优点。结合在本说明书中并构成本说明书的一部分的附图示出了示例性实施例,并且与说明书一起用于解释本公开的主题的某些原理。

附图说明

[0010] 在说明书中阐述了针对本领域普通技术人员的完整且可行的公开,包括其最佳模式,其参考附图,其中:

[0011] 图1示出了描绘示例性分布式控制系统的框图;

[0012] 图2示出了描绘可以包括在分布式控制系统中的示例性分布式控制模块的框图;

[0013] 图3示出了描绘分布式控制模块的示例性控制器的框图;

[0014] 图4示出了描绘可以被结合到分布式控制模块或分布式控制模块的控制器中的示例性内置测试模块及其操作的框图;

[0015] 图5示出了包括可由内置测试模块确定的故障状态的示例性故障状态表;

[0016] 图6A-6F示出了对应于分别与由内置测试模块确定的故障状态相关联的控制机制的示例性控制回路;

[0017] 图7示出了描绘响应故障状态的示例性方法的框图;和

[0018] 图8示出了涡轮风扇发动机的示意横截面视图,该涡轮风扇发动机包括具有根据本公开构造的分布式控制模块的分布式控制系统。

[0019] 在本说明书和附图中重复使用参考字符旨在表示本公开的相同或相似的特征或元件。

具体实施方式

[0020] 现在将详细参考本公开的主题的示例性实施例,在附图中示出了其一个或多个示例。每个示例通过解释的方式提供,并且不应被理解为限制本公开。实际上,对于本领域技术人员将显而易见的是,在不脱离本公开的范围或精神的情况下,可以对本公开进行各种修改和变化。例如,作为一个实施例的一部分示出或描述的特征可以与另一实施例一起使

用以产生又一实施例。因此,本公开旨在覆盖落入所附权利要求及其等同物的范围内的这种修改和变化。

[0021] 本公开大致提供了构造成提供与某些故障状态相关联的各种控制机制的分布式控制系统和分布式控制模块。故障状态可以由可结合到分布式控制模块中的内置测试模块确定。控制机制可以被构造为通过响应于故障状态提供增强控制命令,即使在故障状态存在时也保持可控部件的控制。例如,分布式控制模块可以通过提供增强闭环控制机制来保持可控部件的闭环控制,这样,尽管存在通信故障,控制命令模块也可以输出闭环控制命令。分布式控制模块还可以在与闭环控制机制(例如,标称闭环控制机制和/或增强闭环控制机制)中使用的传感器有关的传感器操作故障的情况下提供开环控制。在一些实施例中,分布式控制模块可以仅在严重故障的情况下断开可控部件的控制,同时在不包括严重故障的故障状态的情况下通过一个或多个控制机制(例如,闭环控制机制,增强闭环控制机制,和/或开环控制机制)保持可控部件的控制。

[0022] 应当理解,术语“上游”和“下游”是指相对于流体路径中的流体流动的相对方向。例如,“上游”是指流体从其流动的方向,而“下游”是指流体向其流动的方向。还应理解,诸如“顶部”,“底部”,“向外”,“向内”等术语是方便的用语,并且不应被解释为限制性术语。如本文所使用的,术语“第一”,“第二”和“第三”可以互换使用以将一个部件与另一个部件区分开,并且不旨在表示各个部件的位置或重要性。术语“一”和“一种”不表示数量限制,而是表示存在至少一个参考条项。

[0023] 在此以及整个说明书和权利要求书中,范围限制被组合和互换,并且除非上下文或语言另有指示,否则这种范围被识别并且包括其中包含的所有子范围。例如,本文公开的所有范围包括端点,并且端点可彼此独立地组合。

[0024] 如本文在整个说明书和权利要求书中所使用的,近似语言用于修饰可以允许变化而不会导致与其相关的基本功能发生变化的任何定量表示。因此,由诸如“约”,“大约”和“基本上”的术语修饰的值不限于所指定的精确值。在至少一些情况下,近似语言可以对应于用于测量值的仪器的精度,或者用于构造或制造部件和/或系统的方法或机器的精度。

[0025] 现在将进一步详细描述本公开的示例性实施例。图1示出了示例性分布式控制系统100。分布式控制系统100可以包括用于涡轮机或任何其他发动机,机器,处理或工厂的控制系统,并且可以包括分布在整个分布式控制系统100中的大量分布式控制模块。作为示例,分布式控制系统100可以包括或结合到用于涡轮机和/或飞行器的全权限直接发动机控制(FADEC)系统或发动机控制单元(ECU)。

[0026] 如图所示,示例性分布式控制系统100可以包括主处理单元102,一个或多个分布式控制模块104以及分别与对应分布式控制模块104相关联的一个或多个可控部件112。分布式控制系统100在分布式控制模块104之中分布控制处理。通常,主处理单元102为分布式控制模块104提供集中的监督控制,并且相应的分布式控制模块104实施一个或多个控制回路,用于根据来自主处理单元102的监督控制来控制与对应分布式控制模块104相关联的一个或多个可控部件112。主处理单元102可以包括数据仓库和服务器,该服务器被构造为将数据从数据仓库传输到分布式控制模块104,和/或从分布式控制模块104接收数据并将接收的数据存储在数据仓库中以用于进一步目的。

[0027] 与分布式控制系统100相关联的操作和方法(包括与分布式控制模块104相关联的

操作和方法),可以在涡轮机800(图8)(例如安装在飞行器上的涡轮机800)的环境中实施。本文所述的操作和方法可以例如在飞行期间以及飞行前和/或飞行后过程期间进行。

[0028] 可以提供任何数量的分布式控制模块104。作为示例,图1所示的示例性分布式控制系统100包括第一分布式控制模块106,第二分布式控制模块108和第N分布式控制模块110。分布式控制模块104可以与一个或多个可控部件112相关联。作为示例,图1所示的示例性分布式控制系统100包括与第一分布式控制模块106相关联的第一可控部件114,与第二分布式控制模块108相关联的第二可控部件116,以及与第N分布式控制模块110相关联的第N可控部件118。然而,将意识到,多个可控部件112可与单个分布式控制模块104相关联,和/或单个可控部件112可与多个分布式控制模块104相关联。

[0029] 作为示例,可控部件112可以包括致动器或伺服致动器,并且传感器可以包括被构造为测量致动器或伺服致动器的位置的位置传感器。作为另一个示例,可控部件112可以包括可变几何形状部件,或者联接到可变几何形状部件的致动器或伺服致动器。示例性可变几何形状部件包括燃料阀,可变位置风扇叶片,可变位置导向轮叶,可变位置压缩机叶片和可变位置涡轮叶片。

[0030] 图2示出了示例性分布式控制模块104。如图所示,分布式控制模块104可以包括通信地联接到主处理单元102和一个或多个可控部件112的一个或多个控制器200。控制器可以被构造为通过在来自主处理单元102的监督控制下实施控制回路或控制回路的组合来控制一个或多个可控部件112。可以由控制器200实施的示例性控制回路包括开环控制,闭环控制以及其组合。

[0031] 如本文所使用的,术语“开环”或“开环控制”通常是指不从经受这种控制回路或控制命令的系统的测量输出变量接收反馈的控制回路或控制命令。

[0032] 如本文所使用的,术语“闭环”或“闭环控制”通常是指利用来自经受这种控制回路或控制命令的系统的测量输出变量的反馈作为输入或取决于该反馈的控制回路或控制命令。这种测量输出变量可以包括来自传感器的测量,该传感器被构造为测量取决于这种控制回路或控制命令的输入的系统变量。利用闭环控制的控制器200可以将测量输出变量与设定点进行比较以确定误差值,该误差值可以例如在PID控制模型或任何其他期望的控制模型中使用。

[0033] 示例性分布式控制模块104可以包括通信接口204,通信接口204被构造为经由有线或无线通信线205通信地联接分布式控制模块104和主处理单元102。通信线205可以包括数据总线或有线和/或无线通信链路的组合。通信接口204可以包括用于与一个或多个网络接合的任何合适的部件,包括例如数据总线,发射器,接收器,端口,控制器,天线和/或其他合适的部件。示例性分布式控制模块104可以另外包括可操作地联接到电源单元208的电源接口206,以及可操作地联接到一个或多个传感器212的传感器接口210。

[0034] 现在转到图3,将描述分布式控制模块104的示例性控制器200。如图所示,示例性控制器200可以包括内置测试模块300,命令参考选择模块302,传感器选择模块304,控制逻辑模块306和控制命令模块308。

[0035] 内置测试模块300可执行各种内置测试,该内置测试被构造为确定由控制器200或分布式控制模块104操控的控制回路的故障状态。内置测试模块300还可以将故障状态的指示传输到与控制器200或分布式控制模块104相关联的其他模块,和/或传输到主处理单元

102。

[0036] 命令参考选择模块302可以被构造为选择用于由控制器200或分布式控制模块104操控的控制回路的控制逻辑的命令参考。例如,可以至少部分地基于来自内置测试模块300的控制回路的状况或故障状态的指示来选择命令参考。命令参考选择模块302可以被构造为从用于控制回路的许多可能的命令参考中进行选择,或者使与控制器200相关联的另一个模块利用控制回路中的许多可能的命令参考中的一个命令参考。作为示例,命令参考选择模块302可以被构造为从标称命令参考、先前命令参考或预设命令参考中选择,或使与控制器200相关联的另一个模块利用控制回路中的标称命令参考,先前命令参考或预设命令参考。

[0037] 标称命令参考是指由主处理单元102提供的命令参考。例如,主处理单元102可以以周期时钟安排,例如经由通信接口204将命令参考传输至分布式控制模块104。标称命令参考指的是根据分布式控制模块104的正常操作条件接收的命令参考。标称命令参考可以具有与周期时钟安排相对应的有效期。后续命令参考可以替代前面的标称命令参考,并且前面的标称命令参考可以成为先前命令参考。然而,这样的先前命令参考可以例如被保留在分布式控制模块的存储器中。例如,当后续命令参考不可用时,控制器200可以利用先前命令参考。

[0038] 预设命令参考是指已经例如根据静态或动态输入被预限定的命令参考。预设命令参考可以是用户限定的,或者预设命令参考可以基于一个或多个输入来确定。例如,可以基于先前命令参考来确定预设命令参考。在一个实施例中,可以基于控制回路的操作间隔(诸如时间段或诸如在指定操作条件下)的先前命令参考的平均值来确定预设命令参考。

[0039] 例如,当后续命令参考不可用时,控制器200可以利用预设命令参考,和/或先前命令参考可以被认为潜在地不可靠或比预设命令参考更不可靠。作为示例,当先前命令参考对应于太远的时间以至于不能被认为是可靠时,或者当先前命令参考对应于可能与当前的操作条件不同的操作条件时,可以在先前命令参考上选择预设命令参考。在这些情况下,可以选择与当前操作条件相对应的预设命令参考。

[0040] 传感器选择模块304可以被构造为从与传感器212相关联的多个传感器通道中,和/或从与控制器200或分布式控制模块104相关联的多个传感器212中选择。这样的传感器212或多个传感器212可以被构造为测量一个或多个可控部件112的系统变量,例如可控部件112的位置或与可控部件112相关联的处理输出。在一些实施例中,控制回路可以利用默认或优选通道来确定来自传感器212的输入,并且还可以提供备用或替代通道,使得控制回路可以替代地利用传感器212的备用通道。附加地或替代地,可以提供默认或优选传感器212,并且还可以提供备用或替代传感器212,使得控制回路可以利用默认或优选传感器212和/或备用或替代传感器212。例如,至少部分地基于来自内置测试模块300的控制回路的状况或故障状态的指示,传感器选择模块304可以从多个通道中选择用于传感器212的通道,和/或传感器选择模块304可以从多个传感器212中选择一个传感器212。

[0041] 控制逻辑模块306可以被构造为处理与由控制器200或分布式控制模块104操控的一个或多个控制回路相关联的控制逻辑,包括用于一个或多个闭环和/或开环控制的控制逻辑。控制逻辑可以包括可由与控制器200或分布式控制模块104相关联的一个或多个处理器执行的机器可执行指令。例如,控制逻辑模块306可以至少部分地基于来自内置测试模块

300的控制回路的状况或故障状态的指示,来选择控制逻辑。

[0042] 控制命令模块308可以包括专用存储器310。专用存储器310可以被构造为存储监督控制命令和/或命令参考(例如从主处理单元102接收的那些)。可以利用专用存储器310,以便在与主处理单元102的通信中断(包括间歇的,临时的,或延长的通信中断)的情况下,允许控制器200或分布式控制模块104可访问控制命令和/或命令参考。

