

外 92-4

早稲田大学大学院理工学研究科

博士論文概要

論文題目

ファイル記憶装置におけるフレキシブル

媒体の位置決め制御に関する研究

申請者

田丸直幸

Naoyuki Tamaru

平成 4 年 4 月

デジタル情報を大量に記憶するファイル記憶装置における、フレキシブル記憶媒体の高速・高精度位置決め制御について研究した。フレキシブル基板の表面に記録膜を形成した記憶媒体、いわゆるフレキシブル記憶媒体として磁気テープおよびフレキシブル光ディスクを対象とし、媒体表面上に形成した記録トラックとヘッド位置とを一致させる、いわゆるトラック位置決め制御を検討した。

ファイル記憶装置におけるフレキシブル記憶媒体は、ロール状態での連続生産により媒体コストの低減が図れると共に、媒体の基板厚が薄くかつ媒体が軽いため、媒体およびドライブの小型化・薄形化に有利である。このため、現在では大型コンピュータシステムの大容量磁気テープ装置からパーソナルコンピュータ用フレキシブルディスク（通称フロッピー）装置まで幅広く、かつ大量に使用されている。

しかし、フレキシブル記憶媒体には、張力、遠心力などの外力および温湿度変化などによる媒体変形（カール、寸法変化など）が発生し易く、ハード基板上に形成した媒体（ハード媒体）に比べ、媒体の精密トラック位置決めが困難である。そこで、ここでは上述したフレキシブル媒体の特異性を考慮し、フレキシブル媒体の高速・高精度なトラック位置決め制御技術の確立を図り、経済的なファイル記憶装置の実現を本研究の目的とする。

まず、第1に回転ヘッド形磁気テープ装置を対象に、磁気テープ上のトラック位置を巻取モータを用いて高速・高精度に制御することを検討する。小型化、低価格化のため真空コラム、テンションアームを除去したリール間直接テープ送り機構をテープ送り制御の対象とする。本機構ではテープ張力変動が外乱として作用するため、テープ送り制御の高精度化は重要である。まず、磁気テープ上のトラック位置を高精度に検出する方法として、サーボトラックからの再生信号中の2周波数(f_1 、 f_2)信号の成分差からトラック位置検出するサーボ信号方式（以下 f_1/f_2 サーボ信号方式と呼ぶ）と、サーボビット数のカウント値で検出するパルスカウントサーボ信号方式（以下PCSS:Pulse Count Servo Signal方式と呼ぶ）とを比較すると同時に、トラック位置検出誤差の要因分析などにより両方式の特性を実験的に解析した。後者のPCSS方式においては記録機構、検出回路、検出原理などすべて新たに考案した。前者の f_1/f_2 サーボ信号方式では、サーボ信号書き込み装置に特殊な装置を必要とせず、同様の回転ヘッド機構でサーボ信号が記録できる利点がある。しかし、後者のPCSS方式（固定ヘッドでサーボ信号を高速で記録できる）と比較し、サーボ信号書き込みの効率が劣り、また、回路のドリフト、媒体感度変化などに敏感である。サーボ信号の特性解析の結果、トラック位置検出誤差は前者では±3.4 μm、後者のPCSS方式では±3.2 μmであり、ほぼ同等であり、両者とも目標値を満たすことを明らかにした。従つ

てサーボ信号の書き込み効率の点で有利なPCSS方式の検出方式が f_1/f_2 サーボ信号方式より優れている。

つぎに、テープ巻取リールモータの回転速度信号の高SN化を目的として、カルマン・フィルタを用いた回転速度検出法を研究した。離散時間形式のカルマン・フィルタを採用し、マイクロプロセッサを用いて検出用演算処理、入出力信号処理を行なった。テープ巻径変化に伴う状態パラメータの変化には、制御対象を複数個の定常システムに分割し、その時のパラメータをあらかじめROM(Read-Only-Memory)に格納し、リアルタイムで速度信号の推定値を演算した。この結果、このフィルタの使用によるSN比は、従来のタコジェネレータだけによる方法に比べ約2倍向上した。また、この時変システムを64個の定常システムに分割すれば、推定誤差の増加は10%以下に収まることを明らかにした。

