

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4661143号
(P4661143)

(45) 発行日 平成23年3月30日 (2011. 3. 30)

(24) 登録日 平成23年1月14日 (2011.1.14)

(51) Int. Cl. F 1
G 1 O F 1/02 (2006.01) G 1 O F 1/02 B
G 1 O H 1/00 (2006.01) G 1 O H 1/00 1 O 1 B

請求項の数 4 (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-268458 (P2004-268458) (22) 出願日 平成16年9月15日 (2004. 9. 15) (65) 公開番号 特開2006-84687 (P2006-84687A) (43) 公開日 平成18年3月30日 (2006. 3. 30) 審査請求日 平成19年7月20日 (2007. 7. 20)</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 100077539 弁理士 飯塚 義仁 (72) 発明者 佐々木 智也 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 鈴木 聡一郎</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 楽器の演奏駆動装置及び楽器の演奏操作子をフィードバック制御によって駆動するための方法及び該方法をコンピュータにより実行する制御プログラム。

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レスト位置からエンド位置の動作範囲内で変位可能な演奏操作子と、前記演奏操作子の運動をハンマに伝達するためのアクション機構と、前記アクション機構により伝達された演奏操作子の運動に応じて発音体を打撃するハンマからなる発音機構を有する楽器の演奏駆動装置であって、前記楽器は、それぞれ固有の音高が割り当てられた複数の演奏操作子を具備しており、

前記演奏操作子の軌道を指示する軌道データを供給する供給手段と、

前記演奏操作子を駆動するための駆動手段と、

前記演奏操作子又は前記ハンマの動きに応じた物理量を検出する検出手段と、

前記供給された軌道データを目標値とし前記検出手段による検出出力をフィードバック値として、該軌道データに従う軌道で前記演奏操作子が動くように前記駆動手段を制御するフィードバックループ手段であって、該駆動手段を制御するための駆動データを、前記目標値及び前記フィードバック値に基づいて生成した情報に、所定の加算値を加算して生成するフィードバックループ手段と、

前記目標値又は前記フィードバック値に基づいて判断した演奏操作子の位置及び速度と、前記演奏操作子に割り当てられた音高に応じて、前記フィードバックループ手段におけるループゲインの値と前記所定の加算値を設定するゲイン値制御手段であって、前記ループゲインは位置ゲインと速度ゲインを含み、前記演奏操作子の位置がレスト位置から所定位置までの初期領域にある場合、前記フィードバックループ手段における位置ゲインを、

10

20

該初期領域以外の位置にある場合に比べて大きい値であって、少なくとも最低音が割り当てられた演奏操作子を駆動するときには最大値となるよう設定し、且つ、前記演奏操作子の速度が所定速度以下の場合、前記加算値として所定の固定値を設定し、該所定速度以上の場合に、前記加算値として少なくとも前記固定値よりも大きい値を設定するゲイン値制御手段

を具える楽器の演奏駆動装置。

【請求項 2】

前記ゲイン値制御手段は、所定の高音域では所定の低音域に比べて、目標値に対する速度応答性を高めるよう前記ループゲインの値を設定するものであることを特徴とする請求項 1 に記載の楽器の演奏駆動装置。

10

【請求項 3】

レスト位置からエンド位置の動作範囲内で変位可能な演奏操作子と、前記演奏操作子の運動をハンマに伝達するためのアクション機構と、前記アクション機構により伝達された演奏操作子の運動に応じて発音体を打撃するハンマからなる発音機構を有する楽器の演奏操作子を駆動手段により駆動するための方法であって、前記楽器は、それぞれ固有の音高が割り当てられた複数の演奏操作子を具備しており、

前記演奏操作子の軌道を指示する軌道データを供給するステップと、

前記演奏操作子を前記駆動手段によって駆動するステップと、

前記演奏操作子又は前記ハンマの動きに応じた物理量を検出するステップと、

前記供給された軌道データを目標値とし前記検出された物理量をフィードバック値として、該軌道データに従う軌道で前記演奏操作子が動くように前記駆動手段をフィードバック制御するステップであって、該駆動手段を制御するための駆動データを、前記目標値及び前記フィードバック値に基づいて生成した情報に、所定の加算値を加算して生成するステップと、

20

前記目標値又は前記フィードバック値に基づいて判断した演奏操作子の位置及び速度と、前記演奏操作子に割り当てられた音高に応じて、前記フィードバック制御するステップにおけるループゲインの値と前記所定の加算値を設定するステップであって、前記ループゲインは位置ゲインと速度ゲインを含み、前記演奏操作子の位置がレスト位置から所定位置までの初期領域にある場合、前記フィードバック制御するステップにおける位置ゲインを、該初期領域以外の位置にある場合に比べて大きい値であって、少なくとも最低音が割り当てられた演奏操作子を駆動するときには最大値となるよう設定し、且つ、前記演奏操作子の速度が所定速度以下の場合、前記加算値として所定の固定値を設定し、該所定速度以上の場合に、前記加算値として少なくとも前記固定値よりも大きい値を設定するステップを具えることを特徴とするフィードバック制御の方法。

30

【請求項 4】

レスト位置からエンド位置の動作範囲内で変位可能な演奏操作子と、前記演奏操作子の運動をハンマに伝達するためのアクション機構と、前記アクション機構により伝達された演奏操作子の運動に応じて発音体を打撃するハンマからなる発音機構を有する楽器の演奏操作子を駆動手段により駆動する処理をコンピュータに実行させるプログラムであって、前記楽器は、それぞれ固有の音高が割り当てられた複数の演奏操作子を具備しており、コンピュータに、

40

前記演奏操作子の軌道を指示する軌道データを供給するステップと、

前記演奏操作子を前記駆動手段によって駆動するステップと、

前記演奏操作子又は前記ハンマの動きに応じた物理量を検出するステップと、

前記供給された軌道データを目標値とし前記検出された物理量をフィードバック値として、該軌道データに従う軌道で前記演奏操作子が動くように前記駆動手段をフィードバック制御するステップであって、該駆動手段を制御するための駆動データを、前記目標値及び前記フィードバック値に基づいて生成した情報に、所定の加算値を加算して生成するステップと、

前記目標値又は前記フィードバック値に基づいて判断した演奏操作子の位置及び速度と

50

、前記演奏操作子に割り当てられた音高に応じて、前記フィードバック制御するステップにおけるループゲインの値と前記所定の加算値を設定するステップであって、前記ループゲインは位置ゲインと速度ゲインを含み、前記演奏操作子の位置がレスト位置から所定位置までの初期領域にある場合、前記フィードバック制御するステップにおける位置ゲインを、該初期領域以外の位置にある場合に比べて大きい値であって、少なくとも最低音が割り当てられた演奏操作子を駆動するときには最大値となるよう設定し、且つ、前記演奏操作子の速度が所定位置以下の場合、前記加算値を所定の固定値に設定し、該所定位置以上の場合に、前記加算値を、速度に応じた値であって、少なくとも前記固定値よりも大きい値に設定するステップ
 を実行させるためのプログラム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、自動的に鍵を駆動して演奏する自動演奏ピアノ等の鍵盤楽器及び鍵盤楽器の鍵の駆動を制御するための方法及び該方法をコンピュータにより実行する制御プログラムに関し、特に鍵の駆動にフィードバック制御を採用したものに關する。

【背景技術】

【0002】

従来から知られる自動演奏ピアノは、アコースティックのピアノ（アップライト又はグランドピアノ）に備わる各鍵に対して、該鍵を駆動するための駆動手段（例えば電磁ソレノイド）を配設し、再生すべき演奏データに応じて該電磁ソレノイドの駆動を制御することで鍵の自動的な駆動を行い、該鍵の駆動に連動して、アクション機構を介してハンマが駆動される。これにより、前記演奏データに基づくハンマの打弦動作（自動演奏）が実現される。ハンマによる打弦の強弱は、鍵の駆動速度に対応しており、その鍵の駆動速度はソレノイドに供給する励磁電流に対応する。即ち、ソレノイドに対する電流供給量を制御することにより、打弦の強弱、すなわち、発生する楽音の大きさを制御することができる。この種の自動演奏ピアノにおいては、従来から、演奏データと鍵の動作位置や速度に基づき、ソレノイドの駆動をサーボ制御することが行われていた（例えば、特許文献1、特許文献2を参照）。また、鍵の駆動（ソレノイドの駆動）をフィードバック制御するフィードバックループ中に、帰還入力信号に対するオフセット及びゲインを外部から任意に調整可能な増幅器を設けることで、個々の楽器の個体差を吸収することを図ったものがあつた（下記特許文献3）。

