

審査の結果の要旨

氏 名 赤 間 俊 一

1. 論文の概要と背景

本論文は制御対象と制御器が互いに遠隔地にあり、信号の交換に通信線を用いるネットワーク制御についての研究である。特にネットワーク制御で本質的な問題となるデータロス(または通信不能時間)がある環境下で、かつ制御対象のパラメタが未知である場合の適応制御系の構成法を導出している。このような研究の背景として、近年の通信技術の飛躍的な発展に伴った、ネットワーク制御 (Networked Control System, 以下, NCSと略す) の実現が現実的になりつつあるという事実がある。NCSにおいて想定される状況のひとつは、制御対象側の計算機資源が乏しく、遠隔地にある十分な能力を持つ制御器との間で、制御情報を交換することにより高度な制御系を実現するというものである。また非常に多数のユニットからなる大規模制御系においては、有線の専用通信路で各ユニットを相互に接続するのではなく、イーサネットあるいは無線による汎用の通信路によって接続し、柔軟性、メンテナンス性を向上させることが望まれる。NCSの制御理論はこのようなシステムを対象とし、そこで発生する諸問題に対して理論的な解決法を与えることを目的としている。

2. 目的と概要

本論文では、ネットワークで発生するデータロスに対するロバスト性を可安定性の視点から考察している。制御系設計にとって可安定性は最も基本的な制御系の性質であり、これに基づいて制御系に必要とされるネットワークの質と制御対象が満たすべき条件を論ずることは合理的であると考えられる。

先行研究ではデータロスが Bernoulli 過程でモデル化できると仮定され、制御系が可安定となるために必要十分なデータロス率の上界が明らかにされている。本論文はこの先行研究を出発点として、先行研究では解決されなかった2つの問題点に取り組んでいる。1つ目はプラントの不確かさに対するロバスト性である。現実のプラントとモデルの間にはギャップが存在するため、そのギャップを考慮した可安定性条件が求められる。2つ目は制御系を不安定化させてしまうデータロスのパターン(最悪ロスパターン)の扱いである。データロスを Bernoulli 過程としてモデル化した場合、最悪ロスパターンが存在するとしても、その確率測度が0であれば可安定と判定される。

ここで非常に重要な事実は、長時間オンラインで稼動し、かつ不安定になることが一度も許されない制御系においては、最悪のデータロスの生起を想定することが現実的である場合が多いということである。決定論的な最悪ケースを想定した制御系の可安定性を考えた場合に、許容されるデータロスの程度はどれくらいか、制御系のクラスは何か、このような本質的な問題に答えるのが本論文の目的である。具体的には制御対象と制御器を接続する入力側通信路と出力側通信路にデータロスが存在する状況で、制御系が可安定となるためのデータロスの頻度を表す指標の上界を導出することである。

ある制御器を用意した際に、プラントの不確かさとデータロスはその制御器にとって最悪なケースのもので起きるものとする。仮に出力を発散させてしまうようなケースが1つでも存在する場合、その制御系はロバスト安定ではないと言う。逆にそのようなケースが1つもない場合はロバスト安定であると呼ぶ。ロバスト安定にできる制御器が1つでも存在するとき、制御系はロバスト可安定であると呼ぶ。本論文の目的はロバスト可安定となる通信路とプラントの条件を求めることである。またそれは同時にロバスト安定化するための制御器の設計法を含むことになる。

3. 論文の主結果

本論文では制御対象のモデルの不確かさとしてパラメータが未知の最小位相ARX過程を考え、そのロバスト可安定性が通信路のデータロスの頻度を表す Sustainability と呼ぶ性質によって特徴付けられることを明らかにしている。通信路の Sustainability とは、ある時間間隔の間にどれだけのデータを連続して正しく届けられるかを表す指標である。本論文では、プラントの次数に応じて通信路が満たすべき Sustainability 条件が定められ、通信路で発生する遅延とデータロスがこの Sustainability 条件を満たすものであれば制御系はロバスト可安定であることを証明することに成功している。

さらに以上のように制御系がロバスト可安定であるとき、安定化制御器の1つは適応制御の枠組みで与えることができることを示している。その制御器は構造が比較的簡単で実装可能な現実的なものである。制御器の構造は結果的には簡単なものとなるが、ロバスト安定性の証明自体は困難な問題であった。問題の本質は、Lyapunov 関数法や受動定理等の良く知られた数学的アプローチではロスパターンの最悪状況を扱うことが困難である点にある。これを解決するため本論文では、可安定性の問題を可同定性(未知のパラメータを推定する問題)・可検出性(断片的出力で0状態を検出する問題)・*-可安定性(断片的入力で出力を0に収束させる問題)の3つの問題に分割し、それらの解から元の可安定性問題の解を構成するアプローチをとっている。

本論文で得られた可安定性条件は、制御系設計に必要なネットワークについての様々な示唆を与えている。特に Sustainability 条件からは入出力データの packets 化 (=複数のデータを1つの packet にまとめる)、受信バッファ長 (=連続して受け取れるデータの長さ決める)、QoS制御 (帯域の優先使用権を割り当てる)、等の問題に対して詳細な設計指針を得ることができ、ネットワーク制御にとって大変有用なものとなっている。

以上より、本論文の制御理論に対する寄与は十分であり、これによって本論文は博士 (情報理工学) の学位請求論文として合格と認められる。