

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4075771号  
(P4075771)

(45) 発行日 平成20年4月16日(2008.4.16)

(24) 登録日 平成20年2月8日(2008.2.8)

(51) Int. Cl. F 1  
**G 1 O F 1/02 (2006.01)** G 1 O F 1/02 B

請求項の数 4 (全 19 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2003-374315 (P2003-374315)                  (22) 出願日 平成15年11月4日(2003.11.4)                  (65) 公開番号 特開2005-140830 (P2005-140830A)                  (43) 公開日 平成17年6月2日(2005.6.2)                  審査請求日 平成18年6月23日(2006.6.23)</p>	<p>(73) 特許権者 000004075                  ヤマハ株式会社                  静岡県浜松市中区中沢町10番1号                  (74) 代理人 100104798                  弁理士 山下 智典                  (72) 発明者 藤原 祐二                  静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマハ株式会社社内                  審査官 小宮 慎司</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 推定装置、自動楽器およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動物体の位置または速度を推定する推定装置であって、  
 前記移動物体の位置を測定するセンサと、  
 前記センサからの情報を定期的にサンプリングするサンプリング手段と、  
 該サンプリング手段でサンプリングされたサンプル値を、予め定めた所定サンプル数記憶する第1の記憶手段と、

前記所定サンプル数によって決定される重み係数であって、前記位置の近似値を求める位置近似多項式における該位置の近似値と複数の前記サンプル値との自乗誤差を最小にする、前記位置近似多項式の係数に基づいて定められた重み係数を記憶する第2の記憶手段と、

該第2の記憶手段から前記重み係数を読み出す読出し手段と、  
 前記サンプル値と前記重み係数とを乗算し、これらの乗算結果を加算することによって前記移動物体のサンプル点終端の位置または速度を推定する演算手段と  
 を具備することを特徴とする推定装置。

【請求項2】

駆動されることによって楽音を発生させる複数の操作子と、  
 前記各操作子毎に設けられ、供給された駆動信号に応じてこれら操作子を駆動する複数のアクチュエータと、

前記各操作子毎に設けられ、これら操作子の変位を測定し、該測定された変位を表す検

出信号を出力する複数のセンサと、

供給された演奏情報に従って、前記各操作子の軌道リファランスを決定する軌道リファランス決定手段と、

各々の前記操作子について、複数回に渡る前記検出信号のサンプル値と該サンプル値の数によって決定される所定の重み係数との積の加算結果を計算することによって、サンプル点終端における位置または速度の推測値である終端推測値を決定する終端推測値決定手段であって、前記重み係数は、前記変位の近似値を求める変位近似多項式における該変位の近似値と複数の前記サンプル値との自乗誤差を最小にする、前記変位近似多項式の係数に基づいて定められた重み係数である、終端推測値決定手段と、

逐次計算される前記終端推測値が、前記軌道リファランスに基づく目標値に近づくように前記駆動信号を出力する駆動信号出力手段と

を具備することを特徴とする自動楽器。

【請求項 3】

処理装置を有し、移動物体の位置を測定するセンサからの情報に基づいて該移動物体の位置または速度を推定する推定装置に適用されるプログラムであって、

前記センサからの情報を定期的にサンプリングするサンプリング過程と、

該サンプリング過程でサンプリングされたサンプル値を、予め定めた所定サンプル数だけ第 1 の記憶手段に記憶する過程と、

前記所定サンプル数によって決定される重み係数であって、前記位置の近似値を求める位置近似多項式における該位置の近似値と複数の前記サンプル値との自乗誤差を最小にする、前記位置近似多項式の係数に基づいて定められた重み係数を第 2 の記憶手段から読み出す読み出し過程と、

前記サンプル値と前記重み係数とを乗算し、これらの乗算結果を加算することによって前記移動物体のサンプル点終端の位置または速度を推定する演算過程と

を前記処理装置に実行させることを特徴とするプログラム。

【請求項 4】

駆動されることによって楽音を発生させる複数の操作子と、

前記各操作子毎に設けられ、供給された駆動信号に応じてこれら操作子を駆動する複数のアクチュエータと、

前記各操作子毎に設けられ、これら操作子の変位を測定し、該測定された変位を表す検出信号を出力する複数のセンサと、

処理装置と

を有する自動楽器に適用されるプログラムであって、

供給された演奏情報に従って、前記各操作子の軌道リファランスを決定する軌道リファランス決定過程と、

各々の前記操作子について、複数回に渡る前記検出信号のサンプル値と所定の重み係数との積の加算結果を計算することによって、サンプル点終端における位置または速度の推測値である終端推測値を決定する終端推測値決定過程であって、前記重み係数は、前記位置の近似値を求める位置近似多項式における該位置の近似値と複数の前記サンプル値との自乗誤差を最小にする、前記位置近似多項式の係数に基づいて定められた重み係数である、終端推測値決定過程と、

前記終端推測値と、前記軌道リファランス上の対応する目標値との差に基づいて前記駆動信号を出力する駆動信号出力過程と

を前記処理装置に実行させることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、信号成分以外の雑音を発生する機器に用いて好適な推定装置、自動楽器およびプログラムに関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 2 】

従来の自動演奏ピアノにおいては、各鍵を駆動するソレノイドと、各鍵の押下深さを計測するキーセンサとが設けられている。自動演奏ピアノに対して、押鍵イベント、打弦イベント等から成る演奏情報が供給されると、該演奏情報に基づいて各鍵のリファレンス軌道（鍵軌道の目標値）が生成され、各押鍵深さは上記キーセンサの検出信号に基づいて、リファレンス軌道に沿うようにサーボ制御される。なお、かかる技術は、例えば特許文献1に開示されている。

【特許文献1】特開平7 - 175472号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

## 【 0 0 0 3 】

ところで、一般的な機械装置と比較すると自動演奏ピアノには、木材、フェルト、布などアンリジッドな部品が多用されている。また、部品同士の結合部分にも遊びが多いため、センサの検出値には必然的に雑音が混入する。

この発明は上述した事情に鑑みてなされたものであり、直近のサンプリング値の正確な推測値を少ない演算量で得る推定装置、自動楽器およびプログラムを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 4 】

上記課題を解決するため本発明にあっては、下記構成を具備することを特徴とする。なお、括弧内は例示である。

20

請求項1記載の推定装置にあっては、移動物体（70）の位置または速度を推定する推定装置であって、前記移動物体（70）の位置を測定するセンサ（25）と、前記センサからの情報を定期的にサンプリングするサンプリング手段（SP4, SP6）と、該サンプリング手段でサンプリングされたサンプル値を、予め定めた所定サンプル数記憶する第1の記憶手段（RAM54, 位置記憶レジスタ $y_0 \sim y_6$ ）と、前記所定サンプル数によって決定される重み係数であって、前記位置の近似値を求める位置近似多項式（ $y_j = a * t_j^2 + b * t_j + c$ ）における該位置の近似値（ $y_j$ ）と複数の前記サンプル値（ $x_j$ ）との自乗誤差（ $E = \text{SIGMA}(x_j - y_j)^2$ ）を最小にする、前記位置近似多項式の係数（ $a, b, c$ ）に基づいて定められた（ $w_{Xj}$ については、段落0012～0015、 $w_{Vj}$ については段落0009～0011）重み係数（ $w_{Xj}$ ,  $w_{Vj}$ ）を記憶する第2の記憶手段（フラッシュROM52）と、該第2の記憶手段から前記重み係数を読み出す読み出し手段（CPU50, 段落0045～0046）と、前記サンプル値と前記重み係数とを乗算し、これらの乗算結果を加算することによって前記移動物体のサンプル点終端の位置または速度を推定する演算手段（CPU50, 段落0045～0046）とを具備することを特徴とする。

30

また、請求項2記載の自動楽器にあっては、駆動されることによって楽音を発生させる複数の操作子（70）と、前記各操作子（70）毎に設けられ、供給された駆動信号に応じてこれら操作子を駆動する複数のアクチュエータ（10）と、前記各操作子毎に設けられ、これら操作子の変位を測定し、該測定された変位を表す検出信号を出力する複数のセンサ（25）と、供給された演奏情報に従って、前記各操作子の軌道リファランスを決定する軌道リファランス決定手段（110）と、各々の前記操作子（70）について、複数回に渡る前記検出信号のサンプル値（位置記憶レジスタ $y_0 \sim y_6$ ）と該サンプル値の数によって決定される所定の重み係数（ $w_{Vj}$ ,  $w_{Xj}$ ）との積の加算結果を計算することによって、サンプル点終端における位置または速度の推測値である終端推測値（ $X, V$ ）を決定する終端推測値決定手段（120）であって、前記重み係数（ $w_{Vj}$ ,  $w_{Xj}$ ）は、前記変位の近似値を求める変位近似多項式（ $y_j = a * t_j^2 + b * t_j + c$ ）における該変位の近似値（ $y_j$ ）と複数の前記サンプル値（ $x_j$ ）との自乗誤差（ $E = \text{SIGMA}(x_j - y_j)^2$ ）を最小にする、前記変位近似多項式の係数（ $a, b, c$ ）に基づいて定められた（ $w_{Xj}$ については、段落0012～0015、 $w_{Vj}$ については段落0009～0011）重み係数（ $w_{Vj}$ ,  $w_{Xj}$ ）である、終端推測値決定手段（120）と、逐次計算される前記終端推測値が、前記

