



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101263499 B

(45) 授权公告日 2013.03.27

(21) 申请号 200680033247.7

(22) 申请日 2006.07.11

(30) 优先权数据

60/698,521 2005.07.11 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008.03.11

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2006/026974 2006.07.11

(87) PCT申请的公布数据

WO2007/008940 EN 2007.01.18

(73) 专利权人 布鲁克斯自动化公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 M·候塞克 J·普罗哈兹卡

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 卢江 王小衡

(51) Int. Cl.

G05B 23/02(2006.01)

G06F 11/00(2006.01)

G07C 3/00(2006.01)

(56) 对比文件

US 6615090 B1, 2003.09.02, 全文.

US 2003/0014692 A1, 2003.01.16, 说明书第 [0006]、[0045]-[0047]、[0086]-[0088]、[0257]、[0360]、[0370]-[0371]、[0433]-[0451] 段.

US 6434512 B1, 2002.08.13, 全文.

CN 1313555 A, 2001.09.19, 全文.

审查员 蓝娟

权利要求书 3 页 说明书 56 页 附图 21 页

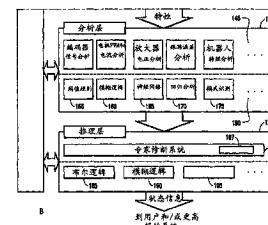
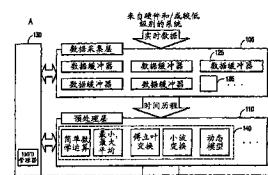
(54) 发明名称

智能状态监测和故障诊断系统

(57) 摘要

一种系统可以包括四种功能:数据采集功能

(105)、预处理功能(110)、分析功能(115)和推理功能(120)。另外,功能(105)、(110)、(115)和(120)的操作可以由健康监测和故障诊断管理器(130)来协调。四个功能(105)、(110)、(115)、(120)和管理器(130)中的每一个都可以用硬件、软件或两者的任何组合来实现。



1. 一种用于状态监测和故障诊断的系统,该系统包括:

数据采集功能,该数据采集功能根据指定的采样参数为一个或多个部件获取所选变量的时间历程,所述指定的采样参数包括针对所选变量的采样周期、触发模式和要记录的样本数中的至少一个;

预处理功能,该预处理功能计算所述时间历程的指定特性;

分析功能,用于评估指定特性,以产生所述一个或多个部件的状态的一个或多个假设;以及

推理功能,用于由所述一个或多个假设确定所述一个或多个部件的状态,

其中每个功能的多个实例驻留在被监控的机器内逐渐更高级别的控制器中,使得健康监测和故障诊断目的所要求的数据在存在处理数据的智能的级别处使用。

2. 根据权利要求 1 所述的系统,进一步包括用于利用所述一个或多个部件的所确定的状态来为所述部件实现预防性维护的功能。

3. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,推理功能由所述一个或多个假设确定系统的状态,所述一个或多个部件在所述系统中运行。

4. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,数据采集、预处理、分析和推理设施中的每一个驻留在所述一个或多个部件的控制器中。

5. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,预处理功能通过对所述时间历程执行数学运算来计算所述时间历程的指定特性。

6. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,分析功能通过将一种或多种算法和分析技术应用到所述时间历程的所计算的指定特性来产生所述一个或多个假设。

7. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,推理功能包括专家诊断系统,用于由所述一个或多个假设确定所述一个或多个部件的状态。

8. 一种部件状态监测和故障诊断的方法,该方法包括:

根据指定的采样参数为一个或多个部件获取所选变量的时间历程,所述指定的采样参数包括为所选变量设置采样周期、触发模式和要记录的样本数中的至少一个;

计算所述时间历程的指定特性;

评估所述指定特性,以产生所述一个或多个部件的状态的一个或多个假设;以及

由所述一个或多个假设确定所述一个或多个部件的状态;

其中每个功能的多个实例驻留在被监控的机器内逐渐更高级别的控制器中,使得健康监测和故障诊断目的所要求的数据在存在处理数据的智能的级别处使用。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,包括利用所述一个或多个部件的所确定的状态来为所述部件实现预防性维护。

10. 根据权利要求 8 所述的方法,包括由所述一个或多个假设确定系统的状态,所述一个或多个部件在所述系统中运行。

11. 根据权利要求 8 所述的方法,其中,获取时间历程是由所述一个或多个部件的控制器来执行的。

12. 根据权利要求 8 所述的方法,其中,计算时间历程的指定特性包括对所述时间历程执行数学运算。

13. 根据权利要求 8 所述的方法,其中,评估所述特性以产生所述一个或多个部件的状

态的一个或多个假设包括将一种或多种算法和分析技术应用到所述时间历程的所计算的指定特性。

14. 根据权利要求 8 所述的方法,其中,由所述一个或多个假设确定所述一个或多个部件的状态包括使用专家诊断系统。

15. 一种用于部件状态监测和故障诊断的系统,该系统包括:

数据采集功能,该数据采集功能根据指定的采样参数为一个或多个部件获取所选变量的时间历程,所述指定的采样参数包括在管理器功能的控制下针对所选变量的采样周期、触发模式和要记录的样本数中的至少一个;

预处理功能,该预处理功能计算所述时间历程的指定特性;

分析功能,用于评估所述指定特性,以产生所述一个或多个部件的状态的一个或多个假设;

推理功能,用于由所述一个或多个假设确定所述一个或多个部件的状态;以及

管理器功能,该管理器功能确定数据采集功能所获取的所选变量、触发预处理功能中的数据处理用于计算指定的特性、发起由分析功能进行的所述特性的评估以产生所述假设并且触发由推理功能进行的部件状态的推导;

其中每个功能的多个实例驻留在被监控的机器内逐渐更高级别的控制器中,使得健康监测和故障诊断目的所要求的数据在存在处理数据的智能的级别处使用。

16. 根据权利要求 15 所述的系统,其中,管理器功能利用所述一个或多个部件的所确定的状态来为所述部件实现预防性维护或服务。

17. 根据权利要求 15 所述的系统,其中,推理功能由所述一个或多个假设确定系统的状态,所述一个或多个部件在所述系统中运行。

18. 根据权利要求 15 所述的系统,其中,预处理功能通过对所述时间历程执行数学运算来计算所述时间历程的指定特性,其中数学运算是由管理器功能基于部件类型来确定的。

19. 根据权利要求 15 所述的系统,其中,分析功能通过将一种或多种算法和分析技术应用到作为机电设备一起运行的部件组的时间历程的所计算的指定特性来产生所述一个或多个假设。

20. 根据权利要求 19 所述的系统,其中,推理功能包括专家诊断系统,用于由所述一个或多个假设来确定所述机电设备的状态。

21. 一种用于监测半导体生产工具的部件状态的系统,该系统包括:

部件控制器,该部件控制器具有根据指定的采样参数获取一个或多个部件的所选变量的时间历程的数据采集功能,所述指定的采样参数包括在管理器功能的控制下针对所选变量的采样周期、触发模式和要记录的样本数中的至少一个;

机电设备控制器,该机电设备控制器具有预处理功能,该预处理功能为所述一个或多个部件中作为机电设备一起运行的那些部件计算所述时间历程的指定特性;

用于机电设备组的组控制器,所述组控制器具有分析功能,用于评估所述指定特性,以产生所述一个或多个部件的状态的一个或多个假设;

系统控制器,该系统控制器具有推理功能和管理器功能,该推理功能用于由所述一个或多个假设确定所述一个或多个部件的状态,该管理器功能确定数据采集功能所获取的所

选变量、触发预处理功能中的数据处理用于计算指定的特性、发起由分析功能进行的特性的评估以产生假设以及触发由推理功能进行的部件状态的推导；

其中每个功能的多个实例驻留在被监控的机器内逐渐更高级别的控制器中，使得健康监测和故障诊断目的所要求的数据在存在处理数据的智能的级别处使用。

22. 根据权利要求 21 所述的系统，其中，管理器功能利用所述一个或多个部件的所确定的状态来为所述部件实现预防性维护或服务。

23. 根据权利要求 21 所述的系统，其中，推理功能由所述一个或多个假设确定系统的状态，所述一个或多个部件在所述系统中运行。

24. 根据权利要求 21 所述的系统，其中，预处理功能通过对所述时间历程执行数学运算来计算所述时间历程的指定特性，其中数学运算是由管理器功能基于部件和机电设备的类型来确定的。

25. 根据权利要求 21 所述的系统，其中，分析功能通过将一种或多种算法和分析技术应用到作为机电设备一起运行的部件组的时间历程的所计算的指定特性来产生所述一个或多个假设。

26. 根据权利要求 21 所述的系统，其中，推理功能包括专家诊断系统，用于由所述一个或多个假设确定所述机电设备的状态。

智能状态监测和故障诊断系统

[0001] 背景

[0002] 所公开的实施例是针对状态监测和故障诊断系统。

[0003] 相关发展的简要描述

[0004] 由于自动化制造工具中所使用的机械手和其他机电设备（诸如用于生产半导体设备的自动化物料搬运平台）的故障而引起的材料损伤和不定期的停工时间是常见的问题，这些问题通常是制造工具的终端用户的相当大的成本负担。

[0005] 已经针对工业、汽车和航天应用研发了多种健康监测和故障诊断 (HMFD) 方法。现有系统通常实现故障检测来指示被监测的系统中有地方出了问题，现有系统还实现故障隔离来确定故障的精确位置，也就是确定有故障的部件，并且实现故障识别来确定故障的幅度。

[0006] 通常将隔离和识别任务一起称作故障诊断。许多现有系统仅实现故障检测和隔离阶段。通常，用于 HMFD 的方法可以被划分为两大类：不使用受到监测和诊断的系统（也称为“装置 (plant) ”）的数学模型的那些方法，和那些使用数学模型的方法。不使用装置的数学模型的方法包括物理冗余、使用专用传感器、极限检查、谱分析以及逻辑推理。

[0007] 在物理冗余方法中，安装多个传感器来测量同一物理量。测量之间的任何重大差别指示传感器故障。只用两个并行的传感器，故障隔离也许不可能，然而，用三个或更多个传感器，可以形成隔离有故障的传感器的投票方案。物理冗余通常包括额外的硬件成本和额外的重量。

[0008] 专用传感器明确地被安装用于检测和诊断。这些可以是在硬件中执行极限检查（见下）的极限传感器（例如测量温度或压力）。其他专用传感器可以测量一些故障指示物理量，这些物理量诸如声音、振动、伸长率等。

[0009] 在实践中广泛使用的极限检查方法中，计算机比较装置测量结果，以预置极限。超过阈值指示故障情况。在许多系统中，有两个极限水平，第一极限水平用于预先警告而第二极限水平用于触发应急反应。极限检查可以延伸到监测所选变量的时间趋势。虽然简单而且直接，但是极限检查方法遭受两个重大缺陷：

[0010] (a) 因为装置变量由于正常的输入变化可以广泛变化，所以需要相当保守地设置测试阈值；以及

[0011] (b) 单个部件故障的影响可以传播到许多装置变量，从而引起令人混淆的多个警报并且使得隔离异常困难。

[0012] 装置测量的谱分析也可以被用于检测和隔离。大多数装置变量在正常的操作条件下呈现出典型的频谱；与此的任何偏离可以是异常的指示。某些类型的故障甚至在频谱中具有它们特性特征，从而促进故障隔离。

[0013] 逻辑推理技术形成与上述方法互补的一大类，因为这些逻辑推理技术的目的在于评估由检测硬件和软件获得的症状。最简单的技术包括“如果有症状和症状那么结论”类型的逻辑规则。每个结论反过来可以用作下一规则中的症状，直到得到最终的结论。系统可以处理由检测硬件和软件所呈现的信息，或者可以与操作员进行交互作用，从而向他或

她询问特定症状并且指引他或她通过整个逻辑过程。

[0014] 现在转到确实使用装置的数学模型的方法,这些基于模型的状态监测和故障诊断方法通常依赖于解析冗余的概念。与相互比较来自并行传感器的测量结果的物理冗余对比,将传感器的测量结果与相应变量的解析计算的值进行比较。这种计算使用其他变量的目前的和 / 或先前的测量结果以及描述它们与所测量的变量的标称关系的数学装置模型。该观点可以延伸到比较从不同变量集中获得的两个解析产生的量。在任何一种情况下,得到的差异(称之为残差)指示系统中的故障。另一类基于模型的方法直接依赖于参数评价。

[0015] 需要在生成残差之后进行残差评估,以便得到检测和隔离决策。由于噪声和模型误差的存在,参数从不为零,即使没有故障。因此,检测决策要求相对于阈值测试残差,阈值可以根据经验获得或者通过理论考虑获得。为了促进故障隔离,残差发生器通常被设计用于隔离增强的残差,从而展现出结构属性或方向性能。然后可以在结构(布尔)或方向(几何)框架中获得隔离决策,包括或不包括统计学元素。

[0016] 在基于模型的状态监测和故障诊断中对于残差生成具有四种稍微重叠的方法:卡尔曼滤波器、诊断观测器、参数评价和奇偶关系。

[0017] 卡尔曼滤波器的预测误差可以被用作故障检测残差。如果没有故障(和干扰),其均值为零,并且在存在故障时,均值变为非零。由于新息序列是白的,所以相对容易构造统计学测试。然而,利用卡尔曼滤波器,故障隔离有些不方便;需要运行一组“匹配滤波器”,对于每个可疑的故障并且对于每个可能的到达时间都有一个“匹配滤波器”,并且检查哪个滤波器输出可以与实际观察结果匹配。

[0018] 诊断观测器创新也取得故障检测残差的资格。“未知输入”设计技术可以被用来从有限数目的干扰中去耦残差。残差序列是有色的(colored),这使得统计学测试有些复杂。观测器设计中的自由度可以被用来增强用于隔离的残差。通过放置观测器的极,可以将故障响应的动态特性控制在一定极限内。

[0019] 参数评价是检测和隔离参数(乘性)故障的自然方法。通过首先识别无故障情况下的装置获得参考模型。然后,重复地在线重新识别参数。与参考模型的偏离用作检测和隔离的基础。参数评价可以比解析冗余方法更可靠,但是在在线计算和输入激励要求方面也更苛求。

[0020] 奇偶(一致性)关系被重新排列,直接输入-输出模型方程受到线性动态变换。所变换的残差用于检测和隔离。残差序列是有色的,就像观测器的情况那样。变换所提供的设计自由度可以被用于干扰去耦和故障隔离增强。而且,响应的动态特性可以被分配在由因果关系和稳定性的要求所提出的极限内。

[0021] 直接应用于半导体制造系统的健康监测和故障诊断方法通常已被限于为数不多的故障,例如,那些与接头间隙(joint backlash)相关联的故障。这可能是因为其他限制,诸如故障的可变性、不稳定并且不一致的操作条件和随时间的过去所收集的有限的部件特性可用性存在于这个区域中。上述的解析方法已经主要应用到由线性方程所限定的系统并且不直接应用于其动态特性是非线性的系统。然而,有如下几个实例:使用参数识别、卡尔曼滤波器方法的机器人系统应用,使用多个线性神经网络模型用于机器人故障诊断以及使用诊断观测器用于检测模拟的电动液压执行机制中的故障。

[0022] 提供一种改进的系统用于监测状态和诊断故障将会是有利的。

发明内容

[0023] 这里公开的实施例是针对一种用于状态监测和故障诊断的系统，该系统包括针对一个或多个部件获取所选变量的时间历程 (timehistory) 的数据采集功能、计算时间历程的指定特性的预处理功能、用于评估特性以产生一个或多个部件的状态的一个或多个假设的分析功能以及用于由一个或多个假设确定一个或多个部件的状态的推理功能。

[0024] 在另一实施例中，一种部件状态监测和故障诊断方法包括：针对一个或多个部件获取所选变量的时间历程，计算时间历程的指定特性，评估特性以生成一个或多个部件的状态的一个或多个假设，以及由一个或多个假设确定一个或多个部件的状态。

[0025] 在另一实施例中，一种计算机程序产品包括一种计算机可用介质，该计算机可用介质具有用于部件状态监测和故障诊断的计算机可用程序代码，当该程序代码在计算机上运行时，使计算机针对一个或多个部件获取所选变量的时间历程，计算时间历程的指定特性，评估特性以生成一个或多个部件的状态的一个或多个假设，以及由一个或多个假设确定一个或多个部件的状态。

[0026] 又一实施例包括一种用于部件状态监测和故障诊断的系统，该系统具有针对一个或多个部件获取所选变量的时间历程的数据采集功能、计算时间历程的指定特性的预处理功能、用于评估特性以产生一个或多个部件的状态的一个或多个假设的分析功能、用于由一个或多个假设确定一个或多个部件的状态的推理功能、以及管理器功能，该管理器功能确定由数据采集功能所获取的所选变量、触发预处理功能中的数据处理用于计算指定特性、发起由分析功能进行的特性评估以产生假设并且触发由推理功能进行的部件状态的推导。

附图说明

[0027] 在下面的说明中，将结合附图解释目前公开的实施例的上述方面以及其他特征，其中：

- [0028] 图 1 示出了根据所公开的实施例的状态监测和故障诊断系统；
- [0029] 图 2 示出了用于实现所公开的实施例的示范性功能控制器；
- [0030] 图 3 示出了用于半导体设备的生产的自动化物料搬运平台；
- [0031] 图 4 示出了五轴直接驱动机械手；
- [0032] 图 5 示出了真空驱动的边缘接触夹持器 (edge contact gripper)；
- [0033] 图 6 示出了面接触吸力夹持器 (suction gripper)；
- [0034] 图 7 示出了具有一个或多个映射器传感器 (mapper sensor) 的末端执行器；
- [0035] 图 8 示出了增量旋转光编码器；
- [0036] 图 9 示出了绝对旋转光编码器；
- [0037] 图 10 示出了用于增量编码器数据完整性检查的方法；
- [0038] 图 11 示出了用于绝对编码器数据完整性检查的方法；
- [0039] 图 12 示出了正常状态下的机器人在连续延伸移动中到偏心站的能量耗散曲线；
- [0040] 图 13 针对连续延伸移动比较不同相角的能量耗散值；

- [0041] 图 14 示出了在三十天间隔后同一机器人中两个不同电机相角的能量耗散数据；
- [0042] 图 15 比较相隔三十天的正常机器人中的能量耗散；
- [0043] 图 16 示出了随着时间的推移对于两个不同的相角的横梁电机电流 (traverser motor current)；
- [0044] 图 17 示出了相对于标称电流的电机电流残差的变化；
- [0045] 图 18 示出了相对于速度的转矩残差的变化；
- [0046] 图 19 示出了在有制动阻力和没有制动阻力的情况下 Z 电机转矩的比较；
- [0047] 图 20 示出了 Z 电机转矩的残差图；以及
- [0048] 图 21 示出了模型预测与实际转矩值的比较。

具体实施方式

[0049] 图 1 示出了如这里所公开的适于监测状态并且适于诊断机器故障的系统 100 的框图。虽然参考附图描述公开的实施例，但是应理解的是，这些实施例可以以许多替换的形式实现。此外，任何合适类型、形式或物理形状的元件或材料都可以使用。

[0050] 所公开的实施例是针对一种评价系统部件的状态（称为健康监测）和执行故障诊断的系统和方法。作为健康监测和故障诊断功能的结果，该系统还可以根据需要调度预测性维护或者服务，并且调整系统过程以维护操作，直到可以执行维护或服务。

[0051] 状态评价指的是测量系统部件的操作的特性、性能、输出或其他指标，以确定其状态。故障诊断指的是由操作的指标、其他部件特性 或由系统操作识别部件故障的能力。自动化的故障诊断可以辅助操作员进行故障分类和故障排除任务，或使操作员免除这些任务，这些任务包括诊断错误代码和交互诊断屏幕。

[0052] 预测性维护指的是所执行的维护适当操作的任务，而服务指的是在非运行 (non-operational) 部件上执行的任务，以将该部件恢复到运行状态。

[0053] 如图 1 中所示，本系统可以包括四个功能：数据采集功能 105、预处理功能 110、分析功能 115 和推理功能 120。另外，功能 105、110、115、120 的操作可以由健康监测和故障诊断管理器 130 来协调。四个功能 105、110、115、120 和管理器 130 中的每一个可以以软件、硬件或两者的任意组合来实现。

[0054] 系统 100 的软件实现的部分可以驻留在用计算机程序（例如机器可读程序源代码）编码的一个或多个程序存储设备上，该计算机程序适于使一个或多个计算机执行在所公开的实施例中所描述的操作。程序存储设备可以包括诸如带或盘的磁介质、或者计算机硬盘驱动器、光介质、半导体介质、或任何其他的适于存储计算机程序的设备。

[0055] 所公开的实施例的特征在于：数据采集功能在正被监测的机器的运行期间获取所选变量的时间历程，预处理功能计算所获取的时间历时的具体特性，分析功能评估变量所相关联的各个部件的特性并且产生关于每个部件的状态的一个或多个假设，并且推理功能推导机器的整体评价，该整体评价包括机器的各个部件的状态和机器在良好运行状态的置信度。出于所公开的实施例的目的，机器可以是光学设备、机械设备、电气设备或机电设备、计算机软件程序或者上述项目的任何组合并且可以包括运行可以被监测的任何实体。

[0056] 所公开的实施例的又一特征在于，该系统可以以分层分布的方式实现。例如，每个功能的多个实例可以在机器内的逐渐更高级的控制器或者与这些控制器相关，使得出于

健康监测和故障诊断目的而要求的数据在存在处理数据的足够智能的水平上使用。

[0057] 作为又一实例,机器可以是半导体生产系统,其中主控制器利用多个机械手监督大气部分。每个机械手可以具有多个电机。数据采集功能的实例可以在每个电机控制器,并且预处理功能的实例可以在控制一组电机控制器的每个机器人控制器。用于大气部分的控制器 可以持有分析功能的实例,并且主控制器可以持有推理功能的实例。这个分层方法通过消除各个数据点从每个单独的设备控制器上行通过系统体系结构到达主控制器的实时流的需要而减少了网络流量。这个方法也是有利的,因为该方法消除了上级控制器为各种设备配置数据采集过程的需要,每个设备具有要求不同处理算法来监测的不同类型的变量。

[0058] 应该注意分层或分布式方法不同于现有的称为电子诊断的集中式趋势。在电子诊断中,健康监测和故障诊断所必需的所有数据都被发送到高级控制器(诸如上面提及的主控制器),并且在这个高水平上进行分析。这种方法要求非常高的数据量,以从低级控制器一直传播到高级控制器,通常是实时传播。另外,高级控制器需要存储自动化系统的所有部件的属性,诸如存储电机参数或机器人的运动和动态模型,以便能够处理所收集的数据。

[0059] 返回到图 1,每个功能通常从较低级别接收数据,处理数据并且将处理过的数据传递到下一个功能或最终传递到用户或较高级的系统。

[0060] 图 2 示出了示范性功能控制器 200,在该功能控制器 200 之内可以实现四个功能 105、110、115 和 120 和管理器 130 中的每一个。每个功能可以在预先存在于系统 100 内的硬件或软件功能控制器中运行。例如,每个功能可以驻留在部件控制器中,指引多个部件的操作的控制器、控制子系统的控制器或者系统控制器中。每个功能还可以用专用硬件或软件来实现。

[0061] 功能控制器 200 通常可以包括处理器 205、只读存储器 210、随机存取存储器 215、程序存储器 220、用户接口 225 和网络接口 230。

[0062] 处理器 205 可以包括板上高速缓存 (on board cache) 235 并且通常可操作来从计算机程序产品读取信息和程序,计算机程序产品例如计算机可用介质,诸如板上高速缓存 235、只读存储器 210、随机存取存储器 215 和程序存储器 220。

[0063] 在加电时,处理器 205 可以开始运行在只读存储器 210 中找到的程序,并且在初始化之后,可以将指令从程序存储器 220 装载到随机存取存储器 215 并且在那些程序的控制下运行。常用指令可以暂时存储在板上高速缓存 235 中。只读存储器 210 和随机存取存储器 215 都可以利用半导体技术或任何其他合适的材料和技术。程序存储器 220 可以包括软磁盘、计算机硬盘驱动器、只读光盘 (CD, compact disk)、数字通用光盘 (DVD)、光盘、芯片、半导体、或任何其他能够存储形式为计算机可读代码的程序的设备。

[0064] 板上高速缓存 235、只读存储器 210、随机存取存储器 215 和程序存储器 220 或者单独地或者以任何组合可以包括操作系统程序。操作系统程序可以用可选的实时操作系统来补充,以提高由功能控制器 200 提供的数据质量并且允许功能控制器 200 提供有保证的响应时间。

[0065] 特别地,板上高速缓存 235、只读存储器 210、随机存取存储器 215 和程序存储器 220 或者单独地或者以任何组合可以包括程序,用于使处理器 205 执行数据采集、预处理、分析、推理功能以及下面描述的健康监测和故障诊断管理器的操作。另外,板上高速缓存

235、只读存储器 210、随机存取存储器 215 和程序存储器 220 可以装载有新的或被升级的程序,例如由处理器 205 通过网络接口 230 装载。

[0066] 网络接口 230 通常可以适于提供功能控制器 200 和其他功能控制器、系统控制器或者其他系统之间的接口。网络接口 230 可以运行以从一个或多个另外的功能控制器接收数据并且将数据发送到相同的或其他功能控制器。网络接口 230 还可以提供到全局诊断系统的接口,全局诊断系统可以提供远程监测和诊断服务。

[0067] 通信网络 120 可以包括公共交换电话网络 (PSTN)、因特网、无线网络、有线网络、局域网 (LAN)、广域网 (WAN)、虚拟专用网 (VPN) 等,并且还可以包括其他类型的网络,包括 X.25、TCP/IP、ATM 等。在一个实施例中,通信网络 120 可以是 IEEE 1349 网络,也称为“防火墙”网络。

[0068] 功能控制器 200 可以包括具有显示器 240 和诸如键盘 255 或鼠标 245 的输入设备的用户接口 225。用户接口可以通过用户接口控制器 250 在处理器 205 的控制下运行,并且可以给用户提供图形用户接口,以使健康监测和故障诊断的结果显现。用户接口还可以被用来引导服务人员通过故障排除例行程序或修复过程。另外,用户接口控制器还可以提供连接或接口 255,用于与其他功能控制器、外部网络、另一控制系统或主计算机进行通信。

[0069] 返回图 1,数据采集功能 105 运行来收集关于正被监测的设备的运行的所选变量的时间历程。时间历程指的是特定变量或变量组随着时间的过去而变化的值的集合。除了上述功能控制器 200 的元件,数据采集功能 105 包括一个或多个缓冲器 125,用于采集所选变量的值。数据采集功能 105 还包括程序和电路 135,用于指定要记录的设备信号和变量,设置用于数据记录的采样周期、设置用于数据记录的触发模式(例如事件触发、移动开始触发、移动结束触发、当超过阈值时触发、当低于阈值时触发、延时触发)、设置要记录的样本数以及设置停止数据记录的机制(例如当指定时停止、事件停止、移动结束时停止、出错时停止、延时停止)。