[0043] 控制命令模块308还可以包括一个或多个控制模式312,包括一个或多个闭环控制模式,一个或多个开环控制模式和/或断开控制模式。例如,控制命令模块308至少部分地基于来自内置测试模块300的控制回路的状况或故障状态的指示,来选择控制模式。

[0044] 控制器200可以包括一个或多个计算装置,该一个或多个计算装置包括一个或多个处理器314和一个或多个存储器装置316,并且这种计算装置优选地位于分布式控制模块104的本地。一个或多个处理器314可以包括任何合适的处理装置,例如微处理器,微控制器,集成电路,逻辑装置和/或其他合适的处理装置。一个或多个存储器装置316可以包括一个或多个计算机可读介质,包括但不限于非暂时性计算机可读介质, RAM, ROM, 硬盘驱动器, 闪存驱动器和/或其他存储器装置316。

[0045] 一个或多个存储器装置316可以存储可由一个或多个处理器314访问的信息,包括可以由一个或多个处理器314执行的机器可执行指令318。指令318可以包括任何指令集318,当其由一个或多个处理器314执行时使一个或多个处理器314进行操作。在一些实施例中,指令318可以被构造为使一个或多个处理器314进行操作,包括为控制器200、分布式控制模块104和/或一个或多个计算装置所构造的操作。更具体地,这样的操作可以包括内置测试模块300的操作,命令参考选择模块302的操作,传感器选择模块304的操作,控制逻辑模块306的操作和/或控制命令模块308的操作。

[0046] 这种操作可包括根据本文所述的控制回路来控制一个或多个可控部件112。这种操作可以附加地或替代地包括:从一个或多个传感器212接收输入;以及根据控制回路,响应于一个或多个传感器212,控制一个或多个可控部件112。可以根据由主处理单元102提供的监督控制来附加地或替代地执行这种操作。机器可执行指令318可以是以任何合适的编程语言编写或者可以在硬件中实施的软件。附加地和/或替代地,指令318可以在处理器314上的逻辑和/或虚拟分离线程中执行。

[0047] 存储器装置316可存储可由一个或多个处理器314访问的数据320。数据320可以包括当前数据或实时数据,过去的的数据或其组合。数据320可以存储在数据库322中。作为示例,数据320可以包括与主处理单元102、一个或多个传感器212和/或分布式控制模块104相关联或由其生成的数据320,包括与控制器200或处理器314相关联或由其生成的数据320。数据320还可包括与分布式控制模块104或分布式控制系统100相关联的其他数据集,参数,输出,信息。

[0048] 通信接口204可以附加地或替代地允许分布式控制模块104和/或主处理单元102与用户接口324通信。

[0049] 现在参考图4,将进一步详细描述示例性内置测试模块300。内置测试模块300可以被用于确定故障状态的方法400中。内置测试模块300具有与其相关联的一个或多个内置测试,例如内置测试1到n,如框402所示。

[0050] 作为示例,示例性内置测试包括通信内置测试,处理内置测试,传感器内置测试以

及可控部件内置测试。通信内置测试可以包括检查与存储器、协议相关联的故障状态,和/或与通信(例如主处理单元102和分布式控制模块104之间的通信)相关联的消息。处理内置测试可以包括检查与存储器316相关联的故障状态,和/或与分布式控制模块104相关联的处理器314的逻辑。传感器内置测试可以包括检查与到分布式控制模块104的传感器212相关联的故障状态,例如与来自传感器212的输入相关联的那些、与传感器212相关联的开路或短路、范围值等。可控部件内置测试可以包括检查与分布式控制模块104相关联的可控部件112相关联的故障状态,例如与来自传感器212的输入相关联的那些、与传感器212相关联的开路或短路、范围值等。

[0051] 可以针对一个或多个内置测试402执行确定故障状态的方法,该内置测试402包括与内置测试模块300相关联的内置测试402的全部或子集。示例性方法400可以包括在框402处执行内置测试,并且在框404处确定内置测试是否指示存在故障(例如,“测试=故障?”)。

[0052] 当在框404处内置测试指示存在故障时,方法400可以包括在框406处确定故障状态。一个或多个故障状态可以与使用执行的内置测试402确定的故障相关联。示例性方法400可以另外包括在框408处确定与在框406处确定的故障状态相对应的响应状态。

[0053] 当在框404处内置测试未指示存在故障或内置测试指示不存在故障时,示例性方法400可以在框410处确定内置测试模块300是否包括要执行的另一个内置测试。当存在要执行的另一个内置测试时,示例性方法400可以返回到框402,以执行附加内置测试。从框402,当在框410处不存在附加内置测试时,示例性方法400在框412处确定故障状态等于无故障。

[0054] 在一些实施例中,内置测试模块300可以被构造为以预定测试间隔执行一个或多个内置测试。在示例性方法400中,内置测试模块300可以在框414处确定测试间隔是否已经过去(例如,“测试间隔=真?”)。可以为一个或多个内置测试确定测试间隔。当测试间隔已经过去时,示例性方法可以返回到框402,以执行一个或多个内置测试。

[0055] 在示例性实施例中,控制器200或分布式控制模块104可以被构造为输出控制命令,该控制命令至少部分地取决于由内置测试模块300确定的响应状态。作为示例,图5示出了故障状态表500,该故障状态表500包括示例性故障状态502,与相应故障状态502相对应的示例性响应状态504,以及与相应响应状态504相对应的示例性控制机制506。另外,图6A-6F分别示出了与图5所示的控制机制506(以及故障状态502和/或响应状态504)相对应的示例性控制回路600。

[0056] 如图5所示,示例性故障状态502可包括无故障508,通信故障510,传感器操作故障512和/或严重故障514。示例性通信故障510可以包括临时通信故障516,本地传感器故障518和/或主处理单元通信故障520。临时通信故障516可以包括主处理单元102与分布式控制模块104之间的短期或间歇通信问题。本地传感器故障518可以包括与从传感器接口210到分布式控制模块104的通信相关联的故障,例如与用于传感器212与传感器接口210之间的通信的特定通道有关的故障,或与用于这种通道的传感器接口210相关联的存储器316有关的故障。本地传感器故障518可以是模拟或数字故障,并且可以包括通信故障以及传感器电路故障,A/D故障等。传感器操作故障512可以包括与传感器212的操作相关联的故障,包括传感器212的中断或失效,诸如短路,过电流或位置错误。主处理单元通信故障520可能包括主处理单元102与分布式控制模块104之间的长期或严重通信问题。例如,主处理单元通

信故障520可以包括主处理单元102的中断或失效,或者涉及通信接口204的失效,诸如与通信接口204相关联的存储器316有关的故障。

[0057] 示例性严重故障514可包括处理器故障522,存储器故障524和/或可控部件故障526。处理器故障522可以包括与分布式控制模块104相关联的处理器314有关的故障,包括处理逻辑失效或处理器存储器失效。存储器故障524可以包括与分布式控制单元相关联的存储器316有关的故障,包括存储器失效,与指令318相关联的故障,与数据320或数据库322相关联的故障,诸如数据损坏故障。可控部件故障526可包括与可控部件112的操作相关联的故障,包括可控部件112的中断或失效,例如短路,过电流或控制错误。

[0058] 仍参考图5,当故障状态502无故障508时,示例性响应状态504可包括标称闭环控制528,并且对应的控制机制506可包括闭环控制机制530。当故障状态502包括通信故障510时,对应的控制机制506可以包括增强闭环控制机制534、538、542。例如,当通信故障510包括临时通信故障516时,在框532处,响应状态504可以提供在闭环控制中使用来自自主处理单元102的先前命令参考。对应的增强闭环控制机制534可包括闭环控制命令,该闭环控制命令利用来自自主处理单元102的先前控制命令和/或来自自主处理单元102的先前命令参考。当通信故障510包括本地传感器故障518时,响应状态504可以提供在闭环控制536中使用备用传感器通道,并且增强闭环控制机制538可以包括利用备用传感器通道的闭环控制命令。当通信故障510包括主处理单元通信故障520时,响应状态504可以提供在闭环控制540中使用预设命令参考,并且增强闭环控制机制542可以包括闭环控制命令,该闭环控制命令在闭环控制中利用预设命令参考。预设命令参考可以存储在存储器316(例如控制命令模块308的专用存储器310)中。

[0059] 相比之下,示例性响应状态504可包括当故障状态502包括传感器操作故障512时使用开环控制544,并且对应的控制机制506可包括开环控制机制546。因此,在一些实施例中,分布式控制模块104可以被构造为即使在存在通信故障510时也维持闭环控制,从而在更有限的一组故障状态502中(例如在传感器操作故障512的情况下)恢复到开环控制。

[0060] 在一些实施例中,对于某些严重故障514的响应状态504可以包括在框548处将控制器200与可控部件112断开,并且对应的控制机制可以包括断开控制机制550。例如,当严重故障514包括处理器故障522,存储器故障524和/或可控部件故障526时,响应状态504可以包括将控制器200与可控部件112断开。断开控制命令可以例如经由物理开关物理地执行,和/或经由由与控制器200相关联的处理器314执行的指令318逻辑地或虚拟地执行。本公开的分布式控制模块104可以例如通过增强闭环控制机制534、538、542和/或开环控制机制546的用户来使导致断开控制机制550的故障状态502的数量最小化。

[0061] 现在进一步参考图6A-6F,将进一步描述对应于图5中所示的示例性控制机制506的控制回路600。内置测试模块300(图3和图4)可以向一个或多个模块(例如控制命令模块308,命令参考模块303,控制逻辑模块306和/或传感器选择模块304)提供故障状态502的指示。

[0062] 图6A示出了对应于标称闭环控制机制530的示例性控制回路600。当内置测试模块300提供故障状态502是无故障508的指示时,可以利用标称闭环机制。如图6A所示,在标称闭环控制机制530的情况下,控制命令模块308可以将闭环控制命令602提供给可控部件112。控制命令模块308可以从主处理单元102接收控制命令604和/或命令参考606。

[0063] 主处理单元102可以被构造为至少部分地基于故障状态502为无故障508来提供控制命令604和/或命令参考606。例如,主处理单元102可以从内置测试模块300接收故障状态502为无故障508的指示。附加地或替代地,控制命令模块308可以被构造为至少部分地基于故障状态502为无故障508的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制命令604和/或命令参考606。控制命令604和/或命令参考606可以存储在控制命令模块308的专用存储器310中。

[0064] 命令参考606可以例如从控制命令模块308和/或从主处理单元102提供给命令参考选择模块302。附加地或替代地,命令参考选择模块302可以被构造为至少部分地基于故障状态502为无故障508的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择命令参考606。命令参考选择模块302可以将命令参考606提供给控制逻辑模块306。

[0065] 控制逻辑模块306可以包括用于与各种控制机制一起使用的一个或多个控制逻辑变量。例如,如图6A所示,除其他之外,控制逻辑模块306可以包括闭环控制逻辑608。控制逻辑模块306可以被构造为至少部分地基于故障状态502为无故障508的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制逻辑,诸如闭环控制逻辑608。

[0066] 控制逻辑模块306还可以经由一个或多个通道从传感器212接收传感器反馈。例如,传感器选择模块304可以被构造为选择传感器通道,以用于将传感器反馈从传感器212提供给控制逻辑模块306。传感器选择模块304可以被构造为至少部分地基于故障状态502为无故障508的指示(诸如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择传感器通道。如图所示,在图6A中,传感器选择模块304可以选择从传感器212接收的通道A传感器反馈610,并且传感器选择模块304可以将这种通道A传感器反馈610提供给控制逻辑模块306。

[0067] 控制逻辑模块306可以使用来自命令参考选择模块302的命令参考606和/或来自传感器选择模块304的通道A传感器反馈610来处理控制逻辑,例如闭环控制逻辑608。例如,控制逻辑模块306可以利用与控制器200相关联的处理器314来处理这种控制逻辑。控制逻辑模块306可以将处理的控制逻辑输出到控制命令模块308。输出到控制命令模块308的处理的控制逻辑可以是控制命令(例如闭环控制命令602)的形式。

[0068] 控制命令模块308可包括多个控制模式312,包括闭环控制模式612。控制命令模块308可以被构造为至少部分地基于故障状态502为无故障508的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制模式312,例如闭环控制模式612。

