



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1690898 B

(45) 授权公告日 2010.09.29

(21) 申请号 200510067058.9

(22) 申请日 2005.04.27

(30) 优先权数据

735/04 2004.04.27 CH

(73) 专利权人 查米莱斯技术有限公司

地址 瑞士梅兰

(72) 发明人 F·阿尔特彼得

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 王岳 刘宗杰

(51) Int. Cl.

G05B 19/406 (2006.01)

G05B 19/4061 (2006.01)

G01B 7/02 (2006.01)

G01B 21/02 (2006.01)

(56) 对比文件

US 6295478 B1, 2001.09.25, 全文.

US 5023045 A, 1991.06.11, 全文.

US 5304906 A, 1994.04.19, 全文.

US 5119006 A, 1992.06.02, 全文.

审查员 王立石

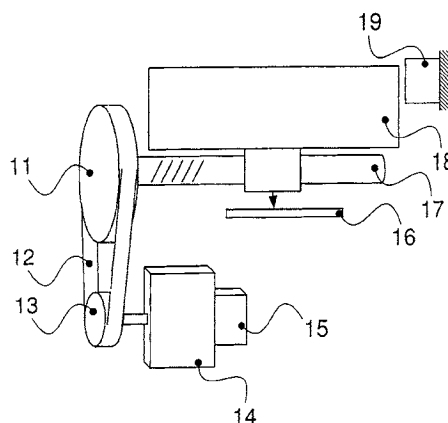
权利要求书 4 页 说明书 10 页 附图 8 页

(54) 发明名称

具有检测工作异常装置的数控驱动设备以及检测方法

(57) 摘要

用于负载 (18a) 的驱动设备包括用于检测偶然碰撞的装置, 其具有电动机 (14a)、被分别布置在传动组件 (12a) 的上游、下游以提供第一和第二位置值的第一、第二位置传感器 (15a, 16a)。计算单元 (20) 使得有可能计算对应于这些位置值之差的误差信号 (d)。设计鉴别装置, 以便分析作为负载在空间参考帧 (x_R, d) 中通过的路径 (x_R) 的函数的连续误差信号。具有矩形空间窗或指数空间窗的滤波器尤其适于在由偶然碰撞引起的误差与由可归于正常操作的其它原因引起的误差之间进行鉴别。因此, 尤其获得具有非常低检测阈值的可靠灵敏的碰撞检测。



1. 一种具有用来检测工作异常的装置的数控驱动设备,其用来检测偶然碰撞,包括:

- 至少一个电动机 (14),其能够通过传动元件的组件 (T) 沿着至少一个路径来驱动负载 (18),

- 测量位置的第一装置 (15),其被布置在用于到电动机 (14) 的传动的所述组件的至少一个元件的上游,并用来提供第一位置值 (x_M),

- 测量位置的第二装置 (16),其被布置在用于到所述负载 (18) 的传动的组件的此元件的下游,并用来提供对应于所述路径上负载的位置的第二位置值 (x_R),

- 计算装置 (20),用于以预定间隔 (h) 产生对应于第一与第二位置值的差的误差信号 (d),以及

- 分析装置,用于分析这些误差信号,以便检测偶然碰撞,

其中分析装置包括鉴别装置,所述鉴别装置被设计成分析以所述预定间隔获得的、作为在空间参考帧 (d, x_R) 中通过的路径的函数的所述误差信号 (d),其目的是在偶然碰撞引起的误差与由至少一个其它原因引起的误差之间进行鉴别。

2. 如权利要求 1 中要求的所述设备,其中所述传动组件 (T) 具有传动的柔性,其被所述误差信号 (d) 用作与负载 (18) 的驱动相关的测力计。

3. 如权利要求 1 或 2 中要求的所述设备,其中所述鉴别装置包括数据的相关域的至少一个限制,所述数据与沿着路径在负载的受限动程上的误差信号有关,所述路径形成至少一个空间窗,其特征是路径为负载所通过。

4. 如权利要求 1 或 2 中要求的所述设备,其中所述鉴别装置由用于丢弃均匀运动 (homokinetic) 误差和 / 或由热变化引起的误差的空间滤波装置组成。

5. 如权利要求 4 中要求的所述设备,其中所述滤波装置包括数据的两个循环数组 (44, 45) 和至少一个空间矩形窗 (D),所述数据一方面与在所述路径上负载的位置 (x_R) 有关,另一方面与相应于这些位置的误差信号 (d) 有关,所述空间矩形窗 (D) 包括与所述位置 (x_R) 和从所述两个循环数组提取的所述误差信号 (d) 有关的最近的数据。

6. 如权利要求 5 中要求的所述设备,其中设计所述滤波装置以便:

- 根据预定采样周期 (h) 将变量对的采样记录在两个大小为 n 的循环数组中以便形成记录数据对 $x_R(k)$ 、 $d(k)$,所述变量与负载的位置 (x_R) 以及这些位置关联的误差信号 (d) 有关, $k = 1$ 表示所记录的最后一个采样;

- 提取最近的连续采样的子集 (D),对于所述子集,负载 (18) 在所述路径上通过的位置的范围小于或等于与所述矩形窗的空间宽度对应的第一固定和预定的极限 (L_x),以便

$$\sum_k |x_R(k) - x_R(k-1)| \leq L_x \quad \forall k \in D$$

这个连续采样的子集 (D) 形成空间矩形窗,其中负载的位置 (x_R) 作为横坐标,误差信号 (d) 作为纵坐标,第一极限 (L_x) 的值被预先确定,以便是要丢弃的误差周期的若干分之一;

- 检测碰撞,所述碰撞定义为超过在子集 (D) 上误差信号 (d) 的动态范围的第二预定极限 ($L_{d,rel}$),所述子集 (D) 是根据下述运算在矩形窗中选择的:

-

$$\Delta d_{\max} = \max_{k \in D} d_k - \min_{k \in D} d_k \geq L_{d,rel}$$

其中 $\max_{k \in D} d_k$ 和 $\min_{k \in D} d_k$ 分别是在子集 D 中 d 的最大值、最小值, 其中 $D = \{i : 1 \leq i \leq i_{\max}\}$ 。

7. 如权利要求 6 中要求的所述设备, 其中将所述第二极限 $L_{d,rel}$ 固定为 $\Delta d_{\max}$ 的最大值的 m%, 所述 $\Delta d_{\max}$ 是对于没有碰撞的负载的动程的情形确定的, 所述 m 在 120 与 250 之间。

8. 如权利要求 7 中要求的所述设备, 其中, m 在 140 与 200 之间。

9. 如权利要求 8 中要求的所述设备, 其中, m 等于 150。

10. 如权利要求 6 中要求的所述设备, 其中滤波装置包括插值装置, 设计所述插值装置以便通过对于空间矩形窗的所述第一极限 (L_x) 的插值来获得误差信号 (d) 的插入值, 将这个第一极限 (L_x) 和所述插入值存储为空间矩形窗的最早采样。

11. 如权利要求 7 中要求的所述设备, 其中滤波装置包括插值装置, 设计所述插值装置以便通过对于空间矩形窗的所述第一极限 (L_x) 的插值来获得误差信号 (d) 的插入值, 将这个第一极限 (L_x) 和所述插入值存储为空间矩形窗的最早采样。

12. 如权利要求 4 中要求的所述设备, 其中滤波装置包括至少一个空间不变线性滤波器, 其包括指数空间窗。

13. 如权利要求 12 中要求的所述设备, 其中根据决定容许的均匀运动缺陷来固定空间不变线性滤波器的空间常数 (x_s)。

14. 如权利要求 13 中要求的所述设备, 其中设计滤波装置, 以便:

- 根据预定采样周期记录变量对 $x_R(k)$, $d(k)$ 的采样, 所述变量对 $x_R(k)$, $d(k)$ 分别与负载的动程以及关联的误差信号有关,

- 根据下述公式在每个采样周期计算信号 $\xi(k)$:

$$\xi(k) = a_1(k) \xi(k-1) + b_0(k) d(k)$$

其中 $\xi(k-1)$ 是误差信号的记录的存储器, 以及其中

$$a_1(k) = \exp\left(-\frac{|\Delta x_R(k)|}{x_s}\right), \Delta x_R(k) = x_R(k) - x_R(k-1)$$

$$b_0(k) = 1 - a_1(k)$$

- 根据公式 $y(k) = -\xi(k) + d(k)$ 计算输出信号 $y(k)$,

- 检测碰撞, 所述碰撞定义为超过根据运算 $|y(k)| > L_{d,rel,Isi}$ 的预定极限 $L_{d,rel,Isi}$ 。

15. 一种检测工作异常的方法, 用来在数控驱动设备上检测偶然碰撞, 所述数控驱动设备包括:

- 至少一个电动机 (14), 其能够通过传动元件的组件 (T) 沿着至少一个路径来驱动负载 (18),

- 测量位置的第一装置 (15), 其被布置在用于到电动机 (14) 的传动的所述组件的至少一个元件的上游, 并用来提供第一位置值 (x_M),

- 测量位置的第二装置 (16), 其被布置在用于到所述负载 (18) 的传动的组件的此元件的下游, 并用来提供对应于所述路径上负载的位置的第二位置值 (x_R),

- 计算装置 (20), 用于以预定间隔产生对应于第一与第二位置值的差的误差信号 (d),

以及

- 分析装置,用于分析这些误差信号,以便检测偶然碰撞,

其中采用鉴别装置,以便分析以所述预定间隔获得的、作为在空间参考帧 (d, x_R) 中通过的路径的函数的所述误差信号 (d),其目的是在由偶然碰撞引起的误差与由至少一个其它原因引起的误差之间进行鉴别。

16. 如权利要求 15 中要求的所述方法,其中通过所述误差信号 (d) 用作与负载 (18) 的驱动相关的测力计是通过所述传动组件 (T) 的传动的柔性来制成的。

