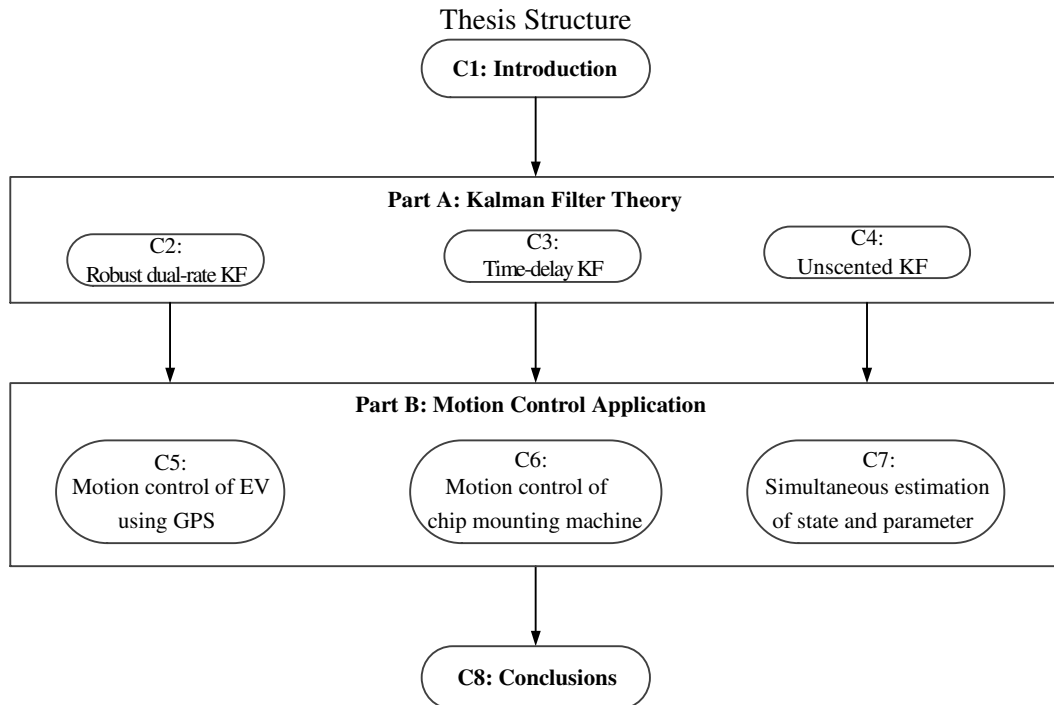


論文の内容の要旨

論文題目 STUDY ON KALMAN FILTERS FOR MOTION CONTROL APPLICATIONS:
DUAL-RATE – TIME-DELAY COMPENSATION – PARAMETER ESTIMATION

(モーションコントロールへの応用のためのカルマンフィルタに関する研究:
デュアルレート・時間遅延補償・パラメータ推定)

氏名 グエンビンミン



The main contributions of this thesis are the developments of the dual-rate Kalman filters and the time-delay compensation Kalman filters to improve the accuracy of the state estimations for motion control applications. Besides that, we introduce the unscented Kalman filter which is a nonlinear filter algorithm for estimating the states and the parameters simultaneously. As shown in the figure of the “Thesis Structure,” the thesis is organized as follows.

Chapter 1 introduces the background and the motivation of the thesis. In this chapter, the definition of motion control is presented. Then, three main problems studied in this thesis are stated.

- 1) *Robust estimation of dual-rate system:* In this thesis, we propose the disturbance accommodation Kalman filter to improve the robustness of dual-rate estimation in which the sampling time of the output measurement equals to multiple times of the control period.
- 2) *Estimation considering the large time-delay of the measurement:* Based on the upper-bound of the estimation error covariance and the μ -gains, a new algorithm for handling the large-time-delay measurement in Kalman filter is proposed.
- 3) *Simultaneous estimation of state and parameter:* In adaptive estimation, the parameters are estimated along with the states. To improve the estimation convergence and simplify the estimation configuration, we introduce the idea such that the parameters are also considered as the extended states. By constructing the

extension state system, the states and parameters are estimated simultaneously using the unscented Kalman filter algorithm.

