九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

線形・非線形ロバスト制御理論を用いたデルタシグマ変調器の設計手法

喜田, 健司

https://doi.org/10.15017/1500737

出版情報：Kyushu University, 2014, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：Fulltext available.

氏　　名	喜田　健司
論　文　名	線形・非線形ロバスト制御理論を用いたデルタシグマ変調器の設計手法 Design approach of Delta-Sigma Modulator based on linear and nonlinear robust control theory
論文調査委員	主　査　　九州大学　　准教授　　鮫島　俊哉 副　査　　九州大学　　教　授　　岩宮　眞一郎 副　査　　九州大学　　准教授　　鏑木　時彦

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

本論文では， A-D 変換器の一つであるデ、ルタシグマ変調器の性能向上を目指し，その設計手法として，制御理論に立脚した理論的な方法を提案している。申請者が本研究を遂行するにあたっては，適切な研究指導が行われた。デルタシグマ変調器は，量子化器を閉ループシステム内に組み込み，量子化雑音に高域上がりの特性を持たせ，信号周波数帯域における量子化雑音電力を小さくすることで，信号対量子化雑音比(SNR)を高くする A-D 変換器である。その利点は，量子化 bit 数がたとえ 1bit であっても，現実的な標本化周波数のまま高い SNR が得られることや，通常マルチピット方式では不可能な広帯域信号のディジタル記録が，非圧縮でかつ伝送容量を増やすことなく可能となること，さらにはハードウェア構成が非常に単純となることなど，いくつかある。閉ループ内の量子化器を，さらにデルタシグマ変調器に置き換えていく(つまりデルタシグマ変調器を入れ子構造にする，これをデルタシグマ変調器の高次化という)ことにより， SNR をさらに高くできるが，量子化器の非線形性のために 3 次以上のデルタシグマ変調器ではその動作が不安定となることがある。特に 1bit 量子化器の場合では非線形性が非常に強くなるため，安定性が保証された有効なデルタシグマ変調器の設計が非常に困難となる。このようなことから，現状のデルタシグマ変調器では，高々数次程度のものまでしか実現されておらず，しかもその設計は試行錯誤的な手法によるものがほとんどであった。そこで本論文では，デルタシグマ変調器の設計問題を，線形ロバスト制御理論である μ 設計法，および非線形ロバスト制御理論であるスライディングモード制御理論における制御器の設計問題に変換する方法を構築し，実際の設計例を示して，それらの性能をダイナミックレンジと安定性の観点から評価している。μ 設計法を用いたデルタシグマ変調器の設計手法の構築においては， 1 bit 量子化器を加法的な不確かさを有する制御対象とみなし，そのモデル化誤差(1bit 量子化器を線形利得としてモデル化した際の誤差)に対するロバスト安定化と，外乱(1bit 量子化器において生じる量子化雑音)に対する感度を低減させることを目的とするような，ロバスト制御問題として取り扱い，それを μ 設計法と呼ばれるロバスト制御器設計手法によって解く方法を構築している。そこでは，設計者の経験則に依存した従来の設計手法では実現することが困難と思われる， 10 次を超える超高次のデルタシグマ変調器の設計にトライしていることが評価できる。さらに， μ 設計法によって設計したデルタシグマ変調器の派生型として， 2 つの新たなシステム構成を提案している。その 1 つは， SNR は高いが安定性が低い制御器と，逆に SNR は低いが安定性が高い制御器を準備しておき，入力信号から統計的に導かれる線形利得によってそれらの制御器を切り替えるというシステムである。そのシステムによれば， SNR が高い制御器で駆動する時間の割合を大きくしつつ，安定性を損なわないようにできることを示している。もう 1 つの派生型システムは， A-D 変換器における入力信号と量子化雑音を無相開化するために一般的に使用されるディザ(入力信号に意図的に加える雑音)を，デルタシグマ変調器の安定化のために使用したシステ

ムである。検討の結果，量子化器の直前で高域集中ディザを加えることで，デルタシグマ変調器の安定性が高くなることを示している。スライディングモード制御理論を用いたデルタシグマ変調器の設計手法の構築においては，1 bit 量子化器を線形利得としてモデル化するのではなくスライディングモード制御理論における非線形制御入力そのものと見なすことによって，非線形の制御器を設計する方法を構築している。そのシステムにより，既存のデルタシグマ変調器と同程度の SNR を保ちつつ，安定性を高めることに成功している。最後に，本論文で新しく構築したデルタシグマ変調器の応用例として，音響信号の高能率ロスレス圧縮の可能性についても言及している。それは，各種ディジタル信号の記録媒体・伝送容量のさらなる削減に寄与するものと考えられる。

以上より，学位審査を厳正に実施した結果，本論文は博士(芸術工学)の学位授与に値するものと認める。