17. 如权利要求 15 或 16 中要求的所述方法,其中由鉴别装置通过执行数据的相关域的至少一个限制来分析误差信号 (d),所述数据与沿着路径在负载的受限动程上的误差信号有关,所述路径形成至少一个空间窗,其特征是路径为负载所通过。

18. 如权利要求 15 或 16 中要求的所述方法,其中使用包括空间滤波装置的鉴别装置,所述空间滤波装置用于丢弃均匀运动误差和 / 或由热变化引起的误差。

19. 如权利要求 18 中要求的所述方法,其中由滤波装置来实现滤波,所述滤波装置包括数据的两个循环数组 (44, 45) 和至少一个空间矩形窗 (D),所述数据一方面与在所述路径上负载的位置 (x_R) 有关,另一方面与相应于这些位置的误差信号 (d) 有关,所述空间矩形窗 (D) 包括与所述位置 (x_R) 和从所述两个循环数组提取的所述误差信号 (d) 有关的最最近的数据。

20. 如权利要求 19 中要求的所述方法,其在于:

- 根据预定采样周期 (h) 将变量对的采样记录在两个大小为 n 的循环数组中以便形成记录数据对 ($x_R(k), d(k)$),所述变量对与负载的动程 (x_R) 以及这些动程关联的误差信号 (d) 有关,系数 k 的下标 1 表示所记录的最后一个采样;

- 提取最近的连续采样的子集 $D = \{i : 1 \leq i \leq i_{\max}\}$,对于所述子集,由负载 (18) 在所述路径上通过的位置的范围小于或等于与所述矩形窗的空间宽度对应的第一固定和预定的极限 (L_x),以便

$$\sum_k |x_R(k) - x_R(k-1)| \leq L_x \forall k \in D$$

这个连续采样的子集 (D) 形成空间矩形窗,其中负载的动程 (x_R) 作为横坐标,误差信号 (d) 作为纵坐标,第一极限 (L_x) 的值被预先确定,以便是要丢弃的误差周期的若干分之一;

- 检测碰撞,所述碰撞定义为超过在子集 (D) 上误差信号 (d) 的动态范围的第二预定极限 ($L_{d,rel}$),所述子集 (D) 是根据下述运算在矩形窗中选择的:

$$\Delta d_{\max} = \max_{k \in D} d(k) - \min_{k \in D} d(k) \geq L_{d,rel}$$

其中 $\max_{k \in D} d(k)$ 、 $\min_{k \in D} d(k)$ 分别是在子集 D 中 d 的最大值、最小值。

21. 如权利要求 20 中要求的所述方法,其中将所述第二极限 $L_{d,rel}$ 固定为 $\Delta d_{\max}$ 的最大值的 $m\%$,所述 $\Delta d_{\max}$ 是针对没有碰撞的负载的动程的情形确定的,所述 m 在 120 与 250 之间。

22. 如权利要求 21 中要求的所述方法,其中, m 在 140 与 200 之间。

23. 如权利要求 22 中要求的所述方法,其中, m 等于 150。

24. 如权利要求 20 中要求的所述方法,其中采用插值装置以便对于空间矩形窗的所述第一极限 (L_x) 计算误差信号 (d) 的插入值,这个第一极限 (L_x) 和所述插入值被存储为最早采样,并且它们距空间矩形窗最远。

25. 如权利要求 21 中要求的所述方法,其中采用插值装置以便对于空间矩形窗的所述第一极限 (L_x) 计算误差信号 (d) 的插入值,这个第一极限 (L_x) 和所述插入值被存储为最早采样,并且它们距空间矩形窗最远。

26. 如权利要求 18 中要求的所述方法,其中由滤波装置来实现滤波,所述滤波装置包括至少一个空间不变线性滤波器,其包括指数空间窗。

27. 如权利要求 26 中要求的所述方法,其中根据决定容许的均匀运动缺陷来固定空间不变线性滤波器的空间常数 (x_s)。

28. 如权利要求 27 中要求的所述方法,其中组合两个或多个滤波器,对于其中的每一个选择不同的空间常数值,以便精确地提取误差信号 (d) 的容许运动传动误差分量,即,与高通滤波器关联的低通滤波器,或与带阻滤波器和高通滤波器关联的低通滤波器,或与带阻滤波器关联的带通滤波器。

29. 如权利要求 27 中要求的所述方法,其在于:

- 根据预定采样周期记录变量对 ($x_R(k)$, $d(k)$) 的采样,所述变量对 ($x_R(k)$, $d(k)$) 分别与负载的动程以及关联的误差信号有关,

- 根据下述公式在每个采样周期计算信号 $\xi(k)$:

$$\xi(k) = a_1(k) \xi(k-1) + b_0(k) d(k)$$

其中 $\xi(k-1)$ 是误差信号的记录的存储器,以及其中

$$a_1(k) = \exp\left(-\frac{|\Delta x_R(k)|}{x_s}\right), \Delta x_R(k) = x_R(k) - x_R(k-1)$$

$$b_0(k) = 1 - a_1(k)$$

- 根据公式 $y(k) = -\xi(k) + d(k)$ 计算输出信号 $y(k)$, 以及

- 检测碰撞,所述碰撞定义为超过根据运算 $|y(k)| > L_{d,rel,Isi}$ 的预定极限 $L_{d,rel,Isi}$ 。

具有检测工作异常装置的数控驱动设备以及检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有用来检测工作异常的装置的数控驱动设备,其用来检测偶然碰撞,包括:

- [0002] - 至少一个电动机,其能够通过传动元件的组件沿着至少一个路径来驱动负载,
- [0003] - 测量位置的第一装置,其被布置在用于到电动机的传动的所述组件的至少一个元件的上游,并用来提供第一位置值,
- [0004] - 测量位置的第二装置,其被布置在用于到所述负载的传动的组件的此元件的下游,并用来提供对应于所述路径上负载的位置的第二位置值,
- [0005] - 计算装置,用于以预定间隔产生对应于第一与第二位置值的差的误差信号,以及
- [0006] - 分析装置,用于分析这些误差信号,以便检测偶然碰撞。

背景技术

[0007] 如文件 DE 34 26 863 A1 中所述,已经在机床领域使用了这种设备。

[0008] 在许多其它应用中使用的可比较的驱动设备例如为机器人、印刷机、用于纺织生产的设备、注射成型机、冲压和冲裁机、起重机、卫星天线、望远镜等。

[0009] 在如图 1 表示的驱动设备中,借助编码器 15 来测量电动机 14 的位置,以便在电动机转子的正确位置处控制相位换向。通过经由皮带轮 11 和 13 以及皮带 12 再继之以具有螺母的滚珠丝杠 17 的传动来将电动机转矩传送到负载 18,所述负载 18 例如表示工作台或者配有刀具的轴。通过线性尺 16 来测量负载 18 的位置。由机械制动器 19 来确定行程的末端,以便在伺服驱动软件有故障的情况下保护所述机构。这个制动器 19 可在机器准备阶段用作所述轴初始化的绝对基准。这种初始化在线性尺不提供这个基准的情况下是必需的。通常,行程末端接触器用于初始化。如果因为减少成本等原因除去这些接触器,那么如本发明提出的可靠有效的碰撞检测设备就成为必需的,以便使用制动器 19 作为基准,而不用冒着由过度冲击力造成损坏设备结构的任何危险。

[0010] 当使用机床时,机械手或另一项具有由伺服电动机驱动的铰接的设备、运动的元件可与机器的另一部件、待加工的工件相撞,或与环境中的部件相撞。在这种情况下,要解决的问题在于预防和/或检测该碰撞。

[0011] 在本领域内最普遍的预防措施是限制所考虑的轴的行程,其通过行程末端接触器形成硬布线逻辑限制,通过位置设定的容许范围的边界的预先定义构成软件限制,或在机械制动器的帮助下形成物理限制。出于预防碰撞的考虑,美国专利 5,347,459 也已提出了对工作空间进行建模,以便提前识别在相对运动的物体间的干扰。此建模过程的缺点是需要确定在工作区中所有物体的运动,这个信息是无法得到的,例如对于其边角料可能堵塞在工件与刀具间的机床。为了弥补缺乏的关于工作空间中物体位置的这一知识,例如已经求助于观察系统,然而这仍是一种复杂昂贵的解决方案。

[0012] 美国专利 4,820,895 提出了一种在电浸蚀机情况下的电接触式传感器。根据德国专利 40 08 661 A1,这种设备可用于在半加工工件上三维刀具的对准,这样做是通过其准

确检测刀具 - 工件碰撞的能力并且没有损毁。然而,使用电接触式传感器需要存在导电的物体。

[0013] 美国专利 5, 119, 006 已经提出了一定数量的监控标准,例如伺服驱动电动机转矩 / 电流的绝对值。这个专利中描述的过程受限于具有刚性的或非常精确的传动的驱动装置,所述驱动装置需要在某些工业应用的情况下不必花费高的机械解决方案,对于所述机械解决方案,第二尺位置传感器的引入使得有可能实施用于补偿尤其涉及柔性或均匀运动 (homokinetic) 缺陷的软件过程。这个补偿可导致在电动机速度反馈环的繁重需求,以及大的速度跟踪误差乃至电动机电流的大变化。而且,如果电动机的惯性支配负载的惯性,这称为电动机侧,那么在电动机电流方面碰撞的力的效果与分别供正常加速、减速的力相比是可忽略的。因此,例如在美国专利 5, 119, 006 中提出的原始信号不再包含相关信息,所述相关信息使得有可能用足够的灵敏度来识别碰撞以避免损毁。

[0014] 为了更好地利用相应的电动机转矩信号、电动机电流与速度信号的碰撞检测,美国专利 5, 304, 906 提出了基于驱动装置的参数以及用来减少高频时测量噪声影响的滤波参数的干扰转矩观测器的结构。然而,在此美国专利 5, 304, 906 中提出的方法局限于用于驱动装置的传动的刚性模型。因此,该过程对于传动的柔性和均匀运动缺陷承担了相当大重要性的传动装置是不够的。而且,诸如电动机的惯量和转矩常数之类的参数的知识不适合于许多应用,所述应用例如是其中在设备正常使用期间待驱动的质量很可能变化到 5 倍的机床。

