



Title	情報の制約を伴う制御系の設計と性能限界の解析
Author(s)	新銀, 秀徳
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48650
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	新銀秀徳
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第21656号
学位授与年月日	平成20年1月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子制御機械工学専攻
学位論文名	情報の制約を伴う制御系の設計と性能限界の解析
論文審査委員	(主査) 教授 池田 雅夫 (副査) 教授 古莊 純次 教授 金子 真 准教授 浅井 徹 京都大学大学院情報学研究科教授 太田 快人

論文内容の要旨

本論文では、情報の制約を伴う制御について考えた。制御の目的は、システムから得た情報に基づいてこれに与える入力を決定し、システムに所望の挙動を実現させることといえる。しかしながら、通信路を介した制御系の場合、制御対象の出力から制御入力を生成する過程において、情報の伝送能力に限界がある。制御対象と制御器を結ぶ通信路の容量に対する制約により、無限の精度のデータ、つまり無限の量の情報を得ることができない。そのため、制御に用いることのできる情報量とそれにより達成することのできる制御性能の間にはトレードオフの関係が生じる。すなわち、情報量を節減すると、その分、不正確な情報に基づいて制御を行なうことになるため、制御性能は劣化してしまう。したがって、トレードオフを定量化することにより制御系の性能限界を明らかにすることや、効率的な情報処理の方法を具体的に与えることが重要になる。このような研究を進めることは、ネットワーク化制御系や遠隔制御系の構築のための基礎を与えるという点で応用上の意義があり、制御理論を情報理論や符号化・量子化の理論と融合するという点で学術上の意義がある。

以上の背景をふまえて、本論文では制御系の設計アルゴリズムの提案および性能限界の解明を行なった。アルゴリズムとしては信号の量子化ビット数を低減する設計方法を提案し、性能限界としては一次システムを対象として情報と制御性能の間のトレードオフの関係を定量的に示した。論文の構成は、以下の通りである。まず、第1章では研究の背景について説明し、第2章では情報と制御について知られている基礎的な関係について説明した。第3章では、外乱抑制において観測値から入力値の生成における信号の量子化について考え、量子化ビット数を削減するための制御器の設計アルゴリズムを提案した。アルゴリズムは線形計画法を利用した反復計算法として与えた。第4章と第5章では、一次システムを扱い、制御系の性能限界を明らかにした。第4章では、制御対象と制御器の間のデジタル通信について考え、通信容量と制御性能の間のトレードオフの関係を示した。第5章では、入力の生成に用いる情報量と制御性能のトレードオフの関係を、異なる二種類の設定に対して統一的に示した。二種類の設定とは、外乱として有界振幅およびガウス性の白色信号を想定し、それぞれ最悪値および平均値により性能評価を行なうものである。これらの設定における性能限界を、一般化されたエントロピーに基づく情報量評価により、統一的に導出した。最後に、第6章で結論と今後の課題について述べた。

論文審査の結果の要旨

ネットワーク化された制御システムでは、情報と制御の関わりを明確にすることが重要な問題になってきている。たとえば、信号の量子化や通信遅れといった現実的な課題への対処方法から、どれだけの情報を含んだ信号を制御対象と制御器の間で交換すれば所望の制御が達成できるかといった基礎的な問い合わせに至るまで、解明すべき問題は多い。

本論文は、上記の観点から量子化された信号を用いる制御器の設計方法の提案と制御系の性能限界の解析を行うものである。性能限界の解析については限定的な制御システムを対象としているが、達成可能な性能と必要な情報量の関係を陽に示している。主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 入力値が有限個の値しか取りえない量子化制御問題について、最大振幅の意味で信号の大きさを考えるときに、与えられた外乱抑制レベルを達成するための入力値量子化ビット数を低減するアルゴリズムを提案している。アルゴリズムは、線形計画法を反復的に計算することにより実行することができる。
- (2) 一次系制御対象に対する外乱抑制問題と状態観測問題に関して、通信路にビット数制約がある場合の性能限界を求めている。これらの問題では、最大振幅の意味で信号の大きさを考えている。まずビット数と外乱抑制レベルあるいは観測誤差のレベルの間のトレードオフを定量的に求めている。また制御性能の最適解は、状態の予測誤差の情報を用いて状態を復元する観測方法と、予測値を用いて状態を打ち消す制御方法の組み合わせによって実現できるという観測と制御の分離構造を有していることを明らかにしている。
- (3) 一次系を制御対象として、通信路に情報量制約がある場合について、外乱抑制問題の性能限界を求めている。外乱はガウス型白色雑音であり制御性能を自乗平均値で測る設定と、外乱は有界白色雑音であり制御性能を最悪時の最大振幅で測る設定を考えている。最大エントロピー一定理やレート歪定理に基づき、二つの設定に対して共通な理論展開を用いることによって情報量と性能限界の陽な関係を導いている。

以上のように本論文は、ネットワーク化された制御システムに対して、量子化や情報制約によって制御性能がどこまで達成できるかについて考察している。前半の結果は、具体的な量子化の方法を与えており、有用性がある。後半の結果は、一次系制御対象に限定されてはいるが、性能限界を陽に求め、性能限界を統一的に導出することにより、情報と制御の理論的な関係についての基礎的な知見を与えており、学問的意義がある。これらの結果により、電子制御機械工学の進歩に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。