40

50

軌道リファランスに基づく目標値に近づくように前記駆動信号を出力する駆動信号出力手段(120, 30)とを具備することを特徴とする。

また、請求項3記載のプログラムにあっては、処理装置(50)を有し、移動物体(70)の位置を測定するセンサ(25)からの情報に基づいて該移動物体(70)の位置または速度を推定する推定装置に適用されるプログラムであって、前記センサからの情報を定期的にサンプリングするサンプリング過程(SP4, SP6)と、該サンプリング過程でサンプリングされたサンプル値を、予め定めた所定サンプル数だけ第1の記憶手段(RAM54, 位置記憶レジスタ $y_0 \sim y_6$ )に記憶する過程と、前記所定サンプル数によって決定される重み係数であって、前記位置の近似値を求める位置近似多項式( $y_j = a * t_j^2 + b * t_j + c$ )における該位置の近似値( $y_j$ )と複数の前記サンプル値( $x_j$ )との自乗誤差( $E = \text{SIGMA}(x_j - y_j)^2$ )を最小にする、前記位置近似多項式の係数(a, b, c)に基づいて定められた( $w X_j$ については、段落0012~0015、 $w V_j$ については段落0009~0011)重み係数( $w X_j, w V_j$ )を第2の記憶手段(フラッシュROM52)から読み出す読み出し過程(段落0045~0046)と、前記サンプル値と前記重み係数とを乗算し、これらの乗算結果を加算することによって前記移動物体のサンプル点終端の位置または速度を推定する演算過程(CPU50, 段落0045~0046)とを前記処理装置(50)に実行させることを特徴とする。

また、請求項4記載のプログラムにあっては、駆動されることによって楽音を発生させる複数の操作子(70)と、前記各操作子(70)毎に設けられ、供給された駆動信号に応じてこれら操作子を駆動する複数のアクチュエータ(10)と、前記各操作子毎に設けられ、これら操作子の変位を測定し、該測定された変位を表す検出信号を出力する複数のセンサ(25)と、処理装置(50)とを有する自動楽器に適用されるプログラムであって、供給された演奏情報に従って、前記各操作子の軌道リファランスを決定する軌道リファランス決定過程(110)と、各々の前記操作子(70)について、複数回に渡る前記検出信号のサンプル値(位置記憶レジスタ $y_0 \sim y_6$ )と所定の重み係数( $w V_j, w X_j$ )との積の加算結果を計算することによって、サンプル点終端における位置または速度の推測値である終端推測値(X, V)を決定する終端推測値決定過程(120)であって、前記重み係数( $w V_j, w X_j$ )は、前記位置の近似値を求める位置近似多項式( $y_j = a * t_j^2 + b * t_j + c$ )における該位置の近似値( $y_j$ )と複数の前記サンプル値( $x_j$ )との自乗誤差( $E = \text{SIGMA}(x_j - y_j)^2$ )を最小にする、前記位置近似多項式の係数(a, b, c)に基づいて定められた( $w X_j$ については、段落0012~0015、 $w V_j$ については段落0009~0011)重み係数( $w V_j, w X_j$ )である、終端推測値決定過程(120)と、前記終端推測値と、前記軌道リファランス上の対応する目標値との差に基づいて前記駆動信号を出力する駆動信号出力過程(120)とを前記処理装置(50)に実行させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0005】

このように、本発明の構成によれば、複数のサンプル値の多項近似式の値が直近のサンプル点について算出されるので、少ない計算量で雑音が除去された信号の値を直接的に得ることが出来る。さらに、複数のサンプル値の中央の推測値と中央の微分値の推測値とに基づいて間接的に直近のサンプル値の推測値を求める方法と比較して、高い精度で推測値を求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0006】

1. 前提理論

1.1. サンプルの中心点での推測

雑音成分を含んだ測定波形からn個のサンプル値 $x_j$ ( $j = -m \sim m$ )を一定のサンプリング周期でサンプルした場合において、n個のサンプル値 $x_j$ は時刻tを変数とするP次多項式により近似される。一例として、押鍵深さを以下の2次多項式(1次多項式も含む。その場合は $a=0$ )で近似する。

10

20

30

40

50

$$y = a \cdot t^2 + b \cdot t + c$$

ここで、係数  $a$  ,  $b$  ,  $c$  を、該 2 次多項式とサンプル値との自乗誤差を最小にするようにして算出する。たとえば、サンプル時刻  $t_j$  における測定値を  $x_j$  とすると、そのときの 2 次多項式の値  $y_j$  は、

$$y_j = a \cdot t_j^2 + b \cdot t_j + c$$

となる。このとき、自乗誤差  $E$  は

$$E = \text{SIGMA}(x_j - y_j)^2 = \text{SIGMA}(x_j - a \cdot t_j^2 - b \cdot t_j - c)^2$$

であり、自乗誤差  $E$  を最小にするように各係数  $a$  ,  $b$  ,  $c$  の値が求められる。

すなわち、 $E / a = 0$  を満たすように  $a$  の値が求められる。同様に  $E / b = 0$ 、 $E / c = 0$  を満たすように  $b$  ,  $c$  の値が求められる。ここで、

$m$

を「SIGMA」と略記している。さらに、各係数  $a$  ,  $b$  ,  $c$  は、

$j = -m$

$$(\text{SIGMA}(w_j \cdot x_j)) / W \quad [1]$$

の積和演算の形式に変形される。すなわち、重み係数  $w_j$  とサンプル値  $x_j$  との積和演算の結果を正規化定数  $W$  で除した形式に変形され、サンプル点の中央すなわち  $j = 0$  における鍵軌道が推測される。ここで、 $j$  はサンプル番号 (  $-m, \dots, 0, \dots, m$  ) であり、サンプル数は、 $n = 2m + 1$  である。

【 0 0 0 7 】

係数  $a$  は、

$$a = (\text{SIGMA}(w_j \cdot x_j)) / W_a \quad [2]$$

$$W_a = T^2 \cdot m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1) / 15 \quad [3]$$

$$\begin{aligned} w_j &= 3j^2 - m^2 - m \\ &= 3j^2 - m(m+1) \end{aligned} \quad [4]$$

係数  $b$  は

$$b = (\text{SIGMA}(w_j \cdot x_j)) / W_b \quad [5]$$

$$W_b = T \cdot m(m+1)(2m+1) / 3 \quad [6]$$

$$w_j = j \quad [7]$$

係数  $c$  は

$$c = (\text{SIGMA}(w_j \cdot x_j)) / W_c \quad [8]$$

$$W_c = (2m+1)(2m+3)(2m-1) / 3 \quad [9]$$

$$\begin{aligned} w_j &= 3m^2 + 3m - 1 - 5j^2 \\ &= -5j^2 + 3m(m+1) - 1 \end{aligned} \quad [10]$$

である。ここで、 $T$  はサンプル周期である。なお、このときの係数  $c$  の値が、 $j = 0$  における押鍵深さの推測値である。

【 0 0 0 8 】

ここで

A 加速度の推測値

Vc サンプル点中央 ( $j=0$ ) における速度推測値

V サンプル点終端 ( $j=m$ ) における速度推測値

Xc サンプル点中央 ( $j=0$ ) における位置推測値

X サンプル点終端 ( $j=m$ ) における位置推測値

とすると、これらと各係数との関係は

$$A = 2a \quad [11]$$

$$V_c = b \quad [12]$$

$$X_c = c \quad [13]$$

$$V = V_c + A \cdot m \cdot T = b + 2a \cdot m \cdot T \quad [14]$$

$$X = X_c + V_c \cdot m \cdot T + A / 2 \cdot (m \cdot T)^2 = c + b \cdot m \cdot T + a \cdot (m \cdot T)^2 \quad [15]$$

である。すなわち、サンプル点中央 ( $j=0$ ) およびサンプル点終端 ( $j=m$ ) における推測値

10

20

30

40

50

が、最小自乗近似により求められた係数  $a$  ,  $b$  ,  $c$  およびサンプル周期  $T$  により算出される。

【 0 0 0 9 】

### 1.2. サンプル点終端における速度推測値 ( 2 次式 )

さらに、複数のサンプル点の終端すなわち直近の値である  $j = m$  における速度推測値  $V$  が、サンプル点中央における速度推測値  $V_c = b$  を用いて以下のように算出される。

[2][5][14]式より

$$V = b + 2a \cdot m \cdot T \\ = (\text{SIGMA}(wb_j \cdot x_j)) / W_b + 2 (\text{SIGMA}(waj \cdot x_j)) / W_a \cdot m \cdot T$$

が得られる。第一項も第二項も何れもSIGMAの加算範囲は  $-m$  から  $m$  であるので、SIGMA内の各項がまとめられる。よって、以下の式が得られる。 10

$$V = \text{SIGMA} ( (wb_j \cdot x_j) / W_b + 2waj \cdot x_j / W_a \cdot m \cdot T ) \\ = \text{SIGMA} ( (wb_j \cdot W_a / T^2 + 2waj \cdot m \cdot W_b / T) \cdot x_j ) / (W_b W_a / T^2) \quad [21]$$

