

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4706603号  
(P4706603)

(45) 発行日 平成23年6月22日 (2011. 6. 22)

(24) 登録日 平成23年3月25日 (2011. 3. 25)

(51) Int. Cl.

F I

G 0 5 B 11/36 (2006. 01)

G 0 5 B 11/36 5 0 1 D

G 0 5 D 3/00 (2006. 01)

G 0 5 B 11/36 5 0 7 B

G 0 5 D 3/12 (2006. 01)

G 0 5 D 3/00 U

H 0 2 P 29/00 (2006. 01)

G 0 5 D 3/12 3 0 5 B

H 0 2 P 5/00 F

請求項の数 2 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2006-241726 (P2006-241726)  
 (22) 出願日 平成18年9月6日 (2006. 9. 6)  
 (65) 公開番号 特開2008-65538 (P2008-65538A)  
 (43) 公開日 平成20年3月21日 (2008. 3. 21)  
 審査請求日 平成21年7月16日 (2009. 7. 16)

(73) 特許権者 000000099  
 株式会社 I H I  
 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号  
 (74) 代理人 100083806  
 弁理士 三好 秀和  
 (74) 代理人 100100712  
 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦  
 (74) 代理人 100100929  
 弁理士 川又 澄雄  
 (74) 代理人 100095500  
 弁理士 伊藤 正和  
 (74) 代理人 100101247  
 弁理士 高橋 俊一  
 (74) 代理人 100098327  
 弁理士 高松 俊雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フィードバック制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

目標値と、制御対象のフィードバック値とを入力として制御装置により制御出力を演算し、当該制御出力に基づいて前記制御対象を制御する制御モデルのフィードバック制御方法において、

前記制御装置から出力される制御出力に制御サイクルと等しい周期を有し且つ制御サイクルより短いパルス幅を有する所定の 2 値パルスを掛け合わせ、前記制御サイクルよりも短いパルス幅で制御出力をパルス化するとともに、

前記 2 値パルスの 1 周期に対する 1 である区間の比率に応じて制御ゲインを上昇させることを特徴とするフィードバック制御方法。

【請求項 2】

前記制御ゲインは、P I 制御における比例ゲイン及び積分ゲインであることを特徴とする請求項 1 に記載のフィードバック制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フィードバック制御方法に関するもので、例えばモータの位置決め制御などのアナログ信号によってリアルタイムに制御対象を操作する制御装置のフィードバック制御方法に関する。

【背景技術】

## 【0002】

従来のフィードバック制御方法としては、PID制御などのように、制御演算結果を一定の制御サイクルの間連続して出力するようにしたものが知られている（特許文献1～4参照）。

【特許文献1】特開平11-31001号公報

【特許文献2】特開平10-74101号公報

【特許文献3】特開平10-32901号公報

【特許文献4】特開平7-67350号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

## 【0003】

従来のフィードバック制御方法では、出力分解能×制御サイクルだけの指令が制御対象に出力されるため、制御偏差や微小振動が発生する。このような振動を抑え、例えば、位置決め精度を向上させるには、速度分解能、位置センサ分解能、制御対象の応答をそれぞれ上げるという対策がある。より具体的には、D/Aコンバータの分解能を上げて速度分解能を上げることにより精度を向上させることはできる。しかし、このような分解能を上げる対策はコストが高くなるという問題点がある。

## 【0004】

本発明の目的は、低コストで制御精度を向上させることのできるフィードバック制御方法を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

## 【0005】

上記目的を達成するためのフィードバック制御方法は、目標値と、制御対象のフィードバック値とを入力として制御装置により制御出力を演算し、当該制御出力に基づいて前記制御対象を制御する制御モデルのフィードバック制御方法において、前記制御装置から出力される制御出力に制御サイクルと等しい周期を有し且つ制御サイクルより短いパルス幅を有する所定の2値パルスを掛け合わせ、制御サイクルよりも短いパルス幅で制御出力をパルス化するとともに、2値パルスの1周期に対する1である区間の比率に応じて制御ゲインを上昇させることを特徴とする。