Part A, including Chapter 2, Chapter 3, and Chapter 4, presents the Kalman filter theories developed and used in this thesis. Chapter 2 presents the robust dual-rate KF based on disturbance accommodation. Chapter 3 presents the Kalman filter for delayed measurement based on the upper-bound scheme. The unscented Kalman filter is introduced in Chapter 4.

Part B, including Chapter 5, Chapter 6, and Chapter 7, presents the motion control applications of the Kalman filter theories presented in Part A. Chapter 5 presents the motion control of electric vehicle using GPS based on the robust dual-rate Kalman filter. In this system, the fusion of GPS receiver with inertia sensors is utilized to obtain the motion variable of the vehicle, such as the sideslip angle, yaw angle, velocity. Three types of motion controls of electric vehicle are demonstrated: lateral stability control, autonomous attitude control, and wheel slip-ratio control. Chapter 6 presents the chip-mounting system in which the time-delay Kalman filter is used to fuse the delayed measurement from the image processing unit with the linear encoder measurement to estimate the position of the target. By compensating the delay and improve the update frequency of the information of the target position, accurate target tracking control is achieved. The minor contribution of this thesis is presented in Chapter 7 in which the augmented system and the unscented Kalman filter are applied to estimate the sideslip angle and the cornering stiffness simultaneously. The key sensors used in this estimation design are the tire lateral force sensors.

Finally, the summary and the future works are given in Chapter 8.

論文の内容の要旨

本論文の主たる貢献はデュアルレートカルマンフィルタ及び時間遅延補償カルマンフィルタの構築によるモーションコントロールにおける状態推定の精度向上である。その他に、動的なシステムにおける状態とパラメータを同時推定する非線形アルゴリズムである無香カルマンフィルタ (Unscented Kalman Filter) についても述べる。論文の構造図に示すように、本論文の構成は以下のようになる。

第 1 章では本論文の背景と動機について紹介する。始めにモーションコントロールを定義し、本論文で解決する三つの主要問題を述べる。

1. デュアルレート系におけるロバスト推定：本論文では、出力のサンプリング周期が制御周期の数倍となるデュアルレート推定のロバスト性改善のため Disturbance Accommodation カルマンフィルタを提案する。
2. 測定的大幅な遅れを考慮した推定：推定誤差共分散の上界を基に、カルマンフィルタにおける測定的大幅な遅延に対応できる新たなアルゴリズムを提案する：[Upper-bound Kalman filter with the μ -gains]。
3. 状態とパラメータの同時推定：観測器・推定器と RLS 同定の組み合わせに基づく様々な推定構成が提案されてきた。推定の収束を改善し、推定構成を簡単にするために、パラメータは拡張状態とみなされるような考えを導入する。拡張状態のシステムを構築することにより、状態およびパラメータが同時に無香カルマンフィルタアルゴリズムを用いて推定される。

パート A に含まれる第 2 章・第 3 章・第 4 章では、この論文で開発し使用されるカルマンフィルタ理論を提示する。第 2 章では Disturbance Accommodation に基づくロバストなデュアルレートカルマンフィルタを紹介し、第 3 章では上界に基づく測定遅延を考慮したカルマンフィルタについて述べる。第 4 章では無香カルマンフィルタを紹介する。

パート B に含まれる第 5 章・第 6 章・第 7 章では、パート A で示されたカルマンフィルタ理論のモーションコントロール応用を提示する。第 5 章ではロバストなデュアルレートカルマンフィルタを利用した、GPS を搭載する電気自動車の運動制御について述べる。このシステムでは、GPS の情報を車載の諸センサの情報と融合させる事によって横滑り角、ヨー角、速度といった車両の状態を得る。第 6 章ではチップ実装において、リニアエンコーダと測定遅延が生じる画像処理ユニットの情報を時間遅延補償カルマンフィルタを使って融合させ、目標からみた制御対象の位置を推定するシステムを示す。第 7 章では本論文のマイナーな貢献として拡張状態と無香カルマンフィルタを適用した状態とパラメータの同時推定について述べる。例として車両の横滑り角とコーナリングスティフネスの推定を行い、提案手法の有効性を実証する。この推定設計で使用される主要センサーはタイヤ横力センサである。

最後に、第 8 章で本論文のまとめ、結論、そして今後の課題を述べる。