[0070] 预处理功能 115 确定所获取的时间历程的指定特性。例如,指定特性可以包括平均信号值或最大功率消耗。预处理功能执行的示范性计算可以包括简单的数学运算,诸如加、减、乘、除、计算最大值、最小值和平均值、傅立叶变换、小波变换和各种数学模型的评估。除了上述功能控制器 200 的元件以外,预处理功能 115 包括程序和电路 140,用于从数据采集功能 105 接收时间历程并且用于执行所要求的简单计算。

[0071] 分析功能 120 包括算法,用于分析多个单独部件的特性以及用于产生关于每个部件的状态的一个或多个假设。例如,分析功能 120 可以包括具体适应于正检查的特性类型(诸如电压、电流、转矩、信号变化等)的各种分析算法 145。作为又一实例,当在自动化的制造工具中实现时,分析功能 120 可以包括用于编码器信号分析、电机 PWM 和电流分析、电源电压分析、跟踪误差分析和机器人转矩分析的算法。算法可以访问并且可以利用包括简单的阈值规则 155、模糊逻辑 160、神经网络 165、回归分析 170 和模式识别技术 175 的各种分析方法的库 150。

[0072] 推理功能 125 基于从分析功能 120 获得的假设推导系统 100 的最终响应,包括各个部件的状态和一个或多个被监测的设备处于良好健康状态的置信度。推理功能 125 可以包括专家诊断系统 180,该专家诊断系统 180 可以例如包括具有关于系统部件和子系统的给定参数集的、基于规则的信息的知识库 197。专家诊断系统 180 可以基于例如布尔逻辑

185、模糊逻辑 190 或神经网络 195 利用各种方法。

[0073] 本系统 100 的功能由健康监测和故障诊断 (HMFD) 管理器 130 协调。管理器 130 可以配置并初始化数据采集、预处理、分析和推理功 能的每一个,以针对多个给定的被监 测设备来运行。

[0074] 例如,管理器 130 可以用要记录的多个变量连同要记录的多个样本以及触发信息 来初始化数据采集功能 105,以便为了预处理功能而产生一个或多个时间历程。管理器 130 可以协调数据采集功能 105 在多个采集模式中的任意采集模式下的操作,例如,数据采集 总是可以发生在正被监测的设备正常运行期间。或者当设备执行某些是其常规操作的部分 的预定操作时可以发生数据采集,其在比较当前信号与正常基线轮廓 (profile) 时是方便 的。可替换地,当正被监测的设备执行一组为了健康监测和故障诊断目的具体预先设计的 模板操作时,可以定期触发数据采集。在一个实施例中,管理器可以将在数据采集操作期间 记录的数据量限制到最小量,用于检测被监测的设备的恶化健康或用于诊断该设备的故 障。

[0075] 在一些实施例中,当检测到潜在问题时,管理器 130 可以通过数据采集功能 105 发起另外数据的采集,用于精确的故障诊断。管理器 130 还可以发起为了健康检测和故障诊 断的目的具体预先设计的模板序列。这个序列可以是某个故障模式或一类故障模式所特 有的。

[0076] 管理器 130 可以运行来通过指定当时时间历程被发送到预处理功能 110 时将发生的 预处理的类型来初始化预处理功能 110。另外,针对从预处理功能 110 接收的各种数据特 性,管理器 130 可以用要在数据上执行的分析类型来预置分析功能 115。管理器 130 还可以 预先装载库 150 并且指定在不同分析中使用的方法。此外,当分析完成时,管理器 130 可以 触发在推理功能 125 中进行决策。

[0077] 如上所提及的那样,系统 100 提供至少两个不同的功能 :健康监测和故障诊断。健 康监测的目的是执行自动化工具的各个部件的状态评价,并且当识别任何一个部件的有 问题的状态时报告服务请求。这个信息可以用于预防性维护、减少由于无法预料的故障引 起的材料损坏和不定期停工时间。另外,本系统可以调整自动化工具的操作,以尽可能地保 持工具可使用 (functional),减少进行中的故障对关键性能特性的影响,和 / 或增加到致命 故障的时间,使得工具可以运行直到可以对该工具进行维修,例如,直到下一次定期维护发 生。

[0078] 另一方面,故障诊断的目的是补充操作员进行故障分类和故障排除任务或使操作 员免除这些任务,这些任务包括诊断错误代码和交互 诊断屏幕,因此改进了服务的响应 度、质量和成本。

[0079] 用于半导体设备生产的自动物料搬运平台将被用作示范性实施例,其中可以实践 本状态监测和故障诊断系统。

[0080] 在图 3 中示意性地画出了用于半导体设备生产的示范性物料搬运平台,表 1 中列 出了主要部件的注释。

[0081] 表 1 :图 3 的自动物料搬运平台的注释

[0082]

编号	说明
301	大气部分
302	真空部分
303	处理模块
304	外壳
305	装载埠 (Loadport)
306	大气机械手
307	基板对准器 (Substrate aligner)
308	扇形滤波器单元
309	真空室
310	装载锁
311	真空机械手
312	真空泵
313	狭口阀
314	工具控制器
315	大气部分控制器
316	真空部分控制器
317	过程控制器
318	装载埠控制器
319	大气机器人控制器
320	对准器控制器
321	扇形滤波器单元控制器
322	电机控制器
323	真空机器人控制器

[0083] 该平台具有大气部分 301、真空部分 302 和一个或多个处理模块 303。

[0084] 大气部分 301 可以包括外壳 304、一个或多个装载埠 305、一个或多个机械手 306、一个或多个基板对准器 307 和扇形滤波器单元 308。该大气部分 301 还可以包括一个或多个电离单元（未示出）。真空部分可以包括真空室 309、一个或多个装载锁 310、一个或多个机械手 311、一个或多个真空泵 312 以及多个狭口阀 313，狭口阀 313 通常位于大气部分 301 与装载锁 310 的接口处、位于装载锁 310 和真空室 309 之间并且位于真空室 309 和处理模块 303 之间。

[0085] 平台的运行由工具控制器 314 协调，该工具控制器 314 监督大气部分控制器 315、真空部分控制器 316 和一个或多个过程控制器 317。大气部分控制器 315 负责一个或多个

装载埠控制器 318、一个或多个大气机器人控制器 319、一个或多个对准器控制器 320 以及扇形滤波器单元控制器 321。装载埠控制器 318、大气机器人控制器 319 和对准器控制器 320 中的每一个又负责一个或多个电机控制器 322。真空部分控制器 316 负责一个或多个真空机器人控制器 323，控制真空泵 312 并且操作狭口阀 313。过程控制器 317 的角色取决于在处理模块 303 中执行的操作。

[0086] 在一些情况下，将两个或多个层的控制组合到单个控制器中是实用的。例如，大气机器人控制器 119 和相对应的电机控制器 122 可以被组合在单个集中的机器人控制器中，或者大气部分控制器 115 可以与大气机器人控制器 119 组合，以消除对两个分离的控制器单元的需要。

[0087] 在图 3 的平台中可以采用五轴直接驱动机械手。这种机械手的简化示意图在图 4 提供。在表 2 中列出了主要部件的注释。

[0088] 表 2 :图 4 的机械手的注释

[0089]

编号	说明
401	机器人机架
402	安装法兰
403	垂直轨
404	线性轴承
405	车架
406	垂直驱动电机

[0090] [0090]

407	滚珠螺杆
408	电机 1 (传动杆件 1)
409	电机 2 (传动杆件 2)
410	(耦合到电机 1 的) 编码器 1
411	(耦合到电机 2 的) 编码器 2
412	外轴
413	内轴
414	连杆 1 (上臂)
415	皮带传动杆件 2
416	连杆 2 (前臂)
417A	电机 A (驱动末端执行器 A)
417B	电机 B (驱动末端执行器 B)
418A	皮带传动 A 的第一级
418B	皮带传动 B 的第一级
419A	皮带传动 A 的第二级
419B	皮带传动 B 的第二级
420A	末端执行器 A (上部末端执行器)
420B	末端执行器 B (下部末端执行器)
421A、421B	末端执行器 A 和 B 上的有效载荷
422	主控制器
423A、423B、423C	电机控制器
424A、424B	末端执行器 A 和 B 的电子单元
425	通信网络
426	滑环
428A、428B	映射器传感器
429	电源
430	真空泵
431A、431B	阀
432A、432B	压力传感器
433、434A、434B	唇形密封
435	制动装置

[0091] [0091] 参考图 4, 机械手是围绕从圆形安装法兰 402 悬挂下来的开放圆柱形机架 401 构造的。机架 401 合并了垂直轨 403 与线性轴承 404, 以提供到车架 405 的引导, 车架

405 由无刷 DC 电机 406 经由滚珠螺杆机制 407 来驱动。车架 405 容纳一对装备有光编码器 410、411 的同轴无刷 DC 电机 408、409。上部电机 408 驱动连接到机器人臂的第一连杆 414 的空心外轴 412。下部电机 409 连接到同轴内轴 413，该同轴内轴 413 经由皮带传动 415 被耦合到第二连杆 416。第一连杆 414 容纳无刷 DC 电机 417，该无刷 DC 电机 417 通过两级皮带装置 418A、419A 驱动上部末端执行器 420A。采用另一 DC 无刷电机 417B 和两级皮带传动 418B、419B 来激励下部末端执行器 420B。每一级 418A、418B、419A 和 419B 都以输入和输出滑轮之间为 1 : 2 的比率来设计。通过真空激励的边缘接触夹持器或面接触吸力夹持器将基板 421A 和 421B 分别保持附着到末端执行器 420A 和 420B。参考图 5 和 6 的示范性夹持器的设计。

[0092] 第一连杆 414、第二连杆 416、上部末端执行器 420A 和下部末端执行器 420B 在全文中也分别称为上臂、前臂、末端执行器 A 和末端执行器 B。点 A、B 和 C 分别指示称为肩、肘和腕关节的旋转耦合 (revolute coupling)。点 D 表示指示基板中心在相对应的末端执行器上的期望位置的参考点。

[0093] 实例机械手的控制系统可以是分布式类型的。该控制系统包括电源 429、主控制器 422 和电机控制器 423A、423B 和 423C。主控制器 422 负责监督任务和轨迹规划。每个电机控制器 423A、423B 和 423C 执行一个或两个电机的位置和电流反馈回路。在图 4 中，控制器 423A 控制电机 408 和 409，控制器 423B 控制电机 417A 和 417B，并且控制器 423C 控制电机 406。除了执行反馈回路以外，电机控制器还采集诸如电机电流、电机位置和电机速度的数据，并且使该数据流到主控制器。电机控制器 423A、423B 和 423C 通过高速通信网络 425 被连接到主控制器。由于关节 A 是无限旋转关节，所以通信网络 425 通过滑环 426 进行路由。另外的电子单元 424A 和 424B 可以被用来分别支持末端执行器 420A 和 420B 的边缘接触夹持器。

[0094] 图 5 示出了真空激励的边缘接触夹持器系统的示意图。该边缘接触夹持器系统包括在一端附着到真空线的波纹管 (bellow) 501 以及附着到另一端的柱塞 503。在没有真空的情况下，装有弹簧的柱塞相对固定的挡块 (stop) 504 推基板 505 并且将该基板 505 保持在原位。在存在真空的情况下，柱塞缩回，这释放其对基板的支配方 (hold)。标志 507 的位置被用来确定柱塞的位置，该位置又指示以下三种状态之一：松开（柱塞 503 缩回）、适当夹住（柱塞 503 部分延伸）以及夹紧故障（柱塞 503 完全伸展）。通过打开和关闭真空阀（诸如图 4 中的 431A 和 431B）来操作夹持器。真空压力可以由压力传感器（诸如图 4 中的 432A 或 432B）来测量。

[0095] 图 6 示出了表面接触吸力夹持器的横断面视图。机器人末端执行器 603 具有两个或更多个连接到真空线 604 的孔口 605。在存在真空的情况下，基板 601 被拉向末端执行器 403 并且借助摩擦被保持在原位。夹持器动作由诸如图 4 中的 431A 或 431B 的真空阀启动。末端执行器 603 上存在或不存在基板 601 可以由诸如图 4 中的 432A 或 432B 的压力传感器确定。如果基板 601 存在，则压力传感器 432A 或 432B 检测到真空。

[0096] 如上所述，两种类型的夹持器要求打开或关闭真空线的诸如图 4 中的阀 431A 和 431B 的真空阀。真空阀可以由主控制器或电机控制器 422、423A-C 来控制。另外，真空系统还可以装备有诸如传感器 432A 和 432B 的压力传感器，这些压力传感器被用来确定真空系统中的真空水平。

[0097] 针对真空激励的边缘接触夹持器或面接触吸力夹持器使用真空要求真空线穿过关节,从而将诸如真空泵的外部真空源连接到末端执行器。由于关节 A 和 C 是连续的旋转关节,所以唇形密封 433、434A 和 434B 被用来跨越关节 A 和 C 发送真空。

[0098] 在一些情况下,每个机器人末端执行器 420A、420B 可以装备有基板存在传感器 (substrate presence sensor)。这个传感器或者可以补充上述的用于图 5 的真空激励的边缘接触夹持器和图 6 的面接触吸力夹持器的基板存在感测方法,或者诸如当基板被动地被保持在末端执行器上时,例如通过基板和末端执行器之间的摩擦力被保持时,可以用作基板存在感测的唯一装置。

[0099] 每个末端执行器 420A、420B 还可以装备有基板映射器传感器,诸如图 4 中的 428A 和 428B。每个映射器传感器包括光发射器 701 和光接收器 702,如图 7 中所示。当机器人扫描基板载体时,光检测器的二进制输出改变状态并且由确定基板载体中的每个槽中的晶片存在与否的控制器来读取。每当二进制输出改变状态时,控制器还记录机器人的轴位置,并且使用该信息检测装载埠中的“十字槽 (cross-slotted)”晶片和“双重放置 (doubly-placed)”的晶片。

[0100] 控制机器人的垂直运动的电机 (图 4 中的电机 406) 装备有电磁激励的制动装置 435。在不存在电机转矩的情况下,制动装置啮合,以便防止机器人自由摔落。垂直轴还可以装备有超程 (over-travel) 传感器 (诸如限位开关),这些传感器检测车架 405 何时超过垂直运动的可允许范围。

[0101] 机械手可以包括附加部件,诸如冷却风扇,以去除电机和电子装置产生的热。在一些应用中,机械手可以被安装在水平活动平台 (traverser) 上。

[0102] 由于诸如图 4 中的 410 和 411 的光编码器对机器人的正常运行至关重要并且代表健康监测和故障诊断的有价值的信息源,所以应该提供它们功能的更详细说明。旋转的光编码器是将角运动转换为容易与控制器连接的数字输出的设备。有两种类型的光编码器:增量式和绝对式。

[0103] 旋转的增量式光编码器 (图 8) 可以具有以下部件:光源、旋转编码器盘、静止掩模、光电检测器以及放大来自光电检测器的输出信号并使这些输出信号平整 (square) 的电子装置。由于编码器盘在掩模之前旋转,所以该编码器盘遮闭来自光源的光。通过掩模的光被光电检测器接收,该光电检测器产生形式为准正弦波输出的脉冲。编码器电子装置将这个输出转换为方波形状,准备发送到计数器。计数的数目与编码器盘的角位置直接成比例。许多编码器还包括单个零点标志,该零点标志对于每机械旋转提供一个脉冲以供参考,例如以确定原位置。

[0104] 原则上,旋转的绝对式光编码器 (图 9) 类似于增量式编码器,因为旋转盘中断源与光电检测器之间的光,以产生输出信号。然而,与单轨增量式编码器相反,绝对式编码器的特征在于数个同心轨道,每个轨道都具有透明段和不透明段的图案。这些独立的轨道为每个可分辨的位置提供唯一的组合。由于绝对式编码器的每个位置是唯一的,所以当去除电源时,绝对式编码器并不会释放位置,并且不必通过返回到零或原位置来初始化系统。在大多数应用中,只有当接通设备时,才确定绝对位置。从那个点开始,为了使得可能快速地获得高分辨率,基于模拟的 sin/cos 信号以递增的方式确定位置。

[0105] 实例机械手是具有可能展现出故障的多个部件的复杂的机电系统。这些部件包

括电源、电机、编码器、带、轴承、滚珠螺杆、制动装置、真空系统部件、通信系统部件、主控制器、电机控制器和冷却风扇。

[0106] 本状态监测和故障诊断系统使用所选信号的时间历程来执行各个系统部件的状态评价。可以从已经存在于工具中的源获得信号，或者信号可以来自出于健康监测和故障诊断的目的而具体添加的附加传感器。

[0107] 通常，期望从已经存在于工具中的源提取尽可能多的信息，即从由机器人和其他设备使用的那些源来提取，以实现期望的功能。这是因为附加传感器导致增加的复杂性和成本。然而，在一些情况下，出于健康监测和故障诊断的目的而具体添加传感器可能是优选的，因为从现有信号中提取所有信息是不可能的或者要求复杂的算法，这需要运行在更强大的和更昂贵的处理器上，并且可以昂贵地开发和支持。

[0108] 现有可测量的信号

[0109] 典型地，以下信号存在于自动化的制造工具中，并且可用于状态监测和故障诊断：

[0110] (a) 电机 PWM 负载 (duty)：电机的 PWM 负载是在任何给定时间供给每个电机相的输入电压的百分比。每个电机相的占空比可用于健康监测和故障诊断系统。

[0111] (b) 电机电流：电机电流代表流过每个电机的三个相中的每一个的电流。电机电流可以被获得为绝对值或最大电流的百分比。如果被获得为绝对值，则该电流的单位是安培。电机电流值又可以使用电机转矩 - 电流关系被用来计算电机转矩，。

[0112] (c) 实际位置、速度和加速度：这些是每个电机轴的位置、速度和加速度。对于旋转轴，位置、速度和加速度值的单位分别是度、度 / 秒和度 / 平方秒。对于平移轴，位置、速度和加速度值的单位分别是毫米、毫米 / 秒和毫米 / 平方秒。

[0113] (d) 期望的位置、速度和加速度：这些是控制器命令电机所具有的位置、速度和加速度值。这些属性与上述的实际位置、速度和加速度具有类似的单位。

[0114] (e) 位置和速度跟踪误差：这些是相应的希望的值与实际值之间的差。这些属性与上述的实际位置、速度和加速度具有类似的单位。

[0115] (f) 稳定时间：这是位置和速度跟踪误差在移动结束时在指定窗之内稳定所花费的时间。

[0116] (g) 编码器模拟和绝对位置输出：电机位置由编码器确定，编码器输出两种类型的信号：模拟信号和绝对位置信号。模拟信号是单位为毫伏的正弦和余弦信号。绝对位置信号是非易失性整数值，指示已经过去的模拟正弦周期的数目或模拟正弦周期的整数倍。典型地，数字输出在加电时读取，并且此后仅由模拟信号确定轴位置。

[0117] (h) 夹持器状态：这是夹持器的状态：打开或关闭。在真空激励的边缘接触夹持器的情况下，它是一个或多个传感器的阻塞 / 非阻塞状态。

[0118] (i) 真空系统压力：这是真空传感器所测量的真水平。这是输出被模数转换器数字化的模拟传感器。在吸力夹持器的情况下，真水平指示是否已经抓住晶片。

[0119] (j) 基板存在传感器状态：在无源夹持末端执行器中，晶片存在传感器输出是二进制输出。在真空激励的边缘接触夹持末端执行器中，由两个或更多个传感器的输出状态确定晶片存在，每一个输出状态都是二进制的。

[0120] (k) 映射器传感器状态：这是映射器传感器的状态 - 在任何给定实例中为阻塞或

非阻塞。

[0121] (1) 映射器 / 对准器检测器光强度 :这是由光检测器 (图 5 中的 503) 检测到的光强度的度量。这个信号通常可作为整数值得到 (其例如可以具有 0-1024 的范围)。

[0122] (m) 映射器传感器位置捕获数据 :这是机器人轴位置值的阵列,在这些值处,映射器传感器改变状态。

[0123] (n) 真空阀状态 :这是真空阀的被命令的状态。其指定操作真空阀的螺线管是否应该被通电。

[0124] (o) 熔断器输出端的电压 :电机控制电路中的每个熔断器的输出端处的电压被监测。熔断的熔断器导致低的输出端电压。

[0125] (p) 基板对准数据 :这些是对准器所报告的基板的对准基准的基板偏心率矢量和角定向。

[0126] (q) 在外部基板传感器转换时的位置数据 :在一些情况下,工具的大气和真空部分可以装备有光传感器,这些光传感器检测机器人所携带的基板的前缘和后缘。对于这些事件的机器人位置数据被用于快速 (on-the-fly) 识别机器人末端执行器上的基板的偏心率。

[0127] (r) 基板周期时间 :这是要由工具处理的单个基板所需要的时间,通常在稳定的流动状态下测量。

[0128] (s) 微环境压力 :这是由工具的大气部分中压力传感器所测量的压力。

[0129] 用于 HMFD 的附加传感器

[0130] 如上所提及的那样,通常希望通过为健康监测和故障诊断而具体添加的信息源来补充在工具中已经可用的信号。这些源可以包括以下 :

[0131] (a) 电机转矩的直接测量结果 :电机转矩可以直接被测量,而不是由电机电流来估计。这是通过使用测力计或扭矩计来完成的,以测量为保持加电的电机固定而要求的外部力 / 转矩。

[0132] (b) 电机温度 :这是指电机的温度并且由被安装在电机上的温度传感器读取。可以度 C 为单位得到温度。

[0133] (c) 超程传感器 :这些是诸如限位开关的传感器,这些传感器指示与传感器相关联的电机轴是否超过其允许的行程范围。

[0134] (d) 声和振动传感器数据 :这代表从被放置在机器人上或机器人附近的各个点处的麦克风和加速度计所获得的电信号。

[0135] (e) 红外传感器数据 :这代表从放置在工具中的各个点的红外传感器获得的温度读数,以监测温度变化。

[0136] (f) 功率消耗 :电机电流、速度和占空比的值可被用于计算在任何给定时刻每个电机所消耗的电功率。

[0137] (g) 偏转 :这代表从放置在机器人上的各个点的应变仪所获得的电信号,以测量偏转。

[0138] (h) 皮带张力 :附着到皮带伸张器的力感测设备的输出用作皮带张力的度量。单位为牛顿。

[0139] (i) 冷却风扇运行的持续时间 :冷却风扇可以连续运行或者受温度调节器控制。

来自机器人的热耗散的有用指标是受温度调节器控制 的冷却风扇运行的持续时间。

[0140] (j) 基板的静电荷 :在其他方法中,基板电荷电平可以通过基板的受控放电来确定。

[0141] (k) 在外部传感器转换时的位置数据 :附加的外部传感器可以被用来检测移动基板和机器人部件的边缘,以允许控制器捕获相对应的机器人位置数据并且使用得到的信息,例如用于机器人和基板可重复性检查。

[0142] (l) 视频图像 :这些代表从固定安装在机器人周期到达的具体位置处的摄像机或者由机器人携带的照相机获得的视频图像。在后一情况下,照相机可以指向末端执行器或者指向固定标记。

[0143] (m) 通风压力 (plenum pressure) :这是由扇形滤波器单元中的滤波器的输入侧上的压力传感器所测量的压力。

[0144] 故障的实例模式

[0145] 部件故障可以大致地分为两个不同的类型 :逐渐发展的“慢性”故障和立即发生的“急性”故障。第一类故障可以由状态监测系统在它们的早期发展阶段检测到。早期检测和修复有助于避免操作期间不期望的故障。另一方面,第二类故障并不适用于早期检测。然而,当故障发生时,故障诊断系统可以帮助诊断这些故障,并且因此缩短使机器返回运行的时间。以下在表 3 中列出并总结了可能产生的不同类型的故障。

[0146] 表 3 :故障及其症状的实例模式

[0147]

部件	故障模式	突然的 / 逐渐的	可测量的症状
电机	磁铁的弱化或分解 (disintegration)	逐渐的	电机绕组电流的整体增加; 电机温度的整体增加; 功耗的增加; 能量耗散的增加; 冷却风扇运行更长的持续时间

[0148] [0148]

	定子的滑动或未对准	逐渐的	电机绕组电流的增加； 电机温度的整体增加； 功耗的增加； 能量耗散的增加； 冷却风扇运行更长的持续时间
	高连接器阻力	逐渐的	PWM 负载的整体增加； 功耗的整体增加； 能量耗散的增加；
	烧毁的电机相	突然的	相绕组中的电机电流的突然下降
	熔断的熔断器	突然的	熔断器的输出端的电压的突然下降
编 码 器	光盘污染	逐渐的	正弦信号振幅的减少
	读头未对准	逐渐的或 突然的	\sin/\cos 信号的相位失真； 信号振幅的减少
	编码器布线中的电噪声	逐渐的或 突然的	\sin/\cos 信号的信噪比下降
	丢失的计数	逐渐的或 突然的	绝对轴位置和由递增的编码器计数计算的位置之间的差
带	低 于 规 格 (below specification) 的张力	逐渐的	振动的跟踪误差； 皮带伸张器处的较低的力测量结果； 对应于皮带张力的谐振频率下降
	高 于 规 格 (above specification) 的张力	突然的	皮带伸张器处的较高的力测量结果； 谐振频率的增加

[0149] [0149]

	相对部件的摩擦	逐渐的或突然的	较高的电机电流; 较高的功耗; 较高的能量耗散; 电机温度的增加; 冷却风扇运行更长的持续时间; 声能量耗散的功率谱偏移
	皮带滑动	逐渐的或突然的	诸如摄像机和超程传感器的外部传感器所测量的位置的显著偏移; 跟踪误差的增加
真 空 系 统	泄露	逐渐的或突然的	较低的真空压力测量结果; 压力转换时间 (pressure transition time) 增加。 在面接触真空夹持器的情况下, 这导致夹持激励时间增加, 而在真空激励的边缘接触夹持器的情况下, 这导致夹持释放时间增加; 在面接触真空夹持器的情况下不能夹持, 而在真空操作的边缘接触夹持器的情况下不能松开 (ungrip)

[0150] [0150]

	真空传感器与执行器之间的障碍	逐渐的或突发的	压力转换时间减小； 在面接触真空夹持器的情况下，完成夹持激励所要求的真空压力增加，而在真空激励的边缘接触夹持器的情况下，完成夹持释放所要求的真空压力增加； 在面接触真空夹持器的情况下不能夹持，而在真空操作的边缘接触夹持器的情况下不能松开
	真空调与真空传感器之间的障碍	逐渐的或突发的	真空调检测到的低的真空压力； 压力转换时间增加。在面接触真空夹持器的情况下，这导致夹持激励时间增加，而在真空激励的边缘接触夹持器的情况下，这导致夹持释放时间增加； 在面接触真空夹持器的情况下不能夹持，而在真空操作的边缘接触夹持器的情况下不能松开
真 空 激 励 的 边 接 触 夹 持 器	被卡住的柱塞	逐渐的或突然的	用于夹持激励的真空压力增加； 不能释放夹持
	损坏的弹簧	突然的	夹持器总是在释放状态下

[0151] [0151]