[0069] 控制命令模块308可以从控制逻辑模块306接收控制命令,例如闭环控制命令602。控制命令模块308还可被构造为至少部分地基于故障状态502为无故障508的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择从控制逻辑模块306接收的控制命令,诸如闭环控制命令602。

[0070] 控制命令模块308可以将控制命令(诸如闭环控制命令602)输出到可控部件112,使得可控部件112可以由这样的控制命令(例如,闭环控制命令602)控制。传感器212可以确定可控部件112的状态(例如测量的位置或值),并且可以向传感器选择模块提供传感器反馈,例如通道A传感器反馈610。

[0071] 现在参考图6B,将描述与通信故障510(诸如临时通信故障516)相对应的示例性控制回路600。图6B中所示的控制回路600反映了具有响应状态504的增强闭环控制机制534,该响应状态504包括在框532(图5)处的在闭环控制中使用来自主处理单元102的先前控制

命令和/或来自主处理单元102的先前命令参考。图6B中示出的控制回路600提供了增强闭环控制机制534,其通常包括与参考图6A描述的元件相似的元件。然而,如由包括通信故障510(例如临时通信故障516)的故障状态502指示的,内置测试模块300可能已经确定了与主处理单元102和分布式控制模块104之间的通信(包括短期或间歇通信问题)有关的故障。这种临时通信故障516在图6B中由主处理单元102和控制命令模块308之间和/或主处理单元102和命令参考选择模块302之间的虚线上的X 614指示。控制命令模块308可以通过提供增强闭环控制机制534来保持可控部件112的闭环控制,因此,尽管发生通信故障510(例如临时通信故障516),控制命令模块308仍可以输出闭环控制命令602。

[0072] 控制命令模块308可以包括可以被存储在控制命令模块308的专用存储器310中的先前控制命令616和/或先前命令参考618。先前控制命令616和/或先前命令参考618可能已经在临时通信故障516之前或在临时通信故障516期间从主处理单元102接收到,但是具有滞后或延迟。控制命令模块308可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括临时通信故障516的指示(诸如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择先前控制命令616和/或先前命令参考618。

[0073] 先前命令参考618可以例如从控制命令模块308提供给命令参考选择模块302。附加地或替代地,命令参考选择模块302可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510(诸如临时通信故障516)的指示(诸如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择先前命令参考618。

[0074] 命令参考选择模块302可以将先前命令参考618提供给控制逻辑模块306,并且控制逻辑模块306还可以从传感器212接收传感器反馈(例如,通道A传感器反馈610),如参考图6A描述的。控制逻辑模块306可以被构造为选择控制逻辑(诸如闭环控制逻辑608),并使用先前命令参考618以及通道A传感器反馈610来处理这种控制逻辑,如参考图6A描述的。例如,控制逻辑模块306可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510(诸如临时通信故障516)的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制逻辑(诸如闭环控制逻辑608)。控制逻辑模块306可以将处理的控制逻辑例如以控制命令(例如,闭环控制命令602)的形式输出到控制命令模块308。

[0075] 控制命令模块308可被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510(诸如临时通信故障516)的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制模式312(诸如闭环控制模式612)。控制命令模块308还可被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510(诸如临时通信故障516)的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择从控制逻辑模块306接收的控制命令(诸如闭环控制命令602)。

[0076] 控制命令模块308可以将控制命令(诸如闭环控制命令602)输出到可控部件112,使得可控部件112可以由这样的控制命令(例如,闭环控制命令602)控制,从而尽管发生通信故障510(例如临时通信故障516),但仍通过提供增强闭环控制机制534来至少部分地保持闭环控制。传感器212可以类似地确定可控部件112的状态(例如测量的位置或值),并且可以向传感器选择模块提供传感器反馈(例如通道A传感器反馈610)。

[0077] 现在参考图6C,将描述与通信故障510(诸如本地传感器故障518)相对应的示例性控制回路600。图6C中所示的控制回路600反映了具有响应状态504的增强闭环控制机制

538, 该响应状态504包括在框536 (图5) 处的在闭环控制中使用备用传感器通道。图6C所示的控制回路600提供增强闭环控制538, 其通常包括与参考图6A描述的元件相似的元件。然而, 如由包括通信故障510 (例如本地传感器故障518) 的故障状态502指示的, 内置测试模块300可能已经确定与用于传感器212与传感器接口210之间的通信的特定通道有关的故障, 或与用于这种通道的传感器接口210相关联的存储器316有关的故障。

[0078] 控制命令模块308可通过提供增强闭环控制机制538来保持可控部件112的闭环控制, 因此, 尽管发生通信故障510 (例如临时通信故障516), 但控制命令模块308仍可输出闭环控制命令602。

[0079] 传感器选择模块304可以被构造为选择传感器通道, 以用于将传感器反馈从传感器212提供给控制逻辑模块306。可以至少部分地基于故障状态502包括通信故障510 (例如本地传感器故障518) 的指示 (例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示) 来选择传感器通道。如图所示, 在图6C中, 传感器选择模块304可以利用从传感器212接收的通道B传感器反馈620, 并且传感器选择模块304可以将这种通道B传感器反馈610提供给控制逻辑模块306。

[0080] 可以将通道B传感器反馈620提供给传感器选择模块304和/或传感器选择模块304被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510 (例如本地传感器故障518) 的指示 (例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示) 来选择通道B传感器反馈620。

[0081] 控制逻辑模块306可以被构造为选择控制逻辑 (诸如闭环控制逻辑608) 并且使用命令参考606以及通道B传感器反馈620来处理这种控制逻辑, 如参考图6A描述的。例如, 控制逻辑模块306可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510 (例如本地传感器故障518) 的指示 (例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示) 来选择控制逻辑 (诸如闭环控制逻辑608)。控制逻辑模块306可以将处理的控制逻辑例如以控制命令 (例如, 闭环控制命令602) 的形式输出到控制命令模块308。

[0082] 控制命令模块308可被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510 (例如本地传感器故障518) 的指示 (例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示) 来选择控制模式312 (诸如闭环控制模式612)。控制命令模块308还可被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510 (例如本地传感器故障518) 的指示 (例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示) 来选择从控制逻辑模块306接收的控制命令。

[0083] 控制命令模块308可以将控制命令 (诸如闭环控制命令602) 输出到可控部件112, 使得可控部件112可以由这种控制命令 (例如, 闭环控制命令602) 控制, 从而尽管发生通信故障510 (例如本地传感器故障518), 但仍通过提供增强闭环控制机制538至少部分地保持闭环控制。传感器212可以类似地确定可控部件112的状态 (例如测量的位置或值), 并且可以向传感器选择模块提供传感器反馈 (例如通道A传感器反馈610)。

[0084] 现在参考图6D, 将描述与通信故障510 (诸如主处理器单元通信故障520) 相对应的示例性控制回路600。图6D所示的控制回路600反映了具有响应状态504的增强闭环控制机制542, 该响应状态504包括在框540 (图5) 处的在闭环控制中使用预设命令参考624。图6D中所示的控制回路600提供了增强闭环控制542, 其通常包括与参考图6A描述的元件相似的元件。然而, 如由包括通信故障510 (例如主处理单元通信故障520) 的故障状态502指示的, 内置测试模块300可能已经确定与主处理单元102和分布式控制模块104之间的长期或严重通

信问题有关的故障(例如主处理单元102的中断或失效),或涉及通信接口204的失效(例如与通信接口204相关联的存储器316有关的故障)。在图6D中,这种主处理单元通信故障520由主处理单元102与控制命令模块308之间和/或主处理单元102与命令参考选择模块302之间的虚线上的X 622指示。

[0085] 控制命令模块308可通过提供增强闭环控制机制542来保持可控部件112的闭环控制,因此,尽管发生通信故障510(例如主处理单元通信故障520),但控制命令模块308仍可输出闭环控制命令602。

[0086] 控制命令模块308可以包括可以被存储在控制命令模块308的专用存储器310中的先前控制命令616和/或预设命令参考624。先前控制命令616和/或预设命令参考624可能已经在临时通信故障516之前或在临时通信故障516期间从主处理单元102接收到,但是具有滞后或延迟。控制命令模块308可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括主处理单元通信故障520的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择先前控制命令616和/或预设命令参考624。

[0087] 预设命令参考624可以例如从控制命令模块308提供给命令参考选择模块302。附加地或替代地,命令参考选择模块302可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510(例如主处理单元通信故障520)的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择预设命令参考624。

[0088] 命令参考选择模块302可以将预设命令参考624提供给控制逻辑模块306,并且控制逻辑模块306还可以如参考图6A描述的从传感器212接收传感器反馈(例如,通道A传感器反馈610)。控制逻辑模块306可以被构造为选择控制逻辑(诸如闭环控制逻辑608),并如参考图6A描述的使用先前命令参考618以及通道A传感器反馈610来处理这种控制逻辑。例如,控制逻辑模块306可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510(例如主处理单元通信故障520)的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制逻辑(诸如闭环控制逻辑608)。控制逻辑模块306可以将处理的控制逻辑例如以控制命令(例如,闭环控制命令602)的形式输出到控制命令模块308。

[0089] 控制命令模块308可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510(例如主处理单元通信故障520)的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制模式312(诸如闭环控制模式612)。控制命令模块308还可被构造为至少部分地基于故障状态502包括通信故障510(例如主处理单元通信故障520)的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择从控制逻辑模块306接收的控制命令(诸如闭环控制命令602)。

[0090] 控制命令模块308可以将控制命令(诸如闭环控制命令602)输出到可控部件112,使得可控部件112可以由这种控制命令(例如,闭环控制命令602)控制,从而尽管发生通信故障510(例如主处理单元通信故障520),但仍通过提供增强闭环控制机制534而至少部分地保持闭环控制。传感器212可以类似地确定可控部件112的状态(例如测量的位置或值),并且可以向传感器选择模块提供传感器反馈(例如通道A传感器反馈610)。

[0091] 现在参考图6E,将描述对应于传感器操作故障512的示例性控制回路600。图6E中所示的控制回路600反映了具有响应状态504的开环控制机制546,该响应状态504包括在框544(图5)处的使用开环控制。图6E中所示的控制回路600提供了开环控制机制546,除了缺

少来自传感器212的传感器反馈(例如,既不是通道A传感器反馈610也不是通道B传感器反馈620)外,该开环控制机制546通常包括与参考图6A描述的元件类似的元件。如由包括传感器操作故障512的故障状态502指示的,内置测试模块300可能已经确定与传感器212的操作相关联的故障,包括传感器212的中断或失效,例如短路,过电流或位置错误。这种传感器操作故障512在图6E中由传感器212和传感器选择模块304之间的虚线上的X 626指示。

[0092] 控制命令模块308可以通过提供开环控制机制546来提供可控部件112的开环控制,因此,尽管传感器操作故障512,但控制命令模块308仍可以输出控制命令(例如,开环控制命令628)。以这种方式,即使分布式控制模块104(例如,控制命令模块308)在标称闭环控制响应状态528下可以提供需要来自传感器12的传感器反馈(例如,通道A传感器反馈610或通道B传感器反馈620)的闭环控制机制530,在传感器操作故障512的情况下,仍然可以使用开环控制来控制可控部件112。

[0093] 控制命令模块308可以包括可以存储在控制命令模块308的专用存储器310中的控制命令604和/或命令参考606。控制命令604和/或命令参考606可能已经从主处理单元102接收。附加地或替代地,控制命令模块308可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括传感器操作故障512的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制命令604和/或命令参考606。

[0094] 命令参考606可以例如从控制命令模块308提供给命令参考选择模块302。附加地或替代地,命令参考选择模块302可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括传感器操作故障512的指示(诸如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择命令参考606。

[0095] 命令参考选择模块302可以将命令参考606提供给控制逻辑模块306。然而,控制逻辑模块306可能至少部分地由于传感器操作故障512而不能如参考图6A描述的那样从传感器212接收传感器反馈(例如,既不是通道A传感器反馈610也不是通道B传感器反馈620)。

[0096] 除其他外,控制逻辑模块306可以包括其他控制逻辑,例如开环控制逻辑630。控制逻辑模块306可以被构造为例如至少部分地基于故障状态502包括传感器操作故障512的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制逻辑(诸如开环控制逻辑630),并且使用这种命令参考606来处理这种控制逻辑。控制逻辑模块306可以将处理的控制逻辑例如以控制命令(例如,开环控制命令628)的形式输出到控制命令模块308。