【 0 0 1 0 】

[21]に[3][4][6][7]式をあてはめると

$$\text{分母} = T \cdot m(m+1)(2m+1) / 3 \cdot T^2 \cdot m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1) / 15 / T^2 \\ = T \cdot m^2(m+1)^2(2m+1)^2(2m+3)(2m-1) / 45 \quad [22]$$

$$\text{分子} = \text{SIGMA} ( (j \cdot T^2 \cdot m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1) / 15 / T^2 \\ + 2(3j^2 - m(m+1))) \cdot m \cdot T \cdot m(m+1)(2m+1) / 3 / T) \cdot x_j ) \\ = m(m+1)(2m+1) / 15 \cdot \text{SIGMA} ( (30mj^2 + (2m+3)(2m-1)j - 10m^2(m+1)) \cdot x_j ) \quad [23] \quad 20$$

になる。したがって、 $V$  は、

$$V = \text{SIGMA} ( (30mj^2 + (2m+3)(2m-1)j - 10m^2(m+1)) \cdot x_j ) \\ / (T \cdot m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1) / 3) \quad [24]$$

と変形され、サンプル点終端における速度推測値が求められる。

【 0 0 1 1 】

これを式  $(\text{SIGMA}(w_j \cdot x_j)) / W$  の形式にあてはめると終端における押鍵速度  $V$  は

$$V = (\text{SIGMA}(wV_j \cdot x_j)) / WV \quad [25]$$

$$WV = T \cdot m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1) / 3 \quad [26]$$

$$wV_j = 30mj^2 + (2m+3)(2m-1)j - 10m^2(m+1) \quad [27] \quad 30$$

となり、[1]と同じ積和演算の形式に変形される。ここで、重み係数  $wV_j$  の値と正規化定数  $WV$  の値とを図 1 に示す。図において、横方向は  $m$  の値および対応する正規化定数  $WV$  の値である。 $m$  の値は  $m = 2, 3, 4, \dots$  であり、サンプル点の数を表している。縦方向は、サンプル点  $j$  に対応する重み係数  $wV_j$  である。これらの値をテーブルとして保持することにより、サンプル値  $x_j$  との積和演算によりサンプル値終端での押鍵速度  $V$  が算出される。なお、最下欄は、 $m$  の値に対応する重み係数  $wV_j$  の和の値を示す。

【 0 0 1 2 】

### 1.3. サンプル点終端における押鍵深さ推測値 ( 2 次式 )

次に、 $j = m$  における押鍵深さ  $X$  は、[2][5][8][15]式より

$$X = c + b \cdot m \cdot T + a(m \cdot T)^2 \quad 40 \\ = (\text{SIGMA}(wc_j \cdot x_j)) / W_c + (\text{SIGMA}(wb_j \cdot x_j)) / W_b \cdot m \cdot T + (\text{SIGMA}(waj \cdot x_j)) / W_a \cdot (m \cdot T)^2$$

と表される。第一項から第三項まで何れもSIGMAの加算範囲は  $-m$  から  $m$  であり、同一であるので、SIGMA内の各項がまとめられる。

よって、次式が得られる。

$$X = \text{SIGMA} ( (wc_j \cdot x_j) / W_c + (wb_j \cdot x_j) / W_b \cdot m \cdot T + (waj \cdot x_j) / W_a \cdot (m \cdot T)^2 ) \\ = \text{SIGMA} ( (wc_j \cdot W_b W_a / T^3 + wb_j \cdot m \cdot W_c W_a / T^2 + waj \cdot m^2 \cdot W_c W_b / T) \cdot x_j ) / (W_c W_b W_a / T^3) \quad [31]$$

【 0 0 1 3 】

[31]に[3][4][6][7][9][10]式をあてはめて

$$\text{分母} = (2m+1)(2m+3)(2m-1) / 3 \cdot T \cdot m(m+1)(2m+1) / 3 \cdot T^2 \cdot m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1) / 15 / \quad 50$$

$$T^3 = m^2(m+1)^2(2m+1)^3(2m+3)^2(2m-1)^2/135 \quad [32]$$

$$\begin{aligned} \text{分子} &= \text{SIGMA}((-5j^2+3m(m+1)-1) * T^m(m+1)(2m+1)/3 * T^2 * m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/1 \\ &5/T^3 + j * m * (2m+1)(2m+3)(2m-1)/3 * T^2 * m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/15/T^2 + (3j^2 - m(m+1)) \\ & * m^2 * (2m+1)(2m+3)(2m-1)/3 * T^m(m+1)(2m+1)/3 / T) * x_j \\ &= m^2(m+1)(2m+1)^2(2m+3)(2m-1)^2/45 * \text{SIGMA}(5j^2 + (2m+3)j - (m+1)(m-1)) * x_j \end{aligned} \quad [33]$$

となる。

【 0 0 1 4 】

したがって、押鍵深さ  $X$  は、

$$X = \text{SIGMA}((5j^2 + (2m+3)j - (m+1)(m-1)) * x_j) / ((m+1)(2m+1)(2m+3)/3) \quad [34]$$

10

と表される。

【 0 0 1 5 】

これを式  $(\text{SIGMA}(w_j * x_j))/W$  の形にあてはめると押鍵深さ  $X$  は、

$$X = (\text{SIGMA}(w_j * x_j))/WX \quad [35]$$

$$WX = (m+1)(2m+1)(2m+3)/3 \quad [36]$$

$$w_j = 5j^2 + (2m+3)j - (m+1)(m-1) \quad [37]$$

となり[1]式と同じ積和演算形式に変形される。ここで、 $m$ の値と重み係数 $w_j$ および正規化定数 $WX$ との関係を図2に示す。

【 0 0 1 6 】

#### 1.4.3 3次式近似

20

上記の各推測値は、押鍵深さを2次多項式で近似して算出したが、以下の3次多項式を用いて、さらに高精度な近似を行うことも出来る。

$$y = a * t^3 + b * t^2 + c * t + d$$

ここで、2次式の場合と同様に、最小自乗近似により各係数  $a$  ,  $b$  ,  $c$  ,  $d$  が算出される。

係数  $a$  は

$$a = (\text{SIGMA}(w_j * x_j))/W_a \quad [42]$$

$$W_a = T^3 * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/35 \quad [43]$$

$$\begin{aligned} w_j &= j(5j^2 - 3m^2 - 3m + 1) \\ &= j(5j^2 - 3m(m+1) + 1) \end{aligned} \quad [44]$$

30

係数  $b$  は

$$b = (\text{SIGMA}(w_j * x_j))/W_b \quad [45]$$

$$W_b = T^2 * m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/15 \quad [46]$$

$$\begin{aligned} w_j &= 3j^2 - m^2 - m \\ &= 3j^2 - m(m+1) \end{aligned} \quad [47]$$

係数  $c$  は

$$c = (\text{SIGMA}(w_j * x_j))/W_c \quad [48]$$

$$W_c = T * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/5 \quad [49]$$

$$\begin{aligned} w_j &= j(15m^4 + 30m^3 - 15m + 5 - (21m^2 + 21m - 7)j^2) \\ &= j(-7(3m(m+1) - 1)j^2 + 5(3m(m+1)((m+2)(m-1) + 1) + 1)) \end{aligned} \quad [50]$$

40

係数  $d$  は

$$d = (\text{SIGMA}(w_j * x_j))/W_d \quad [51]$$

$$W_d = (2m+1)(2m+3)(2m-1)/3 \quad [52]$$

$$\begin{aligned} w_j &= 3m^2 + 3m - 1 - 5j^2 \\ &= -5j^2 + 3m(m+1) - 1 \end{aligned} \quad [53]$$

である。このときの係数  $d$  の値が、 $j = 0$ における押鍵深さの推測値である。

このように、3次近似式によって求められた係数  $b$  と2次式によって求められた係数  $a$  とが等しく、3次近似式によって求められた係数  $d$  と2次式によって求められた係数  $c$  とが等しい。

【 0 0 1 7 】

50

ここで

J 3次微分の推測値

Ac サンプル点中央 (j = 0) における加速度推測値

A サンプル点終端 (j = m) における加速度推測値

Vc サンプル点中央 (j = 0) における速度推測値

V サンプル点終端 (j = m) における速度推測値

Xc サンプル点中央 (j = 0) における位置推測値

X サンプル点終端 (j = m) における位置推測値

とすると、これらと各係数との関係は、

$$J = 6a \quad [54] \quad 10$$

$$Ac = 2b \quad [55]$$

$$Vc = c \quad [56]$$

$$Xc = d \quad [57]$$

$$A = Ac + J \cdot m \cdot T = 2b + 6a \cdot m \cdot T \quad [58]$$

$$V = Vc + Ac \cdot m \cdot T + J/2 \cdot (m \cdot T)^2 = c + 2b \cdot m \cdot T + 3a(m \cdot T)^2 \quad [59]$$

$$X = Xc + Vc \cdot m \cdot T + A/2 \cdot (m \cdot T)^2 + J/6 \cdot (m \cdot T)^3 \\ = d + c \cdot m \cdot T + b(m \cdot T)^2 + a(m \cdot T)^3 \quad [60]$$

