

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報 学)	氏名	石戸 優美子
論文題目	A New Framework for Stability Analysis of Quantized Feedback Systems (量子化フィードバック制御系の安定性解析のための新しい数理的枠組み)		
(論文内容の要旨)			
本論文は、有限レベルの量子化信号をフィードバックループに含む制御システムである量子化フィードバック制御系に対し、安定性解析のための新しい数理的枠組みを提案するものであり、全6章から構成されている。 第1章は序論であり、情報通信技術の発展によって量子化フィードバック制御系が一般的になってきた背景を述べている。そしてロバスト制御の概念を用いて量子化フィードバック制御系の安定性解析に新しい枠組みを設定できる見通しを述べている。その後、論文中の各章の組み立てを示している。 第2章では、二つの具体例を用いて量子化フィードバック制御系の安定性解析にスモールゲイン定理を適用する際の困難を示し、新しい安定性解析のための枠組みを導入する動機を与えている。まずゲイン有界な不確かさを持つプラントに対するレート制約つきネットワーク化制御問題を通じて、量子化フィードバック制御系に対して新しい安定性の概念を導入する必要性を示している。また一様量子化器を有するフィードバック系の安定性解析の例を用いて、量子化誤差を効果的にモデル化する新しいクラスの不確かさを導入する必要性を論じている。 第3章では、量子化フィードバック制御系に対して「小lp信号lp安定性」という新たな安定性の概念を導入し、この安定性に基づいて安定性解析を行っている。まず、フィードバック系が小lp信号lp安定になるための十分条件を導出している。次に量子化誤差を含む非線形性を効果的に近似することのできる新しい不確かさのクラスとして「レベル有界な不確かさ」を導入し、レベル有界な不確かさと従来のゲイン有界な不確かさの2種類の不確かさに対し、フィードバック系がロバストに小lp信号lp安定になるための条件を導出している。 第4章では、ゲイン有界な不確かさを有する制御対象を、レート制約つきデジタル通信路を介して制御するネットワーク化制御系の安定化問題を考察している。本論文で提案している枠組みを利用することにより、制御対象に含まれる不確かさと通信路におけるレート制約が、どのように制御系全体の安定化可能性に影響を与えるかについて定量的に評価している。 第5章では、通信路において有限レベルの量子化とパケットロスの複合的影響を受けるネットワーク化制御系の安定性解析を行っている。制御対象は線形時不変であるとし、パケットロスに対処するためにバッファを用いるものとする。この設定下で、バッファ長、量子化レベル数ならびにステップサイズがネットワーク化制御系全体の安定性に及ぼす影響を評価している。 第6章では、結論として本論で得られた成果を要約している。			

(論文審査の結果の要旨)

量子化フィードバックシステムでは、小ゲイン定理などの手法をただちに安定性解析に適用するには、量子化器の特性によって容易ではないことが多い。本研究では、新しい安定性の概念を持ち込むことによって、ロバスト制御の手法を量子化フィードバックシステムの安定性解析を行おうというものであり、下記の成果を得ている。

(1) 量子化フィードバック制御系に対して「小lp信号lp安定性」という新たな安定性の概念を導入して、この安定性に基づいた安定性解析を行った。まずフィードバック系が小lp信号lp安定になるための十分条件を導出した。次に量子化誤差を含む非線形性を効果的に近似することのできる新しい不確かさのクラスとして「レベル有界な不確かさ」を導入した。そしてレベル有界な不確かさと従来のゲイン有界な不確かさの2種類の不確かさに対し、フィードバック系がロバストに小lp信号lp安定になるための条件を導出した。

(2) ゲイン有界な不確かさを有する制御対象を、レート制約つきデジタル通信路を介して制御するネットワーク化制御系の安定化問題を本論文で提案している枠組みを利用して考察した。つまり制御対象に含まれる不確かさと通信路におけるレート制約が安定化可能性に与える影響を定量的に評価した。

(3) 通信路において有限レベルの量子化とパケットロスの複合的影響を受けるネットワーク化制御系の安定性解析を行った。線形時不変制御対象に対し、パケットロスに対処するためにバッファを用いるとき、バッファ長、量子化レベル数ならびにステップサイズがネットワーク化制御系全体の安定性に及ぼす影響を評価した。

以上要するに、量子化フィードバックシステムに新たな安定性の概念を導入して安定解析を行うという、有用な結果を得たものであり、その成果は学術上、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（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年4月26日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。