



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01140201.6

[45] 授权公告日 2005 年 8 月 31 日

[11] 授权公告号 CN 1217248C

[22] 申请日 2001.12.5 [21] 申请号 01140201.6

[30] 优先权

[32] 2000.12.6 [33] JP [31] 371386/2000

[71] 专利权人 山崎恒彦

地址 日本名古屋市

[72] 发明人 山崎恒彦 大西公平 宫川直臣

井上利彦

审查员 朱 骥

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

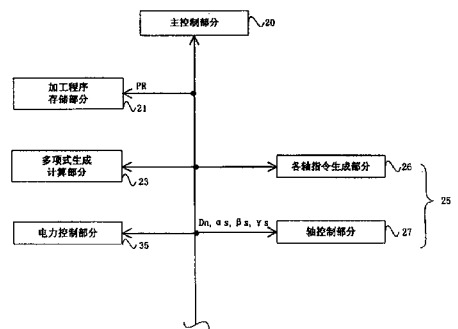
代理人 马江立 陈海红

权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 7 页

[54] 发明名称 数控方法

[57] 摘要

一种数控方法，在一边控制控制轴，一边使控制对象物沿着规定的轨迹移动的数控方法中，在用空间多项式近似轨迹的同时，把多项式变换为作为时间函数的多项式，对各控制轴分配经变换的作为时间函数的多项式，根据被分配给各轴的作为时间函数的多项式，生成在各控制轴中的控制指令，根据控制指令，控制各控制轴，使控制对象物沿着轨迹移动。通过微分用时间函数表示的多项式，就可以预先对各轴简单地求得控制对象的速度、加速度、加加速度。通过控制控制对象物，使其沿着多项式表示的轨迹移动，就可以降低进给不匀和位置偏差，可以高精度地进行曲面加工等。



1. 一种数控方法，在一边控制关节空间上的各控制轴，一边使控制对象物沿着规定的轨迹移动的上述数控方法中，其构成是：

在用作业空间上的空间多项式近似前述轨迹的同时，

生成将该空间多项式的不依赖于时间的变量 λ 变换为时间 t 的函数的时间变量型多项式，

将前述变换后的时间变量型多项式相对于前述关节空间上的各控制轴进行变换，

根据对于前述关节空间上的各控制轴的变换后的时间变量型多项式，生成在前述关节空间上的各控制轴的控制指令，

根据前述控制指令，控制前述关节空间上的各控制轴，使前述控制对象物沿着前述轨迹移动。

2. 如权利要求1所述的数控方法，前述控制指令，是根据以下的指令生成的：根据前述时间变量型多项式的位置指令；一阶微分前述时间变量型多项式后的速度指令；二阶微分前述时间变量型多项式后的加速度指令。

3. 如权利要求1所述的数控方法，其特征在于：前述控制指令的执行，是通过根据前述时间变量型多项式计算控制对象物还未移动的在未来时刻的位置、速度后发出指令进行的。

数控方法

技术领域

本发明涉及可以高精度进行曲面加工等的数控方法。

背景技术

图 7 是展示以往的伺服控制装置的模式图。在激光加工机和自动切换数控机床（加工中心）等中使用的以往的伺服控制装置 60，在用 3 维空间位置指令进行各轴的伺服控制时，根据用加工程序等指示的空间位置指令和速度指令，在轴指令生成部分 50 中生成对各控制轴的移动指令，这些指令是用于实现该位置指令以及速度指令所必须的。

把这样生成的对各轴的移动指令输出到对应的轴控制部分，在轴控制部分中，根据该移动指令驱动电机。此时，电机的位置、速度以及加速度在每一采样时间中被反馈，以计算适宜的电机速度以及加速度。

但是，在这样由反馈来确定速度以及加速度等的控制参数的方法中，控制参数是根据在某一采样时间中的，轴已经偏离目标的状态计算的。因而，由该控制参数控制的控制轴，不是根据控制轴目前时刻的状态，而是根据控制轴在规定采样时间前的状态控制，因而在控制中产生滞后，在高速进给下进行加工时，或编程如急剧变化地切削曲线那样的刀具轨迹时，由于控制滞后，误差累计起来，进行适当的控制很困难。

例如在图 7 所示的伺服控制装置 60 中，对各轴指令生成部分 50

赋予作为刀具运动的作业空间（3 维空间）内的轨道的空间位置指令 PC 和速度指令 VC（进而，也可以对各轴指令生成部分 50 赋予速度过调节指令 OC）。各轴指令生成部分 50 接收这些指令 PC、VC，对要控制的各轴 S_n ($n=1, 2, \dots, 5$) 生成包含了加减速度的已确定的在每一采样时间 s 的位置指令 D_n 。

在针对各轴 S_n 的轴控制部分 51 中，根据该轴 S_n 的位置指令 D_n 生成在伺服控制中所需要的速度指令、加速度指令（或者电流指令），通过由位置回路 52 进行基于位置指令 D_n 的位置控制，由速度回路 53 进行基于速度指令的速度控制，由加速度回路 55 进行基于加速度指令的加速度控制，由这些分别的控制，再通过控制涉及该轴 S_n 的电机 M 的电力的电力控制部分 56 进行轴伺服控制。但是在上述以往的伺服控制装置 60 中，因为在各轴 S_n 的轴控制部分 51 中，根据那一时刻的控制轴的状态生成速度指令以及加速度指令，所以速度、加速度的控制具有滞后成分。特别是在作为线性插补（或者圆弧插补）的微小分割进行的样条插补中，滞后成分的影响大。因而，作为各轴的合成运动作业点的动作是不平滑的，包含进给不均匀，控制中包含了指令轨道和作业点轨道的轨道误差。

