

氏 名	たか ば きよ つぐ 鷹 羽 浄 嗣
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3129 号
学位授与の日付	平 成 8 年 5 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Studies on $H_\infty$ Filtering Problems For Linear Discrete-Time Systems (線形離散時間システムに対する $H_\infty$ フィルタリング問題に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 片 山 徹 教 授 足 立 紀 彦 教 授 荒 木 光 彦

### 論 文 内 容 の 要 旨

外乱の統計的性質が未知である場合、推定誤差の最大エネルギー ( $H_\infty$  ノルム) を最小化するようにシステムの状態を推定する問題を  $H_\infty$  フィルタリング問題という。本論文は、線形離散時間システムに対する  $H_\infty$  フィルタリング問題に関する理論的研究をまとめたもので、8章からなり、前半と後半の二つの部分に分けられる。

前半の部分は、時不変システムに対する無限時間区間の状態推定問題を考察している。第1章の序論に続いて、まず、第2章では、周波数領域におけるモデルマッチングの観点から、時不変系に対する無限時間区間  $H_\infty$  フィルタリング問題の解を与え、 $H_\infty$  フィルタリング問題の構造を明らかにしている。すべての  $H_\infty$  フィルタの集合は  $H_\infty$  型代数リカッチ方程式 (Algebraic Riccati Equation, ARE) の半正定値安定化解を用いて表現され、 $H_\infty$  1 段予測器も  $H_\infty$  フィルタの特殊ケースであることを示している。

$H_\infty$  フィルタに含まれる自由パラメータは、 $H_\infty$  ノルム条件に加えてもう一つの設計仕様を達成するために利用することができる。対象システムがステップ外乱や周期外乱を受ける場合、これらの外乱によって状態推定値がバイアスや周期的変動を生じ推定精度が損なわれることがある。このような望ましくない現象を排除するためには、ステップ外乱および周期外乱から推定誤差までの伝達行列が、複素平面の単位円周上のある点で零行列にならなくてはならない。そこで第3章では、ネバンリナー-ピック (Nevanlinna-Pick) 補間理論に基づいて、上述の単位円周上の制約条件が満足されるように  $H_\infty$  フィルタの自由パラメータを決定する方法を提案している。

$H_\infty$  フィルタは  $H_\infty$  型 ARE の半正定値安定化解を用いて表現されるので、 $H_\infty$  フィルタの推定性能は  $H_\infty$  型 ARE の性質に依存する。第4章では、 $H_\infty$  型 ARE の安定化解が存在するようなパラメータ  $\gamma > 0$  の下限値を与え、安定化解が  $\gamma$  に関して単調非増加かつ凸であることを示している。ただし  $\gamma$  は、指定された  $H_\infty$  ノルム条件を表す設計パラメータである。さらに、 $H_\infty$  型 ARE のこれらの性質をふまえて、すべての  $H_\infty$  フィルタの集合の大きさが、 $\gamma$  に対してどのように変化するかを考察し、ある条件の下では  $\gamma$  の最適値において  $H_\infty$  フィルタのもつ自由度が減少することを示している。

後半の部分は、時変問題に対する有限時間区間の状態推定問題を考察している。 $H_\infty$  ノルムは  $L_2$  誘導ノルムであるから、 $H_\infty$  フィルタリング問題は一種のミニマックス問題であり、 $H_\infty$  フィルタリング問題のミニマックス的な構造を明確にするためには、時間領域におけるゲーム理論的な手法を採ることが不可欠である。第5章では、ミニマックスフィルタリング問題とミニマックス予測問題に対する解が  $H_\infty$  フィルタおよび  $H_\infty$  1段予測器となることを示している。また、ミニマックスフィルタリング問題、ミニマックス予測問題において、推定誤差エネルギーを最大にする最悪外乱を求めている。

第6章では、外乱がガウス性白色雑音である場合に、リカッチ差分方程式 (Riccati Difference Equation, RDE) を用いて、 $H_\infty$  フィルタとカルマンフィルタの性能を比較している。また、 $H_\infty$  型 ARE の解の単調性に基づいて、 $H_\infty$  フィルタの性能とパラメータ  $\gamma$  との関係を考察している。対象システムが時不変である場合には、有限時間区間および無限時間区間の  $H_\infty$  フィルタリング問題は、 $H_\infty$  型 ARE の解が  $H_\infty$  型 ARE 半正定値安定化解に収束することによって関係づけられる。さらに、 $H_\infty$  フィルタリング問題の結果に基づいて、 $H_\infty$  固定ラグスムービング問題の解を与えている。

第7章では、第5章で考察した確定的ミニマックス問題とは異なる確率的ミニマックスフィルタリング問題および予測問題を考察している。これらの問題において、鞍点解の最小化方策はそれぞれ  $H_\infty$  フィルタと  $H_\infty$  1段予測器になることを導き、第5章の確定的ミニマックス特性とは別のゲーム論的な解釈を  $H_\infty$  フィルタに与えている。

最後に、第8章で本論文の成果をまとめ、将来の研究課題について述べている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、近年のロバスト制御理論に大きな発展をもたらした  $H_\infty$  規範を状態推定問題に導入し、 $H_\infty$  準最適フィルタ (以下、 $H_\infty$  フィルタ) の導出とその有効性について理論的考察を行ったもので、得られた主な成果は、つぎの通りである。

- (1) モデルマッチング問題の手法を用いて、時不変系に対する無限時間区間  $H_\infty$  フィルタリング問題の解を与え、 $H_\infty$  フィルタの構造を明らかにした。
- (2) ステップ外乱、周期外乱の影響を除去するため、ネバンリナー-ピック補間理論に基づいて、単位円周上の制約条件を満足する  $H_\infty$  フィルタの設計法を与えた。
- (3)  $H_\infty$  型代数リカッチ方程式の安定化解の性質を考察し、それに基づいて  $H_\infty$  フィルタのもつ自由度を評価した。
- (4) 時変系に対する有限時間区間  $H_\infty$  フィルタリング問題の解が、確定的ミニマックスフィルタリング問題の解と一致することを示し、 $H_\infty$  フィルタリング問題のミニマックス特性を明らかにした。
- (5) リカッチ差分方程式の解の単調性を示し、それに基づいて  $H_\infty$  フィルタの推定性能を考察した。
- (6) 確率システムに対するミニマックスフィルタリング問題の鞍点解によって、 $H_\infty$  フィルタが導かれることを示し、 $H_\infty$  フィルタの確率ゲーム的解釈を与えた。

以上要するに、本論文は線形離散時間システムに対する  $H_\infty$  フィルタリング問題の解を導き、その有効性についていくつかの新しい理論的結果を与えており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成8年3月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。