

第5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18年11月1日(水) 13:00~

場所:東京大学 工学系研究科(新)2号館 3階, 電気系会議室2

東京都 文京区 本郷 7-3-1 東京大学大学院 工学系研究科電気工学専攻/電子工学専攻

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), 伊藤博仁(キヤノン), 内田(日立), 浦川(ソニー), 奥山(日立),
河辺(富士通), 小出(NHK), 高倉(東芝), 原武生(富士通), 坂東(JAXA),
平田(宇都宮大), 二見(安川)

幹事補佐 呉(東大)

オブザーバ 中村(東大)

(計 17名)

3. 資料

NSS 5-0 第5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 5-1 第4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 5-2 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名簿

NSS 5-3 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ホームページ

NSS 5-4 リニアモータと転がり案内を用いたナノメータ位置決め

NSS 5-5 Nanometer positioning and its micro-dynamics

NSS 5-6 AC リニアモータと転がり案内を用いたナノメータ位置決め(第1報)

NSS 5-7 AC リニアモータと転がり案内を用いたナノメータ位置決め(第2報)

NSS 5-8 State Space Trajectory Tracking Control for Fast Nanometer Positioning

4. 議事

4.1 研究会報告

川福幹事より9月8日、工学院大学で研究会が開かれ、活発な議論が行われたとの報告があった。

4.2 研究会発表賞候補者決定の報告

藤本委員長より、研究会の優秀発表者として宇都宮大学の長谷川裕美さんを推薦することにしたとの報告があった。平田委員からその手続きなどに関する質問があり、藤本委員長より産業計測制御技術委員会の優秀発表賞受賞は決まっていて、12月20日に開かれる技術委員会の「優秀発表賞授与式および講演会」で選ばれたら電気学会のA賞の候補として推薦されるとの説明があった。また、それとは別に東京支部の授賞の選考候補にもなるとの説明があった。

4.3 SICE-ICCAS 報告及び、ベンチマークに関して議論

平田委員より10月18日から21日まで、韓国釜山で開かれたSICE-ICCAS 合同会議の報告があった。Industrial Collaboration として設けられた High Performance Servo Design for Information Devices というセッションで、山口委員、藤本委員長、原武生委員、平田委員の発表が行われ、活発な議論が行われたとのことであった。

また、このセッションで日本以外の国もベンチマーク問題に高い興味を持っていることがわかり、

さらに原武生委員より、11 月後半にシンガポールで開かれる Asia-Pacific Magnetic Recording Conference 2006 (APMRC 2006)でベンチマーク問題の紹介を行う予定との事もあり、ベンチマーク問題の国際的なアピールの必要性が議論され、ベンチマーク問題をダウンロードできるホームページやそこへのリンクなどを英語化することにした。

年内に完成予定のナノスケールに関する書籍にもこのベンチマーク問題を入れる予定であって、まず MATLAB での使用をよりしやすくする改善を試みているとの報告と、その所属の独立性に関しても議論された。そこで、ベンチマーク問題は MSS 委員会所属のワークグループで作られたものではあるが、有志が作ったオープンソース的な運営を行うことにした。NSS はこれに対しサポートを行う団体として位置づけすることにした。

4.4 ホームページの英語化について(資料 NSS 5-3)

呉幹事補佐より委員会ホームページの英語化に関して提案があった。ベンチマーク問題など海外から NSS 委員会に対する関心が高まっている中、ホームページから委員会の活動を簡単にでもわかるようにしようという議論があった。そこで、まずベンチマークのダウンロードが英語だけでもできるようにし、研究会内容など英語化できる範囲内で徐々に英語ページを作成することにした。

4.5 次回以降の話題提供者、予定

佐渡幹事より次回は豊田高専の伊藤和晃委員と東大の呉幹事補佐を話題提供者として考えていて、GA、PSO など多目的最適化手法に関する話題が聞けるようにしたいという予定に関する話があった。話題提供者の都合を聞き、具体的な日程を決めたいとのことであった。

4.6 その他.

