

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6632538号  
(P6632538)

(45) 発行日 令和2年1月22日(2020.1.22)

(24) 登録日 令和1年12月20日(2019.12.20)

(51) Int.Cl. F I  
**G 0 5 B 11/36 (2006.01)** G O 5 B 11/36 5 O 5 A

請求項の数 14 (全 23 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-552811 (P2016-552811)                  (86) (22) 出願日 平成27年9月14日 (2015. 9. 14)                  (86) 国際出願番号 PCT/JP2015/004670                  (87) 国際公開番号 W02016/056176                  (87) 国際公開日 平成28年4月14日 (2016. 4. 14)                  審査請求日 平成30年5月25日 (2018. 5. 25)                  (31) 優先権主張番号 特願2014-209483 (P2014-209483)                  (32) 優先日 平成26年10月10日 (2014. 10. 10)                  (33) 優先権主張国・地域又は機関                  日本国 (JP)</p>	<p>(73) 特許権者 503360115                  国立研究開発法人科学技術振興機構                  埼玉県川口市本町四丁目1番8号                  (74) 代理人 100115808                  弁理士 加藤 真司                  (74) 代理人 100113549                  弁理士 鈴木 守                  (72) 発明者 東 俊一                  京都府京都市左京区吉田本町 国立大学法                  人京都大学 大学院情報学研究科内                  (72) 発明者 南 裕樹                  大阪府吹田市山田丘2-1 大阪大学大学                  院 工学研究科 機械工学専攻 複合メカ                  ニクス部門 機械動力学領域内</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 予測値整形システム、制御システム、予測値整形方法、制御方法、及び予測値整形プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形システムであって、

前記予測値を取得する予測値取得部と、

前記制御対象の過去の目標値である実績値を取得する実績値取得部と、

前記実績値及び前記予測値をアルゴリズムに適用して前記予測値を補正することで、前記制御対象を制御するための制御値を算出する制御値算出部と、

を備え、

前記アルゴリズムは、前記制御対象の制御モデルのパラメタを用いていることを特徴とする予測値整形システム。 10

【請求項 2】

前記アルゴリズムは、過去の前記予測値と前記実績値との差分である過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響を小さくするように、前記予測値を補正するアルゴリズムであることを特徴とする請求項 1 に記載の予測値整形システム。

【請求項 3】

前記影響は、前記予測誤差がない場合の目標値を適用した場合の出力と実際の出力との出力差であることを特徴とする請求項 2 に記載の予測値整形システム。

【請求項 4】

前記出力差を表現する評価関数を用いて前記影響の大きさを評価する評価部をさらに備 20

えたことを特徴とする請求項3に記載の予測値整形システム。

【請求項5】

前記アルゴリズムを決定するアルゴリズム決定部をさらに備えたことを特徴とする請求項2に記載の予測値整形システム。

【請求項6】

前記影響の大きさを評価する評価部をさらに備え、

前記アルゴリズム決定部は、前記評価部にて評価された前記影響の大きさが所定の大きさより大きいときに、前記アルゴリズムを決定することを特徴とする請求項5に記載の予測値整形システム。

【請求項7】

前記アルゴリズムは、前記影響を最小にするアルゴリズムであることを特徴とする請求項3に記載の予測値整形システム。

【請求項8】

前記アルゴリズムは、前記影響を所定の値より小さくするアルゴリズムであることを特徴とする請求項3に記載の予測値整形システム。

【請求項9】

前記アルゴリズムは、前記影響が収束したと判定されたときのアルゴリズムであることを特徴とする請求項3に記載の予測値整形システム。

【請求項10】

前記制御モデルの前記パラメタがA<sub>P</sub>、B<sub>P</sub>、C<sub>P</sub>であり、

前記制御モデルが式(1)で表され、

【数1】

$$\begin{cases} x_P(t+1) = A_P x_P(t) + B_P v(t) \\ y(t) = C_P x_P(t) \end{cases} \quad \dots (1)$$

ここで、v(t)は時刻tにおける前記制御値であり、y(t)は時刻tにおける前記制御対象の出力であり、前記アルゴリズムが式(2)で表され、

【数2】

$$\begin{cases} \xi(t+1) = \mathcal{A}^* \xi(t) + \mathcal{B}^* (\hat{r}(t-1) - r(t-1)) \\ v(t) = \mathcal{C}^* \xi(t) + \mathcal{D}^* (\hat{r}(t-1) - r(t-1)) + \hat{r}(t) \end{cases} \quad \dots (2)$$

ここで、 $\hat{r}(t)$ は時刻tの前記予測値であり、 $\hat{r}(t-1)$ は時刻tより過去の前記予測値であり、 $r(t-1)$ は前記実績値であり、

【数3】

$$\mathcal{A}^* = A_P - B_P (C_P B_P)^{-1} C_P A_P$$

$$\mathcal{B}^* = -B_P (C_P B_P)^{-1} C_P A_P B_P + A_P B_P$$

$$\mathcal{C}^* = -(C_P B_P)^{-1} C_P A_P$$

$$\mathcal{D}^* = -(C_P B_P)^{-1} C_P A_P B_P$$

であることを特徴とする請求項1ないし7いずれか一項に記載の予測値整形システム。

【請求項11】

請求項1ないし10のいずれか一項に記載の予測値整形システムと、

前記制御対象と、

前記予測値整形システムによって算出された前記制御値に従って前記制御対象を制御する制御器と、

10

20

30

40

50

を備えたことを特徴とする制御システム。

【請求項 1 2】

制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形方法であって、

前記予測値を取得する予測値取得ステップと、

前記制御対象の過去の目標値である実績値を取得する実績値取得ステップと、

前記実績値及び前記予測値をアルゴリズムに適用して前記予測値を補正することで、前記制御対象を制御するための制御値を算出する制御値算出ステップと、

を含み、

前記アルゴリズムは、前記制御対象の制御モデルのパラメタを用いていることを特徴とする予測値整形方法。

10

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の予測値整形方法によって制御値を算出する制御値算出ステップと、

前記制御値算出ステップで算出された前記制御値によって前記制御対象を制御する制御ステップと、

を含むことを特徴とする制御方法。

【請求項 1 4】

制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形装置のコンピュータに、

前記予測値を取得する予測値取得ステップと、

前記制御対象の過去の目標値である実績値を取得する実績値取得ステップと、

前記実績値及び前記予測値をアルゴリズムに適用して前記予測値を補正することで、前記制御対象を制御するための制御値を算出する制御値算出ステップと、

を実行させ、

前記アルゴリズムは、前記制御対象の制御モデルのパラメタを用いていることを特徴とする予測値整形プログラム。

20

【発明の詳細な説明】

【関連する出願】

【0001】

本出願では、2014年10月10日に日本国に出願された特許出願番号2014-209483の利益を主張し、当該出願の内容は引用することによりここに組み込まれているものとする。

30

【技術分野】

【0002】

本発明は、制御対象を制御するための制御値を算出する予測値整形システム及びそれを含む制御システム、予測値整形方法及びそれを含む制御方法、並びに予測値整形プログラムに関するものである。

【背景技術】

【0003】

制御される対象（制御対象）に対して制御器を用いてフィードフォワード制御を行うフィードフォワード制御システムがある。理想的なフィードフォワード制御システムでは、システムに制御対象を制御するための制御値として目標値が与えられ、制御対象からは、目標値に合う物理量の出力がされる。

40

【0004】

図12は、理想的なフィードフォワード制御システムの構成を示すブロック図である。制御器及び制御対象を含むシステム101の制御器には目標値 $r$ が与えられ、制御器が目標値 $r$ に従った駆動信号で制御対象を駆動することで、システム101からは目標値 $r$ に見合う出力 $y_r$ が得られている。

【0005】

例えば、発電システムでは、発電機とその制御器を含む発電システムがシステム101

50

となり、上記のフィードフォワード制御システムが構成される。発電機の発電量を制御する制御器に、目標値  $r$  として電力需要量が入力されると、発電機からは電力需要にほぼ等しい量の電力  $y_r$  が出力される。