[0015] 德国专利申请 199 60 834 A1 提出在轴的驱动部分上测量尺位置,并且将此测量值与在传动链内部获得的间接测量值进行比较,以便形成误差信号。所述信号的突然增加表明已经发生了碰撞或异常事件。然而,其中除了比较误差信号在时间上的增加与预先设定的极限以外,什么也没有被提出。这个涉及电动机与驱动部分间的位置的误差信号的问题在于,均匀运动误差破坏了该误差信号,所述均匀运动误差是正常操作的特征,并且再次导致触发极限被定为过大的值。另一方面,所主张的解决方案在必须剧烈增大惯性时是不合适的。对于电浸蚀机的 X 和 Y 轴就是这种情况,所述 X 和 Y 轴用来移动待加工的工件的组件和装满介质液体的盘,驱动的质量可能多达一吨。

发明内容

[0016] 本发明的目的是补救前述缺点,为此,其中分析装置包括鉴别装置,所述鉴别装置被设计成分析以所述预定间隔获得的、作为在空间参考帧中通过的路径的函数的所述误差信号,其目的是在由偶然碰撞引起的误差与由至少一个其它原因引起的误差之间进行鉴别。

[0017] 由于这些特征,所以有可能可靠快速地检测偶然碰撞,其检测阈值相对于已知设备被大大降低。

[0018] 有利的是,所述传动组件具有传动的柔性,其被所述误差信号用作与负载的驱动相关的测力计。

[0019] 这些特征允许非常简单的结构和非常有利的成本价格。

[0020] 根据一种优选的执行模式,所述鉴别装置包括数据相关域的至少一个限制,所述数据与沿着路径在负载的受限动程上的误差信号有关,所述路径形成至少一个空间窗,其

特征是路径为负载所通过,这样设计的目的是在由偶然碰撞引起的误差与由至少一个其它原因引起的误差之间进行鉴别。

[0021] 因此获得了具有减小的检测阈值的特别可靠的检测。

[0022] 有利的是,所述鉴别装置由适于丢弃均匀运动误差和 / 或由热变化引起的误差的空间滤波装置组成。

[0023] 由于这些特征,所以可以有效地避免任何检测缺陷。

[0024] 根据一种有利的执行模式,所述滤波装置包括数据的两个循环数组和至少一个空间矩形窗,所述数据一方面与在所述路径上负载的动程有关,另一方面与相应于这些动程的误差信号有关,所述空间矩形窗包括与所述动程和从所述两个循环数组提取的所述误差信号有关的最近的数据。

[0025] 因此获得了具有初始原理和高可靠性的检测设备。

[0026] 根据另一种有利的执行模式,滤波装置包括至少一个空间不变线性滤波器,其包括指数空间窗。

[0027] 这个模式尤其实用,因为它使得有可能用略小尺寸的计算单元获得快速可靠的异常检测。

[0028] 本发明还涉及一种检测工作异常的方法,用来在数控驱动设备上检测偶然碰撞,所述数控驱动设备包括:

[0029] - 至少一个电动机,其能够通过传动元件的组件沿着至少一个路径来驱动负载,

[0030] - 测量位置的第一装置,其被布置在用于到电动机的传动的所述组件的至少一个元件的上游,并用来提供第一位置值,

[0031] - 测量位置的第二装置,其被布置在用于到所述负载的传动的组件的此元件的下游,并用来提供对应于所述路径上负载的位置的第二位置值,

[0032] - 计算装置,用于以预定间隔产生对应于第一与第二位置值的差的误差信号,以及

[0033] - 分析装置,用于分析这些误差信号,以便检测偶然碰撞,

[0034] 其中采用鉴别装置,以便分析以所述预定间隔获得的、作为在空间参考帧中通过的路径的函数的所述误差信号,其目的是在由偶然碰撞引起的误差与由至少一个其它原因引起的误差之间进行鉴别。

[0035] 通过这种方法,可以以一种简单可靠的方式获得偶然碰撞的检测,与已知方法相比,其具有略小的检测阈值。

[0036] 其它优点是从下述显示出来的:在从属权利要求中表达的特征,以及借助于附图更详细阐明本发明的以下描述,所述附图示意性地并通过例子来表示两种执行模式。

附图说明

[0037] 图 1 示出数控驱动设备。

[0038] 图 2 说明用于产生误差信号 d 的装置的原理图。

[0039] 图 3a 到 3f 说明在负载的前进与返回运动期间不同信号的变化。

[0040] 图 3a 示出由负载占用的位置 $x_R[\text{mm}]$ 随时间 $t[\text{s}]$ 的变化。

[0041] 图 3b 说明电动机的电流 $I_M[\text{A}]$ 随时间 $t[\text{s}]$ 的变化。

[0042] 图 3c 说明误差信号 $d[\text{微米}]$ 随时间 $t[\text{s}]$ 的变化。

- [0043] 图 3d 示出误差信号 d [微米] 随由负载占用的位置 x_R [mm] 的变化。
- [0044] 图 3e 说明图 3d 的放大部分。
- [0045] 图 3f 示出信号 $\Delta d_{\max} = \max d_k - \min d_k$ [微米] 随时间 t [s] 的变化。
- [0046] 图 4 是用于检测偶然碰撞的设备的第一执行模式的原理图。
- [0047] 图 5 示出在第一执行模式中使用的流程图。
- [0048] 图 6a 到 6d 说明在具有负载停止（碰撞）的运动的期间不同信号的变化。
- [0049] 图 6a 是由负载占用的位置 x_R [mm] 随时间 t [s] 的变化的图。
- [0050] 图 6b 说明电动机的电流 I_M [A] 随时间 t [s] 的变化。
- [0051] 图 6c 示出误差信号 d [微米] 随时间 t [s] 的变化。
- [0052] 图 6d 说明误差信号 d [微米] 随由负载占用的位置 x_R [mm] 的变化。
- [0053] 图 7a 到 7h 说明在第二示例模式中使用的空间不变滤波器的不同信号的变化。
- [0054] 图 7a 和 7b 是滤波器输出信号 $y(k)$ 对于快速和慢速运动随位置 $x_R(k)$ 的变化的图。
- [0055] 图 7c 和 7d 示出位置 $x_R(k)$ 随不同测量点 k 的变化。
- [0056] 图 7e 和 7f 说明滤波器的输出信号 $y(k)$ 随不同测量点 k 的变化。
- [0057] 图 7g 和 7h 对应于不同测量点 k 的误差信号 $d(k)$ 的值的图。
- [0058] 图 8 说明在第二执行模式中使用的流程图。

具体实施方式

[0059] 本发明的数控驱动设备拥有诸如图 2 所示之类的通用结构。电动机 14a 与第一位置传感器 15a 相连, 第一位置传感器 15a 提供第一位置值 x_M , 并构成测量位置的第一装置, 所述第一装置被布置在传动组件 12a 的上游, 通过所述传动组件 12a 将运动传递到负载 18a, 负载 18a 沿着一条路径进行移动。负载 18a 的位置通过提供第二位置值 x_R 的第二位置传感器 16a 来测量。

[0060] 设计以计算单元 20 形式的计算装置, 以便根据下述公式以预定时间间隔计算误差信号 d :

[0061]
$$d = x_R - rx_M$$

[0062] 其中 r 等于传动组件 12a 的传动比。

[0063] 因此误差信号 d 对应于在负载的位置与相对于负载的电动机位置之间的偏差。

[0064] 在如图 1 所示的结构中, 误差信号 $d = x_R - rx_M$ 是由传动元件引起的误差总和, 也就是说, 主要是皮带、在滚珠与滚珠的滚道之间的触点、螺母与螺钉, 其每一个以它们的柔性和它们特有的运动方式来起作用。

[0065] 可以想到的其它传动元件例如是轴、谐波传动等。

[0066] 然而, 更可取的是选择没有间隙的部件。诸如无预应力的齿轮之类的元件在回程上显示了间隙, 它们例如容易对由伺服控制保持的振荡进行干扰, 并将需要特定的强制预防措施。

[0067] 在图 3c、3d 和 3e 中所说明的误差信号 d 涉及负载的前进与返回运动, 因此它由动力学成分和运动学成分或均匀运动误差组成, 所述动力学成分与轴的加速和传动机构的柔性相关, 所述运动学成分或均匀运动误差分别与制造和组装缺陷、通过改变滚珠丝杠的长

度来扭曲传动比 r 的温度效应相关。误差信号 d 的动力学分量自然地以时间参考帧进行表示,而空间参考帧则是运动学分量的典型表示;例如分别为图 3c 及与之相对的图 3d。

[0068] 由 DE 199 60 834 A1 给出的教导建议观测误差 d 的突然增加,换句话说说是型式 $\Delta d / \Delta t$ 的数量。将会看到,这种方法迫使固定放大的检测极限,以便能够忽视下文详述的缺陷的总和,所述缺陷的总和必须被容许,因为它们代表尤其在无碰撞时的正常操作。

[0069] 作为说明性的例子,提出了考虑一下电浸蚀机的 y 轴。电动机 14 的惯量等于 0.31g m^2 ,皮带传动机构 11-13 的传动比是 5,螺钉 17 的螺距是 5mm/转 ,运载待加工的工件的工作台的质量在 $620\text{--}1120 \text{kg}$ 之间变化,传动机构的刚度 $k = 175 \text{N/}\mu\text{m}$ 。

[0070] 图 3c、3d 和 3e 说明图 1 所示类型的驱动装置对于大动程及速度反向的信号 d 。

[0071] 均匀运动误差来源于螺钉的制造缺陷以及由用来再循环螺母内部滚珠的系统产生的干扰。对于图 3e 中所示的特定情况,当负载的位置 x_R 表示为横坐标时,可观测到 7mm 的空间周期。在这种情况下,代表此均匀运动缺陷的 10微米 的幅度是其主要特征,其迫使选择空间参考帧,并且迫使检测设备尤其借助于合适的滤波来消除所述周期。

