

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23360119

研究課題名(和文) 最速追従推力のモータ制御で実現する次世代超薄型高速大容量光ディスク装置の開発

研究課題名(英文) Development of the next generation superthin high-speed large-volume optical disk device achieved by the fastest tracking force of motor control

研究代表者

大石 潔(OHISHI, KIYOSHI)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40185187

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円

研究成果の概要(和文)：近年、デジタルコンテンツの容量は増大を続けており、デジタルデータ記録メディアの大容量化が求められている。一般的に、光ディスクのピックアップはそれぞれトラッキングが横方向、フォーカスが縦方向になっている。従来の制御系は縦方向と横方向を別々に設計してきたので、次のピックアップ動作点への移動が遅くなってしまうことがある。

より早く動作点移動を達成するために、われわれは、光ディスクのトラッキングとフォーカスの同時制御を開発し、動作点の短い軌道制御を実現する。本研究では、トラッキングとフォーカスの同時制御系を有する新しい2次元フィードフォワード制御系を提案する。実験結果から提案法の有効性を確認する。

研究成果の概要(英文)：The size of digital content is continuously increasing, and therefore, the storage capacity of digital storage media needs to be scaled up correspondingly. Generally, a pickup system for optical disks operates in the horizontal and vertical directions for tracking and focusing, respectively. The conventional optical disk system is designed for each direction of operation. The conventional system becomes slow in moving to the next point because it does not consider the operation trajectory.

In order to achieve faster operation, we develop a concurrent control method of tracking and focusing on an optical disk and realize short trajectory control. In this research, a new two-dimensional feedforward control system is proposed, which has concurrent control of focusing and tracking. The feedforward controller is based on equivalent-perfect tracking control (E-PTC). The experimental results show the effectiveness of the proposed control system.

研究分野：電気電子工学

キーワード：電気機器 モーションコントロール 光ディスク

1. 研究開始当初の背景

光ディスクはブルーレイディスクの登場で安価で高画質大容量の記録媒体となっている。今後、3D映像や2025年放送開始予定のスーパーハイビジョンを踏まえると、ポストブルーレイの次世代高速大容量光ディスク記録装置の開発は必要不可欠である。ディスクの高速化にはディスク回転数を上げる必要があるが、ディスク偏芯による周期外乱が大きくなる。大容量化のためには、光ディスクのトラックピッチを狭めることになり、ナノスケールの高精度なヘッド位置決め制御が必要になる。大容量映像情報を高画質・軽量・安価で提供するために、ポストブルーレイの次世代高速大容量光ディスク記録装置の開発は重要である。

高速化に対応するためには、スーパーハイビジョンを例に取ってみれば250Mbps~400Mbpsの高速転送レートの実現が必要になる。これは現在のBlu-Ray Discの標準転送レート(54Mbps)の5~8倍以上になり、光ディスクを毎分15000回転させる必要がある。しかし、現在の光ディスクは10000rpmが限界である。そこで、柔軟で低慣性な超薄型光ディスクを用いることで15000rpmを可能にする。次に、大容量化に対応するためには、トラックピッチを狭くするのが最も有効である。しかし、Blu-Ray Discのトラックピッチ320nmより狭くするには、ホログラムもしくは近接場光ピックアップが候補となるが、現有技術資産と市場普及性を考えると、近接場光ピックアップが有力である。近接場光ピックアップを用いた場合、そのトラックピッチは現在のBlu-Ray Discの1/10以下、フォーカス及びトラッキングのエラーはトラックピッチの中心±1/3以内でなければならない。さらに、光ディスクとレンズの距離を極近距離のギャップ(フォーカス)サーボも必須条件となる。したがって、今までの制御技術での実用化は難しい。

2. 研究の目的

上記の背景に基づいて、本研究では、研究代表者大石が発明したエラー予測型フィードフォワード制御系を基礎に、ヘッドの上下方向のフォーカスサーボと左右方向のトラッキングサーボの両方のボイスコイルモータに対して、最速追従推力ベクトルを予測してモータ駆動を実現する2次元エラー予測型フィードフォワード制御系を新しく開発する。さらに、トラッキングとフォーカスのエラー信号の基本波成分と高調波成分を予測して高速高精度追従制御法も開発する。これにより、最速完全応答のナノスケールモータ駆動制御法を確立する。そして、超薄型光ディスクによる次世代大容量光ディスク装置を実現するための要素技術を確立する。