つぎに、トラック位置決め制御ループの広帯域化を狙いに、テープ巻取リールモータの状態量を連続時間形式のカルマン・フィルタにより推定した。巻取リールモータ系を、トルク発生部とキャブスタン部から構成される2自由度ねじり軸共振系でモデル化した。モータ駆動電流信号とキャブスタン部回転角から、モータ系両部の回転角、回転速度の計4個の状態量を推定した。回転角信号は連続回転時でも検出できるように、サンプルホールド回路とリセット付き積分器とを用いることを考案した。これらの推定信号を用い、最適制御理論で巻取リールモータを駆動し、ファイル記憶装置の分野では世にさきがけて、カルマン・フィルタによる位置決め制御を実現した。その結果、従来のタコジェネレータと帯域除去フィルタとの組合せを用いる方法に比べ、約2倍の制御ループの広帯域化が図れ、約0.4msの立ち上がり時間でキャブスタンモータを起動できた。

テープ上のトラック位置を回転ヘッド走査軌跡に高速・高精度で位置決めするために、キャブスタンモータの回転位置を目標値信号に位置決め制御する主ループに、トラック位置誤差をサンプルサーボで付加する副ループを追加する構成にした。この結果、テープの応力伝ばん速度による立ち上がり時間の遅れが存在するが、これを考慮しても、従来方法の約1/2の0.55msでテープを起動できた。

第3章では光ディスク用焦点アクチュエータとしてバイモルフ形圧電アクチュエータを対象として、アクチュエータの高精度位置決め制御を研究した。バイモルフ形圧電アクチュエータの状態量を得る方法として、アクチュエータの第1の機械共振と反共振を考慮したカルマン・フィルタを用いた。すなわち、アクチュエータを2個のねじり軸共振系としてモデル化し、駆動電圧とアクチュエータの先端の変位量からアクチュエータの状態量をカルマン・

フィルタを用いて推定した。この推定した状態量を最適制御理論により状態フィードバック制御し、以下の結果を得た。

- (1) 機械共振と反共振を持つ系にカルマン・フィルタを適用し、計算値および非接触変位計の実験値とほぼ一致した推定状態量を得た。
- (2) この状態量をフィードバックして位置決め制御を行ない、第1の共振を抑圧すると共に、制御帯域を第1共振周波数の約2倍にまで高めた。
- (3) 反共振を考慮した1自由度モデルの妥当性およびカルマン・フィルタの有用性を確認した。

最後の第4章では、フレキシブル光ディスク用トラック位置決め制御の簡素化、高精度化を目的に、媒体表面に形成した写真感光膜サーボパタンによるトラック位置検出と、サンプルサーボによるトラック位置決め制御を研究した。トラック位置検出回路においては、同期回路(PLL : Phase Locked Loop)の最適化を行なうと共に、パタン欠陥などによるサーボ信号のドロップアウトを補う補間回路、および外来ノイズ、媒体ノイズなどにより印加されるドロップインノイズを除去する抑圧回路などの考案により、トラック位置の高精度・高信頼検出を実現した。また、反射光信号波形の数値計算より、トラックサーボ用パタンとして正方形パタンは円形パタンに比べ検出レベルが約20%高く、かつクロックジッタによる検出誤差も $1/2$ 以下であることが判明し、実験では正方形パタンを使用した。

また、トラック検出誤差の主要因は媒体ノイズであることを分析し、媒体ノイズの低減により高精度化を実現した。さらに、サンプル数が1回転に1300個程度であれば、トラックサーボ誤差はほとんど増加しないことを確かめた。以上の解析の結果、パタン寸法 $2\text{ }\mu\text{m}$ の写真感光膜サーボパタンを形成したフレキシブル光ディスクを用い、トラックピッチ $2\text{ }\mu\text{m}$ で誤差 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下の追従制御を実現した。このトラック位置決め制御を用いることにより、初めてデータの記録再生動作をエラーレイト $10^{-4}\text{ }{\text{エラーバル}}$ で確認した。

以上のフレキシブル媒体の特性を考慮して、磁気テープおよびフレキシブル光ディスクの高速・高精度トラック位置決め制御を実現した。すなわち、磁気テープにおいてはキャブスタンを位置決める主ループに、トラック位置信号を目標値として付加する副ループを追加する2重ループ方式によりテープの異常振動などが主ループに入り込まない構成にし、高速・高精度トラック位置決めを確立した。また、フレキシブル光ディスクにおいてはサーボパタン形状の最適化による高精度トラック位置検出およびサーボサンプル数の適性化により高精度トラック位置決め制御を初めて実現した。