

Title	拘束条件を有する系に対するスイッチング制御に関する研究
Author(s)	亀井, 泉寿
Citation	
Issue Date	1999-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1255
Rights	
Description	Supervisor: 藤田 政之, 情報科学研究科, 修士

拘束条件を有する系に対するスイッチング制御 に関する研究

亀井 泉寿

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1999年2月15日

キーワード：拘束条件, スwitching制御, Set-Valued オブザーバ, 出力フィードバック, 離散時間システム, ロバスト制御.

近年の線形制御理論のめざましい発展は、複雑な制御系設計仕様を達成する優れた補償器の構成法を与えてきた。しかしながら、拘束条件を有する制御系の解析およびその制御系設計問題は、通常の理論的解析や設計の枠組では取り扱いが困難であり、実用的にも理論的にも重要な未解決問題を多く含んでいる。

実際の制御系は、アクチュエータの性能限界による入力信号の制限、制御対象の保護のために要求される動作状態の制限など、多くの拘束条件が存在する‘拘束システム’である。拘束条件が制御系に与える影響としては、補償器により要求される制御入力と制御対象への実際の入力とのギャップによる制御性能の劣化をはじめ、場合によっては系の不安定化を引き起こすことが知られている。工学の実状では、その対処法として、システム設計上での性能目標の軽減や、より強力なアクチュエータの使用というような方法で解決されることがしばしばある。しかしながら、これらは問題の解決法として本質的であるとは決していえない。したがって、本論文では、拘束条件を有する線形離散時間システムに対し、理論的裏付けに基づいた制御系設計法について考える。

まずはじめに、通常のフィードバック補償器により構成された閉ループ系を想定し、この制御系が拘束条件を破ることなく安全に動作するための条件について議論する。これにより、その必要十分条件が、閉ループ系の初期状態をある集合の内部に制限することであることを示す。この集合は最大 CPI 集合とよばれ、制御系の挙動を決定する状態変数を常にこの内部に留めつけることで拘束条件は常に満足される。最大 CPI 集合は、拘束システムの安定性解析および制御系設計における基礎となるものであり、また以降の本論文における制御系設計においても重要な役割を果たす。

拘束システムに対する制御系設計を考える場合、まず考えられる方法は、拘束条件の達成を保証する補償器を設計するというアプローチである。しかしながら、実際補償器の設計においては、制御性能の向上、不確かさに対するロバスト性等、種々の設計仕様の達成を要求される。

そのため、さらに拘束条件の達成を要求することは問題を複雑にし、実用的であるとはいえない。これに対し、拘束条件が存在しないものとして補償器を設計し、その後、拘束条件の達成を目的とした付加的な補償機構を構成するアプローチが考えられる。この場合、補償器の設計過程において拘束条件という厄介な制約を考慮することなく、種々の優れた線形制御理論により制御性能を追求できることから実用的であるといえ、これまでにこの観点から多くの研究がなされている。本論文では、なかでも近年注目されているスイッチング制御によるアプローチを取り上げ議論を進める。

スイッチング制御は、複数の補償器を線形制御理論の枠組で構成し、これらを付加的な補償機構であるスーパバイザにより切り換えながら適用する制御手法である。その目的は、拘束条件の達成と制御性能の劣化の抑制という相反する問題を解決することである。切り換えられる補償器は、安全性を重視する(拘束システムが安全に動作する範囲を広げる)ことで制御性能を犠牲にした補償器から、性能を重視することで安全性を犠牲にした補償器まで複数個構成される。補償器を切り換えるスーパバイザは、現在の制御対象の状態変数と前述の最大 CPI 集合の情報をもとに、安全でかつ最も優れた補償器を各時刻で選択する。したがって、スーパバイザの具体的な役割は、‘適用する補償器の選定’、‘新たに適用する補償器の初期状態の決定’をオンラインで実行することである。この制御則により、拘束システムを広い動作範囲で安定化できるとともに、制御性能の劣化を抑制することが可能となる。しかしながら、この制御則は状態空間上に規定される最大 CPI 集合を補償器の切り換えの指針として利用するために、制御対象の状態変数が観測可能であるという仮定が必要不可欠となる。実際の設計においては、すべての状態変数を測定することが困難な場合や経済的な制約から、これを測定することが好ましくない場合も多い。したがって、この仮定が一つの弱点でもある。

状態変数の観測に関する問題に対しては、制御対象の入出力から状態変数を推定するオブザーバ(状態観測器)を用いることにより近似的に状態フィードバックを実現する方法が一般的である。しかしながら、スイッチング制御のように状態空間上のある領域に基づいた制御則を考える場合、単に推定値の真値への収束を保証するオブザーバでは、推定値と真値の関係が明確に与えられないため正確な制御が保証されない。それは同時に拘束条件の達成が保証されないことを意味する。これに対し本論文では、状態推定機構として、Set-Valued オブザーバの構成を考える。その特徴は、システムのダイナミクスとえられる入出力データから、各時点で想定される状態変数すべてを集合として推定する点にある。推定される集合は、線形拘束式の組で規定される凸多面体として与えられる。したがって状態変数の真値は、推定された集合の内部に属することが保証されるため、正確な状態変数の情報が要求される制御には有効であるといえる。

最後に、状態推定機構として、Set-Valued オブザーバを適用し、本論文の主題である出力フィードバックに基づくスイッチング制御則の実現を考える。前述の状態フィードバックに基づいたスイッチング制御則と異なる点は、スーパバイザが切り換えの指針として、Set-Valued オブザーバにより推定された制御対象の状態変数の集合と最大 CPI 集合の情報を用いる点である。指針として用いる状態変数が真値ではなく真値を含む集合として与えられることで、切り換えのタイミングの遅れる等の影響が考えられるが、状態変数を観測可能とした場合と同様に、拘束条件の達成と制御性能の劣化の抑制が同時に保証される。