11 月 7 日から開かれる IECON で、岩崎委員の高精度制御に関するセッションが開かれるのでぜひご聴講をという呼びかけがあった。

5. 講演会

石本 努 (ソニー(株))

「ニアフィールド光ディスクシステムにおけるサーボ関連トピックス」

一枚のメディアあたりの記録容量を 100GB 以上にするには NA(レンズ開口率)を 1 以上にする必要性が出てくる。この $NA > 1$ の近接場光を取り出すニアフィールド光ディスクを実現するためには、ナノサーボが必要となってくる。特にこのためのギャップサーボは、まず数 μm (ファーフィールド領域)から数 10nm(ニアフィールド領域)までソフトランディングしなければならず、さらにニアフィールド領域に入ってから、ディスク(リムーバブルである)から 20nm の浮上高を忠実にトレースしなければならない超精密制御である。

そこでギャップトレースのためには、ファーフィールドからニアフィールドになるまでの途中段階で反射光量が線形的な特徴を持つことを利用して位相補償フィルタの線形制御を行い、ソフトランディングのためには特定の入力電圧パターンよりヘッド速度が 0m/s になってきたらギャップサーボを投入し、その目標値を変化させることで衝突を回避する制御を行っている。

ギャップ制御のためのコントローラは 2 自由度制御に繰り返し制御を含めた構造しており、3000rpm 回転下で 20nm のギャップを数 nm の精度でトレースを実現している。特に繰り返し制御を使うことでよりよい精度が得られ、更に高次の振動までを含む面ぶれにも強いことが実験で確かめられている。また引き込み手法では、自動引き込み検出機構を利用してまずニアフィールドを検出した後、引き込み制御を行うようにし、3000rpm 回転下で実験に成功している。

サーボ制御以外にもニアフィールド光ディスクシステムを実現するためには、ヘッドメディアインタフェース、アクチュエータやディスクの動特性、ディスクの微細加工技術の改善が必要となっている。

Q1. ニアフィールドを検出した後、引き込みを行う理由は？

- A1. リムーバブルであるため、どこにニアフィールドがあるのかわからず毎回その位置が違うので、ニアフィールドに必要な印加電圧をまず探す必要がある。
- Q2. 作動中の衝撃は大丈夫か。
- A2. 実際の実験を持って評価するのは難しいが、1G, 2G 程度なら無視可能な程度である。
- Q3. ニアフィールドに入っていく瞬間、面ぶれに慣性でぶつかったりする問題はないか。
- A3. サーボ帯域が高い、速いサーボではその問題はない。
- Q4. チルドなど垂直方向以外の横方向のがたつきはどう検出するのか。
- A4. 外部センサを用いるか RF 信号の再生信号における振幅の変化、トラッキングエラーのオフセットなどを見て検出できる。
- Q5. 制御のサンプリング周波数はどの程度か
- A5. 350KHz であり、FPGA で実現している。
- Q6. AD/DA 変換器の分解能と変換に必要な時間は？
- A6. 16bit の分解能で、変換時間は数 μ 秒である。
- Q7. Blue-ray の次のステップとしてニアフィールド以外の手法があるのか。
- A7. ホログラム記録や多値・多層化があるが、記録密度を上げる必要性に対する議論もある。
- Q8. くり返し制御のためのメモリのサイズは
- A8. まだ実験段階で、一周分をためている。
- Q9. トラッキング信号をどう取っているのか。また CD-R などのはじめからその信号を入れているのか。
- A9. 帰ってくる光量のアンバランスを見て信号とする。CD-R の場合には最初からグルーブが打たれている。
- Q10. ギャップはどこからどこまでの距離なのか。
- A10. 平均した値である。

二見 茂 (安川電機)

