

論文内容の要旨

論文題目 Discrete-Time Observer with Dual Sampling Rates and
 its Applications to Drive Control with Wide Speed Range

(デュアル・サンプリング・レートをもつ離散時間オブザーバと
広い速度領域をもつ駆動制御への応用)

氏 名 Lilit Kovudhikulrungsri

近年、サーボモータドライブや一般産業においては、デジタルシグナルプロセッサ(DSP)や専用マイクロコントローラをコントローラとして使われているのが一般である。測定側も高精度なエンコーダが普通に使われている。これらの技術進歩により離散化の影響が無視できるほど少なくなり、連続時間の制御理論で解析することが可能となった。しかし、鉄道・電気自動車などの駆動制御においては、塵埃・温度・振動の観点から光学式エンコーダを採用することは難しい面がある。このため、磁束検出タイプのもものが多く採用されている。これらのエンコーダの精度は非常に低い、特に鉄道の車輪速度センサとして採用されているパルスジェネレータ(PG)は1回転60パルスしか発生しない。さらに、発生パルスが速度に依存することで、低速領域での速度計算が正確に得られないため、高速DSPをコントローラとしても、制御周期を延ばさなければ、正確に制御できない。この問題を言い換えれば、センシング周期のほうが制御周期より長いという問題である。駆動制御だけでなく、33ミリ秒の画像のサンプリング周期をもCCDカメラに対してロボットの関節の制御周期は1ミリ秒であるロボットのビジュアルサーボシステムもこの問題点がある。

この問題に対して、本論文ではデュアル・サンプリング・レートをもつ離散時間オブザーバ(デュアルサンプリングレートオブザーバ、DSオブザーバと簡略する)とその広い速度領域を採用するため安定性を確保する極配置・ゲインの決め方を提案した。鉄道の駆動制御をその主な応用例として挙げた。さらに、DSオブザーバの原理を雑音の影響が大きいシステムへ応用するため、最適DSオブザーバまたはデュアル・サンプリング・レート・カルマンフィルタも提案した。

本論文の内容及び構成は、以下のようになっている。

第1章では、序論として、応用の観点からの問題とそれらの問題に対する手法を本論文の背景として簡単に述べ、本論文の目的と構成を説明した。本論文の目的は以下に記す。

- 1) 様々なプラントに採用できるサンプリング点間の状態変数を推定するオブザーバを導出すること

2) 広い速度領域への応用のため、安定性を確保する極配置・ゲインの決め方を定めること

第2章では、エンコーダ信号からの速度計算手法とサンプリング点間の状態変数を推定するアルゴリズムを説明した。その中で、まずは瞬時速度オブザーバを注目した。この瞬時速度オブザーバは、低精度エンコーダが採用されているモータ速度制御系の性能を改善するために先行研究において提案された。その原理は、制御周期毎に状態変数の予測を行い、エンコーダのパルスが発生する時にその推定誤差の修正を行うことである。瞬時速度オブザーバは非常に有効な速度推定手法であるが、モータ制御という限定された目的のため、その構造は非常に特殊であり、様々なプラントへの拡張性がない。さらに、広い速度領域に動作する車両の駆動制御などに採用すると低速領域の安定性は保証されないという問題点があった。

第3章では、第2章に述べた瞬時速度オブザーバの問題を解決するため、瞬時速度オブザーバの一般化であるDSオブザーバを提案し、その低速領域の安定性を明らかにし、安定性を確保するゲインの決め方を提案する。デュアル・サンプリング・レート・オブザーバという名の通り、一定制御周期と可変修正周期という2つのサンプリング周期をもつ離散時間オブザーバである。その原理は、瞬時速度オブザーバの原理と同じく、制御周期毎に状態変数の予測を行い、エンコーダのパルスが発生する時にその推定誤差の修正を行う。安定性の解析を行うため、マルチレートサンプリング理論に基づいて、エンコーダパルス間をサンプリングフレームと定義し、そのフレームの中のサンプリング回数(つまり制御周期)毎に信号をリフティングし、マルチレート離散系の状態空間に変形した。その解析により、広い速度領域における安定性を確保する極配置・ゲインの決め方が導かれた。提案したゲインの決め方の有効性とDSオブザーバの拡張性を2慣性系実験で確認した。また、カレントオブザーバに基づいて展開した変形DSオブザーバも提案した。

第4章では、DSオブザーバを用いた電気車の駆動制御を応用の一例として説明した。この章は2つの部分になっている。前半では、車両ダイナミクスと考慮した全系のDSオブザーバと動輪軸だけのダイナミクスを考慮した部分系のDSオブザーバについて述べた。負荷トルクの推定値と粘着力との関係がある後者を電気車の駆動制御を選択した。後半では、部分系のDSオブザーバが推定した負荷トルクにより滑走空転検知を提案した。負荷トルクを速く推定するため、1次外乱を追加状態変数としてオブザーバに加えた。負荷トルクの推定値から計算した動輪軸の加速度は、従来の差分法に比べ、より速く雑音が少ない信号が得られるため、滑走空転検知の性能を改善することができた。また、粘着力との深い関係ともつため、負荷トルクの推定値を用いた再粘着制御のトルク絞り込み率の調整も提案した。一定トルク絞り込み率の従来方式に比べ、より確実な調整ができることをシミュレーションで確認した。

第5章では、ビジュアルセンサと用いた2次元リニアモータの可動子の位置推定という別の応用例を考察した。この場合では、センサの速度は制御速度より非常に遅いのと測定雑音の影響が大きいため第3章で提案した最適DSオブザーバを採用することを提案した。その有効性をシミュレーションで確認した。

第6章では、本論文の主な成果について述べた。提案したデュアル・サンプリング・レートをもつ離散時間オブザーバの安定性、設計法、制限および実用性をまとめた。その主な利点は以下のようになっている。

- 1) モータに限らず、様々なプラントに採用できること。
- 2) 提案した設計法により、広い速度領域、雑音の影響が大きい環境などで安定性を確保できること。

これらの利点により、デュアルサンプリングレートをもつ離散時間オブザーバは、鉄道・電気自動車などの駆動制御やビジュアルセンサをもつサーボシステムの性能を改善する効果的な手法であると結論づけた。