另外在该控制体系中，在控制理想的控制对象机械的情况下，即未考虑控制对象机械所具有的非线性成分的情况下，在样条插补等中，如上所述，在空间位置指令是沿着具有大曲率的轨道的指令时，需要对速度、加速度的急剧变化进行控制。以往，在该控制中的速度、加速度指令，在轴控制部分 51 中，因为是根据当前的采样时刻的位置指令制成的，所以不能进行充分的控制，和指令间的误差大，其结果，产生作为加速度积分的进给不均匀，还产生作为进给不均匀的积分的位置偏差。

发明内容

本发明鉴于上述问题，提供一种数控方法，其目的在于可以降低进给不均匀和位置偏差，可以高精度地进行曲面加工等。

技术方案1的发明所涉及的一种数控方法，在一边控制关节空间上的各控制轴，一边使控制对象物沿着规定的轨迹移动的上述数控方法中，其构成是：

在用作业空间上的空间多项式近似前述轨迹的同时，

生成将该空间多项式的不依赖于时间的变量 λ 变换为时间 t 的函数的时间变量型多项式，

将前述变换后的时间变量型多项式相对于前述关节空间上的各控制轴进行变换，

根据对于前述关节空间上的各控制轴的变换后的时间变量型多项式，生成在所述关节空间上的各控制轴的控制指令，

根据前述控制指令，控制前述关节空间上的各控制轴，使前述控制对象物沿着前述轨迹移动。

如果采用技术方案1，则焊枪前端(或者刀具前端)的速度、加速度、加加速度，就可以通过微分被变换为时间函数的多项式简单地求得，而不会产生对各控制轴的时间滞后。因为是根据这样求得的速度、加速度等的控制参数驱动控制各控制轴，所以可以预见控制对象物未来的移动状态，进行预见控制，使得控制和该预见一致。由此，可以提供能减少进给不均匀和位置偏差，高精度地进行曲面加工等的数控方法，它可以控制控制对象物沿着多项式表示的轨迹正确地移动。

技术方案2的发明所涉及的数控方法，其中前述控制指令，是根据以下的指令生成的：根据前述时间变量型多项式的位置指令；一阶微分前述时间变量型多项式后的速度指令；二阶微分前述时间变量型多项式后的加速度指令。

进而,也可以利用3次微分上述经变换的作为时间函数的多项式的加加速度指令等,以具有3次以上的高次微分的多项式求得。

技术方案3的发明所涉及的数控方法,其特征在于:前述控制指令的执行,是通过根据前述时间变量型多项式计算控制对象物还未移动的在未来时刻的位置、速度后发出指令进行的。

如果采用技术方案2以及3的发明,则可以生成没有时间滞后的位置指令、速度指令、加速度指令等,可以进行预见控制,对于各控制轴来说即使在因曲线急转等的速度向量或加速度向量急剧变化的情况下,也很容易对应。

附图简述

图1是展示本实施方案的激光加工机控制构成的方框图。

图2是展示伺服控制装置的模式图。

图3是展示本实施方案的激光加工机的外观的图。

图4是展示多轴控制程序(算法)的一例的流程图。

图5是展示相对2维平面曲线的,各控制轴的指令生成过程的图。

图6是展示相对2维平面曲线的,各控制轴的指令生成过程的图。

图7是展示以往的伺服控制装置的模式图。

以下,根据附图说明本发明的实施例。

具体实施方案

图3是展示本实施方案的激光加工机的外观的图。本实施方案的激光加工机1,如图3(a)所示,具有基座2,在基座2上设置有在水平的X轴方向上驱动自如移动的台3。在台3上可以自如地设

置要加工的工件 W。在该基座 2 上设置有支柱 5，它跨越在上述台 3 上方，在该支柱 5 上设置有滑鞍 6，它可以在水平的 Y 轴方向上（和上述 X 轴方向正交的方向）驱动自如移动。

在上述滑鞍 6 上设置有机头组件 7，它可以在作为上下方向的 Z 轴方向上驱动自如移动。在机头组件 7 上，如图 3 (b) 所示，由以下部分构成：第 1 部分 7a，位于滑鞍一侧；第 2 部分 7b，被设置成以与 Z 轴平行的上述第 1 部分 7a 的轴心 CT1 为中心，相对上述第 1 部分 7a 在 A 轴方向上驱动自如转动；第 3 部分 7c，被设置成以与水平的上述第 2 部分 7b 的轴心 CT2 为中心，相对上述第 2 部分 7b 在 B 轴方向上驱动自如转动；焊枪 7d，被设置在该第 3 部分 7c 的前端一侧。进而，未图示的激光发振装置，被设置成可以使激光光自如地从焊枪 7d 射出。

如上所述，激光加工机 1，一边分别驱动台 3 在 X 轴方向移动，驱动滑鞍 6 在 Y 轴方向移动，驱动机头组件 7 在 Z 方向移动，驱动焊枪 7d 在 A 轴以及 B 轴方向移动，并分别确定其位置，一边在 3 维空间上改变被设置在台 3 上的工件 W 和焊枪 7d 前端的相对位置，从焊枪 7d 射出激光，进行相对上述工件 W 的 3 维加工。