[0072] 为此,由于螺钉的长度并且从而传动比 r 发生了改变,所以将波动量添加到热动式误差上,所述误差显示为随位置 x_R 而变的信号 d 的漂移。

[0073] 例如对于长度为 440mm 的钢制滚珠丝杠,其热膨胀系数等于每米和开氏度 12微米 ,变化 1°C 的误差造成 5.28微米 的缺陷。这种温度变化可来源于车间内的空气变化、机器暴露在阳光下、或者甚至由轴的运动和滚珠轴承中的摩擦引起的局部升温。这些热动式误差总体上解释了在图 3d 的曲线中信号 d 的倾斜,对于通过的 100mm 大约是 5微米 ,所述检测设备对于其必须保持不灵敏。在所述检测设备上施加的另一约束条件将是消除所述倾斜,对于空间特性的缺陷也是同样的。

[0074] 在图 3d 中与随动程 x_R 而变的信号 d 相同的曲线中,可以观察到在前进腿 (forward leg) 与返回腿 (return leg) 之间的垂直偏移,这是由在轴的直线导轨中的摩擦力引起的,所述直线导轨产生传动机构的柔性。这个摩擦力 / 柔性缺陷属于动力学特性,其在所描述的情况下约为 5微米 ,并且将不进行滤波,就像由设备的固有频率的激发引起的信号 d 的高频分量一样 (见图 3e),并且是由传动机构的柔性和在两端的惯量确定的。显示的这些频率也可以在图 3b 中观察到,所述图 3b 示出电动机电流 I_M 随时间 t 变化的曲线。

[0075] 根据本发明,传动机构的柔性用作关于负载的测力计,其产生所述传动误差信号 d ,所述传动误差信号 d 的分量被鉴别,并滤去均匀运动缺陷,以便避免在有容许缺陷时触发错误的碰撞告警。为了执行所述滤波,要观测误差信号在空间上的增加,而不是监控其在时间上的突然增加。

[0076] 重要的一点是误差信号 d 由包括鉴别装置的分析装置进行处理,所述鉴别装置被设计成分析以预定间隔获得的、作为在空间参考帧 d , x_R 中通过的路径 x_R 的函数的所述误差信号,其目的是在由偶然碰撞引起的误差与由至少一个其它原因引起的误差之间进行鉴别。

[0077] 通过限制关于受限动程的数据的有关空间域来消除传动机构的均匀运动误差的影响,所述限制是通过形成至少一个空间窗来实现的,所述空间窗的特征是路径为负载所通过,这样设计的目的是在由偶然碰撞引起的误差与由至少一个其它原因引起的误差之间进行鉴别。

[0078] 此相关空间域的限制是通过根据第一执行模式适当管理的矩形窗和循环数组、或者通过根据第二执行模式的一个或多个指数窗实现的,所述第二执行模式的工作方式与空间不变滤波器(线性空间不变 LSI)相关,其将在下文中进行解释。

[0079] 这些通过限制空间域来滤波的装置根据实验进行选择,以便丢弃均匀运动误差和/或热误差。

[0080] 利用空间中的矩形窗的第一执行模式是基于如图 4 所示的软件体系结构。

[0081] 第一和第二位置值 x_M 和 x_R 被提供给计算单元 20,所述计算单元 20 产生误差信号 $d = x_R - r x_M$ 。

[0082] d 和 x_R 的值被记录在两个大小为 n 的循环数组 44 和 45 中, n 例如是 50。

[0083] 下标 1 表示所记录的最近采样。根据预定的采样周期进行记录,所述预定采样周期例如是 2 毫秒。

[0084] 从这些记录的数据中提取最近连续采样的子集 $D = \{i : 1 \leq i \leq i_{\max}\}$,对于所述子集,所通过的位置的范围保持小于极限 L_x 或者空间窗的宽度,以便

$$[0085] \quad \sum_k |x_R(k) - x_R(k-1)| \leq L_x \quad \forall k \in D$$

[0086] 以局部均匀运动误差的周期的若干分之一来选择时间窗的宽度 L_x 是明智的:例如,对于 7mm 的周期,选择 $L_x = 0.1\text{mm}$ 是有利的。通过减小 L_x 来越来越多地忽略均匀运动缺陷,从而不允许除了涉及越来越多刚性构件之外的碰撞检测。大的空间窗 L_x 允许柔性构件的检测,但是均匀运动缺陷几乎未受减弱,并且同样必须选择大的检测电平 $L_{d,rel}$,因此减少了检测碰撞的方法的灵敏度。

[0087] 换句话说,可以将最近连续采样的子集 $43D = \{i : 1 \leq i \leq i_{\max}\}$ 看作滑动矩形空间窗,其中负载的动程 x_R 作为横坐标,误差 $d = x_R - r x_M$ 作为纵坐标。

[0088] 在所述窗 $\sum_k |x_R(k) - x_R(k-1)|$ 中考虑的路径在例如以 2 毫秒的规则间隔 h 进行瞬时采样的情况下保持与轴的速度无关是必需的。

[0089] 在此应该注意到,通过用与时钟的脉冲类似但由编码器 15(图 1)以例如 1 度的 1/100 的规则间隔 h 产生的脉冲代替例如时钟脉冲来获得的空间采样将使得有可能处理所述信号,下文将进行解释,仿佛轴的速度保持不变似的。

[0090] 碰撞的特征在于超过在子集 D 上 d 的动态范围的极限 $L_{d,rel}$,所述极限 $L_{d,rel}$ 将在下文进行定义,所述子集 D 是根据下述操作在矩形窗 43 中选择的:

$$[0091] \quad \Delta d_{\max} = \max_{k \in D} d_k - \min_{k \in D} d_k \geq L_{d,rel}$$

[0092] 其中 $\max d_k$ 是在子集 D 中 d 的最大值,而 $\min d_k$ 是在子集 D 中 d 的最小值。

[0093] 换句话说,每当更新由循环存储器实现的窗 43 的大小和内容时,就从相关采样的子集 D 中保留最大值 d 和最小值 d (记录),以便形成其差值,然后比较所述差值与阈值 $L_{d,rel}$ 。将值对 $x_R(k)$ 、 d_k 的每个采样以相同的权重存储在矩形窗中,因此称为矩形。

[0094] 阈值 $L_{d,rel}$ 与滑动窗 L_x 的宽度的预先选择,也就是说设备的校准需要在处于良好的工作运转状态的设备上进行。

[0095] 通过观测和分析局部均匀运动误差的幅度和形状来固定 $L_{d,rel}$ 的值。提出了根据涉及的驱动装置的实验特性来调整触发极限 $L_{d,rel}$ 。所述过程在于记录在所选择的子集 D 上

d 的变化范围,对于一定量的相关情形,其必须不触发碰撞检测,尤其是:

[0096] - 通过包括运动反向的快速运动以及例如以 0.1mm/s、1mm/s 和 10mm/s 速度的单位阶跃跳动的程控运动。

[0097] - 以各种速度的手控运动,包括慢的速度和以步进器模式的手控运动。

[0098] - 所谓的“加工馈送”或“加工退出”过渡周期,其特征在于通过一个没有加工的区域到一个有加工的区域,或者反之亦然。

[0099] 因此,对于正常操作估计了 $\Delta d_{\max} = \max_{k \in D} d_k - \min_{k \in D} d_k$ 的最高值。用足够的余量选择触发极限 $L_{d, \text{rel}}$,以便将 $L_{d, \text{rel}}$ 固定为 $\Delta d_{\max}$ 的最大值的 m%,所述 m 有利的是在 120 与 250 之间,非常有利的是在 140 与 200 之间,并且更可取的是等于 150。

[0100] 图 3f 示出对于高速运动的这种调整图,所述情形被确定为对于所涉及的驱动装置是最关键的情形。在 2 微米处标为 31 的 $\Delta d_{\max}$ 的最大值是在运动反向时达到的,因为在运动反向时恢复了能量。已经有可能将机械传动机构的均匀运动缺陷的影响减少到最大 0.8 微米,其在此图中标为 32。对于示出的情形,因此可以将触发极限选择为 $L_{d, \text{rel}} = 3$ 微米,同时允许 50% 的安全余量,这与现有技术中已知方法必需的且从图 3c 的观察中显示的 20 到 30 微米形成对比。

[0101] 由于本发明,所以碰撞检测阈值可以降低到与已知方法相比的六到七分之一。

[0102] 如图 3f 所示,在矩形窗 43 中的运算 “ $\max_{k \in D} d_k - \min_{k \in D} d_k$ ” 实现高通滤波,所述高通滤波从信号 d 中除去对应于大约 7mm 展周期以及热动式漂移的空间分量。用更一般的方式来表达,通过限制与受限动程有关的数据的相关空间域来消除传动机构的热动式和均匀运动误差的影响,因此将极限 $L_{d, \text{rel}}$ 置于较小值的可能性允许更好的灵敏度。

[0103] 在最普遍的情形下,当由时钟调节采样时,预定长度的空间窗的极限通常与变量对 x_R 和 d 的采样的测量时刻不一致。因此必须进行插值,所述插值在使用小量的采样、例如 3 个采样时的高速运动的情形下尤其有用。

[0104] 空间窗最近的空间极限未被插值,而距窗最远至为宽度 L_x 的最早空间极限形成对误差信号 d 的值的插值对象。

[0105] 然后将此插入值存储为空间窗的最早样本。如果采样 h 是空间的而不是时间的,则不需要插值。

[0106] 对于检测设备的实施例,更可取的是将上述操作合成为周期性调用的单个软件功能,例如以 2 毫秒的周期 h 进行调用。图 5 示出与基于此矩形窗的碰撞检测方法对应的流程图。在块 52 到 57 中包含块 51 的记录的管理,尤其是通过考虑到定义了子集 D 的一定的受限动程 L_x 的 d 的记录。如果在这个受限动程 L_x 上 $\Delta d_{\max}$ 的值等于或大于阈值 $L_{d, \text{rel}}$,则块 58 就检测到碰撞。