である。

【0018】

1.5. サンプル点終端における加速度推測値 (3次式) 20

まず、複数のサンプル点の終端 (j = m) における加速度推測値 A が、サンプル点中央における加速度推測値 Ac = 2b を用いて以下のように算出される。

[42][45][58]式より

$$A = 2b + 6a \cdot m \cdot T \\ = 2 (S I G M A (w b j \cdot x j)) / W b + 6 (S I G M A (w a j \cdot x j)) / W a \cdot m \cdot T$$

が得られる。第一項も第二項も何れもSIGMAの加算範囲は - m から m であるので、SIGMA内の各項がまとめられる。よって、以下の式が得られる。

$$A = S I G M A ( 2 w b j \cdot x j / W b + 6 w a j \cdot x j / W a \cdot m \cdot T ) \\ = S I G M A ( ( 2 w b j \cdot W a / T^3 + 6 w a j \cdot m \cdot W b / T^2 ) \cdot x j ) / ( W b W a / T^3 ) \quad [61] \quad 30$$

【0019】

[61]式に[43][44][46][47]式をあてはめて

分母

$$= T^2 \cdot m(m+1) \quad (2m+1)(2m+3)(2m-1)/15 \\ * T^3 \cdot m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/35 / T^3 \\ = T^2 \cdot m^2(m+1)^2(m+2)(m-1)(2m+1)^2(2m+3)^2(2m-1)^2/525 \quad [62]$$

分子

$$= S I G M A ( ( 2 ( 3 j^2 - m(m+1) ) \\ * T^3 \cdot m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/35 / T^3 \\ + 6 j ( 5 j^2 - ( 3 m^2 + 3 m - 1 ) ) \cdot m \\ * T^2 \cdot m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/15 / T^2 ) \cdot x j ) \quad 40$$

$$= m(m+1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/105 \\ * S I G M A ( ( 6 ( 35 m j^3 + 3(m+2)(m-1)j^2 - 7m(3m^2+3m-1)j - m(m+1)(m+2)(m-1) ) \cdot x j ) \quad [63]$$

になる。

【0020】

したがって、A は

$$A = S I G M A ( 6 ( 35 m j^3 + 3(m+2)(m-1)j^2 - 7m(3m^2+3m-1)j - m(m+1)(m+2)(m-1) ) \cdot x j ) \\ / ( T^2 \cdot m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/5 ) \quad [64]$$

と変形され、サンプル値終端における加速度推測値が求められる。

50

## 【 0 0 2 1 】

これを式 ( S I G M A ( w j \* x j ) ) / W の形にあてはめると終端における加速度推測値 A は

$$A = ( S I G M A ( w A j * x j ) ) / W A \quad [65]$$

$$W A = T^2 * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 5 \quad [66]$$

$$\begin{aligned} w A j &= 6 ( 35 m j^3 + 3 ( m + 2 ) ( m - 1 ) j^2 - 7 m ( 3 m^2 + 3 m - 1 ) j - m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ) \\ &= 6 ( 35 m j^3 + 3 ( m + 2 ) ( m - 1 ) j^2 - 7 m ( 3 m ( m + 1 ) - 1 ) j - m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ) \quad [67] \end{aligned}$$

となり[1]と同じ積和演算の形式に変形される。ここで、mの値を変化した場合における、重み係数 w A j および正規化定数 W A の各値を図3に示す。

## 【 0 0 2 2 】

## 1.6. サンプル値終端における速度推測値 ( 3 次式 )

10

次に、j = mにおける押鍵速度 V は、[42][45][48][59]式より

$$V = c + 2 b * m * T + 3 a ( m * T )^2$$

$$= ( S I G M A ( w c j * x j ) ) / W c + 2 ( S I G M A ( w b j * x j ) ) / W b * m * T + 3 ( S I G M A ( w a j * x j ) ) / W a * ( m * T )^2$$

となる。

## 【 0 0 2 3 】

第一項も第二項も何れもSIGMAの加算範囲は - m から m であるので、SIGMA内の各項がまとめられる。よって、以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} V &= S I G M A ( ( w c j * x j ) / W c + 2 ( w b j * x j ) / W b * m * T + 3 ( w a j * x j ) / W a * ( m * T )^2 ) \\ &= S I G M A ( ( w c j * W b W a / T^5 + 2 w b j * m * W c W a / T^4 + 3 w a j * m^2 * W c W b / T^3 ) * x j ) \\ &\quad / ( W c W b W a / T^5 ) \quad [71] \end{aligned}$$

20

## 【 0 0 2 4 】

[71]式に[43][44][46][47][49][50]式をあてはめて、

分母

$$\begin{aligned} &= T * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 5 \\ &\quad * T^2 * m ( m + 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 15 \\ &\quad * T^3 * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 35 / T^5 \\ &= T * m^3 ( m + 1 )^3 ( m + 2 )^2 ( m - 1 )^2 ( 2 m + 1 )^3 ( 2 m + 3 )^3 ( 2 m - 1 )^3 / 2625 \quad [72] \end{aligned}$$

分子

$$\begin{aligned} &= S I G M A ( ( j ( - 7 ( 3 m^2 + 3 m - 1 ) j^2 + 5 ( 3 m^4 + 6 m^3 - 3 m + 1 ) ) \\ &\quad * T^2 * m ( m + 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 15 \\ &\quad * T^3 * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 35 / T^5 \\ &\quad + 2 ( 3 j^2 - m ( m + 1 ) ) * m \\ &\quad * T * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 5 \\ &\quad * T^3 * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 35 / T^4 \\ &\quad + 3 j ( 5 j^2 - ( 3 m^2 + 3 m - 1 ) ) * m^2 \\ &\quad * T * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 5 \\ &\quad * T^2 * m ( m + 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 15 / T^3 ) * x j ) \\ &= m^2 ( m + 1 )^2 ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 )^2 ( 2 m + 3 )^2 ( 2 m - 1 )^2 / 525 \\ &\quad * S I G M A ( 7 ( 12 m^2 - 3 m + 1 ) j^3 + 18 m ( m + 2 ) ( m - 1 ) j^2 \\ &\quad + ( - 48 m^4 - 33 m^3 + 21 m^2 - 15 m + 5 ) j - 6 m^2 ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ) * x j ) \quad [73] \end{aligned}$$

30

40

が得られる。

## 【 0 0 2 5 】

よって、速度推測値 V は

$$\begin{aligned} V &= S I G M A ( 7 ( 12 m^2 - 3 m + 1 ) j^3 + 18 m ( m + 2 ) ( m - 1 ) j^2 \\ &\quad - ( 48 m^4 + 33 m^3 - 21 m^2 + 15 m - 5 ) j - 6 m^2 ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ) * x j ) \\ &\quad / ( T * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 5 ) \end{aligned}$$

[74]

となる。

50

## 【 0 0 2 6 】

これを式 ( S I G M A ( w j \* x j ) ) / W の形に当てはめると、押鍵速度 V は

$$V = ( S I G M A ( w V j * x j ) ) / W V \quad [75]$$

$$W V = T * m ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) ( 2 m + 1 ) ( 2 m + 3 ) ( 2 m - 1 ) / 5 \quad [76]$$

$$\begin{aligned} w V j &= 7 ( 12 m^2 - 3 m + 1 ) j^3 + 18 m ( m + 2 ) ( m - 1 ) j^2 \\ &\quad - ( 48 m^4 + 33 m^3 - 21 m^2 + 15 m - 5 ) j - 6 m^2 ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) \\ &= 7 ( 3 m ( 4 m - 1 ) + 1 ) j^3 + 18 m ( m + 2 ) ( m - 1 ) j^2 \\ &\quad - ( 3 m ( m ( 16 m + 11 ) - 7 ) + 5 ) - 5 j - 6 m^2 ( m + 1 ) ( m + 2 ) ( m - 1 ) \quad [77] \end{aligned}$$

となり[1]と同じ積和演算形式に変形される。ここで、mの値を変化した場合における、重み係数 w V j および正規化係数 W V の値を図4に示す。

10

## 【 0 0 2 7 】

## 1.7. サンプル値終端における押鍵深さ推測値 ( 3 次式 )

次に、j = mにおける押鍵深さ X は、[42][45][48][51][60]式より

$$\begin{aligned} X &= d + c * m * T + b ( m * T )^2 + a ( m * T )^3 \\ &= ( S I G M A ( w d j * x j ) ) / W d + ( S I G M A ( w c j * x j ) ) / W c * m * T \\ &\quad + ( S I G M A ( w b j * x j ) ) / W b * ( m * T )^2 + ( S I G M A ( w a j * x j ) ) / W a * ( m * T )^3 \end{aligned}$$

となる。

## 【 0 0 2 8 】

第一項も第二項も何れもSIGMAの加算範囲は - m から m であるので、SIGMA内の各項がまとめられる。よって、以下の式が得られる。

20

$$\begin{aligned} X &= S I G M A ( ( w d j * x j ) / W d + ( w c j * x j ) / W c * m * T \\ &\quad + ( w b j * x j ) / W b * ( m * T )^2 + ( w a j * x j ) / W a * ( m * T )^3 ) \\ &= S I G M A ( ( w d j * W c W b W a / T^6 + w c j * m * W d W b W a / T^5 + w b j * m^2 * W d W c W a / T^4 \\ &\quad + w a j * m^3 * W d W c W b / T^3 ) * x j ) / ( W d W c W b W a / T^6 ) \quad [81] \end{aligned}$$