【0006】

実際の状況では、システムに与えるべき目標値（すなわち、現時点で必要とされる制御対象の出力量）は未知であり、所定の予測モデルによって目標値を予測して得られた予測値をシステムに与えざるを得ない場合が多い。

【0007】

例えば、上述の発電システムの場合には、現時点の電力需要量（実際に必要な電力量）を正確に得ることはできないので、発電システムには、所定の予測モデルによって得られた予測値を与える必要がある。

10

【0008】

図13は、予測値によって制御する制御システムの構成を示すブロック図である。システム102には、所定の予測モデルによって得られた予測値

【数1】

$$\hat{r}$$

が与えられる。なお、以下では、

【数2】

$$\hat{r}$$

20

を「 $r^{\wedge}$ 」とも表記する。システム102からは、その予測値  $r^{\wedge}$  に応じた出力  $y_{r^{\wedge}}$  が得られる。

【0009】

しかしながら、予測値で制御する場合には、予測誤差（すなわち、予測値と実際の目標値との差）の分だけ、制御対象の出力にも誤差が生じることになる。そこで、予測誤差の影響がシステムの出力に影響しないようにするために、過去の時点の目標値（すなわち、過去の時点において実際に必要であった制御値）を実績値として利用し、システムに与える予測値を補正（整形）する予測ガバナ（予測値整形器）を設けたフィードフォワード制御システムが知られている。ここで、実績値は、過去の出力値ではなく、実際に使用された制御値であり、実績値は出力値とは独立している。

30

【0010】

図14は、予測ガバナを設けた制御システムの構成を示すブロック図である。予測ガバナ201には、予測値  $r^{\wedge}$  に加えて、過去の時点の目標値（実績値） $r$  が与えられる。予測ガバナ201は、これらの予測値  $r^{\wedge}$  及び実績値  $r$  に基づいて制御値  $v$  を算出して、システム103に出力する。システム103では、制御値  $v$  に見合う出力  $y_v$  が得られる。

【0011】

例えば、上述の発電システムの場合には、天候、気温等を予測モデルに適用して得られた電力需要量の予測値  $r^{\wedge}$  を、予測ガバナ201において、例えば数分前の実績値  $r$ （すなわち、数分前に実際に使用された制御値）を用いて補正して、システム103に与えることができる。このようなフィードフォワード制御システムによって、同時同量の制御が行われる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開2006-288151号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本発明は、予測値の整形によってより精度の高い（目標値に近い）制御値を算出する予

50

測値整形システム、制御値算出方法、及び制御値算出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】

【0014】

本発明の一態様の予測値整形システムは、制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形システムであって、前記予測値を取得する予測値取得部と、前記制御対象の過去の目標値である実績値を取得する実績値取得部と、前記実績値及び前記予測値をアルゴリズムに適用して前記予測値を補正することで、前記制御対象を制御するための制御値を算出する制御値算出部とを備えた構成を有し、前記アルゴリズムは、前記制御対象の制御モデルのパラメタを用いている。

10

【0015】

この構成により、制御対象の制御モデルのパラメタを用いたアルゴリズムによって予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より目標値に近い制御値を得ることができる。

【0016】

上記の予測値整形システムにおいて、前記アルゴリズムは、過去の前記予測値と前記実績値との差分である過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響を小さくするように、前記予測値を補正するアルゴリズムであってよい。

【0017】

この構成により、過去の予測値と実績値との差分（過去の予測誤差）が制御対象の出力に与える影響を小さくするよう予測値を補正するアルゴリズムが提供される。

20

【0018】

本発明の別の態様の予測値整形システムは、制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形システムであって、前記予測値を取得する予測値取得部と、前記制御対象の過去の目標値である実績値を取得する実績値取得部と、前記実績値及び前記予測値をアルゴリズムに適用して前記予測値を補正することで、前記制御対象を制御するための制御値を算出する制御値算出部とを備えた構成を有し、前記アルゴリズムは、過去の前記予測値と前記実績値との差分である過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響を小さくするように、前記予測値を補正するアルゴリズムである。

【0019】

この構成により、過去の予測値と実績値との差分（過去の予測誤差）が制御対象の出力に与える影響を小さくするように、予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より目標値に近い制御値を得ることができる。

30

【0020】

上記の予測値整形システムにおいて、前記影響は、前記予測誤差がない場合の目標値を適用した場合の出力と実際の出力との出力差であってよい。

【0021】

この構成により、理想的な出力（即ち、予測誤差がない場合の目標値を適用した場合の出力）と実際の出力との出力差を小さくするように、予測値が補正される。

【0022】

上記の予測値整形システムは、さらに、前記出力差を表現する評価関数を用いて前記影響の大きさを評価する評価部を備えていてよい。

40

【0023】

この構成によれば、監視部が過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響の大きさを監視するので、影響が大きくなった場合に、そのことを検知して、アルゴリズムを再計算する等の対応を採ることができる。

【0024】

上記の予測値整形システムは、さらに、前記アルゴリズムを決定するアルゴリズム決定部を備えていてよい。

【0025】

50

この構成により、予測値を補正するためのアルゴリズムを動的に決定できる。

【0026】

上記の予測値整形システムは、前記影響の大きさを評価する評価部をさらに備えていてよく、前記アルゴリズム決定部は、前記評価部にて評価された前記影響の大きさが所定の大きさより大きいときに、前記アルゴリズムを決定してよい。

【0027】

この構成により、過去の前記予測値と前記実績値との差分である過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響が大きくなったときに、アルゴリズムを決定し直すことができる。

【0028】

上記の予測値整形システムにおいて、前記アルゴリズムは、前記影響を最小にするアルゴリズムであってよい。

【0029】

この構成により、予測値を補正するためのアルゴリズムとして、過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響である出力差を最小にするアルゴリズムを得ることができる。

【0030】

上記の予測値整形システムにおいて、前記アルゴリズムは、前記影響を所定の値より小さくするアルゴリズムであってよい。

【0031】

この構成により、過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響である出力差がある所定値より小さくなったときに、予測値を補正するためのアルゴリズムを得ることができる。

【0032】

上記の予測値整形システムにおいて、前記アルゴリズムは、前記影響が収束したと判定されたときのアルゴリズムであってよい。

【0033】

この構成により、過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響である出力差が収束したときに、予測値を補正するためのアルゴリズムを得ることができる。

【0034】

上記の予測値整形システムにおいて、前記制御モデルの前記パラメータを  $A_p$ 、 $B_p$ 、 $C_p$  として、前記制御モデルが式(1)で表されてよい。

【数3】

$$\begin{cases} x_p(t+1) = A_p x_p(t) + B_p v(t) \\ y(t) = C_p x_p(t) \end{cases} \quad \dots (1)$$

ここで、 $v(t)$  は時刻  $t$  における前記制御値であり、 $y(t)$  は時刻  $t$  における前記制御対象の出力である。また、前記アルゴリズムが式(2)で表されてよい。

【数4】

$$\begin{cases} \xi(t+1) = \mathcal{A}^* \xi(t) + \mathcal{B}^* (\hat{r}(t-1) - r(t-1)) \\ v(t) = \mathcal{C}^* \xi(t) + \mathcal{D}^* (\hat{r}(t-1) - r(t-1)) + \hat{r}(t) \end{cases} \quad \dots (2)$$

ここで、 $\hat{r}(t)$  は時刻  $t$  の前記予測値であり、 $\hat{r}(t-1)$  は時刻  $t$  より過去の前記予測値であり、 $r(t-1)$  は前記実績値であり、

