

氏名	河合 新
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博甲第 8083 号
学位授与年月日	平成 29年 3月 24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	システム情報工学研究科
学位論文題目	Generalized Discrete-Time Models for Descriptor Systems with Arbitrary Initial Conditions (任意初期条件を持つデスクリプタ系の一般化離散時間モデル)
主査	筑波大学 教授 Ph. D. (工学) 堀 憲之
副査	筑波大学 准教授 工学博士 長谷川 学
副査	筑波大学 准教授 博士(情報科学) 望山 洋
副査	筑波大学 准教授 博士(工学) 伊達 央
副査	筑波大学 助教 Ph. D. (工学) 浅井 健彦

論文の要旨

本論文は連続時間デスクリプタ形式で表現されたシステムを、デジタル機器を利用した解析や設計および制御を可能にするために、いかに離散時間化すべきかという問題に取り組んだものである。章ごとの内容は以下である。

- 第一章では、主要なテーマである離散時間化という問題に関連するこれまでの研究の背景や、いまだ解決されていない問題などを概観している。また、本論文の主要な目的とその貢献についてまとめている。
- 第二章では、本文の主要な部分において離散時間化の問題に取り組む際のよりどころとなる数学的手法を準備としてまとめている。特に、これまでに当研究室において提案されてきた離散時間化の定義、使用する離散時間演算子、状態方程式で表現可能な系の各種離散時間化のまとめとデスクリプタ形式への繋がり、デスクリプタ系特有の性質の概観、および、初期値に係る説明を行っている。また、本論で扱うベクトル超関数の定義も確認している。
- 第三章では、状態方程式では扱えない次数変化という現象の説明を試みている。デスクリプタ系のモードの変化という新しい観点から、システムの構造的変化がどのように次数変化に関係しているかを説明している。連続時間系の離散時間化という内容からは少し外れるが、この結果は連続・離散を問わずどの場合にも当てはまり、離散時間モデルの性質でもある。

- 第四章では、従来の状態方程式で表される系において、これまで無視されていた、あるいはゼロと仮定されていた、初期値に関する条件を緩和するために、より柔軟な離散時間化の定義を導入した。またそれに伴って先行研究などで示されていた各種定理を、この新しい定義に対応できるものに改定した。
- 第五章では、応答の初期時刻にインパルス状の応答が生じないための許容初期条件と呼ばれる条件を満たす連続時間デスクリプタ形式を離散時間モデルにおいても許容初期条件が満たされるような離散時間化手法を提案している。現在知られているどの離散時間手法も、連続時間系にインパルス状の応答が発生するか否かに関係なく、離散時間モデルの初期時刻においてインパルス状の応答が出たり出なかったりするが、この不明瞭さを解決している。
- 第六章では、超関数の離散時間化を定義し、連続時間における超関数に対応するような離散時間関数を導入する。これまでの定義は一時刻における関数の値に基づいたものであったが、新しい定義は複数の時刻における値を用いた内積を用いるものとなっている。離散時間では超関数を導入する必要は無いと思われがちであるが、サンプル時間が0に近づくとつれて連続時間に対応するような離散時間関数を導入することは、第七章で提案する手法の開発に不可欠となる。
- 第七章では、第六章で提案した、超関数にも適用可能な一般化された離散時間化の定義と定理を駆使して、第五章で述べた許容初期条件以外の場合でも対応できるようにする初期値設定の問題に挑戦している。許容初期条件を満たしていても、満たしていなくても、連続時間に対応した離散時間モデルの作成ができるようになり、長年未解決であった任意初期条件に対するデスクリプタ系の離散時間化に成功した。

審査の要旨

【批評】

連続時間系の数値解析や設計およびデジタル制御を行うためには離散時間化が不可欠であるが、デスクリプタ形式で表される系の離散時間化に関してはこれまでの研究では解明し切れていない問題が残っている。原因はいくつか考えられるが、その一つに「信号の離散時間化のプロセスをどう捉えるか」という定義が定まっていないことがある。そのため、各種手法で得られた結果を同じ観点から比較することや、結果自体の合理性の確認は、実時間性が不明瞭なまま行われるシミュレーション結果に頼らざるを得ない。状態方程式では経験的に妥当な判断が、初期時刻におけるインパルス状の応答を引き起こす可能性のあるデスクリプタ系では通用しないなど、不明瞭な点が多く残っている。本研究ではこれまでに関数に対して提案されていた概念を超関数にも適用できるように一般化した定義を与え、それに基づいたいくつかの定理を証明した。またこれらの成果を系の入出力に適用して、デスクリプタ系の離散時間化として、これまでの方法を統一化したマッピングモデルと、シミュレーションに適した初期値の求め方を示した。これにより特に以下三点の貢献を果たしたと考えられる。

- 状態方程式では表現できない静的モードやインパルスモードを含むため、信号の離散時間化という従来の概念ではデスクリプタ系には通用せず、新たに超関数の離散時間化を定義し、各種の有益な定理を導出した。
- 連続時間デスクリプタ系の初期応答値に対応した結果を常に算出する離散時間モデルを提案した。本研究では線形系のみを扱ったが、初期値問題は非線形系では更に大きな問題である。本研究により、従来のどのモデルにも発生していた初期応答値に関する不透明性を一掃し、モデルベースの解析、シミュレーション、設計をより確信を持って遂行することが可能となった。
- 次数変化は状態方程式系では説明しにくかった現象であるが、それを、失われた次数の指数関数的情報がインパルスやその微分としてデスクリプタ系に保存されること、あるいはその逆の現象と解釈できることを指摘した。この斬新な視点により、次数変化を見通した制御系設計への適用が期待される。

【最終試験の結果】

平成29年1月30日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。