

論文内容要旨 (和文)

平成 18 年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻 知能機械システム講座

学生番号 06522307

氏名 趙立華



(英文の場合は、その和訳を () を付して併記すること。)

論文題目 不変零点の安定配置を使った非線形ディスクリプタシステムのモデル追従形制御系

制御系の応答を与えられるモデルの応答(望ましい応答)と同様の挙動をする制御系を設計する方法にはモデル追従制御系(MFCS)があり、その応用が広い。例えば、化学プロセス、航空機、モータやマニピュレータ、四輪操舵車の横加速度などの制御に使われる。ところが今までのモデル追従形制御系の設計は、ほとんど標準形状空間モデルに基づいて行い、唐らによりディスクリプタシステムのモデル追従形制御系の設計法を初めて論じた。

一方、ディスクリプタシステム(DS)は対象システムの動的な部分を記述する常微分方程式とシステムを構成する各要素間の総合関係を記述する代数方程式で構成され、かつ対象システム内の物理変数や定数、物理的構造を変えることなく自然に記述できる数式表現である。例えば、 n 自由度の系は、 r 個の拘束条件が付加されると、 $n-r$ 個の一般化座標を選べば、系の自由度は $n-r$ へと低減できる。しかし、拘束条件が線代数拘束条件が線形であれば、座標変換を通じて元のシステムは標準形状方程式で表現できるが、多リンク機構や非線形回路網などのような非線形系の場合には、低減した自由度に等しい一般化座標の選択は普通困難で、通常の標準形状方程式で表現できないことが多い。この場合の系は、代数方程式代数方程式と微分方程式が混合された形でしか表現できない。従って、ディスクリプタシステム(特に非線形 DS)を直接扱う解析手法を開発することは、ダイナミカルシステム理論の一つの重要な課題である。本論文は DS の MFCS (NDMFCS) について論ずるものであり、主要な結果は次の通りである。

第 1 章は序論であり、システムモデルの表現を紹介し、DS の概念、表現力及びモデル追従形制御系について概述する。第 2 章では DS の標準形、可制御性、可観測性、システムの安定性(リヤプノフ定理)など、DS の特性について基本の知識を紹介する。第 3 章では多変数 DS の伝達関数、極と零点、不変零点及び非線形 DS の解の順で説明し、線形システムとの比較結果を紹介する。

第 4 章では前に述べた知識に基づいて NDMFCS の一設計法を与える。この手法は線形系に対する手法を拡張したが、状態方程式で表せるシステムばかりでなく、代数方程式が非線形で、通常状態方程式で表せないシステムに対しても適用でき、この意味で従来の状態空間モデルに基づく手法より適用範囲が広い。またこの手法は微分、代数方程式を統一手法で取り扱う

ことができ、非線形回路網、多リンク機構のような力学系を対象とする場合に便利で且つ有効な手法である。制御入力を構成するとき、座標変換を施す必要がないため、システムの構造がありのまま保存できる。非線形系の場合には、非線形部にノルムの制約を課したが、これが強い制約ではなく、実在する多くの非線形系を網羅できる。またこの条件は内部状態の有界性を示すためであり、制御系の設計に何の影響もない。内部状態の有界性は DS の極と零点の関係、非線形関数のノルム比の定義、伝達関数の正実性により証明される。これらの手法は外乱の影響を除去できるから、実システムに近い。

第 5 章では零点の安定配置を使った NDMFCS の設計法を与える。この手法は線形系に対する拡張であり、外乱が入る場合の NDMFCS の設計法を提案する。非線形ディスクリプタシステムを線形部+非線形部に分離して考える方法により内部状態が有界な設計法を提案したが、線形部の不変零点が安定という制約条件を満たさなければならない。不変零点の安定条件は設計上の制約になるため、この条件を除くことが望ましい。本章は非線形部の性質を積極的に使うことにより、線形部の不変零点を安定に配置させる方法であり、ある種の条件下で可能であるため有効な方法である。

第 6 章では内部状態および制御入力について非線形であるような一般的な非線形ディスクリプタシステム制御対象に対して、内部状態が有界な NDMFCS を設計する方法を議論する。この設計法は適用可能な制御対象が大幅に拡張される。内部状態の有界性は、制御則を構成するのに必要な状態変数フィルタを含めた全状態方程式を求め、2 次形式の微分を調べることにより示される。このように内部状態の有界性を理論的に示した。

第 7 章は本論文の内容に対して、NDMFCS の設計法及びそれらの議論に不可欠な内容—DS の極と零点、不変零点、非線形 DS の唯一解の条件をまとめ、今後の展開について述べた。

論文内容要旨 (英文)

平成 18 年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻 知能機械システム講座

学生番号 06522307

氏 名 趙 立 華



論文題目 A Model Following Control System for Nonlinear Descriptor Systems Using Stable Assignment of Invariant Zeros

A model following control system(MFCS) is one of the control methods which can make the response of control object follow the reference model, therefore, it is widely used in many fields. However, almost all of previous studies on MFCS are based on state-space approach and few studies of MFCS based on descriptor system(DS) has been found. Mr. Tang first time elaborated based on the DS MFCS design method.

The contents of this paper are as follows.

Chapter 1, the expressive force of DS and the previous studies on MFCS are introduced.