10

20

30

40

【数5】

$$A^* = A_P - B_P(C_P B_P)^{-1} C_P A_P$$

$$B^* = -B_P(C_P B_P)^{-1} C_P A_P B_P + A_P B_P$$

$$C^* = -(C_P B_P)^{-1} C_P A_P$$

$$D^* = -(C_P B_P)^{-1} C_P A_P B_P$$

である。

【0035】

この構成により、予測値を補正するためのアルゴリズムが最適化される。

10

【0036】

本発明の一態様の制御システムは、上記のいずれかの予測値整形システムと、前記制御対象と、前記予測値整形システムによって算出された前記制御値に従って前記制御対象を制御する制御器とを備えた構成を有している。

【0037】

この構成によっても、制御対象の制御モデルのパラメタを用いたアルゴリズムによって予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、あるいは、過去の予測値と実績値との差分（過去の予測誤差）が制御対象の出力に与える影響を小さくするように、予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より目標値に近い制御値を得ることができる。

20

【0038】

本発明の一態様の制御値算出方法は、制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形方法であって、前記予測値を取得する予測値取得ステップと、前記制御対象の過去の目標値である実績値を取得する実績値取得ステップと、前記実績値及び前記予測値をアルゴリズムに適用して前記予測値を補正することで、前記制御対象を制御するための制御値を算出する制御値算出ステップとを含む構成を有し、前記アルゴリズムは、前記制御対象の制御モデルのパラメタを用いている。

【0039】

この構成によっても、制御対象の制御モデルのパラメタを用いたアルゴリズムによって予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より目標値に近い制御値を得ることができる。

30

【0040】

本発明の別の態様の制御値算出方法は、制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形方法であって、前記予測値を取得する予測値取得ステップと、前記制御対象の過去の目標値である実績値を取得する実績値取得ステップと、前記実績値及び前記予測値をアルゴリズムに適用して前記予測値を補正することで、前記制御対象を制御するための制御値を算出する制御値算出ステップとを含む構成を有し、前記アルゴリズムは、過去の前記予測値と前記実績値との差分である過去の予測誤差が前記制御対象の出力に与える影響を小さくするように、前記予測値を補正するアルゴリズムである。

40

【0041】

この構成によっても、過去の予測値と実績値との差分（過去の予測誤差）が制御対象の出力に与える影響を小さくするように、予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より目標値に近い制御値を得ることができる。

【0042】

本発明の一態様の制御方法は、上記のいずれかの態様の予測値整形方法によって制御値を算出する制御値算出ステップと、前記制御値算出ステップで算出された前記制御値によって前記制御対象を制御する制御ステップとを含む構成を有している。

【0043】

50

この構成によっても、制御対象の制御モデルのパラメタを用いたアルゴリズムによって予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、あるいは、過去の予測値と実績値との差分（過去の予測誤差）が制御対象の出力に与える影響を小さくするように、予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より目標値に近い制御値を得ることができる。

【0044】

本発明の一態様の制御値算出プログラムは、制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形装置のコンピュータに、前記予測値を取得する予測値取得ステップと、前記制御対象の過去の目標値である実績値を取得する実績値取得ステップと、前記実績値及び前記予測値をアルゴリズムに適用して前記予測値を補正すること  
10

【0045】

この構成によっても、制御対象の制御モデルのパラメタを用いたアルゴリズムによって予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より目標値に近い制御値を得ることができる。

【0046】

本発明の別の態様の予測値整形プログラムは、制御対象を制御するための目標値を予測して得られた予測値を補正する予測値整形装置のコンピュータに、前記予測値を取得する  
20

【0047】

この構成によっても、過去の予測値と実績値との差分（過去の予測誤差）が制御対象の出力に与える影響を小さくするように、予測値が補正されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より目標値に近い制御値を得ることができる。  
30

【発明の効果】

【0048】

本発明によれば、制御対象の制御モデルのパラメタを用いたアルゴリズムによって予測値が補正（整形）されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より理想の出力に近い出力を得ることができる。

【0049】

以下に説明するように、本発明には他の態様が存在する。したがって、この発明の開示は、本発明の一部の提供を意図しており、ここで記述され請求される発明の範囲を制限することは意図していない。

【図面の簡単な説明】  
40

【0050】

【図1】本発明の実施の形態に係る予測値整形システムを含む制御システムの構成を示すブロック図

【図2】本発明の実施の形態に係るフィードフォワード制御システムの構成を示すブロック図

【図3】本発明の実施の形態に係る評価関数を説明するためのブロック図

【図4】本発明の実施の形態に係る評価関数を説明するためのグラフ

【図5】本発明の実施の形態の数値例における目標値を示すグラフ

【図6】本発明の実施の形態の数値例における予測値を示すグラフ

【図7】予測値を用い、予測ガバナを用いない場合の比較例を示すグラフ  
50

【図 8】本発明の実施の形態に係る予測ガバナを用いて予測値を補正した場合の数値例を示すグラフ

【図 9】本発明の実施の形態に係るフィードフォワード制御システムによる効果を説明するための図

【図 10】本発明の実施の形態に係るフィードフォワード制御システムを実現する手順を示すフローチャート

【図 11】本発明の実施の形態に係る予測値整形アルゴリズムを動的に決定する予測値整形システムの構成を示すブロック図

【図 12】従来の理想的なフィードフォワードの制御システムの構成を示すブロック図

【図 13】従来の予測値によって制御する制御システムの構成を示すブロック図

【図 14】従来の予測ガバナを設けた制御システムの構成を示すブロック図

【発明を実施するための形態】

【0051】

以下、本発明の実施の形態の予測値整形システムについて、図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、本発明を実施する場合の一例を示すものであって、本発明を以下に説明する具体的構成に限定するものではない。本発明の実施にあたっては、実施の形態に応じた具体的構成が適宜採用されてよい。

【0052】

図 1 は、本発明の実施の形態に係る予測値整形システムを含む制御システムの構成を示すブロック図である。制御システム 100 は、予測ガバナ（予測値整形システム）20 と、システム 10 とを備えたフィードフォワード制御システムである。システム 10 は、制御対象 12 と、それを制御する制御器 11 とを備えたフィードバック制御システムである。すなわち、制御システム 100 では、フィードバック制御システム 10 に対して予測ガバナ 20 が直列に接続され、全体としてフィードフォワード制御システムが構成されている。制御器 11 は、制御対象 12 の出力値のフィードバックを受けて、これに基づいて制御対象 12 の出力を予測ガバナ 20 から指定された制御値にするためのフィードバック制御を行う。具体的には、制御器 11 は、制御対象 12 を制御するために、制御信号である駆動信号を制御対象 12 に出力する。制御対象 12 は、制御器 11 から受けた駆動信号に従って駆動し、その結果、駆動信号に応じた物理量を出力する。

【0053】

本実施の形態では、制御対象 12 を制御するための目標値は未知である。そのような制御対象 12 として、例えば、発電機がある。発電機から出力される（発電される）電力は、電気のまま貯めておくことが難しく、また需要に対して供給が下回ると停電してしまうという特性がある。このため、時々刻々と変動する電力需要量に合わせ、ある程度のマージンを確保した電力量の発電をするように発電量制御が行われる。しかし、このマージンが大きすぎるとエネルギーの浪費になるため、需要量を正確に見積もって同時同量の発電量制御を行うことが望ましい。したがって、発電量制御には、本実施の形態による制御値算出の技術が好適に適用される。

【0054】

予測値整形システムとしての予測ガバナ 20 は、予測値取得部 21 と、実績値取得部 22 と、制御値算出部 23 と、出力部 24 とを備えている。予測値整形システムとしての予測ガバナ 20 の構成要素である予測値取得部 21、実績値取得部 22、制御値算出部 23、及び出力部 24 は、一部または全部がネットワーク上に分散して配置されていてもよいし、一部または全部が同一の装置（予測値整形装置）に備えられていてもよい。

【0055】

予測値取得部 21 は、所定の予測モデルによって制御対象 12 の目標値を予測することで得られた予測値  $r^{\wedge}$  を取得する。実績値取得部 22 は、制御対象 12 の過去の目標値である実績値  $r$  を取得する。制御値算出部 23 は、実績値  $r$  及び予測値  $r^{\wedge}$  を所定の予測値整形アルゴリズムに適用して予測値  $r^{\wedge}$  を補正（整形）することで、制御対象 12 を制御するための制御値  $v$  を算出する。出力部 24 は、予測値算出部 23 で算出された制御値  $v$

10

20

30

40

50

をシステム 10 の制御器 11 に出力する。

【0056】

予測ガバナ 20 を用いて実績値  $r$  によって予測値  $r^{\wedge}$  を補正すると、予測の精度が向上して、より目標値に近い予測値  $r^{\wedge}$  が得られる。しかしながら、従来の予測ガバナにおける予測値整形アルゴリズムは、制御対象の情報を用いておらず、したがって、個別の制御対象に対して最適化されていない。換言すれば、従来の予測ガバナにおける予測値整形アルゴリズムは、どのような制御対象にも一定程度の効果をもって適用できる汎用的なものに過ぎなかった。

【0057】

そこで、本実施の形態の予測ガバナ 20 は、システム 10 におけるフィードバック制御の制御モデル（以下、「制御対象 12 の制御モデル」ともいう。）に基づいて得られた予測値整形アルゴリズムを用いて、予測値の補正を行う。以下、そのような予測値整形アルゴリズムを具体的に説明する。

【0058】

1. 記号の準備

予測値整形アルゴリズムの説明に先立ち、まず、以下のとおりに各記号を定義する。

【数 6】

$\mathbb{R}, \mathbb{R}_+, \mathbb{N}$

は、それぞれ、実数の集合、正の実数の集合、自然数の集合を表わす。

【0059】

【数 7】

$$x = [x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_n]^T \in \mathbb{R}^n$$

$$M = \{M_{ij}\} \in \mathbb{R}^{n \times m}$$

で表されるベクトル  $x$  及び行列  $M$  の ノルムをそれぞれ

【数 8】

$$\|x\|_{\infty} := \max_i |x_i|$$

$$\|M\|_{\infty} := \max_i \sum_{j=1}^m |M_{ij}|$$

と定義する。

【0060】

離散時間信号  $e$  の ノルムを

【数 9】

$$\|e\| := \sup_{t \in \mathbb{N}} \|e(t)\|_{\infty}$$

とする。

【0061】

【数 10】

$$M := \{M_{ij}\}$$

で表される行列  $M$  に対し、 $abs(M)$  は、行列  $M$  の各要素の絶対値で構成される行列であるとする ( $abs(M) = \{M_{ij}\}$  とする)。

【0062】

2. 問題設定

図 2 は、本実施の形態のフィードフォワード制御システムの構成を示すブロック図である。図 2 には、予測値整形アルゴリズム  $G$  を採用する予測ガバナ 20 と、制御モデル  $P$  で

10

20

30

40

50

フィードバック制御を行うシステム 10 とで構成されるフィードフォワード制御システムが示されている。ここで、制御モデル P は、離散時間線形モデルである。また、「 $z^{-1}$ 」は一定時刻前の情報を取得する操作を表わしている。

【0063】

制御モデル P は、下式 (1) で表される。

【数 1 1】

$$P: \begin{cases} x_P(t+1) = A_P x_P(t) + B_P v(t) \\ y(t) = C_P x_P(t) \end{cases} \quad \dots (1)$$

10

ここで、 $v(t)$  は、予測ガバナ 20 が出力する制御値であり、 $y_v(t)$  は、システム 10 の出力である。また、 $(A_P, B_P, C_P)$  は、制御モデル P のパラメタであり、入出力データから従来のシステム同定手法 (例えば、最小二乗法) を用いて決定される。

【0064】

また、

【数 1 2】

$$t \in \{0\} \cup \mathbb{N}$$

は、離散時刻を表し、

【数 1 3】

$$x_P \in \mathbb{R}^n$$

20

は状態を表し、

【数 1 4】

$$v \in \mathbb{R}^m$$

は入力を表し、

【数 1 5】

$$y \in \mathbb{R}^l$$

30

は出力を表し、

【数 1 6】

$$A_P \in \mathbb{R}^{n \times n}, B_P \in \mathbb{R}^{n \times m}, C_P \in \mathbb{R}^{l \times n}$$

は定数行列である。 $A_P$  の固有値は複素平面上の単位円内に存在するものとする (P が安定であるとする)。また、初期状態は、

【数 1 7】

$$x_{P0} \in \mathbb{R}^n$$

によって

【数 1 8】

$$x_P(0) = x_{P0}$$

40

と与えられる。

【0065】

一方、予測ガバナ 20 の予測値整形アルゴリズム G は、以下の式 (2) で表される。

【数 19】

$$G: \begin{cases} \xi(t+1) = A\xi(t) + B(\hat{r}(t-1) - r(t-1)) \\ v(t) = C\xi(t) + D(\hat{r}(t-1) - r(t-1)) + \hat{r}(t) \end{cases} \dots (2)$$

ここで、 $r(t-1)$  は実績値（一定時刻前の目標値）であり、 $\hat{r}(t-1)$  は、所定の予測モデルによって得られた一定時刻前の予測値であり、 $\hat{r}(t)$  は、現在の予測値である。また、 $v(t)$  は現在の制御値（予測値を整形して得られた値）である。また、 $(A, B, C, D)$  は、予測値整形アルゴリズムの設計パラメタである。

【0066】

10

また、

【数 20】

$$\xi \in \mathbb{R}^N$$

はGの状態（ $(0) = 0$ ）であり、

【数 21】

$$\hat{r}, r \in \mathbb{R}^m$$

は入力であり、

【数 22】

$$v \in \mathbb{R}^m$$

20

は出力であり、

【数 23】

$$A \in \mathbb{R}^{N \times N}, B \in \mathbb{R}^{N \times m}, C \in \mathbb{R}^{m \times N}, D \in \mathbb{R}^{m \times m}$$

は定数行列である。

【0067】

信号  $r$  は、実際の目標値である。現在の値  $r(t)$  は取得できないが、実績値  $r(t-1)$  は取得可能である。一方、信号  $\hat{r}$  は予測値であるため、現在の値  $\hat{r}(t)$  及び過去の値  $\hat{r}(t-1)$  のいずれも利用可能である。この  $r$  と  $\hat{r}$  に対して、次の仮定 (A1) を設ける。

30

【数 24】

$$(A1) \quad \|r - \hat{r}\|_{\infty} \leq \Delta$$

この仮定 (A1) は、予測誤差が

【数 25】

$$\Delta \in \mathbb{R}_+$$

以下、すなわち、予測値  $r$  が何らかの推定手法を用いて以下の精度で得られていることを意味している。

40

【0068】

ここで、制御値算出部 23 がより目標値  $r$  に近い制御値  $v$  を算出する予測値整形アルゴリズムを得るために、図 3、図 4 及び式 (3) に示す評価関数  $J(G)$  を考える。図 3 は、評価関数  $J(G)$  を説明するためのブロック図であり、図 4 は、評価関数  $J(G)$  を説明するためのグラフである。評価関数  $J(G)$  は、フィードフォワード制御システムにおいて、制御対象 12 の制御モデル

【数 26】

$$P (x_{P0} \in \mathbb{R}^n)$$

50

が任意に与えられたときの評価関数であり、下式で与えられる。

【数 27】

$$J(G) := \sup_{\hat{r} \in \ell_{\infty}^m} \|y_v - y_r\|_{\infty}$$

ここで、 $y_v$  は、本実施の形態の予測ガバナ 20 で算出された制御値  $v$  によって制御したときのシステム 10 の出力であり、 $y_r$  は、目標値  $r$  によって制御したときのシステム 10 の出力である。

