

平成21年 5月29日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19860067
 研究課題名（和文） システム同定理論を用いた補償入力の生成に関する研究
 研究課題名（英文） Studies on Designing a Compensation Input
 Based on Subspace Identification Technique
 研究代表者
 新田 益大（MASUHIRO NITTA）
 東京理科大学・工学部・助教
 研究者番号：20453821

研究成果の概要：制御性能が劣化するとコントローラの再設計が図られるが、組み込まれたコントローラを改変するのは容易ではない。本研究では、試験信号を一度だけ入力して、その出力波形を観測し、部分空間法で用いるLQ分解を行うことで、劣化した性能を補うための補償入力を生成するアルゴリズムを導いた。本手法はシステム同定法の応用であるため、未知なシステムでも容易に制御性能が改善できるようになった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	450,000	0	450,000
2008年度	530,000	159,000	689,000
年度			
年度			
年度			
総計	980,000	159,000	1,139,000

研究分野：システム同定

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：システム同定、補償入力、部分空間法、過渡応答整形

1. 研究開始当初の背景

(1) 設計したコントローラが予期した通りの動作をしないとき、コントローラの再設計が行われる。しかしコントローラを電気・電子回路などで実現し、制御対象に組み込んだ後は、改変は容易ではない。

コントローラが設計仕様を満たさなくなる原因のひとつに制御対象の経年劣化が挙げられる。このときコントローラの再設計を行うには、変化したパラメータの推定を行う必要があり煩雑である。

(2) このように設計仕様が満足されないのはコントローラからアクチュエータへの指令入力が不十分であると考えられる。このとき、コントローラの再設計ではなく、外部から補助的な信号をアクチュエータに加えれば、システム全体として設計仕様を満足させることができる。

実用を考えると経年劣化によって制御対象の伝達関数が未知となる場合でも補助的な信号が設計できれば望ましく、これにはシステム同定法の応用が欠かせない。

2. 研究の目的

(1) ①制御系が設計仕様を満足しなければ通常はコントローラの再設計が行われる。設計仕様を満たさなくなる理由としては、制御対象の数学モデルが、何らかの原因で想定していたものとは異なることや、コントローラ自身の設計が不十分なことが挙げられる。このような場合、コントローラの再設計が行われるが、一度組み込まれたコントローラを改変するのは容易ではない。

②コントローラの再設計が可能な場合であっても、制御対象の数学モデルを改めて導出し、それに含まれる物理量を計測し直す必要がある。これには通常、システム同定の技法が用いられる。ところで制御工学におけるシステム同定の役割は、モデリングのためのツールであり、制御性能の達成は制御系設計で対応するのが一般的であった。コントローラの再設計によって制御性能を達成しようというときにシステム同定理論を用いるならば、同定理論が即座に制御系設計に応用できる方が望ましい。そのための検討を行う。

(2) ①近年、システム同定の分野では、部分空間法と呼ばれる手法が注目されている。従来の同定法は伝達関数を推定するものであったが、部分空間法では状態空間モデルを直接推定することができる。つまりこの手法は状態変数ベースであるため、それを有効に利用すれば、新しい応用が期待できる。

②そこで制御系の劣化によって設計仕様が満たされなくなったとき、その主因をアクチュエータへの制御入力の不十分であると考え、その不足分を外部から補うことでシステム全体として設計仕様を満足させることを考える。この外部から補う信号を補償入力と呼び、本研究では部分空間法を応用して、未知システムに対しても補償入力を設計する方法の開発を目指す。そして手法の有効性を数値シミュレーションによって確認することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) ①本研究では図1に示すサーボ系の制御性能の改善について考える。図でGは制御対象、Kは制御器、yは出力、rは指令値である。サーボ系であるから $y=r$ と制御することが目的である。しかし経年劣化などによって、設計仕様を満たさなくなるので、このときは図2に示すように、補償入力uを制御対象Gの直前に印加する。制御対象への入力はアクチュエータへの入力となるから、これによ