In chapter 2, 3, a concise proof that on poles and zeros and invariable zeros of descriptor system by coprime factorization approach of transfer function matrix is proposed, and introduced with linear system's comparison result.

In chapter 4, We extend the linear approach, and a design method of nonlinear model following control system with disturbances is proposed. This method can deal with not only the systems described by state space model, but also those that can not be described by state space model, of which the algebraic equation is nonlinear. In this sense, it has more wider applications than state space approach. During the calculation of control input, regular transformation is not used, therefore, both the system structure and the system variables, physical properties can be preserved. The norm constraints to nonlinear part are not strong because it embodies many practical nonlinear situations. The bounded property of inner states has been proved.

In method of proposed in chapter 5, zeros of linear part must be stable. It is desirable to remove the condition which is a constraint of design. By using the property of nonlinear part positively, the whole system can be stable based on stable zero assignment of linear part. We take the method to set the linear system matrix stable compulsorily and to include an original linear part in a nonlinear part. As the result of this method, a closed loop becomes stable even though zeros of an object system are unstable.

In chapter 6, this paper shows a design method of the NDMFCS for general nonlinear systems, which are nonlinear systems for internal states and inputs. We define new internal states with containing internal states and inputs, and new inputs, which are formally linear. It is widely used in many fields.

In chapter 7, this chapter is the conclusion of this research, and expansion of this research in future.

別紙

専攻名	システム情報工学専攻	氏名	趙立華
学位論文の審査結果の要旨			
<p>第1章は序論である。ディスクリプタシステムの特徴と非線形ディスクリプタシステムのモデル追従形制御系 (NDMFCS) の有用性について説明し、本研究の創意点について述べている。第2章はディスクリプタシステム(DS)について詳細に述べている。DSの標準形, 可制御性, 可観測性, リヤプノフ定理のDSに対する適用, 極配置問題の考察, LQ問題の解法, 等価性について体系的にまとめている。重要な項目としてSVD形式, ワイヤストラス形式, インパルス可制御性, インパルス可観測性の取り上げ, 本設計法の解析の基礎とした。第3章はディスクリプタシステムの構造解析である。多変数系の伝達関数, スミス正準形及び単因子, 左既約分解, 右既約分解をまとめ, DSの構造解析を行った。伝達極と伝達零点, システム極と不変零点の構造を明確にした。第4章は非線形ディスクリプタシステムのモデル追従制御系である。制御対象を線形部+非線形部に分離して考える方法により内部状態が有界な設計が可能である。この定式化は線形ディスクリプタシステムのモデル追従形制御系の設計法を拡張したもので非線形部の伝達関数の零点が安定かまたは可安定条件を満たさなければならない。制御対象が非線形である場合, 逆系の安定性はもとの制御対象の線形部と非線形部の両者に複雑に関係するが, 非線形部の性質を積極的に使うことにより, 閉ループを安定にできる可能性がある。制御対象において, あらかじめ安定なシステム行列を設定し, 残りの線形部を非線形部に含めることにより制御対象の零点が不安定でも結果的に閉ループ系を安定にすることができる。内部状態の有界性は, 制御則を構成するために必要な状態変数フィルタなどの動的系を含めた全状態方程式を求め, これらの2次形式の時間微分を調べることにより示される。第5章は不変零点の安定配置を使った非線形ディスクリプタシステムのモデル追従形制御系である。本設計は従来安定化が困難であった, DSの制御系設計に対して斬新な方法で内部状態の安定性を確保することができた。これを満たす条件として, 非線形関数のノルムの条件や, 内積条件は制御系に課せられるだけで, 制御則の設計パラメータには無関係である。特に内部状態の安定性の証明は有限発散時間を持たないことからはじめ, 背理法を使って示す。この方法は従来なかった新たな手法である。第6章は外乱を考慮した一般的な非線形ディスクリプタシステムのモデル追従形制御系である。第5章までの設計をより拡張し, 状態変数と制御入力为非線形関数で関連しており, かつ外乱が含まれる場合について同様に設計できることを示した。第7章は結論である。本論文は非線形DSのMFCSの設計法を中心に, 極と零点, 不変零点, 解の一意性の概念に基づき内部状態の安定性が保持される統一的な設計を提案した。本論文の内容は電気学会論誌C部門(2009.3)に掲載が決定している。またThe 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing, China(2008.6)及びThe 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Sanya, China(2007.12)の国際会議で発表した。本研究は非線形制御工学の領域で顕著な業績をあげており, 課程博士論文として合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>ディスクリプタシステムに関してSVD形式, ワイヤストラス形式, 指数可制御性, DSに関するリヤプノフ定理, LQ問題, 等価性などの基礎事項について口頭および白版を使って質疑応答を行った。これらの問題に対して円滑に回答することができた。応用問題として非線形ディスクリプタシステムのモデル追従形制御と他の制御法の相違とそれぞれの特徴について口頭による説明を求めた。本問題に対し正確な答えをすることができた。さらに本研究の応用分野に関する展望と将来の研究計画について説明を求めた。この質問に対し, 自動車制御やロボット制御の例をあげ, 適切に回答した。以上多岐にわたる専門的な質問に対し適切に回答したので最終試験は合格と判定した。</p>			