[0107] 这个记录的管理 51 包括下述步骤:

[0108] 52:首先确定在循环数组中关于位置和误差信号 $x_R(k)$ 、 $d(k)$ 的新信息的插入点。

[0109] 53:如果循环数组是满的,则删除最早的点,以便为新的数据项腾出空位;从在记录期间通过的总路径的长度中删除在段中通过从而除去的长度。

[0110] 54:插入关于位置 x_R 和误差信号 d 的信息。

[0111] 55:将通过的相应长度添加到在记录期间通过的总路径的长度。

[0112] 56:本发明的要点在于把被视为所通过受限长度的子集的数组的大小减小到 L_x 。这个确定相关子集 D 的运算需要遍历循环数组。相应的计算负担将循环数组的最大尺寸限制为可用计算单元的函数。对于记录的最早段,必须分别插值精确对应于长度 L_x 的点的坐标。在步骤 56 中的这个附加功能用来改善算法的精度,尤其在负载高速运动时,其中最终的采样数小,例如接近于 3。

[0113] 57:通过确定 $\Delta d_{\max}$ 来估计运动缺陷 d 的动态范围。

[0114] 58:最后,将动态范围 $\Delta d_{\max}$ 与极限 $L_{d,rel}$ 进行比较。

[0115] 图 6 示出了本发明在制动器 19 上的碰撞检测的应用,所述制动器 19 配备有如图 1 所示的弹性垫圈以及从其中产生与轴停止器的组合。图 6a、6b、6c 示出位置 x_R 、电动机电流 I_M 以及轴的误差信号或运动缺陷 d 随时间的变化。图 6d 表示此误差信号 d 随位置 x_R 的变化。下文详述连续的事件:

[0116] - 在接近阶段 62,信号 d 仍然很小,电动机电流 I_M 只用来补偿轴中的摩擦力,参见图 6b 的曲线 61。

[0117] - 在 62 表示的时刻,在机器的工作台上负载与制动器相撞,这位于 $x_R = 0$ 处。此后,信号 d 的幅度增加。在图 6b 中应该注意到,在其中轴与制动器相撞的时期 62 到 63 中观察到的电动机电流 I_M 的变化仅仅等于大约 0.5A。这比根据电流信号将允许应用碰撞检测过程的电平小。

[0118] - 失真的程控阈值 $L_{d,rel} = 5$ 微米在时刻 $t = 0$ 时的 63 处被超过。因此,然后将检测到的碰撞发信号通知轴的伺服控制。

[0119] - 所述碰撞在其被检测之后 16 毫秒、在 64 表示的时刻处被予以考虑。然后指示轴的受控停止器,这是通过减速的电流尖峰来显示的,在图 6b 中可清晰地看见。在碰撞检测与停止器指示之间的延迟产生传动机构的附加失真(5 微米),因此导致附加的力。

[0120] - 碰撞信号在 65 的整个范围中保持有效。如在此说明的实验中一样,未考虑由碰撞引起的约束的松弛运动,电流继续增加直到 1.2A。当然,对于待程控的设备的数控来说,有可能发出轴命令,确保在具有或不具有应力松弛运动的负载的停止。

[0121] 虽然上文描述的关于矩形滑动空间窗的原理的执行模式是精确的,但它仍然相对较复杂。必须管理循环存储器,其中存储了数目为 n 的采样,例如 50 个,从中提取可变数量的相关采样,从 3 到 50,取决于速度是大还是小。

[0122] 一般通过时钟来调节采样,因此采样与用于观察所述现象的相关空间边界不一致。这使得尤其在保持的采样数目小时,必须通过在最早的采样上插值来进行校正,以便保证精度。

[0123] 为了确定误差信号的动态范围,每当调用软件功能时,必须检查所有采样,因此需要适当的定尺寸,以便不超过处理器计算环的极限宽度。

[0124] 假定一个适度的加速,例如与快速采样周期 $2m/sec$ 相关的本例中的约为 $0.5m/sec^2$,通过空间不变一阶线性滤波器(LSI)的数值积分,使得有可能提供如图 8 中概括的更简单更经济的执行模式。这个滤波器在数字上包含、在时间上周期性调节的性能的特征在于空间常数 x_s 。

[0125] 主要的操作包含在块 81 中,并且在于实现到由采样时钟调节的误差信号 $d(k)$ 的时间信息的空间域中的映射。块 81 包含用于通过特征在于空间常数 x_s 的 LSI 来管理 d 的

记录的块 82、83、84、85。应该注意到, x_s 类似于定义第一执行模式的 D 的动程 L_x , 所述第一执行模式在受限动程上实现对数据的相关域的限制。

[0126] 块 86 通过执行与阈值 $L_{d, rel, Isi}$ 的比较来检测碰撞。

[0127] 块 82 到 85 与图 5 的块 52 到 57 类似, 并且将使得有可能理解由第二执行模式提供的简化。

[0128] 在 LSI 滤波器和块 82 的输入处, 再次发现如在图 5 中块 52 的输入处存在的相同变量 $x_R(k)$ 、 $d(k)$ 。

[0129] 必须将块 84 的表达式 $\xi(k) = a_1(k) \xi(k-1) + b_0(k) d(k)$ 看作在信号 $d(k)$ 上的低通滤波器。

[0130] $\xi(k-1)$ 表示在前一计算环期间 $\xi(k)$ 的状态, 也就是说, 例如在当前时刻之前 2 毫秒。

[0131] 换句话说, $\xi(k-1)$ 是误差信号记录的存储器, 其可与图 4 的第一执行模式的循环存储器 44 相比。在此将会注意到, 第二执行模式只使用了单个存储位置来存储记录, 而第一执行模式则通过其例子被设想一直到 50。

[0132] 根据块 84 的表达式, $\xi(k)$ 的计算取决于空间滤波器参数 $a_1(k)$ 和 $b_0(k)$, 所述参数 $a_1(k)$ 和 $b_0(k)$ 先在 83 处进行计算, 然后在每计算周期进行更新, 所述每计算周期例如是每 2 毫秒。

[0133] $b_0(k)$ 仅仅是从 $a_1(k)$ 得出的, 即 $b_0(k) = 1 - a_1(k)$ 。

[0134] 在 83 处记录的指数律显示了滤波常数取决于在块 82 中所计算的上一个周期 $\Delta x_R(k) = x_R(k) - x_R(k-1)$ 期间通过的路径。

[0135] $a_1(k) = \exp \left(- \frac{|\Delta x_R(k)|}{x_s} \right)$ 其中 x_s [微米] 是指数窗的空间常数, 参见图 7a、

7b 以及下文中它的解释。常数 x_s 可与第一执行模式的矩形空间窗 L_x 的宽度相比, 所述第一执行模式对应于在受限动程上数据的相关域的限制。

[0136] 根据这个过程的 $a_1(k)$ 的计算确保了在瞬时采样的情况下滤波器的输入 / 输出特性与轴的速度无关, 因此实现了到由采样时钟调节的时间信息的空间域中的映射。

[0137] 如果轴的速度是不变的或者如果直接执行空间采样, 则 $a_1(k)$ 和 $b_0(k)$ 被固定。

[0138] 如上所述, 在图 8 的块 84 中用符号表示的表达式 $\xi(k)$ 是在误差信号 $d(k)$ 上的低通滤波器。

[0139] 换句话说, $\xi(k)$ 只保留误差信号的分量, 所述分量以低的空间频率为特征, 并在图 3 表示的情况中对应于均匀运动缺陷, 更确切地说, 对应于大约 7mm 的展周期以及热动式漂移。

[0140] 最后, 图 8 的块 85 的表达式 $y(k) = -\xi(k) + d(k)$ 应该被看作与块 84 的低通滤波器 $\xi(k) = a_1(k) \xi(k-1) + b_0(k) d(k)$ 互补的高通滤波器, 其执行类似于第一执行模式的 “ $\max_{k \in D} d_k - \min_{k \in D} d_k$ ” 的运算, 并且其从信号 $d(k)$ 中除去希望容许的空间分量。

[0141] 因此, 这个由块 84 和 85 执行的空间滤波使得有可能消除均匀运动传动误差的影响, 并且使得在块 86 的运算 $|y(k)| > L_{d, rel, Isi}$ 中的碰撞检测极限 $L_{d, rel, Isi}$ 可以置于较低值, 导致对希望检测的碰撞的风险有更好的灵敏度。

[0142] 如上已经描述的, $\xi(k-1)$ 是误差信号的记录的存储器,其可与图 4 的第一执行模式的循环存储器 44 相比;然而,在此第二执行模式中,需要单个存储位置来存储记录。通过下文阐述的指数窗原理以及通过下述事实使得这种简化成为可能:在积分中考虑的每个采样在其中分担一个根据指数衰减都是较小的权重,此外它来自于最近的采样,而不像对于第一执行模式的矩形窗,其中存储的采样在距离 L_x 以外全部被清除。

[0143] 图 7a 到 7h 示出实现指数窗的 1 阶空间不变滤波器 (LSI) 的特征。对于所说明的情况,以下述方式选择滤波器 $d(k)$ 的输入:对于所有的 $x_R(k) < 0$, $d(k) = 0$, 以及对于所有的 $x_R(k) \geq 0$, $d(k) = 1$ 。这个示例性滤波器是由其空间常数 $x_s = 1$ 的值确定的,于是其特征在于在位置信号 $x_R(k)$ 与输出信号 $y(k)$ 之间的关系式,其对于所有单调遍历 $x_R(k)$ 都相同。图 7a、7c、7e 和 7g 示出了平均速度为 $v_0 = 0.05\text{mm/sec}$ 的快速运动。图 7b、7d、7f 和 7h 示出了在所通过的相同路径上的特性,但以较低的平均速度 $v_0 = 0.005\text{mm/sec}$ 通过。在这两种情况下,已经增加了小的正弦分量。