图 1 是展示本实施方案的加工机的控制构成的方框图。如图 1 所示，激光加工机 1 具有主控制部分 20，在该主控制部分 20 中设置有加工程序存储部分 21；多项式生成计算部分 23；各轴指令生成部分 26；轴控制部分 27；电力控制部分 35 等。进而，由各轴指令生成部分 26 和轴控制部分 27 构成伺服控制装置 25。

因为激光加工机 1 如上述那样构成，所以可按以下那样用该激光加工机 1 对工件 W 进行加工。操作者预先用示教机等制成加工程序 PR（进而，该加工程序 PR，也可以用 CAD、CAM 等制成）。如图 1 所示，被制成的加工程序 PR 被存储在激光加工机 1 的加工程

序存储部分 21 中。

如果由操作者输入加工开始命令，则主控制部分 20 根据该命令读出被存储在加工程序存储部分 21 中的上述加工程序 PR，生成用该加工程序 PR 表示的，指示焊枪相对工件的移动位置的空间位置指令 PC，以及作为此时移动速度的速度指令 VC，即根据刀具的相对移动轨迹，在多项式生成计算部分 23 中生成时间变量多项式 $P(t)$ 。以下，在各轴指令生成部分 26 中进一步根据该时间变量多项式 $P(t)$ 生成位置指令 $D1$ 、速度指令 α_s 、加速度指令 β_s 、加加速度指令 γ_s 等的指令，并输出到各轴的轴控制部分 27，用于使焊枪 7d 相对台 3 上的工件移动。

图 2 是展示伺服控制装置的模式图，设轴 S1、S2、S3、S4、S5 与 X 轴、Y 轴、Z 轴、A 轴、B 轴对应。

即，多项式生成计算部分 23，根据在加工程序 PR 中所示的，指示焊枪相对工件的相对移动位置的空间位置指令 PC，以及作为此时的移动速度的速度指令 VC，如在图 4 的多轴控制程序 MAC 的步骤 S1 中所示，生成空间多项式，用于近似地表现用这些指令生成的空间内的刀具轨迹。如图 4 所示，这是在空间中的任意曲线（包含直线）被分割成多条线段后，利用能以样条函数和 NURBS 函数等的多项式近似的公知的性质的结果，例如，变为如图 4 (A1) 所示的向量计算式：

$$P(\lambda) = A\lambda^3 + B\lambda^2 + C\lambda + D \cdots (A1)$$

用该多项式无论是样条曲线还是直线、圆弧等都可以正确的表现。(A1) 式，例如在要控制的轴是 X、Y、Z 这 3 个轴的情况下，可以用 (A2) 式展开。

在此，进入多轴控制程序 MAC 的步骤 S2，因为可以把空间多项式的 λ 作为时间 t 的函数表现，

$$\lambda = \alpha (t) \quad (\alpha \text{ 是 } t \text{ 的函数})$$

$t = \text{移动距离} / \text{进给速度}$

所以空间多项式 (A1) 代入 $\lambda = \alpha (t)$ ，被变换为时间变量多项式 (A3)：

$$P(\alpha(t)) = A(\alpha(t))^3 + B(\alpha(t))^2 + C(\alpha(t)) + D \cdots \quad (A3)$$

由此，加工程序 PR 指示的刀具轨迹，因为用式 (A3) 的时间函数表现，所以此后，在多轴控制程序 MAC 的步骤 S3 中，从该时间变量多项式 (A3) 得到位置的表示式，通过微分多项式 (A3)，得到速度的表示式，进而通过微分速度的表示式，得到加速度的表示式，进而通过微分该加速度的表示式，得到加加速度的表示式。这些式子，被输出到各轴指令生成部分 26，各轴指令生成部分 26，通过在该式子中代入规定的采样时间，可以立即得到在目标采样时间中的位置、速度、加速度以及加加速度，而不产生时间滞后。

即，在任意时刻中的焊枪前端的速度、加速度、加加速度，通过微分用该时间函数表示的时间变量型多项式进行，可以简单地求得而没有滞后因素。这样，在已得到刀具轨迹、即，已得到焊枪前端的速度、加速度、加加速度指令等时，在多轴控制程序 MAC 的步骤 S4 中，用反运动学、反雅可比矩阵等，将焊枪前端的位置、速度、加速度、加加速度的表示式，分配给构成关节空间的各控制轴，求出与各控制轴有关的速度、加速度、加加速度的表示式。

各轴指令生成部分 26，在多轴控制程序 MAC 的步骤 S5 中，根据已求得的与各控制轴有关的速度、加速度、加加速度的表示式，求在任意时刻中各轴的速度、加速度、加加速度，作为位置指令 D_n 、速度指令 α_s 、加速度指令 β_s (或者电流指令)、加加速度 γ_s 输出到轴控制部分 27。各轴的轴控制部分 27，因为可以预先得到未

来任意时刻的速度、加速度、加加速度，所以在未来的各采样时间中，只要控制各轴达到预先得到的速度、加速度、加加速度即可（预见控制），可以进行没有时间滞后的正确的控制。因而，该传递函数 $G(S)$ ，如步骤 S6 以及式 (A4) 所示，无限接近 1，可以进行没有形状误差的正确的加工。进而还可以给予各轴指令生成部分 26 速度过调节指令 OC。