20

30

【特許文献1】特許第2923541号公報

【特許文献2】特許第2737669号公報

【特許文献3】特開平10-228276号公報

【0003】

ところで、アコースティックピアノに備わる各ハンマは、それぞれが担当する音高によって、その大きさが、従って、その重さが異なっている。具体的には、低音域を担当するハンマほど、その重量が重くなっており、音高が高くなるにつれて、ハンマの大きさ・重さは、小型・軽量になる。このため、自動演奏ピアノにおいて、再現精度の高い演奏を実現するには、音高に応じた各ハンマ重量の違いを考慮したフィードバック制御を行うことが望ましい。また、周知の通り、アクション機構を介して鍵の打鍵運動（押鍵動作）をハンマの打弦運動に変換する際には、各部材は以下のように作動する。すなわち、鍵の押し下げが開始されると、鍵の動きに連動してジャックの端部がハンマを弦の方に送り出す作用をする。このとき鍵とハンマは機械的に連結した動作系として連動している。鍵がある程度押し下げられると、ジャックとハンマの接触が解かれ、それより先は、いくら鍵を押し下げてもジャックはハンマを送り出す作用をしない。このときハンマには既に或る程度の速度が与えられているので、ジャックの作用がなくなった後も、ハンマは慣性で動き続けて、弦に達する。すなわち、打鍵動作では、初期の段階では鍵とハンマは連動しているが、最終的な打弦の時点では、鍵とハンマの連動関係が断たれ、ハンマは自由運動（慣性

40

50

運動)していることになる。よって、自動演奏ピアノにおいて、最終的なハンマの自由運動の運動特性として所望の特性(再現すべき打弦速度、タイミングなど)を忠実・高精度に再現するためには、前述した音高の違いに応じたハンマ重量の違い、すなわち、各ハンマ重量の違いに応じた運動特性の違いを考慮したフィードバック制御を実施することが望ましい。

しかしながら、しかし、従来の自動演奏ピアノのフィードバック制御では、そのような音高に応じたハンマ重量の違いに関わらず、何れの鍵の駆動についても共通のゲイン値でフィードバック制御を行っていた。このため、例えば、フィードバック制御の応答性を高めるべくフィードバックゲイン値を大きくすると、ハンマ重量が軽い高音側では、その影響が強すぎてしまい、所謂「鍵の暴れ」など、鍵の挙動の乱れが生じやすく、「2度打ち(不所望な打弦)」などの打鍵動作の乱れを抑えることが難しかった、という不都合があった。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

この発明は上述の点に鑑みてなされたもので、自動演奏機能を有するピアノ等において、個々の演奏操作子の重さや現在の動作位置などの各種特性の違いを考慮したより高精度なフィードバック制御を行うことができる演奏駆動装置及び演奏操作子をフィードバック制御によって駆動するための方法及び該方法をコンピュータにより実行する制御プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

この発明は、レスト位置からエンド位置の動作範囲内で変位可能な演奏操作子と、前記演奏操作子の運動をハンマに伝達するためのアクション機構と、前記アクション機構により伝達された演奏操作子の運動に応じて発音体を打撃するハンマからなる発音機構を有する楽器の演奏駆動装置であって、前記楽器は、それぞれ固有の音高が割り当てられた複数の演奏操作子を具備しており、前記演奏操作子の軌道を指示する軌道データを供給する供給手段と、前記演奏操作子を駆動するための駆動手段と、前記演奏操作子又は前記ハンマの動きに応じた物理量を検出する検出手段と、前記供給された軌道データを目標値とし前記検出手段による検出出力をフィードバック値として、該軌道データに従う軌道で前記演奏操作子が動くように前記駆動手段を制御するフィードバックループ手段であって、該駆動手段を制御するための駆動データを、前記目標値及び前記フィードバック値に基づいて生成した情報に、所定の加算値を加算して生成するフィードバックループ手段と、前記目標値又は前記フィードバック値に基づいて判断した演奏操作子の位置及び速度と、前記演奏操作子に割り当てられた音高に応じて、前記フィードバックループ手段におけるループゲインの値と前記所定の加算値を設定するゲイン値制御手段であって、前記ループゲインは位置ゲインと速度ゲインを含み、前記演奏操作子の位置がレスト位置から所定位置までの初期領域にある場合、前記フィードバックループ手段における位置ゲインを、該初期領域以外の位置にある場合に比べて大きい値であって、少なくとも最低音が割り当てられた演奏操作子を駆動するときには最大値となるよう設定し、且つ、前記演奏操作子の速度が所定速度以下の場合、前記加算値として所定の固定値を設定し、該所定速度以上の場合に、前記加算値として少なくとも前記固定値よりも大きい値を設定するゲイン値制御手段を具える楽器の演奏駆動装置である。

【0006】

また、この発明は、レスト位置からエンド位置の動作範囲内で変位可能な演奏操作子と、前記演奏操作子の運動をハンマに伝達するためのアクション機構と、前記アクション機構により伝達された演奏操作子の運動に応じて発音体を打撃するハンマからなる発音機構を有する楽器の演奏操作子を駆動手段により駆動するための方法であって、前記楽器は、それぞれ固有の音高が割り当てられた複数の演奏操作子を具備しており、前記演奏操作子の軌道を指示する軌道データを供給するステップと、前記演奏操作子を前記駆動手段によ

10

20

30

40

50

って駆動するステップと、前記演奏操作子又は前記ハンマの動きに応じた物理量を検出するステップと、前記供給された軌道データを目標値とし前記検出された物理量をフィードバック値として、該軌道データに従う軌道で前記演奏操作子が動くように前記駆動手段をフィードバック制御するステップであって、該駆動手段を制御するための駆動データを、前記目標値及び前記フィードバック値に基づいて生成した情報に、所定の加算値を加算して生成するステップと、前記目標値又は前記フィードバック値に基づいて判断した演奏操作子の位置及び速度と、前記演奏操作子に割り当てられた音高に応じて、前記フィードバック制御するステップにおけるループゲインの値と前記所定の加算値を設定するステップであって、前記ループゲインは位置ゲインと速度ゲインを含み、前記演奏操作子の位置がレスト位置から所定位置までの初期領域にある場合、前記フィードバック制御するステップにおける位置ゲインを、該初期領域以外の位置にある場合に比べて大きい値であって、少なくとも最低音が割り当てられた演奏操作子を駆動するときに最大値となるよう設定し、且つ、前記演奏操作子の速度が所定速度以下の場合、前記加算値として所定の固定値を設定し、該所定速度以上の場合に、前記加算値として少なくとも前記固定値よりも大きい値を設定するステップを具えることを特徴とするフィードバック制御の方法、或いは、前記方法をコンピュータに実行させるためのプログラムとして構成することも可能である。

【発明の効果】

【0007】

この発明によれば、演奏操作子の位置がレスト位置から所定位置までの初期領域にある場合、フィードバックループ手段における位置ゲインを、該初期領域以外の位置にある場合に比べて大きい値であって、少なくとも最低音が割り当てられた演奏操作子を駆動するときに最大値となるよう設定することで、フィードバック制御系の定常偏差を減らすことができる。また、前記位置ゲインは、音高に応じて設定されるものであり、少なくとも最低音が割り当てられた演奏操作子を駆動するときに最大値となるよう設定されるものであるため、音高に応じた演奏操作子やハンマの重さ、大きさの違いを補正するような位置ゲインの設定が可能となる。例えば、高音域ほど位置ゲインを小さくするように設定すれば、演奏操作子が初期領域にあるとき低音側で強い位置ゲインを使いフィードバック制御の応答性を確保し、且つ、ハンマ重量の軽い高音側での鍵の動作を安定させて、所謂「鍵のあばれ」など、演奏操作子の挙動の乱れを防ぐことが可能となる。また、演奏操作子の速度が所定速度以下の場合、加算値として所定の固定値を設定し、該所定速度以上の場合に、加算値として少なくとも前記固定値よりも大きい値を設定することで、フィードバック制御の速度追従性を高めることができる。このように、本発明によれば、演奏操作子の音高、位置、及び速度に応じた位置ゲインや、加算値の設定を行うことにより、演奏操作子の挙動の安定させつつ、定常偏差を減らし、また、速度追従性を高め、個々の演奏操作子の重さや現在の動作位置などの各種特性の違いを考慮したより高精度なフィードバック制御を行うことができるという優れた効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

