

平成22年 4月 1日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19760294

研究課題名（和文） 外点法型の制御系設計法に関する研究

研究課題名（英文） Exterior-point approaches for designing control systems

研究代表者

上 泰 (KAMI YASUSHI)

明石工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授

研究者番号：20413809

研究成果の概要（和文）：

本研究では、要求された制御仕様を満足しない制御器から制御仕様を達成する制御器へと向かって探索を行うという、外点法型の制御系設計法を提案した。具体的には、制御器変数を実行可能領域に近づけていく繰り返し手法を、制的状態フィードバックだけでなく、低次元化制御器を利用した領域極配置制御問題、および、 H_{∞} 制御問題に対して提案し、従来法からでは制御器を得ることが難しい数値例に対する実行可能解が、提案手法からは得られることを示した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, exterior-point approaches for designing the H_{∞} and the regional pole placement control problems have been proposed. These approaches produce sequences of controller variables, which approach the feasible controller set from the outside. The efficiency of the proposed approaches is shown by numerical examples.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	600,000	0	600,000
2008年度	400,000	120,000	520,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,500,000	270,000	1,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御理論，数値最適化，外点法，線形行列不等式

1. 研究開始当初の背景

近年、制御系設計時には、外乱の影響の抑制と過渡特性の改善の同時達成など、複数の制御仕様を高精度に達成することを求められ

ることが多い。しかし、複数の仕様を同時に達成する制御問題は非凸な最適化問題になることが知られており、高精度な制御が必要になればなるほど、制御器の導出が困難となってくる。また、単一目的の制御問題であつ

たとしても、制御仕様がタイトになると、簡単には制御器が得られないこともよく知られている。

この問題点を解決するため、従来から、制御問題の局所最適解（準最適解）や実行可能解を、数値最適化を利用して求めるための、繰り返し型の制御系設計法がいくつも提案されてきている。しかし、そのほとんどの手法は、以下の手順で探索する「内点法型の手法」である。

Step 1：与えられた制御仕様をすべて満足する初期値（実行可能解）を求める。

Step 2：探索終了条件が満足されるまで、制約条件を満足する領域（実行可能領域）で、局所的な探索を繰り返す。

しかし、このような内点法型の手法には、「初期実行可能解が得られなければ制御器の探索を始めることができない」という問題点があり、はじめに述べたように、現実の制御問題の多くは、実行可能解すら求めることが難しい場合が多いので、全ての制御問題において、内点法型の手法を必ず実行できるとは限らない。

一方、最適化の分野においては、実行可能領域の外部から実行可能領域に向かって探索を行う繰り返し手法がある。この様な方法は「外点法」とよばれており、内点法を実行できない最適化問題に対しては非常に有効な考え方である。しかし、外点法の考え方を利用した制御系設計法は、申請者らの知る限り数例しかない。このような背景から、外点法型の制御系設計法を体系化することができれば、これまでの手法では制御器を求めることが困難だった制御問題の解を得ることができるようになり、実用面、ならびに学術面の両面から、大変意義深い成果が得られるといえる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、1. で述べた内点法型の制御系設計法の問題点を解決するため、初期実行可能解を必要としない繰り返し型の制御系設計法を提案することであった。具体的には、以下の性質を持った制御系設計法を H_{∞} 制御問題や領域極配置制御問題を中心として提案し、数値例題などを通して提案手法の有効性を検証することを目的とした。

- 適当に定めた（閉ループ系を安定化する必要すらない）制御器変数を初期値として、制御器の探索を行うことができる方法。
- 繰り返し計算が途中で止まるということが無いということを理論的に保証できる方法。

- 繰り返し計算によって、制御器変数が実行可能領域に向かって近づいていくことが理論的に保証できる方法。

そして、提案した手法をその他の制御問題に対する外点法へと拡張していき、外点法型の制御系設計理論を確立させることが最終的な目的であった。

3. 研究の方法

制御系設計問題に対する外点法のアイディアは、2004年から2005年にかけて研究代表者が考案済みであった。しかし、繰り返し計算の途中で探索が終了してしまうことや、与えられた制御仕様を達成する制御器が必ず得られるかどうかはわからないという問題点が残っていた。また、初期値として利用する制御器変数は、少なくとも閉ループ系を安定化する安定化制御器でなければならず、外点法の特徴である「任意の初期値から探索開始可能」という特徴は持っていなかった。そこで、本研究では、まず、領域極配置制御問題に焦点を当て、繰り返し計算法を改善したり、数値実験を繰り返して探索の収束の様子を調べたりすることで、以前に提案した外点法が持つ問題点を解決することを目指した。そして、以前に提案した外点法では制御器が得られない数値例題を適用例とし、開発手法からは制御器が得られることを示すことで、開発手法の有用性を示すこととした。また、開発した制御系設計法を、 H_{∞} 制御問題や低次元化制御器設計問題などへと拡張し、提案手法の適用範囲を広げていくこととした。なお、上述のような研究を進めるために必要となる計算機環境の整備を行うとともに、論文集や国内外の学会への投稿を積極的に行って研究成果を公表することとした。