「リニアモータと転がり案内を用いたナノメータ位置決め

--- 分解能1nm,ストローク 250mm, 最高速度 200mm/s ---」

この研究ではニアのステージで分解能 1nm,ストローク 250mm, 最高速度 200mm/s の仕様を達成している。研究を行った当時(86 年頃)にボールネジを利用して粗動制御、そして圧電素子を利用して微動制御を行うナノメータの制御を実現していたが、この研究では圧電阻止を使わず転がり案内にある非線形バネ特性の解析と PI 制御より早い位置決めができる FAST 制御によりナノメータの位置決めを達成している。

可動部+固定部のモータがりニアガイドのボールだけ(常時に 100 個程度)で接触しているところに注目、それを分析した結果、変位と摩擦力の大きさの関係から大きく3つの領域に分かれることがわかる。100nm までの変位では線形性がよく、傾きの高い特性(高いバネ定数)を見せている(領域 1; ナノメータスケール)。それより大きい変位では違う傾きのバネ特性とヒステリシスを持ち(領域 2; マイクロメータスケール)、更に変位が大きくなると一定の摩擦力を持つ(領域 3; ミリメータスケール)ようになる。また、動特性に関しても500Hzまでのレスポンスならバネの特性が変わらなく、トライポロジーの解析でもバネで支えられていることから静止摩擦は存在しないことがわかった。位置決め制御で位置を安定させた後、モータの力をゼロにしてその後の変位を確認すると、ボールの連続的な変形により第 3 領域から 2, 1 領域に変わってくることもわかった。そこで長ストローク後、高速位置制御を行うことで 領域 3 から領域 1 の線形領域に遷移させ制御を行うことにした。

高速位置決め制御のためにP-PI制御の粗動制御でまず目標位置に近づけ、その後内部のPI速度制御の外側の位置制御のゲインを高ゲイン化するFAST(FAst State-space Tracking)制御を行った。このゲインの変化は変位と速度指令間の特定トラジェクトリーとして表されるので、制振性のよいサイクロイドをその関数として利用している。

Q1: エアガイドにしなかったのはなぜか。

A1: エアガイドのパワースペクトルがブロードバンドで制御しにくいと思った。また位置決めなら接触し

た方が良いと思った。

Q2: 領域 1, 2, 3 の測り方を教えて欲しい。

A2: 領域 1 と 2 はオープンループで正弦波の電流を入力に、変位を出力にして測り、領域 3 は位置制御ループを組んだ後、正弦波の位置指令を入力にし、モータが出している電流を出力として測った。

Q3: バックラッシュがないというのはなぜか。

A3: 可動部と固定部に入っているボールがバネとして働き、隙間もないので、通常の回転モータでも同じ現象が見られる。ボールを使ったガイドの小さい領域では一般的な特徴だといえる。

Q4: 粗動制御から FAST 制御に入るためのタイミングの決め方は？

A4: 粗動制御の応答性と関係があるが、できるだけ近づけてから切り替えた方がよい。

Q5: 領域1となる変位の大きさは？

A5: $\pm 100\text{nm}$ 程度、力の次元だと 10g 程度

Q6: 位置制御ループに積分が入っていないので、バネ性との関連で定常偏差が生じるのでは？

A6: 速度制御の積分制御で摩擦の打ち消している。輪郭制御でなく、位置決め制御なので整定時間がより重要な問題になるのでこのようにしている。

Q7: ゲインが無限大になるのを防ぐためのリミットはどう設定しているのか。

A7: 常数のゲインの 100 倍までは許容できるようにしている。バネ性の領域では応答が遅くなるのでゲインを高くした。

Q8: このリニアモータとリニア転がりガイドの組み合わせはどこでよく使われているのか。

A8: やはり露光装置などよりは、安くて騒音が少なく、高い最高速度が出せることから搬送用などの産業用によく使われる。ボールねじは剛性がテーブルとの取り付けなどにより低くなるので、高い剛性が要求される場所によく使われる。