## 【 0 0 2 9 】

[81]式に[43][44][46][47][49][50][52][53]式をあてはめて

分母

$$\begin{aligned} &= \frac{(2m+1)(2m+3)(2m-1)/3}{* T * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/5} \\ &\quad * T^2 * m(m+1) \frac{(2m+1)(2m+3)(2m-1)/15}{* T^3 * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/35 / T^6} \\ &= m^3 ( m + 1 )^3 ( m + 2 )^2 ( m - 1 )^2 ( 2 m + 1 )^4 ( 2 m + 3 )^4 ( 2 m - 1 )^4 / 7875 \quad [82] \end{aligned}$$

30

分子

$$\begin{aligned} &= S I G M A ( ( (-5j^2 + 3m^2 + 3m - 1) \\ &\quad * T * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/5 \\ &\quad * T^2 * m(m+1) \frac{(2m+1)(2m+3)(2m-1)/15}{* T^3 * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/35 / T^6} \\ &\quad + j ( -7 ( 3 m^2 + 3 m - 1 ) j^2 + 5 ( 3 m^4 + 6 m^3 - 3 m + 1 ) ) * m \\ &\quad * \frac{(2m+1)(2m+3)(2m-1)/3}{* T^2 * m(m+1) \frac{(2m+1)(2m+3)(2m-1)/15}{* T^3 * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/35 / T^5} \\ &\quad + ( 3 j^2 - m ( m + 1 ) ) * m^2 \\ &\quad * \frac{(2m+1)(2m+3)(2m-1)/3}{* T * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/5} \\ &\quad * T^3 * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/35 / T^4 \\ &\quad + j ( 5 j^2 - ( 3 m^2 + 3 m - 1 ) ) * m^3 \\ &\quad * \frac{(2m+1)(2m+3)(2m-1)/3}{* T * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/5} \\ &\quad * T^2 * m(m+1) \frac{(2m+1)(2m+3)(2m-1)/15 / T^3}{* T^3 * m(m+1)(m+2)(m-1)(2m+1)(2m+3)(2m-1)/35 / T^4} ) * x j ) \\ &= m^3 ( m + 1 )^2 ( m + 2 ) ( m - 1 )^2 ( 2 m + 1 )^3 ( 2 m + 3 )^3 ( 2 m - 1 )^4 / 7875 \quad [82] \end{aligned}$$

40

50

\* S I G M A ( ( 35j<sup>3</sup> + 15(m+2)j<sup>2</sup> - 5(3m<sup>2</sup>-5)j - 3(m+1)(m+2)(m-1) ) \* xj )  
となる。

【 0 0 3 0 】

したがって、押鍵深さX は、

$$X = \frac{\text{SIGMA} ( ( 35j^3 + 15(m+2)j^2 - 5(3m^2-5)j - 3(m+1)(m+2)(m-1) ) * xj )}{((m+1)(m+2)(2m+1)(2m+3))} \quad [84]$$

と表される。

【 0 0 3 1 】

これを式 ( S I G M A ( wj \* xj ) ) / W の形にあてはめると係数 X は

$$X = \frac{\text{SIGMA} ( wXj * xj )}{WX} \quad [85] \quad 10$$

$$WX = (m+1)(m+2)(2m+1)(2m+3) \quad [86]$$

$$wXj = 35j^3 + 15(m+2)j^2 - 5(3m^2-5)j - 3(m+1)(m+2)(m-1) \quad [87]$$

となり[1]と同じ積和演算形式に変形される。mの値を変化した場合における重み係数 w X j および正規化係数 W X の値を図5に示す。

【 0 0 3 2 】

すなわち、2次式で近似した場合、3次式で近似した場合の何れも、重み係数wXおよび正規化定数WXの値をテーブルとして記憶することにより、サンプル値終端の推測値を求めることが出来る。

【 0 0 3 3 】

## 2. 実施例の構成

### 2.1. ハードウェア構成

本発明の一実施例である自動演奏ピアノ(雑音除去装置)のハードウェア構成を図6に示す。

図において、10はソレノイドであり、電流制御によりプランジャ部分が軸方向に変位する。20はハンマセンサであり、一次側にフォトダイオード、二次側にフォトトランジスタを設けたフォトセンサを、2個、並列して設けたセンサである。なお、一方のフォトセンサが遮光状態になってから双方のフォトセンサが遮光状態になるまでの時間差から打弦タイミングと打弦速度とが検出される。25は変位検出型キーセンサであり、押下位置を検出して、そのデータをアナログ出力する。27はフォトセンサ型キーセンサであり、ハンマセンサと同様の原理で、キーオンタイミングと押鍵速度とを検出する。

【 0 0 3 4 】

30はPWM発生器であり、矩形波電流のパルス幅を可変することにより、ソレノイド10に供給される平均電流を制御する。35はA/D変換器であり、変位検出型キーセンサ25から出力されたアナログ信号をデジタル信号に変換する。37はI/Oインターフェースであり、ハンマセンサ20およびフォトセンサ型キーセンサ27の出力信号を波形整形する。なお、ソレノイド10、ハンマセンサ20、変位検出型キーセンサ25、フォトセンサ型キーセンサ27、I/Oインターフェース37は、鍵盤の各鍵にそれぞれ設けられる。40はフレキシブルディスクドライブであり、演奏情報等を記憶したフレキシブルディスクが挿入される。50はCPUであり、後述するアルゴリズムに基づいて各部を制御する。52はフラッシュROMであり、パラメータおよびプログラムならびに前述したテーブルが記憶されている。54はRAMであり、CPU50のワークメモリとして使用される。なお、変位検出型キーセンサ25によって検出された変位情報が位置記憶レジスタの値としてRAM54内に記憶される。60はバスラインであり、各部を接続する。以上の要素により、自動演奏ピアノ100が構成される。

【 0 0 3 5 】

### 2.2. 鍵部の機構

次に、自動演奏ピアノの鍵部の概要構成を図7に示す。

図において70は鍵であり、バランスピン80によって揺動自在に支持されている。また、演奏情報記録用のキー位置センサ27は、鍵70の前方(図上右側)下面に対向して

10

20

30

40

50

設けられている。鍵70の前方下面には、該フォトセンサ型キーセンサ27を遮光する遮光板75が鍵70の下方に向かって突出するように設けられている。15はプランジャであり、ソレノイド10の一部を構成し、ソレノイド10に供給される電流により上下方向に変位し、鍵70を駆動する。90はアクション機構であり、鍵70の運動をハンマ2に伝達する。4は弦であり、ハンマ2によって打弦される。6はダンパであり、弦4を制動する。

#### 【0036】

また、CPU50によって実行される機能は、記録メディアあるいはリアルタイム通信装置から供給される演奏情報に基づいて、鍵の軌道リファランスを生成する再生前処理部110と、供給された軌道リファランズと変位検出型キーセンサ25の出力信号すなわち各時刻における鍵70の位置とに対応した制御信号を生成し該制御信号に応じた励磁電流をソレノイド10に供給するモーション制御部120と、ハンマセンサ20およびフォトセンサ型キーセンサ27の出力信号に基づいて演奏情報を記憶する演奏記録部130と、この演奏情報に対して各種補正を行う記録後処理部150とから構成されている。

10

#### 【0037】

ここで、本自動演奏ピアノは消音機能を有するものであるが、これはハンマが打弦する直前にハンマの回動を阻止する構成を有するものであって、具体的には、ハンマシャックの回動を阻止するストッパ(図示略)を設けるものである。そして通常演奏時には、このストッパをハンマの回動を阻止しない位置に配置し、消音演奏時にはこのストッパをハンマの回動を阻止しない位置に配置するものである。このようなストッパを有する消音機構は公知のものを使用すればよく、その詳細構成についての説明を省略する。

20

#### 【0038】

### 3. 自動演奏ピアノの動作

#### 3.1. 演奏情報記録段階

本実施例の自動演奏ピアノ100の動作は、図示しないコントローラにおける記録指示に基づき実際に演奏者が演奏を行いその演奏情報を記録する演奏情報記録段階と、図示しないコントローラにおける再生指示に基づき該演奏情報に基づいて演奏を自動的に再生する再生段階とに区分される。

演奏情報記録段階においては、操作者によって演奏が行われる。すなわち、押鍵操作に連動してハンマによる打弦が行われる。それにより、ハンマセンサ20によって打弦タイミングと打弦速度とが検出され、フォトセンサ型キーセンサ27によって、キーオンタイミングと押鍵速度とが検出される。そして、演奏記録部130により、何れの鍵を押鍵したかという情報であるキーコードと共に、これらの押鍵速度、打弦速度、キーオンタイミング、打弦タイミングが、演奏情報としてRAM54に記憶される。同様に、キーオフタイミング、離鍵速度、キーコードが記憶される。次に、記録後処理部150により、例えばイベント抜け等の不具合が修正され、その結果得られた最終的な演奏情報の全体がフレキシブルディスクに記録される。