以下、添付図面を参照してこの発明の一実施例について説明する。当該実施例においては、この発明を自動演奏機能を有するアコースティックピアノ（自動演奏ピアノ）に適用した例を示す。

【0009】

図1は、この実施例に係る自動演奏ピアノの概要構成図であり、機械的な発音機構の要部と共に、電氣的制御系に関する機能ブロックの要部を抽出して示している。自動演奏ピアノは、演奏操作に応じて動かされる鍵1を有する。鍵1は複数（例えば88個）備わっている。図1に示すように、自動演奏ピアノは、機械的な発音機構として、各鍵1の運動をハンマに伝達するためのアクション機構2と、対応する鍵1に連動して打弦運動するハンマ3と、該ハンマ3によって打撃される弦4と、弦4の振動を止めるためのダンパ5等を含む。これら各部材は、88鍵の各鍵に対応して備わる。上述の通り、ハンマ3の大きさ、重さは、担当する音高に応じて各々異なっており、低音側のハンマ3ほど、大きく、重

たい。

【 0 0 1 0 】

鍵 1 は、バランスピン P に貫通された位置を凡その支点として、上下ストローク変位可能に支持されており、非押鍵時（外力を加えない状態）では図 1 において実線で示すレスト位置（ストローク量 0 mm の位置）にある。そして、演奏操作（押鍵及び離鍵）に応じて、前記レスト位置からエンド位置の間で上下にストロークする。前記エンド位置は、例えばレスト位置から 1 0 mm 押し下げられたストローク位置であり、図 1 においてはこのエンド位置を 2 点鎖線で示す。各鍵 1 の後端下面側には、当該鍵 1 を自動的に駆動するための駆動手段（アクチュエータ）として、電磁ソレノイド 6 が具備されている。これらの構成は、一般的な自動演奏ピアノと概ね同様である。

10

【 0 0 1 1 】

ソレノイド 6 は、周知の通り、ヨーク内に配置されたコイルと、該コイル軸心内において双方向的に直線移動可能に挿入された棒状のプランジャ 9 とを有しており、該プランジャ 9 の先端部が鍵 1 の後端下面部に当接可能に配設される。当該ソレノイド 6 に対して励磁電流が与えられてソレノイド 6 が駆動されると、プランジャ 9 が上方変位して、対応する鍵 1 の後端下面を突き上げる。このプランジャ 9 の突き上げによって、対応する鍵 1 の駆動（押鍵駆動）が行われる。すなわち、自動演奏ピアノにおいては、ソレノイド 6 と鍵 1 という夫々機械的に独立した動作系の協働によって、最終的な制御対象となるハンマ 3 の打弦運動が実現される。

【 0 0 1 2 】

自動演奏ピアノの各鍵 1 の下面側には、鍵 1 の動作を検出するためのキーセンサ 7 が配設される。キーセンサ 7 は、例えば、鍵 1 の動作ストロークの全工程について連続的な位置情報を出力可能な光学式の位置センサによって構成され、鍵 1 のストローク位置を表すデータをアナログ信号で出力しうる。周知の通り、位置センサの出力（位置情報）を時間的に微分演算することで、速度情報を求めることが可能である。キーセンサ 7 の出力は、後述する記録制御部 1 2 並びにモーション制御部 1 1 の双方に供給され、演奏録音時の演奏情報の生成・記録処理と、演奏情報再生時のサーボ制御とに利用される。また、キーセンサ 7 として適用可能な光学式位置センサの具体的な構成例については、例えば上記特許文献 1 に記載の構成等、従来から知られる適宜のセンサ構成を採用してよく、また、光学式に限らず、その他適宜の位置センサによって構成されても差し支えない。

20

30

各ハンマ 3 に対応してハンマ 3 による打弦速度及び打弦タイミングを検出するためのハンマセンサ 8 が設けられている。各ハンマセンサ 8 は、例えばハンマ 3 の運動に関する物理量（位置、速度或いは加速度等）の情報を出力可能な適宜の光学式のセンサ等によって構成されてよい。この例では、ハンマセンサ 8 の出力は、後述する記録制御部 1 2 に供給され、演奏録音時の演奏情報の生成処理に際して利用される。なお、自動演奏ピアノのハンマセンサとして適用可能な各種センサの具体的な構成例については、例えば、特開 2 0 0 1 - 1 7 5 2 6 2 号公報等に詳細に記載されている。

【 0 0 1 3 】

ここで、図 2 を参照して、当該自動演奏ピアノの電氣的なハードウェア構成について簡単に説明すると、図 2 に示すように当該自動演奏ピアノは、CPU 2 0、ROM 2 1、RAM 2 2 及び記憶装置 2 3 を含み、各装置間がデータ及びアドレスバス 2 0 B を介して接続される。

40

【 0 0 1 4 】

CPU 2 0 は、当該自動演奏ピアノの全体的な動作を制御するとともに、鍵操作に応じた演奏情報の生成、該生成した演奏情報の記録（録音）や、記憶装置 2 3 に記憶された、演奏情報若しくは外部から供給された演奏情報の再生処理等、各種の信号処理の実行を制御する。CPU 2 0 が実行する各種処理の制御プログラムは、例えば ROM 2 1 内に記憶されていてよい。該各種処理の実行中に発生した各種データや各種パラメータ、或いは、鍵の駆動制御（フィードバック制御）に使用する各種パラメータは RAM 2 2 等の適宜のメモリ内に記憶されてよい。また、ROM 2 1 或いは RAM 2 2 には、詳しくは後述する

50

フィードバックループのゲイン値等の制御パラメータを算出するためのゲイン値出力テーブルが記憶される。

【0015】

記憶装置23は、演奏情報再生時に使用する演奏情報の記憶や、演奏録音処理により生成した演奏情報の書き込み等に利用されるものであり、ハードディスク、フレキシブルディスク又はフロッピー（登録商標）ディスク、コンパクトディスク（CD ROM）、光磁気ディスク（MO）、ZIPディスク、DVD（Digital Versatile Disk）、半導体メモリ等、適宜の記憶媒体で構成してよい。

【0016】

入出力インターフェース（I/O）24はAD変換器を含み、キーセンサ7及びハンマセンサ8から出力される検出信号（アナログ信号）は、当該I/O24を介してデジタル信号に変換されてCPU20へ出力される。CPU20では所定のクロックタイミング毎に各センサの出力を取得する処理を行う。また、後述する演奏情報再生時にCPU20の制御の下で生成されるソレノイド駆動用の信号は、PWM発生器25を介してPWM形式の電流信号（以下PWM信号と略称）に変換され、ソレノイド6に出力される。なお、当該自動演奏ピアノには、この他にも操作者（ユーザ）が動作モードの選択等を行うための各種設定用の操作子群や、適宜の外部機器に接続する通信インターフェース等が具備されてよい。なお、この実施例では、ソレノイド6の駆動方式として、パルス幅変調方式の電流信号を適用するものとするが、ソレノイド6の駆動方式はこれに限らず、従来から知られるどのような方式も適用可能である。

【0017】

当該自動演奏ピアノにおいて実行される演奏録音動作及び演奏情報の再生動作の概略について説明する。図1において、記録制御部12及び記録後処理部13は、演奏録音処理に関するモジュールに相当し、また、再生前処理部10及びモーション制御部11は演奏情報の再生処理に関するモジュールに相当する。この実施例において、これら各モジュールが担う各種演算処理によって実現される信号処理機能は、CPU20が実行するソフトウェアプログラムによって構成及び実施されるものとするが、これに限らず、該各モジュールが担う各種演算処理を実行する信号処理回路を具備することで、該各モジュールの各種機能をハードウェア装置によって構成及び実現することも可能である。

【0018】

記録制御部12は、キーセンサ7やハンマセンサ8から出力された各検出信号に基づき演奏情報の生成処理を行う。すなわち、ハンマセンサ8の検出信号に基づき打弦速度及び打弦時刻に関する情報を求め、また、キーセンサ7の検出信号に基づき押鍵速度及び押鍵時刻に関する情報を求め、これら演奏イベントに関する種々の情報に基づきピアノ演奏の内容を表す演奏情報を生成する。当該自動演奏ピアノに備わる88鍵の各鍵には、個々の鍵を識別するためのキーナンバ K_n （ $K_{n1} \sim 88$ ）が割り当てられており、演奏イベントを表す演奏情報には、操作された鍵を示すキーナンバ K_n が付加されている。なお、本実施例では、キーナンバ K_n は、低音側から順に若い番号が割り当てられているものとする。すなわち、キーナンバ K_n は、ピアノ鍵盤に向かって左側の鍵（低音の鍵）から右に向かって順次 K_{n1} 、 K_{n2} 、 $K_{n3} \dots K_{n88}$ という風に割り当てられている。記録後処理部13は、ピアノの個体差を吸収するための正規化処理を行った後に、該演奏情報を適宜の記憶装置23（図2参照）に出力する。なお、当該演奏情報はMIDI形式等、適宜のデータフォーマットで作成されてよい。