[0097] 控制命令模块308可包括多个控制模式312(包括开环控制模式632)。控制命令模块308可以被构造为至少部分地基于故障状态502包括传感器操作故障512的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择控制模式312(例如开环控制模式632)。控制命令模块308还可被构造为至少部分地基于故障状态502包括传感器操作故障512的指示(例如至少部分地基于来自内置测试模块300的这种指示)来选择从控制逻辑模块306接收的控制命令(例如开环控制命令628)。

[0098] 控制命令模块308可以将控制命令(诸如开环控制命令628)输出给可控部件112,使得可控部件112可以由这样的控制命令(例如,开环控制命令628)控制,从而在与闭环控制机制530中使用的传感器212有关的传感器操作故障512的情况下提供开环控制。

[0099] 现在参考图6F,将描述对应于严重故障514的示例性控制回路600。图6F中所示的控制回路600反映了具有响应状态504的断开控制机制550,该响应状态504包括在框548(图

5) 的将控制器200或分布式控制模块104与可控部件112断开。图6F所示的控制回路600提供了断开控制命令634,该断开控制命令634可以例如经由物理开关物理地执行,和/或经由由与控制器200相关联的处理器314执行的指令318逻辑地或虚拟地执行。如由包括严重故障514的故障状态502指示,内置测试模块300可能已确定处理器故障522,存储器故障524和/或可控部件故障526。断开控制机制550在图6F中由控制命令模块308和传感器212之间的虚线上的X 636指示。

[0100] 在一些实施例中,仅在严重故障514的情况下,分布式控制模块104(例如,控制命令模块308)可以断开可控部件112的控制(例如,闭环控制和开环控制),同时在故障状态502不包括严重故障514的情况下,通过一个或多个控制机制(例如,闭环控制机制530,增强闭环控制机制534、538、542,和/或开环控制机制546)保持可控部件112的控制。

[0101] 在各个实施例中,可以单独地或组合地包括本公开的故障状态502,响应状态504和/或控制机制506。例如,可以同时存在多于一个的故障状态502。通常,在多于一个的故障状态502的情况下,对应的响应状态504和/或对应的控制机制506可以包括与多于一个的故障状态502相对应的响应状态504和/或控制机制506的聚合。然而,在多于一个的故障状态502的情况下,可以提供一个响应状态504和一个对应的控制机制506。

[0102] 例如,在临时通信故障516与本地传感器故障518同时发生的情况下,聚合响应状态504可以包括在框532处的在闭环控制中使用来自自主处理单元102的先前控制命令616和/或先前命令参考618,以及在框536处的在闭环控制中使用备用传感器通道。与这种聚合响应状态504相对应的控制机制506可以包括聚合增强闭环控制机制,该聚合增强闭环控制机制包括图6B所示的增强闭环控制机制534和图6C所示的增强闭环控制机制538。

[0103] 作为另一示例,在传感器操作故障512与通信故障510同时发生的情况下,响应状态可以包括在诸如图6E所示的开环控制机制546中使用开环控制544。

[0104] 作为又一示例,在严重故障514与传感器操作故障512和/或通信故障510同时发生的情况下,响应状态504可以包括在框548处的将控制器200或分布式控制模块104与可控部件112断开。

[0105] 现在转到图7,将讨论响应与分布式控制模块104相关联的故障状态502的示例性方法。如图所示,示例性方法700可以包括在框702处,使用内置测试模块300来确定与控制回路相关联的故障状态502。内置测试模块300可以结合到分布式控制模块104中,并且故障状态502可以包括无故障508,通信故障510,传感器操作故障512或严重故障514。示例性方法700可以另外包括在框704处,当故障状态502包括无故障508时,将闭环控制命令602从分布式控制模块104传输到可控部件112。示例性方法700可以附加地或替代地包括在框706处,当故障状态502包括通信故障510或传感器操作故障512时,将增强控制命令(例如,增强闭环控制机制534、538、542中的闭环控制命令602,或开环控制机制546中的开环控制命令628)从分布式控制模块104传输到可控部件112。示例性方法700可以进一步附加地或替代地包括在框708处,当故障状态502包括严重故障514时,将断开控制命令634从分布式控制模块104传输到可控部件112。

[0106] 在一些实施例中,示例性方法700可以包括在框710处,当故障状态502包括通信故障510时,将(例如,增强闭环控制机制534、538、542中的)增强闭环控制命令602从分布式控制模块104传输到可控部件112。附加地或替代地,示例性方法700可以包括在框712处,当故

障状态502包括传感器操作故障512时,将(例如,开环控制机制546中的)开环控制命令628从分布式控制模块104传输到可控部件112。

[0107] 本公开的方面可以被结合到期望分布式控制系统100和/或分布式控制模块104的任何处理,系统或机器中,或者以其他方式与其一起使用。作为示例,本公开可以用涡轮机(例如涡轮风扇发动机800)来实施。图8提供了根据本公开的示例性实施例的涡轮风扇发动机800的示意截面视图。发动机800可以被结合到运载器(例如飞行器,海上船只或陆地运载器)中。例如,发动机800可以是结合到飞行器中的航空发动机。然而,替代地,发动机可以是用于任何其他合适的运载器的任何其他合适类型的发动机。

[0108] 对于所示实施例,发动机被构造为高旁路涡轮风扇发动机800。如图8所示,涡轮风扇发动机800限定轴向方向A(平行于提供用于参考的纵向中心线801延伸),径向方向R和周向方向(绕轴向方向A延伸;未在图8中示出)。通常,涡轮风扇发动机800包括风扇区段802和布置在风扇区段802下游的涡轮机804。

[0109] 所示的示例性涡轮机804通常包括限定环形入口808的基本上管状的外壳806。外壳806以串行流动关系包围:压缩机区段,其包括增压器或低压(LP)压缩机810和高压(HP)压缩机812;燃烧区段814;涡轮区段,其包括高压(HP)涡轮816和低压(LP)涡轮818;喷射排气喷嘴区段820。压缩机区段,燃烧区段814和涡轮区段一起至少部分地限定从环形入口808延伸到喷射排气喷嘴区段820的核心空气流动路径821。涡轮风扇发动机还包括一个或多个驱动轴。更具体地,涡轮风扇发动机包括将HP涡轮816驱动地连接至HP压缩机812的高压(HP)轴或线轴822,以及将LP涡轮818驱动地连接至LP压缩机810的低压(LP)轴或线轴824。

[0110] 对于所示的实施例,风扇区段802包括风扇826,该风扇826具有以间隔开的方式联接至盘830的多个风扇叶片828。风扇叶片828和盘830可通过LP轴824一起绕纵向轴线801旋转。盘830由可旋转的前毂832覆盖,前毂832在空气动力学上成形以促进通过多个风扇叶片828的气流。此外,提供环形风扇壳体或外机舱834,其周向围绕风扇826和/或涡轮机804的至少一部分。机舱834由多个周向间隔开的出口导向轮叶836相对于涡轮机804被支撑。机舱834的下游区段838在涡轮机804的外部分上延伸,以便在它们之间限定旁路气流通道840。

[0111] 仍然参考图8,涡轮风扇发动机800另外包括燃料输送系统842。燃料输送系统842通常包括燃料源844(例如燃料箱)和一个或多个燃料管线846。一个或多个燃料管线846将通过燃料输送系统842的燃料流提供给涡轮风扇发动机800的涡轮机804的燃烧区段814。燃料输送系统可包括一个或多个可控部件112,例如燃料阀或联接至燃料阀的致动器或伺服致动器。一个或多个传感器212可以可操作地分别联接到一个或多个可控部件112。可以使用分布式控制模块104来控制一个或多个可控部件112,该分布式控制模块104可以通信地联接到分布式控制系统100。例如,一个或多个传感器212可以通信地联接到分布式控制模块104,以便提供闭环控制机制530或增强闭环控制机制534、538、542。

[0112] 将理解的是,仅通过示例的方式提供了图8所示的示例性涡轮风扇发动机800。在其他示例性实施例中,任何其他合适的发动机可以与本公开的方面一起使用。例如,在其他实施例中,发动机可以是任何其他合适的燃气涡轮发动机,例如涡轮轴发动机,涡轮螺旋桨发动机,涡轮喷气发动机等。以这种方式,将进一步认识到,在其他实施例中,燃气涡轮发动机可具有任何其他合适的构造,例如任何其他合适数量或布置的轴,压缩机,涡轮,风扇等。此外,仍然在替代实施例中,本公开的方面可以结合到任何其他合适类型的燃气涡轮发动机

(例如结合到发电系统中的工业燃气涡轮发动机,航海燃气涡轮发动机等任何其他类型的发动机,诸如往复式发动机)中,或以其他方式与其一起使用。

[0113] 此外,尽管本文未示出,但是在其他实施例中,示例性发动机800可以包括任意数量的分布式控制模块104,该分布式控制模块104被构造为控制发动机800的各种可控部件112,包括可变几何形状部件,包括可变位置风扇叶片,可变位置导向轮叶,可变位置压缩机叶片和可变位置涡轮叶片。这样的分布式控制模块104可以是单个分布式控制系统100的一部分或多个分布式控制系统100的一部分。

[0114] 该书面描述使用示例性实施例来描述本公开的主题,包括最佳模式,并且还使本领域的任何技术人员能够实践这种主题,包括制造和使用任何装置或系统以及进行任何结合的方法。本公开的主题的可专利范围由权利要求书限定,并且可以包括本领域技术人员想到的其他示例。如果这样的其他示例包括与权利要求的字面语言没有不同的结构元件,或者如果它们包括与权利要求的字面语言没有实质性差异的等效结构元件,则这些其他示例意图落入权利要求的范围内。

[0115] 本发明的进一步方面通过以下条项的主题提供:

[0116] 1.一种响应与分布式控制模块相关联的故障的方法,所述方法包括:使用内置测试模块确定与控制回路相关联的故障状态,所述内置测试模块被结合到分布式控制模块中,并且所述故障状态包括无故障、通信故障、传感器操作故障或严重故障;并且当所述故障状态包括无故障时,将闭环控制命令从所述分布式控制模块传输到可控部件;或当所述故障状态包括通信故障或传感器操作故障时,将增强控制命令从所述分布式控制模块传输到所述可控部件;或当所述故障状态包括严重故障时,将断开控制命令从所述分布式控制模块传输到所述可控部件。

[0117] 2.根据任何在前条项的方法,其中,当所述故障状态包括通信故障时,所述增强控制命令包括闭环控制命令。

[0118] 3.根据任何在前条项的方法,其中,当所述故障状态包括传感器操作故障时,所述增强控制命令包括开环控制命令。

[0119] 4.根据任何在前条项的方法,其中,所述通信故障包括临时通信故障、本地传感器故障和/或主处理单元通信故障。

[0120] 5.根据任何在前条项的方法,其中,所述严重故障包括处理器故障,存储器故障和/或可控部件故障。

[0121] 6.根据任何在前条项的方法,包括:使用内置测试模块确定所述故障状态。

[0122] 7.根据任何在前条项的方法,包括:当所述内置测试模块确定包括临时通信故障的故障状态时,在增强闭环控制机制中使用先前控制命令和/或先前命令参考,所述增强闭环控制机制包括构造成传输所述增强控制命令的控制命令模块。

[0123] 8.根据任何在前条项的方法,包括:当所述内置测试模块确定包括本地传感器故障的故障状态时,在增强闭环控制机制中使用备用传感器通道,所述增强闭环控制机制包括构造成传输所述增强控制命令的控制命令模块。

[0124] 9.根据任何在前条项的方法,包括:当所述内置测试模块确定包括主处理单元通信故障的故障状态时,在增强闭环控制机制中使用预设命令参考和/或先前控制命令,所述增强闭环控制机制包括构造成传输所述增强控制命令的控制命令模块。

[0125] 10.根据任何在前条项的方法,包括:当所述内置测试模块确定包括传感器操作故障的故障状态时,在开环控制机制中使用开环控制命令,所述开环控制机制包括构造成传输所述开环控制命令的控制命令模块,所述增强控制命令包括所述开环控制命令。