在各轴 S_n 的轴控制部分 27 中，用已接收的位置指令 D_n 、速度指令 α_s 、加速度指令 β_s （或者电流指令）、加加速度 γ_s ，分别由位置回路 30 进行基于位置指令 D_n 的位置控制，由速度回路 31 进行基于速度指令 α_s 的速度控制，由加速度回路 32 进行基于加速度指令 β_s 的加速度控制，由加加速度回路 33 进行基于加加速度指令 γ_s 的加加速度控制，由此通过控制与该轴 S_n 有关的电机 M 的电力的电力控制部分 35 进行轴伺服控制。

通过这样在各轴 S_n 中进行轴伺服控制，由于激光加工机 1 的焊枪 7d 的前端在以一定速度移动于空间的形式下，在 3 维空间上改变和工件 W 的相对位置关系，与此同时从焊枪 7d 射出激光，因而可以如上述的加工程序 PR 那样，进行相对上述工件 W 的 3 维加工。因为近似移动轨迹的多项式用时间轴函数表现，可以预先计算焊枪移动的在未来时刻的位置、速度、加速度、加加速度等并发出指令，因而，根据该多项式控制的焊枪，可以防止由于移动速度、移动方向的急剧变化引起的加工不均匀，可以进行高精度加工。

另外在本实施方案中的控制系统，因为用基于时间轴函数的多项式近似轨道，所以没有来自控制系统的位置偏差，而只有在空间位置指令的近似中的位置偏差。在该控制系统中要求精度的情况下，因为只须考虑指令阶段的误差，所以容易控制精度。

在图 5 以及图 6 中，展示在 2 维平面上的刀具轨迹（焊枪轨

迹)的控制中适用本发明的例子。即, X-Y 平面的曲线 LIN, 如图 5 所示, 当作为刀具轨迹表现的情况下, 该曲线 LIN 被点 P_{n-1} 、 P_n 、 P_{n+1} ……分割成多条线段 L_i , 连接这些点 P_{n-1} 、 P_n 、 P_{n+1} ……的曲线(包含直线), 如式(B1)以及(B2)所示, 用空间多项式定义。

如果设该已定义的曲线的全长为 L , 则全长 L 可以用式(B3)表现, 构成曲线 LIN 的线段 ΔL_i , 可以用式(B4)定义。通过给予在该曲线 LIN 上具有时间变量 t 的, 用式(B5)所示的速度函数 $F(t)$ 的速度曲线, 使式(B4)和式(B5)相等, 就可以得到式(B6), 可以使 λ 和时间 t 相关。

如图 6 所示, 把它代入式(B1)、(B2), 可以得到时间变量型多项式。此后, 根据多轴控制程序 MAC 的步骤 S3、S4, 分配给各控制轴, 如上述那样进行分配给各控制轴的在关节空间中的控制。

进而, 上述的实施方案, 叙述了本发明的数控装置控制激光加工机的情况, 但本发明并不限于激光加工机的控制, 可以适用于全部的进行轴控制、移动控制控制对象物的控制装置。进而, 控制轴数并不限于 5 根轴, 也可以对 4 轴以下、6 轴以上的控制轴进行控制。

以上, 根据实施方案说明了本发明, 但在本发明中所述的实施方案只是事例, 并没有限定。另外, 本发明的范围用附加的技术方案示出, 并不局限于实施方案的记述。因而, 属于技术方案的变形和变更, 全部是本发明的范围。