30

#### 【0039】

#### 3.2. 再生段階

再生段階においては、再生前処理部110により、フレキシブルディスクから演奏情報が読み込まれ、該演奏情報に基づいて特許文献1記載の技術により、押鍵深さを表す軌道リファランズが生成される。そして、モーション制御部120にあっては、この軌道リファランズを目標値として、鍵70の押鍵深さ、押鍵速度がサーボ制御される。ここで、押鍵深さ、押鍵速度の目標値は軌道リファランズに基づいて一意に得られるが、変位検出型キーセンサ25によって検出された押鍵深さには雑音が混入されるので、その影響を除去する必要がある。その処理の詳細を図9を参照し説明する。

40

#### 【0040】

図9において処理がステップSP2に進むと、RAM54内に設けられた位置記憶レジスタy0~y6の値が「0」にリセットされる。なお、位置記憶レジスタy0~y6は、過去「7」サンプルに渡る変位検出型キーセンサ25の実測値を記憶するためのレジスタであ

50

る。次に、処理がステップ S P 4 に進むと、サンプリング間隔に相当する所定時間 T だけ処理が待機される。次に、処理がステップ S P 6 に進むと、変位検出型キーセンサ 2 5 からの入力信号を A D 変換した結果が取得される。

【 0 0 4 1 】

次に、処理がステップ S P 8 に進むと、このステップ S P 6 において得られた値が正規化される。すなわち、鍵 7 0 や変位検出型キーセンサ 2 5 等には個体差があるため、正規化処理により、この個体差が補償される。次に処理がステップ S P 1 0 に進むと、位置記憶レジスタ  $y_0 \sim y_6$  の内容が「 1 」段階だけシフトされる。すなわち、元々位置記憶レジスタ  $y_0 \sim y_5$  に記憶されていた内容が、各々位置記憶レジスタ  $y_1 \sim y_6$  にシフトされる。次に、処理がステップ S P 1 2 に進むと、先にステップ S P 8 によって得られた、正規化された押鍵位置が位置記憶レジスタ  $y_0$  に記憶される。すなわち、ここでは過去「 7 」サンプルが直近の位置として逐次更新される。

10

【 0 0 4 2 】

次に、処理がステップ S P 1 4 に進むと、位置記憶レジスタ  $y_0 \sim y_6$  の内容および重み係数  $w V_j$  , 正規化係数  $W V$  の値に基づいて、直近の押鍵速度  $V$  が算出される。すなわち、図 1 において  $m = 3$  ( $n = 7$ ) の欄を参照すると、重み係数  $w V_j$  は「  $j = -3 \sim 3$  」の範囲において「 7 , - 2 , - 7 , - 8 , - 5 , 2 , 1 3 」であるから、これらの値が各々位置記憶レジスタ  $y_6, y_5, y_4, y_3, y_2, y_1, y_0$  の内容に乗算され、これら乗算結果の総和が求められ、求められた総和が正規化係数  $W V$  (= 「 2 8 」) で除算され、この除算結果が直近の押鍵速度  $V$  の推定値になる。

20

【 0 0 4 3 】

次に、処理がステップ S P 1 6 に進むと、位置記憶レジスタ  $y_0 \sim y_6$  の内容および重み係数  $w X_j$  , 正規化係数  $W X$  の値に基づいて、直近の押鍵深さ  $X$  が算出される。すなわち、図 2 において  $m = 3$  ( $n = 7$ ) の欄を参照すると、重み係数  $w V_j$  は「  $j = -3 \sim 3$  」の範囲において「 5 , - 3 , - 6 , - 4 , 3 , 1 5 , 3 2 」であるから、これらの値が各々位置記憶レジスタ  $y_6, y_5, y_4, y_3, y_2, y_1, y_0$  の内容に乗算され、これら乗算結果の総和が求められ、求められた総和が正規化係数  $W X$  (= 「 4 2 」) で除算され、この除算結果が直近の押鍵深さ  $X$  の推定値になる。以下、ステップ S P 4 ~ S P 1 6 の処理が繰り返されることにより、直近の押鍵速度  $V$  および押鍵深さ  $X$  の推定値が逐次算出される。そして、これらの推定値と目標値との差分に基づいて、鍵 7 0 がサーボ制御される。

30

【 0 0 4 4 】

次に、図 9 において説明した処理と等価なアルゴリズムのブロック図を図 8 に示す。

まず、R A M 5 4 に設けられた位置記憶レジスタ  $x_j$  ( $j = -3, \dots, 3$ ) の値が「 0 」に初期化される。次に、鍵盤 7 0 の押鍵深さ情報が、変位検出型キーセンサ 2 5 の機能(変位検出ユニット 1 2 5)を介して検出される。そして、A / D 変換ユニット 1 3 5 によって、変位検出型キーセンサ 2 5 のアナログ出力がデジタルデータに変換され、検出された押鍵深さが位置記憶レジスタ  $x_j$  ( $j = 3$ ) に記憶される。なお、時刻  $t = 0$  においては、押鍵状態でないので、「 0 」の値が位置記憶レジスタ  $x_j$  ( $j = 3$ ) に記憶される。

【 0 0 4 5 】

40

次に、フラッシュ R O M 5 2 から重み係数  $w X_j$  と正規化定数  $W X$  の値が読み出される。図 2 によれば、具体的な値はサンプル番号  $j = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$  のときに、重み係数  $w X_j = 5, -3, -6, -4, 3, 15, 32$  であり、正規化定数  $W X = 42$  である。次に、[ 3 5 ] 式に基づいて、次式の積和演算が実行される。

$$X = (\text{SIGMA}(wX_j * x_j)) / WX$$

すなわち、位置生成ユニット 1 4 0 によって、サンプル値  $x_j$  と重み係数  $w X_j$  とが積和演算され、その積和演算結果が正規化定数  $W X = 42$  によって除算される。それにより、サンプル値終端 ( $j = 3$ ) における押鍵深さの推測値  $X$  が算出される。

【 0 0 4 6 】

同様に、フラッシュ R O M 5 2 から重み係数  $w V_j$  と正規化定数  $W V$  の値が読み出され

50

る。図 1 によれば、具体的な値はサンプル番号  $j = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$  のときに、重み係数  $w_j = 7, -2, -7, -8, -5, 2, 13$  であり、正規化定数  $W = 28$  である。[ 25 ] 式に基づいて、次式の積和演算が実行される。

$$V = (\text{SIGMA}(w_j * x_j)) / W$$

すなわち、速度生成ユニット 145 によって、サンプル値  $x_j$  と重み係数  $w_j$  とが積和演算され、その積和演算結果が規格化定数  $W = 28$  によって除算される。それにより、サンプル値終端 ( $j = 3$ ) における押鍵速度  $V$  の推測値が算出される。

【 0047 】

一方、鍵 70 はソレノイド 10 の駆動によって回転するように構成されている。したがって、検出された鍵 70 の押鍵深さの推測値  $X$  および押鍵速度の推測値  $V$  が目標鍵軌道データの押鍵深さあるいは押鍵速度に近づくように、ソレノイド 10 に供給される電流が PWM 発生器 30 を介して制御され、鍵軌道が再生される。そして、ソレノイド 10 によって駆動された鍵 70 に連動して、アクション機構のハンマが打弦する。

【 0048 】

次に、位置記憶レジスタの内容がシフトされる。すなわち、 $x_j$  ( $j = 3$ ) の値が  $x_j$  ( $j = 2$ ) にシフトされる。同時に、 $x_j$  ( $j = 2$ ) の内容が  $x_j$  ( $j = 1$ ) にシフトされる。以下同様に、 $x_j$  ( $j = -2$ ) の内容が  $x_j$  ( $j = -3$ ) にシフトされ、 $x_j$  ( $j = -3$ ) の内容が廃棄される。シフト完了後再び、変位検出型キーセンサ 25 によって検出された押鍵深さが位置記憶レジスタ  $x_j$  ( $j = 3$ ) に記憶され、積和演算およびソレノイド 10 の駆動が一定時間間隔で繰り返され、鍵軌道が時々刻々制御される。

【 0049 】

以上のように本実施例によれば、変位検出型キーセンサ 25 の出力データが多項式により近似されるので、該データに含まれるノイズが除去される。すなわち、フィードバック制御に好適な信号が得られる。また、サンプル値終端の推測値を直接求めることが出来るため、サンプル値中央の推測値に (微分値 \*  $m$  \* サンプルング周期) の値を乗じてサンプル値終端の推測値を求める場合よりも計算量が少ない。

【 0050 】

#### 4. 変形例

本発明は上述した実施例に限定されるものではなく、例えば以下のように種々の変形が可能であり、全て本発明の範疇に含まれる。

( 1 ) 上記実施例においては、鍵の駆動を行ったがペダルの駆動を行ってもよい。また、管楽器等の操作子を有する楽器に応用することが可能である。

( 2 ) 上記実施例においては、自動演奏ピアノの押鍵深さを検出した信号に雑音除去方法を使用した、産業用ロボットその他の装置に使用することが出来る。

【 0051 】

( 3 ) 上記実施例においては、重み係数  $w_j$  とサンプル値  $x_j$  との積和演算した結果を正規化定数  $W$  で除算したが、サンプル値  $x_j$  を正規化定数  $W$  で除算した値と重み係数  $w_j$  との積和演算を行ってもよい。また、重み係数  $w_j$  の値を正規化係数  $W$  によって除した値とサンプル値  $x_j$  との積和演算を行うこともできるし、この重み係数  $w_j$  の値を正規化係数  $W$  によって除した値をテーブルとして記憶しておくこともできる。さらに、入力信号に比例したサンプル値  $x_j$  と重み係数  $w_j$  との積和演算した結果、すなわち変位、速度に比例する値を、正規化定数  $W$  で除算せずに、制御信号として使用することも出来る。