[0126] 11.根据任何在前条项的方法,包括:从传感器接收传感器反馈,所述传感器被构造为测量所述可控部件的系统变量。

[0127] 12.根据任何在前条项的方法,其中,所述可控部件包括致动器或伺服致动器。

[0128] 13.根据权利要求12所述的方法,其中,所述传感器包括位置传感器,所述位置传感器被构造为测量所述致动器或所述伺服致动器的位置。

[0129] 14.一种分布式控制系统,包括:主处理单元、分布式控制模块以及可控部件,所述分布式控制模块被构造为:使用内置测试模块确定与控制回路相关联的故障状态,所述内置测试模块被结合到所述分布式控制模块中,并且所述故障状态包括无故障、通信故障、传感器操作故障或可控部件故障;并且当所述故障状态包括无故障时,将闭环控制命令从所述分布式控制模块传输到可控部件;或当所述故障状态包括通信故障或传感器操作故障时,将增强控制命令从所述分布式控制模块传输到所述可控部件;或当所述故障状态包括可控部件故障时,将断开控制命令从所述分布式控制模块传输到所述可控部件。

[0130] 15.根据任何在前条项的分布式控制系统,其中,所述分布式控制模块包括:内置测试模块,所述内置测试模块被构造为确定所述故障状态。

[0131] 16.根据任何在前条项的分布式控制系统,其中,所述可控部件包括联接到可变几何形状部件的致动器或伺服致动器。

[0132] 17.根据任何在前条项的分布式控制系统,其中,所述传感器包括位置传感器,所述位置传感器被构造为测量所述致动器或所述伺服致动器的位置。

[0133] 18.根据任何在前条项的分布式控制系统,其中,所述可变几何形状部件包括燃料阀、可变位置风扇叶片、可变位置导向轮叶、可变位置压缩机叶片或可变位置涡轮叶片。

[0134] 19.一种包括计算机可执行指令的计算机可读介质,当所述计算机可执行指令由分布式控制模块的一个或多个处理器执行时,使所述分布式控制模块进行以下操作:使用内置测试模块确定与控制回路相关联的故障状态,所述内置测试模块被结合到分布式控制模块中,并且所述故障状态包括无故障、通信故障、传感器操作故障或可控部件故障;并且当所述故障状态包括无故障时,将闭环控制命令从所述分布式控制模块传输到可控部件;或当所述故障状态包括通信故障或传感器操作故障时,将增强控制命令从所述分布式控制模块传输到所述可控部件;或当所述故障状态包括可控部件故障时,将断开控制命令从所述分布式控制模块传输到所述可控部件。

[0135] 20.根据任何在前条项的计算机可读介质,其中,所述计算机可读介质被结合到用于涡轮机和/或飞行器的全权限直接发动机控制(FADEC)系统或发动机控制单元(ECU)中,或与所述全权限直接发动机控制(FADEC)系统或所述发动机控制单元(ECU)一起使用。