4. 研究成果

以前に提案した外点法の探索が途中で終了してしまうという問題点に関しては、自由パラメータを1つ導入することで、理論的には必ず計算が進むように改善することができた。その結果、領域極配置制御問題において、以前提案した外点法では繰り返し計算が止まってしまう数値例題に対し、自由パラメータの設定次第で改善後は実行可能解が得られることが確認できた。なお、他の制御問題への拡張後も、同様の成果が得られていることをここに添えておく。また、初期値として利用できる制御器変数に関しては、仮想上の安定システムを導入したことで、閉ループ系を安定化できていない制御器変数からも探索開始可能であるという性質を付加させることができた。そして、得られた手法を H_{∞}

制御問題へ拡張し、領域極配置条件と H_{∞} 条件を同時に考えた混合問題に対する外点法を提案した。さらに、これらの手法の拡張として、制御器の実装コストは改善されるが設計パラメータの数が減ってしまうことから制御器の導出が非常に難しいことが知られている低次元化 H_{∞} 制御器の設計問題に対する外点法を提案し、制御器が求められることを示した。なお、本研究で提案した手法は、現在、ロバスト制御系設計法へと拡張が行われているところである。以上のことから、本研究の遂行によって、外点法型の制御系設計手法の枠組みが、以前に提案した外点法と比べると格段に広がったといえる。

ただし、与えられた制御仕様を達成する制御器が必ず得られるかどうかに関しては、導入した自由パラメータを適切に調整することができれば制御器が得られることが多い、という傾向はつかめたが、具体的な条件の導出まではできていないので、今後の研究における重要な継続課題としたい。

最後に、本研究を進めるために必要な計算機環境の整備は、高速な計算機の購入や必要な数値計算ソフトウェアの更新などの実施により、十分に達成することができた。また、論文集への投稿や学会発表に関しては、次章に示すように、学術論文へ1編を掲載し、国際会議の発表を5件、国内学会での口頭発表を5件行った。

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)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Y. Kami and E. Nobuyama: An iterative method for the output-feedback mixed control problem, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 2, No. 1, pp. 36/42, 2009. (査読有)

[学会発表] (計10件)

- ① Y. Kami, H. Tanaka and E. Nobuyama: An Exterior-point Approach to the Robust D-stability Control Problem, Proceedings of 48th IEEE Conference on Decision and Control and 28th Chinese Control Conference, pp. 2204/2209, 2009.
- ② T. Terada, Y. Kami and E. Nobuyama: An exterior-point approach to the fixed-order mixed H_{∞} /D-stability controller design, the 7th

International Conference on Control and Automation 2009, pp. 709/714, 2009.

- ③ T. Terada, Y. Kami and E. Nobuyama: A fixed-order D-stability controller design with an output feedback using a modified exterior-point approach, The 7th Asian Control Conference, pp. 1177/1181, 2009.
- ④ Y. Kami and E. Nobuyama: A New Exterior-point Approach to a Fixed-order Output Feedback Controller Design, IFAC Workshop on Control Applications of Optimisation 2009, 5pages, 2009.
- ⑤ 上 泰, 田中 秀樹, 延山 英沢: ロバスト D-安定制御問題に対する外点法, 第28回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集, pp. 21/24, 2009.
- ⑥ 上 泰, 寺田 武史, 延山 英沢: 虚軸のシフトを利用した低次の H_{∞} 制御器設計問題に対する外点法とその応用, 第52回自動制御連合講演会, 6 pages, 2009.
- ⑦ 寺田 武史, 上 泰, 延山 英沢: D安定制御問題に対する外点法の改良, 第9回制御部門大会資料, 4 pages, 2009.
- ⑧ Y. Kami and E. Nobuyama: A Gradient Method for the Static Output Feedback Mixed H_2/H_{∞} control, IFAC 2008 in Seoul, pp. 7838/7842, 2008.
- ⑨ 上 泰, 延山 英沢: 領域極配置制御問題に対する外点法の改善について, 第27回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集, pp. 17/18, 2008.
- ⑩ 上 泰, 延山 英沢: 静的出力フィードバックを用いた混合 H_2/H_{∞} 制御問題に対する最急降下法, 第8回制御部門大会, 2008.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上 泰 (KAMI YASUSHI)
明石工業高等専門学校・電気情報工学科・
准教授
研究者番号：20413809

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし