

## 第 7 回ナノスケールサーボのための 新しい制御技術協同研究委員会議事録(案)

### 1. 日時・場所

日時:平成19年4月12日(木) 13:30~  
場所:〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1  
東京大学生産技術研究所 第4会議室

### 2. 出席者

委員長 藤本(横浜国立大)  
幹事 川福(名工大), 佐渡(東芝)  
委員 石本(ソニー), 内田(日立), 浦川(ソニー), 小出(NHK), 高倉(東芝), 河辺(富士通),  
中村(安川), 原武生(富士通), 平田(宇大), 藤岡(京大), 二見(安川), 堀(東大),  
山口高司(日立), 弓場井(三重大)  
幹事補佐 呉(東大)  
代理出席 高木清志(キヤノン, 伊藤博仁委員の代理出席)

(計 19名)

### 3. 資料

NSS-7-0 第 7 回ナノスケールサーボのための新しい制御技術共同研究委員会議事次第  
NSS-7-1 第 6 回ナノスケールサーボのための新しい制御技術共同研究委員会議事録(案)  
NSS-7-2 9月開催予定の研究会について  
NSS-7-3 AMC'08 Trento の Call for Papers  
NSS-7-4 一回の操業データによるコントローラの直接設計  
NSS-7-5 一組の閉ループ実験データによる相関関数を利用した多変数制御器調整  
NSS-7-6 光ディスクドライブにおける高ゲインサーボと初期値補償法の適用検討

### 4. 議事

#### 4.1 前回の議事録確認(資料 NSS-7-1)

呉幹事補佐より第 6 回委員会の議事録が読まれ, 正式な 6 回委員会の議事録として承認された。

#### 4.2 産業計測制御技術委員会の報告

呉幹事補佐より, 3月27日に開かれた技術委員会の報告が行われた。優秀論文賞表彰式も一緒に行われ, NSS 委員会の委員である伊藤和晃委員や藤本委員長の研究室の高橋直樹が表彰されたとの報告があった。

#### 4.3 研究会について

川福幹事から 9 月に開催予定の研究会に関し, 開催時期と場所, テーマ名, 研究会の構成に関する審議事項提案があった。その結果, 開催日は9月14日(金曜日), 開催場所は東京大学本郷キャンパス, テーマ名は去年と同じ「ナノスケールサーボのための制御技術」にすることになった。また, ベンチマーク問題に対しては集まる論文の内容を見て別のセッションを設けるかどうかを決めることにした。

#### 4.4 今後の予定

藤本委員長から 11 月開かれる予定の IECON'07 のスペシャルセッションに NSS 委員会から 7

件の投稿があったとの報告と、2008年3月に行われるAMC'08 Trentoにもたくさんの投稿をお願いするとの呼びかけがあった。

## 5. 講演会

弓場井 一裕(三重大学)

「一回の操業データによるコントローラの直接設計」

モデルベースの制御系設計とは違って、入出力のデータだけから制御系を設計する手法である。このデータ駆動型制御系設計手法には Iterative Feedback Control(IFT), Virtual Reference Feedback Tuning(VRFT), Fictitious Reference Iterative Tuning(FRIT), Correlation-based Tuning(CbT)のアルゴリズムがある。IFT はガウス・ニュートン法を利用し、指令値に出力を追従させながら入力動きを抑える制御器を設計するが、一回のパラメータ更新に2回の実験が必要となってくる。VRFT はプラント出力を参照値に合わせる入力で作れるコントローラを設計して、線形の場合では一回のデータ取得で最適回を見つけることができる。FRIT は擬似参照信号を生成してパラメータをチューニングしており、一回のデータ取得を持ってオフラインでパラメータ更新ができるようにした手法である。

提案する手法では、CbT 最適化に擬似参照信号を利用することによって1回のデータ取得でMIMOシステムの制御系が設計できるようにした。シミュレーションと実験でその有効性を確認している。

Q1: 解の収束性もしくは安定性は保障されているのか。

A1: 現在議論が行なわれている課題で、2段階設計の1段階目の信号の有界性で議論を行なう研究などがある。

C1: ある程度長い有限区間での最適化になっているので、最適化区間を長くするとある程度実用的なものになるのではないかと。

Q2: 雑音が入ると最適化が正しく行なわれなくなるのではないかと。

A2: 確かにその通りである。そこで、提案する手法は同じ設定での実験を2回行い、その掛け算を持って雑音を除去する処理をやっている。また、その他にも複数の実験のデータをどうブレンドするかに関する研究が現在盛んに行なわれている。