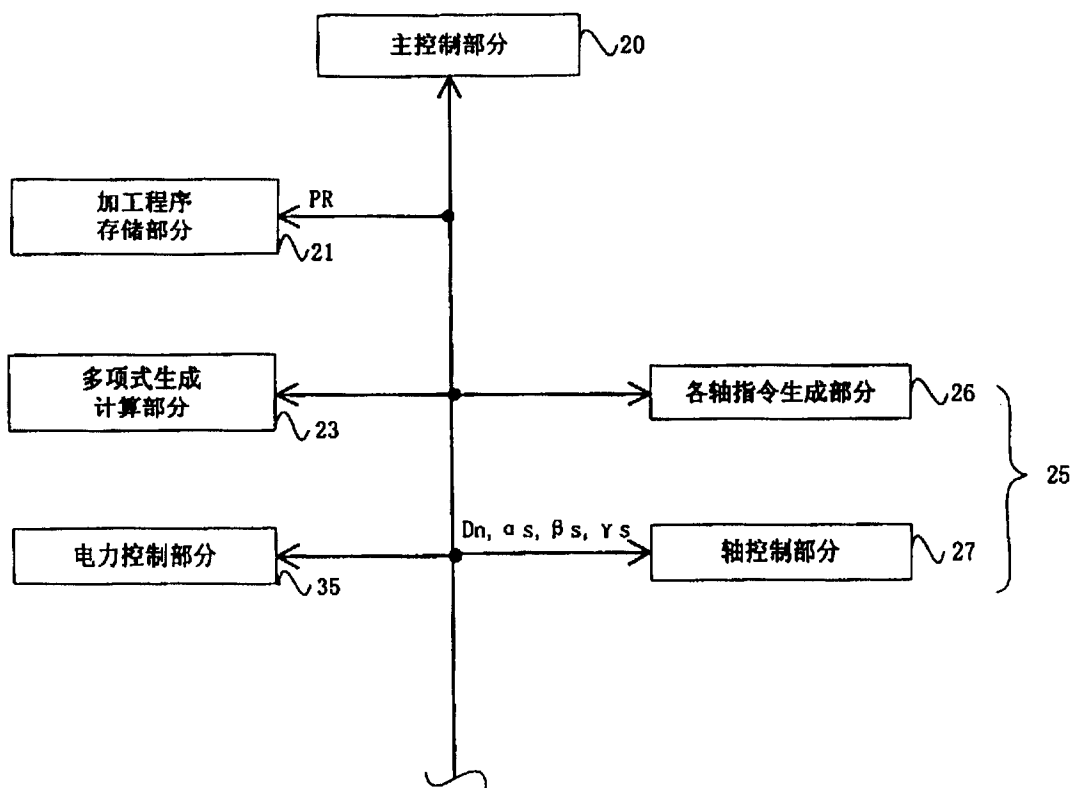


图 1

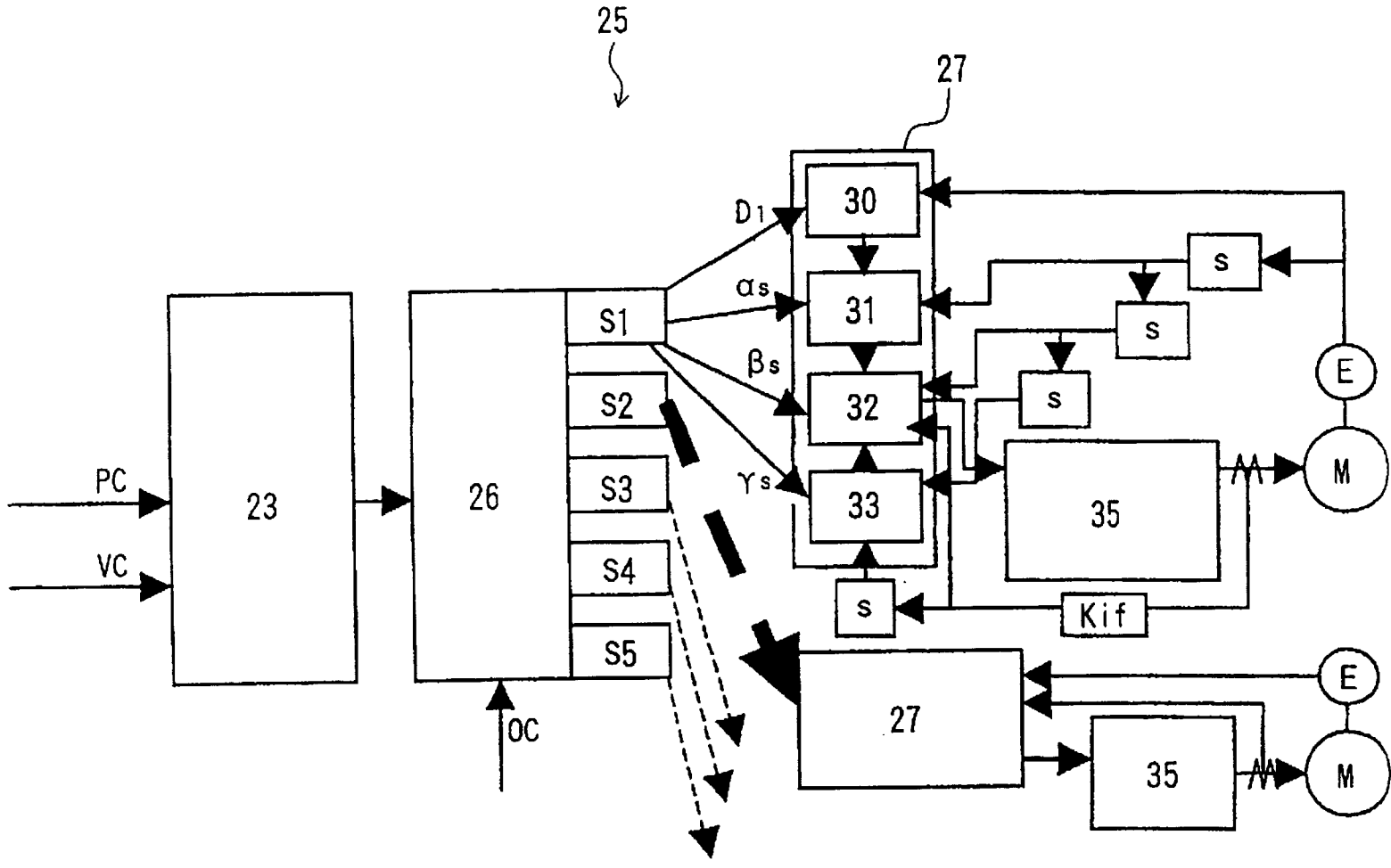


图 2

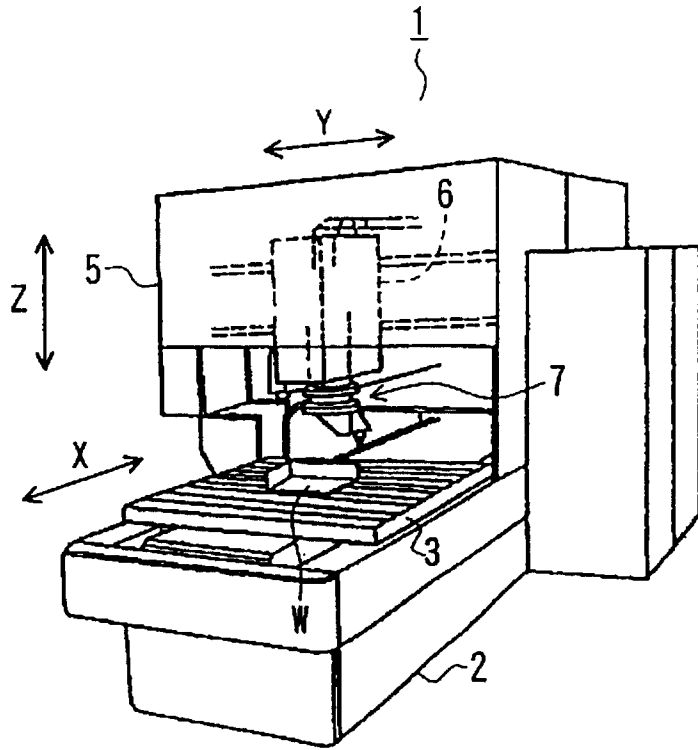