3. 研究の方法

平成23年度は、既存の光ディスク実験装

置を用いて、制御構造をパーフェクトトラッキング制御系で実装し、その有効性の検証を行う。その上で、上下方向のフォーカス軸と左右方向のトラッキング軸のエラー信号を2次的に予測し、2次元エラー予測型高速高精度追従制御系を理論解析して設計する。平成24年度は、平成23年度に理論的に開発した2次元エラー予測型高速高精度追従制御系を、Blu-Ray Discの光ディスク実験装置に実装する。本研究の目的であるフォーカス軸とトラッキング軸の最速推力(電流)ベクトルによる高速高精度モータ駆動法を実験的に検討する。平成25年度は、光ディスク実験装置を用いて、微動部のトラッキングサーボと粗動部のトラバースサーボを連携させて、2段高速アクチュエータ制御によるトラッキング軸の最速追従推力ベクトルのロバスト制御を実現する。最終年度の平成26年度は、フォーカスサーボ系とトラッキングサーボ系の両方を一括にベクトル的に制御する2次元エラー予測型高速高精度追従制御系をより高速追従制御を実現する2次元等価完全追従制御系の構成に改良する。そして、その有効性を確認する。

4. 研究成果

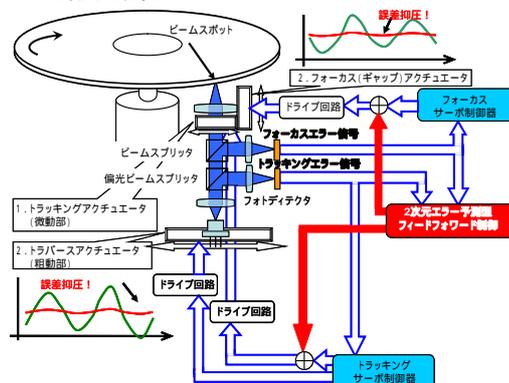


図1 最速追従推力ベクトルの高速高精度追従制御系の概要

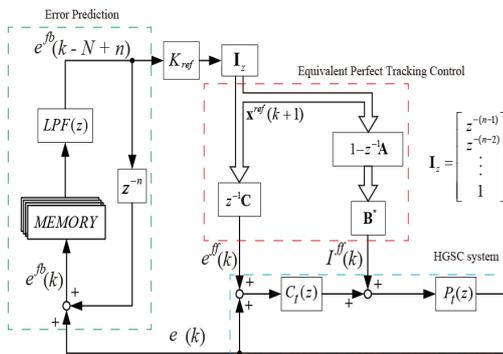


図2 等価完全追従制御のフィードフォワード制御系

光ディスクのピックアップ部は上下方向のフォーカスサーボと左右方向のトラッキングサーボとトラバースサーボの3つ全てのモータに対して、エラー信号を予測した等価完全追従制御のフィードフォワード制御による最速追従推力ベクトルの高速高精度追従制御系を構成する(図1と図2を参照)。

次に、上下方向のフォーカスエラーと左右方向のトラッキングエラーを2次元的に予測し、フォーカス軸とトラッキング軸において最速追従推力（電流）ベクトルを求め、最速追従推力のモータ駆動による高速高精度制御を行う（図3参照）。これにより、両軸のボイスコイルモータの過渡現象を最短時間で整定させる。最速追従推力（電流）ベクトルは高効率な加減速推力を与えるので、不必要な力が軸に加わらない。したがって、近接場光ピックアップ部の長寿命化にもつながる。

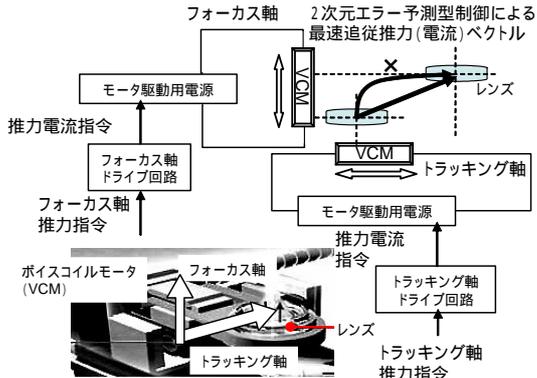


図3 2次元最速追従推力（電流）ベクトルによる高速高精度モータドライブ法

本研究では、エラー信号の基本波と高調波の両方の予測値に基づくパーフェクトトラッキング制御系で新しく構成する。回転数7200rpmでの実験結果のFFT結果のように、良好な性能向上の図4の実験結果を得ている。