【0069】

図 3、図 4、及び式 (3) に示すように、評価関数  $J(G)$  は、本実施の形態のフィードフォワード制御システム の出力  $y_v$  と、目標値  $r$  が利用できる場合の理想的なフィードフォワード制御システム の出力  $y_r$  との最大の差、すなわち、最悪な予測値が与えられたときの最大の出力差を表している。換言すれば、評価関数  $J(G)$  は、最悪ケースの評価指標である。したがって、評価関数  $J(G)$  を最小化する予測値整形アルゴリズム  $G$  が最適な予測値整形アルゴリズムとなる。以下では、評価関数  $J(G)$  を最小化する予測値整形アルゴリズム  $G$  を求める、予測ガバナの最適設計について説明する。

10

【0070】

### 3. 予測ガバナの最適設計

#### 3-1. 性能解析

評価関数  $J(G)$  の値を小さくする予測ガバナ 20 の予測値整形アルゴリズム  $G$  の解を与える前に、与えられた予測値整形アルゴリズム  $G$  の性能を解析する。そして、その結果をもとに、最適な予測値整形アルゴリズム  $G$  を与える。

20

【0071】

まず、式 (1) と式 (2) をまとめると、

【数 28】

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x_P(t+1) \\ \xi(t+1) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A_P & 0 \\ 0 & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_P(t) \\ \xi(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ B \end{bmatrix} (\hat{r}(t-1) + r(t-1)) + \begin{bmatrix} B_P \\ 0 \end{bmatrix} v(t) \\ &= \begin{bmatrix} A_P & B_P C \\ 0 & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_P(t) \\ \xi(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_P D \\ B \end{bmatrix} (\hat{r}(t-1) - r(t-1)) + \begin{bmatrix} B_P \\ 0 \end{bmatrix} \hat{r}(t) \end{aligned}$$

30

となる。したがって、

【数 29】

$$x := \begin{bmatrix} x_P^T & \xi^T \end{bmatrix}^T \quad (\text{初期値は } x_0 := \begin{bmatrix} x_{P0}^T & 0 \end{bmatrix}^T)$$

とすれば、フィードフォワード制御システム は、次のように表現できる。

【数 30】

$$\Sigma: \begin{cases} x(t+1) = \begin{bmatrix} A_P & B_P C \\ 0 & A \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} B_P D \\ B \end{bmatrix} (\hat{r}(t-1) - r(t-1)) + \begin{bmatrix} B_P \\ 0 \end{bmatrix} \hat{r}(t) \\ y_v(t) = [C_P \ 0] x(t) \end{cases}$$

40

【0072】

次に、時刻

【数 31】

$$T \in \mathbb{N}$$

における の出力  $y_v$  と の出力  $y_r$  との差は、

【数 3 2】

$$y_v(T) - y_r(T) = [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^T x_0$$

$$+ \sum_{t=0}^{T-1} [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^{T-1-t} \begin{bmatrix} B_P \mathcal{D} \\ \mathcal{B} \end{bmatrix} (\hat{r}(t-1) - r(t-1))$$

10

$$+ \sum_{t=0}^{T-1} [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^{T-1-t} \begin{bmatrix} B_P \\ 0 \end{bmatrix} \hat{r}(t)$$

$$- C_P A_P^T x_{P0} - \sum_{t=0}^{T-1} C_P A_P^{T-1-t} B_P r(t)$$

20

$$= \sum_{t=0}^{T-1} [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^{T-1-t} \begin{bmatrix} B_P \mathcal{D} \\ \mathcal{B} \end{bmatrix} (\hat{r}(t-1) - r(t-1))$$

$$+ \sum_{t=0}^{T-1} [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^{T-1-t} \begin{bmatrix} B_P \\ 0 \end{bmatrix} (\hat{r}(t) - r(t))$$

で表わされる。ここで、

30

【数 3 3】

$$w(t) := \hat{r}(t) - r(t)$$

とする。

【0 0 7 3】

仮定 (A 1) より

【数 3 4】

$$\|w(t)\|_\infty \leq \Delta$$

である。このとき、 $w(t) = 0$  ( $t = 0$ ) に注意すれば、

40

【数 3 5】

$$\begin{aligned}
y_v(T) - y_r(T) &= \sum_{t=0}^{T-1} [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^{T-1-t} \begin{bmatrix} B_P \mathcal{D} \\ \mathcal{B} \end{bmatrix} w(t-1) \\
&+ \sum_{t=0}^{T-1} [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^{T-1-t} \begin{bmatrix} B_P \\ 0 \end{bmatrix} w(t) \\
&= C_P B_P w(T-1) + \sum_{t=0}^{T-2} [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^{T-2-t} \left( \begin{bmatrix} B_P \mathcal{D} \\ \mathcal{B} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_P \\ 0 \end{bmatrix} \right) w(t) \\
&= C_P B_P w(T-1) + \sum_{t=0}^{T-2} [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^{T-2-t} \begin{bmatrix} B_P \mathcal{D} + A_P B_P \\ \mathcal{B} \end{bmatrix} w(t)
\end{aligned} \tag{10}$$

となる。これより、

【数 3 6】

$$\|w(t)\|_{\infty} \leq \Delta$$

であるので、次式を得る。

【数 3 7】

$$J(G) \leq \left\| \text{abs}(C_P B_P) + \sum_{t=0}^{\infty} \text{abs} \left( [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} B_P \mathcal{D} + A_P B_P \\ \mathcal{B} \end{bmatrix} \right) \right\|_{\infty} \Delta \tag{20}$$

さらに、上式の等号が成立する予測値  $r^{\wedge}$  が存在するので、

【数 3 8】

$$J(G) = \left\| \text{abs}(C_P B_P) + \sum_{t=0}^{\infty} \text{abs} \left( [C_P \ 0] \begin{bmatrix} A_P & B_P \mathcal{C} \\ 0 & \mathcal{A} \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} B_P \mathcal{D} + A_P B_P \\ \mathcal{B} \end{bmatrix} \right) \right\|_{\infty} \Delta \tag{30}$$

… (3)

となる。

【0074】

この式(3)より、予測誤差によって、システム10の出力にどの程度の影響が出るかをあらかじめ見積もることができる。さらに、式(3)の第1項の値はPのパラメタのみで決まり、第2項の値は制御モデルPと予測値整形アルゴリズムGのパラメタで決まる。したがって、すべての項が非負の値なので、第2項の値をできるだけ小さくするように予測値整形アルゴリズムGを決定すれば、評価関数J(G)の値を小さくする予測値整形アルゴリズムGを得ることができる。

【0075】

3-2. 最適予測ガバナ

式(3)の第2項をゼロにする予測値整形アルゴリズムを得ることができる。実際、最適な予測値整形アルゴリズムGは、

【数 3 9】

$$G^* : \begin{cases} \xi(t+1) = \mathcal{A}^* \xi(t) + \mathcal{B}^* (\hat{r}(t-1) - r(t-1)) \\ v(t) = \mathcal{C}^* \xi(t) + \mathcal{D}^* (\hat{r}(t-1) - r(t-1)) + \hat{r}(t) \end{cases}$$

$$\mathcal{A}^* = A_P - B_P (C_P B_P)^{-1} C_P A_P$$

$$\mathcal{B}^* = -B_P (C_P B_P)^{-1} C_P A_P B_P + A_P B_P$$

$$\mathcal{C}^* = -(C_P B_P)^{-1} C_P A_P$$

$$\mathcal{D}^* = -(C_P B_P)^{-1} C_P A_P B_P$$

10

となり、そのときの評価関数の値は、

【数 4 0】

$$J(G^*) = \|\text{abs}(C_P B_P)\|_{\infty} \Delta \quad \dots (4)$$

となる。この式(4)はGの性能限界である。

【0076】

このように、本実施の形態の予測ガバナ20の予測値整形アルゴリズムGは、システム10の制御モデルPのパラメタで特徴づけられている。すなわち、予測値整形アルゴリズムGは、制御モデルPに対して決定されたオーダーメイド型の予測値整形アルゴリズムである。これにより、過去に生じた予測誤差  $\hat{r}(t-1) - r(t-1)$  が制御モデルPで表されるシステム10の出力に与える影響を正確に見積もることができ、そして、その影響をできるだけ小さくするような補正を行うことができる。