图 3(a)

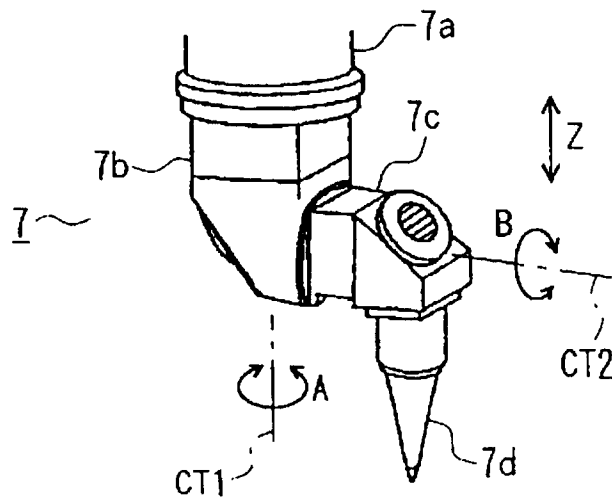


图 3(b)

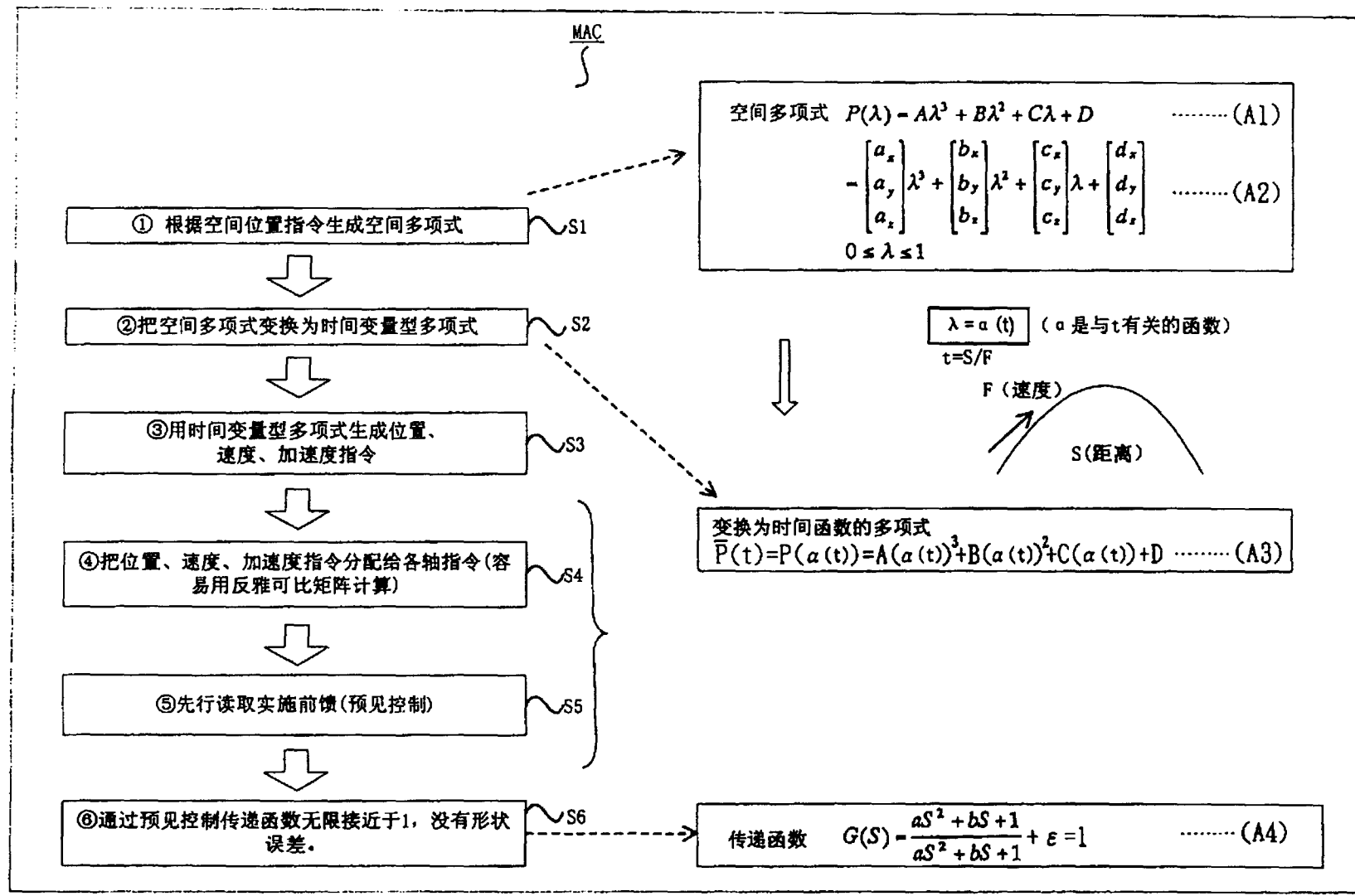
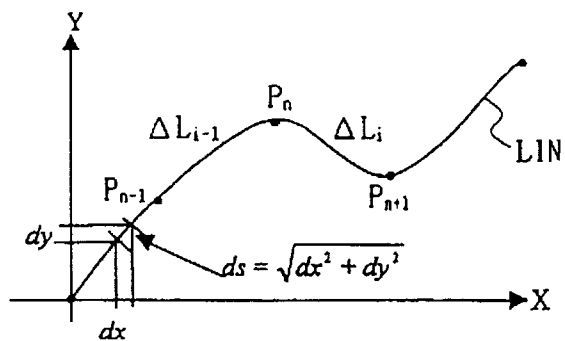