【発明の効果】

30

## 【0006】

本発明によれば、制御出力に制御サイクルと等しい周期を有し且つ制御サイクルより短いパルス幅を有する所定の2値パルスを掛け合わせることで、制御サイクルよりも短いパルス幅の制御出力で制御することになるため、制御対象の応答遅れに由来する行き過ぎが軽減され、且つ、見かけの出力分解能を上げて、高い精度でのフィードバック制御が可能となる。また、制御出力信号にパルスを掛け合わせるという非常に簡単な方法で精度の向上を図ることができるので、高い精度のフィードバック制御を低コストで実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

## 【0007】

以下、本発明に係わるフィードバック制御方法を適用した実施形態について図面を参照しながら説明する。

40

## 【0008】

図1は、位置決め制御の装置構成を示すブロック図である。また、図2は、この装置の基本的な制御モデルを示すブロック図である。

## 【0009】

図1に示した装置では、制御装置1からサーボアンプ3に電圧で速度指令を出力して、その指示によりサーボアンプ3がモータ5を動作させている。そして、位置センサ7（例えば、光学センサ）がリニアスケール9の値を読み取って位置カウンタ値として現在位置を制御装置1にフィードバックすることにより位置決めを行っている。

## 【0010】

50

このような装置における基本となる制御モデルは、図 2 に示したとおりである。すなわち、目標位置が入力となり、これに対して、リニアスケール 9 の情報がフィードバック値として入り、位置偏差が出される。位置偏差から P I 制御 1 1 により速度指令が出力され、さらに離散化 1 3 される。そして、離散化 1 3 された速度指令が出力されて、サーボアンプ・駆動系モデル 1 5 に入力され、サーボアンプ・駆動系モデル 1 5 内におけるモータが動作することになる。このとき、離散化 1 3 からの速度指令には外乱 1 7 が加えられる。

#### 【0011】

サーボアンプ・駆動系モデル 1 5 からは、移動体の速度（ここで移動体は例えばテーブルとすると、そのテーブル速度が移動体の速度となる）が 1 / S 処理 1 9 されて、さらに

10

#### 【0012】

この制御モデルにおいて、P I 制御 1 1 は、目標位置と現在位置との差分（偏差）を入力として、操作量を出力する。なお、偏差に関する比例（P）、積分（I）に対して係数を掛け合わせた合計を操作量とする。偏差の微分（D）も用いた P I D 制御がより一般的で、「プロセス制御系を中心に現場で最も多く使われているフィードバック制御」と呼ばれる。ただし、ランダムノイズが大きい制御対象などでは微分 D の係数をゼロとした P I 制御 1 1 が使われることが多い。

#### 【0013】

離散化 1 3 は、連続した入力値に対し、ある量子化間隔で離散化した値を出力する。すなわち、離散化 1 3 とは量子化のことである。ここで電圧出力の場合は、D / A ボードの b i t 分解能によって量子化間隔が決まる。したがって、D / A コンバータの分解能（b i t）を上げれば、それだけ量子化間隔が狭くなり、より細かな制御ができることになる。現在位置検出では、リニアスケール 9 の分解能で量子化間隔が決まる。例えば、リニアスケール 9 の分解能が 0. 1 mm だった場合、1. 1 2 mm も 1. 0 9 mm も「1. 1 mm」と検出されることになる。

20

#### 【0014】

サーボアンプ・駆動系モデル 1 5 は、速度指令を入力として、実際の制御対象の速度フィードバック値を出力する。摩擦や慣性の影響で、速度指令に対して応答遅れやずれが生じる。