20

【0077】

また、式(4)より、予測誤差が小さくなれば、 $J(G)$ の値が小さくなり、つまり、出力誤差が小さくなることわかる。さらに、

【数 4 1】

$$\|C_P B_P\|$$

30

が小さい制御モデルPほど、 $J(G)$ が小さい。上述のように、制御モデルPは離散時間システムであるので、連続時間システムP<sub>c</sub>を離散化する際のサンプリング周期が短いほど、

【数 4 2】

$$\|C_P B_P\|$$

が小さくなる。このことから、サンプリング周期が短いほど、予測ガバナ20の性能が向上することがわかる。

【0078】

40

## 4. 数値例

次に、以下の制御モデルPによって制御されるフィードフォワード制御システム(最小位相系)についての数値例を示す。

【数 4 3】

$$P : \begin{cases} x_P(t+1) = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.05 \\ 0 & 0.99 \end{bmatrix} x_P(t) + \begin{bmatrix} 0.003 \\ 0.099 \end{bmatrix} v(t) \\ y(t) = [1 \ 0] x_P(t) \end{cases}$$

但し、初期値は

50

【数 4 4】

$$x_{P0} := [0.5 \ 0]^T$$

である。

【0 0 7 9】

図 5 は、目標値を示すグラフであり、図 6 は、図 5 の目標値に対する予測値を示すグラフである。目標値としては、

$$r(t) = 0.5 \sin(0.1 t) + 0.5 \cos(0.03 t)$$

を用いた。図 6 に示す予測値の予測誤差は  $\sigma = 1.6429$  とした。

【0 0 8 0】

図 7 は、予測値  $\hat{r}$  を用いるが予測ガバナ 20 を用いない場合の結果（制御対象 1 2 の出力） $y_{\hat{r}}$  を示すグラフであり、図 8 は、最適化された予測値整形アルゴリズム G を採用した予測ガバナ 20 を用いて予測値  $\hat{r}$  を補正して制御値  $v$  を算出し、その制御値  $v$  で制御対象 1 2 を制御して得られた結果（制御対象 1 2 の出力） $y_v$  を示すグラフである。図 7 及び図 8 において、破線  $y_{\hat{r}}$  は目標値  $r$  を用いたときの理想的な出力である。なお、 $J(G) = 0.0049$ 、

【数 4 5】

$$\|y_v - y_{\hat{r}}\| = 0.0049$$

であった。図 8 を参照すると、最適化された予測値整形アルゴリズム G で予測値  $\hat{r}$  の補正をした場合には、システム 10 の出力  $y_v$  は、目標値  $r$  で制御した場合のシステム 10 の出力  $y_{\hat{r}}$  とほぼ一致している。

【0 0 8 1】

以上のように、本実施の形態のフィードフォワード制御システム 100 では、予測ガバナ 20 の制御値算出部 23 で採用する予測値整形アルゴリズム G が、制御対象 1 2 の制御モデル P のパラメタを用いているので、制御対象 1 2 に応じて予測値を補正することができる。

【0 0 8 2】

図 9 は、本実施の形態のフィードフォワード制御システム 100 による効果を説明するための図である。本実施の形態の予測ガバナ 20 の制御値算出部 23 で採用する予測値整形アルゴリズム G は、過去に生じた予測誤差（すなわち、過去の予測値  $\hat{r}(t-1)$  と実績値  $r(t-1)$  との差分  $\hat{r}(t-1) - r(t-1)$ ）が制御対象 1 2 の出力に与える影響を正確に見積もることができ、その影響を小さくするように、現時点の予測値  $\hat{r}(t)$  を補正することができる。

【0 0 8 3】

予測ガバナ 20 では、予測値  $\hat{r}(t)$ 、過去の予測値  $\hat{r}(t-1)$ 、実績値（過去の目標値） $r(t-1)$  を用いて、予測値整形アルゴリズム G で過去に生じた予測誤差  $\hat{r}(t-1) - r(t-1)$  をフィルタリングすることで、予測値  $\hat{r}(t)$  を補正して制御値  $v(t)$  を算出するが、この制御値  $v(t)$  として、目標値  $r(t)$  に近い値の制御値  $v(t)$  を得ることができ、システム 10 の出力の誤差

【数 4 6】

$$\|y_v - y_{\hat{r}}\|$$

を小さくすることができる。なお、図 9 に示すように、予測ガバナ 20 を用いても 1 ステップ先の影響は改善できないが、それ以降の影響は小さくすることができる。

【0 0 8 4】

次に、本実施の形態のフィードフォワード制御システム 100 を実現する手順について説明する。図 10 は、本実施の形態のフィードフォワード制御システム 100 を実現する手順を示すフローチャートである。まず、システム同定によって、システム 10 の制御モデル P のパラメタ ( $A_p$ 、 $B_p$ 、 $C_p$ ) を求める（ステップ S101）。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 5 】

次に、制御モデル P のパラメタ ( $A_p$ 、 $B_p$ 、 $C_p$ ) を用いて、予測値整形アルゴリズム G のパラメタ ( $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ) を求める (ステップ S 1 0 2)。そして、予測値整形アルゴリズム G のパラメタ ( $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ) を用いて、予測値整形アルゴリズム G を採用した予測ガバナ 2 0 を計算機にプログラムとして実装する (ステップ S 1 0 3)。

## 【 0 0 8 6 】

上記の実施の形態では、予測ガバナの最適設計を行い、評価関数  $J(G)$  を最小化する予測値整形アルゴリズム G を求めたが、予測値整形アルゴリズム G としては、必ずしも、評価関数  $J(G)$  を最小にするものを採用しなくてもよい。例えば、評価関数  $J(G)$  を最小にする予測値整形アルゴリズム G を、数式の変形による解析的な方法、一般的な最適化の方法 (勾配法、ニュートン法等)、あるいはヒューリスティックと呼ばれる発見的な方法によって求める場合において、評価関数  $J(G)$  が所定の閾値値より小さくなったときの予測値整形アルゴリズム G を採用してもよい。あるいは、上記の勾配法、ニュートン法等の最適化方法で予測値整形アルゴリズム G を求める場合において、評価関数  $J(G)$  が収束したと判定されたときの予測値整形アルゴリズム G を採用してもよい。即ち、予測値整形アルゴリズム G の候補を  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $\dots$  と更新していくと、評価関数  $J(G)$  の値も  $J(G_1)$ 、 $J(G_2)$ 、 $\dots$  と変化していくが、このときの  $J(G)$  の値の変化量の絶対値 ( $|J(G_i) - J(G_{i+1})|$ ) が以下 ( $\epsilon$  は事前に決定された小さい正の値) となった段階で収束とみなして、そのときの予測値整形アルゴリズム G を採用してもよい。

## 【 0 0 8 7 】

また、上記の実施の形態では、評価関数  $J(G)$  として、実際のフィードフォワード制御システム の出力  $y_v$  と、目標値  $r$  が利用できる場合の理想的なフィードフォワード制御システム の出力  $y_r$  との最大の差、すなわち、最悪な予測値が与えられたときの最大の出力差を用いたが、この評価関数  $J(G)$  とされる出力差は、グラフの線  $y_v - y_r$  の 0 への近さを定量化した任意の関数であってよく、例えば、出力  $y_v$  と出力  $y_r$  との差の二乗ノルムであってよい。

## 【 0 0 8 8 】

上記の実施の形態では、予測値整形アルゴリズムを求めてそれを採用した予測ガバナ 2 0 を用いること説明したが、予測値整形システムが、予測値整形アルゴリズムを動的に決定するための構成を追加してもよい。即ち、予測値整形システムは、上記の予測ガバナ 2 0 の構成に加えて、評価部とアルゴリズム決定部とを備えてよい。