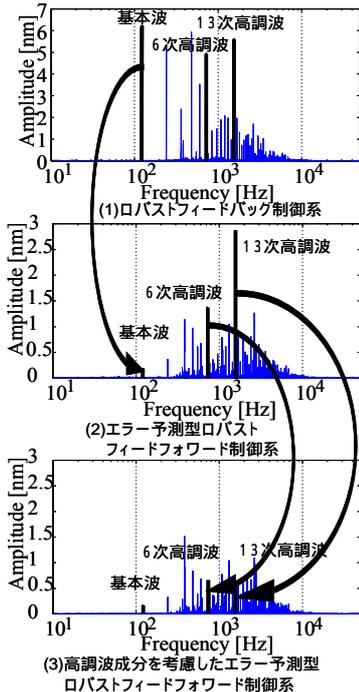
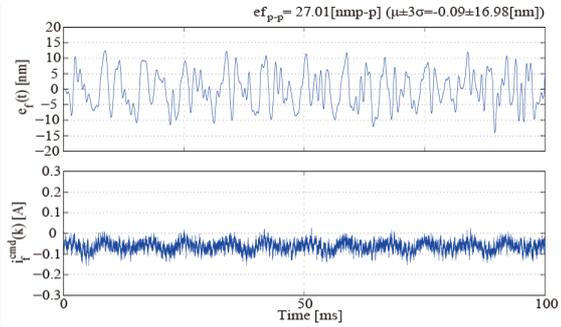
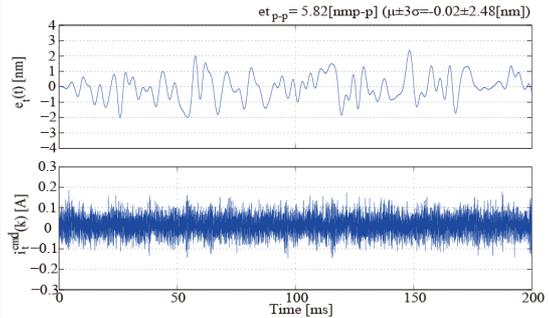


図4 エラー信号の基本波と高調波の両方の予測値に基づくパーフェクトトラッキング制御系



(a) フォーカス制御結果
(フォーカス誤差： $3\sigma = 16.98$ [nm])



(b) トラッキング制御結果
(トラッキング誤差： $3\sigma = 2.48$ [nm])

図5 提案する等価完全追従制御による2次元最速追従推力ベクトル追従制御系の実験結果

表1 実験結果のまとめ

	従来法	提案の二次元制御法
フォーカスエラー	17.69 [nm]	16.98 [nm]
トラッキングエラー	3.98 [nm]	2.48 [nm]

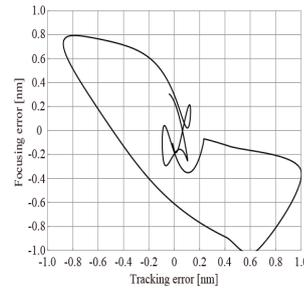


図6 従来法のフォーカス応答とトラッキング応答のリサージ波形

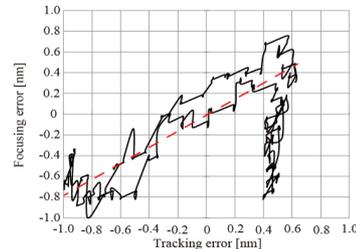


図7 提案法のフォーカス応答とトラッキング応答のリサージ波形

本研究で提案するエラー信号を予測した等価完全追従制御のフィードフォワード制御による2次元最速追従推力ベクトルの高速高精度追従制御系の実験結果を図5～図7と表1にまとめる。提案する2次元最速追従推力ベクトルの高速高精度追従制御系は図5より所望の応答結果を得ている。表1に示す様に、提案法は従来法の1次元の個別制御と比較して、トラッキングエラーもフォーカスエラーも低減している。さらに、図6と図7にトラッキング制御応答とフォーカス制御応答のリサージュ波形を比較しても、提案する2次元最速追従推力ベクトルの高速高精度追従制御系が、直線的に動作移動していることが確認でき、そしてその長さは、従来法が6.98[nm]となり提案法が4.28[nm]となった。提案法が従来法と比較して最短距離を直線的に移動していることが確認された。

以上の実験結果より、本研究の研究成果は所望の応答性能を満足しておることが確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- [1]. T.Ogata, Y.Nabata, K.Ohishi, T.Miyazaki, M.Sazawa, D.Koide, Y.Takano and H.Tokumaru, "Perfect Tracking Control System with Prediction State Observer for Next-Generation Optical Disks", Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.50, 2011, 09MC02-1~09MC02-6.
- [2]. T.Ogata, Y.Nakazaki, N.Sakimura, K.Ohishi, T.Miyazaki, D.Koide, H.Tokumaru and Y.Takano, "High Precision Tracking Control based on Pseudo-Inverse System Feedforward Control System", Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.51, 2012, 08JA05-1~08JA05-6.
- [3]. D.Koide, T.Kajiyama, H.Tokumaru Y.Takano Y.Nabata, T.Ogata, T.Miyazaki and K.Ohishi, "High Precision Tracking Control based on Pseudo-Inverse System Feedforward Control System", Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol.51, 2012, 08JA05-1~08JA05-6.
- [4]. 尾形、崎村、中崎、大石、宮崎、小出、徳丸、高野、"等価完全追従制御を用いた光ディスクのトラッキング制御系" 電気学会論文誌D、査読有、Vol.132, 2012, pp.1121-1130.
- [5]. T.Ohashi, K.Yoshida, K.Ohishi and T.Miyazaki, "Short Trajectory Equivalent-Perfect Tracking Control for Optical Disk", IEEJ Journal of Industry Applications, 査読有, Vol.4, 2015, pp268-276.
- [6]. N.Sakimura, K.Yoshida, T.Ohashi, K.Ohishi and T.Miyazaki, "Fine Tracking Control System based on Double Equivalent-Perfect Tracking Control System and Error-Based Disturbance Observer for Optical Disk", IEEJ Journal of Industry Applications, 査読有, Vol.4, 2015, pp1-10.