ってコントローラからの不十分な指令を補うことができ、結果的に制御系は設計仕様を満たすようになるはずである。

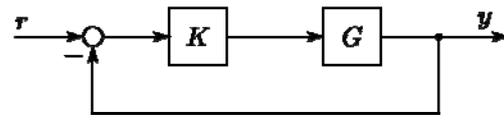


図1 サーボ系

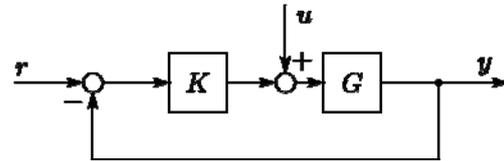


図2 補償入力の印加

②ところで設計仕様はどのように与えられるかという点、本研究で問題とするのはサーボ系であるから大前提は $y(t)=r(t)$ と制御することである。

しかし通常は、それ以外にも「時刻Tにおいてyは少なくとも y_{min} 以上」とか「yは上限値 y_{max} を超えない」といった設計仕様が与えられる。この仕様を数式で表現すれば「 $y_{min}(t) < y(t) < y_{max}(t)$ 」という不等式となる。

つまり本研究では、出力信号yに関して不等式制約が与えられたときに、それを満足するような補償入力uの設計問題を取り扱う。

③この問題はある種の2自由度制御系の設計問題となるが、本研究ではその設計に必要な数学モデルを必要としない。モデルを得るには適当な試験信号uを印加し、応答yを取得する必要がある。そして取得したu、yを用いてシステム同定によって伝達関数を推定する。こうして得られたuとyの関係から逆問題を解くことで望ましいyを与える補償入力uが設計できる。しかしこれには、複数回の試行を要し、システムが未知の場合は望ましくない。したがって1回の試験によって得られたデータから補償入力uを生成する方法論を導く必要がある。

(2) ①1回の試験で複数回の試験を行ったのと同等の入出力信号を得るためにLQ分解による複数信号の生成アルゴリズムを開発する。

②1回の試験で得られた入出力関係u、yから部分空間法で利用するHankel行列(データ行列)U、Yを定義する。そして適当な拡大可観測行列とToeplitz行列を用いた行列入出力方程式によって、入出力関係を記述しておく。

③行列入出力方程式に適切なベクトルを右から掛けると、ひとつのベクトルが得られるが、これは新たな入出力関係を表しているの、1回の試験で得られた入出力関係から様々な入出力信号が生成できることが明らかとなる。

④このベクトルは一次独立なものであればよいので、データ行列をN4SID法の意味でLQ分解して得られたQ行列から取り出すことにした。

(3) ①こうして複数の入出力信号を生成することができるのでつぎは補償入力の生成について考える。実際に入力 r に対する応答を y_r 、補償入力 u に対する応答(補償出力)を y_u とすると、 $y=y_r+y_u$ である。よって設計仕様が不等式で与えられるとき、補償出力 y_u は「 $y_{\min}(t)-y_r(t)<y_u(t)<y_{\max}(t)-y_r(t)$ 」を満たせば良い。

②LQ分解によって生成された n 本の入出力信号の第 i 番目を u_i, y_i とすると、 y_u が y_i の線形結合で表されるならば、その y_u を与える補償入力 u も u_i の同じ重みでの線形結合で表されるはずである。そこでこの重みの自動的な決定のために補償出力 y_u のエネルギーを最小にするような最適化問題を解くことにした。

(4) ①N4SID法に基づく零入力応答の影響を考慮する必要がないものの、生成される独立な入出力信号数が半減してしまうので、補償出力の設計の際に自由度が低下してしまう。この問題はMOESP法に基づけば解決できるが、MOESP法の意味でLQ分解すると、生成される信号は零入力応答の影響を受けてしまうために、補償入力によって設計仕様が厳密に満たされるかどうかの保証はない。

②この問題を解決するためにLQ分解のL行列をブロック行列に分割し、各ブロック要素を用いた行列入出力方程式の定式化を行う。これによって零入力応答を起源とする非零で未知な初期状態ベクトルの推定問題が、一般化逆行列を求める問題に帰着され、不要な零入力応答を分離することができる。