## 【 0 0 8 9 】

図 1 1 は、予測値整形アルゴリズムを動的に決定する予測値整形システムの構成を示すブロック図である。予測値整形システム 2 0' は、上記の予測ガバナ 2 0 の構成に加えて、評価部 2 5 及びアルゴリズム決定部 2 6 とを備えている。予測値整形システム 2 0' においても、一部または全部の構成がネットワーク上に分散して配置されていてもよいし、一部または全部の構成が同一の装置 (予測値整形装置) に備えられていてもよい。

## 【 0 0 9 0 】

評価部 2 5 は、実際のフィードフォワード制御システム の出力  $y_v$  を入力し、かつ、目標値  $r$  を用いた理想的なフィードフォワード制御システム の出力  $y_r$  との出力差を表現する評価関数  $J(G)$  の大きさを評価することで、過去の予測誤差が制御対象 1 2 の出力に与える影響の大きさを評価する。評価部 2 5 は、評価関数  $J(G)$  が所定の閾値より大きい場合には、予測値整形アルゴリズムを決定し直す必要があると判断して、アルゴリズム決定部 2 6 に予測値整形アルゴリズムを再決定させる。

## 【 0 0 9 1 】

アルゴリズム決定部 2 6 は、評価部 2 5 から予測値整形アルゴリズムの再決定の指示を受けた場合に、上記で説明したように、評価関数  $J(G)$  を最小化する予測値整形アルゴリズム G を求める。なお、この場合にも、必ずしも評価関数  $J(G)$  を最小にしなくても

10

20

30

40

50

よく、評価関数  $J(G)$  を所定の閾値より小さくする  $G$  を予測値整形アルゴリズムとしてもよいし、評価関数  $J(G)$  が収束したと判定されたときの  $G$  を予測値整形アルゴリズムとしてもよい。

【0092】

(応用例)

上記では、本実施の形態のフィードフォワード制御システム100が、電力需要量を予測する発電システムに適用できることを説明したが、本発明の制御システムは、発電システムに限らず、他のシステムにも適用可能である。システムの目標値が未知である場合には、本発明を有効に適用できる。

【0093】

目標値が未知であるシステムとして、上述した発電システムのほか、例えば、太陽光発電システムにおける日射量予測をするシステム、応答性の悪いセンサを用いたシステム(例えば、エンジンを制御するシステム)、センサ情報がネットワーク通信で送信されるシステム、センサ情報を処理して用いるシステム(例えば、ロボット制御や自動車の自動運転制御のように、取得した画像の処理に時間がかかるシステム)があり、これらのシステムにも本発明を適用できる。

【0094】

また、人工すい臓システムにも本発明を適用できる。人工すい臓システムでは、皮下組織に装着されたセンサCGM(持続血糖測定)を行っている。CGMは、組織間質液中の糖濃度を測定するものであり、糖濃度と血糖値には一定の相関があるが、糖濃度は実際には血糖値より10~15分遅れることが分かっている。

【0095】

また、例えば、制御対象をサプライチェーンとして、制御目標を倉庫の在庫管理として、ロジスティクスの分野にも本発明を適用できる。この場合は、目標値ないし予測値として、満足度を用いることができ、実績情報(過去の値)として、顧客アンケートによる満足度を用いることができる。

【0096】

また、例えば、制御対象をインスリン投与として、制御目標を血糖値の制御として、医療の分野にも本発明を適用できる。この場合は、目標値ないし予測値として、血糖値を用いることができ、実績情報(過去の値)として、体液計測による10分前の血糖値を用いることができる。

【0097】

また、例えば、制御対象を自動車の運転アシストないし自動運転として、制御目標を軌道追従制御として、ITSの分野にも本発明を適用できる。この場合は、目標値ないし予測値として、環境情報(障害物、信号等の情報)を用いることができ、実績情報(過去の値)として、時間をかけて得られる精細な情報を用いることができる。

【0098】

また、例えば、制御対象を植物の計画生産として、制御目標を生育環境の制御として、農業の分野にも本発明を適用できる。この場合は、目標値ないし予測値として、植物の生育の状況を用いることができ、実績情報(過去の値)として、実際の生育状況の情報を用いることができる。

【0099】

また、例えば、制御対象を空調制御として、制御目標を運転時間及び運転台数の決定として、建築の分野にも本発明を適用できる。この場合は、目標値ないし予測値として、環境情報(温度、天気等の情報)を用いることができ、実績情報(過去の値)として、実際の環境情報を用いることができる。

【0100】

以上に現時点で考えられる本発明の好適な実施の形態を説明したが、本実施の形態に対して多様な変形が可能であり、そして、本発明の真実の精神と範囲内にあるそのようなすべての変形を添付の請求の範囲が含むことが意図されている。

10

20

30

40

50

【産業上の利用可能性】

【0101】

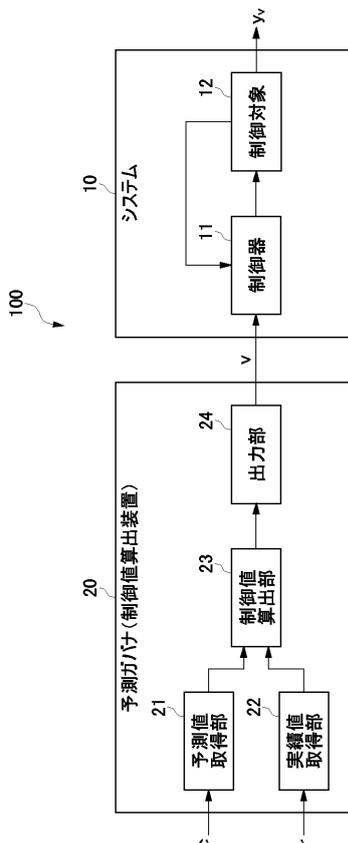
本発明は、制御対象の制御モデルのパラメタを用いたアルゴリズムによって予測値が補正（整形）されるので、制御対象に適した補正を行うことができ、より理想の出力に近い出力を得ることができるという効果を有し、制御対象を制御するための制御値を算出する予測値整形システム等として有用である。

【符号の説明】

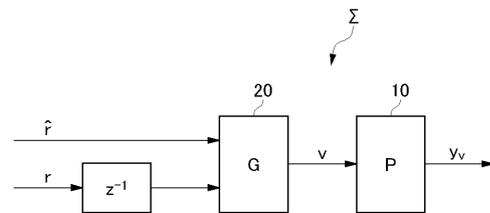
【0102】

- 100 フィードフォワード制御システム（制御システム）
- 10 システム
- 11 制御器
- 12 制御対象
- 20 予測ガバナ（予測値整形システム）
- 21 予測値取得部
- 22 実績値取得部
- 23 制御値算出部
- 24 出力部
- 25 評価部
- 26 アルゴリズム決定部