30

#### 【0015】

本実施形態では、このような特性をシンプルな「一次遅れ」で近似した。なお、実際の特性が「二次遅れ」などであっても作用は変わらない。

#### 【0016】

また、この制御モデルにおいて、外乱 1 7 は、制御対象の状態を変化させる外的要素であり、通常は直接検知できないものである。このような外乱 1 7 は、速度指令（電圧出力）に影響を与えるもので、例えば、電源ノイズ等の外的な要因を意味している。このような、外乱要因は無視することはできないため、本実施形態では、これを、D A ボードの出力電圧にのるオフセット電圧を想定して「オフセット外乱」として設定している。

#### 【0017】

1 / S 処理 1 9 は、入力値を積分するものである。したがって、ここでは速度を位置に変換している。

40

#### 【0018】

ここでこの制御モデルによるコンピュータシミュレーションの結果について説明する。

#### 【0019】

シミュレーションの条件としては、例えば、最大速度指令値を 1 0 0 mm / s、制御装置 1 の D A コンバータの分解能を 1 0 b i t とする。この条件で、速度分解能は約 0. 2 mm / s である。また、その他の条件として、位置センサ 7 の分解能を 0. 1 μ m、一次遅れの時定数を 1 0 m s e c、入力に対するオフセット外乱を 0. 0 2 mm / s とする。

#### 【0020】

50

このとき制御サイクル1 m s e c、比例ゲイン $K_p = 80$ 、積分ゲイン $K_i = 500$ でP I制御11を行う。図3は、上記諸条件によりコンピュータシミュレーションを行った結果を示すグラフである。

#### 【0021】

このグラフから、10 mmの目標に対して約 $\pm 0.4 \mu\text{m}$ の振動が発生することが読み取れる。これはオフセット外乱に対して速度分解能が低いために起こるものと考えられる。

#### 【0022】

ここで、制御サイクルを0.1 m s e cにしてコンピュータシミュレーションを行った。図4は、制御サイクルを0.1 m s e cにしてコンピュータシミュレーションを行った結果を示すグラフである。なお、制御サイクル以外は上記諸条件と同じである。

10

#### 【0023】

図4から分かるように、制御サイクルを0.1 m s e cにすることで、目標一近傍での振幅は約 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ になる。しかしながら、さらに制御サイクルを上げてコンピュータシミュレーションを実行したが、これ以上上げて位置決め精度は向上しないことが確認された。これは、制御対象の応答遅れのため、制御出力結果が位置センサ入力に反映されるまでに時間がかかり、いわゆる行き過ぎが生じるためである。

#### 【0024】

これらの問題に対し、速度分解能を上げる、位置センサ7の分解能を上げる、制御対象の応答性能を上げるなどの対策もあるが、技術的、またコスト的な課題があり、容易ではない。

20

#### 【0025】

そこで、本実施形態では、制御出力信号に所定のパルスを掛け合わせることで、速度分解能や、位置センサ7の分解能を上げたり、制御対象の応答性能を上げることなしに、高い精度の位置決め制御を実現している。

#### 【0026】

図5は、本発明を適用して制御出力信号に所定のパルスを掛け合わせる制御モデルを示すブロック図である。なお、図5において図2に示したものと同一の機能、作用を示す部材には同じ符号を付した。

#### 【0027】

30

この制御モデルでは、目標位置が入力となり、これに対して、リニアスケール9の情報がフィードバック値として入り、位置偏差が出される。位置偏差からP I制御11により速度指令が出力される。この制御モデルでは、この速度指令の信号が制御出力信号（制御出力）となる。

#### 【0028】

そして、このP I制御11からの出力に対して所定のパルス31が掛け合わされる。ここで、所定のパルス31とは、0 / 1の矩形パルスである。

#### 【0029】

さらに所定パルスの掛け合わされた速度指令は離散化13され、離散化13された速度指令に外乱17が加えられて、サーボアンプ・駆動系モデル15に入力され、モータ5が動作することになる。

40

#### 【0030】

サーボアンプ・駆動系モデル15からは、移動体の速度（テーブル速度）が1 / S処理19されて、さらに離散化21されて、リニアスケール情報としてもとの目標位置にフィードバックされる。