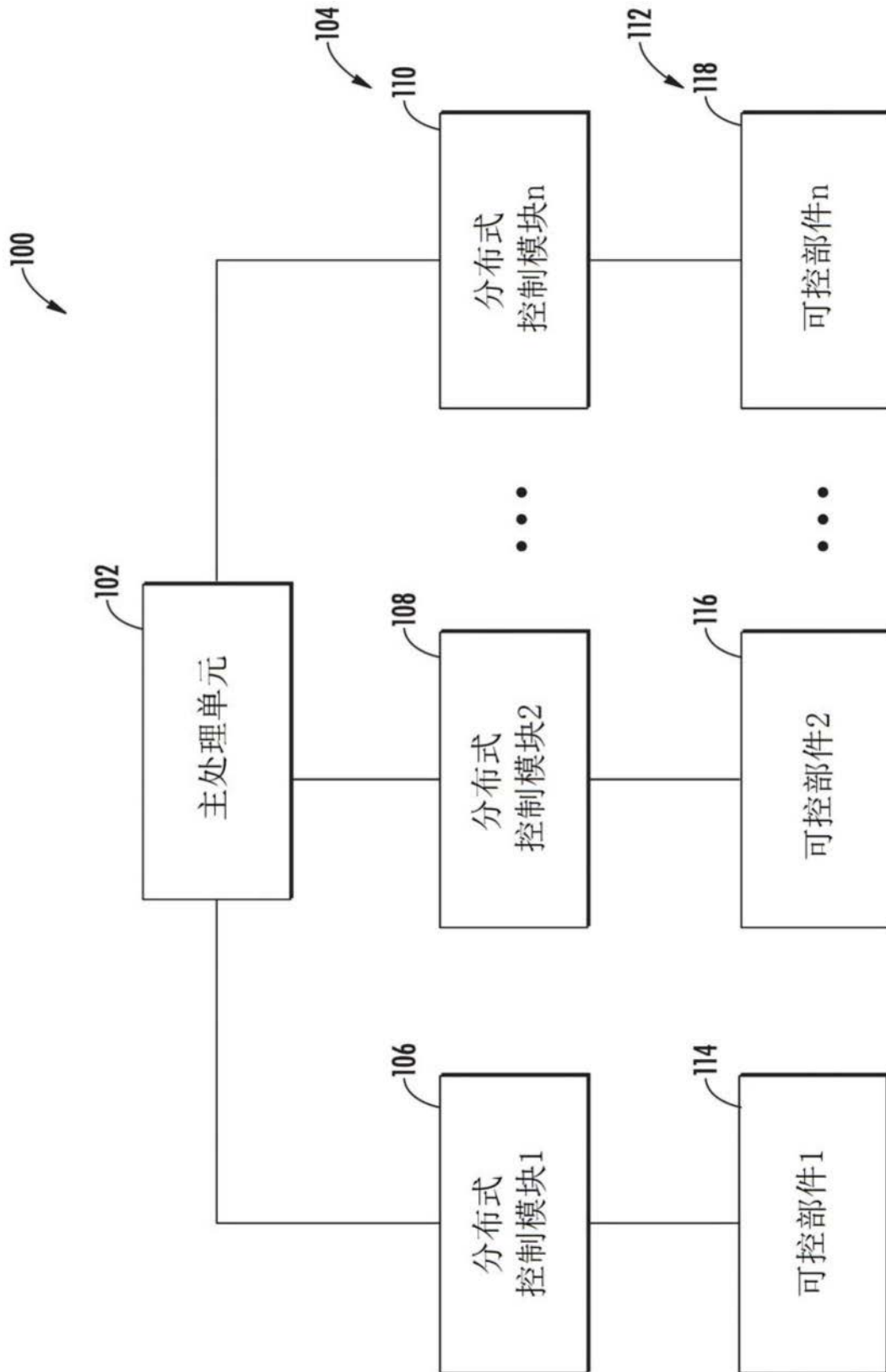


图1

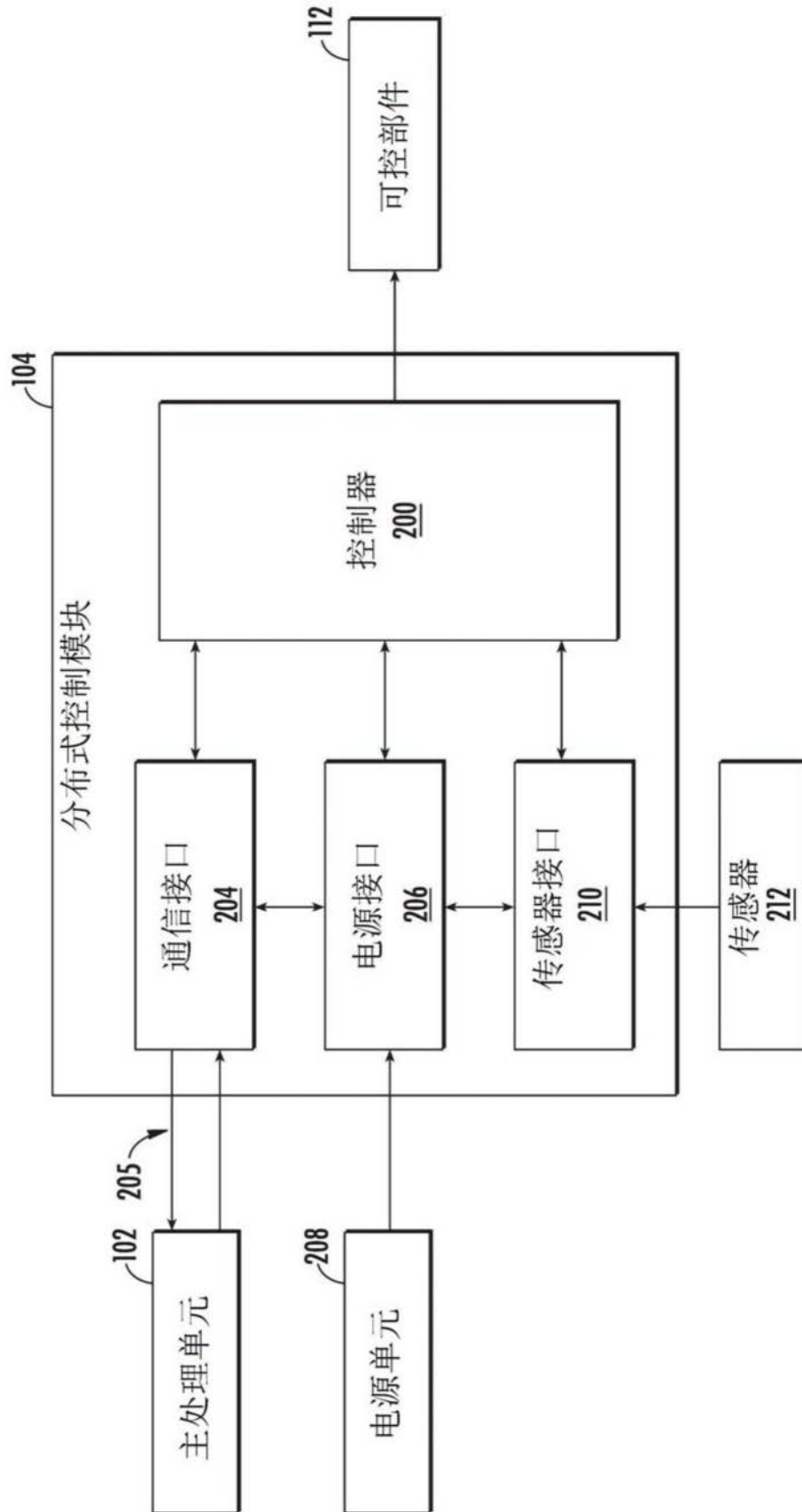


图2

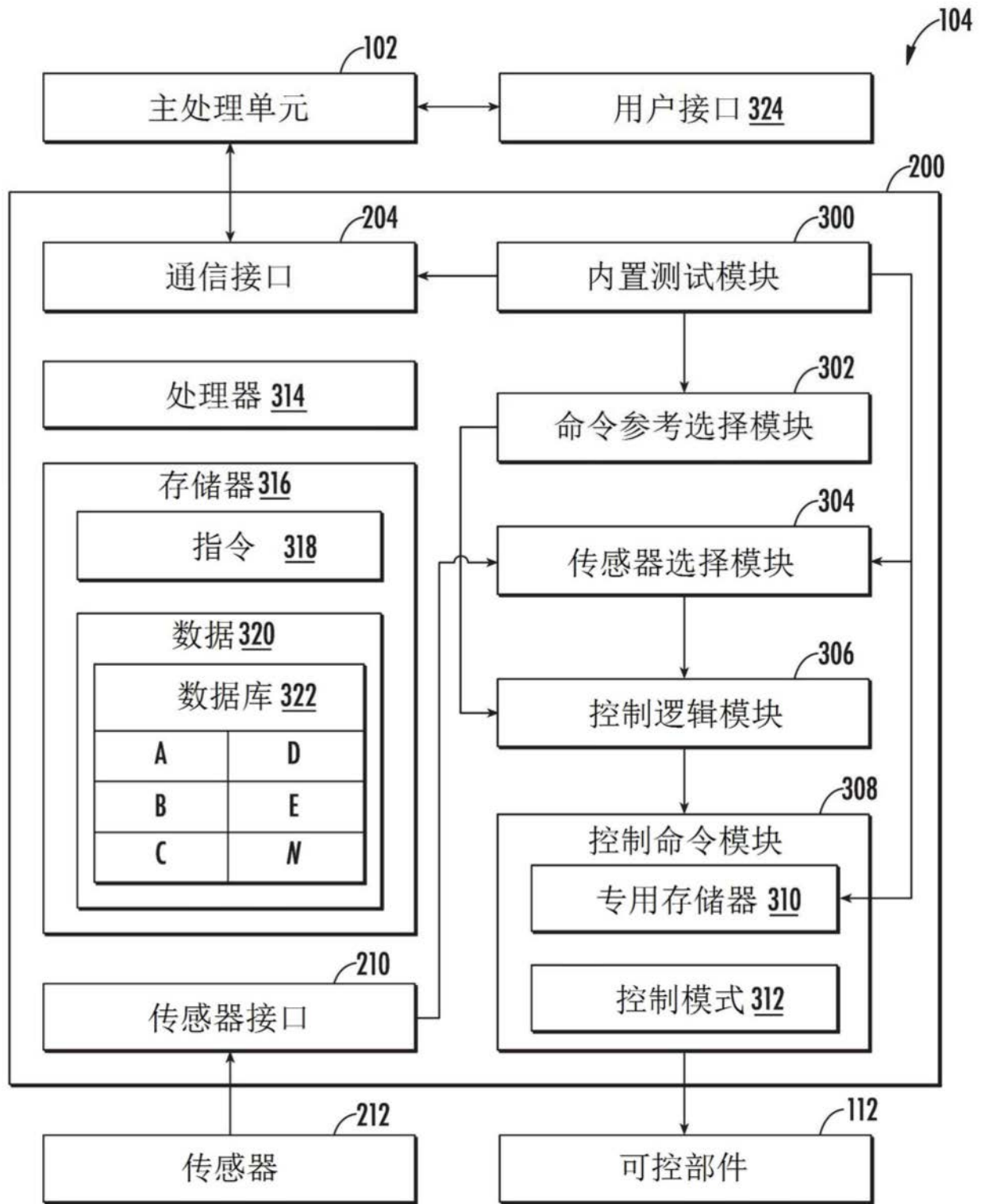


图3

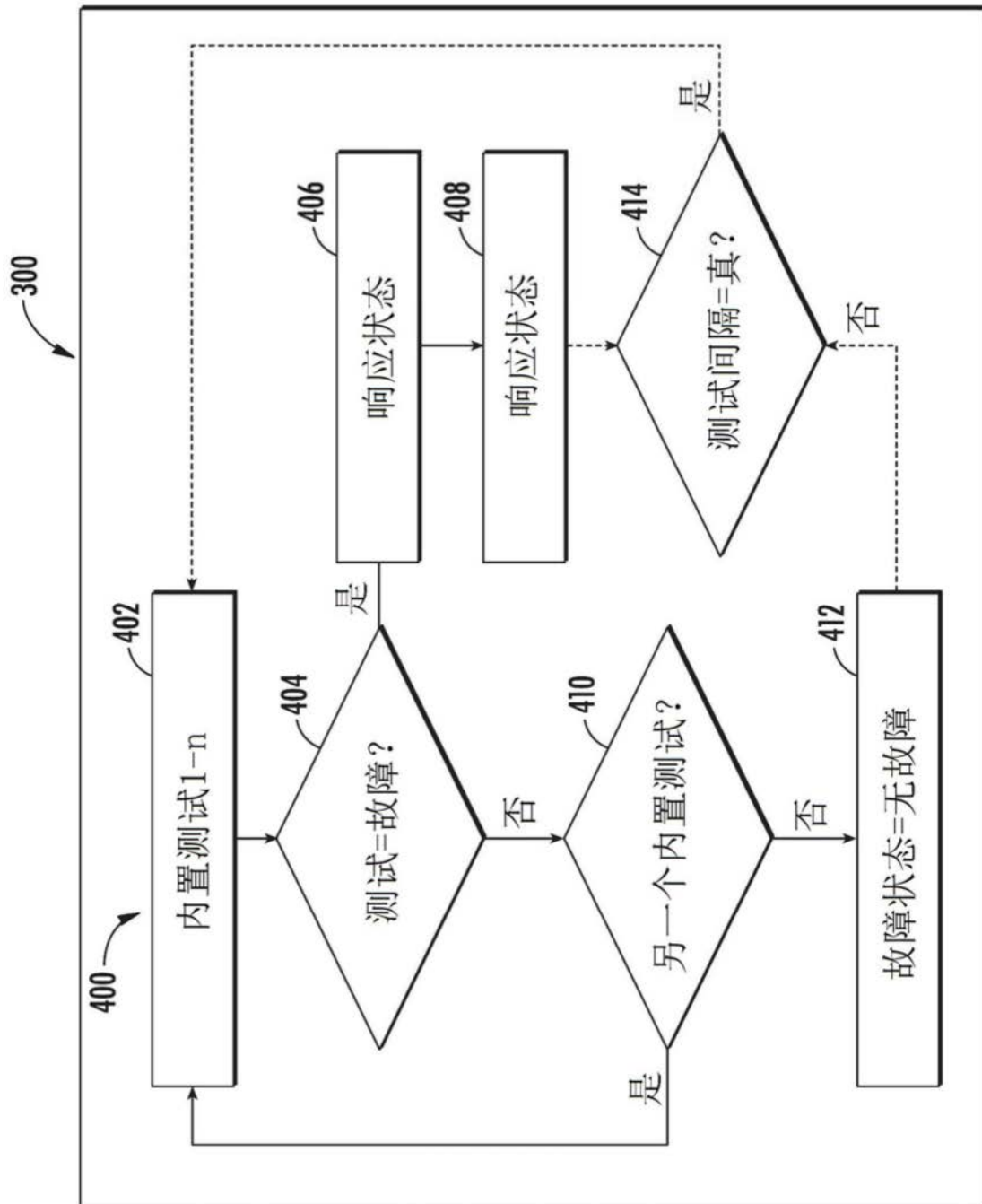


图4

502		500		504		506	
故障状态		响应状态		控制机制			
无故障 <u>508</u>		标称闭环控制 <u>528</u>		闭环 <u>530</u>			
通信故障 <u>510</u>							
临时通信故障 <u>516</u>		在闭环控制中使用先前控制命令和/或先前命令参考 <u>532</u>		增强闭环 <u>534</u>			
本地传感器故障 <u>518</u>		在闭环控制中使用备用传感器通道 <u>536</u>		增强闭环 <u>538</u>			
主处理单元通信故障 <u>520</u>		在闭环控制中使用预设命令参考和/或先前控制命令 <u>540</u>		增强闭环 <u>542</u>			
传感器操作故障 <u>512</u>		使用开环控制 <u>544</u>		开环 <u>546</u>			
严重故障 <u>514</u>							
处理器故障 <u>522</u>							
存储器故障 <u>524</u>							
可控部件故障 <u>526</u>							
		将控制器与可控部件断开 <u>548</u>		断开 <u>550</u>			