【0019】

再生前処理部10では、記憶装置23（図2参照）や、図示しないリアルタイム通信装置等から供給される前記演奏情報に基づいて、該演奏情報に含まれる各演奏イベントを再現するための鍵の軌道データを生成し、これをモーション制御部11に供給する。ここで作成される鍵の軌道データは、或る時間区間での時間経過に応じた鍵の位置の変化を表すデータであり、演奏情報に含まれる打弦速度情報を実現するために鍵が描くべき軌道を計算によって求めたものである。再生前処理部10への演奏情報の供給は、操作者による所

10

20

30

40

50

定の再生開始指示に応じて開始されるものとする。例えば、操作者は、コントローラに備わる再生指示スイッチをオン状態にすることで、演奏情報の再生指示を行うことができる。

また、この実施例において、再生前処理部 10 では、前記軌道データから、鍵の軌道の押鍵行程及び離鍵行程を識別する情報を出力する処理を行うものとする。鍵の軌道が、押鍵行程及び離鍵行程かの識別は、実現される鍵の動作向き（つまり速度の向き）から識別できる。この押鍵行程及び離鍵行程の識別情報は、後述するゲイン値出力処理で使用される。

【0020】

モーション制御部 11 においては、供給された軌道データを用いて各時刻におけるソレノイド駆動用の目標値（位置目標値 r_x 及び速度目標値 r_v が生成されると共に、キーセンサ 7 の検出信号（位置、速度或いは加速度等の物理量情報）がフィードバック信号（フィードバック値）として帰還入力される。すなわち、モーション制御部 11 は、基本的には、前記目標値とキーセンサ 7 の検出出力（フィードバック値）とに基づきソレノイド 6 を駆動するための制御信号を生成して、鍵 1 の挙動をサーボ制御するフィードバックループを含んで構成される。なお、この実施例において、鍵 1 はレスト位置（ストローク 0 mm）からエンド位置（レスト位置から略 10 mm 押し下げられた位置）の間でストロークするものであるため、位置目標値 r_x の値は、一例として、ミリメートル（mm）単位でストローク量 0 ~ 10 mm の範囲を表現する。また、速度目標値 r_v の値は、一例として、ミリメートル毎秒（mm/s）単位で 0 ~ 500 mm/s の範囲の鍵速度を表現する。

【0021】

図 3 は、上記モーション制御部 11 において実行されるサーボ制御のシステム構成を機能的に示すブロック図である。以下、この発明に係るサーボ制御における制御アルゴリズムの一例について説明する。なお、図 3 において、1 点鎖線で囲むフィードバックループにおける各種演算処理（すなわちサーボ制御）は、CPU 20 が実行するソフトウェアプログラムによって構成及び実施されるものとする。また、図 1 及び図 2 に既に示した要素については、同一の符号を付与し、適宜説明を省略する。

図 3 において、符号 30 は、前記再生前処理部 10（図 1 参照）から供給される軌道データ（軌道リファランス）に応じて、或る時刻における該軌道リファランスの位置成分を表す位置目標値 r_x と、速度成分を表す速度目標値 r_v を算出する目標値生成部である。なお、目標値生成部 30 において、位置目標値 r_x と速度目標値 r_v は、夫々計算によって求めた値であり、周知の通り、位置成分たる r_x を微分演算することで速度成分たる r_v を求めること、或いは、速度成分たる r_v を積分演算して位置成分たる r_x を求めることができる。すなわち、位置目標値 r_x と速度目標値 r_v は、微分/積分の関係になっている。位置比較部 31 は位置目標値 r_x と位置成分のフィードバック信号との偏差 e_x を出力し、また、速度比較部 32 は速度目標値 r_v と速度成分のフィードバック信号との偏差 e_v を出力するモジュールである。位置比較部 31 及び速度比較部 32 から出力される偏差 e_x 、 e_v は、後述する位置成分増幅部 34 及び速度成分増幅部 35 を介して、増幅される。位置成分増幅部 34 及び速度成分増幅部 35 の出力は、ソレノイド 6 に供給すべき励磁電流中の位置成分及び速度成分の使用比率（パーセンテージ）に換算せられた値をとる。すなわち、各増幅部 34、35 は、入力された信号の記述単位（ミリメートル単位及び mm/s 単位）による表現から、後段の PWM 発生器におけるデューティ比の増減値に対応する値に単位変換する機能を果たす。第 1 の加算器 36 は、各増幅器 34、35 からの出力 u_x 、 u_v を足し込んで一本化することで、制御信号 u_{xv} を生成する。また、第 2 の加算器 37 は、制御信号 u_{xv} に当該サーボシステムの制御パラメータの 1 つである加算値情報（固定値 u ）を加算して、ソレノイド駆動用の値（駆動データ）を生成する。そして、PWM 発生器 25 にて該駆動データに応じた PWM 信号（励磁電流）を発生する。

【0022】

図 3 において、符号 33 はゲイン値算出部である。ゲイン値算出部 33 は、位置成分増

10

20

30

40

50

幅部 3 4 及び速度成分増幅部 3 5 に設定する位置ゲイン K_x 及び速度ゲイン K_v と、第 2 の加算器 3 7 に設定する固定値 u を出力する処理（制御パラメータ出力処理）を行うモジュールである。位置ゲイン K_x 及び速度ゲイン K_v は、増幅部 3 4 及び増幅部 3 5 の夫々における入力信号（偏差 e_x , e_v ）に対する増幅度であり、これは当該フィードバックループの応答特性（サーボの効き具合）に関わる。固定値 u は、再現したい演奏の特性に応じて決定される固有の値であり、当該サーボ制御の動作を最適化するための補正值として機能する。図に示すとおり、ゲイン値算出部 3 3 には、再生前処理部 1 0（図 1 参照）から再生すべき演奏情報に含まれるキー情報（音高（キーナンバ K_n ）と、鍵の動作（つまり、押鍵動作か離鍵動作か停止かの区別）に関する情報）が与えられると共に、目標値生成部 3 0 から位置目標値 r_x 及び速度目標値 r_v が与えられており、該ゲイン値算出部 3 3 は、これらの情報に基づき、位置ゲイン K_x 、速度ゲイン K_v 及び固定値 u の各制御パラメータを出力する。

10

詳しくは後述するように、この実施例に係るサーボ制御システムの構成によれば、ゲイン値算出部 3 3 の出力する各制御パラメータ（位置ゲイン K_x 、速度ゲイン K_v 及び固定値 u ）が、発音すべき音高（つまり、ハンマの重さの違い）や鍵の動作位置、動作の向きなど、実現すべき鍵の挙動の運動特性に応じて可変設定される点に特徴がある。これにより、実現すべき鍵の挙動の運動特性に応じて、よりきめ細かにフィードバック制御を最適化して、演奏の再現性能を向上させることができるようになる。

【 0 0 2 3 】

図 4 (a) ~ (e) は、ゲイン値算出部 3 3 において位置ゲイン値 K_x 、速度ゲイン K_v 並びに固定値 u を出力するために参照する制御パラメータ出力テーブル構成の一例を示す図である。制御パラメータ出力テーブルは ROM 2 1 或は RAM 2 2（図 2 参照）など適宜のメモリ内に記憶されていてよい。なお、図 4 のテーブルを構成する各設定値等、テーブルの特性は、上記鍵の動作の最適化を達成すべく各種実験によって求められたものである。

20

【 0 0 2 4 】

打鍵動作（押鍵動作）のフィードバック制御を行う場合、図 4 (a) ~ (c) に示すテーブルのいずれかが選択的に使用される。(a) ~ (c) に示す各テーブルには、夫々所定の音高領域が割り当てられており、再生すべき音高（つまり、駆動すべき鍵のキーナンバ）に応じてテーブルが選択される。このように音高に応じて異なる特性のテーブルを用いることで、発音音高に応じてフィードバックの制御パラメータを可変し、フィードバック制御を音高に応じて最適化することができるようになる。

