【公報種別】特許法第１７条の２の規定による補正の掲載
【部門区分】第７部門第３区分
【発行日】平成17年4月7日(2005.4.7)

【公開番号】特開2002-135171(P2002-135171A)
【公開日】平成14年5月10日(2002.5.10)
【出願番号】特願2000-323958(P2000-323958)
【国際特許分類第７版】
　Ｈ０４Ｂ　 3/23
　Ｇ０５Ｂ　13/02
　Ｈ０３Ｈ　21/00
【ＦＩ】
　Ｈ０４Ｂ　 3/23
　Ｇ０５Ｂ　13/02　　Ｔ
　Ｈ０３Ｈ　21/00

【手続補正書】
【提出日】平成16年4月30日(2004.4.30)
【手続補正１】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】請求項２
【補正方法】変更
【補正の内容】
【請求項２】
　前記H_∞評価基準は、｛　（フィルタ誤差に対応する項／評価関数の重み（ρ））　／［（初期状態の誤差に対応する項）＋（システム雑音に対応する項）＋（観測雑音に対応する項／評価関数の重み（ρ））］　｝の最大値が、予め与えられた上限値（$\gamma_f{}^2$）より小さいことを特徴とする請求項１に記載のシステム同定方法。
【手続補正２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００２２
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００２２】
【数９】

$$\sup_{x_0,\{w_i\},\{v_i\}} \frac{\sum_{i=0}^{k} \|e_{f,i}\|^2/\rho}{\|x_0-\hat{x}_{0|-1}\|^2_{\Sigma_0^{-1}} + \sum_{i=0}^{k} \|w_i\|^2_{\Sigma_{w_i}^{-1}} + \sum_{i=0}^{k} \|v_i\|^2/\rho} < \gamma_f^2 \qquad (10)$$

【手続補正３】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００２５
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００２５】
　また、評価基準の重みρは予めに決められた上限値γ_fに依存するので、上述のアルゴリズムは通常のH_∞フィルタとは本質的に異なる。本アルゴリズムはρで重みづけされた外乱(初期状態x_0,システム雑音｛w_i｝,観測雑音｛υ_i｝からフィルタ誤差｛$e_{f,i}$

}への最大エネルギーゲインをγ_f^2より小さく押えているので、外乱に対してロバスト(頑健)なフィルタリングアルゴリズムとなる。この性質が時変システムの追従特性に反映される。また、$\gamma_f \rightarrow \infty$のとき、$\rho = 1$、$\Sigma_{w\,k} = 0$となり、変形$H_\infty$フィルタは通常のカルマンフィルタと一致する。

【手続補正４】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００５１
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００５１】
（変形H_∞フィルタリングアルゴリズムの計算量）
図２及び図３に、変形H_∞フィルタリングアルゴリズムの各部分の計算量の説明図を示す。ただし、Ｎはタップ数（状態ベクトルx_kのディメンジョン）である。ここで、図３（ａ）において$R_{e,k}$から$R_{e,k}^{-1}$を求めるための計算は無視する。同様に、図２（ａ）において（$H_{k+1} P\hat{}_{k+1|k} H^T_{k+1} + 1$）の部分から（$H_{k+1} P\hat{}_{k+1|k} H^T_{k+1} + 1$）$^{-1}$を求める計算も無視する。

【手続補正５】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００５３
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００５３】
また、図４に、行列計算の順番を変えた場合の計算量の説明図を示す。すなわち、リカッチ方程式において、右辺第２項の部分の行列計算の順番を変えた場合の計算量を図４に示す。
上述の部分の計算量がインパルス応答の次数の３乗に比例するので、$P\hat{}_{k+1|k}$の計算量もインパルス応答の次数の３乗に比例する。これに伴い、H_∞フィルタ全体の計算量もタップ数の２乗から３乗にまで増加する。

【手続補正６】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００６９
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００６９】
なお、図７は、ここでのインパルス応答$\{h_i\}$の値を示す図である。また、υ_kは平均値０、分散$\sigma_v^2 = 1.0\times10^{-6}$の定常なガウス白色雑音とし、サンプリング周期Ｔを便宜上1.0とする。
また、受信信号$\{u_k\}$は次のように２次のＡＲモデルで近似する。

$$u_k = \alpha_1 u_{k-1} + \alpha_2 u_{k-2} + w_k' \qquad (31)$$

ただし、$\alpha_1 = 0.7$, $\alpha_2 = 0.1$とし、w_k'は平均値０、分散$\sigma_{w'}^2 = 0.04$の定常なガウス白色雑音とする。