4. 研究成果

(1) ①あるサーボ系のコントローラが不等式で与えられる設計仕様を満足するように設計されていたとし、それが制御系の劣化によって仕様を満足しなくなったとする。例え

ば図3では設計仕様を実線で、実際の応答 y を破線で表しているが、応答の一部は不等式制約「 $y_{\min}(t)<y(t)<y_{\max}(t)$ 」を満足していないことが見て取れる。

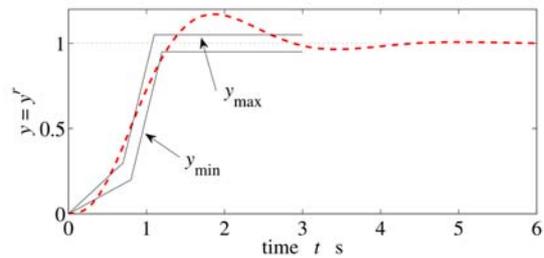


図3 設計仕様の逸脱

②この未知システムの過渡応答の改善のために補償入力を設計する。通常、このような入力を設計するには、制御対象とコントローラの伝達関数を求める必要があるのだが、本研究で開発した手法を用いると、それらを知ることなく最適な入力を決定することができる。

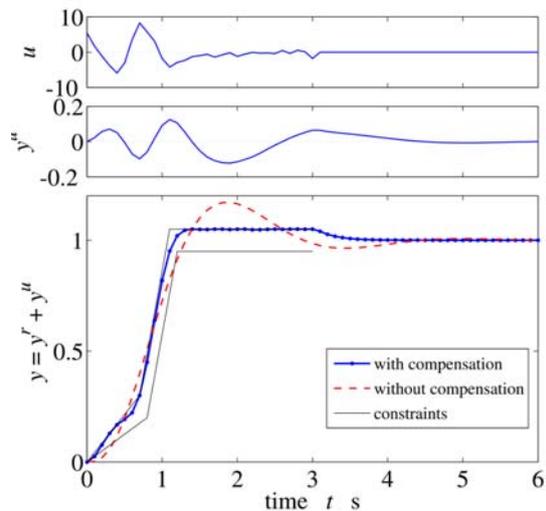


図4 提案手法による特性補償

図4は上から補償入力 u 、補償出力 y_u 、補償後の応答を示している。上図に示した補償入力 u は、試験信号を一度限り印加し、その応答波形からデータ行列を構成した後、LQ分解および最適化を経て得られたものである。中央図は、その補償入力を印加した際に期待される補償出力を計算したものであるが、0.5秒付近の制約を下回る部分ではそれを補い、2秒付近の制約を超過する部分ではそれを打ち消すように作用することが確認できる。下図の実線は補償後の応答、破線は補償前の応答であるが、この図より、補償入力を印加したものは再び設計仕様を満足していることがわかる。

(2) 従来の方法で、このような補償入力を設計しようとする、まずは制御対象とコントローラの伝達関数を求めることが必要であった。これにはシステム同定法が用いられることが多く、同定によって得られた結果を用いて、つぎはコントローラの調整や補償入力の設計が行われてきた。しかし本研究ではシステム同定理論に基づき、入出力信号を適切に処理することで、同定と制御系設計を統合することに成功し、その結果として、全く未知なシステムに対しても過渡応答を改善する補償入力が設計できるようになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2件)

① Masuhiko Nitta, MOESP Approach for Designing a Compensation Input to Linear Unknown SISO Systems, International Conference on Control, Automation and Systems 2008, 2008/10/15, Seoul, KOREA.

② Masuhiko Nitta, Design of Compensation Input Based on LQ Decomposition in N4SID Method, SICE Annual Conference 2007, 2007/9/20, Kagawa, JAPAN.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新田 益大 (MASUHIRO NITTA)

東京理科大学・工学部・助教

研究者番号：20453821

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者