( 4 ) 上記実施例においては、サンプル値を 2 次、3 次多項式で近似して算出された重み係数、正規化係数を用いたが、より高次の多項式で近似した重み係数、正規化係数を用いてもよい。

【 0052 】

( 5 ) 上記実施例においては、フラッシュ ROM 52 に格納されたプログラムによって雑音除去方法を実行したが、パーソナルコンピュータ上で動作するアプリケーションプログラムによっても実行することが出来る。このアプリケーションプログラムを CD-ROM、フレキシブルディスク等の記憶媒体に格納して頒布し、あるいは電気通信回線を通じて

頒布してもよい。

(6) また、位置の記憶はシフトレジスタに限られるものではなく、リングバッファなど適切な構成を用いればよい。なお、リングバッファを用いる場合は、内容のシフトではなく、参照アドレスを変更するだけでよい。

(7) 上記実施例においては、位置記憶レジスタ  $\times j$  ( $j = -3, \dots, 3$ ) の値が「0」に初期化されたが、初期値は「0」でなくてもよい。例えば、そのときの系の運動状態を把握しておき、それに対応する初期値を設定してもよい。

(8) また、上記実施例においては、サンプル数  $n$  を奇数にしたが、これは偶数であってもよい。また、サンプリング間隔も等間隔でなくてもよい。これらの場合は、それぞれに適した重み付け係数、正規化係数を求めて適用するとよい。

【0053】

#### 5. 実施態様

本発明には、以下のような実施態様がある。

(1) 前記サンプル点の数は、サンプル番号  $j = -m$  から  $m$  までの  $(2m+1)$  個であり、前記多項近似式は、前記入力された信号についての 2 次近似式であり、 $j$  番目のサンプル値に対する前記重み係数は、 $\{ 5j^2 + (2m+3)j - (m+1)(m-1) \}$  に比例する値である

ことを特徴とする請求項 1 記載の雑音除去方法。

【0054】

(2) 前記サンプル点の数は、サンプル番号  $j = -m$  から  $m$  までの  $(2m+1)$  個であり、前記多項近似式は、前記入力された信号の微分についての 2 次近似式であり、 $j$  番目のサンプル値に対する前記重み係数は、 $\{ 30mj^2 + (2m+3)(2m-1)j - 10m^2(m+1) \}$  に比例する値である

ことを特徴とする請求項 1 記載の雑音除去方法。

【0055】

(3) 前記サンプル点の数は、サンプル番号  $j = -m$  から  $m$  までの  $(2m+1)$  個であり、前記多項近似式は、前記入力された信号についての 3 次近似式であり、 $j$  番目のサンプル値に対する前記重み係数は、 $\{ 35j^3 + 15(m+2)j^2 - 5(3m^2-5)j - 3(m+1)(m+2)(m-1) \}$  に比例する値である

ことを特徴とする請求項 1 記載の雑音除去方法。

【0056】

(4) 前記サンプル点の数は、サンプル番号  $j = -m$  から  $m$  までの  $(2m+1)$  個であり、前記多項近似式は、前記入力された信号の微分についての 3 次近似式であり、 $j$  番目のサンプル値に対する前記重み係数は、 $\{ 7(3m(4m-1)+1)j^3 + 18m(m+2)(m-1)j^2 - (3m(m(m(16m+11)-7)+5)-5)j - 6m^2(m+1)(m+2)(m-1) \}$  に比例する値である

ことを特徴とする請求項 1 記載の雑音除去方法。

【0057】

(5) 前記サンプル点の数は、サンプル番号  $j = -m$  から  $m$  までの  $(2m+1)$  個であり、前記多項近似式は、前記入力された信号の 2 階微分についての 3 次近似式であり、 $j$  番目のサンプル値に対する前記重み係数は、 $\{ 6(35mj^3 + 3(m+2)(m-1)j^2 - 7m(3m(m+1)-1)j - m(m+1)(m+2)(m-1)) \}$  に比例する値である

ことを特徴とする請求項 1 記載の雑音除去方法。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図 1】 2 次式近似における押鍵速度  $V$  を算出するための重み係数および正規化定数を示す表である。

【図 2】 2 次式近似における押鍵深さ  $X$  を算出するための重み係数および正規化定数を示す表である。

【図 3】 3 次式近似における加速度  $A$  を算出するための重み係数および正規化定数を示す表である。

10

20

30

40

50

【図4】3次式近似における押鍵速度Vを算出するための重み係数および正規化定数を示す表である。

【図5】3次式近似における押鍵深さXを算出するための重み係数および正規化定数を示す表である。

【図6】本発明の一実施例である自動演奏ピアノのブロック図である。

【図7】鍵部の機構図である。

【図8】制御データを生成するためのアルゴリズム構成図である。

【図9】制御データを生成するためのアルゴリズムのフローチャートである。

【符号の説明】

【0059】

10...ソレノイド、20...ハンマセンサ、25...変位検出型キーセンサ、27...フォトセンサ型キーセンサ、30...PWM発生器、35...A/D変換器、37...I/Oインターフェース、40...フレキシブルディスクユニット、50...CPU、52...フラッシュROM、54...RAM、60...バスライン、70...鍵、80...バランスピン、90...アクション機構、100...自動演奏ピアノ(雑音除去装置)、125...変位検出ユニット、135...A/D変換ユニット、140...位置生成ユニット、145...速度生成ユニット。

【図1】

m	n	j	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	Sum
-10	-9	-8	14630	3519	488	4823	198	555	812	7	26	-27	0	0
-9	-8	-7	9367	2108	297	2314	77	144	49	-2	-27	-40	1	0
-8	-7	-6	4704	877	76	225	20	-167	-474	7	-40	-13	2	0
-7	-6	-5	641	671	79	1444	-93	-378	-757	-2	-13	54	3	0
-6	-5	-4	-2822	-1043	-204	-2893	-142	-469	-600	-7	-40	-13	4	0
-5	-4	-3	-5685	-7946	-236	-3222	-167	-500	-803	-8	-13	54	5	0
-4	-3	-2	-9611	-10674	-247	-3831	-168	-411	-603	-5	-13	54	6	0
-3	-2	-1	-10074	-11037	-387	-3920	-145	-411	-603	-4	-13	54	7	0
-2	-1	0	-10000	-10263	-384	-3469	-96	-222	-166	-3	-13	54	8	0
-1	0	1	-8826	-8826	-282	-2536	-27	-1367	511	2	13	1428	9	0
0	1	2	-6889	-1533	-183	-1367	166	496	1428	13	13	1428	10	0
1	2	3	-4452	-784	32	324	187	496	1428	13	13	1428	Sum	0
2	3	4	-1315	1294	306	2435	187	496	1428	13	13	1428	0	0
3	4	5	2422	6739	533	4866	330	330	7817	42	42	7817	0	0
4	5	6	4012	5661	792	7817	330	330	7817	42	42	7817	0	0
5	6	7	17233	23370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum														

【図2】

m	n	j	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	Sum
-10	-9	-8	171	68	105	39	11	18	21	5	3	-5	-10	0
-9	-8	-7	37	36	49	15	3	2	-3	7	5	-3	-9	0
-8	-7	-6	-15	9	3	15	11	-2	-4	9	35	-3	-7	0
-7	-6	-5	-57	-13	-33	-4	-3	-9	-7	42	165	-15	-11	0
-6	-5	-4	-89	-30	-59	-18	-3	-9	-7	165	42	-15	-11	0
-5	-4	-3	-111	-42	-89	-27	-9	-16	-11	42	165	-15	-11	0
-4	-3	-2	-123	-49	-111	-31	-9	-21	-17	42	165	-15	-11	0
-3	-2	-1	-125	-51	-123	-31	-9	-21	-17	42	165	-15	-11	0
-2	-1	0	-117	-48	-117	-30	-7	-16	-15	42	165	-15	-11	0
-1	0	1	-99	-27	-117	-24	-3	-12	-4	42	165	-15	-11	0
0	1	2	-71	-9	-117	-13	3	-3	1	42	165	-15	-11	0
1	2	3	-33	-9	-5	3	11	11	27	42	165	-15	-11	0
2	3	4	14	14	24	24	30	30	109	42	165	-15	-11	0
3	4	5	73	42	93	50	21	54	83	42	165	-15	-11	0
4	5	6	141	75	157	81	33	83	109	42	165	-15	-11	0
5	6	7	219	113	231	117	47	83	109	42	165	-15	-11	0
6	7	8	307	156	315	158	47	83	109	42	165	-15	-11	0
7	8	9	405	204	403	158	47	83	109	42	165	-15	-11	0
8	9	10	513	257	403	158	47	83	109	42	165	-15	-11	0
9	10	Sum	631	257	403	158	47	83	109	42	165	-15	-11	0
Sum			1771	665	969	340	91	143	165	42	165	-15	-11	0