轴承 / 滚 珠 螺杆	结合 (binding)	逐渐的	电机电流的增加; 功耗的增加; 能量耗散的增加; 跟踪误差的增加; 电机温度的增加
	空隙 (play)	逐渐的	诸如超程传感器和视频成像照相机之类的外部位置传感器所记录的较高位置误差; 如果足够大导致显著的电机定子未对准: [??] 电机绕组电流的增加; 电机温度的整体增加; 功耗的增加; 能量耗散的增加; 冷却风扇运行更长的持续时间
通 信 系 统	滑环故障	逐渐的	故障初始阶段中错误率的增加; 在最后阶段, 主控制器并没有接收来自一个或多个电机控制器的状态更新
	电机控制器上的通信芯片的故障	突然的	主控制器并没有接收来自一个或多个电机控制器的状态更新
	主控制器上的通信芯片的故障	突然的	电机控制器并没有接收来自主控制器的运动信息
	两个相邻电机控制器之间的通信链路的中断	突然的	网络中节点数量的减少

[0152] [0152]

基 板 映 射 器	传感器电输出中的噪 声	逐渐的	映射器数字输出在通过每个 基板时的多次阻塞/非阻塞 转换; 奇数次状态转换
	光强波动	逐渐的	阻塞/非阻塞转换的偏移或 缺少阻塞/非阻塞转换
	有故障的传感器	突然的	缺少阻塞/非阻塞转换
制 动 装 置	部分释放或者没有释 放的制动装置	逐渐的	取决于位置的电机电流的增 加; 功耗的整体增加; 能量耗散的增加; 测量的声信号的谱变化
		突然的	电机电流的增加; 功耗的整体增加; 能量耗散的增加; 测量的声信号的谱变化;
外 部	障 碍	突然的	电机电流的迅速增加; 位置和速度误差的迅速增加
冷 却 风 扇	停 止 运 行	突然的	整体系统温度的增加
电 源	没 有 电 压 (例如, 熔 断的熔断器)	突然的	零电机电流; 电机控制器中的电压传感器 指示低总线电压误差; 跟踪误差的突发增加
	低 于 规 格 的 电 压	突然的	对于小变化: 高于正常的占 空比; 没有伴随的电流变化; 对于大变化: 电机控制器中 的电压传感器指示“总线电 压 不 足 (bus under voltage)” 故障

[0153] [0153]

	高于规格的电压	突然的	对于小变化：低于正常的占空比； 没有伴随的电流变化； 对于大变化：电机控制器中的电压传感器指示“总线电压不足”故障
有源夹持器	损坏的弹簧	突然的	夹持器总是在打开的位置
	堵塞的柱塞	逐渐的	缓慢的夹持和松开动作；
机器人	可重复性恶化	逐渐的	当外部传感器探测到机器人末端执行器时捕获的位置数据的变化； 重复命令到给定位置的机器人末端执行器的视频图像
	错纬 (mispick) 或错放	突然的	显示拾放操作的视频图像
对准器	光强波动	逐渐的	当完全暴露时边缘传感器输出的变化 (减少)
扇形滤波器单元	阻塞的滤波器	逐渐的	通风压力的增加，以便维持相同的微环境压力
电离器	电极损坏	逐渐的	基板静电荷的增加
工具级的故障	基板可重复性恶化	逐渐的	在外部传感器检测到基板边缘时所捕获的位置数据的变化； 输送到给定位置的基板的视频图像
	机器人工作站未对准	逐渐的或突然的	自动教导 (auto-teach) 和 / 或自动水平 (auto-level) 结果的变化

[0154] [0154]

	吞吐量减少	逐渐的或 突然的	基板周期时间的增加
--	-------	-------------	-----------

[0155] 机器人和对准器

[0156] 电机故障

[0157] 电机是机器人的核心部件并且能以许多导致次优操作的方式之一出故障。以下是随着其发展可以预测的故障的一些逐渐发展模式。

[0158] (a) 永磁铁的弱化 :永磁铁的弱化 (例如由于苛刻环境中磁铁材料分解) 导致磁场强度的损失,这又导致对于给定电流的较低转矩输出。要求较高的绕组电流来维持相同的转矩输出。较高的电流导致较高的电阻性能量损失,这又导致整体功耗的增加和电机温度的增加。

[0159] (b) 定子滑动 / 未对准和不正确的相角 :将定子保持在原位的夹具的解开能导致定子的滑动和未对准。这改变了有效电机相角,其导致不正确的换向。不正确的电机相角还可以由不正确实现相角估计程序引起。症状类似于上述针对弱化磁铁的那些症状,即导致较高的绕组电流、电机温度和功率耗散。

[0160] (c) 高连接器电阻 :电机连接器引线的污染和 / 或腐蚀导致较高的有效绕组电阻。这导致占空比和总体功率耗散以及电机温度的整体增加。

[0161] 以下电机故障可能突然发生 :

[0162] (a) 烧坏的电机相位 :突然发生电机故障的实例是烧坏的电机相位。这个故障通常由检测到仅在受影响的相位中的电流的突然下降的电机控制器来标记。

[0163] (b) 熔断的熔断器 :熔断的熔断器切断到电机放大器以及因此到所有电机相位的电源。熔断的熔断器导致该熔断器的输出端的电压突然下降。

[0164] 编码器故障

[0165] 编码器故障可能导致错误的位置读数。位置读数可以包括以下类型。

[0166] (a) 光盘污染 :由于编码器盘或读头上的灰尘的堆积或轴承润滑脂的迁移引起的污染能导致来自编码器的模拟正弦信号输出的减弱。这是逐渐发生的故障并且可以通过监测编码器正弦信号的振幅来预测。信号减弱的程度根据编码器位置变化。

[0167] (b) 读头未对准 :来自编码器的两个正弦 / 余弦信号通常有 90 度的相位差。然而,未对准的读头除了信号的减弱以外还导致改变这两个信号之间的相位差。因此,这个故障可以通过监测信号之间的相位差来检测。这个故障可以逐渐发生或突发发生。

[0168] (c) 电噪声 :信号中的电噪声导致来自编码器的模拟信号的较低信噪比。这个故障可以响应于外部事件或者由于治理 (harness) 故障而间歇发生,并且可以通过监测编码器模拟信号的信噪比来检测。

[0169] (d) 遗漏的编码器计数 :典型地,在加电时从编码器读取绝对位置,并且此后仅使用行计数 (line count) 和模拟信号来确定轴位置。周期性地,得自行计数 (以及可能地模拟信号) 的轴位置可以检查编码器绝对位置。遗漏的编码器计数由轴位置与绝对位置 (两者都在相同的时刻读取) 之间的差指示。

[0170] 传动带故障

- [0171] 同步带 (timing belt) 用作功率传输设备并且可以下列方式发生故障。
- [0172] (a) 不正确的皮带张力 :由于拉伸, 皮带张力可逐渐减小。较低的皮带张力可导致位置伺服回路的逐渐不稳定。这愈加在振动位置和速度跟踪误差以及减小的稳定裕度中显露。皮带伸张器的过调整也可以导致高于正常的皮带张力。较高 / 较低的皮带张力也导致由安装在皮带伸张器上的力传感器所测量的力的增加 / 减小。皮带张力的变化也导致在靠近带的点处所测量的声和结构振动信号的频谱的改变。另外, 皮带张力的变化可以通过机制的频率响应的变化来检测。
- [0173] (b) 相对于部件的带摩擦 :由于机械问题引起的不正确的带装配或带走动 (belt walking) 可导致带与邻近部件的摩擦。过度的带摩擦导致摩擦力、功耗、电流消耗、热耗散和电机温度的增加。
- [0174] (c) 带滑动 :带可以相对定时齿轮滑动, 并且这个滑动可由于碰撞而突发地发生。滑动的带导致跟踪误差的增加并且还导致外部位置传感器读数显著偏移。外部位置传感器的一个实例是在外部安装的摄像机。滑动的带还可以显露为机器人关节处的冗余位置传感器 (诸如编码器) 和连接到电机的主要位置传感器 (编码器) 之间的不一致读数。
- [0175] 真空系统故障
- [0176] 真空压力被用于抓住晶片。有两种类型的基于真空的晶片夹持器, 即图 6 中的面接触吸力夹持器和图 5 中的边缘接触真空激励的夹持器。可能发生在真空系统中的示范性故障包括以下情况。
- [0177] (a) 真空泄露 :真空泄露可以由于唇形密封上的磨损而发生。真空气线中的泄露导致较低的真空压力 (当真空气阀打开并且在面接触吸力夹持器的情况下, 基板存在于末端执行器上), 并且可以通过真空气传感器 (302、402) 读数的下降来检测。另外, 夹持动作导致或者夹持不住或者夹持器操作时间增加。对于真空激励的边缘接触夹持器, 夹持操作时间在命令阀 (306、406) 打开的时刻与定位感测标志 (308) 检测到夹持器的打开状态的时间之间来测量。对于面接触吸力夹持器, 夹持操作时间在命令阀打开的时刻与真空气传感器读数达到可接受的真空水平的时间之间来测量。
- [0178] (b) 真空阻塞 :真空气传感器和执行器之间的真空气线中的阻塞将导致较短的真空转换时间以及真空激励的边缘接触夹持器在接通真空时的长操作时间。
- [0179] 真空激励的边缘接触夹持器
- [0180] 图 5 和 6 中示出的基板夹持器可以以一些下列方式而发生故障。
- [0181] (a) 损坏的弹簧 :在不存在真空的情况下, 装有弹簧的柱塞相对基板被推着以将其夹持在原位。损坏的弹簧导致夹持器总是在“释放的”状态下。
- [0182] (b) 堵塞的柱塞 :柱塞可以被堵塞并且这导致夹持器状态响应于真空气线的打开或关闭没有变化。
- [0183] 轴承和滚珠螺杆
- [0184] 轴承和滚珠螺杆可以一些下列方式而逐渐发生故障。
- [0185] (a) 结合 :滚珠螺杆的结合导致运动阻力的增加。结合导致电机电流、电机温度和能量耗散以及跟踪误差的增加。结合还导致驱动受影响的关节的带的张力的增加。
- [0186] (b) 空隙 :轴承中的空隙导致由诸如在外部安装的摄像机的外部位置传感器所记录的位置的误差。如果轴承是电机的部分, 则还可以导致定子的未对准并且导致之前所讨

论的症状。空隙还可以导致振动行为并且减小稳定裕度。

[0187] 通信系统

[0188] 通信网络在主控制器和电机控制器之间传输数据。通信网络的故障模式可以包括以下情况。

[0189] (a) 滑环故障 :滑环越过旋转关节发送数据并且可以由于磨损而逐渐退化。滑环的退化通过由各个控制器接收到的数据中的错误率的增加来检测。

[0190] (b) 电机控制器上的通信模块的故障 :主控制器倾听来自电机控制器的状态消息。主控制器可以通过检测来自电机控制器的状态消息不存在来检测那个电机控制器的故障。这个过程也称为“节点保护 (node guarding) ”。

[0191] (c) 主控制器上的通信模块的故障 :电机控制器接收来自自主控制器的定期轨道信息。主控制器的崩溃 (breakdown) 通过缺乏任何轨道信息来检测。这个过程也称为“心搏监测”。

[0192] (d) 两个邻近电机控制器之间的通信链路的断开 :这种类型的故障导致以下两个症状之一。如果网络中有冗余,则主机控制器能够重新映射网络并且继续以不同的网络拓扑运行。如果没有冗余,则主机不能重新映射网络。在前一种情况下,发生故障的链路的位置可以基于新的网络拓扑来确定,在后一种情况下,发生故障的链路的位置可以基于不能被映射的节点列表来确定。

[0193] 基板映射器

[0194] 基板映射器通常是为每个要绘制的 (mapped) 基板登记两个状态转换的通断 (on-off) 传感器。其故障模式可以包括以下类型。

[0195] (a) 有噪传感器输出 :这导致每个基板的多个状态 (多于两个) 转换和 / 或奇数个状态转换。

[0196] (b) 有故障的映射器传感器 :有故障的传感器导致没有状态转换。

[0197] 制动装置故障

[0198] 机制动装置通常是机电激励的并且可以具有一个或多个以下故障 :

[0199] (a) 制动装置并不释放 :这导致制动垫片与机器人的摩擦并且导致电机电流的取决于位置的变化。另外,跟踪误差、能量耗散、热耗散以及声和振动谱的变化整体增加。

[0200] (b) 制动装置部分释放 :这导致致动垫片与机器人的间歇摩擦并 且导致电机电流的取决于位置的变化。另外,能量耗散、热耗散以及声和振动谱的变化整体增加。

[0201] 外部障碍

[0202] 外部障碍导致电机电流的迅速增加以及实际电机电流与模型预测的电机电流之间的差值增加。电机电流的增加率依赖于障碍的类型。软障碍是电机电流逐渐增加的一种障碍。软障碍的实例是 (图 4 中的) 机器人的末端执行器遇到的一种障碍,其中机器人的臂延伸并且在 z 方向上移动。臂的柔性导致电机电流相对于位移线性增加。在硬障碍的情况下,电机电流突然增加。硬障碍的实例是在径向移动的 (图 4 中的) 机器人的末端执行器遇到的一种障碍。

[0203] 外部障碍干扰的更直接的症状是通过应变仪 (如果可用的话) 指示的偏转的增加。

[0204] 冷却风扇

[0205] 用于冷却电机和电子装置的风扇可能不能运行,从而导致整体系统温度的增加而电机电流电平并没有伴随增加。

[0206] 电源

[0207] 以下列出了由电源故障导致的故障的典型模式。

[0208] (a) 低于规格的电压 : 电机控制器中的电压传感器明确指示“电压不足”故障。在不存在这种传感器的情况下,这个状态由较高的占空比和位置跟踪误差来表征。

[0209] (b) 高于规格的电压 : 电机控制器中的电压传感器明确指示“过电压”故障。在不存在这种传感器的情况下,这个状态由低于正常的占空比来表征。

[0210] (c) 熔断的熔断器 : 这是通过熔断器输出端的电压感测来检测的。当熔断器熔断时,电压接近零。

[0211] 机器人级的故障

[0212] (a) 可重复性恶化 : 机器人失去其重复将末端执行器定放在指定位置的能力。这个故障通常是逐渐发展的,并且可以被检测为在运动期间通过外部传感器检测到机器人末端执行器时所捕获的位置数据的变化或者使用被重复命令到给定位置的机器人末端执行器的视频图像而捕获的位置数据的变化。

[0213] (b) 错纬或错放 : 这个故障可以通过安装在机器人臂上或者安装 在拾放操作发生的位置处的(多个)摄像机使用机器人的拾放操作的视频记录来诊断。

[0214] 对准器 / 映射器光强波动

[0215] 对准器或映射器中的光发射器发射的光的强度可以长时间逐渐波动(退化)。在映射器的情况下,强度的显著降低可能导致关于在光发射器和光检测器之间存在或不存在基板的错误数据。在对准器的情况下,强度的显著降低可能导致阻塞光发射器的程度方面的错误数据。这又导致对准器中有错误的或超出范围的晶片边缘位置数据。这个(通常是逐渐发展的)故障可以被检测为传感器输出在完全暴露于光源时的变化(减少)。

[0216] 支持系统

[0217] 扇形滤波器单元

[0218] 扇形滤波器单元包括滤波器,该滤波器通常覆盖工具的大气部分的大部分顶部截面区域。滤波器的逐渐堵塞是通过增加滤波器(通风压力)的输入侧的通风压力来指示的,以便维持工具的大气部分内部的相同压力(微环境压力)。

[0219] 电离器故障

[0220] 电离器是用于中和在工具的大气部分中所传输的基板上积累的电荷的设备。电离器故障导致基板上过度的电荷累积。

[0221] 工具级的故障

[0222] 可重复性恶化

[0223] 工具级的故障包括基板可重复性恶化、机器人工作站未对准以及吞吐量减少。

[0224] 基板可重复性恶化

[0225] 基板可重复性恶化是工具在指定的容差内重复地将基板输送给一个或多个站的能力的丧失。这认为是机器人可重复性恶化的副效应,仅举几个例子,是由于基板在机器人末端执行器上滑动或者因为对准器的故障。这个故障通常是逐渐发展的并且可以被检测为在运动期间通过外部传感器检测到基板边缘时所捕获的位置数据的变化或者当基板被输

送到给定位置时基于视频图像的位置数据的变化。

[0226] 机器人工作站未对准

[0227] 站相对于机器人的适当对准对于工具的正确运行是至关重要的。未对准可以被检测为自动教导或自动水平结果的变化。

[0228] 吞吐量减少

[0229] 吞吐量是通过工具每小时所处理的基板的数量来测量的。吞吐量减少是由基板周期时间的增加来指示的。

[0230] 用于 HMFD 的技术

[0231] 将对实现四种基本功能：数据采集、预处理、分析和推理的方法进行更详细的描述。对于数据采集、预处理、分析和推理有许多不同类型的方法可用，并且每种方法适用于检测和识别某些类型的故障。

[0232] 能量耗散的监测和分析

[0233] 这种方法适用于实现机器人故障的早期检测系统。这种方法的基本原理是由机器人的机械或电气部件的退化所引起的故障将导致机器人操作的整体效率的降低。因此，这类故障可以在发生的早期阶段通过监测机器人中的能量耗散的某些度量来检测。导致效率降低的故障的一些实例是：损坏的或未对准的轴承，缺少润滑，机器人运动的阻碍，机器人上的永磁铁的退化以及出故障的电机制动装置。在机器人操作期间可以监测的能量耗散有数种类型。

[0234] 机械能耗散

[0235] 能量耗散的一个度量是在机器人操作序列期间的总机械能耗散。这由下列表达式给出：

[0236]

$$\Delta E_{\text{总, mech}} = \sum_{i=1}^N \int_{\Delta T} \tau_i \dot{\theta}_i dt - \Delta E_{\text{pot}}$$

[0237] 其中 τ_i 和 $\dot{\theta}_i$ 是单独电机的输出转矩和角速度，并且 N 表示机器人中的电机的数量， ΔT 是机器人操作序列的持续时间，并且 ΔE_{pot} 是机器人的势能的变化。

[0238] 项 ΔE_{pot} 包括重力位能和存储在像弹簧和波纹管的柔性 (compliant) 元件中的能量。势能的变化对于给定的操作序列是不变的，并且可以由机器人的开始与结束位置之间的势能差来计算。（随着时间的变化的）总机械能耗散的增加会指示由机械部件的退化引起的故障。

[0239] 电能耗散

[0240] 能量耗散的另一度量是在机器人操作序列期间在电机中所耗散的总电能。这由下面的表达式给出：

[0241]

$$\Delta E_{\text{总, elec}} = \sum_{i=1}^N \int_{\Delta T} V_i I_i dt - \Delta E_{\text{pot}}$$

[0242] 其中 V_i 是到电机的电压输入并且 I_i 是电机输入电流。

[0243] 总电能耗散的增加会指示由机器人的电气或机械部件的退化引起的故障。

[0244] 各个关节中的能量损耗

[0245] 关于出故障的部件的位置的有用信息可以通过监测机器人上的各个关节中的能

量损耗来获得。例如,每个单独关节中的机械能耗散还可以提供关于特定关节中出故障的轴承或者制动装置的有用信息。下面的表达式给出了在机器人的关节 i 中的能量损耗。

$$[0246] \quad \Delta E_{i,\text{mech}} = \int_{\Delta T} \tau_i \dot{\theta}_i \, dt$$

[0247] 类似于其机械对应物,各个电机中电能损耗的变化还提供关于特定电机的即将发生的故障的有用信息。

$$[0248] \quad \Delta E_{i,\text{elec}} = \int_{\Delta T} V_i I_i \, dt$$

[0249] 基于能量耗散的状态监测可以在实际系统中按照以下两种方式之一来实现:第一种方法假设在延长的时间段上存在机器人重复的移动序列。这种移动序列可以被用作健康监测和故障诊断的模板。可以为正常的机器人测量关于能量耗散、转矩和其他运动特性的数据并且将这些数据存储以供将来之用。由于基板处理机器人(substrate handling robot)不断地在一组站之间从事基板的运输,所以完成将从基板一个站移动到另一站的移动序列将有资格作为健康监测的模板序列。第二种方法涉及“正常”机器人模型的发展,例如使用神经网络来发展,并且还是用这个模型来计算正常机器人中的能量耗散。这个模型计算的能量耗散可以与实际的能量耗散进行比较,以确定能量耗散是否随时间变化而增加。

[0250] 以下类型的故障可以通过这种方法来检测:电机磁铁的分解、定子未对准、较高的连接器电阻、较高的皮带张力、在任何移动部件中摩擦力的增加、有缺陷的滚珠轴承、制动阻力的存在、不正确的换向角和相位故障。

[0251] 转矩残差的监测和分析

[0252] 转矩残差是实际的电机转矩和基线估计之间的差的度量。转矩残差的分析可以识别可能发生在机器人中的某些类型的故障。这种方法 基于在机器人运行期间获得的转矩数据与代表机器人正常行为的转矩数据的比较。基线转矩数据(代表正常行为的数据)可以作为原始数据获得或者从机器人模型中获得,该原始数据最初针对所选的移动序列模板被存储。除了转矩残差的原始值以外,残余的绝对值在给定移动序列上的积分还是整体机器人健康的有用指标。

[0253] 用于所选移动序列模板的原始数据存储

[0254] 这种方法假设存在机器人在延长的时间段上重复的移动序列。这种移动序列可以被用作健康监测和故障诊断的模板。可以针对正常的机器人测量关于能量耗散、转矩和其他运动特性的数据并且将这些数据存储起来以供将来之用。由于基板处理机器人不断地在一组站之间从事基板的运输,所以完成将基板从一个站移动到另一站的移动序列将有资格作为健康监测的模板序列。在一个站的延伸位置处的“稳定(settle)”事件可以触发模板移动序列的开始,并且在下一站的延伸位置处的稳定事件可以触发健康监测移动序列的结束。因此可能具有多个模板序列,每对站都有一个序列。这种方法的主要缺陷在于针对移动序列所采集的参考数据只有当移动参数保持不变时才是有效的。

[0255] 解析机器人模型

[0256] 机器人的正常行为可以由以解析方式针给定机械设计导出的动态模型所代表。一旦导出模型的结构,模型的参数可以基于所涉及的机械部件的物理属性来计算,通常借助于 CAD 模型或者使用参数估计技术以试验方式获得。这种方法的缺陷在于,需要针对机器

人臂机制的不同配置导出独立的动态模型，并且诸如摩擦力的一些物理现象难以用所要求的精度来以解析方式描述。

[0257] 基于神经网络的机器人模型

[0258] 作为解析模型的可替换方案，从正常的机器人所获得的数据可以用于建立机器人动力学的神经网络模型。便利地，相同类型的神经网络可以用于机器人臂机制的多个配置，可以容易地自动化模型的训练，并且神经网络模型通常可以很好地表示难以用解析方式描述的复杂物理现象。

[0259] 可以基于转矩残差的分析来识别的示范性故障包括有效电机容量和周期阻力 (periodic drag) 的减小。

[0260] 干扰观测器

[0261] 干扰观测器通常用在机械手的伺服控制中。这些干扰观测器提供机器人模型中并未考虑的干扰的估计。这些观测器可以被设计为与位置伺服相比在更高的带宽处是稳定的并且因此能够实现机械手的更好的跟踪控制。由干扰观测器为机器人中的每个电机提供的干扰估计用作能被监测来检测异常的便利属性。干扰观测器可以用于检测突然或间歇发生的故障。这类故障的实例是：发生在某些电机位置处的制动阻力、在某些电机位置处的带摩擦、运动的外部阻碍、输入电压的突发波动。

[0262] 电机功耗的监测和分析

[0263] 电机功耗是机器人整体健康的有用指标。类似于上述的能量耗散，功耗的增加指出机器人的潜在故障。像电机转矩那样，功耗是机器人当前状态的属性并且其变化可以产生关于故障类型的有用信息。

[0264] 跟踪误差的监测和分析

[0265] 跟踪误差的监测和分析是可以揭露健康问题的一种方法。跟踪误差被定义为给定轴或机器人的部件的实际位置与针对这个轴或部件的被命令的（所希望的）位置之间的差。这种健康监测方法基于在机器人的规则操作期间为所选的操作模板序列所采集的跟踪误差与当机器人处在正常的健康状态时最初所获得的基线数据的比较。跟踪误差在否则相同的运行条件下的变化或趋势指示健康问题。

[0266] 除了原始跟踪误差以为，以下两个跟踪误差的导出量用作有用的健康指标：归一化的跟踪误差和跟踪误差的绝对值在移动序列上的积分。

[0267] (a) 归一化的跟踪误差：跟踪误差倾向与电机的加速度和电机的加速度的变化率强烈相关，并且可以成比例地增加。机器人健康的更好的指标可以是归一化的跟踪误差，其中其他运动参数的影响被析出因数。

[0268] (b) 跟踪误差的积分：跟踪误差的幅度（绝对值）在整个移动序列上的积分是整体跟踪误差在移动期间的度量。

[0269] 编码器信号的监测和分析

[0270] 每个编码器的模拟信号输出包括振幅相等但相位彼此偏移 90 度的两个正弦信号。以下缺陷可以通过监测信号的振幅和相位属性的偏移 来检测：相位差的变化指示编码器读头的未对准或编码器盘的摆动；振幅的变化指示编码器盘上的碎屑的存在。

[0271] 模拟编码器信号可以在正常操作期间或者在出于故障诊断的目的而引起的特定运动模式期间进行监测。希望的运动模式是导致恒定频率正弦信号的恒定速度的运动。

[0272] 热耗散的监测和分析

[0273] 热耗散是另一种形式的能量耗散。在机器人上的各个点处的热耗散的量也可以用于预测即将发生的故障。任何导致移动部件之间更高的摩擦力的故障将导致更高水平的热耗散。另外，电机和螺线管开关中的更高的电流电平也将导致更高的热耗散。更高的电机电流电平又是许多不同类型故障的结果。

[0274] 热耗散可以通过安装在工具中的战略点处的红外传感器来监测。可以使用在电机和电机控制器内部存在的温度传感器来测量温度。这种方法可以用于检测下列类型的故障：电机磁铁的分解、不正确的电机相角、定子的未对准、轴承摩擦力的增加、制动阻力。

[0275] 结构振动的监测和分析

[0276] 另一种预先检测即将发生的故障的方法是在机器人上的各个点处监测结构振动。可以直接通过加速度计和应变仪或者间接通过声信号来监测结构振动。可以通过检测声信号和结构振动信号的功率谱的明显的偏移来预测即将发生的故障。例如，有故障的轴承或者摩擦带将导致声能水平的增加并且导致在信号功率谱中引入新的“峰”。皮带张力的变化可以通过功率谱中的“峰”的偏移来检测。

[0277] 可以使用放置在机器人上的各个点处的麦克风来测量声能。可以通过在机器人上的各个点处安装加速度计来测量结构振动。类似于上述的能量耗散方法，机器人在一段时间上重复的某些移动序列可以用作模板序列，基于这些模板序列可以将正常机器人的功率谱与有故障的机器人的功率谱进行比较。这些信号还可以响应于处在一定方位的机器人的结构的受控激励来测量。以下类型的故障可以使用这种方法来分析：皮带张力的增加或减少、松弛的紧固件、轴承摩擦力的增加以及移动部件的摩擦。