30

(a) ~ (c) に示す各テーブルに共通する制御パラメータ出力の条件として、鍵の動作速度が所定の閾値（例えば、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ ）以上又は以下の何れであるかという条件、並びに、鍵のストローク位置を初期領域と後半領域（例えば鍵のストローク深さ $0 \text{ mm} \sim 4 \text{ mm}$ の初期領域と $4 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$ の後半領域等）の 2 つの領域に区分し、位置目標値 r_x が何れの領域であるか、という条件が設定されている。両条件に従い各テーブルから夫々 4 通りの組み合わせで制御パラメータ（位置ゲイン K_x 、速度ゲイン K_v 及び固定値 u ）が出力されることになる。

【 0 0 2 5 】

40

(a) に示すテーブルは、キーナンバ $K_n 1 \sim K_n 26$ に相当する音高領域（低音域）が割り当てられたテーブルの構成例を示す。(a) に示すテーブルは、鍵のストローク位置を初期領域と後半領域に区分するための分割位置が、キーナンバ K_n に応じてリニアに変化する点に特徴がある。具体的な一例として、この実施例では、前記分割位置の値は、キーナンバ K_n に応じて、 $6 \sim 5 \text{ mm}$ でリニアに変化するものとする。図 4 (a) において、「 $6 - 0.04 (K_n - 1)$ 」によって、キーナンバ K_n に応じた分割位置の変化特性が示されている。すなわち、初期領域は $0 \text{ mm} \sim$ 「 $6 - 0.04 (K_n - 1)$ 」 mm の範囲であり、後半領域は「 $6 - 0.04 (K_n - 1)$ 」 $\text{mm} \sim 10 \text{ mm}$ の範囲である。従って、例えば、キーナンバ $K_n = 1$ の場合、初期領域は $0 \text{ mm} \sim 6 \text{ mm}$ の範囲であり、後半領域は $6 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$ の範囲となり、また、キーナンバ $K_n = 26$ の場合、初期領域

50

は 0 mm ~ 5 mm の範囲であり、後半領域は 5 mm ~ 10 mm の範囲となる。

(a) に例示するテーブルの特性は次の通りである。速度目標値 $r v = 200 \text{ mm/s}$ 以下であり、且つ、位置目標値 $r x =$ 初期領域 ($0 \text{ mm} \sim 「 6 - 0.04 (K n - 1) 」 \text{ mm}$ の範囲) である場合、位置ゲイン $K x = 0.6$ 、速度ゲイン $K v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。速度目標値 $r v = 200 \text{ mm/s}$ 以下であり、且つ、位置目標値 $r x =$ 後半領域 ($「 6 - 0.04 (K n - 1) 」 \sim 10 \text{ mm}$ の範囲) である場合、位置ゲイン $K x = 0.2$ 、速度ゲイン $K v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。速度目標値 $r v = 200 \text{ mm/s}$ 以上であり、且つ、位置目標値 $r x =$ 初期領域である場合、位置ゲイン $K x = 0.6$ 、速度ゲイン $K v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9 + 2 (r v - 100) / 100\%$ を出力する。速度目標値 $r v = 200 \text{ mm/s}$ 以上であり、且つ、位置目標値 $r x =$ 後半領域である場合、位置ゲイン $K x = 0.2$ 、速度ゲイン $K v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9 + 2 (r v - 100) / 100\%$ を出力する。

10

【 0026 】

(b) は、キーナンバ $K n 27 \sim K n 68$ に相当する音高領域 (中音域) が割り当てられたテーブルの構成例を示す。(b) に示すテーブルでは、鍵の動作位置の初期領域として、鍵のストローク深さ $0 \text{ mm} \sim 4 \text{ mm}$ の範囲、後半領域としてストローク深さ $4 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$ の範囲が設定されている。特性は、鍵の動作位置の分割位置 (初期領域と後半領域の境) がストローク深さ 4 mm の位置に固定されている点を除き、上記 (a) と概ね同様である。

【 0027 】

20

(c) は、キーナンバ $K n 69 \sim K n 88$ に相当する音高領域 (高音域) が割り当てられたテーブルの構成例を示す。(c) に示すテーブルは、制御パラメータ出力の条件については、上記 (b) のテーブルと同様であるが、位置目標値 $r x =$ 初期領域 ($r x = 0 \sim 4 \text{ mm}$) の場合に、位置ゲイン $K x$ がキーナンバ $K n 69 \sim K n 88$ に応じてリニアに漸減変化することに特徴がある。図 4 (c) において、「 $0.6 - (K n - 68) / 100$ 」によって、キーナンバ $K n$ に応じた位置ゲイン $K x$ の変化特性が示されている。例えば、キーナンバ $K n 69$ であれば位置ゲイン $K x = 0.59$ であり、キーナンバ $K n 78$ であれば位置ゲイン $K x = 0.5$ であり、キーナンバ $K n 88$ であれば位置ゲイン $K x = 0.4$ である。すなわち、(c) に示すテーブルによれば、位置目標値 $r x =$ 初期領域の場合、キーナンバ $K n 69 \sim K n 88$ に対して出力される位置ゲイン $K x$ は $0.59 \sim 0.4$ でリニアに変化する。

30

【 0028 】

また、図 4 (d) は離鍵動作のフィードバック制御を行う場合に使用する制御パラメータ出力テーブルの構成例を示す。図に示すテーブルの特性 (位置ゲイン $K x = 0.2$ 、速度ゲイン $K v = 0.7$ 及び固定値 $u = 9\%$) によれば、速度成分に対する追従性が向上されるようになっている。また、図 4 (e) は鍵の停止位置にて使用する制御パラメータ出力テーブルの構成例である。

【 0029 】

なお、上述の図 4 (a) ~ (e) のテーブルに示す制御パラメータ出力条件の閾値 (位置目標値 $r x$ 及び速度目標値 $r v$) や、出力される位置ゲイン値 $K x$ 、速度ゲイン値 $K v$ 及び固定値 u は、実験により求めた値である。これらの数値は一例であって、テーブルの構成は上記に限定されるものではない。また、各制御パラメータの算出方法はテーブル参照に限らず、例えば、適宜の演算式によって求めるよう構成しても差支えない。

40

【 0030 】

次に、図 3 に示すサーボ制御システムにおけるサーボ制御の動作手順について簡単に説明する。当該サーボ制御システムは電源投入に応じて起動するものとする。以下の、動作説明においては、ある 1 つの鍵に着目して処理手順の説明を行うが、この処理は、88 鍵の各鍵毎に時分割で実行されるものとする。

当該システムの電源が投入されると、キーセンサ 7 は鍵 1 の現在位置 $y k$ を検知し、アナログ検出信号 $y x a$ を出力する。アナログ検出信号 $y x a$ は、A/D 変換器 24 を介して

50

デジタル検出信号 $y \times d$ に変換され、正規化処理部 38 に供給される。正規化処理部 38 では、データ記述単位を目標値のそれ（ミリメートル単位）に合わせる単位変換や、個体差による値ずれ吸収等の正規化処理を行い、検出信号 $y \times d$ を正規化する。正規化された位置情報（検出信号 $y \times d$ ）は、位置フィードバック信号 $y \times$ として位置比較部 31 に負帰還入力される。また、速度生成部 39 では、該正規化された位置情報（検出信号 $y \times d$ ）を、例えば多項式適合等により適宜微分演算することで、鍵 1 の速度情報（鍵速度検出値 $y \times v$ ）を算出する。速度算出方法の一例として、ある任意のサンプリング時点について前後 7 点での位置情報（鍵位置検出値）を使用した 2 次曲線適合によって鍵 1 の速度情報（鍵速度検出値 $y \times v$ ）を算出できる。速度生成部 39 の出力は、速度フィードバック信号 $y \times v$ として位置比較部 31 に負帰還入力される。