[0144] 在图 7a 中,借助于叉形示出了连续的采样。标为 71 的区域对应于较快的运动,这与区域 72 中的相反。运动的瞬时速度通过作为采样 k 的函数的位置 $x_R(k)$ 的斜率来显示,其显示在图 7c 中。在第 48 个采样之后,位置 $x_R(k) = 2$ 被超过。在图 7g 和 7e 中分别绘出了滤波器的输入信号及相应的输出信号的变化。

[0145] 图 7b、7d、7f 和 7h 的特征在于由较低的平均速度引起的较大的采样密度。

[0146] 当然,上述实施例并没有显示对特征的限制,而是可以在如由权利要求 1 限定的框架内以任何希望的方式进行修改。尤其是,所述应用使得有可能第二执行模式不局限于使用简单的 1 阶空间不变滤波器 (LSI)。上述解释使得有可能在空间域中实施高通和低通滤波器,以便消除大部分均匀运动缺陷。通过选择空间常数 x_s 的其它值,数字滤波器的理论使得有可能扩展所述过程以及组合众所周知的带阻或带通滤波器,以便仍然可更精细地提取误差信号的容许均匀运动分量。所述设备及方法也适用于具有若干轴的装置和机器以及旋转或任何非线性运动。

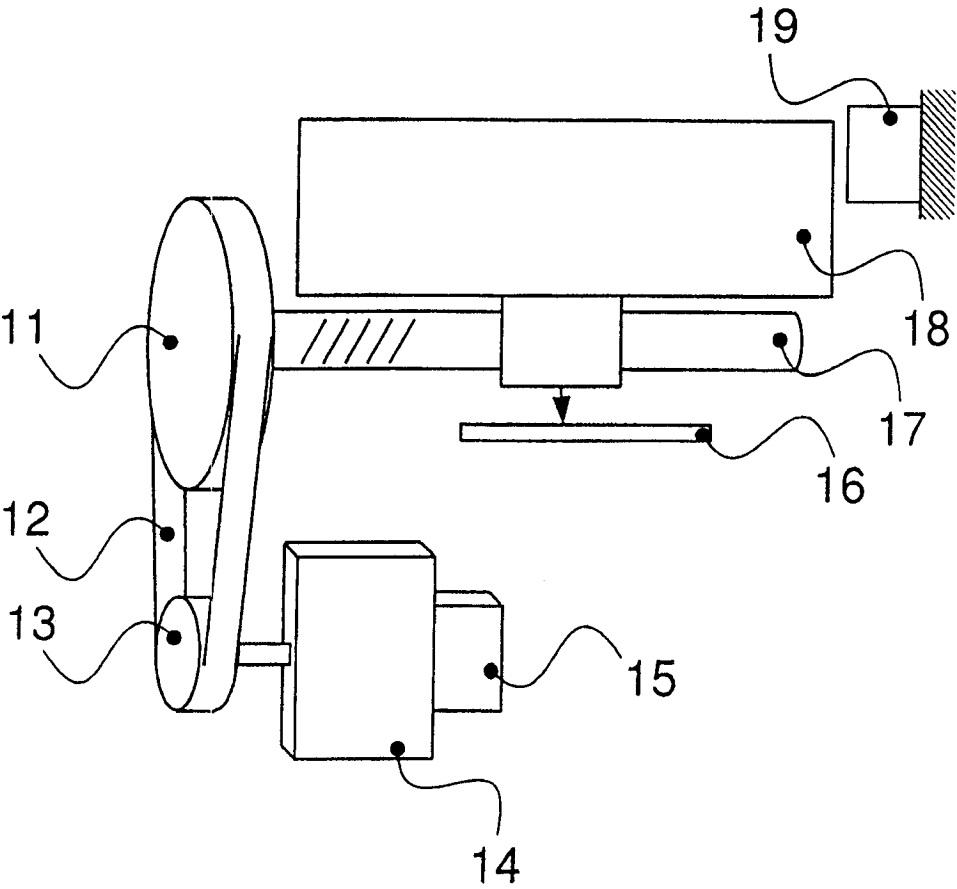


