

多目的フィードフォワード制御による磁気ディスク装置のショートシーク制御

1. はじめに

磁気ディスク装置 (HDD) の磁気ヘッド位置決め制御系には, ms オーダの高速性と nm オーダの精度という, 高い制御性能が要求される. この要求を満たすため, 現在までに先進的な制御理論・設計手法が積極的に適用されてきた.

中でも 1~数百トラック間の移動を行うショートシーク制御 (図 1) は, さまざまな制御系設計手法や最適化計算が適用しやすいことから, 多数の研究結果が報告されている. 本稿では, これらの一部と, 筆者らが提案する多目的制御による設計手法を簡単に紹介する.

2. 現在までの研究

ショートシーク制御系の先導研究は, フィードフォワード制御入力 (以下, FF 入力) の生成方法に関するものが多い. まず, FF 入力の加速度変化率 (以下, JERK) を最小化することによって, 制御対象であるキャリッジの機械共振励起を防ぎ, シークの高速化と高精度化を図る手法が挙げられる⁽¹⁾. 文献 (2) では, FF 入力のパワースペクトルを機械共振周波数で局所的に低減することによって, より高精度なシークを実現できることが報告されている. また, デジタル制御系の観測周期と制御入力周期が異なるマルチレート制御の応用として, N-Delay 制御を用いたシーク騒音の低減化手法が文献 (3) で, 完全追従制御によるシーク高速化手法が文献 (4) で提案されている.

3. 多目的制御による FF 入力の設計

以下から, 筆者らが提案する FF 入力の設計手法について簡単に紹介する.

提案する設計手法は, シークの高速性に関する仕様を H_2 ノルム, FF 入力の周波数成分に関する仕様を H_∞ ノルム, 入力波形の滑らかさに関する仕様を JERK によって与える, 多目的フィードフォワード制御である.

図 2 に多目的 FF 制御の評価システムを示す. 図中 $F(z)$ が設計すべきフィードフォワード制御器であり, インパルス入力が入力されると FF 入力を出力する. 図 2 のシステムでは, まず, FF 入力を制御対象モデルに入力して得られるシーク軌道と, 目標トラックとの差の 2 乗面積, すなわち H_2 ノルムを評価し, シークの高速化を図る. 同時に, 制御対象の共振周波数でゲインを高く設定した周波数重み関数を用い, $F(z)$ の H_∞ ノルムを評価する. これによって, 共振周波数における FF 入力のパワースペクトルが低減される. さらに, FF 入力の JERK も評価し, 加減速の激しい切換えがない, 滑らかな入力波形を得られるようにする. 以上, 三つの評価項目を同時最小化する最適化問題を解くことによって, 目標トラックに高速にシークし, かつ機械共振を励起しない, 滑らかな FF 入力 (フィードフォワード制御器) を求めることができる. なお, 上記の最適化問題は LMI (線形行列不等式) として定式化され, 容易に解くことが可能である.

図 3 に提案する多目的 FF 制御を実際の HDD に適用したときの, シーク軌道と目標トラック到達後のヘッド位置の残留振動スペクトルを示す. 図中実線が多目的 FF 制御による応答であるが, 従来技術である JERK 最小化制御 (点線) と比較して, 目標トラックにより高速にシークし, かつ機械共振の残留振動を低減できていることがわかる.

4. おわりに

本稿では HDD のショートシーク制御についての先導研究と, 筆者らが提案する多目的制御による設計手法の紹介を行った. 今後も, より高速・高精度なシークを実現するため, 先進的な制御理論の応用が期待される.

(原稿受付 2008 年 9 月 26 日)

[石原義之 (株) 東芝研究開発センター 機械・システムラボラトリー]

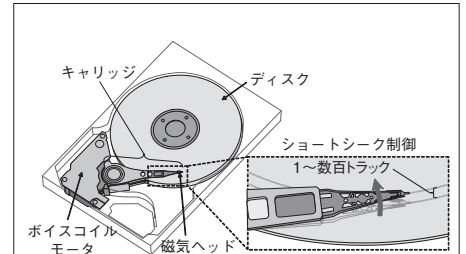


図 1 ショートシーク制御

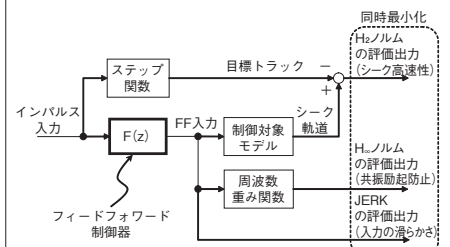


図 2 多目的 FF 制御の評価システム

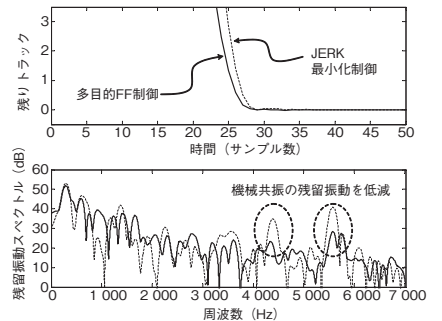


図 3 シーク軌道と残留振動スペクトル

●文 献

- (1) Mizoshita, Y. ほか, Vibration Minimized Access Control for Disk Drives, *IEEE Trans. Magn.*, 32-3 (1996), 1793-1798.
- (2) 平田光男・ほか, 終端状態制御によるハードディスクのショートシーク制御, 電気学会論文 D, 125-5 (2005), 524-529.
- (3) 高倉晋司, N-Delay2 自由度制御による目標値追従システムの構成と磁気ディスク装置への応用, 電気学会論文集 D, 119-5 (1999), 728-734.
- (4) 藤本博志・ほか, マルチレートサンプリングを用いた完全追従制御法による磁気ディスク装置のシーク制御, 電気学会論文集 D, 120-10 (2000), 1157-1164.