



Title	データ駆動による量子化器のパラメータ設計の省力化と低帯域制御への応用
Author(s)	吉田, 侑史
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/103213
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (吉 田 侑 史)

論文題名

データ駆動による量子化器のパラメータ設計の省力化と低帯域制御への応用

論文内容の要旨

本研究では、製造業における装置の設計開発および運用の省力化と効率化を推進する手法に取り組む。設計開発においては、グローバル化による市場拡大と各国法令規制や消費者のニーズが多様化していることに伴い、多種の製品を短期間で開発して市場投入することが求められている。そのため製品に搭載される制御装置とそのソフトウェアも短期での実装が求められ、実機を用いる必要がある個体差などに対する調整作業の負担をいかに小さくし、効率的にするかが課題となる。また、運用においては産業用ネットワークの伸展によりアクチュエータやセンサも繋がるようになりつつあり、通信量が増大しているためこれを小さくすることも求められる。そこで本論文では、量子化器を用いて信号を量子化することにより個体差などの吸収を行うとともに、通信量を削減することを目指す。また、量子化器の設計およびパラメータ調整に対象の入出力データを用いることにより工数の削減を目指す。

第2章では連続信号を量子化する量子化器について、既存の手法のうち代表的な手法を抽出した。静的量子化器としてミッドトレッド型量子化器やディザ量子化器、動的量子化器として $\Delta\Sigma$ 変調器およびフィードバック変調器(Feedback Modulator; FBM)を抽出し、それぞれの構造と特性について述べた。

第3章において、設計開発時における制御器開発の効率化を目的としたデータ駆動型フィードバック変調器(Data-Driven Feedback Modulator; DDFBM)を提案し数値例にてその効果を確認した。DDFBMはFBMの構造を拡張してそのパラメータを対象の入出力データにもとづき調整するようにしたものであり、制御器設計時用の対象の設計モデルの応答と実際の実機の応答の差を吸収するように構築される。これにより、装置の開発プロセスの上流段階から制御器を詳細に詰めて設計することが可能となり、実機を用いた調整作業の負担を減らせることを示した。また、DDFBMは制御器と対象の間に挿入するように設置することが可能であるため、既に市場投入されている既存製品にたいして後付けで導入することで、その製品の制御性能を向上させる使い方も見込めるものである。

第4章では、量子化器による通信量の削減と量子化器設計そのものの省力化を念頭に、産業用モータを対象としてデータ駆動型動的量子化器(Data-Driven Designed Dynamic Quantizer; D4Q)の適用を試みた。D4Qは先行研究にて設計法と数値例が提示されている、最適動的量子化器の構造をもとにしたものであり、対象のモデル情報を必要とせず入出力データにより構築される。本研究では先行研究をもとに、一般によく使われる産業用モータにD4Qを適用し有効であることを示した。また対象のモデルを必要とする既存の量子化手法と比較しても遜色ない性能を示すことを確認した。

第5章において、本論文のまとめと今後の展望について述べた。本研究は産業界などの実現場での運用に適用することを念頭においている研究であり、提案手法である量子化器の適用や入出力データを用いたパラメータ調整手法は実機で実現してこそ意味のあるものになるといえる。そこで、今後は非線形要素が強いアクチュエータや離散値入力一般的なアクチュエータに本研究の提案手法を展開して制御の高度化を図り、より実用性のあるものに昇華することを目指す。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (吉田 侑史)			
		(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授	石川 将人
	副 査	教授	佐藤 訓志
	副 査	教授	澤田 賢治

論文審査の結果の要旨

本論文は、信号を空間方向および時間方向に離散化する「量子化器」を、データ駆動によって設計する方法論に関するものである。量子化器には、直接の効果として外乱に対する頑健性向上、信号を低ビット化して通信周期を長周期にすることによる通信量の削減などが見込まれることに加えて、制御対象が有する非線形要素に対する補償、例えば摩擦によるスティックスリップ現象への対応といった利点が知られている。さらに、内部にダイナミクスとフィードバック構造を有する動的量子化器では、さらに効率的に量子化誤差を低減するための設計自由度を有している。本論文では、動的量子化器を対象に、設計やパラメータ調整に制御対象の入出力を利用するデータ駆動型の手法を適用し、数値例および実機実装により適用可能性を示している。

第一の結果として、本論文（第3章）では、設計開発時における制御器開発の効率化を目的とした「データ駆動型フィードバック変調器」を提案している。これは、フィードバック変調器と呼ばれる動的量子化器について、そのパラメータを対象の入出力データにもとづいて調整するものである。制御器の設計時には制御対象のモデルに対して所望の応答が得られるように作り込んでおいたうえで、実機の応答が設計時のモデルの応答と近くなるようデータ駆動型フィードバック変調器のパラメータを調整する、という運用を想定している。これにより、装置の開発プロセスの上流段階から制御器を詳細に詰めて設計することが可能となり、実機を用いた調整作業の負担を減らせることを示している。また、提案法は制御器と制御対象の間に挿入するように設置されることから、例えば既に市場投入されている既存製品に対して後付けでの形で導入し、その製品の制御性能を向上させる、といった活用法も期待される。

第二の結果（第4章）では、量子化器による通信量の削減に加えて量子化器設計そのものの省力化を念頭に、産業用モータを対象として「データ駆動型動的量子化器」を適用している。これは、最適動的量子化器として知られているモデルベース型量子化器の構造を用いつつも、対象のモデル情報を必要とせずに入出力データによる設計を可能にするというもので、制御対象にモデル化の難しい複雑な要素が含まれる場合に有効であることが期待できる。本章では、一般によく使われる産業用モータにこのアプローチを適用し、実機実験によってその有効性を検証している。また、既知のモデルに基づく従来の量子化器設計手法と比較しても、遜色のない性能を示すことを確認している。

最後に本論文の結び（第5章）として、提案法を踏まえた今後の展望について述べている。産業界などの実現場での運用を念頭におき、提案手法である量子化器の適用や入出力データを用いたパラメータ調整手法を、非線形要素が強いアクチュエータや、離散値入力が必要な切替え型のアクチュエータへと展開することが期待される。

以上のように、本論文は量子化器設計をデータ駆動型アプローチによって実現する、学術的・実用的に意義の深い研究であり、本論文は博士論文として価値あるものと認める。