图 4



当左图是用以下的多项式定义的曲线的情况下,

$$y = f(\lambda) = A\lambda^3 + B\lambda^2 + C\lambda + D \quad \text{----- (B1)}$$

$$x = g(\lambda)$$

$$\text{ただし, } 0 \leq \lambda \leq 1 \quad \text{----- (B2)}$$

如果假设该经定义的曲线的全长为 L,

$$L = \int_0^1 ds = \int_0^1 \sqrt{dx^2 + dy^2} = \int_0^1 \sqrt{\left(\frac{dx}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\lambda}\right)^2} \cdot d\lambda \quad \text{----- (B3)}$$

则可以算出 (B3)。

进而, 用 $0 = \lambda_0 < \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_{n-1}$ 的数列划分参数 λ , 定义以下的线段。

$$\Delta L_i = \int_0^{\lambda_i} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\lambda}\right)^2} \cdot d\lambda \quad \text{----- (B4)}$$

在此, 给予在该曲线上具有时间变量 t 的速度函数 $F(t)$ 的速度曲线,

$$\Delta L_i = \int_0^t F(t) \cdot dt \quad \text{----- (B5)}$$

求 (B5), 通过使该线段长和 (1) 的线段长相等, 可以使 λ 和 t 相关。

$$\Delta L_i = \int_0^{\lambda_i} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\lambda}\right)^2} \cdot d\lambda = \int_0^t F(t) \cdot dt$$