Q3: SISO プラントにデータ取得回数1回という限定を行なうと、4つの手法の中で最も良いアルゴリズムはどれになるのか

A3: 出力の参照値からの偏差を最小化するという点ではFRITになるが、FRITはノイズに関する考慮がなく、その点では提案手法が優れているといえる。しかし、実情はどれを利用してもそれほど違いはないと思われる。

Q4: そもそも制御器に積分を入れておけば追従特性はよくなるのではないかと

A4: 不安定になることを考えると未知のプラントに積分ゲインを最初から大きく入れることはできず、このチューニングが必要となる。

Q5: 重みを入れた感度関数なども評価に使えるか。

A5: 合わせたい関数の相関関数として評価関数に入れることができる。

浦川 禎之(ソニー)

「光ディスクドライブにおける高ゲインサーボおよび初期値補償法の適用検討」

光ディスクドライブは光学ピックアップをスレッドにのせて制御する2段サーボ、フォーカスとトラッキングを制御する2軸制御になっている。Detectorに検出される光の収差と回折をみてフォーカスとトラッキングのエラーを検出、ワイヤーでレンズを駆動する制御系構成になっている。

セミクロズド制御系を、オーバシュートを避けながらサンプリング遅れの影響を最小化できるようにPID制御のゲインを調整した。チューニング結果0.25msのサンプリングで800rad/sの帯域が確保でき、サンプリング周波数の1/30の速さまでサーボ帯域が高くできることがわかった。

光ディスクのサーボ制御では位相進み遅れと低域強調を行っており、高域での位相余裕を損なわない範囲でできるだけ低域を強調する制御を行っている。またその離散化はサンプリング遅れを考慮した極配置を行ない、遅れの影響を少なくした。その結果を耐振動性能、高倍速対応の面では有効

であること、ディフェクトでの挙動、ゲインマージン面でも大きな悪影響がないことが確認できた。ただし、サーボ引き込み失敗率が大きくなる問題があり初期値補償で、ある程度対策ができた。

Q1: 一サンプル分の遅れがないときの帯域はどこまで確保できるのか。

A1: 離散化するときの0.5サンプルの遅れだけに対応することになるので、ここで確かめた1/30のさらに1/3まであげられると思われる。

Q2: 高ゲインサーボに比べ従来制御手法では定常誤差が残っているが、積分は入っていないのか。

A2: 30Hzで低域のゲインを切っているので定常誤差が残る。しかし、高ゲイン制御だとその低域のゲインがあがるので定常誤差が減るようになる。

Q3: 光ディスクドライブのゲインの変動は大きいのか。

A3: ディスクが変わるとその反射率が変わるので±6dB程度の変動がある。

Q4: 合わせている高域の特性が位相余裕なのはなぜか

A4: 2次共振が乗ったときのマージンが一番問題となるのでそうしている。

## 二見 茂(安川電機)

「サーボ系の最適イナーシャ比 (第2報 2慣性系の場合)」

最適なイナーシャ比(負荷のイナーシャ/モータのイナーシャ)に関する議論は昔から行なわれていて、エネルギーの伝達を考えてその比を1にした方がよいという研究や、速度PI制御を行ない、そこに真鍋法を適用すると11/4という比がよいとの研究があった。また、剛体系では外乱の抑制のためイナーシャ比を大きくした方がよいとの研究もある。

タグチメソッドとシミュレーションを利用して最適イナーシャ比を計算してみると、指令に対する偏差を小さくするにはイナーシャ比が小さい方が良く、外乱に対する偏差を小さくするには大きい方がよいとの結果が出る。よって最適なイナーシャ比を一概に決めることができないといえる。

C1: モータ部のイナーシャを固定し、負荷イナーシャだけを変動するような比較ではこのような結果になってしまう。それを一般化するには両方のイナーシャの和が一定になるように設定する必要がある。

C2: 目標値応答は2自由度制御でより向上できるので、外乱応答をより重要に思って議論した方がよい。