[0278] 频率响应分析

[0279] 可能与健康问题相关联的机械手的属性变化可以使用频率响应分析来识别。在这种方法中，机器人的频率响应与最初针对处在正常状态下的机器人获得的基线频率响应相比较。该比较可以基于原始数据或者基于通过参数估计技术由原始数据获得的传递函数和其他数学表达式。

[0280] 典型地，频率响应分析所需的数据不能在机器人正常操作期间获得，因为运动轮廓(profile)通常被设计来最小化机器人结构的激励。因此，数据采集过程需要在机器人不被用于规则操作时发生。可以通过命令机器人到预定的位置网格，并且将激励信号注入到机器人的电机中同时通过在每个位置中的编码器读数来监测机器人的响应而获得该数据。激励可以是白噪声或粉红噪声的形式，可以是扫掠频率谐波信号或单频率谐波信号，在感兴趣的频率范围上，该谐波信号的频率以指定的步长递增变化。

[0281] 可以通过频率响应分析识别的健康问题可以包括松动的机械硬件、损坏的部分以及不正确的皮带张力。

[0282] 皮带张力的监测

[0283] 在自动化的制造工具中驱动机器人连杆和其他部件的带（诸如图4中的带415、418A、418B、419A和419B）的张力可以通过检测带与相应的皮带伸张器之间的力的传感器来监测。通常在机器人静止在给定位置时读取这些力。这些力的变化或趋势指示健康问题。

[0284] 此外，在机器人操作期间通过传感器检测的力可以用于估计通过相应的皮带传动

所发送的转矩。这个信息可以用于将问题（诸如机械结合）缩小到机器人中的特定部件。

[0285] 例如,如果具有两级皮带传动的电机(诸如图4中的具有带418A和419A的电机417A)输出高于预期的转矩并且通过两级发送的转矩保持正常,则问题在于第一级皮带传动之前的机械部分中。然而,如果第一级发送高于正常的转矩,则应当在两级皮带传动之间寻找问题。最后,如果两级都发送不正常的转矩水平,则问题在第二级皮带传动之外的部件中。

[0286] 静力平衡分析

[0287] 电机电流与电机转矩之间的关系由电机转矩 - 电流关系(也称为电机转矩容量(torque capacity))来确定。诸如电机磁铁的弱化的故障将导致电机转矩容量下降。这样的故障可以通过直接测量电机转矩 和电机电流来识别。电机转矩的直接测量在静负载状态下是可能的。静负载状态的实例是静止但是反抗外力的机器人臂的静负载状态。如果外力可以通过测力计测量,则可以确定各个电机中的转矩。

[0288] 即使外力的幅度是未知的,解析静力模型也可以用于获得电机转矩之间的比率。电机转矩比率可以与电机当前比率进行比较,并且导致电机容量下降的故障可以被识别。可以使用这种方法识别以下故障:电机磁铁的弱化、电机轴承中的空隙。三相电机中的电机转矩 T 和峰值电机电流 $I_{\text{相位}}$ 之间的关系由下面的表达式给出:

[0289]

$$T = \frac{3}{2} n L R B I_{\text{相位}} = K_t I_{\text{相位}}$$

[0290] 其中 L 是沿电机轴的绕组长度, R 是线圈绕组的半径,并且 B 是正交于线圈的磁场,而 K_t 是电机转矩常数或电机转矩容量。

[0291] 除了测量电机转矩常数,静态分析可以用于识别电机绕组电阻的变化。在静止状态下,对于 Δ 和 Y 缠绕的电机,电机引线到引线(lead to lead) 绕组电阻、电机引线电压(lead voltage) 与电机引线电流(voltage current) 之间的关系由下式给出:

[0292]

$$V_{\text{引线}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{引线}} R_{l-l}.$$

[0293] 数字传感器输出的监测和分析

[0294] 数字传感器是放置在机器人的不同子部件处的通 / 断传感器。通过监测并记录状态转换时间,可以检测到某些类型的故障。可以在正常操作期间或者在为诊断设计的特定操作期间记录状态转换时间。

[0295] 真空激励的边缘接触夹持器可以具有检测柱塞(图5)的位置的附加传感器。如果存在真空泄露或者在真空系统中有阻塞,则用于这个传感器的抓取(grip-on) 转换时间增长。

[0296] 出于本文献的目的,用于检测损坏的熔断器的电路落入数字传感器的范畴。

[0297] 模拟传感器输出的监测和分析

[0298] 模拟光学传感器被用来在基板对准器中对准基板。来自这些传感器的模拟输出通过模数转换器并且由控制器来读取。信号振幅确定对准器中晶片离心率的程度。来自是LED的源的信号强度的减弱需要被检测并被考虑到。这个减弱可能是由于LED源的退化。

[0299] 为了监测对准器传感器的状态,LED源的校准可以在对准器上不存在任何基板的

情况下周期性地进行。LED 源的减弱可以用控制器软件来补偿和 / 或可以调整供给 LED 源的电压。类似的监测和分析方法可以应用到基板映射器传感器。

[0300] 可替换地,如果基板总是存在于对准器上,则 LED 源的校准可以基于基板的已知直径完成。不管基板的离心率,可以在所采集的代表没有离心率的基板的半径的数据中找到一对值。在这两个点处的传感器读数可以与基板半径的期望的标称值进行核对。

[0301] 真空压力传感器是指示真空水平的模拟传感器。这个真空压力与压力阈值进行比较,以确定是否达到希望的真空状态。真空转换时间可以用于确定某些故障,该真空转换时间是达到希望的真空状态所花费的时间。在真空激励的边缘接触夹持器或面接触吸力夹持器(图 5 和 6)的情况下,在夹持和松开期间的状态转换时间的变化可以指示真空系统的某个部分的泄露或阻塞。

[0302] 视频信号的监测和分析

[0303] 摄像机可以被安装在机器人的工作空间中并且被连接到控制器。控制器可以处理视频图像并且检测某些类型的故障。例如,视频信号可以用来确定机器人的可重复性。当机器人在特定位置时,可以捕获并分析机器人末端执行器的视频图像。可以使用模式识别工具分析图像,以确定末端执行器上的某些特征的位置是否有明显偏移。

[0304] 摄像机也可以直接安装在机器人的末端执行器上,以监测机器人执行的拾放操作,这些拾放操作包括边缘接触夹持器的操作。得到的视频可以被记录并且用于诊断拾放操作期间的故障。这对于很少发生的不能被操作员观察到和 / 或难以再现的故障是极为有用的工具。视频信号可以用于识别影响机器人位置可重复性的故障。影响可重复性的典型故障是同步带的滑动、导致滞后的皮带张紧以及轴承夹具的松动。

[0305] 通信网络流量的监测和分析

[0306] 通信网络的状态可以通过在通信网络的各个链路两端的错误率(即每指定量的所传输数据的错误的数量)来监测。这种方法对于检测携带通信信号的滑环的状态尤为实用。

[0307] 另外,电机控制器处的致命的通信网络故障可以由主控制器通过网络节点保护来监测。在这种方法中,主控制器监测例如被每个电机控制器所发送的周期性状态消息的存在。

[0308] 类似地,在主控制器处的致命的通信网络故障可以由电机控制器通过心搏监测来检测。在这种情况下,电机控制器监测例如来自自主控制器的周期轨道框架(trajectory frame)的发生。

[0309] 变化检测方法

[0310] 上述的故障诊断方法涉及机器人的各种物理特性的监测,仅举几个例子,诸如是能量耗散、电机转矩、转矩残差、跟踪误差、皮带张力和峰振动频率。这些特性的监测涉及将这些特性与一定的阈值比较,并且如果这些特性超过或低于那些阈值,则将故障用信号通知。这样的技术用在统计学的质量控制中并且还被称为控制图。已经为控制图研发了几种统计学技术,并且这些方法也可以应用于健康监测。

[0311] 为了使用控制图需要满足两个基本要求。第一是在上面定义的物理特性方面用已知的统计学分布模型定义性能度量(performance metric)。第二是得自置信水平(也称为置信系数)的阈值的定义,利用该置信水平将能预测性能度量的变化。度量的变化被监测

并且与阈值进行比较。取决于所用的度量,控制图被分为不同的类型。休哈特 (Shewhart) 控制图使用上一次观察作为性能度量。对于 99.7% 的置信系数,上和下控制界限被选为 $(\mu + 3\sigma)$ 和 $(\mu - 3\sigma)$,其中 μ 是所估计的均值,而 σ 是所估计的标准偏差。这对于检测物理特性的值的突然变化是理想的,仅举几个例子,诸如是电机转矩中的暂时的尖峰信号或者跟随误差或功耗。另一方面,指数加权移动平均 (EWMA) 被用作检测物理特性值的缓慢漂移的度量,仅举几个例子,诸如是能量耗散、皮带张力。EWMA 被定义为如下:

$$[0312] \quad \text{EWMA}_1 = (1 - \lambda) \text{EWMA}_{1-1} + \lambda X_i$$

[0313] 其中 X_i 是在迭代 I 时的测量结果,并且 $0 \leq \lambda \leq 1$,而 EWMA_0 是在监测过程开始时的所估计的均值。

[0314] EWMA 的标准偏差由 $\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}\sigma$ 给出,其中 σ 是正被监测的属性的所估计的标准偏差。

[0315] 大部分故障由彼此强烈相关的两个或更多个物理特性的值的变化来表征。在这样的情况下,霍特林 (Hotelling) 的 T 平方统计将用作检测突发变化的性能度量。为了检测多变量框架中的缓慢漂移,将使用多变量 EWMA 图。这两种方法都产生单个标量,该单个标量是与标称的偏差的平方的度量并且说明了多变量框架中的变量之间的协方差。

[0316] 正常行为的基线化 (baselining)

[0317] 变化检测算法假设存在正被监测的物理特性的基线估计。基线估计的实例是在特定移动序列期间耗散的能量的平均值。基线化是故障检测中的重要步骤,并且将涉及数据采集和处理,以获得物理特性的估计。数据采集将在正常的操作条件下进行,正常的操作条件指的是机器人没有已知缺陷的条件。数据采集将涉及在相同的操作条件下获得的几个重复测量上的平均。测量结果可以是单个值,诸如在特定操作期间耗散的总能量或者跟踪误差的最大绝对值或电机转矩的最大绝对值或诸如在特定操作期间每隔一定间隔测量的电机转矩值的一序列值。所测量的值将连同对采集数据的条件的规范一起存储在数据库中。

[0318] 数据处理将采用几种形式中的一种。一种形式是系统识别,其涉及对包括系统的解析模型的一组基本参数的轨迹。另一形式是神经网络模型的发展,神经网络模型对整个系统进行建模或仅对不具有解析模型的某些非线性效应进行建模。

[0319] 数据归一化和趋势消除 (trend cancellation) 是可以被要求的数据处理的另一形式。为了将控制图用于变化检测,正被监测的度量需要具有正常操作条件下的恒定标称值。然而,实际上,正被监测的物理量即使在正常的操作条件下也可以表现出渐进的、暂时的漂移。一个实例是能量耗散的例子,已经观察到能量耗散显示出根据时间的逐渐向下的趋势。为了有效地利用控制图中的这样的量,必须对趋势进行建模并且在观察的数据中消除该趋势。建立了可以被用于此目的的时间序列分析技术。可以用于对长期渐进趋势进行建模的一种方法是霍尔特 - 温特斯 (Holt-Winters) 方法或双指数平滑方法。如果在物理量与诸如操作速度设置的操作条件之间存在相关,则数据归一化也是必需的。

[0320] 具体的 HMFD 操作

[0321] 现在将描述本健康监测和故障诊断系统的具体操作。这些操作将被分组成四个不同的类:状态和历史信息、连续健康监测、请求式健康监测以及诊断功能。

[0322] 状态和历史信息

[0323] 本健康监测和故障诊断系统给用户提供了关于使用的程度和在一段时间发生的故障的历史信息。以下是系统使得对于用户可用的量的列表。

[0324] (a) 当前的机器人伺服状态 :这指的是是否针对每个电机激活了位置反馈伺服。如果所有的电机使得它们的反馈伺服激活,则机器人处在“伺服活动 (active)”状态。如果不是,则机器人处在“伺服不活动 (inactive)”状态。

[0325] (b) 机器人“伺服活动”状态的总持续时间 :这是指自从机器人首次运转以来机器人处在“伺服活动”状态的总持续时间,单位为天、小时、分和秒。

[0326] (c) 当前“伺服活动”期的持续时间 :这是指当前“伺服活动”期的持续时间,单位为天、小时、分和秒。如果机器人目前不在伺服活动状态下,则这个量指的是上次伺服活动期的持续时间。

[0327] (d) 机器人运动的持续时间 :这指的是机器人在作为其部分正常操作的运动中的持续时间。

[0328] (e) 运动错误的次数 :这指的是由于错误状态机器人伺服状态从“活动”变为“不活动”的次数。

[0329] (f) 错误之间的平均运动持续时间 :这指的是连续的运动错误之间的持续时间的平均值。

[0330] (g) 电机“里程” :这指的是每个电机已经移动的距离,单位为度或 mm。

[0331] (h) 基板获取 / 释放操作的数量 :这指示机器人执行了多少次拾 / 放操作。

[0332] 状态和历史数据的概要可以在表 4 中找到。

表 4 :历史和状态信息

[0334]

目的	当前机器人伺服状态
综述	指示是否为每个电机激活位置反馈伺服。如果所有的电机使得它们的反馈伺服激活, 则机器人处在“伺服活动”状态。如果不是, 则机器人处在“伺服不活动”状态。
实现方案的可行性	容易实现; 并不要求理论研发或实验验证; 并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高 (极好的收益努力比 (benefit-to-effort ratio))

[0335]

目的	机器人“伺服活动”状态的总持续时间
综述	自从机器人首次运转以来机器人处在“伺服活动”状态的总持续时间，单位为天、小时、分和秒
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0336]

目的	当前“伺服活动”期的持续时间
综述	当前“伺服活动”期的持续时间，单位为天、小时、分和秒。如果机器人目前不在伺服活动状态，则这个量指的是上次伺服活动期的持续时间
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0337]

目的	机器人运动的持续时间
综述	机器人在作为其部分正常操作的运动中的持续时间
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0338]

目的	运动错误的次数
综述	由于错误状态机器人伺服状态从“活动”变为“不活动”的次数
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0339]

目的	错误之间的平均运动持续时间
综述	连续的运动错误之间的持续时间的平均值
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0340]

目的	电机“里程”
综述	每个电机已经移动的距离，单位为度或mm
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0341]

目的	基板获取/释放操作的数量
综述	指示机器人执行了多少次拾/放操作
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0342]

目的	错误报告
综述	当错误状态发生时的通知，包括错误的起源、对应的错误代码和错误描述
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0343]

目的	诊断信息的记录
综述	关于所有系统操作、系统状态中的变化以及系统错误的信息都记录在文件中
实现方案的可行性	容易实现；并不要求理论研发或实验验证；并不要求附加的传感器或硬件
实现方案优先级	高（极好的收益努力比）

[0344] 本健康监测系统还可以提供错误日志，该错误日志包括错误发生的日期和时间以及在错误的余波 (aftermath) 中执行的诊断方法的结果。下面提供关于错误报告和记录的更多信息。

[0345] 错误报告：在中断正常操作的硬件或软件错误的情况下，监测系统向用户报告错误。每个错误报告包括以下信息：错误的起源、对应的错误代码和错误描述。如果可适用，则还包括错误的次级来源、对应的错误代码和错误描述。

[0346] 诊断信息的记录

[0347] 关于所有系统操作、系统状态的变化以及系统错误的信息都被记录在文件中。这个文件中的每一项的格式可配置并且可以包括以下信息：起始时间、起始源和描述。可进一步以下列方式配置记录：可以从列表中选择源；可以指定来自源的信息冗长水平；对源进行分组并且为每个源指定目的地文件。

[0348] 连续的健康监测

[0349] 机器人和工具中其他设备的连续的健康监测是通过在正常操作期间测量一些或所有可测量的信号并且分析得到的数据而完成的。测量和分析功能可以连续或周期性地发生，但总是与正常操作并行。连续监测的目的是检测健康恶化的迹象，并且如果可能的话，则定位可能导致这个恶化的子部件。然而，这些功能可以不针对问题的具体原因。

[0350] 基于能量耗散的机器人 / 对准器整体健康

[0351] 这种方法涉及使用能量耗散来检测机器人健康的恶化。基本原理是机器人健康的恶化导致机器人运行效率的减小并且因此导致能量耗散的增加。

[0352] 目的

[0353] 能量耗散监测的目的是检测机器人中导致能量效率减小的故障的开始。

[0354] 综述

[0355] 为整个机器人以及针对机器人中的各个关节计算在一定的移动序列期间耗散的能量。这个所计算的耗散与正常机器人的能量耗散进行比较。能量耗散的增加指出机器人的健康的恶化。这种方法对于检测导致机器人的能量效率减小的故障的开始是理想的。

[0356] 分层级别

[0357] 这种方法可以在控制整体运动的主控制器中实现。每个电机控制器可以将关于相应电机的绕组电流、电压和速度的数据发送到主控制器。可以在主控制器中执行数据采集、预处理、分析和推理操作。

[0358] 步骤序列

[0359] (a) 管理器用信号通知数据采集器开始或结束数据记录，该数据是计算能量耗散所要求的数据。数据采集的开始和结束需要与机器人到达完全结束的情况相一致。当机器人拾取或放置基板时，机器人到达完全的结束。

[0360] (b) 数据采集层为系统中的每个电机记录电机电压、电机电流、电机速度、电机位置和所命令的电机加速度。另外，还为每组数据记录时间。

[0361] (c) 预处理层在每个电机中使用上面的积分能量方程计算能量耗散。该预处理层使用基于上述的一个或多个方法的模型计算能量耗散的基线值。该预处理层计算两种类型的监测度量：计算值与基线值之间的差以及差的指数加权移动平均。该预处理层还基于置信系数计算上阈值。

[0362] (d) 分析层为每个移动序列监测度量。该分析层检测所监测的度量是否超过相对应的预定上阈值。

[0363] (e) 推理层为多个移动序列使用单独的电机能量耗散信息并且识别机器人中存在有问题的子部件。

[0364] (f) 如果找到问题，则管理器启动进一步的诊断例程，以缩小问题的原因。

[0365] 配置数据

[0366] (a) 操作序列的开始点和结束点，为该操作序列计算能量耗散；

[0367] (b) 上述操作序列的能量耗散的基线值或者能够实现标称转矩的计算的一组模型参数。

[0368] (c) 移动平均样本的大小（如果使用 EWMA，则不是必需的）。

[0369] (d) 要用来计算阈值的置信系数。

[0370] (e) 数据采集速率 – 每秒操作的数据点的数量。

[0371] 故障模式

[0372] 能量耗散的监测使得能够检测到以下故障的开始：不正确的电机相角、编码器与电机转子之间的相对运动、电机绕组与外壳之间的相对运动、电机磁铁的弱化（分解）、高连接器电阻、轴承结合、轴承中的空隙、滚珠螺杆结合、皮带摩擦和没有完全释放的制动装置。

[0373] 基于转矩 / 电流残差的机器人 / 对准器整体健康

[0374] 这种方法涉及电机转矩和电流残差的监测。残差的显著变化将指示机器人整体健康的下降。由于电机转矩不容易测量，所以除了上述的静态情况之外，还需要由电机绕组电流和电机转矩模型来估计电机转矩。结果，电机模型转矩 – 电流关系的变化将会影响所估计的转矩残 差。

[0375] 目的

[0376] 这种方法适于检测导致电机旋转阻力增大的故障。另外，如果由电机电流估计电机转矩，则导致电机转矩容量减小的故障也将被检测到。

[0377] 综述

[0378] 这种方法假设存在一组事先存储的电机电流数据，或者存在可用的机器人动态模型，该机器人动态模型能基于目前的和过去的机器人状态预测电机电流。因此所预测的电流与在各个电机处测量的电流相比较，以获得电流残差。随时间的过去而监测残差，并且其值的显著偏移指示故障的开始。电流残差的变化可以是以下两种原因的结果。该变化可以反映诸如相角、去磁或未对准之类的电机物理属性的变化。该变化还可以反映电机旋转的外部阻力的变化，电机旋转要求来自电机的较高的转矩输出。除了转矩残差以为，还监测转矩残差在整个移动序列上的积分。

[0379] 分层级别

[0380] 这种方法可以在控制机器人运动的主控制器中实现。每个电机控制器可以将关于绕组电流、相应电机的位置和速度的数据发送给主控制器。数据采集、预处理、分析和推理操作可以在主控制器中执行。

[0381] 步骤序列

[0382] (a) 管理器为每个电机用信号通知数据采集的开始和结束。如果只有有限的带宽用于发送来自远程控制器的数据，则一次一个电机地执行数据采集。也可以在某些预定的电机位置或移动序列处触发数据采集。数据采集的持续时间也可以根据机器人状态而改变。

[0383] (b) 数据采集层记录电机电流；如果使用动态模型，则该数据采集层还可以记录位置、速度和加速度。

[0384] (c) 如果使用动态模型，则预处理层计算基于模型的转矩。如果在特定的电机位置处采集转矩数据，则预处理层将计算作为监测度量的转矩残差。另一方面，如果针对整个移

动序列采集转矩数据，则预处理层将计算作为监测度量的转矩残差的绝对值在整个移动序列上的积分。该预处理层还将计算作为其他监测度量的上述每一个的移动平均。另外，该预处理层还将为上述的每个度量计算阈值界限。预处理 层还将对原始转矩数据的片段执行快速傅立叶变换。

[0385] (d) 分析层监测上面定义的度量并且检测到度量偏离在阈值界限之外。这还监测频谱中峰值的出现和偏移。

[0386] (e) 推理层评估来自不同电机的不同时刻的数据并且识别出故障的机器人子部件。该推理层还识别异常最可觉察的机器人位置。

[0387] (f) 管理器使用来自推理层的信息来开始特定的诊断方法。

配置数据

[0389] (a) 用于每个电机的数据采集的机器人移动序列、开始位置和结束位置。每个电机可以有多个开始和结束位置。

[0390] (b) 用于计算阈值的置信系数。

[0391] (c) 移动平均样本的大小。

[0392] (d) 数据采集的速率 - 每秒操作的数据点的数量。

[0393] (e) 基于来自正常机器人的测量结果的转矩的基线值或者使得标称转矩的计算成为可能的一组参数。

故障模式

[0395] 电机转矩和电流的监测使得能够检测到以下故障的开始：不正确的电机相角、编码器与电机转子之间的相对运动、电机绕组与外壳之间的相对运动、电机磁铁的分解、轴承结合、滚珠螺杆结合、带摩擦、制动装置阻力等。

[0396] 基于功耗的机器人 / 对准器整体健康

[0397] 可以以类似于前述的电机转矩的监测和分析的方式来监测和分析功耗。相比转矩监测，功耗监测的优点在于消耗的功率通常仅在故障存在时才增加。功耗的这个属性简化了阈值在故障检测中的应用。

[0398] 基于跟踪误差的机器人 / 对准器整体健康

[0399] 这种方法涉及跟踪误差的监测。高于正常的跟踪误差指示问题的存在。

目的

[0401] 这种方法适于检测导致各个电机旋转的阻力增加的故障以及导致伺服不稳定性的故障。

综述

[0403] 跟踪误差是所要求的电机位置与实际位置之间的差。较高的跟踪误差水平指示电机正经受对其运动高于正常的阻力，这是由于一个或 许多故障条件而发生的。另外，跟踪误差的明显震荡指示由于一个或许多故障条件而发生的伺服回路的不稳定性。

分层级别

[0405] 这种方法将在控制机器人运动的主控制器中实现。每个电机控制器将关于相应电机的希望的位置、实际位置和速度发送给主控制器。数据采集、预处理、分析和推理操作将在主控制器中执行。

步骤序列

[0407] (a) 管理器为每个电机用信号通知数据采集的开始和结束。如果只有有限的现代用于发送来自远程控制器的数据，则一次一个电机地执行数据采集。也可以在某些预定的电机位置或移动序列处触发数据采集。数据采集的持续时间也可以根据机器人状态而改变。

[0408] (b) 数据采集层为每个电机记录所要求的位置和实际位置。

[0409] (c) 预处理层基于跟踪误差计算几个监测度量。如果在某些预定的电机位置处采集数据，则峰值跟踪误差的绝对值用作监测度量。另一方面，如果在某些预定序列的长度上采集数据，则跟踪误差的平方的积分用作监测度量。另外，该预处理层对跟踪误差数据的片段执行快速傅立叶变换。

[0410] (d) 分析层检测到峰值跟踪误差的幅度的整体增加、跟踪误差的平方的积分的整体增加并且将它们与阈值比较。该分析层还检测到跟踪误差信号中的任何新的主频率分量。

[0411] (e) 推理层使用在数据采集的几个实例上的分析结果并且确认机器人特性的变化。该推理层还将跟踪误差中有异常的机器人位置和速度报告给管理器。

[0412] (f) 管理器使用来自推理层的信息开始特定的诊断方法。

配置数据

[0414] (a) 用于每个电机的数据采集的开始位置和结束位置以及移动序列。每个电机可以有多个开始和结束位置。

[0415] (b) 对于每个电机和对于每个移动序列的跟踪误差的阈值水平、跟踪误差的平方的积分的阈值。

[0416] (c) 用于 FFT 分析的样本大小。

[0417] (d) 数据采集的速率 - 每秒操作的数据点的数量。

故障模式

[0419] 跟踪误差的监测使得能够检测到以下故障的开始：不正确的电机相角、编码器与电机转子之间的相对运动、电机绕组与外壳之间的相对运动、电机磁铁的分解、轴承结合、滚珠螺杆结合、带摩擦、制动装置阻力等。

机器人 / 对准器电机模型有效性

[0421] 这种方法涉及监测电机电压、电流、位置和速度与电机模型的一致性。任何与电机模型预测的偏离会指出导致电机物理属性之一的变化的故障。

目的

[0423] 这种方法的目的是检测可能导致中一个或多个电机物理属性变化的故障。

综述

[0425] 电机模型将诸如场强、绕组电阻、电感、场间隙宽度之类的物理特性与诸如电机电流、电压、位置和速度之类的属性联系起来。在上面详细描述了在静态条件下定义电机模型的方程。在动态条件下，输入电压还将必须克服与电机速度成比例的反电动势。故障可以导致物理特性之一变化。监测上述属性与电机模型的一致性会使得能够检测到物理特性的变化。

分层级别

[0427] 这种方法将在控制机器人运动的主控制器中实现。每个电机控制器将关于相应电

机的位置、速度、电流和电压发送给主控制器。数据采集、预处理、分析和推理操作将在主控制器中执行。

[0428] 步骤序列

[0429] (a) 管理器为每个电机用信号通知数据采集的开始和结束。如果只有有限的带宽用于发送来自远程控制器的数据，则一次一个电机地执行数据采集。也可以在某些预定的电机位置或移动序列处触发数据采集。数据采集的持续时间和频率也可以根据机器人状态而改变。

[0430] (b) 数据采集层记录电机电压、电机电流和电机速度以及电机位置。

[0431] (c) 预处理层基于所记录的电压和速度计算模型化的电流；该预处理层还计算作为实际电流与模型化的电流之间的差的残差，并且确定最大变化。

[0432] (d) 分析层比较最大变化与可允许的阈值。

[0433] (e) 推理层使用几个数据采集实例上的分析结果并且确认机器人特性的变化。该推理层还向管理器报告变化中存在异常的机器人位置和速度。

[0434] 配置数据

[0435] (a) 电机属性，包括电阻、电感和反电动势常数；

[0436] (b) 可允许的残差范围。

[0437] 故障模式

[0438] 电机、电缆和电机驱动电路的电属性的变化（诸如由于连接器问题引起的电阻增加）、电机的磁属性的变化（较弱的磁铁影响反电动势常数）、不正确的总线电压（由于电机电压最可能根据所命令的 PWM 来测量）、编码器或电机线圈外壳的滑动。

[0439] 机器人 / 对准器编码器数据完整性 - 增量式编码器

[0440] 目的

[0441] 这种方法的目的是用编码器中的位置读取机制识别问题。

[0442] 综述

[0443] 编码器有两种类型：增量式和绝对式，并且用于故障检测的机制取决于编码器类型。

[0444] 在增量式编码器中，通过对读头经过的编码器计数的数目进行计数来测量位置。如果由于任何原因，有丢失的计数，则所报告的位置会是不正确的。增量式编码器具有每个旋转发生一次的指引脉冲 (index pulse)。控制器在每个指引脉冲到达时记录增量位置读数。如果没有丢失的计数，则在任何两个指引脉冲处的位置读数之间的差将是每编码器旋转的增量计数数目的整数倍。实际上，几个丢失的计数是不可避免的，并且如果丢失计数的数目超过阈值水平，则记录警报。

[0445] 分层级别

[0446] 这种方法最好在远程电机控制器中实现。

[0447] 步骤序列

[0448] 参考图 10 中的流程图，

[0449] (a) 管理器将建立机制来当读取指引脉冲时生成事件。

[0450] (b) 当产生事件时，数据采集层记录增量的位置。

[0451] (c) 分析层计算连续的指引脉冲处的位置之间的差，并且确定该差是否在每旋转

的增量计数数目的容差之内。

[0452] (d) 推理层报告编码器故障的发生。

[0453] 配置数据

[0454] (a) 丢失的编码器计数的容差。

[0455] 故障模式

[0456] 当编码器盘上的灰尘阻止编码器被正确读取时, 报告丢失的计数。

[0457] 机器人 / 对准器编码器数据完整性 - 绝对式编码器

[0458] 目的

[0459] 这种方法的目的是用绝对式编码器中的位置读取机制来识别问题。

[0460] 综述

[0461] 编码器分为两类 : 增量式和绝对式, 并且用于故障检测的机制取决于编码器类型。

[0462] 在绝对式编码器中, 或者在初始化时或者响应于强制的绝对位置读取命令来读取绝对位置。编码器读取绝对位置, 并且此后以类似于增量式编码器的方式递增其实际位置。如果没有编码器故障, 则对于静止的编码器, 通过更新编码器获得的位置应该匹配通过强制的绝对位置读取所获得的位置。

[0463] 步骤序列

[0464] 参考图 11 中的流程图,

[0465] (a) 管理器将建立机制来每隔一定间隔读取绝对位置并且在绝对位置读取之前和之后读取实际位置。

[0466] (b) 分析层计算两个实际位置之间的差。该分析层通过检查实际位置的差是否小于容差来检查编码器是否是静止的。

[0467] (c) 如果编码器是静止的, 则分析层计算绝对位置与实际位置的平均值之间的差。

[0468] (d) 推理层报告编码器故障的发生。

[0469] 分层级别

[0470] 这种方法可以在主控制器或者在远程电机控制器中实现。

[0471] 配置数据

[0472] (a) 静止状态的容差

[0473] (b) 错误状态的容差

[0474] 故障模式

[0475] 绝对式编码器错误由于编码器盘上的灰尘以及由于软件或硬件故障而发生。

[0476] 连续皮带张力监测

[0477] 驱动臂的带中张力可以通过使用安装在 (皮带伸张器的) 空转带轮上的力传感器对皮带张力进行直接测量来连续监测。皮带张力的显著下降或增加将被报告为潜在的问题。

[0478] 结构振动的监测

[0479] 结构振动的监测有助于检测故障的开始。结构振动可以通过加速计和应变仪来直接监测或者通过声信号来间接监测。可以通过检测声信号和结构振动信号的功率谱中的显著变化来预测即将发生的故障。功率谱的变化可以是“峰值”幅度的变化的形式或者是“峰值”频率的偏移的形式。可以使用放置在机器人上的各个点处的麦克风来测量声能。可以

通过在机器人上的各个点处安装加速计来测量结构振动。可以使用这种方法分析以下类型的故障：皮带张力的增加或减小、松动的紧固件、轴承摩擦力和移动部件的摩擦的增加。

[0480] **热耗散的监测**

[0481] 热耗散是另一种形式的能量耗散。在机器人上的不同点处的热耗散的量也可以用于预测即将发生的故障。任何导致移动部件之间的较高摩擦力的故障将导致较高水平的热耗散。另外，电机和螺线管开关中的较高的电流电平也将导致较高的热耗散。

[0482] 可以通过测量机器人中的不同部件的温度的升高来监测热耗散。温度的上升可以用以机器人上的战略点为目标的红外传感器来测量或者可以通过电机内的温度测量传感器来测量。

[0483] 热耗散监测是通过主控制器来执行的。以下是涉及的步骤。

[0484] (a) 数据采集层在一段时间上记录机器人上不同点处的温度。

[0485] (b) 分析层比较温度与阈值。

[0486] (c) 如果超过阈值，则推理层报告那个部件的问题。

[0487] (d) 管理器进一步指引测试，以确定问题的原因。

[0488] 以下类型的故障可以通过监测热耗散来检测：电机磁铁的分解、不正确的电机相角、定子的未对准、轴承摩擦力的增加、制动阻力。

[0489] **冷却风扇的监测**

[0490] 冷却风扇经常被用来去除由电机和电子装置产生的热。由于在受到冷却的电机和电子装置中的能量耗散与其温度之间有关系，所以可以通过受到冷却的电机和电子装置的温度来监测冷却风扇和通风道的状态。

[0491] **机器人 / 对准器超程开关的监测**

[0492] **目的**

[0493] 目的是检测可能起因于软件故障、位置反馈问题、电机放大器问题或机械故障（诸如编码器或皮带滑动）的超程。

[0494] **综述**

[0495] 超程开关是当机器人轴行进超过其规定的界限之外时触发的机械或光学传感器。这些传感器状态的变化被机器人控制器立即检测到，机器人控制器又采取必需的后续步骤。

[0496] **分层级别**

[0497] 诊断例程可以驻留在机器人控制器中或主控制器 PC 中。

[0498] **步骤序列**

[0499] 当检测到超程状态时发生以下步骤：

[0500] (a) 管理器禁用与机器人相关联的所有运动的轴；

[0501] (b) 管理器针对装备有制动装置的所有轴啮合制动装置；

[0502] (c) 管理器产生错误，从而识别违反其界限的轴和轴位置。

[0503] **配置数据**

[0504] (a) 超程开关与运动的轴相关。

[0505] **故障模式**

[0506] 可以被检测的故障模式如下：出故障的编码器、皮带滑动以及出故障的软件。

[0507] 机器人 / 对准器夹持器和真空系统健康

[0508] 晶片夹持器的操作是由真空系统使能的。可以通过监测夹持动作来诊断真空系统的问题。有两种类型的基于真空的晶片夹持器,即图 6 中的面接触吸力夹持器和图 5 中的边缘接触真空激励的夹持器。可能发生两种类型的真空问题:真空泄露和真空线阻塞。真空泄露可能由于唇形密封上的磨损而发生。真空线的泄露导致较低的真空压力(当真空阀打开并且在面接触吸力夹持器的情况下,基板存在于末端执行器上),并且可以通过真空传感器(502,502)读数的下降来检测。另外,夹持动作导致或者没有夹持或者夹持器操作时间增加。对于真空激励的边缘接触夹持器,夹持操作时间在命令阀(506、606)打开的时刻与位置感测标志(508)检测到夹持器的打开状态的时间之间被测量。对于面接触吸力夹持器,夹持操作时间是在命令阀打开的时刻与真空传感器读数达到可接受的真空水平的时间之间被测量的。真空传感器和执行器之间的真空线中的阻塞将导致较短的真空转换时间,以及当接通真空时真空激励的边缘接触夹持器的长操作时间。除了真空线问题以为,诸如堵塞的柱塞或损坏的弹簧之类的机械问题也可以导致夹持器的故障。

[0509] 通信网络健康

[0510] 目的

[0511] 这个的目的在于检测数据通信网络的问题。

[0512] 综述

[0513] 在主控制器和远程控制器之间存在恒定的数据流。远程控制器将它们的状态以近似周期的间隔发送给主控制器,并且主控制器将控制信息以近似周期的间隔发送给远程控制器。监测这些消息的到达频率。这些消息的到达频率的下降导致控制器发出关于网络流量可能下降的警报。

[0514] 除了监测错误消息的频率以为,每个电机控制器中的通信端口具有在一段时间内在这个端口发生的错误数量的记录。这个数量提供了网络的整体健康的估计。

[0515] 网络流量的中断的通常原因是跨越滑环的通信的丢失。

[0516] 分层级别

[0517] 这个诊断例程驻留在机器人控制器中。结合起来,这是主控制器 PC。

[0518] 步骤序列

[0519] (a) 数据采集器记录来自节点的状态消息的到达时间。该数据采集器还记录存储在每个控制器的通信端口中的错误计数。

[0520] (b) 分析层确定连续的状态分组之间的间隔是否超过某个阈值并且识别落在这个范畴内的节点。该分析层还计算每个控制器的通信端口中新错误发生的速率。

[0521] (c) 如果已经超过了阈值,则基于其状态分组丢失的节点,推理 层识别网络拓扑中存在问题的支路和链路。

[0522] 配置数据

[0523] (a) 接收状态消息的最大可允许延时的阈值。

[0524] (b) 网络配置。

[0525] 故障模式

[0526] 跨越滑环的通信故障、远程控制器上的出故障的通信处理器、网络连接器中松动的接触。

[0527] 连续的机器人可重复性监测

[0528] 机器人的位置可重复性可以通过外部的静止传感器来监测。该传感器可以感测机器人末端执行器在正常操作期间停止时的位置。作为可替换方案,可以采用照相机作为外部静止设备或者由机器人携带。典型的影响可重复性的故障是同步带的滑动、导致滞后的皮带张紧以及轴承夹具的松动。

[0529] 基板可重复性监测

[0530] 类似地,基板位置可重复性可以使用外部静止传感器来检查。这个检查可以揭露基板对准器、基板在机器人末端执行器上的滑动(例如由于支撑垫片上的尘土或者支撑垫片的材料的恶化)、夹持器的故障、机器人末端执行器相对于从其拾取基板和 / 或向其放置基板的站的未对准,从而导致基板“走动”等。可替换地,可以为此使用照相机。

[0531] 拾 / 放操作的监测

[0532] 这种方法使用安装在机器人臂上的摄像机,使得在机器人执行拾放操作时具有末端执行器的全视图。在操作期间,视频数据不断地被发送到机器人控制器。控制器存储预定的视频记录的持续时间。当错纬或错放故障发生时,视频记录停止。控制器存储的视频数据然后可以用作用于诊断目的的有价值的信息源。

[0533] 连续的病毒扫描

[0534] 这种方法的目的在于识别系统中可能导致数据丢失或性能下降的软件病毒的存在。

[0535] 机器人控制器可以运行具有安全漏洞的操作系统,软件病毒可能利用这些安全漏洞。周期性的病毒扫描将使得在软件病毒导致数据丢失和性能下降之前能够对其进行检测。可以由操作系统自己或第三方工具来调度并且执行病毒扫描。所要求的配置数据是病毒扫描的希望的频率。

[0536] 扇形滤波器单元滤波器的监测

[0537] 这个特征的目的是监测扇形滤波器单元中的滤波器的堵塞。堵塞是通过同时监测(滤波器的输入侧上的)通风压力和(工具的大气部分中的)微环境压力来检测的。如果需要增加的通风压力来在否则同一状态(关闭的门、不变的排气属性)下维持相同的微环境压力,则指示滤波器堵塞。

[0538] 电离器功能的监测

[0539] 电离器是用于中和积聚在工具的大气部分中所运输的基板上的电荷。电离器的故障导致基板上过度的电荷累积。电离器故障可以通过测量环境变化来检测。如果所测量的电荷超过正或负阈值,则电离器很可能出故障。

[0540] 连续健康检测功能的概要被提供在表 5 中。

[0541] 表 5 :连续健康监测

[0542]	基于能量耗散的机器人/对准器整体健康
	基于转矩/电流残差的机器人/对准器整体健康
	基于功耗的机器人/对准器整体健康
	基于跟踪误差的机器人/对准器整体健康
	机器人/对准器电机模型有效性
	机器人/对准器编码器数据完整性
	连续皮带张力监测
	结构振动的监测
	热耗散的监测
	冷却风扇的监测
	机器人/对准器超程开关的监测
	机器人/对准器夹持器和真空系统健康
	通信网络健康
	连续的机器人可重复性监测
	拾/放操作的监测
	连续病毒扫描
	扇形滤波器单元滤波器的监测
	电离器功能的监测

[0543] 自动故障诊断

[0544] 如果任何健康监测方法报告机器人运行中的恶化，则下一步骤是识别问题的根本原因。用于利用机器人正常操作期间获得的数据诊断故障的主要使用的方法如下。

[0545] 电流 / 转矩残差分析

[0546] 转矩残差分析涉及分析实际转矩与标称转矩之间的差的变化。变化模式用于确定导致性能恶化的故障类型。

[0547] 目的

[0548] 这个方法的目的是诊断具有独特的转矩特征 (torque signature) 的故障。该诊断是通过分析转矩残差的时间序列数据来完成的。如果在特定电机中报告能量耗散或跟踪误差的增加或转矩残差的变化并且如果电机属性诊断检查没有找到电机属性的问题，则会执行这种方法。

[0549] 综述

[0550] 某些故障具有独特的故障特征，并且那些故障可以通过分析转矩残差来诊断。转矩残差是实际转矩和标称转矩信号之间的差。转矩残差相对于位置的变化的本质可以指示某些类型的故障。例如，残差相对于电机位置的周期性变化指示问题的原因是取决于位置的迎面阻力 (drag force)，诸如由于制动装置的未对准而引起的周期性制动阻力。

[0551] 分层级别

[0552] 这种方法将在控制机器人运动的主控制器中实现。每个电机控制器将关于相应电机中的位置、速度和电流的数据发送给主控制器。数据采集、预处理、分析和推理操作将在主控制器中执行。

[0553] 步骤序列

[0554] (a) 管理器将对存在问题的电机触发数据采集的开始和结束。数据采集应该在运动的恒定速度部分被触发。为了得到良好状态 (well-conditioned) 的数据, 移动序列应该包括足够的位置变化。

[0555] (b) 数据采集层记录电机电压、电机转矩和电机速度以及电机位置。

[0556] (c) 预处理层首先确定位置数据具有足够的范围和一定的最小方差。如果不是, 则该预处理层用信号通知管理器发出可能使用不同的开始点和较长的持续时间的新的数据采集命令。该预处理层还仅隔离并使用在恒定速度相位期间所采集的数据。该预处理层基于电机模型计算标称转矩以及作为实际转矩和标称转矩之间的差的残差。该预处理层计算残差的均值和方差。该预处理层还计算残差相对于位置的傅立叶变换。自相关怎么样?

[0557] (d) 分析层确定残差是否在某个阈值之上。该分析层检查傅立叶频谱中的峰值并且包括峰值频率。该分析层还确定对应于残差的震荡周期的距离。

[0558] (e) 如果残差低于阈值, 则推理层报告没有诊断出故障。如果在傅立叶变换中存在峰值并且如果对应于峰值的周期等于在电机的一次旋转中覆盖的距离, 则该推理层报告故障是相对于位置是周期性的阻力。

[0559] 本 HMFD 系统的自动故障诊断功能的概要在表 6 中被提供。

[0560] 表 6 : 自动故障诊断

[0561]	电流/转矩残差分析
	电机功耗分析
	跟踪误差分析
	障碍检测
	干扰观测器数据的分析
	皮带张力分析
	频域分析

[0562] 电机功耗分析

[0563] 电机功耗是机器人整体健康的有用指标。像上述的能量耗散那样, 功耗的增加指向机器人中的潜在故障。某些关节处较高摩擦力的存在导致驱动该关节的电机处的功耗的增加。而且, 由于摩擦的制动装置而引起的周期性阻力的存在将产生周期性变化的功率耗散。

[0564] 跟踪误差分析

[0565] 跟踪误差在阈值之外的增加是问题的指示符。另外, 跟踪误差的快速傅立叶变换将产生某些振动模式的放大的信息。

[0566] 障碍检测

[0567] 机器人臂所遇到的障碍可以通过分析电机力和跟踪误差来检测。

[0568] 干扰观测器数据的分析

[0569] 干扰观测器的输出是执行器上的干扰力的度量。这个输出的变化的分析将产生对故障本质的理解。例如,由于摩擦的制动装置所引起的周期性阻力的存在将产生周期性变化的干扰观测器输出。障碍的存在将导致随位移增加的输出。

[0570] 皮带张力分析

[0571] 皮带张力可以使用力传感器不断测量并且被分析来检测问题。特定关节处的较高的摩擦力将导致驱动那个关节的带中的更大的张力。

[0572] 频域分析

[0573] 这种方法的目的是诊断具有特定频域特征的故障。这个特征可以存在于各种信号中。作为实例,机器人上不同关节处的结构振动的分析可以产生对问题源的有用的指示符。例如,松动的轴承导致某些频率峰值的更大振幅。另外,在松动皮带处的增加的摩擦导致某些振动模式的更高阻尼。识别振动谱中的特定变化可以帮助精确确定问题的根源。

[0574] 请求式 HMFD 例程

[0575] 此处描述的功能补充上述的连续健康监测和故障诊断能力。这些功能不能在机器人的正常操作期间执行,因为这些功能要求特殊的序列和 / 或可能危及到基板。与连续监测和自动诊断相反,在以下情况下应请求来使用这些功能 :

[0576] (a) 出于健康监测的目的,当不使用工具或者当其在预定的维护期间被维修时;

[0577] (b) 出于诊断的目的,当通过另一方法检测到健康问题或故障以缩小原因和 / 或确认 / 消除可疑的部件时。

[0578] 机器人 / 对准器模型识别

[0579] 这个请求式例程的目的是识别机器人或对准器的刚体动态模型的参数。参数的差别指示机器人(对准器)属性的变化属性,这通常是由发展中的故障引起的。

[0580] 识别过程是自动的。HMFD 系统命令机器人跟随预定的轨道并且监测机器人运动期间的位置和转矩。选择动态模型的结构,以反映所有重要的系统机械部件并且包括与机器人的电机相关联的执行器动力学。为了实现可靠的结果,在基本参数方面用公式来表示模型,并且 针对得到的动态模型的结构优化轨道。

[0581] 机器人 / 对准器频率响应

[0582] 频率响应识别的目的是确定固有频率和阻尼水平的变化,其指示机器人结构属性的变化,包括松动的机械耦合。频率响应提供了在机器人的多个位置中的振幅和相位特征。

[0583] 为了构造频率响应, HMFD 系统将机械手移动到均匀分布在机械手工作空间中的位置网格,通过扫掠频率谐波信号激励机械手,并且记录机械手在每个位置的响应。使用复杂的最小二乘方拟合技术,控制器然后利用所记录的数据来针对机械手的每个位置计算传递函数的参数。

[0584] HMFD 系统可以通过将它们的幅度和相位特性用图表示来可视化得到的频率响应。

[0585] 机器人 / 对准器关节状态检查

[0586] 这个请求式例程的目的是检查机械关节的状态。首先, HMFD 系统执行机器人或对准器的刚体动力学的识别。在第二步骤,代表诸如阻尼和摩擦力的关节属性的识别结果与基线值进行比较。期望值的指定范围之外的变化指示相应关节的问题。

[0587] 机器人 / 对准器皮带张力检查

[0588] 目的

[0589] 这个请求式例程的目的是检查可能违反规范在机器人臂中使用的带的张力。

[0590] 综述

[0591] 用在机器人臂中的带的张力可能不正确地设置或者由于制造 / 维修人员的错误、皮带材料蠕变或者皮带张紧机制的故障而随时间的过去变化。皮带张力的变化影响机器人的性能,包括反馈控制的稳定性。皮带张力可以基于机器人的频率响应来检查。频率响应分析所必需的数据不能在规则的操作期间获得,因此要求特殊的请求式例程。

[0592] 分层级别

[0593] 这个例程可以驻留在机器人控制器或主控制器 PC 中。

[0594] 步骤序列

[0595] (a) 管理器检查没有基板在机器人末端执行器上 ; 如果不是这样的情况, 则显示错误 ; 如果机器人并不支持基板存在感测, 则管理器 显示对操作员的请求, 以确认没有基板在机器人末端执行器上 ;

[0596] (b) 管理器命令机器人移动到机器人的原位置 ; 如果这个操作失败, 则显示错误。

[0597] (c) 管理器将伺服控制器切换针到频率响应识别所预定的伺服参数 ;

[0598] (d) 管理器触发与感兴趣的皮带传动相关联的电机的激励 ; 数据采集层记录相对应的编码器的激励和响应 ;

[0599] (e) 预处理层基于从数据采集层获得的数据计算机器人的频率响应 ; 如果不能计算频率响应, 则显示错误 ;

[0600] (f) 分析层在从预处理层获得的频率响应中识别对应于感兴趣的带的横向振动的频率 ; 如果不能识别该频率, 则显示错误 ; [还应该为了皮带状态检查的目的而识别对应于纵向振动的频率吗 ?]

[0601] (g) 推理层为每个感兴趣的皮带传动比较得到的频率与可允许的范围 ; [这应该在分析层完成吗 ?]

[0602] (h) 管理器显示结果 ; 如果存在问题, 则管理器提供具有对于皮带张力调整的指导的维修屏幕。

[0603] 配置数据

[0604] (a) 皮带传动和电机之间的相关联 ;

[0605] (b) 用于频率响应识别的伺服参数 ;

[0606] (c) 用于频率响应识别的激励信号的参数 ;

[0607] (d) 用于每个皮带传动的可允许的固有频率范围。

[0608] 在静负载状态下的电机模型验证

[0609] 目的

[0610] 这种方法的目的是验证电机转矩参数。

[0611] 综述

[0612] 电机模型方程在静负载状态下被简化。如上所解释的那样, 如果电机在静止状态下抵抗已知的外力, 则在不存在反电动势、粘滞效应和惯性效应的情况下, 电机转矩常数可以直接得自所测量的电流。即使外力幅度未知, 可以使用解析静态模型来获得电机转矩之

间的比率。电机转矩比率可以与电机电流比率比较并且可以识别导致电机容量下降的故障。可以使用这种方法识别以下故障：电机磁铁的弱化、电机轴承中的空隙。另外，电机绕组电阻也可以使用上面的电流电压关系而由所测量的电流和电压导出。

[0613] 分层级别

[0614] 这个诊断例程驻留在机器人控制器或主控制器 PC 中。

[0615] 步骤序列

[0616] (a) 管理器将命令机器人，使得机器人末端执行器仅接触外力的施加点。外力可以是机器人将通过滑轮或杠杆机制拉或推的已知重量。如果没有外部负载，则机器人将推压刚性表面。

[0617] (b) 管理器将命令远程轴控制器之一切换到“力模式”，这会使得该管理器能够命令在对应于那个轴的电机处的已知转矩。

[0618] (c) 数据采集层将记录每个电机处的稳定状态电流和电压值。

[0619] (d) 分析层将计算每个电机中的绕组电阻值。另外，该分析层将计算在将电流和外力值带入到静态平衡方程后的残差。

[0620] (e) 推理层将比较残差与阈值并且识别违反阈值。

[0621] (f) 管理器将报告电机模型的任何违反。

[0622] 配置数据

[0623] (a) 电机绕组电阻和电机转矩常数的标称值。

[0624] (b) 残差的可允许阈值界限。

[0625] 机器人 / 对准器编码器信号检查

[0626] 目的

[0627] 这个请求式例程的目的是相对规范检查光学绝对式和虚拟绝对式编码器输出的正弦 / 余弦信号的质量。

[0628] 综述

[0629] 编码器读头和光盘由于制造 / 维修人员的错误可能没有适当对准，或者它们的对准由于操作期间的损坏而随时间的过去变化。诸如尘土或油脂的污垢会污染编码器的光盘。这样的未对准和污染可以使编码器输出的正弦 / 余弦信号失真。信号的质量可以基于它们的振幅和相位属性来检查。需要以恒定的低速记录信号，这种条件在规则操作期间通常不会发生，因此需要特殊的请求式例程。

[0630] 分层级别

[0631] 这个诊断例程可以驻留在机器人控制器或主控制器 PC 中。

[0632] 步骤序列

[0633] (a) 管理器检查没有基板在机器人末端执行器上；如果不是这样 的情况，则显示错误；如果机器人并不支持基板存在感测，则管理器显示向操作员的请求，以确认没有基板在机器人末端执行器上；

[0634] (b) 管理器命令机器人移动到安全的位置

[0635] (c) 管理器命令轴以恒定的速度移动希望的范围。希望的范围对应于一次完整的编码器旋转。

[0636] (d) 数据采集层以指定的速率记录正弦和余弦信号值。

- [0637] (e) 预处理层计算虚矢量的幅度,该虚矢量的笛卡儿分量是正弦和余弦信号值。
- [0638] (f) 分析层记录正弦和余弦信号的最大和最小值以及虚矢量的最大和最小值。
- [0639] (g) 推理层将最大和最小值与预定的阈值相比较。
- [0640] (h) 如果违反了任意阈值,则管理器报告该位置。

配置数据

- [0642] (a) 最大和最小阈值水平。
- [0643] (b) 数据采集速率
- [0644] (c) 每个机器人轴的安全机器人位置
- [0645] (d) 记录期间的轴速度

机器人 / 对准器夹持器的请求式检查

[0647] 这个例程的目的是验证机器人或如图 5 和 6 所示的对准器真空操作的基板夹持器的适当操作。应请求, HMFD 系统执行夹持器, 同时监测转换时刻并将转换时间与给定的规范相比较。

映射器 / 对准器传感器检查

[0649] 这个例程的目的是检查机器人映射器或对准器光传感器的功能。HMFD 系统命令传感器接通光发射器并且在光接收器完全暴露于所发射的光时读取光接收器的输出。得到的输出与给定的规范进行比较。

机器人映射器功能检查

[0651] 这个例程的目的是验证映射器 (图 7) 正常运行。HMFD 系统命令机器人使用映射器来扫描已知维度的功能部件 (feature), 诸如具有已知直径的圆截面的线或管脚。然后将结果与所描述的功能部件的已知维度进行比较。

机器人 / 对准器控制稳定性验证

[0653] 这个例程的目的是验证机器人或对准器控制器调谐的稳定性。HMFD 系统将机器人移动到在机器人的工作空间中均匀分布的位置网格中, 通过脉冲、步进或扫掠频率谐波信号激励机器人, 并且记录每个位置的响应。控制器然后基于所采集的数据评估稳定裕度。

通信网络拓扑检查

[0655] 这个检查涉及确定并显示通信网络的拓扑。

请求式机器人可重复性检查

目的

[0658] 这个的目的在于检查机器人的可重复性的任何下降。

综述

[0660] 机器人的可重复性是指在某个容差内将机器人末端执行器命令到工作空间中相同点的能力。机器人可重复性的量度是这个容差窗的紧密度。由于稀薄的机械耦合, 诸如轴承中的空隙和滑动的带, 会发生可重复性损失。可以通过在运动命令的执行期间对机器人末端执行器位置的重复外部测量来检测可重复性损失。机器人位置的外部测量有两种可能的模式。一个选项是在机器人末端执行器 (图 7) 使用贯通梁映射器 (through beam mapper)。机器人会移动其末端执行器, 使得诸如垂直刀口的固定功能部件会切断该梁。注意该梁被切断的准确机器人位置。这个位置的逐渐偏移指示机器人可重复性的问题。为了完全验证机器人的可重复性, 可以由机器人从多个方向访问该功能部件, 或者可以使用多

个功能部件。第二选项是记录末端执行器的直边会切断相对于工作单元固定的梁的机器人位置。

[0661] 分层级别

[0662] 这个诊断例程可以驻留在机器人控制器或主控制器 PC 中。

[0663] 步骤序列

[0664] (a) 主控制器将识别并命令机器人执行某些允许一个或多个贯通梁被切断的移动序列。

[0665] (b) 数据采集层将记录贯通梁被切断的机器人位置。

[0666] (c) 分析层检测所记录的位置的偏移。如果偏移在容差界限之外，则报告可重复性损失。

[0667] 配置数据

[0668] (a) 关于可重复性的可允许容差

[0669] 机器人工作站对准检查

[0670] 目的

[0671] 这种方法的目的是检查站位置或其方位相对于机器人的任何偏移。

[0672] 综述

[0673] 描述了自动确定相对于机器人的站位置和站方位的方法。这些方法描述了使用机器人末端执行器上的贯通梁映射器 428A、428B 或者对准器 307 的步骤序列。当被请求时，机器人可以执行这些步骤并且检查在站位置或方位中是否有明显的偏移。

[0674] 分层级别

[0675] 这个测试可以在主机器人控制器中实现。

[0676] 步骤序列

[0677] (a) 管理器确定能够实现教导的所有站和站上的所有功能部件都可访问。

[0678] (b) 如果映射器 (428A 和 428B) 要被用于教导，管理器检查以确定在机器人末端执行器上没有晶片。

[0679] (c) 管理器命令开始教导序列。

[0680] (d) 管理器记录站位置和方位的偏移并且警告用户与正常的偏离。

[0681] 请求式病毒扫描

[0682] 这涉及对硬盘驱动器（诸如主控制器的那些硬盘驱动器）扫描病毒和阻止正常执行控制器任务的其他过程。

[0683] 示范性请求式健康监测和故障诊断例程的概要在表 7 中被提供。

[0684] 表 7：示范性请求式 HMFD 例程

[0685]

机器人/对准器模型识别
机器人/对准器频率响应
机器人/对准器关节状态检查
请求式机器人/对准器皮带张力检查
静负载状态下的电机模型证实
机器人/对准器编码器信号检查
机器人/对准器夹持器的请求式检查
机器人/对准器传感器检查
机器人映射器功能检查
机器人/对准器控制稳定性验证
通信网络拓扑检查
请求式机器人可重复性检查
机器人工作站对准检查
请求式病毒扫描

[0686]

[0687]

实例测试数据

[0688] 现在将描述用于本健康监测和故障诊断系统的所选方法的示范性测试数据。

[0689] 能量耗散的监测和分析

[0690] 如上所解释的那样,这种方法的基本原理是由机器人的机械或电气部件的退化所引起的故障将导致机器人操作的整体效率的下降。因此,这样的故障可以在发生的早期阶段通过监测机器人能量耗散的某些度量来检测。导致效率下降的一些故障实例是:损坏的或未对准的轴承、缺少润滑、对机器人运动的阻碍、机器人上的永磁铁的退化以及出故障的电机制动装置。另外,由位置和电流反馈控制回路中的临界不稳定性引起的振动也导致能量耗散的增加,并且可以使用这种方法来检测。应注意的是,能量损耗指标仅指示机器人和相应关节中故障的存在。需要采用互补方法来缩小故障的原因。

[0691] 使用五轴 Reliance 机器人聚集关于正常操作期间能量耗散的数据。这个机器人类似于图 4 的实例机器人。使用机器人控制器中内置的跟踪机制,每次机器人执行延伸移动以从非径向站拾取基板时都下载电机转矩和电机速度数据。为整个移动采集转矩和速度数据,该整个移动覆盖机器人从静止开始并且在移动结束时静止下来的持续时间。由于这个特定的移动并不涉及 Z 轴的运动,所以重力势没有变化,并且在理想的无摩擦的条件下,净能量耗散将为零。另一方面,对于实际机器人,当机器人在相同平面上的两个点之间移动时,有净的正能量耗散。这个能量耗散是由于像轴承和执行器那样的机器部件中的摩擦力。

[0692] 对于正常机器人的能量耗散

[0693] 图 12 示出了对于正常状态下的机器人在连续延伸移动到离心站的能量耗散的曲线图。

[0694] 对于具有不正确相角的机器人的能量耗散

[0695] 通过改变 t1 电机 (图 4 中的电机 409) 的相角而人为地在机器人中引入故障状态。对于相同绕组电流, 不正确的相角导致电机的较低的转矩输出。由于电机的实际所要求的转矩输出保持不变, 所以电机电流必须增加。这又导致更高的电阻性能量损耗。得到的更高的电压显现为反馈控制器中的实际转矩的更高值。实际转矩的这个更高值可以用于计算能量耗散。图 13 比较了不同相角的连续延伸移动的能量耗散值。

[0696] 能量耗散随时间过去的变化

[0697] 如从图 12 和图 13 中可以看出的那样, 能量耗散的值在连续延伸移动上几乎没有显示出什么变化。然而, 对于考虑中的机器人, 能量耗散在较长时间段上显示了下降的趋势。图 14 示出了对于同一机器人在 30 天间隔后的能量耗散数据。图 15 比较了正常机器人相隔三十天的能量耗散。在所有类别的能量耗散中有 5% 的下降。这个能量耗散下降的原因还没有被确定。在这方面需要更多的分析。

[0698] 不能通过监测能量耗散检测到的故障

[0699] 存在某些类型的故障可能不会导致能量耗散中的可觉察的增加并且因此不能通过监测能量耗散来检测。以下是两个实例：

[0700] (a) 导致不正确的位置读数的编码器盘上的污垢；

[0701] (b) 由于临界稳定的伺服而引起的振动：即使能量耗散增加, 该振动不足以明显以被检测到。

[0702] 转矩残差的监测和分析

[0703] 从呈现整体健康下降的机器人中所采集的数据可以进一步被分析, 以确定导致健康下降的具体故障。如先前所指示的那样, 基于转矩残差的分析技术可以识别发生在机器人中的某些类型的故障。

[0704] 有效电机容量的减小

[0705] 诸如不正确的电机相角或永磁铁的去磁那样的故障导致电机的有效转矩常数的减小。对于相同的转矩输出要求更高的电机电流。被定义为在故障状态下的转矩和在正常状态下的转矩的差的转矩残差与在正常状态下的转矩成比例。这由图 16 中示出的针对 Razor 横梁所获得的数据来说明。当横梁完成运动轮廓时, 采集数据, 该运动轮廓由以下数据来定义：最大加速度 4500 mm/s^2 , 最大速度 900 mm/s , 开始点在 $x = 0$ 并且结束点在 $x = 1000 \text{ mm}$ 。图 17 示出了转矩残差相对于标称转矩的变化。注意, 该曲线图示出了与转矩成比例的电机电流。

[0706] 线性回归系数指示电机的转矩常数已经减小的程度。图 17 中的数据指示, 在错误相角的情况下, 所要求的转矩平均比标称转矩大 33.7%。这与由于相角错误为 43 度而应该期望的值密切匹配。另一方面, 转矩残差与电机速度之间的相关很小, 如图 18 中所示。

[0707] 周期性阻力

[0708] 诸如制动阻力的故障可以在电机上引入周期性阻力。图 19 示出了从没有臂的 Reliance 机器人的 Z 轴 (竖向升降) 获得的数据。该数据代表峰值速度为 320 mm/s 的 300 mm Z 运动的转矩值。通过阻止闸块完全分离来引入制动阻力。这导致在电机位置中周期性的阻力。这从图 20 可以明显看出, 图 20 示出了转矩残差相对于位置的变化。转矩残差的变化周期近似于 16 mm , 这是 Z 滚珠轴承的螺距。

[0709] 机器人参考模型

[0710] 先前的讨论假设存在机器人的参考动态模型,该模型定义了机器人在正常工作状态下的动态行为。这样的模型将产生能量耗散的基线值,能量耗散的当前值可以与该基线值进行比较以确定机器人健康的状态。这个模型还可以针对给定的移动序列产生标称转矩的变化,其可以用于计算转矩残差。这样的模型需要周期性地更新,以便说明不一定代表健康问题的、机器人属性的明显的长期漂移。如上所提及的那样,确定基线机器人行为的可能选项之一是使用代表机器人正常动态行为的神经网络模型。

[0711] 从正常机器人获得的数据可以用于建立机器人动力学的神经网络模型,并且这个模型可以用作健康监测和故障诊断的参考模型。图 21 示出了模型预测的 Z 轴转矩与实际转矩的比较。神经网络模型是使用具有 10 个神经元的径向基网络来建立的。为此目的使用 Matlab 提供的径向基网络工具。用于该网络的训练数据包括 1300 种状态下的位置、速度、加速度和转矩值。

[0712] 本健康监测和故障诊断系统 100 可以与全局诊断工具集成,诸如 Brooks 自动化有限公司的 GOLDLINK_{TM} 全局诊断工具。

[0713] 健康监测和故障诊断系统 100 的每个功能可以将其输出或结果发送到一个或多个可以执行附加功能的远程计算设备。例如,数据采集 功能 105 可以向执行预处理、分析和推理功能的远程服务器报告时间历程。系统内的其他功能也可以发送数据用于远程功能、用于进一步计算,以便最小化系统 100 内的计算和通信负载。

[0714] 这可以最小化现场所需的支持,同时提供在远处开发和验证分析和推理算法的机会,因此消除了在现场直接由系统报告的假警报的风险。

[0715] 发送到远程功能的信息可以包括周期性健康监测数据、自动状态通知和请求式信息。

[0716] 周期性健康监测数据

[0717] 本地功能 105、110、115、120 中的一个或多个可以连续地以高采样率实时记录所选的信号,处理特性,执行分析,或者执行推理功能并且将数据发送到远处用于进一步处理。

[0718] 例如,数据采集功能 105 可以为每个运动轴记录以下信号:

[0719] (a) 电机电压(在 PWM 占空比方面);

[0720] (b) 电机电流;

[0721] (c) 命令的和实际的位置;

[0722] (d) 实际速度;

[0723] (e) 电机温度。

[0724] 本地的预处理功能 110 可以预处理数据,以为每次操作计算一组特性来确定下列一组每操作和运动轴的特性:

[0725] (a) 日期 / 时间戳;

[0726] (b) 来自... / 到... 的信息;

[0727] (c) 耗散的能量;

[0728] (d) 最大电流;

[0729] (e) 最大位置误差;

[0730] (f) 稳定的位置误差;

[0731] (g) 稳定时间；

[0732] (h) 最大温度。

[0733] 上述的该组特性可以周期分批地发送给远程服务器或其他计算设备,用于分析、推理或其他功能。

[0734] 也可以使用远程服务器来促进来自本地功能 105、110、115、120 或管理器 130 的自动状态通知。通知信息可以包括：

[0735] (a) 操作与维护变化；

[0736] (b) 配置变化的通知；

[0737] (c) 致命错误的通知；

[0738] (d) 以预定间隔发送的循环计数数据。

[0739] 另外,出于支持和诊断目的,远程服务器或计算机连接可以允许应请求上传信息。

示范性信息包括：

[0740] (a) 配置(工作空间)信息；

[0741] (b) 印有时间戳的命令/响应/错误日志；

[0742] (c)(来自数据采集层的)数据日志。

[0743] 另外,有利的是提供来自远程系统的其他特征,例如,病毒保护软件的远程更新和控制器软件的远程更新。

[0744] 所述的系统是有利的,因为该系统提供了一组独特的功能用于健康监测和故障诊断。数据采集功能在正被监测的机器的操作期间获取所选变量的时间历程,预处理功能计算所获取的时间历程的具体特性,分析功能评估与变量相关联的各个部件的特性并且产生关于每个部件的状态的一个或多个假设,而推理功能推导出机器的整体评价,该整体评价包括机器的各个部件的状态以及机器处在良好运行状态的置信度。

[0745] 该系统可以分层式分布的方式来实现。例如,每个功能的多个实例可以驻留在机器内逐渐更高级别的控制器中或与这些控制器相关联,使得健康监测和故障诊断目的所要求的数据可以在存在足够的处理数据的智能的级别处使用。

[0746] 希望该系统大大减少或完全消除由于工作在自动制造工具中的机械手的无法预料的故障引起的材料损坏和未预期的停工时间。另外,在故障发生的情况下,希望系统的故障诊断能力改进维修的响应度、质量和成本。

[0747] 应该理解的是,上面的描述仅说明了这里所公开的实施例。在不偏离本实施例的情况下,本领域技术人员可以设计出各种可替换方案和修改方案。因此,目前公开的实施例意图包括所有这些落入随附权利要求范围之内的可替换方案、修改方案和变型。

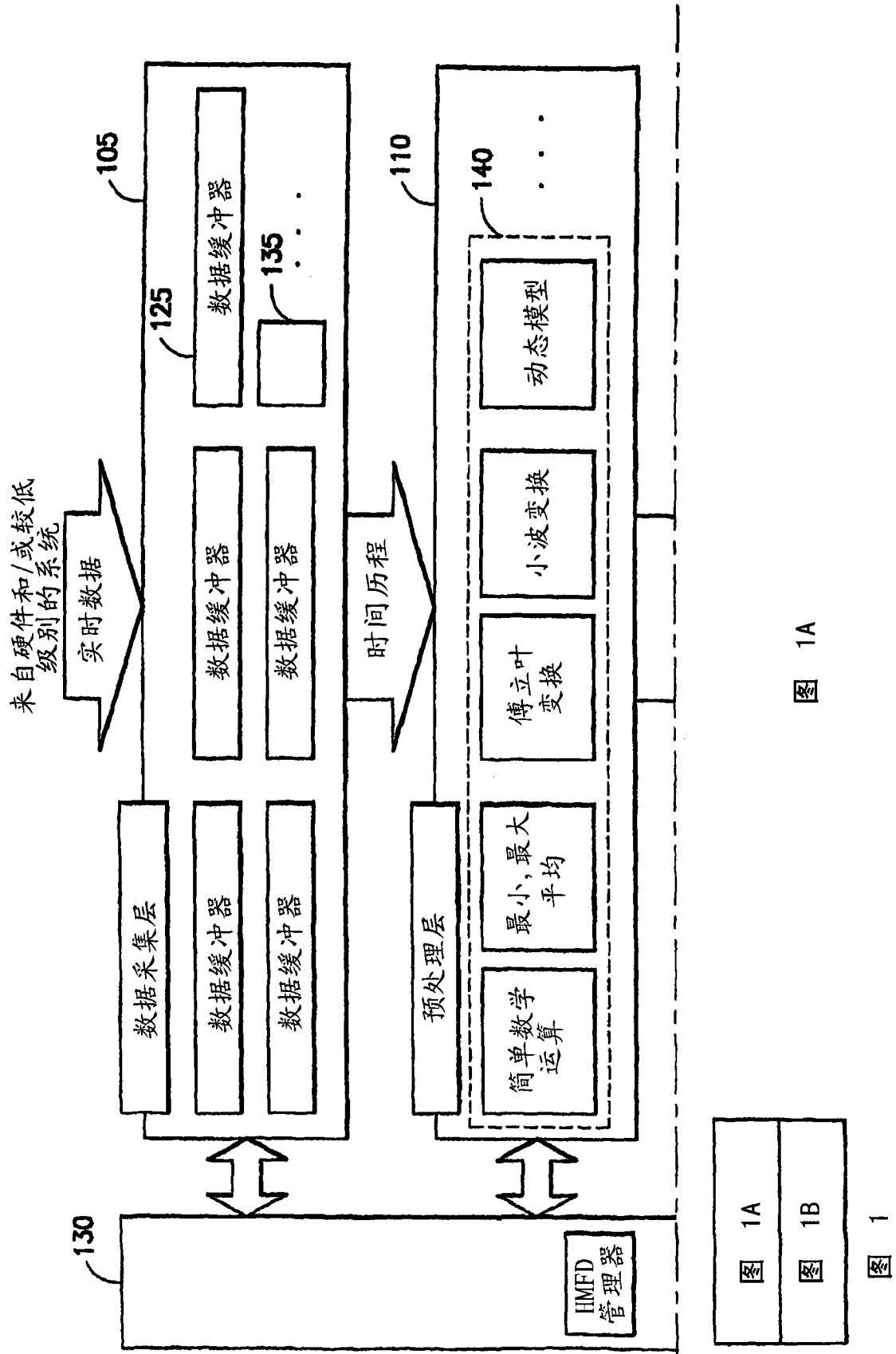


图 1A

图 1

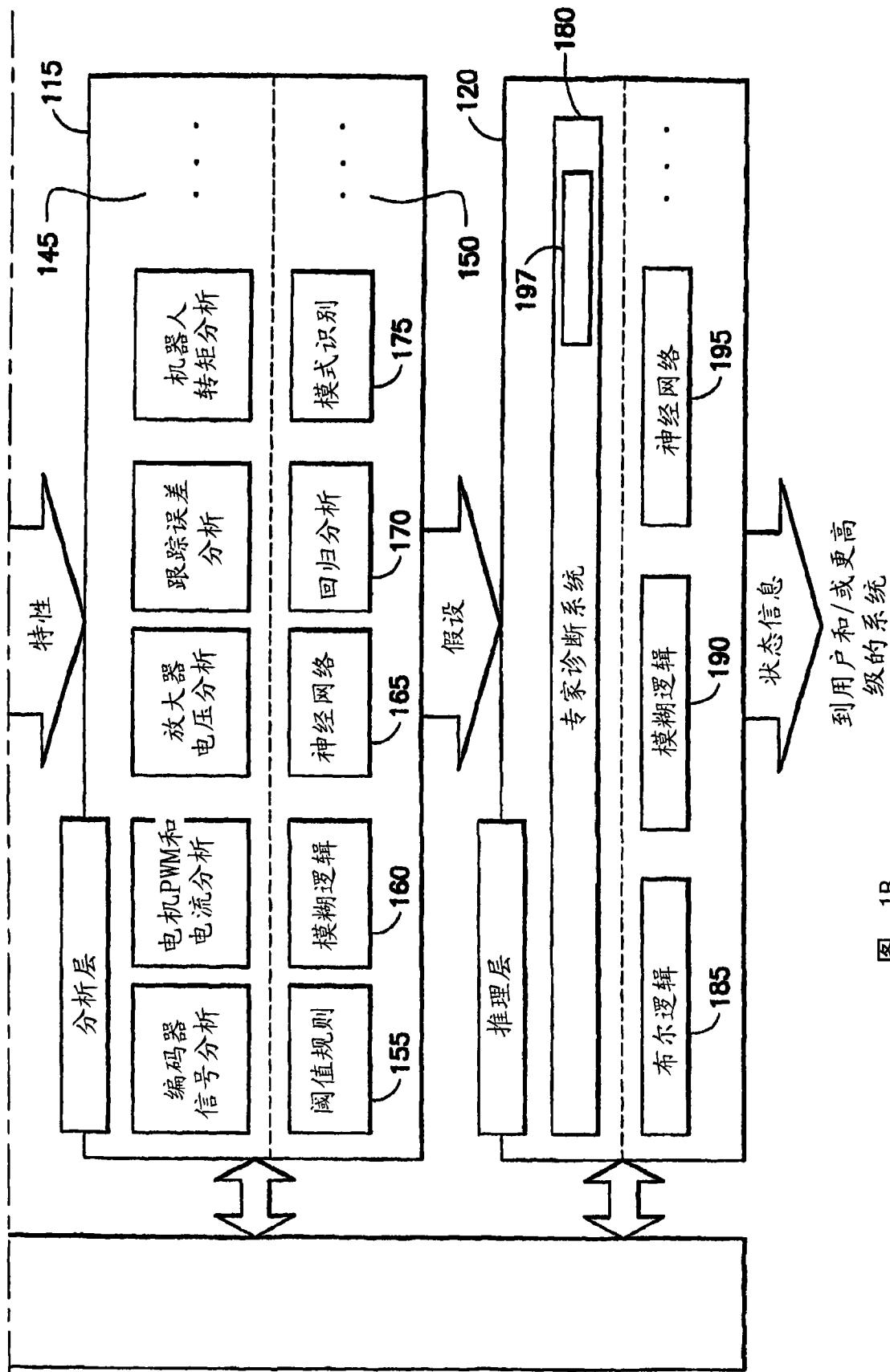


图 1B

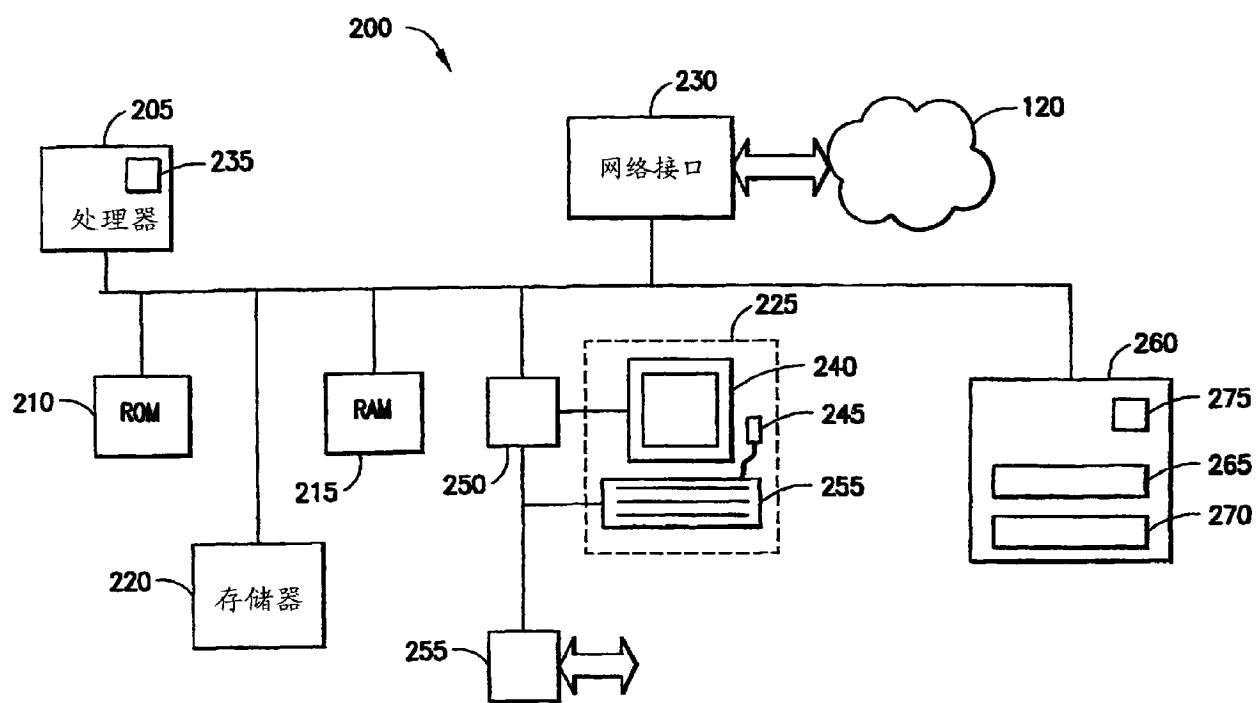


图 2

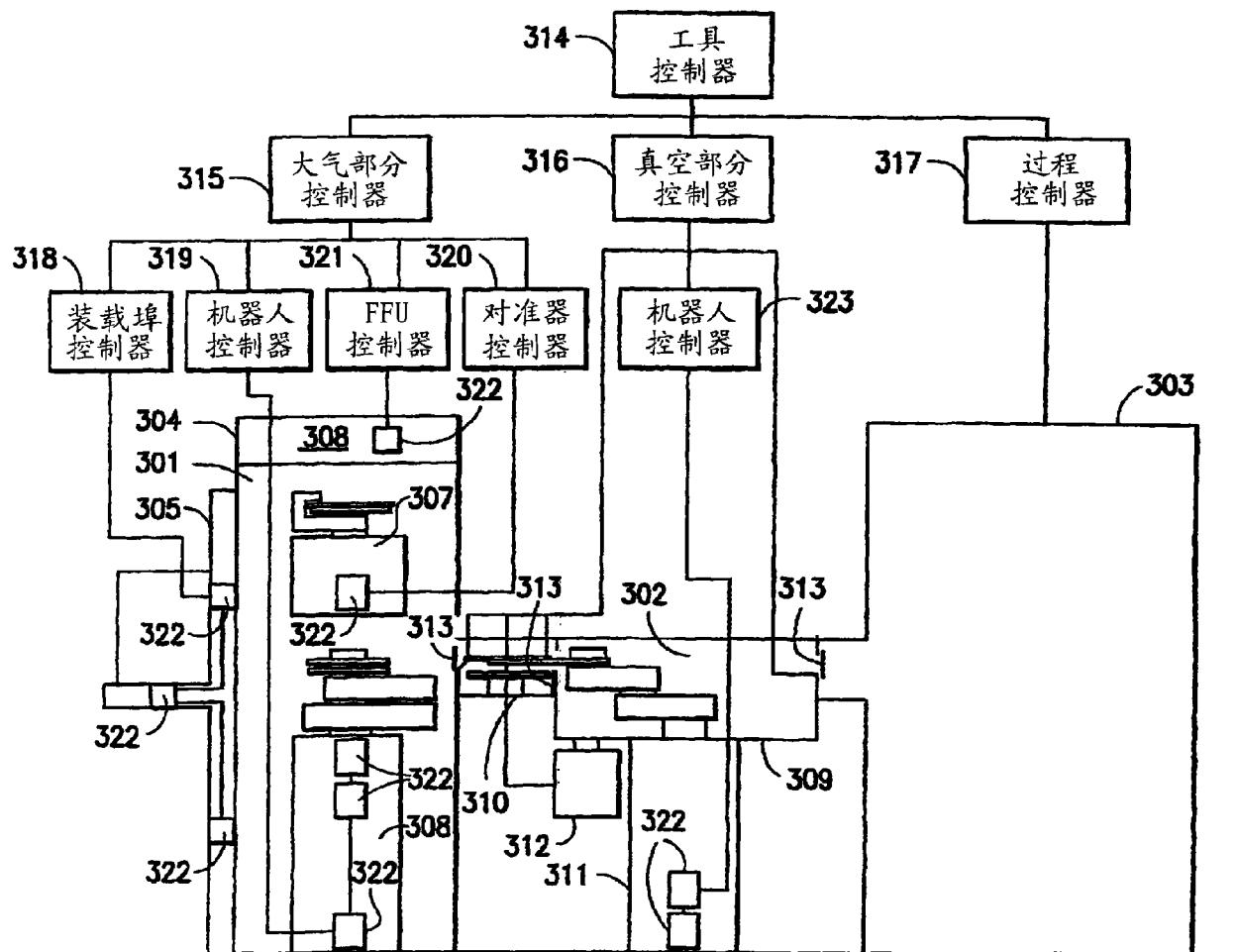


图 3

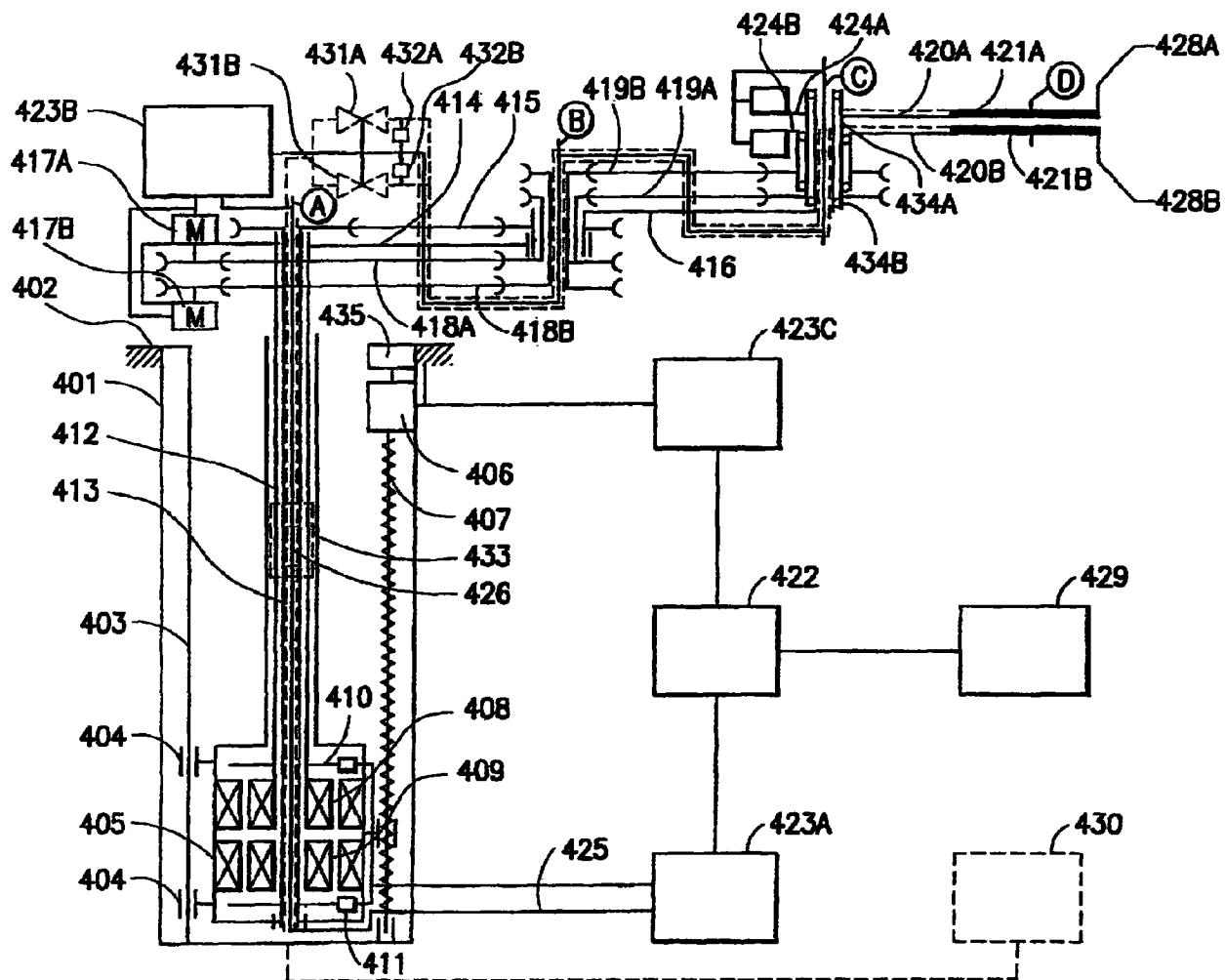


图 4

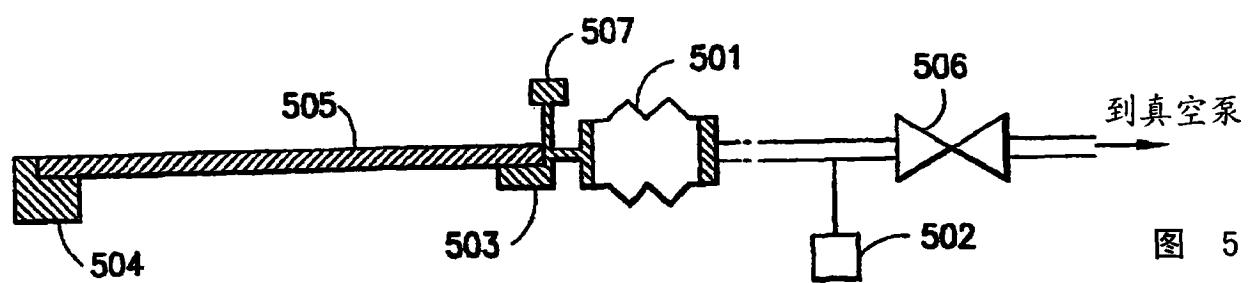


图 5

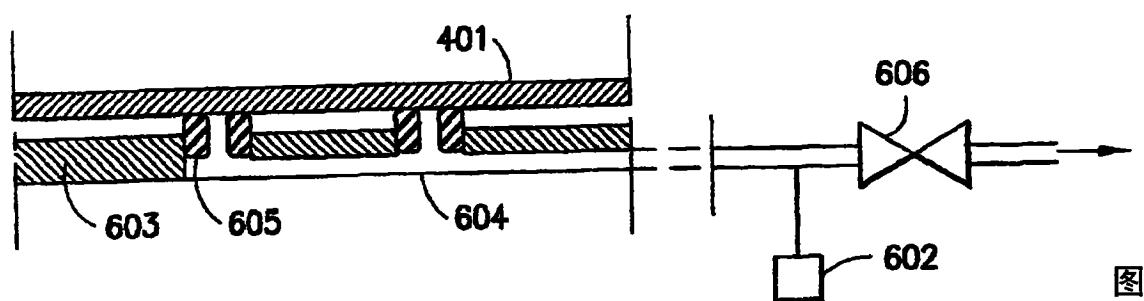


图 6

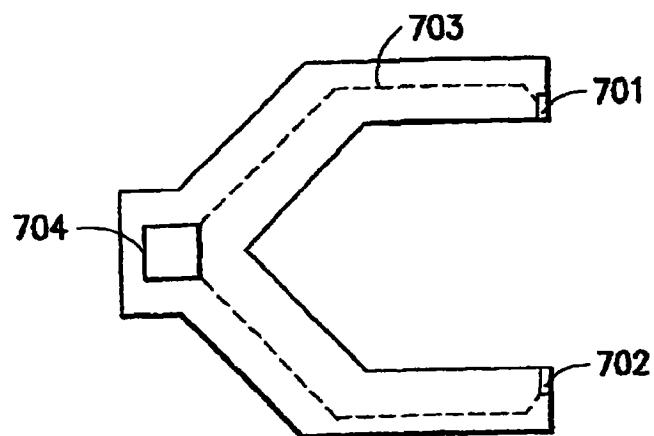


图 7

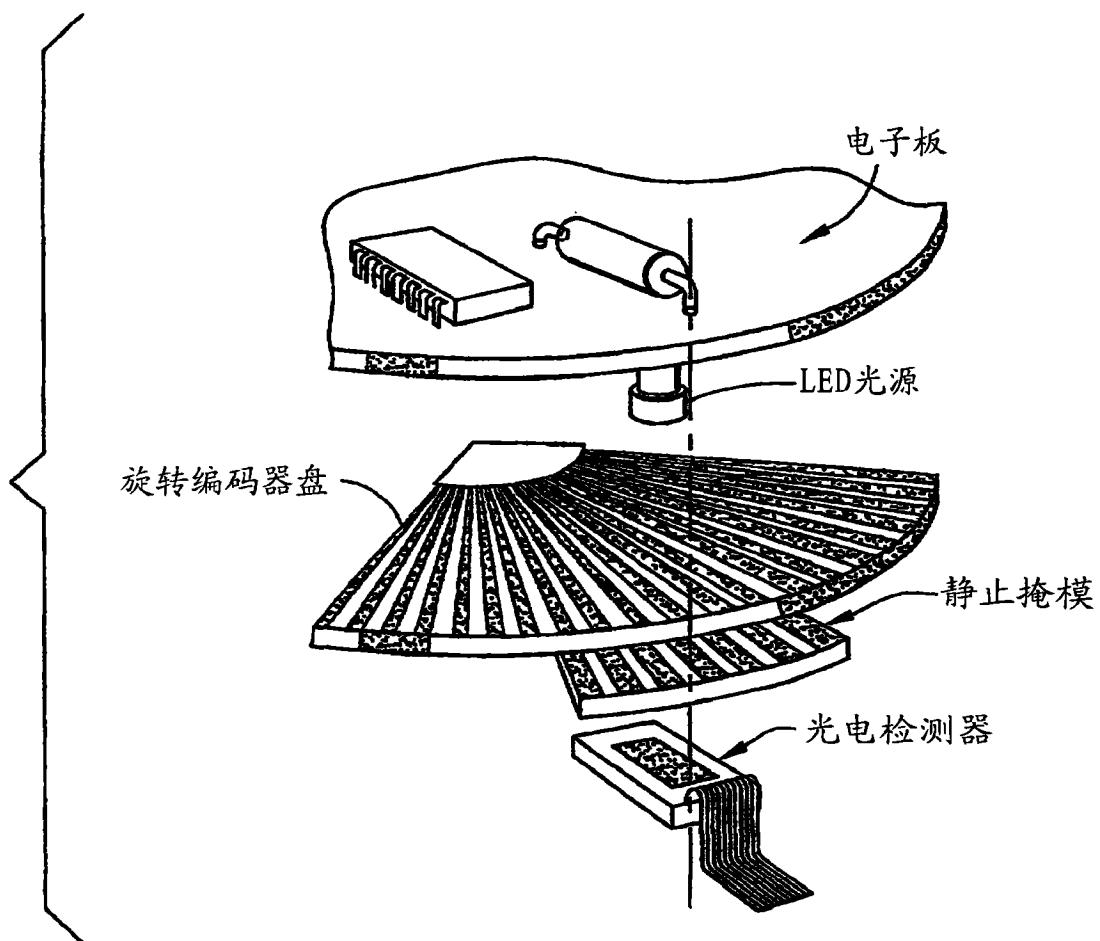


图 8

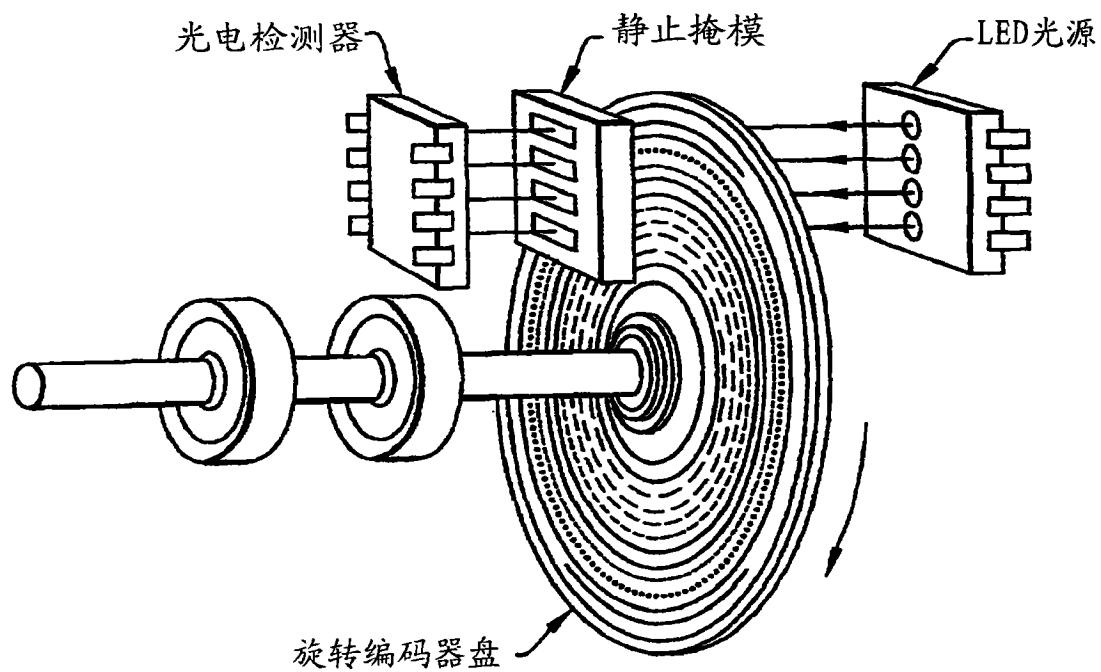


图 9

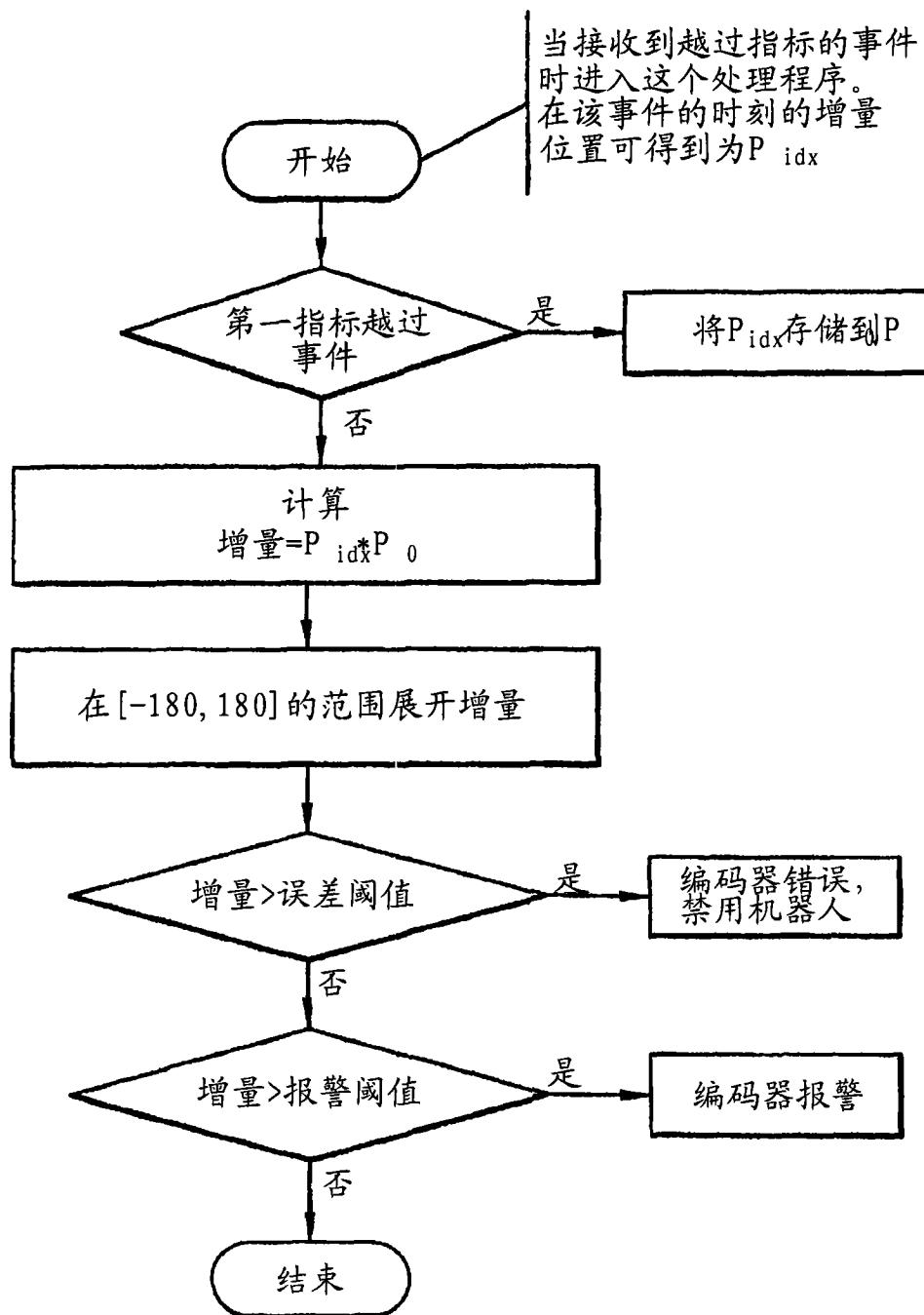


图 10

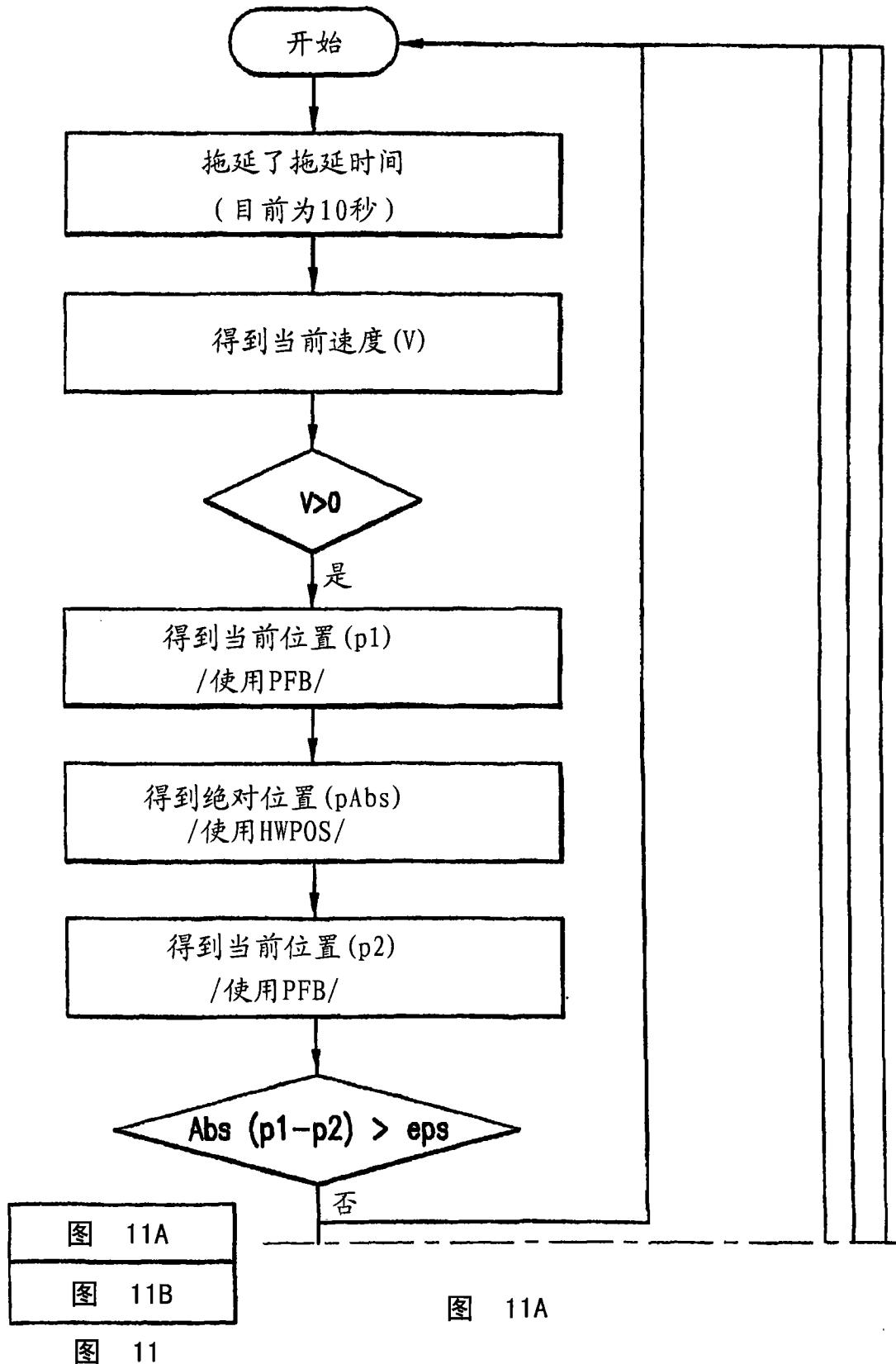


图 11

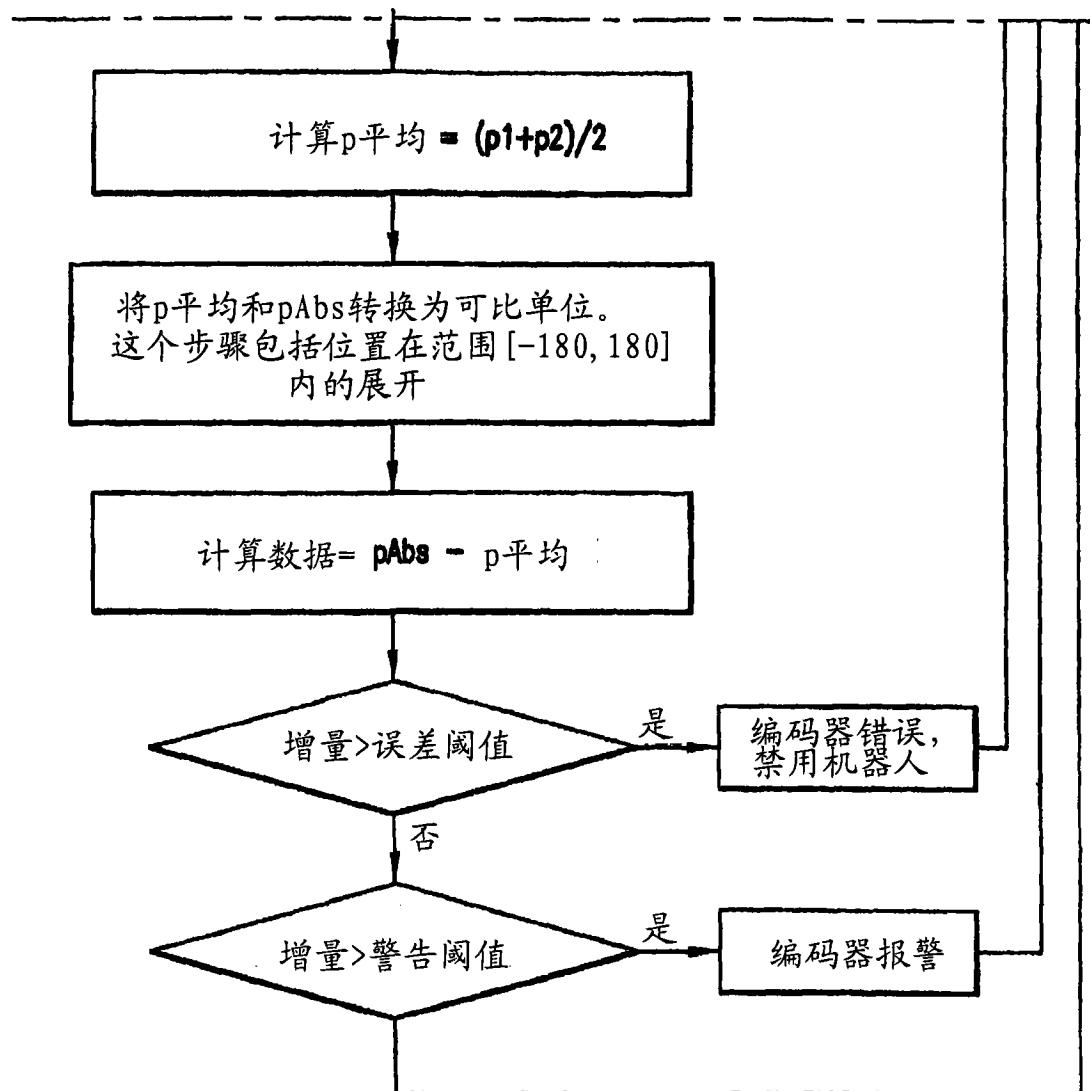


图 11A

图 11B

图 11

图 11B

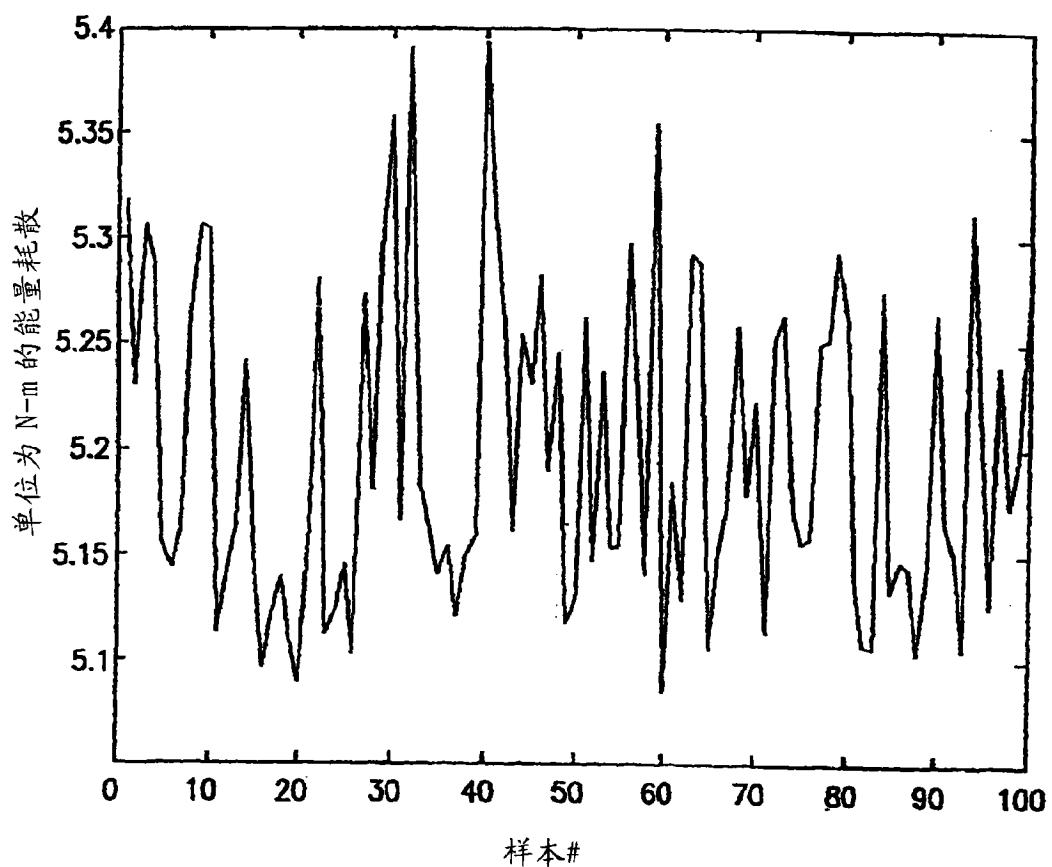


图 12

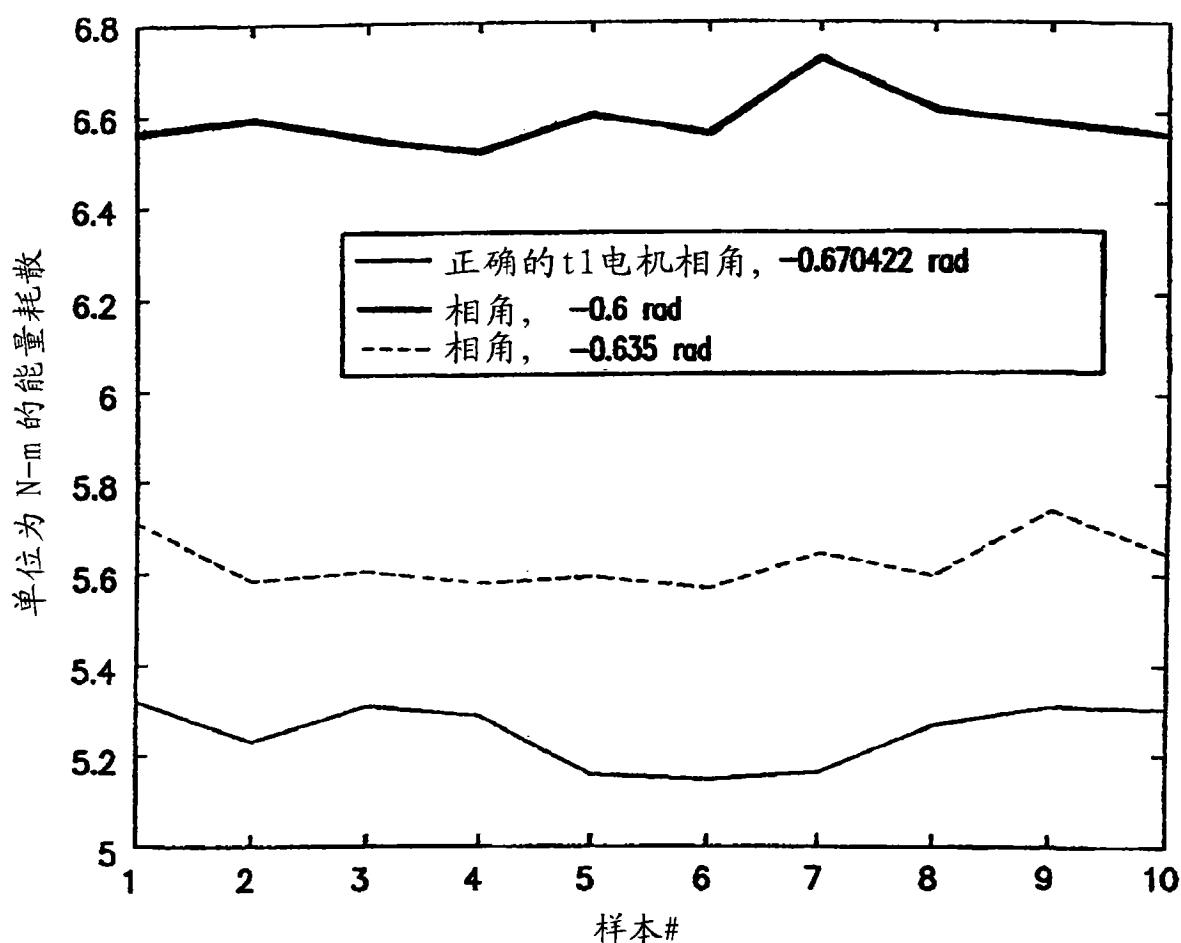


图 13

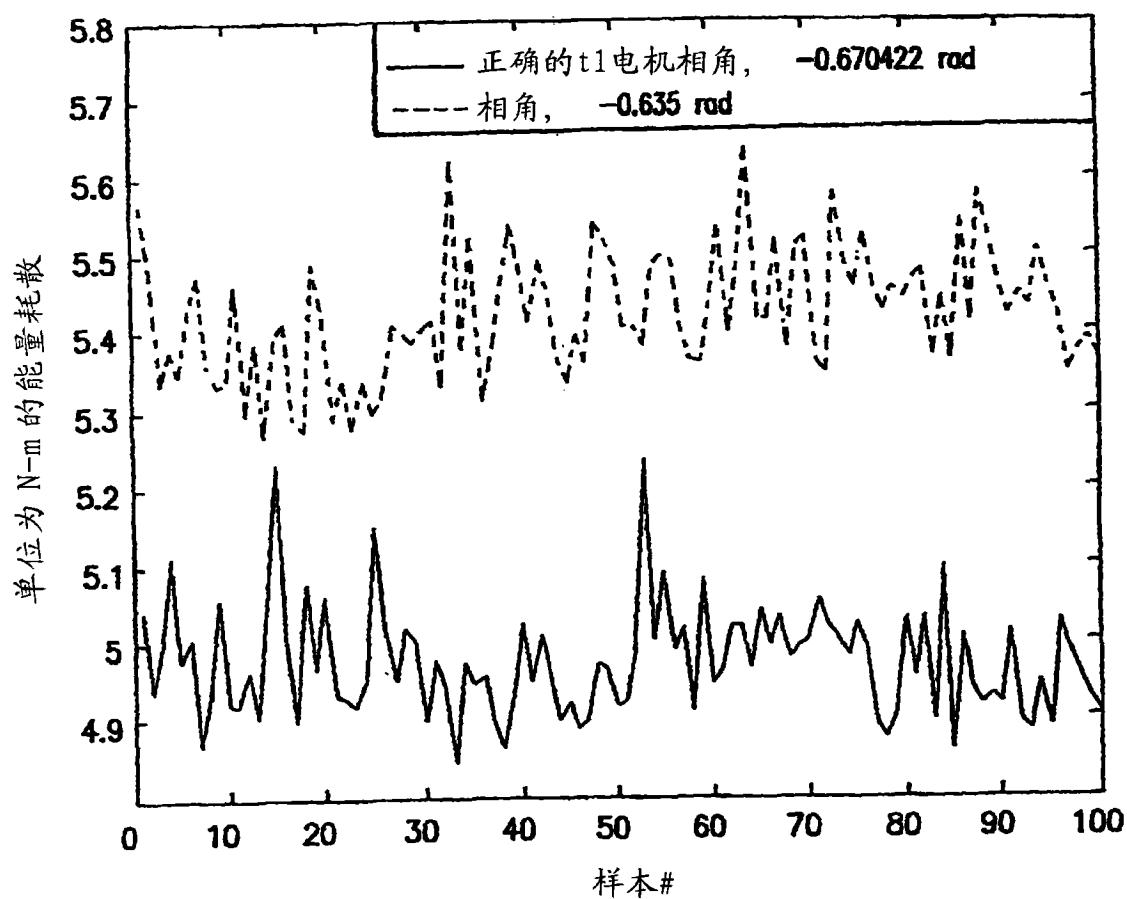


图 14

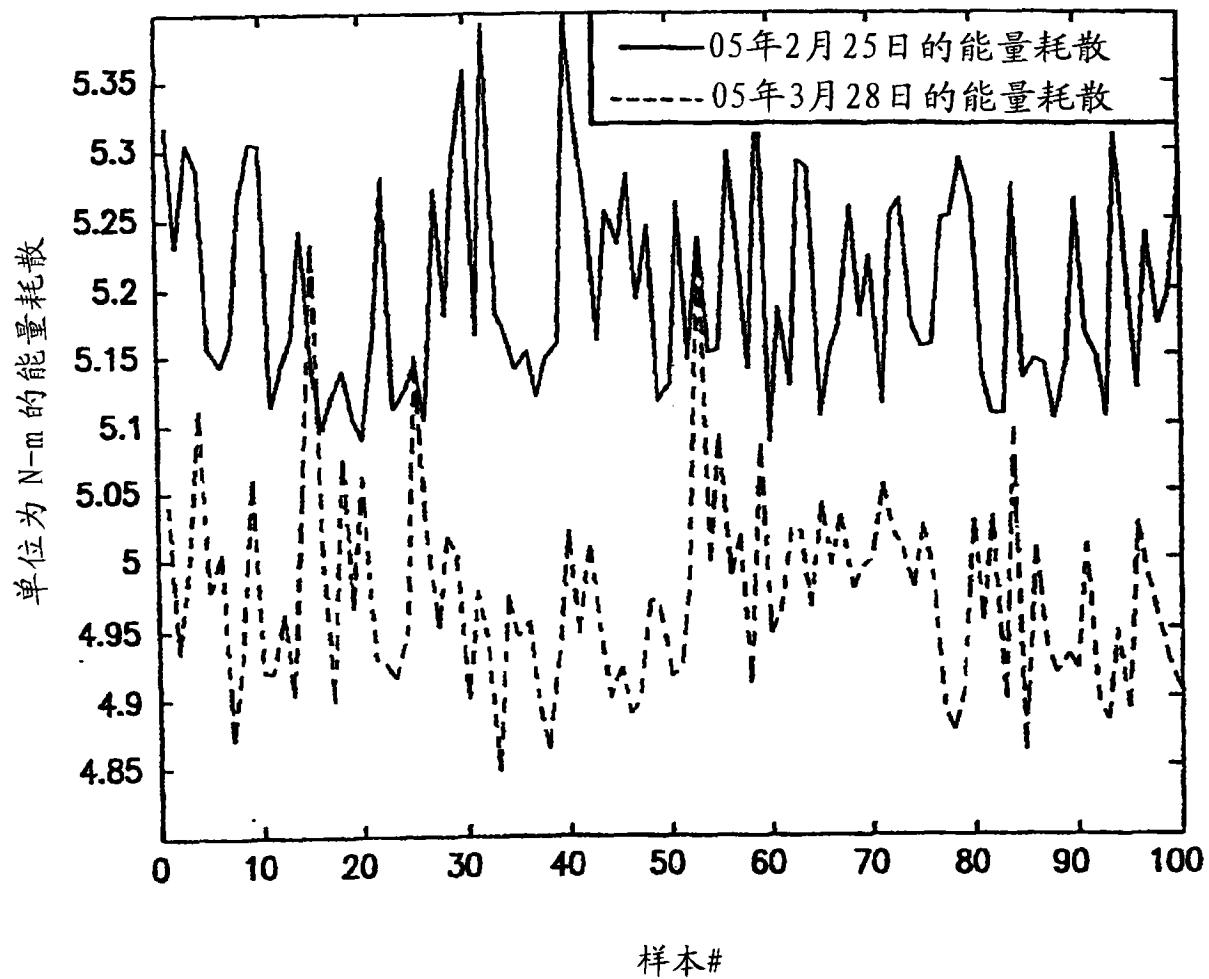


图 15

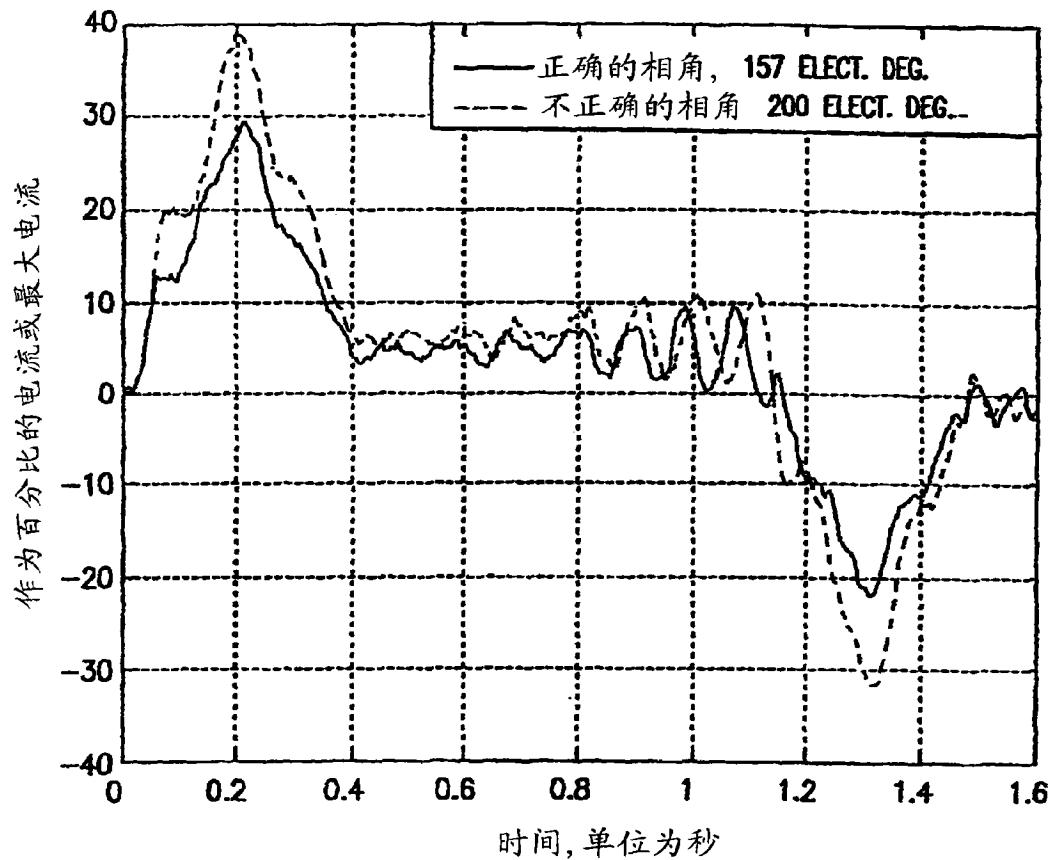


图 16

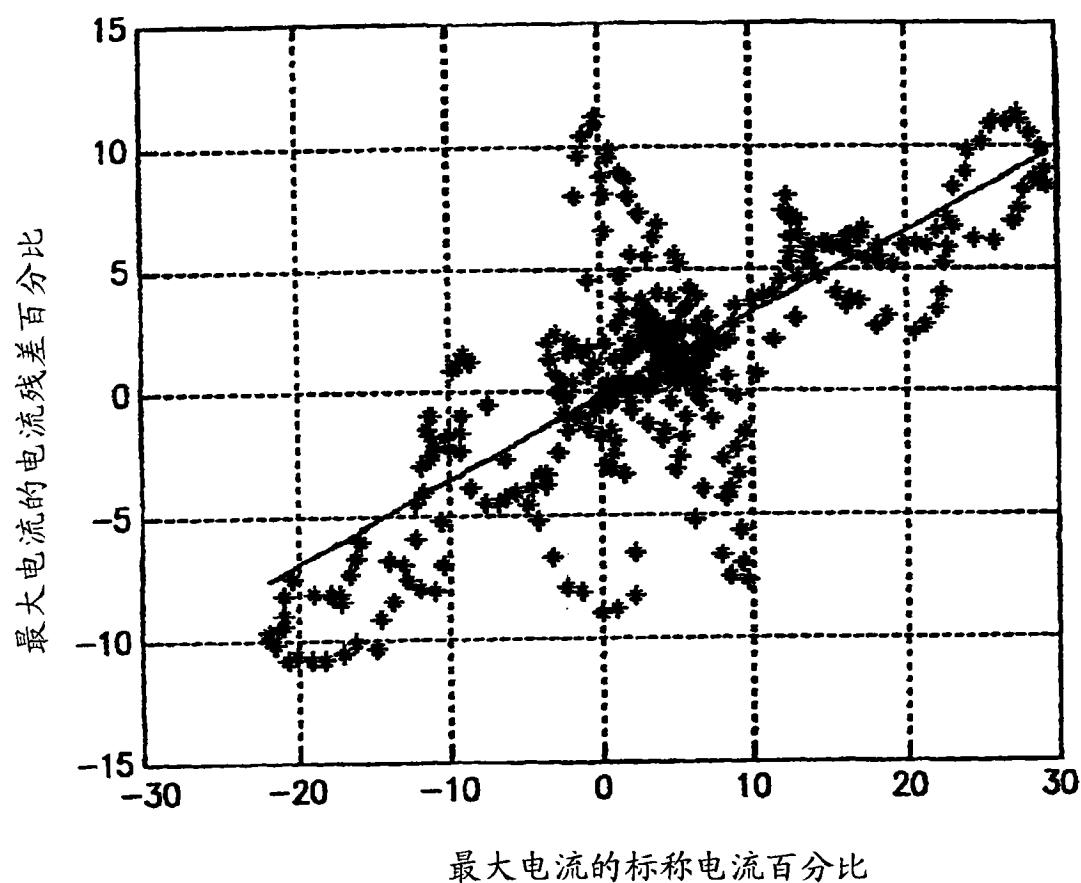


图 17

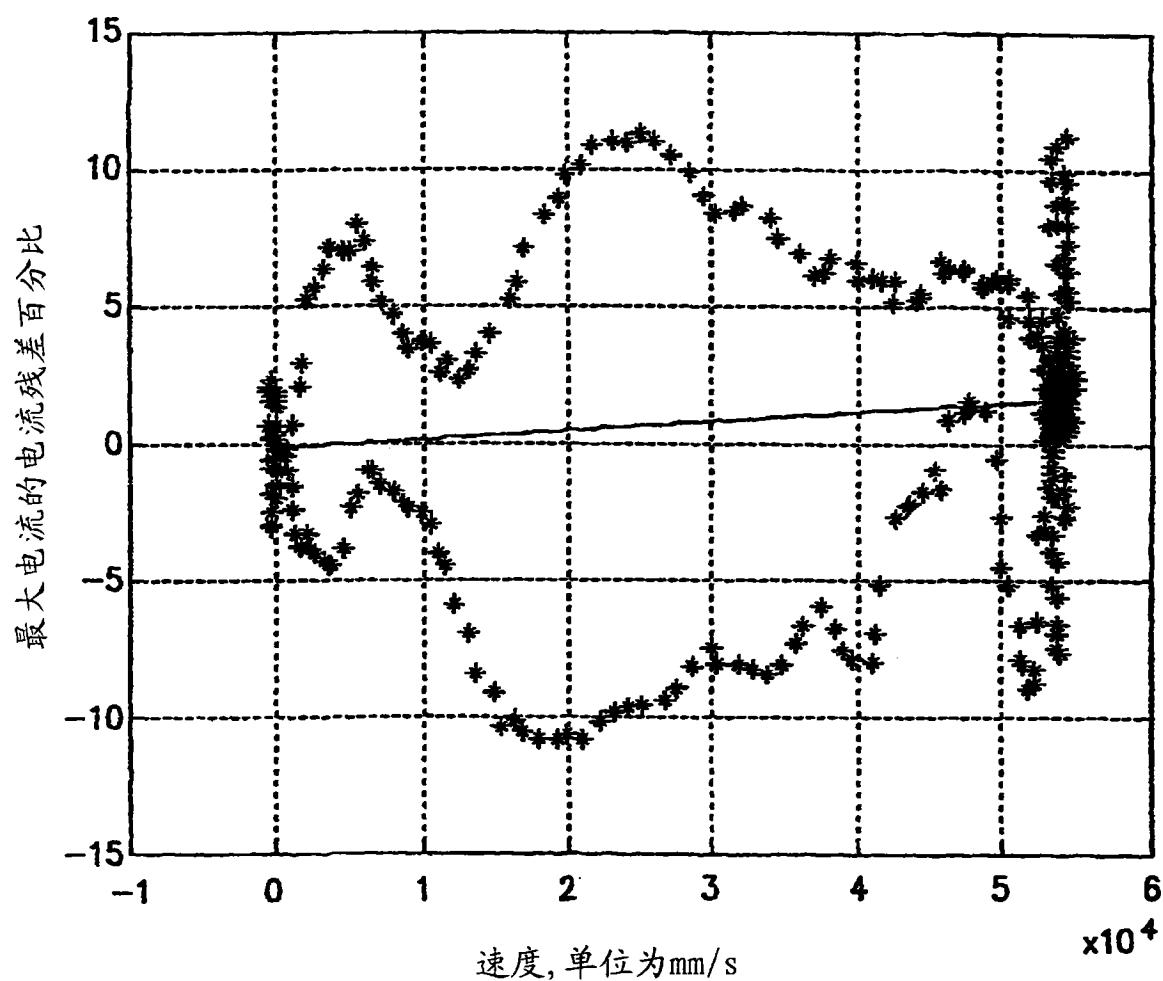


图 18

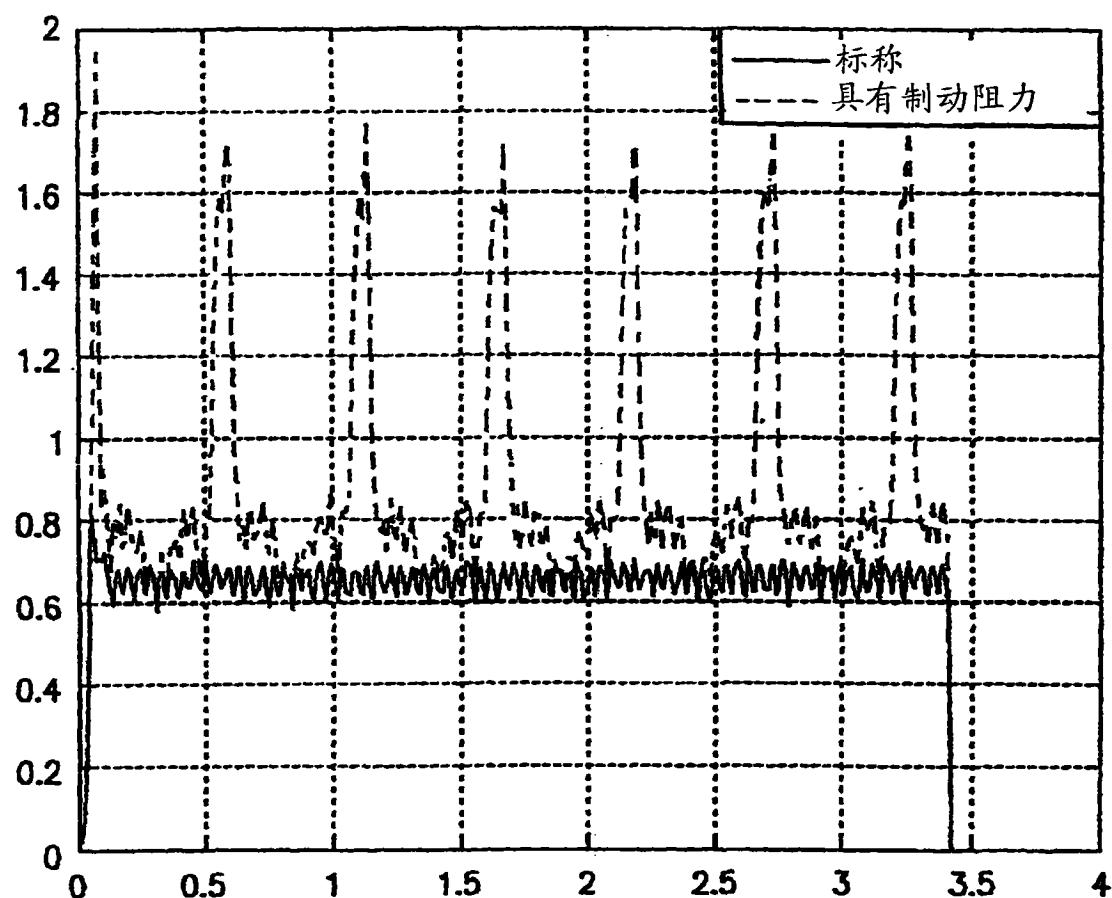


图 19

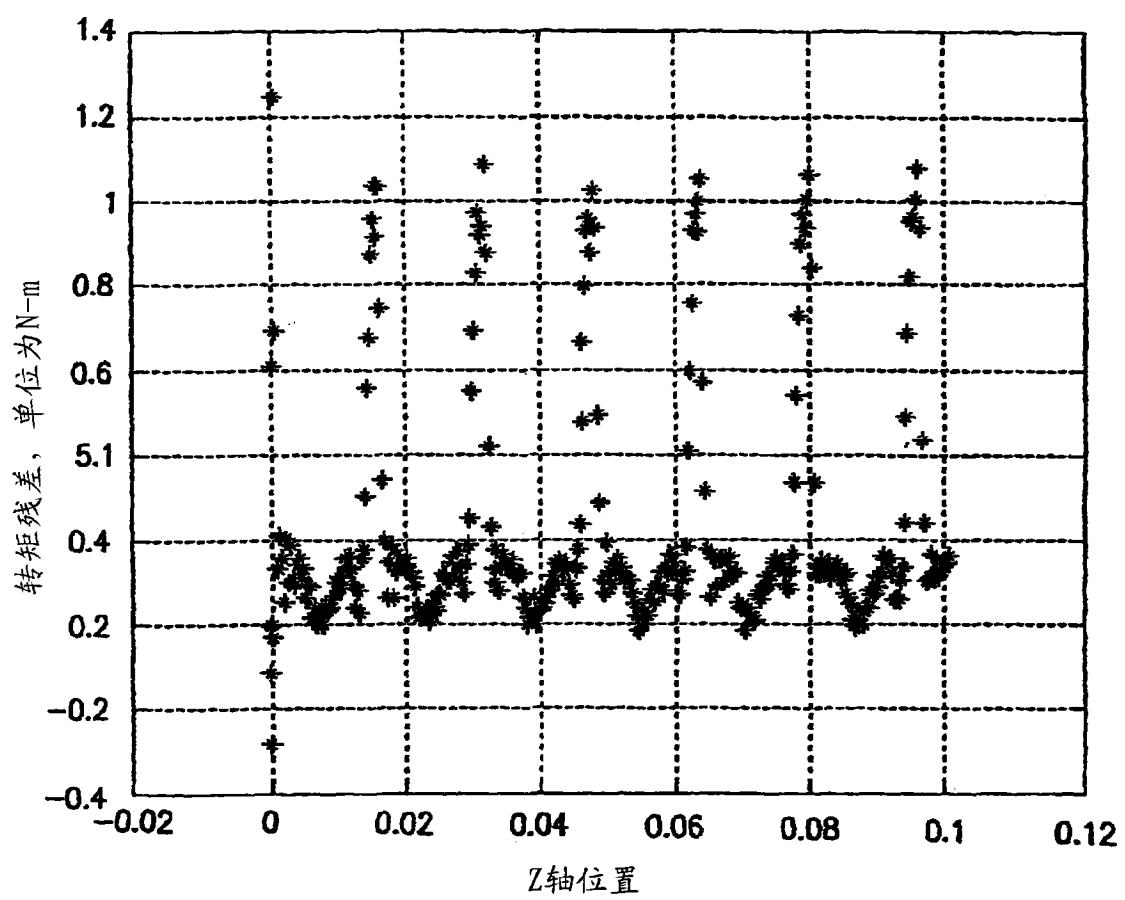


图 20