10

【0031】

一方、操作者による所定の再生開始指示が行われると、該再生開始指示に応じて前記再生前処理部 10 にて生成された軌道データが目標値生成部 33 に供給される。目標値生成部 30 は、該供給された軌道リファレンスに基づき現在時刻の位置目標値 $r \times$ と速度目標値 $r \times v$ を生成し、該生成した位置目標値 $r \times$ と速度目標値 $r \times v$ を所定のサンプル時間（例えば 1 ms 毎）に従って並行に送出する。位置比較部 31 では、位置目標値 $r \times$ と位置フィードバック信号 $y \times$ の偏差 $e \times$ を取り、該偏差 $e \times$ は、位置成分増幅部 34 においてゲイン値算出部 33 から出力された位置ゲイン $K \times$ で増幅される。速度比較部 32 では、速度目標値 $r \times v$ と速度フィードバック信号 $y \times v$ の偏差 $e \times v$ を取り、該偏差 $e \times v$ は、速度成分増幅部 35 においてゲイン値算出部 33 から出力された速度ゲイン $K \times v$ で増幅される。そして、第 1 の加算器 36 において、位置成分増幅部 34 及び速度成分増幅部 35 の出力 $u \times$, $u \times v$ を加算して一本化した制御信号 $u \times v$ を生成する。そして、第 2 の加算器 37 において、該生成された制御信号 $u \times v$ に対して、ゲイン値算出部 33 から出力された固定値 u が加算されて、ソレノイド駆動用の値（駆動データ）が生成される。この駆動データは、PWM 発生器 25 において PWM 信号（励磁電流）化され、この PWM 信号によりソレノイド 6 が駆動される。上記の再生処理（ソレノイド 6 の駆動）は、演奏情報が終了するまで繰り返される。

20

【0032】

次に、上記サーボ制御システムを構成するゲイン値算出部 33 における制御パラメータ出力処理の手順の一例について、図 5 のフローチャートを参照して説明する。なお、当該フローは、図示の都合上、図 5 (a)、(b) 及び (c) の 3 つに分けて描かれているが、これらは実質的には一続きの処理手順を表すものとする。

30

この処理は操作者による所定の再生開始指示に応じて開始する。まず、ステップ S 1 において、処理対象となる鍵を示すキーナンバ $K n$ を 0 にリセットし、ステップ S 2 において該キーナンバ $K n$ を 1 つインクリメントする。すなわち、1 巡目の処理では、キーナンバ $K n = 1$ の鍵に対して以下に述べる処理を実行し、当該ステップ S 2 に処理が戻ってくる毎に処理対象となる鍵のキーナンバ $K n$ がインクリメントされてゆくことで、当該処理を 88 鍵の各鍵毎に順次実行する。ステップ S 3 においては、当該鍵の速度目標値 $r \times v$ が 0 か否かによって、当該鍵の鍵が動作中か停止しているかを調べる。

40

【0033】

一方、 $r \times v = 0$ であれば、鍵の打鍵動作有りと判断し（ステップ S 3 の $y \times e s$ ）、ステップ S 4 において、鍵の動作向き（押鍵か離鍵か）を判定する。鍵の動作向きについての情報は、前述の通り再生前処理部 10 から与えられており、ステップ S 4 ではこれに基づき鍵の動作向きの判断が行える。

【0034】

押鍵動作（打鍵動作）の場合（ステップ S 4 の $y \times e s$ ）、ステップ S 5 及び S 6 において、キーナンバ $K n$ を調べる。キーナンバ $K n$ が 69 以上（ $K n = 69 \sim 88$ ）の高音域であれば（ステップ S 5 の $n o$ ）、後述する高音域用の制御パラメータ出力処理（図 5 (c) のフローチャート）を実行する。また、キーナンバ $K n$ が 27 ~ 68 の中音域であれば（ステップ S 5 の $y \times e s$ 及びステップ S 6 の $n o$ ）、後述する中音域用の制御パラメー

50

タ出力処理（図5（b）のフローチャート）を実行する。

【0035】

キーナンバ K_n が26以下（ $K_n = 1 \sim 26$ ）の低音域であれば（ステップS5及びステップS6を n_o に分岐）、ステップS7以下の処理手順に従い低音域用の制御パラメータ出力処理を行う。即ち、ステップS7において位置目標値 r_x が鍵の動作位置の初期領域か後半領域かを調べ、また、ステップS8又はステップS9において、速度目標値 r_v が所定の閾値（例えば、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ ）以上又は以下のいずれかであるかを調べる。キーナンバ K_n が26以下（ $K_n = 1 \sim 26$ ）の低音域の場合、前述の通り、鍵の動作位置を初期領域と後半領域に分ける分割位置が、キーナンバ K_n に応じてリニアに変化する。従って、前記ステップS7では、「 $r_x = 6 - 0.04(K_n - 1)$ 」
10
によって、鍵の位置の選り分けを行っている。そして前述図4（a）のテーブルから次のような制御パラメータを出力する。すなわち：位置目標値 r_x が初期領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS7及びS8の y_{es} ）、ステップS10において、位置ゲイン $K_x = 0.6$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。また、位置目標値 r_x が初期領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上の場合（ステップS7の y_{es} 及びS8の n_o ）、ステップS11において、位置ゲイン $K_x = 0.6$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9 + 2 \times (r_v - 100) / 100\%$ を出力する。また、位置目標値 r_x が後半領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS7の n_o 及びS9の y_{es} ）、ステップS12において、位置ゲイン $K_x = 0.2$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。また、
20
位置目標値 r_x が後半領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS7の n_o 及びS9の n_o ）、ステップS13において、位置ゲイン $K_x = 0.2$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9 + 2 \times (r_v - 100) / 100\%$ を出力する。

【0036】

また、キーナンバ $K_n = 27 \sim 68$ の中音域の場合、図5（b）に示す中音域用の制御パラメータ出力処理を行う。即ち、ステップS20において、「 $r_x = 4 \text{ mm}$ 」によって位置目標値 r_x が鍵の動作位置の初期領域か後半領域かを調べ、また、ステップS21又はステップS22において、速度目標値 r_v が所定の閾値（例えば $r_v = 200 \text{ mm/s}$ ）以上又は以下のいずれかであるかを調べる。そして前述図4（b）のテーブルから次のような制御パラメータを出力する。すなわち：位置目標値 r_x が初期領域、且つ、速度目標
30
値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS20及びS21の y_{es} ）、ステップS23において、位置ゲイン $K_x = 0.6$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。また、位置目標値 r_x が初期領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上の場合（ステップS20の y_{es} 及びS21の n_o ）、ステップS24において、位置ゲイン $K_x = 0.6$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9 + 2 \times (r_v - 100) / 100\%$ を出力する。また、位置目標値 r_x が後半領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS20の n_o 及びS22の y_{es} ）、ステップS25において、位置ゲイン $K_x = 0.2$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。また、位置目標値 r_x が後半領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS20及びS22の n_o ）、ステップS26において、位置ゲイン $K_x =$
40
 0.2 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9 + 2 \times (r_v - 100) / 100\%$ を出力する。

【0037】

また、キーナンバ $K_n = 69 \sim 88$ の高音域の場合、図5（c）に示す高音域用の制御パラメータ出力処理を行う。即ち、ステップS27において、「 $r_x = 4 \text{ mm}$ 」によって位置目標値 r_x が鍵の動作位置の初期領域か後半領域かを調べ、また、ステップS28又はステップS29において、速度目標値 r_v が所定の閾値（例えば $r_v = 200 \text{ mm/s}$ ）以上又は以下のいずれかであるかを調べる。そして前述図4（c）のテーブルから次のような制御パラメータを出力する。すなわち：位置目標値 r_x が初期領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS27及びS28の y_{es} ）、ステ
50

ステップS30において、位置ゲイン $K_x = 0.6 - (K_n - 68) / 100$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。また、位置目標値 r_x が初期領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上の場合（ステップS27のyes及びS28のno）、ステップS31において、位置ゲイン $K_x = 0.6 - (K_n - 68) / 100$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9 + 2 \times (r_v - 100) / 100\%$ を出力する。また、位置目標値 r_x が後半領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS27のno及びS29のyes）、ステップS32において、位置ゲイン $K_x = 0.2$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。また、位置目標値 r_x が後半領域、且つ、速度目標値 $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以下の場合（ステップS27及びS29のno）、ステップS33において、位置ゲイン $K_x = 0.2$ 、速度ゲイン $K_v = 0.3$ 及び固定値 $u = 9 + 2 \times (r_v - 100) / 100\%$ を出力する。

10

【0038】

また、離鍵動作を行う場合（ステップS4のno）は、ステップS16において図4（d）に示す離鍵動作用のテーブルを使用して制御パラメータを出力する。この実施例では、位置ゲイン $K_x = 0.2$ 、速度ゲイン $K_v = 0.7$ 及び固定値 $u = 9\%$ を出力する。このように、離鍵動作の場合は、打鍵（押鍵）動作の場合と比べて、速度ゲイン K_v が大きい値に設定されており、フィードバック制御の速度追従性を高めるようになっている。

