

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Networked Control of Uncertain Systems under Communication Constraints
著者(和文)	岡野訓尚
Author(English)	Kunihisa Okano
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9320号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:石井 秀明,寺野 隆雄,山村 雅幸,三宅 美博,樺島 祥介,藤田 政之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9320号, Conferred date:2013/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		岡野 訓尚	
		氏 名	職 名		氏 名	職 名
論文審査 審査員	主査	石井秀明	准教授	審査員	樺島祥介	教授
	審査員	寺野隆雄	教授		藤田政之	教授
		山村雅幸	教授			
		三宅美博	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Networked control of uncertain systems under communication constraints (通信制約がある下での不確かなシステムのネットワーク化制御)」と題し、英文による全6章から構成されている。本論文では、通信路を含む制御系（ネットワーク化制御系）において、通信路の使用に起因する情報共有上の制約が制御に及ぼす影響を明らかにしている。とくに、制御対象のモデルの不確かさを考慮した上で、系の安定化を達成するために必要または十分な通信路の品質と、制御器の構成方法を述べている。

第1章「Introduction」では、まず、制御系において無線・有線通信の利用が拡大している現状を述べ、通信路を介して制御を行う際の困難について説明している。具体的には、通信帯域によって信号の精細さが制限されることや、輻輳やノイズの影響で通信が途絶する可能性があることと述べている。つぎに、本論文ではこれら通信制約が存在する下で制御系の安定化問題を考えるとし、関連する研究を紹介している。ここで、制御において重要な「制御対象のモデルの不確かさ」が考慮されて来なかったことを指摘し、本研究では不確かなシステムを安定化するために通信路が満たすべき条件を明らかにすると述べている。

第2章「Control of uncertain systems over networks」では、最も基本的な問題設定について本論文の主要な結果を示している。これは他の章で発展的な結果を導出する際のベースとなる。まず、制御対象としてパラメトリックな不確かさをもつ線形システムを扱うと述べている。つぎに、本論文では通信制約として(1)データレート（単位時間あたりの送信ビット数）が有限であること、(2)送信パケットがロスすることを考えると述べている。本章ではデータレートは時不変で、パケットロスは独立同分布の確率過程に従うと仮定している。その上で、制御系を安定化するための必要条件と十分条件を導出している。必要条件は、データレート、ロス確率と不確かさの大きさの安定化限界を制御対象の不安定度で特徴付け、関連研究を一般化する定理として示されている。十分条件は、与えられたデータレートとロス確率の下で安定化を達成できるかを、行列のスペクトル半径を計算することで判別する式を与えている。また、安定化を達成するデータレートを最も低減化できる最適な量子化器を提案している。これは、よく知られている量子化器と異なり、量子化関数の定義域を非一様に分割し、その分割は制御対象の不安定度と不確かさの大きさによって決まると述べている。

第3章「Control with time-varying data rate」では、より一般的な問題設定として時変なデータレートが利用可能な場合を考えている。まず、安定化必要条件を導出し、データレートに関する制約を緩和しても、第2章で明らかにした安定化限界は変わらないことを示している。しかし、十分条件については、時不変の場合より低いデータレートで安定化が達成できることを明らかにしている。その理由として、時々刻々異なるデータレートをを用いることで平均の意味で非整数のデータレートを選ぶことができるため、整数ビット数に限られていた時不変の場合より設計自由度が高いことを挙げている。また、不確かさを陽に考慮した本研究の特徴的な結果として、制御入力を送信するタイミングによって安定化限界が異なることを指摘している。

第4章「Further results under uncertain input parameters」では、ここまで制御入力が制御対象に作用する際のパラメータを既知としていたことに対し、ここにも不確かさがある場合を考えている。この場合に解析が複雑になることを述べ、制御対象のクラスを限定した上で安定化条件を導出している。これにより、これまでの自律的な状態遷移に関する不確かさに加え、入力パラメータの不確かさ

が安定化限界に及ぼす影響を明らかにしている。

第5章「Extensions for Markovian packet losses」では、これまで通信路でパケットがロスする現象を独立同分布の確率過程と仮定してきたが、これは実際の通信障害を扱うには単純過ぎることを述べ、本章ではマルコフ連鎖としてモデル化すると述べている。この問題設定において、第2章の手法をもとに安定化必要条件と十分条件を導出している。とくに必要条件からは、パケットが正常に受信した次の時刻にロスする確率がどれだけ高くても、連続してロスが発生する確率が十分低ければ、制御系の安定化が可能であると述べている。

第6章「Conclusion」では、本論文のまとめとして各章の内容を振り返った後、今後の期待される研究の展望として、(1)制御性能解析、(2)制御対象のクラス的一般化、(3)通信制約のクラス的一般化、(4)悪意のある通信妨害への対処、(5)マルチエージェント系への応用を挙げ、期待される成果を述べている。

以上を要するに、本論文はモデルに不確かさのある制御対象を通信制約がある下で安定化する問題について取り組み、その条件を明らかにしている。これは、現実的な事象を考慮したネットワーク化制御系の設計・解析手法の確立、さらには制御と通信に関する理論の構築に寄与するものであり、学術上貢献するところが極めて大きい。従って、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値が有るものと認められる。