【手続補正７】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００７０
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００７０】
ここで、変形H_∞フィルタと高速H_∞フィルタとを比較する。
図８に変形H_∞フィルタと高速H_∞フィルタによるインパルス応答の推定結果の説明図を示す（初期値：$x\hat{}_{0|0} = 0$, $\varepsilon_o = 20$）。図８（ａ）、（ｂ）は$\gamma_f = 10^5$のときの

両者の推定結果であり、図８(c), (d)は$\gamma_f = 2.0$のときの推定結果（ｘ＾$_{100|100}$）である。これより、両者の推定精度に対する性能は等しいことがわかる。すなわち、高速化することで推定精度の低下は生じない。ここで、γ_fが小さすぎるとフィルタの存在条件を満たさないので注意が必要である。また、$\gamma_f = 1.0\times10^5$の場合は高速カルマンフィルタの結果とほぼ一致していた。以上より、高速H_∞フィルタリングアルゴリズムは、高速カルマンフィルタリングアルゴリズムを含んでおり、かつγ_fを調節することによって、収束を早くできることがわかる。

【手続補正８】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００７３
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００７３】
７．時変インパルス応答に対する評価
（追従性能の評価）
システム(インパルス応答)が時間的に変化したときの各アルゴリズムの追従性能についてエコーキャンセラの例を用いて評価する。ただし、インパルス応答のタップ数は48とし、$\{h_i\}$は、図７の値を元に図１０(a)のように時間的に変化した場合を想定する。ただし、v_kは平均値０、$\sigma_v^2 = 1.0\times10^{-6}$の定常なガウス白色雑音とし、便宜上サンプリング周期をＴ＝１とする。また、受信信号$\{u_k\}$は次のように２次のARモデルで近似する。

$$u_k = \alpha_1 u_{k-1} + \alpha_2 u_{k-2} + w_k' \qquad (32)$$

【手続補正９】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００７６
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００７６】
（高速H_∞フィルタの補助変数S_kの更新）
高速H_∞フィルタの補助変数S_kは、次式の通りである。

$$S_k = \rho S_{k-1} + e^T{}_k W_k \tilde{e}_k,\quad 0 < \rho = 1 - \gamma_f^{-2} \leqq 1$$

また、高速H_∞フィルタリングアルゴリズムにおいて、S_kは、$K^u{}_k$の式でS_k^{-1}の形で用いられる。よって、より大きな値の更新を行うためには、よりS_k^{-1}が大きくなければならない。つまりS_kを小さく保ち大きな値の更新を保持する必要がある。ρの存在はS_kの急激な増大を防ぎ、結果的にシステム雑音を付加することと等価となり、追従性の向上につながっている。また、重みρは$\rho = 1 - \gamma_f^{-2}$で定義されているので、シミュレーションで確認されたとおりγ_fを変化させることで追従性を変化させることができる。

【手続補正１０】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００７７
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００７７】
図１２に、γ_fとρの関係図を示す。これによると$\gamma_f = 3.0$のときρ＝0.8889なのでS_{k-1}の89%がS_kに伝えられることになる。しかし、あまりγ_fを小さくしすぎるとS_{k-1}の影響が著しく低下すると同時にフィルタの存在条件を満たさなくなるため、注意が必要である。また、γ_fが大きい場合はρ＿1となりS_kの増大を全く抑制しないため追従性が低下する。特に$\gamma_f = \infty$（ρ＝１）のとき本高速アルゴリズムは高速カルマンフィルタリングアルゴリズムと完全に一致する。