また、鍵が動作停止位置にある場合（ $r_v = 0$ ；ステップS3のno）は、ステップS17において図4（e）に示す鍵の停止位置用のテーブルを使用して制御パラメータを出力する。出力される制御パラメータの特性は図示の通りである。この例では、レスト位置からストローク量 10 mm （エンド位置）の位置にて、約 30 ms の間、固定値 $u = 15\%$ を出力するよう制御している。これにより、鍵を押し込んだ時の保持力を確保する。このことは、強打打鍵（速い速度での打鍵）の精度を高めるのに有利である。

20

【0039】

そして、ステップS18において、上記の処理により設定された位置ゲイン K_x 、速度ゲイン K_v 及び固定値 u を用いて、ソレノイド6の駆動をサーボ制御する。なお、ステップS18において実行するサーボ制御の動作手順の詳細については、図3を参照して既に説明したので、ここでは既述を援用して、その詳細を省略する。そして、ステップS19において、キーナンバ $K_n = 88$ まで処理が回ったかどうかを調べて、noであれば、ステップS2に戻り、上記の処理を88鍵すべてに実行するまで当該制御パラメータ出力処理を繰り返す。

30

【0040】

上述した制御パラメータ出力処理によれば、キーナンバ K_n が26以下（ $K_n = 1 \sim 26$ ）の低音域の打鍵駆動に際して、鍵のストローク位置の初期領域と後半領域の分割位置が、キーナンバ K_n （=再生すべき音高）に応じて $6 \sim 5 \text{ mm}$ でリニアに変化するので、上記ステップS7において、発音音高が低い程（ K_n が小さいほど）、初期領域とみなす（つまり、ステップS7をyesに分岐する）範囲を大きくとることになり、相対的に大きい位置ゲイン $K_x = 0.6$ を出力する範囲を大きくとることになる。前述の通り、低音側のハンマほど大きさが大きく重量があるが、この実施例に従い、キーナンバ K_n に応じて前記分割位置をリニアに変化させて、低音側ほど「初期領域」を広くとることで、低音域の鍵に対するサーボ制御の位置応答性をより強めることができ、各鍵に対応するハンマの重さ（鍵駆動力に負荷する重さ）の違いを補正することができるようになる。すなわち、高音側ほどサーボ制御の速度応答性を高めることとなる。

40

また、上記ステップS30及び31において、発音音高が高い程（ K_n が大きいほど）位置ゲイン K_x として小さい値が出力されるようになっている。これにより、演奏部材（ハンマなど）の重量がより軽い高音側でのサーボ制御の位置応答性を弱める、言い換えれば、高音域では速度制御の比重を大きくすることで、鍵の暴れなど、鍵の挙動の乱れを防ぐことができる。

また、これは、すべての鍵の打鍵制御について共通の特徴として、つまり、図4（a）～（c）のテーブルに共通の特性として、言えることであるが、位置目標値 $r_x =$ 初期領

50

域の場合、相対的に大きい位置ゲイン $K_x = 0.6$ を出力することで定常偏差を減らすことができる。また、鍵盤速度が比較的速い場合（この例では $r_v = 200 \text{ mm/s}$ 以上）、速度目標値 r_v に応じた固定値 $u (= 9 + 2(r_v - 100) / 100 \%)$ を出力することで、フィードバック制御の速度追従性を高めている。

以上説明したとおり、この実施例に係るサーボ制御システムによれば、ゲイン値算出部 33 が、キーナンバ（発音音高）や、鍵の動作位置、或いは、鍵の動作の向きに応じて、その時点で最適な位置ゲイン値 K_x 、速度ゲイン値 K_v 及び固定値 u を出力することができるので、鍵駆動のフィードバック制御を最適化することができ、鍵の動作安定性や、目標値に対する追従性を高めて、自動演奏ピアノを再生精度を向上させることができる。

【0041】

なお、上述の実施例においては、ゲイン値算出部 33 は、目標値生成部 30 にて生成された位置目標値 r_x と速度目標値 r_v に応じて、鍵 1 の位置及び速度を判断し、それに基づき位置ゲイン K_x 、速度ゲイン K_v 及び固定値 u を出力する構成としたが、これに限らず、鍵 1 の実際の動作（センサ 7 の出力）によって鍵 1 の位置及び速度を判断し、それに基づき位置ゲイン K_x 、速度ゲイン K_v 及び固定値 u を出力する構成であってもよい。

【0042】

また、上述の実施例においては、高音側の一部の領域（上記の例ではキーナンバ $K_n = 69 \sim 88$ ）のみについて、図 4（c）に示す制御パラメータ出力テーブルにより、位置ゲイン K_x が音高に応じて変化する構成例を示したが、これに限らず、鍵盤の全領域にわたって、低音側に比べて高音側の位置ゲイン K_x が小さくなるよう構成してもよい。また、該上述の実施例においては、低音側の一部の領域（上記の例ではキーナンバ $K_n = 1 \sim 26$ ）のみについて、図 4（a）に示す制御パラメータ出力テーブルにより、鍵のストローク位置を「初期領域」と「後半領域」に区分するための分割位置が音高に応じて変化する構成例を示したが、これに限らず、鍵盤の全領域にわたって、このように音高に応じて分割位置が可変する構成を適用してもよい。また、上述の実施例においては、音高に応じたゲイン値はリニアな変化特性で可変せられるものとしたが、これに限らず、所定の音域ごとに段階的に変化するものとしてもよい。

【0043】

また、上述の実施例において、図 4（d）に示す離鍵動作時の制御パラメータ出力テーブルは、鍵のストローク位置を「初期領域」と「後半領域」に区分することなく、全ストローク範囲にわたり、共通の制御パラメータを出力するものとし、離鍵動作時には「初期領域」と「後半領域」の区別なくフィードバック制御を行う構成を示したが、これに限らず、鍵のストローク位置を「初期領域」と「後半領域」に区分して、各区分ごとに適切な制御パラメータを出力することで、離鍵動作時にも該区分に応じたフィードバック制御を行いうるよう構成してもよい。

【0044】

また、上述の実施例においては、図 3 及び図 5（a）に示すフローチャートのステップ S5 及び S6 に示すように、演奏情報の再生時に、フィードバックループに対して時々刻々供給される軌道データ（軌道リファレンス）に基づき発音すべき音高（つまり駆動すべき鍵のキーナンバ K_n ）を判定し、その判定結果（キーナンバ K_n ）に対応する制御パラメータを、その都度、該フィードバックループにセットする構成例を示したが、これに限らず、各鍵ごとの制御パラメータ（位置ゲイン、速度ゲイン、固定値）を予め記憶させておくと共に、各鍵毎に個別にフィードバックループを具備せしめ、各フィードバックループ毎に対応する鍵の制御パラメータが設定されるよう構成してもよい。この構成によれば、演奏情報の再生時に発音音高の判定処理を行うことなく、各音高に応じた制御パラメータで、フィードバック制御を行うことができる。

【0045】

また、上記のサーボ制御システムの構成では、位置要素と速度要素によるサーボ制御について説明したが、当該サーボ制御システムにおいて、更に、加速度要素を使用する構成であってもよい。その場合、目標値及びフィードバック信号共々、速度情報を適宜微分演

10

20

30

40

50

算することにより、加速度要素を算出することができるので、上記のサーボ制御システムの構成に、加速度算出用のモジュールと、加速度制御用のフィードバック経路を加えるだけでよい。また、上記図3のサーボ構成によれば、鍵1に対応して設けられた位置センサ（キーセンサ7）の出力に基づく鍵の位置情報及び速度情報をフィードバック信号として利用する例を示したが、センサが検出する次元は位置信号に限定されない。すなわち、キーセンサ7は位置センサに限らず速度センサや加速度センサであってもよいし、また、それらの組み合わせであってもよい。

【0046】

なお、上述の実施例においては、CPU20が実行するソフトウェアプログラムによってサーボ処理を実施する構成を示したが、これに限らず、専用のハードウェア的信号処理装置によって当該サーボ処理を実行するよう構成することも可能である。また、上記の実施例を実施可能な自動演奏ピアノの形態は、グランドピアノ、アップライトピアノのいずれであってもよい。また、上記の実施例では、自動演奏機能を有するアコースティックピアノ（所謂自動演奏ピアノ）に本発明を適用する例について述べたが、これに限らず、少なくとも演奏データに基づき鍵を駆動する手段と、該鍵を駆動する手段をフィードバック制御する機構とを備えた鍵盤楽器であれば、どのようなタイプの鍵盤楽器であっても、この発明を適用することに差し支えない。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】この発明の一実施例に係る自動演奏ピアノの全体構成を示す図。