图 1

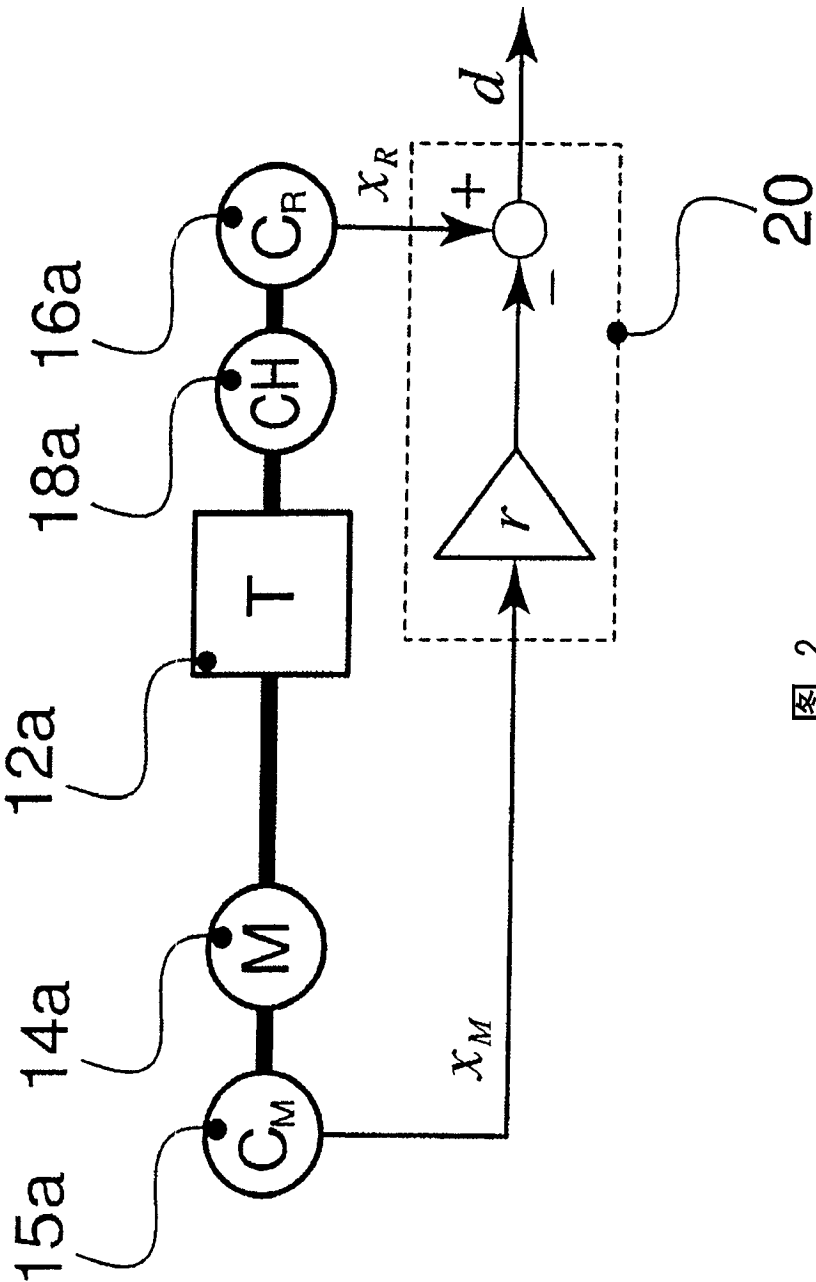


图 2

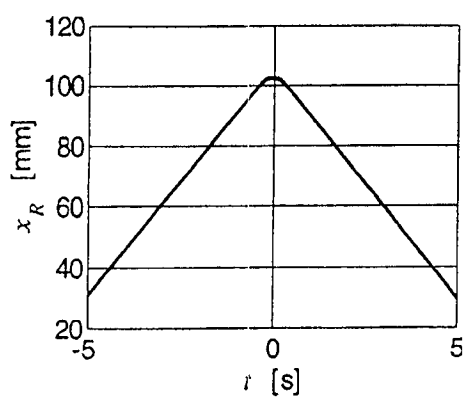


图 3a

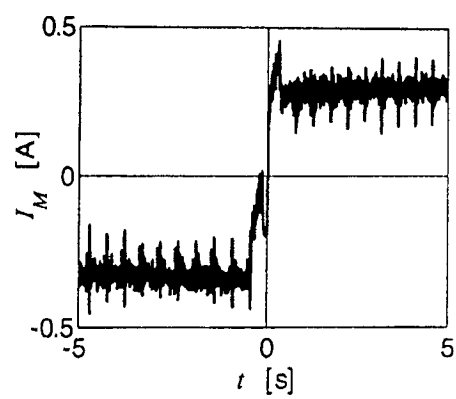


图 3b

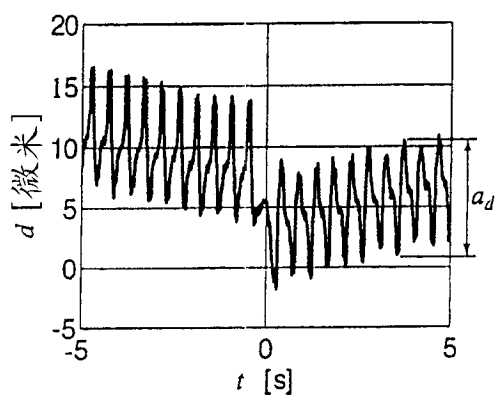


图 3c

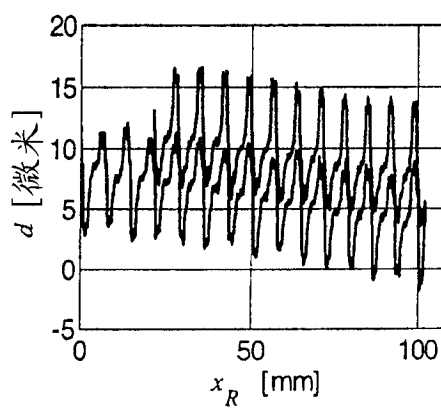


图 3d

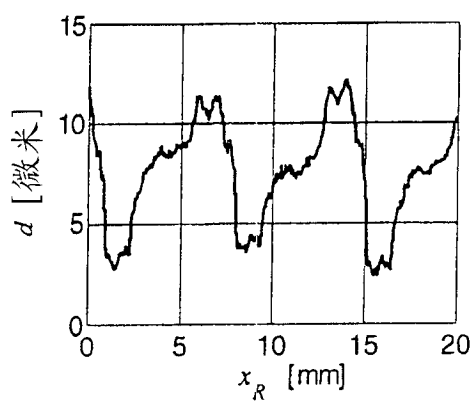


图 3e

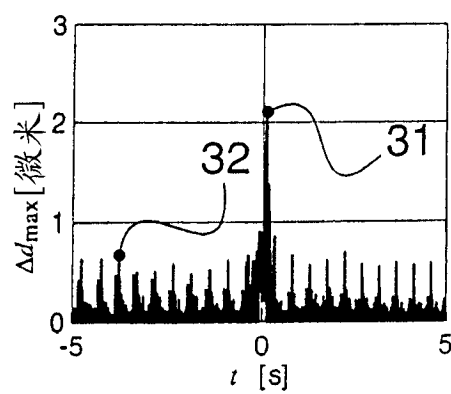


图 3f

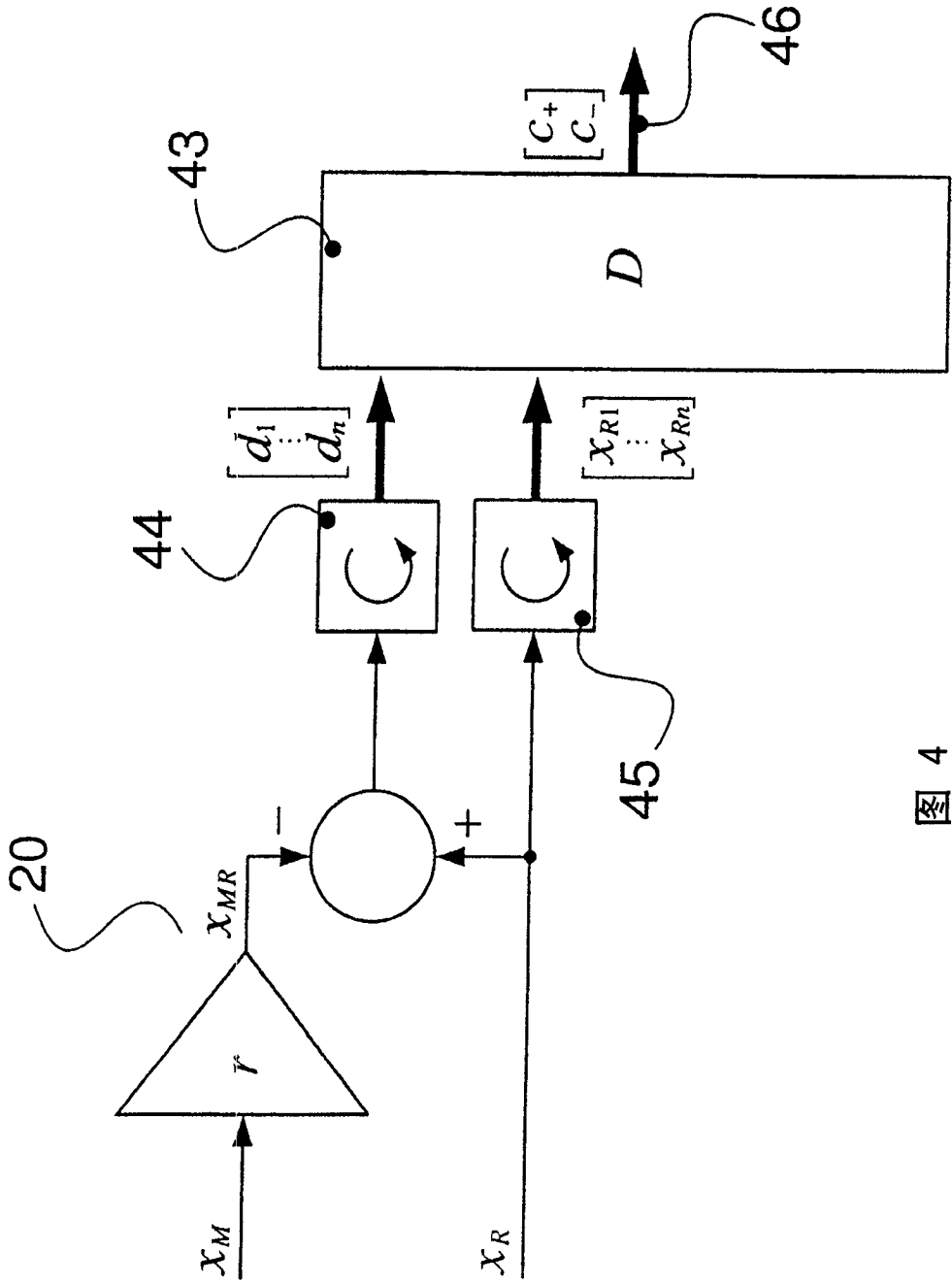


图 4

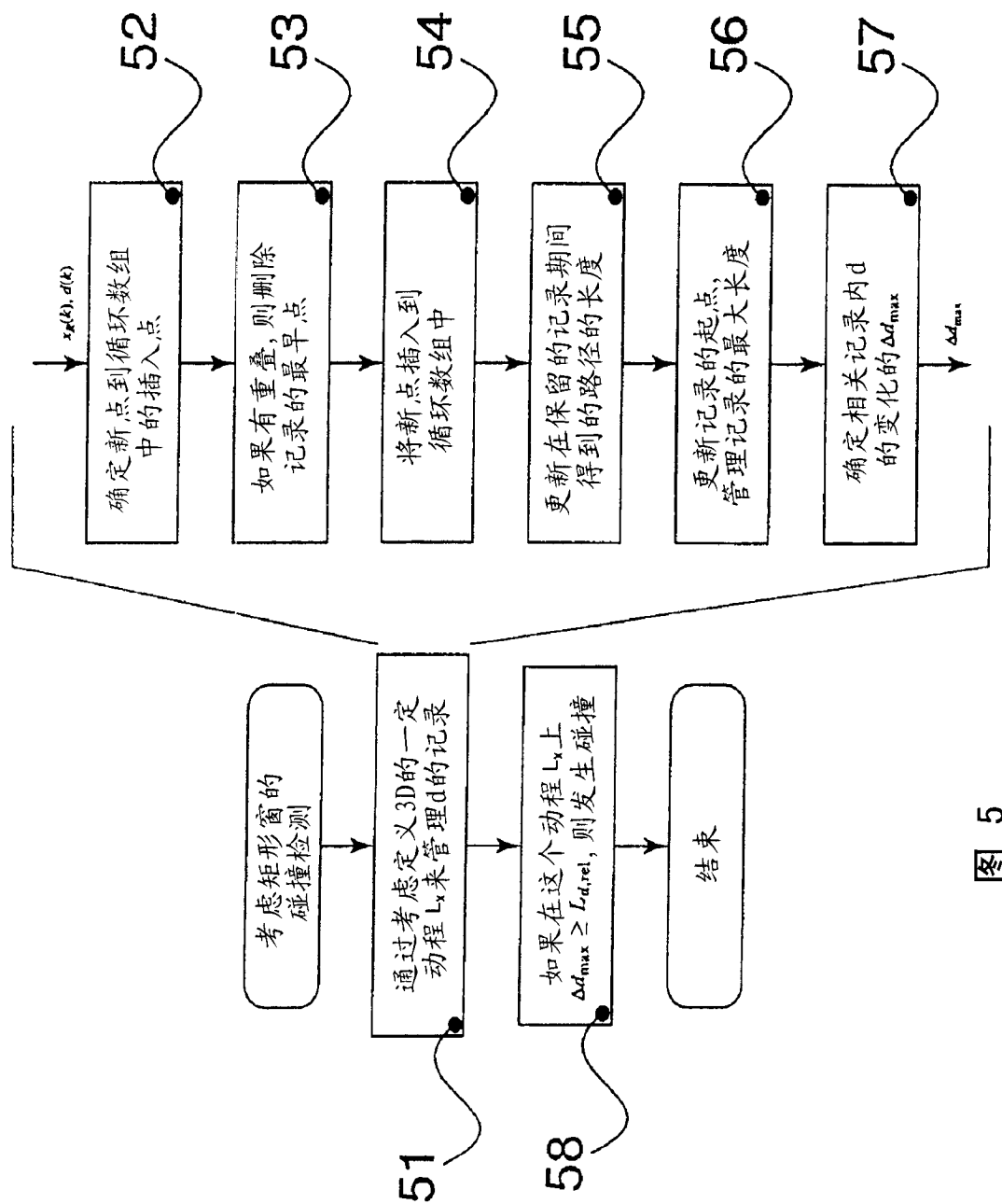


图 5

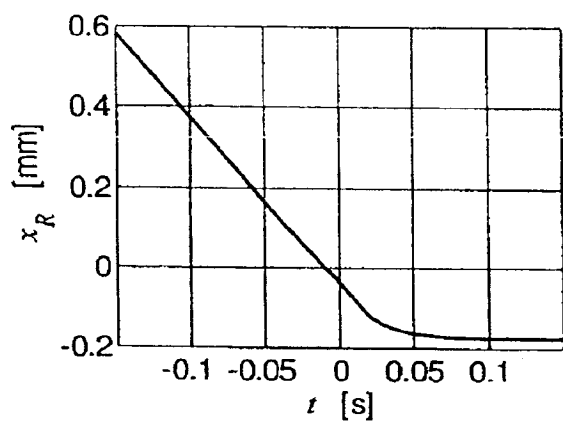


图 6a

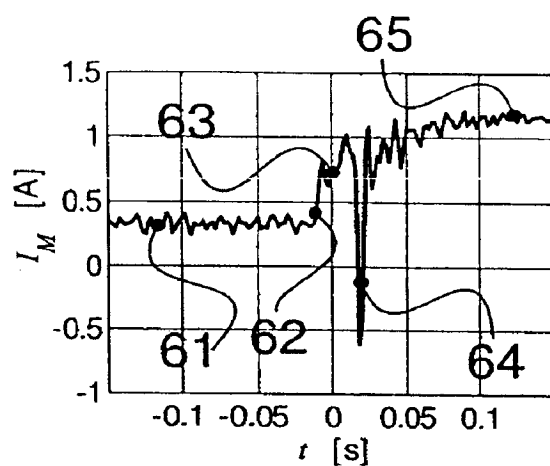


图 6b