【手続補正１１】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００７８
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００７８】
（計算時間の評価）
図１３に、高速H_∞フィルタ、高速カルマンフィルタおよびＬＭＳアルゴリズムにおけるインパルス応答のタップ数(tap number)と計算時間[s]の関係図を示す。なお、フィルタの実行ステップ数:300, γ_f=3.0とした。そして、高速H_∞フィルタ、高速カルマンフィルタリングアルゴリズムおよびＬＭＳアルゴリズムに対して、図１０及び図１１の例においてタップ数を48,96,192,384と増加させたときの計算時間を計測した。ただし、１回の測定では結果にばらつきがあるので、４回測定しその平均をとった。
【手続補正１２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００８２
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００８２】
ここで、P_kを$P\hat{}_{k+1|k}$と見做せば、上式が式（１４）のリカッチ方程式を満たすことがわかる。
（補題２の証明）
ゲイン行列K_kが次のように整理できる。
【手続補正１３】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００８４
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００８４】
さらに、$G_k=(\rho+H_k P_{k-1} H^T{}_k)/(1+H_k P_{k-1} H^T{}_k)$と、$H_k \tilde{K}_k = H_k P_{k-1} H^T{}_k/(1+H_k P_{k-1} H^T{}_k)$を用いれば、ゲイン行列$K_k$の第１ブロック列から式（１８）のようにフィルタゲインを得ることができる。
【手続補正１４】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００８５
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００８５】
（補題３の証明）
ゲイン行列K_i，ｉ＝０，・・・，ｋ　が与えられたと仮定し、次のK_{k+1}を求めることにする。
$$Q_{k+1} K_{k+1} = C_{k+1}{}^T \qquad (36)$$
まず、C_kのシフト特性を利用するため、新たに式（３７）と式（３８）を導入する。このとき、$Q^U{}_k$は式（３９）のように再帰的に表され、かつ次の式（４０）のように分割される。
【手続補正１５】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１０４
【補正方法】変更
【補正の内容】

【０１０４】
ただし、$A_{-1}=0$、$S_{-1}=1/\varepsilon_0$である。
（証明）A_kとS_kの式（５５）と式（３９）を用いると、式（５６）を得る。
【手続補正１６】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１１９
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１１９】
これより、B_kとF_kが更新される。
しかし、それらは$D^{\cup}_k=B^{\cup}_k F_k^{-1}$あるいは$D_k=B_k F_k^{-1}\in R^{N\times 1}$としてだけ用いられるので、式（４８）と式（６４）を式（６５）を用いて書き換えた方が便利である。また、この行列D_kは式（６６）を満たす。
【手続補正１７】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１２１
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１２１】
次に、式（６３）にF_{k-1}^{-1}を掛ければ、式（６７）となり、さらに$D^{\cup}_{k-1}=B^{\cup}_{k-1}F_{k-1}^{-1}$を用いれば次式（６８）のように整理できる。
【手続補正１８】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１２７
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１２７】
もし、次式（７１）が成り立てば、行列$R_{e,k}$の２つの固有値の１つは正となり、もう１つは負となり、行列R_kと$R_{e,k}$は同じイナーシャをもつ。これより、次式（７２）を用いれば、式（２２）の存在条件が得られる（即ち、式（７１））。ここで、$H_k\tilde{K}_k$の計算がO（N）回の掛け算を必要としている。
【手続補正１９】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】図面の簡単な説明
【補正方法】変更
【補正の内容】
【図面の簡単な説明】
【図１】
高速アルゴリズムのフローチャート。
【図２】
変形H_∞フィルタリングアルゴリズムの各部分の計算量の説明図（１）。
【図３】
変形H_∞フィルタリングアルゴリズムの各部分の計算量の説明図（２）。
【図４】
リカッチ再帰法の計算量の説明図。
【図５】
高速H_∞フィルタリングアルゴリズムの計算量の説明図（１）。
【図６】
高速H_∞フィルタリングアルゴリズムの計算量の説明図（２）。
【図７】

インパルス応答{h_i}の値を示す図。

【図８】

変形H_∞フィルタと高速H_∞フィルタによるインパルス応答の推定結果の比較説明図。

【図９】

計算時間の測定結果の図。

【図１０】

各アルゴリズムのシミュレーション結果の図（１）。

【図１１】

各アルゴリズムのシミュレーション結果の図（２）。

【図１２】

γ_fとρの関係図。

【図１３】

高速H_∞フィルタ、高速カルマンフィルタおよびＬＭＳアルゴリズムにおけるインパルス応答のタップ数(tap number)と計算時間[s]の関係図。

【図１４】

システム同定のための構成図。

【図１５】

インパルス応答の調節機構についての構成図。

【図１６】

通信系とエコーについての説明図。

【図１７】

エコーキャンセラの原理図。

【符号の説明】

1　未知システム
2　適応フィルタ
3　ＦＩＲディジタルフィルタ
4　適応アルゴリズム