【図2】同実施例に係る自動演奏ピアノにおける電氣的ハードウェア構成を示すブロック図。

【図3】同実施例に係る自動演奏ピアノのサーボ制御システム構成例を示す機能ブロック図。

【図4】(a)～(e)は同実施例に係るゲイン値出力テーブルの一例であって、連打打鍵用のゲイン値出力テーブルの一例を示す図。

【図5(a)】同実施例に係るゲイン値出力処理の手順の一例を示すフローチャート。

【図5(b)】図5(a)における中音域用の制御パラメータ出力処理の一例を示すフローチャート。

【図5(c)】図5(a)における高音域用の制御パラメータ出力処理の一例を示すフローチャート。

【符号の説明】

【0048】

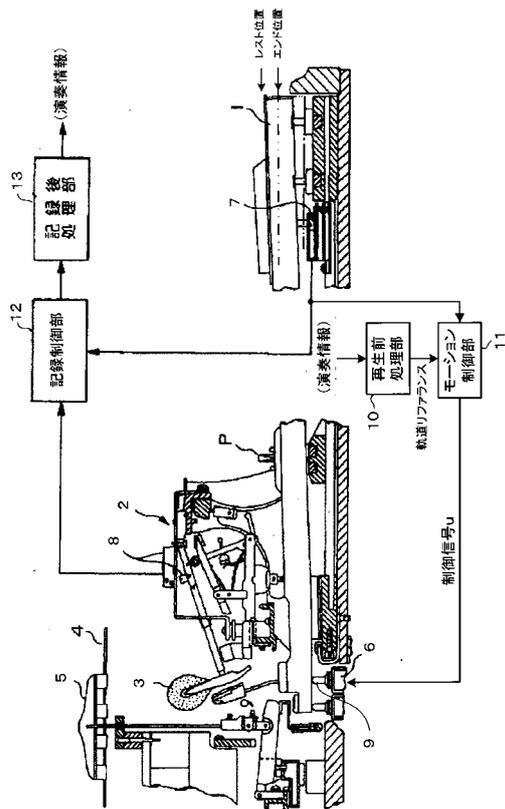
1 鍵、2 アクシオン機構、3 ハンマ、4 弦、5 ダンパ、6 電磁ソレノイド、7 キーセンサ、8 ハンマセンサ、9 プランジャ、10 再生前処理部、11 モーション制御部、12 記録制御部、13 記録後処理部、30 目標値生成部、31 位置比較部、32 速度比較部、33 ゲイン値算出部、34 位置成分増幅部、35 速度成分増幅部

10

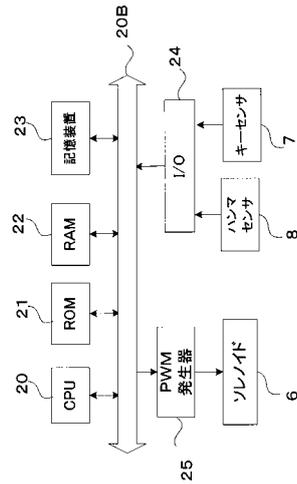
20

30

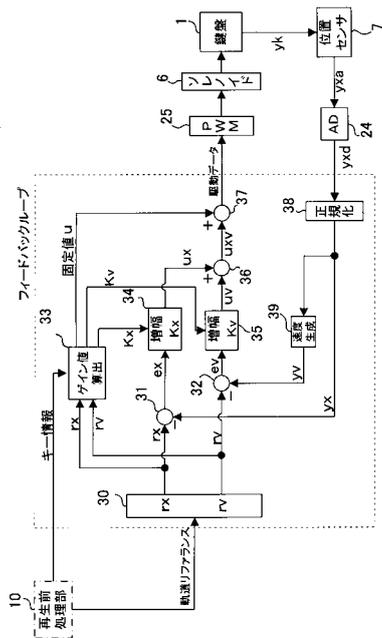
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

	$rv=200\text{mm/s以下}$ $rx=0\sim(6-0.04(KN-1))\sim 10\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=0\sim(6-0.04(KN-1))\sim 10\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=0\sim(6-0.04(KN-1))\sim 10\text{mm}$
Kx	0.6	0.2	0.2
Kv	0.3	0.3	0.3
固定値u	9%	9%	$9+2 \times (rv-100)/100\%$

(a)

	$rv=200\text{mm/s以下}$ $rx=0\sim 4\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=0\sim 4\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=4\sim 10\text{mm}$
Kx	0.6	0.2	0.2
Kv	0.3	0.3	0.3
固定値u	9%	$9+2 \times (rv-100)/100\%$	100%

(b)

	$rv=200\text{mm/s以下}$ $rx=0\sim 4\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=0\sim 4\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=4\sim 10\text{mm}$
Kx	$0.6-(KN-68)/100$	0.2	0.2
Kv	0.3	0.3	0.3
固定値u	9%	$9+2 \times (rv-100)/100\%$	100%

(c)

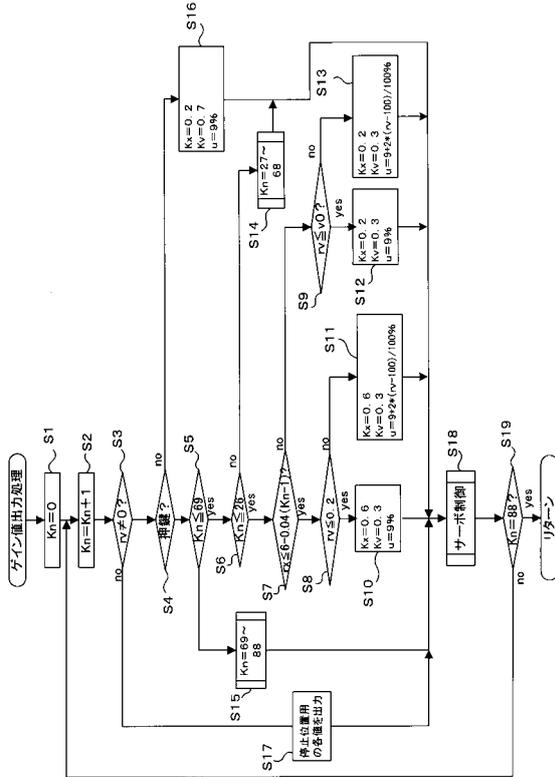
	$rv=200\text{mm/s以下}$ $rx=0\sim 4\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=0\sim 4\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=4\sim 10\text{mm}$
Kx	0.6	0.6	0.2
Kv	0.3	0.3	0.3
固定値u	9%	$9+2 \times (rv-100)/100\%$	100%

(d)

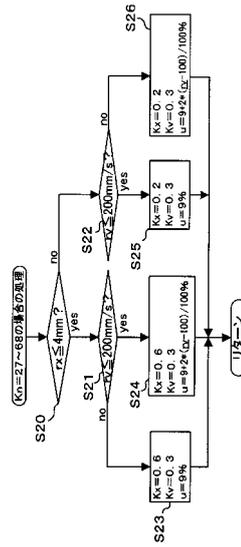
	$rv=200\text{mm/s以下}$ $rx=0\sim 4\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=0\sim 4\text{mm}$	$rv=200\text{mm/s以上}$ $rx=4\sim 10\text{mm}$
Kx	0.6	0.6	0.2
Kv	0.3	0.3	0.3
固定値u	9%	$9+2 \times (rv-100)/100\%$	100%

(e)

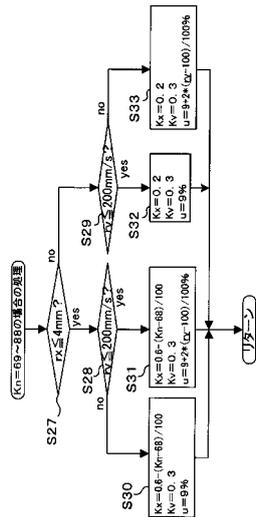
【図5(a)】



【図5(b)】



【図5(c)】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-228276(JP,A)
特開2001-168580(JP,A)
特開昭61-120213(JP,A)
特開2003-182368(JP,A)
特開平05-204379(JP,A)
特開平05-224665(JP,A)
特開2003-177743(JP,A)
特開平05-073040(JP,A)
特開平05-011749(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G10F 1/00 - 5/06
G10H 1/00 - 7/12
G05B 13/02