图5

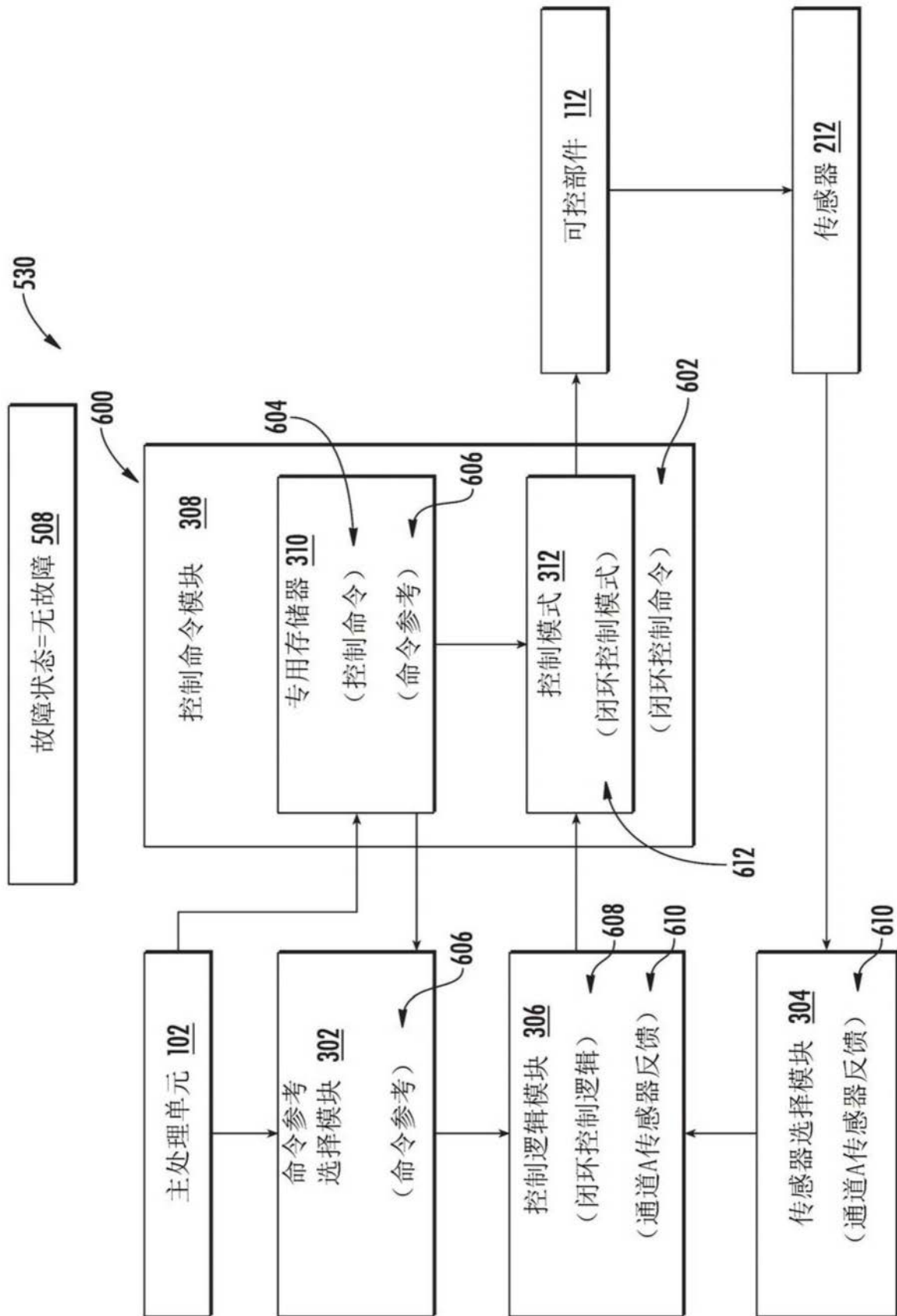


图6A

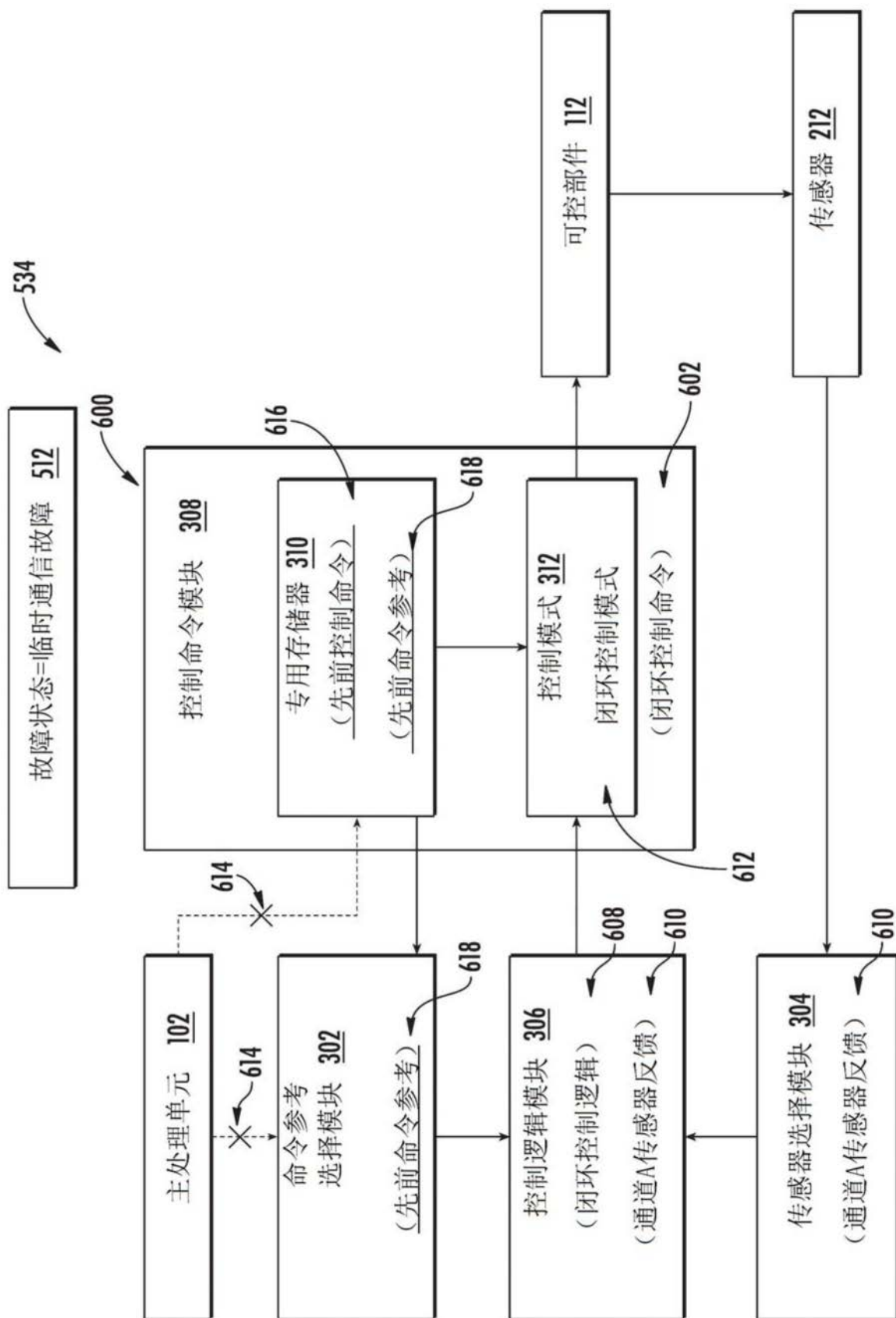


图6B

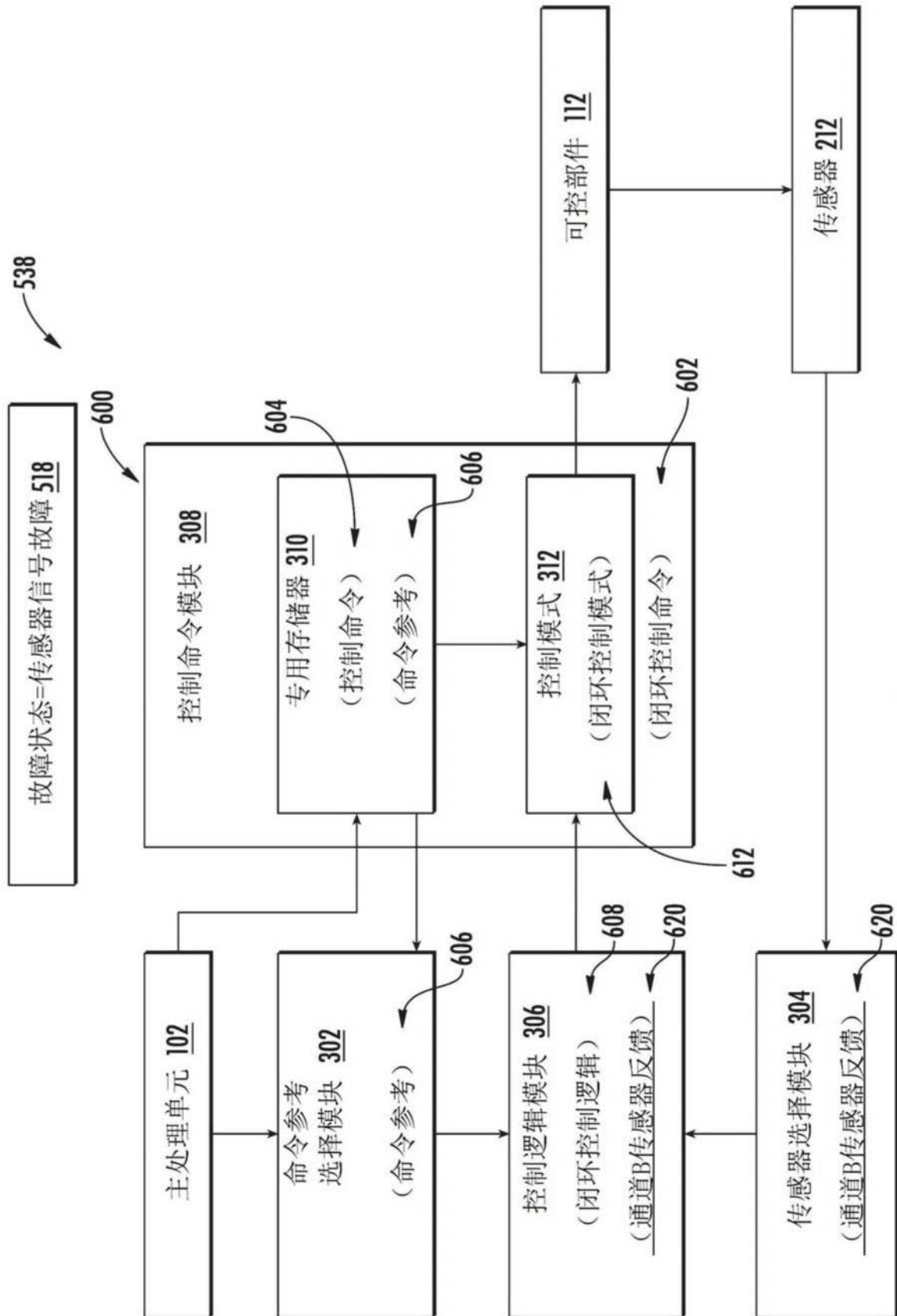


图6C

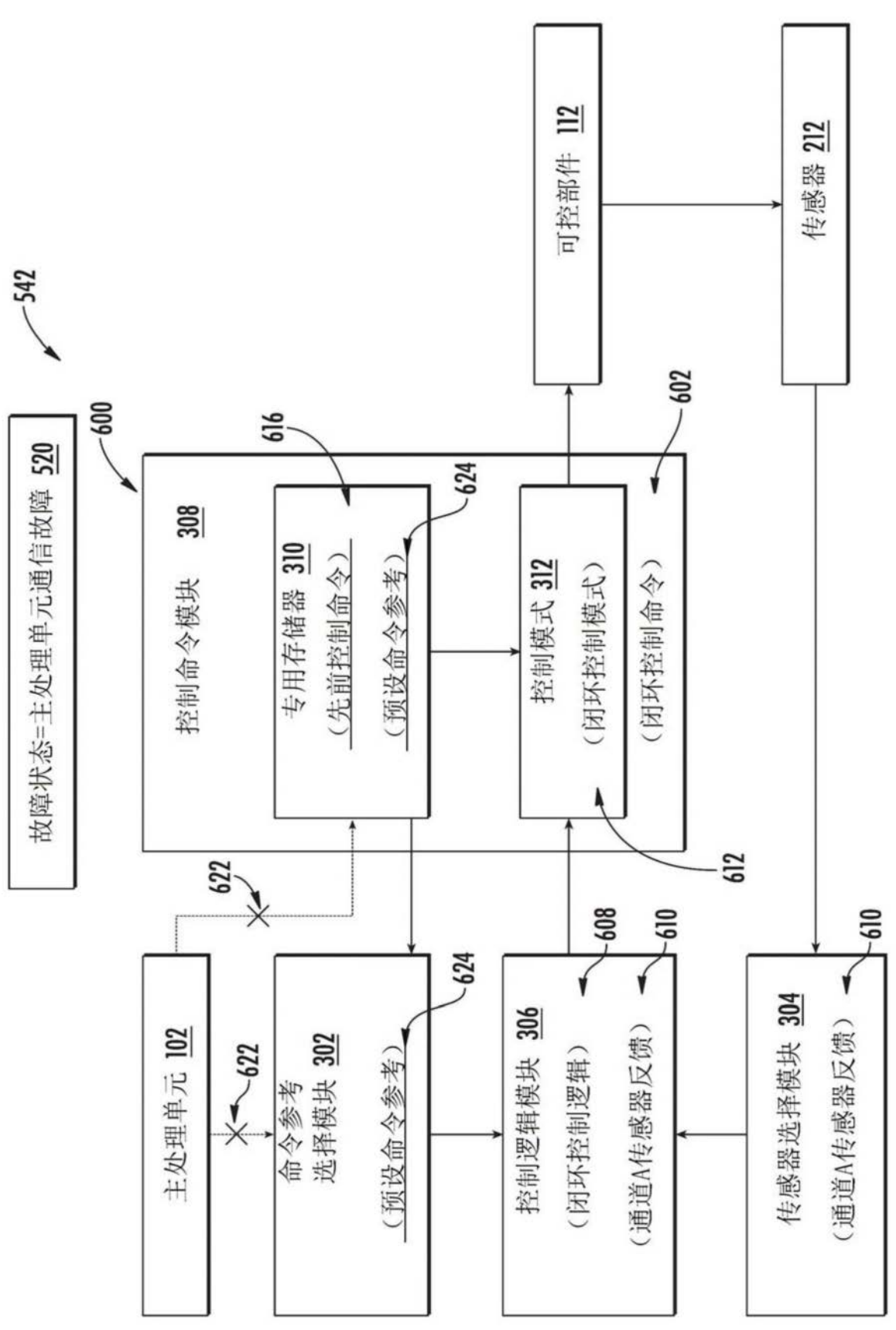