5, pp1-10.

- [7]. N.Sakimura, T.Ohashi, K.Ohishi and T.Miyazaki, "Two-Stage Feedforward Tracking Control System with Error-Based Disturbance Observer for Optical Disks", Optical Review, 査読有, Vol.20, 2014, pp.579-584.

〔学会発表〕(計 件)

- [1]. T.Ogata, Y.Nabata, T.Nakazaki, K.Ohishi, T.Miyazaki, M.Sazawa, D.Koide, Y.Takano and H.Tokumaru, "High Precision Feedforward Tracking Control System for Next Generation Optical Disks", The International Symposium On Optical Memory and Optical Data Storage Topical Meeting 2011, 2011年6月26日, Kauai, Lihue, HI, USA.
- [2]. T.Ogata, Y.Nabata, T.Nakazaki, K.Ohishi, T.Miyazaki, M.Sazawa, D.Koide, Y.Takano and H.Tokumaru, "High Precision Feedforward Tracking Control System for Next Generation Optical Disks", The 12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2012年3月25日, HOTEL Bristol, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.
- [3]. 中崎、崎村、大石、宮崎"光ディスク装置のフォーカス・トラッキングの2次元制御の基礎的検討"、電気学会産業計測制御研究会、2012年9月4日、工学院大学、東京、東京都、日本
- [4]. 中崎、崎村、大石、宮崎"2次元フィードフォワード補償器による光ディスク装置のトラッキングとフォーカスの同時制御"、電気学会産業計測制御研究会、2013年3月7日、千葉大学、千葉、千葉県、日本
- [5]. T.Ohashi, N.Sakimura, K.Ohishi and T.Miyazaki, "Minimum Tracking & Focusing Control based on Two-dimensional Equivalent PTC for Optical Disk", The 14th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2014年3月14日、慶応大学、横浜、神奈川県、日本.
- [6]. N.Sakimura, T.Ohashi, K.Ohishi and T.Miyazaki, "Robust Double Feedforward Tracking Control System using Error Based Disturbance Observer for Optical Disk Systems", The 14th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2014年3月14日、慶応大学、横浜、神奈川県、日本.
- [7]. T.Nakazaki, N.Sakimura, T.Ohashi, K.Ohishi and T.Miyazaki, "Minimum Trajectory Control of Focusing and Tracking of Optical Disk Systems by Two-Dimensional Feedforward Compensator", IEEE IES IECON2013, 2013年11月10日、Austria Center Vienna, Vienna, Austria.
- [8]. T.Ohashi, K.Yoshida, K.Ohishi and T.Miyazaki, "Dead Time Compensation Two-dimensional Feedforward Control System based on Trajectory Command Prediction for Optical Disk System", The 1st IEEJ International

Workshop on Sensing, Actuation and Motion Control, 2015年3月9日, 名古屋工業大学, 名古屋、愛知県、日本.

[9]. K.Yoshida, T.Ohashi, K.Ohishi and T.Miyazaki, “Design of a Feedforward Control System Considering Dead Time for Optical Disc Systems”, The 2015 IEEE International Conference on Mechatronics, 2015年3月6日, 名古屋工業大学, 名古屋、愛知県、日本.

[10]. T.Ohashi, K.Yoshida, K.Ohishi and T.Miyazaki, “Single-rate Two-dimensional Feedforward Control System of Optical Disk System in Consideration of Phase Delay”, International Symposium on Optical Memory 2014, 2014年10月20日, Hsinchu, Taiwan,

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等なし。

6. 研究組織

(1)研究代表者

大石 潔(OHISHI KIYOSHI)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：40185187

(2)研究分担者

和田 安弘(WADA YASUHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：70293248

宮崎 敏昌(MIYAZAKI TOSHIMASA)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：90321413

(3)連携研究者

大西 公平(OHNISHI KOUHEI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：80137984