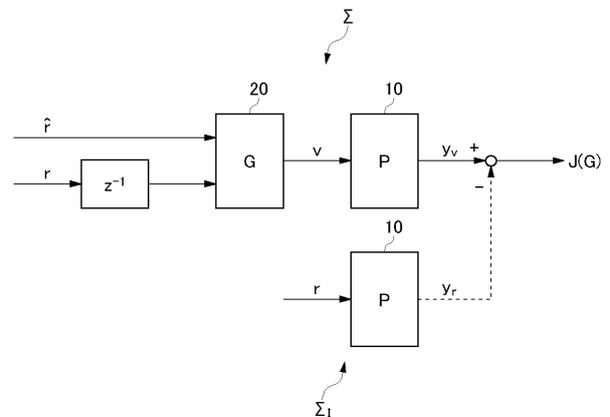
【図1】



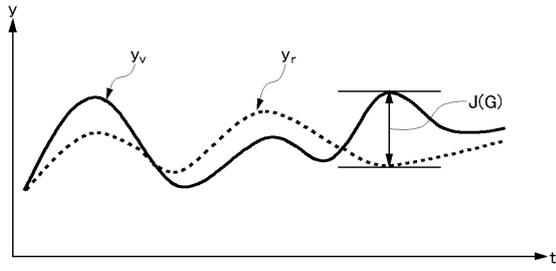
【図2】



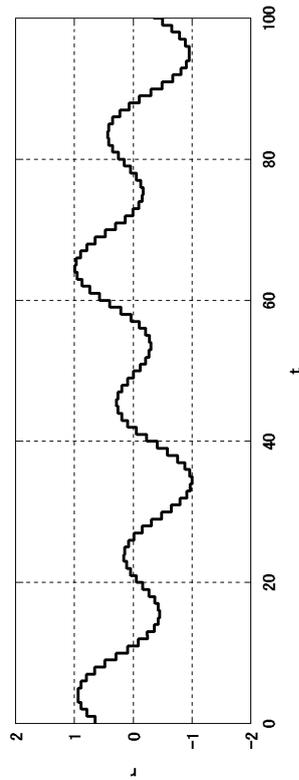
【図3】



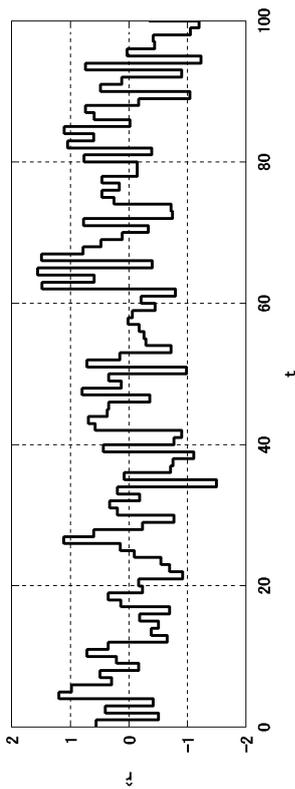
【 図 4 】



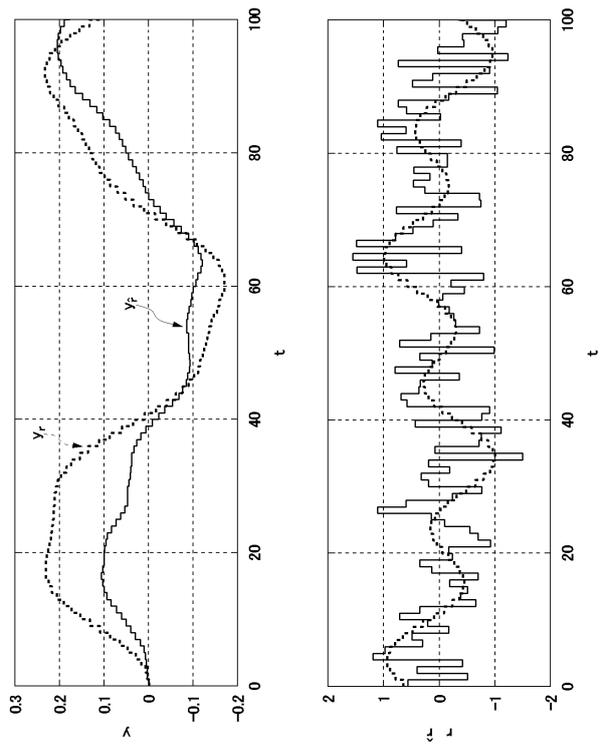
【 図 5 】



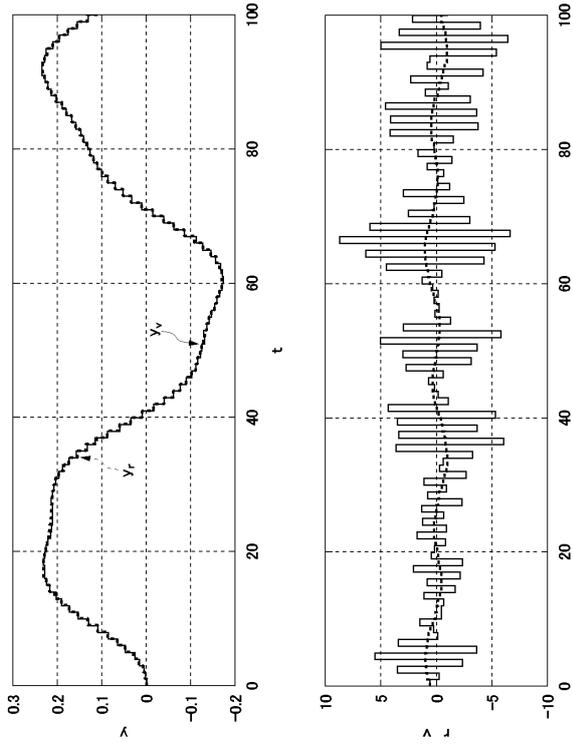
【 図 6 】



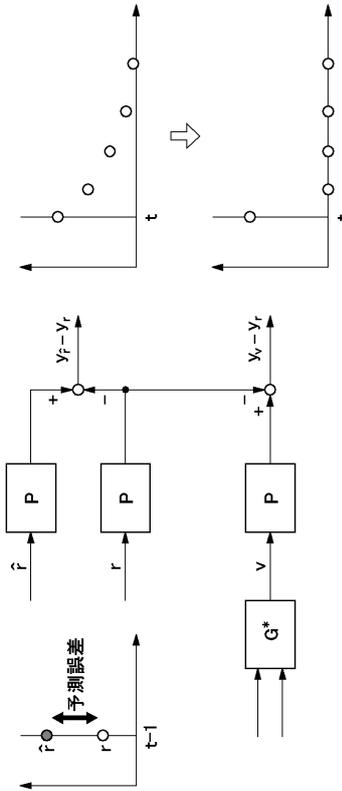
【 図 7 】



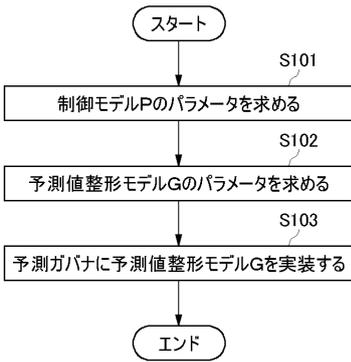
【図8】



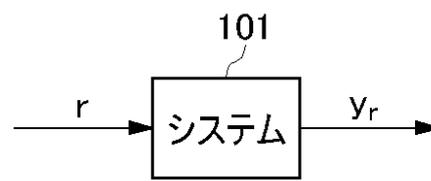
【図9】



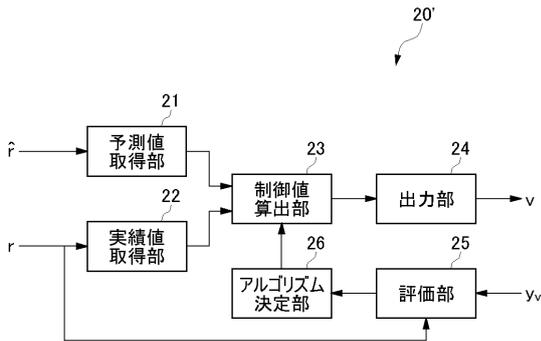
【図10】



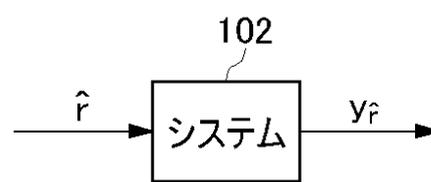
【図12】



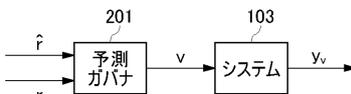
【図11】



【図13】



【図14】



---

フロントページの続き

審査官 中田 善邦

- (56)参考文献 特開平06 - 102939 (JP, A)  
特開2000 - 066731 (JP, A)  
特開平11 - 119805 (JP, A)  
特開2004 - 295226 (JP, A)  
米国特許第06760716 (US, B1)  
米国特許出願公開第2011 / 0106402 (US, A1)  
米国特許出願公開第2006 / 0212156 (US, A1)  
米国特許第04539633 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 1/00 - 7/04  
11/00 - 13/04  
17/00 - 17/02  
21/00 - 21/02