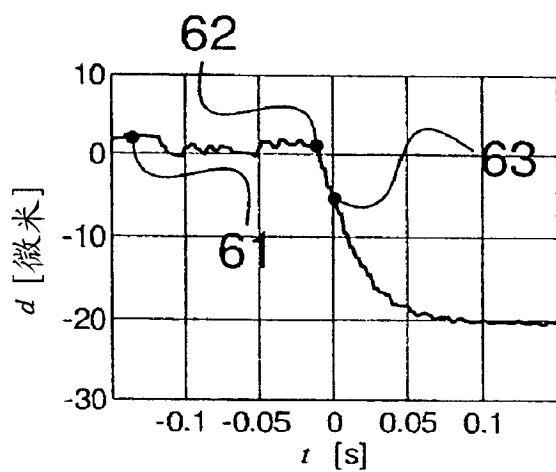


图 6c

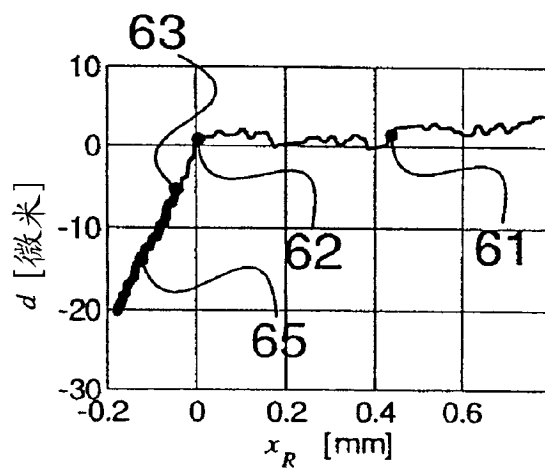


图 6d

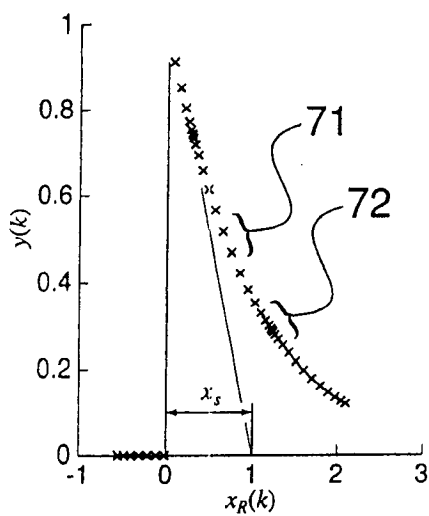


图 7a

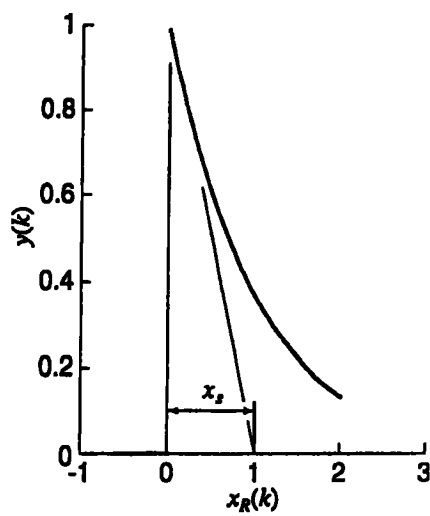


图 7b

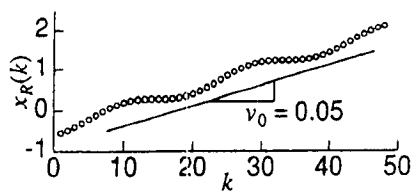


图 7c

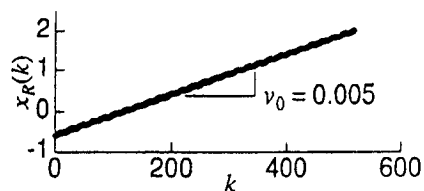


图 7d

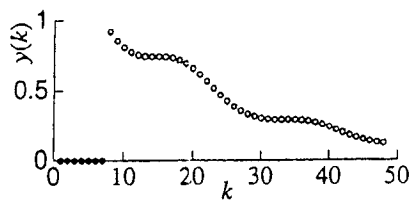


图 7e

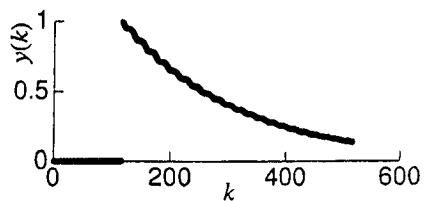


图 7f

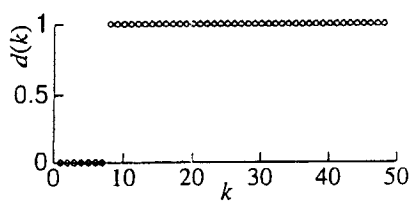


图 7g

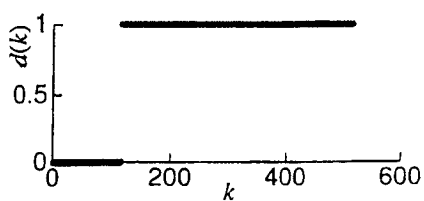


图 7h

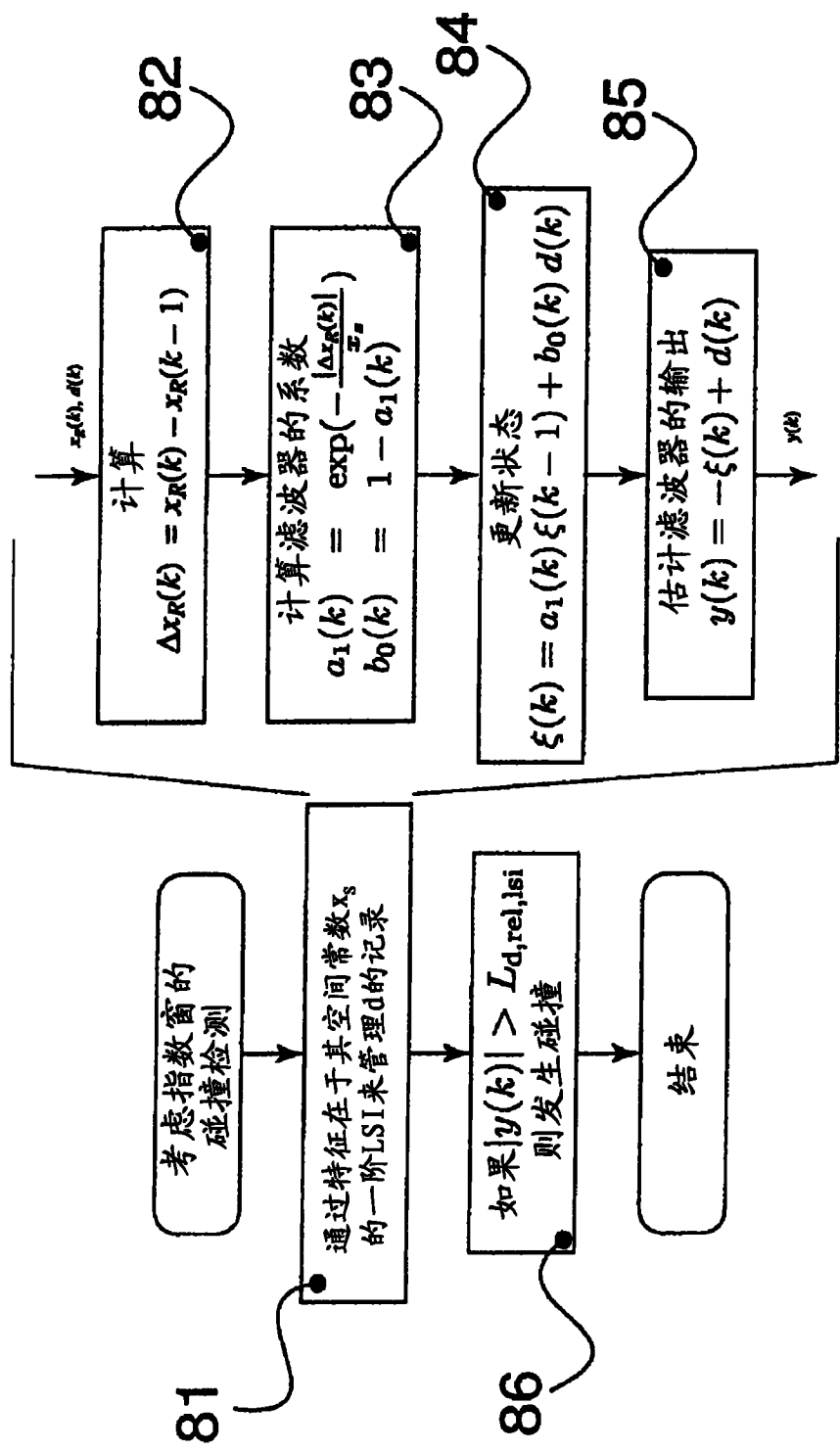


图 8