#### 【0031】

この制御モデルを用いてコンピュータシミュレーションを行った。

#### 【0032】

シミュレーションの条件は、速度指令に、パルス周期を1 m s e cとした1（ハイ） / 0（ロー）の矩形パルスで、1（ハイ）区間のパルス幅（1である区間の長さ）が0.2

50

ms ec (したがって、0である区間の長さは0.8ms ec)のパルス31を掛け合わせた。

【0033】

また、制御ゲインは、所定のパルス1周期に対する1である区間の長さの比率に応じて上げている。これは、制御出力信号にパルス31を掛け合わせることで、掛け算の後の信号として見かけの操作量がパルス31の1である区間の長さに応じて下がり、その結果としてゲインも小さくなってしまうので、これを補うためにPI制御11のゲインを上げてバランスをとるようにしているためである。なお、ゲインを上げなくても制御はできるが、応答が遅くなることになる。

【0034】

ここでは、1である区間長さ/1周期長さ=1/5であるため、基本制御モデルに対して、制御ゲインを5倍にした。すなわち、制御サイクル1ms ec、比例ゲイン $K_p = 400$ 、積分ゲイン $K_i = 2500$ でPI制御11を行うこととした。

【0035】

図6は、このシミュレーションの結果を示すグラフである。

【0036】

図6から分かるように、大きな振幅の振れがなくなり、振動現象が少なくなっている。

【0037】

このように、本実施形態では、制御サイクルよりも短い間隔の制御出力で制御するようにしたので、制御出力の実効値を変えずに見かけの速度分解能を向上することができる。これは、単純に制御サイクルを上げるよりも制御対象の応答遅れに由来する行き過ぎが軽減される構成となる。よって、本実施形態では高い精度での位置決め制御を実現することができる。また、制御出力信号にパルスを掛け合わせるという非常に簡単な方法で精度の向上を図ることができるので、高い精度での位置決め制御を低コストで実現できる。

【0038】

なお、最大速度指令値を下げることで、速度分解能を向上させることが可能となるが、最大速度が低下してしまうという問題が生じる。この点、本実施形態では、パルス幅と制御ゲインを制御装置1側で任意に変更でき、最大速度と位置決め精度を両立させることが可能である。

【0039】

以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されるものではなく、各実施形態を様々に組み合わせることも可能であるし、また、これら実施形態以外に当業者による様々な形態が可能である。

【0040】

例えば、パルス31と掛け合わせる制御出力は、PI制御11に限らず(すなわち、パルス出力の制御以外でも)、ゲイン出力する制御に適用することも可能である。また、制御目的は、位置決めに限らず、圧力や温度などにも適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】位置決め制御の装置構成を示すブロック図である。

【図2】装置の基本的な制御モデルを示すブロック図である。

【図3】図2に示した基本の制御モデルによりコンピュータシミュレーションを行った結果を示すグラフである。

【図4】図2に示した基本の制御モデルにより制御サイクルを0.1ms ecにしてコンピュータシミュレーションを行った結果を示すグラフである。

【図5】本発明を適用して制御出力信号に所定のパルスを掛け合わせる制御モデルを示すブロック図である。

【図6】制御出力信号に所定のパルスを掛け合わせる制御モデルでのシミュレーションの結果を示すグラフである。

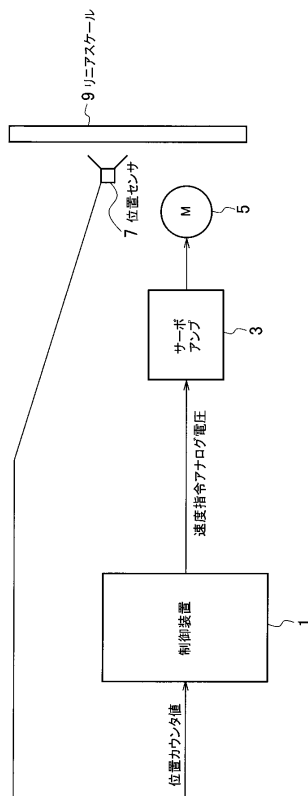
【符号の説明】

## 【0042】

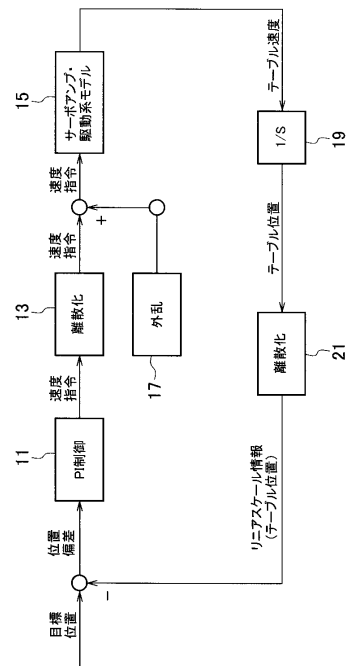
- 1 制御装置
- 3 サーボアンプ
- 5 モータ
- 7 位置センサ
- 9 リニアスケール
- 11 P I 制御
- 13 離散化
- 15 サーボアンプ・駆動系モデル
- 17 外乱
- 19 1 / S 処理
- 31 パルス

10

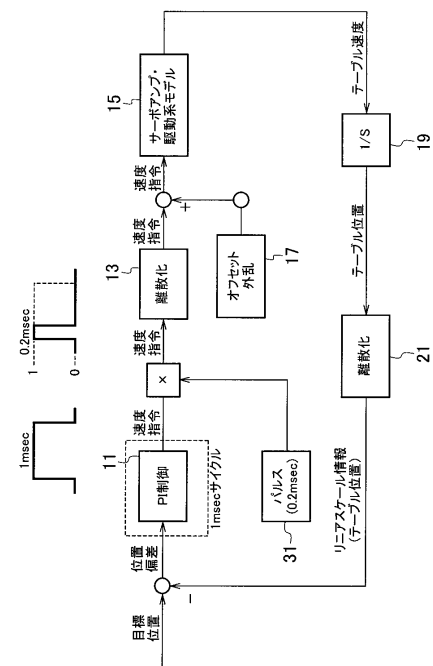
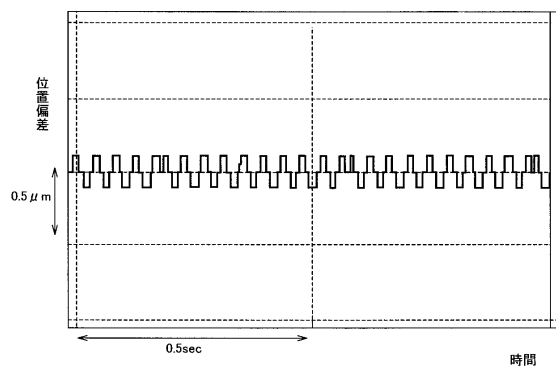
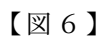
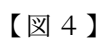
【図 1】



【図 2】



【図 5】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 鈴木俊太郎  
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 石川島播磨重工業株式会社内
- (72)発明者 齋藤 浩  
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 石川島播磨重工業株式会社内
- (72)発明者 中村 賢治  
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 石川島播磨重工業株式会社内
- (72)発明者 村山 浩  
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 石川島播磨重工業株式会社内
- (72)発明者 今泉 浩昭  
東京都江東区豊洲三丁目1番1号 石川島播磨重工業株式会社内

審査官 青山 純

(56)参考文献 特許第2795365(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

|         |           |
|---------|-----------|
| G 0 5 B | 1 1 / 3 6 |
| G 0 5 D | 3 / 0 0   |
| G 0 5 D | 3 / 1 2   |
| H 0 2 P | 2 9 / 0 0 |