2次式

2次式

3次式

【図3】

m	10	9	8	7	6	5	4	3	2	j
n	21	19	17	15	13	11	9	7	5	WA
WA	302841	298452	3876	55692	2002	858	1386	42	7	wAj
j	wAj	wAj	wAj	wAj	wAj	wAj	wAj	wAj	wAj	wAj
-10	-8265	-10608	-184	-3640	-187	-120	-308	-16	-5	-10
-9	-2793	-2788	-31	-169	22	42	217	21	108	-9
-8	1158	3763	68	1886	130	108	340	21	108	-8
-7	5197	5871	121	7340	2770	186	132	18	13	-7
-6	5635	7322	156	6132	2005	166	132	18	13	-6
-5	4223	4085	84	4085	2723	156	132	18	13	-5
-4	927	1486	33	1486	927	156	132	18	13	-4
-3	-990	-1320	-24	-1320	-990	156	132	18	13	-3
-2	-2853	-4048	-79	-4048	-2853	156	132	18	13	-2
-1	-4487	-6373	-124	-6373	-4487	156	132	18	13	-1
0	-5717	-7980	-151	-7980	-5717	156	132	18	13	0
1	-6368	-8554	-152	-8554	-6368	156	132	18	13	1
2	-6265	-7780	-119	-7780	-6265	156	132	18	13	2
3	-5233	-5343	-44	-5343	-5233	156	132	18	13	3
4	-3097	-81	81	-3097	-3097	156	132	18	13	4
5	318	5780	264	5780	318	156	132	18	13	5
6	5187	15096	264	15096	5187	156	132	18	13	6
7	8187	318	264	8187	8187	156	132	18	13	7
8	318	5780	264	318	318	156	132	18	13	8
9	5187	15096	264	5187	5187	156	132	18	13	9
10	11685	0	0	11685	11685	156	132	18	13	10
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Sum

3次式

【図5】

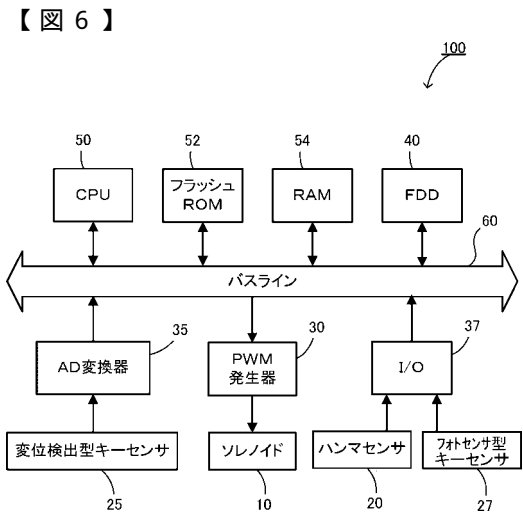
m	10	9	8	7	6	5	4	3	2	j
n	21	19	17	15	13	11	9	7	5	WX
WX	10626	1463	969	3060	364	143	99	42	70	wXj
j	wXj	wXj	wXj	wXj	wXj	wXj	wXj	wXj	wXj	wXj
-10	-969	-136	-91	-288	-33	-12	-7	-2	-1	-10
-9	-204	-16	0	209	12	8	8	4	4	-9
-8	306	59	52	244	30	13	13	8	8	-8
-7	596	96	72	656	244	30	13	8	8	-7
-6	701	102	84	84	256	44	49	4	4	-6
-5	496	84	49	256	44	49	4	4	4	-5
-4	256	49	4	256	44	49	4	4	4	-4
-3	49	4	4	49	4	4	4	4	4	-3
-2	-88	-44	-28	-88	-28	-88	-44	-28	-12	-2
-1	-594	-121	-88	-594	-121	-88	-121	-88	-12	-1
0	-804	-136	-96	-804	-136	-96	-136	-96	-12	0
1	-919	-126	-80	-919	-126	-80	-126	-80	-12	1
2	-904	-84	-33	-904	-84	-33	-84	-33	-12	2
3	-724	-3	52	-724	-3	52	-3	52	-12	3
4	-344	124	182	-344	124	182	124	182	-12	4
5	271	364	605	271	364	605	364	605	-12	5
6	1156	304	544	1156	304	544	304	544	-12	6
7	2346	851	851	2346	851	851	851	851	-12	7
8	3876	1463	969	3876	1463	969	1463	969	-12	8
9	5751	3060	3060	5751	3060	3060	3060	3060	-12	9
10	10626	0	0	10626	10626	0	0	0	-12	10
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Sum

3次式

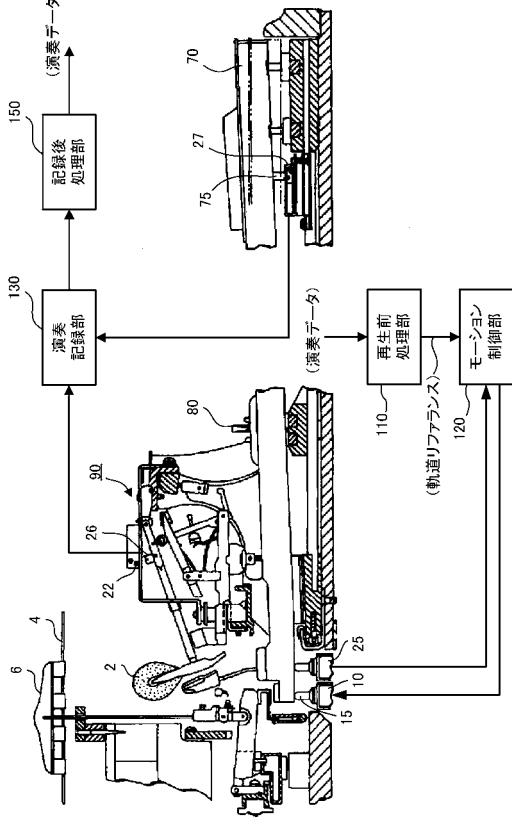
【図4】

m	10	9	8	7	6	5	4	3	2	j
n	21	19	17	15	13	11	9	7	5	WV
WV	3634092	81396	23256	334152	24024	2574	8316	252	84	wVj
j	wVj	wVj	wVj	wVj	wVj	wVj	wVj	wVj	wVj	wVj
-10	-309225	-8058	-2708	-46319	-4015	-525	-2086	-77	-29	-10
-9	-85728	-1564	-242	-2158	924	258	1862	122	88	-9
-8	70476	2738	1277	29047	3246	529	38324	186	125	-8
-7	167584	5149	1988	29047	3532	529	33965	122	125	-7
-6	213793	5970	1988	29047	3532	529	33965	122	125	-6
-5	217300	5970	1988	29047	3532	529	33965	122	125	-5
-4	186302	5502	1642	19946	320	431	2363	863	88	-4
-3	128996	4046	1642	19946	320	431	2363	863	88	-3
-2	53579	1903	863	1903	320	431	2363	863	88	-2
-1	-31752	-626	-118	-1152	-2016	-3000	-1440	-72	-48	-1
0	-118800	-3240	-3240	-21168	-4064	-647	-1440	-185	-136	0
1	-19368	-5638	-2080	-40311	-5243	-791	-3366	-122	125	1
2	-265259	-7519	-265259	-53210	-4972	-589	-3593	-257	125	2
3	-308276	-8582	-308276	-55859	-2670	-102	-854	6118	1425	3
4	-320222	-8526	-320222	-44372	2244	1425	6118	1425	1425	4
5	-292900	-7050	-1902	-44372	2244	1425	6118	1425	1425	5
6	-262900	-3853	-125	115115	10351	1425	6118	1425	1425	6
7	-218113	-1366	2642	115115	10351	1425	6118	1425	1425	7
8	106644	8908	6548	115115	10351	1425	6118	1425	1425	8
9	373008	19074	0	115115	10351	1425	6118	1425	1425	9
10	719625	0	0	115115	10351	1425	6118	1425	1425	10
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Sum

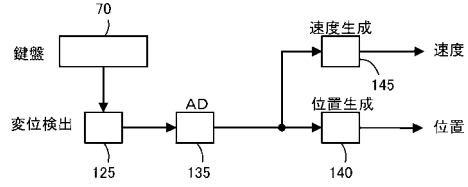
3次式



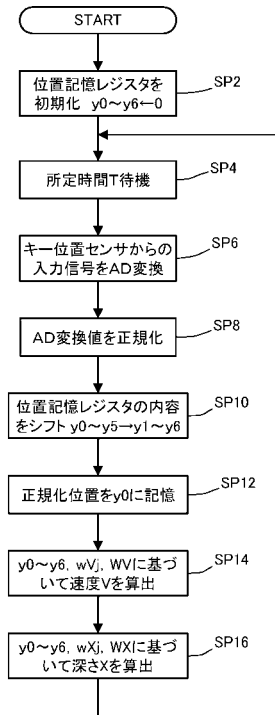
【図7】



【図8】



【図9】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07 - 175471 (JP, A)  
特開平07 - 271355 (JP, A)  
特開平09 - 081125 (JP, A)  
特開平09 - 134172 (JP, A)  
特開平10 - 232672 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G10F	1/02		
G10H	1/00		
G05B	1/00	-	7/04
G05B	11/00	-	13/04
G05B	17/00	-	17/02
G05B	21/00	-	21/02
G05D	3/00	-	3/20