通过解该式,

$$\lambda = \alpha(t) \quad \text{----- (B6)}$$

算出 (B6)。

图 5

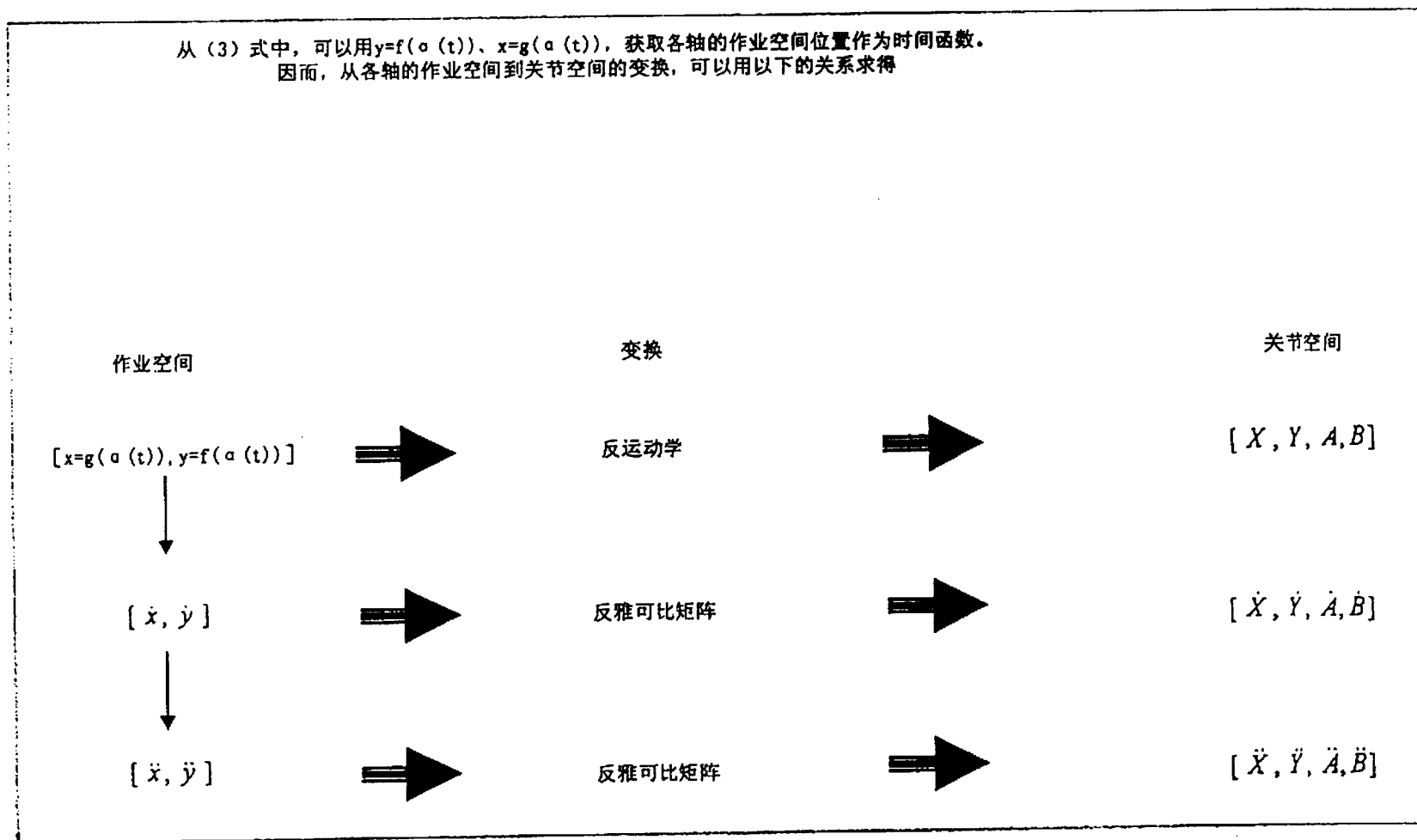


图 6

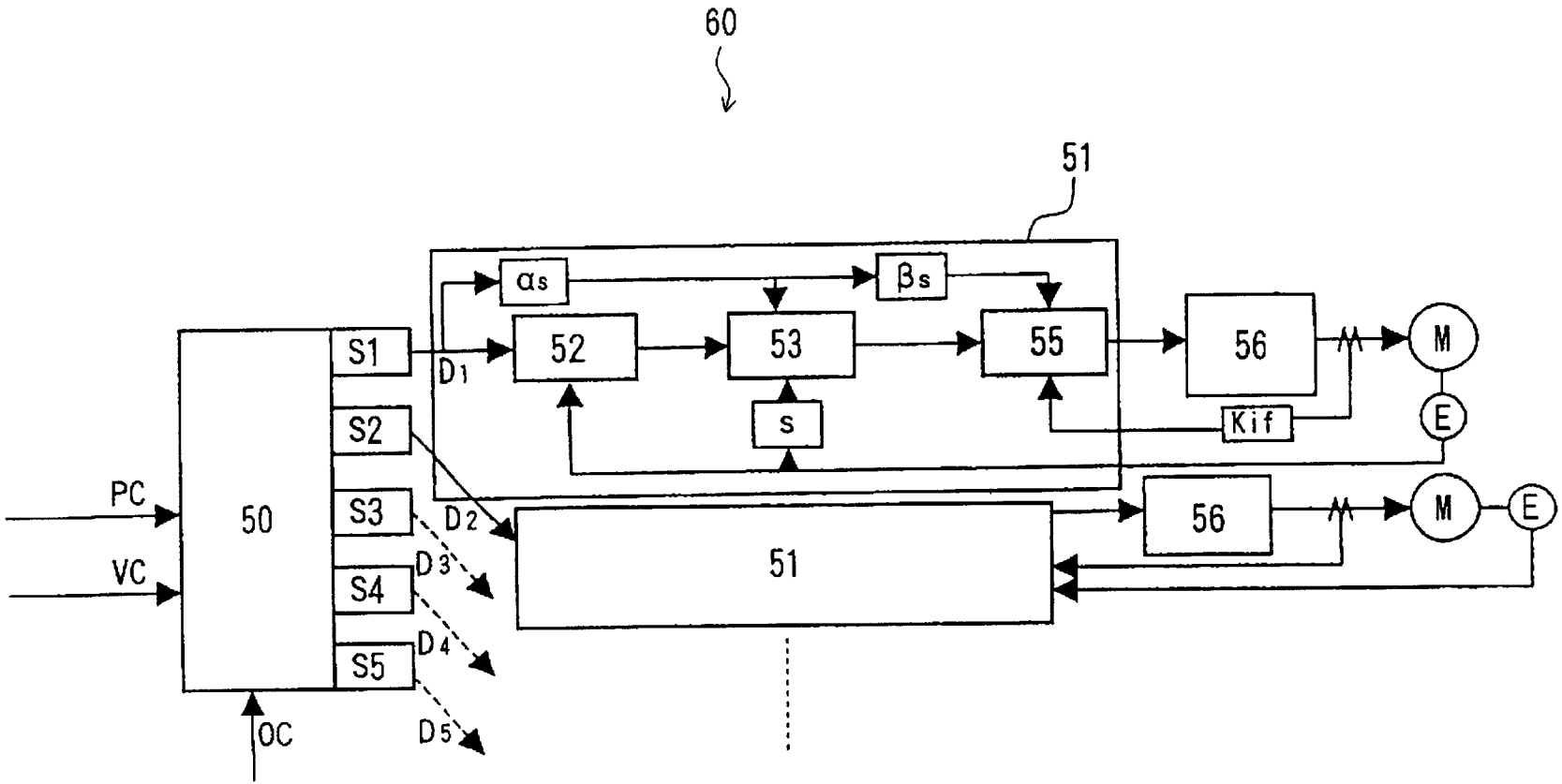


图 7