图6D

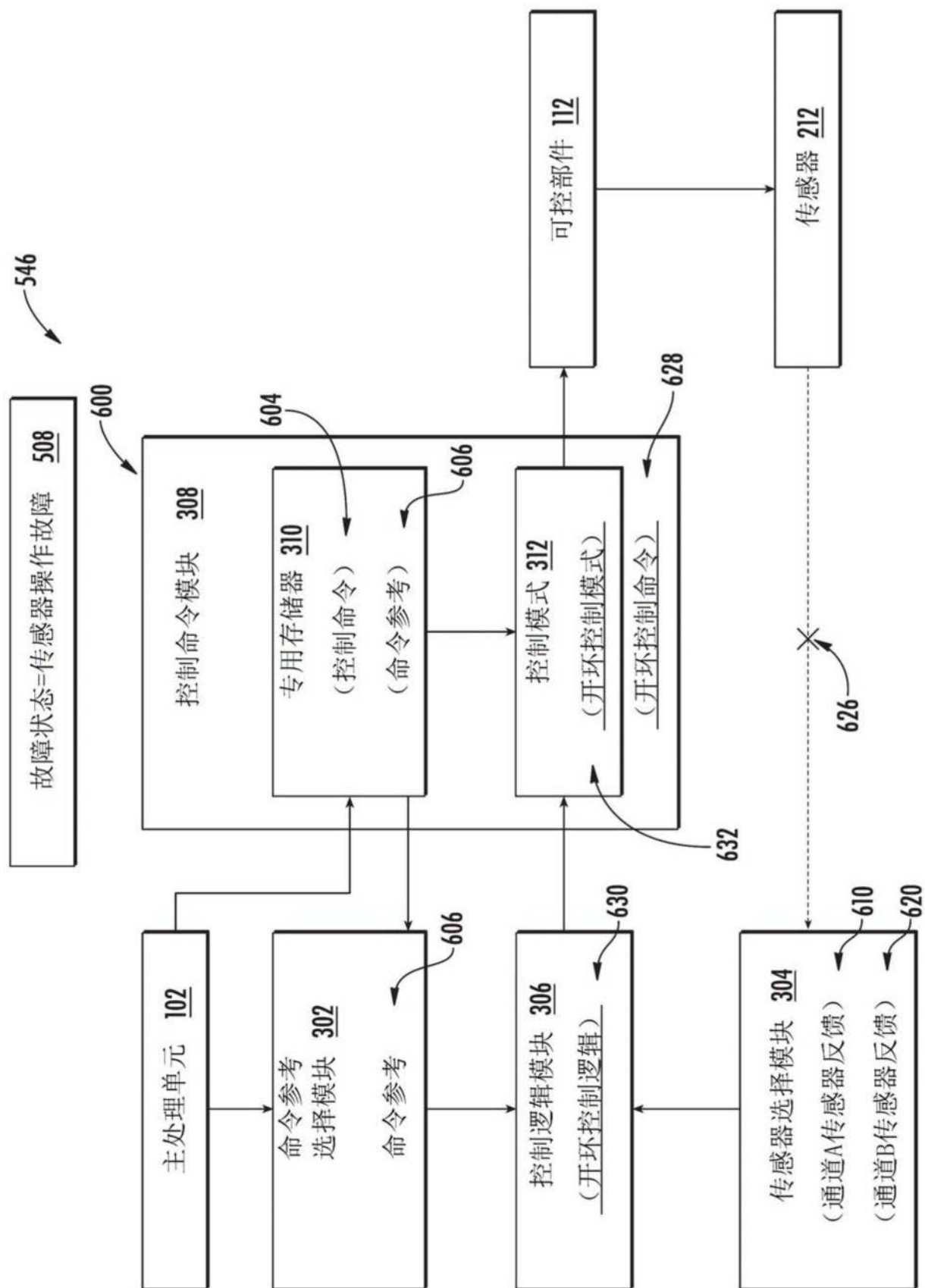


图6E

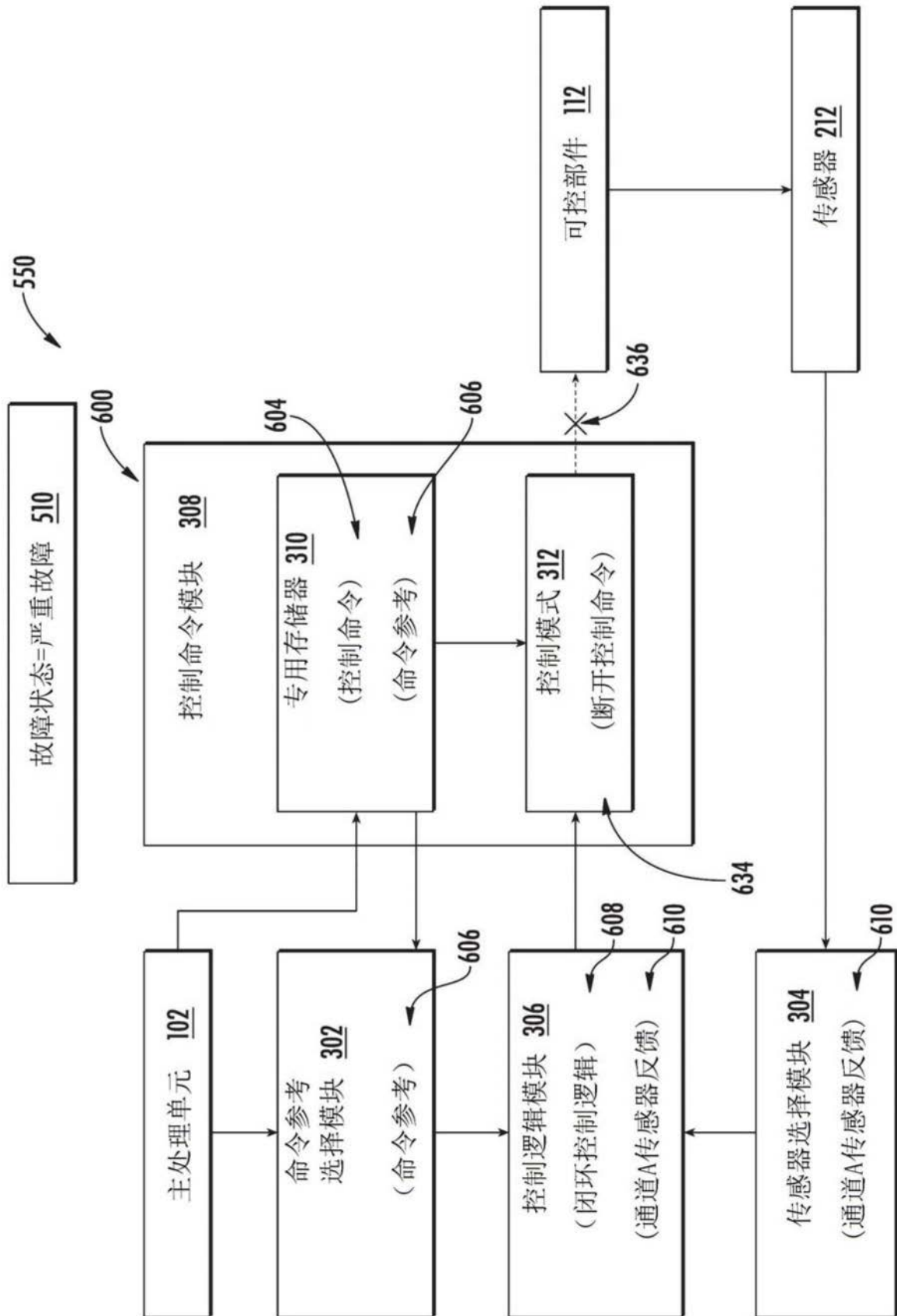


图6F

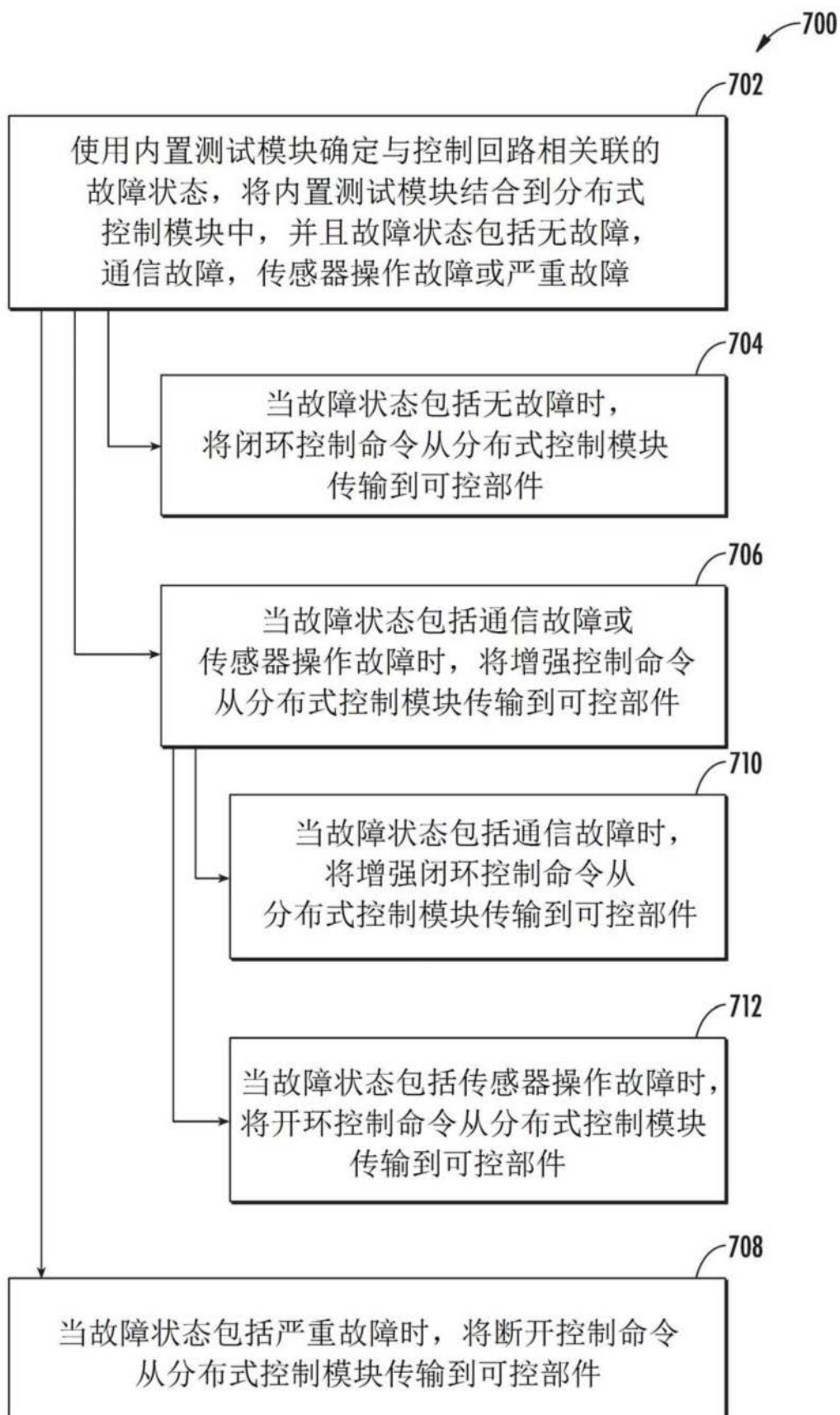


图7

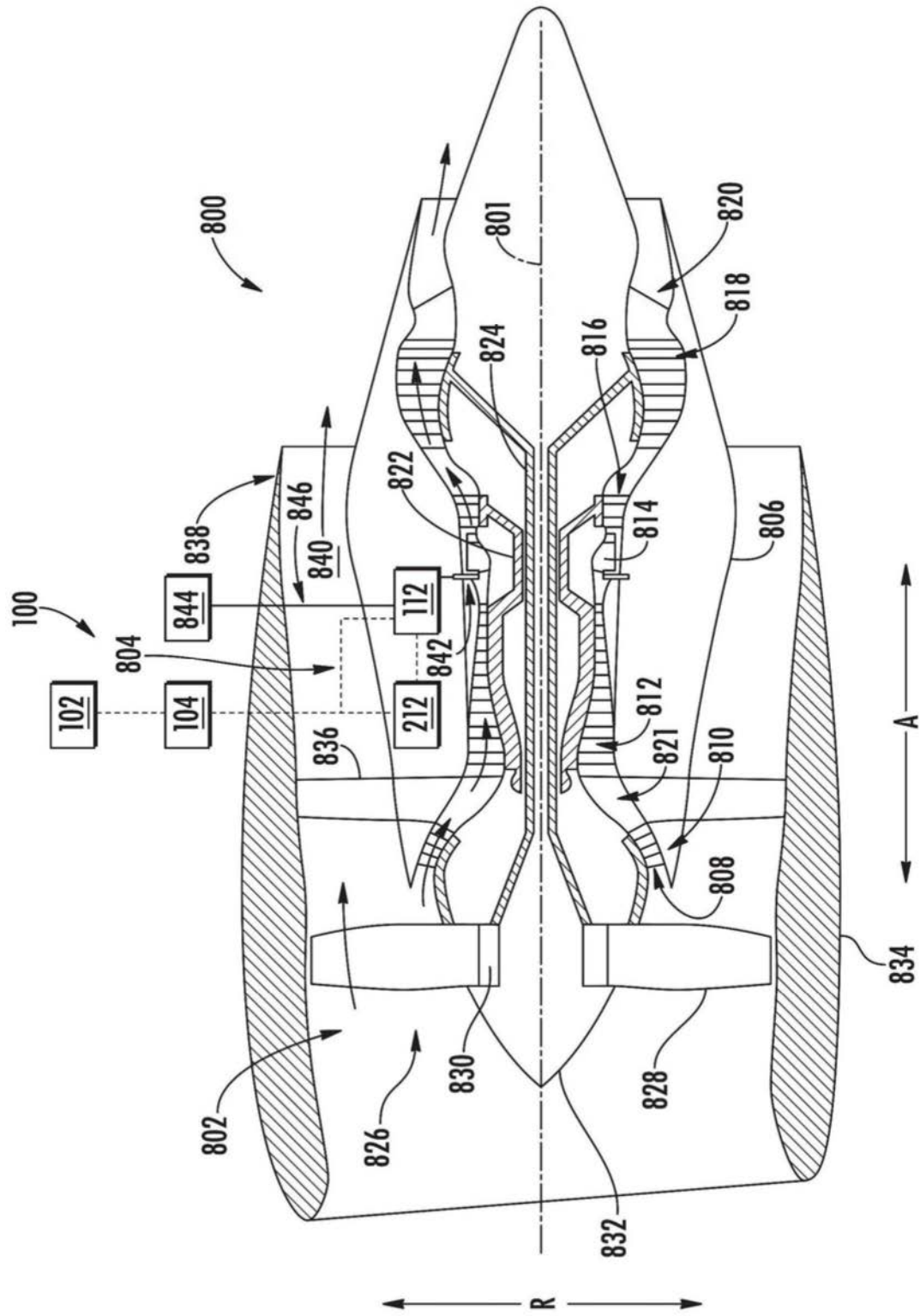


图8