

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	知能システム科学	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
学籍番号： Student ID Number			Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	岡野 訓尚		指導教員 (主)： 石井 秀明
			Academic Advisor(main)
			指導教員 (副)：
			Academic Advisor(sub)

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

近年の情報通信技術の著しい発展に伴い、制御系においても無線通信の利用が広まっている。そのような、通信路を含む制御系はネットワーク化制御系と呼ばれ、メンテナンスにおけるコストや機器配置の柔軟性など優位性と、通信と制御の境界領域にあるという学術的興味から活発に研究が行われてきた。

ネットワーク化制御系における主な課題は、通信路を使用するために制御系内の情報共有に制約が存在する点にある。たとえば、近年主流となっているデジタル通信路では、アナログ信号を有限ビットのデジタル信号に変換して送信するが、変換後の信号は誤差を含みその程度は通信路の帯域幅によって決まる。また、送信した信号はノイズや輻輳のために正常に伝達されない可能性がある。

本論文では、ネットワーク化制御系において、これらの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解析する。とくに、制御対象のモデルの不確かさを考慮した上で、システムを安定化するために必要または十分な通信路の品質を明らかにし、制御器の構成方法を提案する。

以下では、論文の内容を章ごとに述べる。

第1章では、まず、制御系において通信の利用が拡大している現状と、通信路を介して制御を行う際の困難について説明する。とくに、本研究で注目するデータレート制約とパケットロスを中心に述べる。データレートとは単位時間あたりの送信ビット数 (精細さ) を表し、データレート制約とは、通信帯域によって通信可能なビット数が制限されることを意味する。また、パケットロスとは、送信信号が輻輳やノイズの影響で途絶し、受信側に伝達されない現象を表す。つぎに、本論文の目的と関連研究の紹介を行う。本論文では、上記の通信制約が存在する下での制御系の安定化問題を考える。既存の研究では安定化に必要なまたは十分な通信路の条件が明らかにされてきたが、制御において重要な「制御対象のモデルの不確かさ」が考慮されてこなかった。そこで、本研究ではモデルの不確かさを陽に考慮し、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。

第2章では、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す。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。通信制約としては、(1)データレート制約 (単位時間あたりの送信ビット数が有限)、(2)パケットロスを考える。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する。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する。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が、制御対象の不安定度で特徴付けられることを明らかにする。これは、関連研究をモデルの不確かさがある場合へ一般化する結果である。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する制御器が存在する条件が、ある行列のスペクトル半径に関する条件に帰着されることを示す。必要条件と十分条件は、制御対象が1次のシステムの場合には一致し必要十分条件となる。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する。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。

第3章では、より低いデータレートで安定化を達成することを目指し、前章で時不変としていたデータレートを時変な場合へ拡張する。時々刻々異なるデータレートを用いることで、平均の意味で非整数ビット数のデータレート選ぶことができるため、時不変の場合より設計自由度が高い。これを利用

して、より低いデータレートで安定化できる制御器の構成方法を与える。一方で、この場合でも、第2章で明らかにした最低限必要なデータレートより低いレートでは安定化できないことを示す。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述べる。

第4章では、ここまで制御入力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、これにも不確かさがある場合を考える。これまでの、自律的な状態遷移に関する不確かさに加え、制御入力の不確かさについて、これらが安定化限界に及ぼす影響を明らかにする。本章の問題設定においても、第2章と同様に制御対象の不安定度で特徴づけられた安定化必要条件、また十分条件が導出できる。データレートを最も低減化する最適量子化器についても明らかにする。

第5章では、より現実的な通信路状態を取り扱うために、パケットロスのモデルを一般化することを考える。これまで、ロスの発生は独立同分布の確率過程と仮定してきた。しかし、これは実際の通信障害を扱うには単純過ぎ、たとえばバースト的なロスは表現することができない。本章ではパケットロスをマルコフ連鎖としてモデル化する。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、パケットが正常に受信した次の時刻にロスする確率が高い場合でも、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ことを示す。

第6章では、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)制御対象のクラスの一般化、(3)通信制約のクラスの一般化、(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る。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 2 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Computational Intelligence  
Department of and Systems Science

学籍番号 :  
Student ID Number

学生氏名 : Kunihisa Okano  
Student's Name

申請学位 (専攻分野) : 博士 (Engineering)  
Academic Degree Requested Doctor of

指導教員 (主) : Hideaki Ishii  
Academic Advisor(main)

指導教員 (副) :  
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

We consider stabilization of uncertain control systems over communication channels. Due to the existence of the channels, communication between the plant and the controller is constrained. In particular, the data rate — the number of bits transmitted through a channel at a time — is limited and transmitted packets may be randomly lost. Hence, the controller cannot utilize complete information of the plant states. These constraints reflect bandwidth limitations and unreliability due to congestion, collision, or effects of noises, which are often observed in practical communications.

In addition to the incompleteness in state observation, we explicitly take account of the uncertainty of the plant model. Uncertainties have been an important subject in control theory. However, in the context of networked control, it has been commonly assumed that exact plant models are available.

The objective of the thesis is to clarify how large the amount of information communicated through the channel should be, especially in the presence of system uncertainties. We derive necessary conditions and sufficient conditions on the communication constraints for stability.

The necessity results provide limitations on the data rate, the packet loss probability, and the magnitude of the plant uncertainty. The limitations are characterized by the product of the eigenvalues of the plant similarly to the well-known data rate theorems for the known plants case. We also derive the optimal quantizer to achieve stability under the minimum data rate. It is shown that the quantizer takes a nonuniform structure due to the uncertainty.

The sufficient conditions provide stabilizing controllers, which can be less conservative compared with those given in existing results. The relationship between the convergence rate and the communication constraints is also given.

The thesis studies problems formulated in four setups. We first establish our results under the fundamental setup and then consider more general cases: One of them is for further data rate suppression. The other two setups are dedicated to deal with more practical classes of uncertain plants and packet loss behaviors, respectively.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 2 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 2 copies of 800 Words (English).