

A Thesis for the Degree of Ph.D in Engineering

**Periodic/Aperiodic Separation Filter
for Control and Diagnosis**

February 2020

Graduate School of Science and Technology
Keio University

MURAMATSU, Hisayoshi

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	村松 久圭
主 論 文 題 名 : Periodic/Aperiodic Separation Filter for Control and Diagnosis (制御と診断のための周期／非周期分離フィルタ)					
<p>産業用ロボットをはじめ、自動機械は繰り返し動作を基本としており、周期外乱抑圧に関する制御工学研究が行われてきた。これまでの研究では周期性のみが着目され、制御系の提案がなされてきたが、周期状態および非周期状態の双方を考慮することで、さらなる高機能化が期待できる。そこで、本研究は周期／非周期状態を分離するための周期／非周期分離フィルタの提案を行い、周期／非周期状態フィードバック制御および周期／非周期外乱抑圧制御を実現するとともに、包装機械の異常診断および人間動作の診断への応用展開を示した。</p> <p>第1章では、本研究の背景および目的について関連研究を交えて説明した。</p> <p>第2章では、周期／非周期分離について述べた。まず、周期／非周期状態を定義し、これを分離するための周期／非周期分離フィルタを構築した。周期／非周期分離フィルタは全ての高調波を含む周期状態を抽出できることが特長であり、変動周波数へ適応するため、適応ノッチフィルタに基づく周波数推定器を設計した。</p> <p>第3章では、周期／非周期状態制御について述べた。まず、周期／非周期分離フィルタを用いて状態を周期状態と非周期状態へ分離することで、周期／非周期状態フィードバック制御を構築した。本制御を対象に、周期状態と非周期状態の分離・観測・制御の安定性が分離していることを示す分離定理を証明した。そして本制御をモーションコントロールへ発展させ、周期／非周期運動制御を提案した。外乱に対してロバストな周期／非周期運動制御を速度制御・力制御・インピーダンス制御を周期運動および非周期運動へ割り当てる方法について示した。さらに多軸マニピュレータを用いて実験的にその有効性を確認した。</p> <p>第4章では、周期／非周期外乱抑圧制御について述べた。繰り返し運動が要求される自動機械は、周期外乱によりその動作精度が劣化することが問題となっている。これを解決するため、周期外乱を推定・補償するための周期外乱オブザーバを構築した。さらに、周期外乱に加えて、低周波領域において頻繁に発生する非周期外乱を抑圧するため、周期外乱オブザーバと通常の外乱オブザーバを組み合わせ、よりロバスト性を高めるための改良法を示し、比較実験を通してその有効性を検証した。</p> <p>第5章では、周期／非周期診断について述べた。包装食品の劣化や異物混入を防ぐための産業応用として、周期／非周期分離フィルタを用いた食品包装の異常検知法を構築した。本研究は検査工程の周期性と異常の非周期性に着目することで、高精度な検知を実現した。さらに、周期／非周期分離フィルタを人間の運動学習解析へ応用した。運動学習時の練習における周期性と人間動作の非周期性に着目することで、運動能力改善の検出の分解能を向上することに成功した。</p> <p>第6章では、本研究の成果を要約し、結論とともに展望を述べた。</p>					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> “KOU” <input type="checkbox"/> “OTSU” No. _____ *Office use only	Name	MURAMATSU, Hisayoshi
Thesis Title <p style="text-align: center;">Periodic/Aperiodic Separation Filter for Control and Diagnosis</p>			
<p>Periodicity has been addressed by control engineering research for automatic machines that repetitively operate, such as industrial robots. Nevertheless, a periodic/aperiodic state including both a periodic state and aperiodic state was not considered by previous studies for control. This research proposed a periodic/aperiodic separation filter and realized periodic/aperiodic state feedback control and periodic/aperiodic disturbance compensation. Moreover, the thesis shows applications of the separation filter to anomaly detection and diagnosis of human behavior.</p> <p>Chapter 1 describes the purpose and background of this research.</p> <p>Chapter 2 describes the periodic/aperiodic separation. First, this chapter defines a periodic/aperiodic state and constructs the periodic/aperiodic separation filter to separate a periodic/aperiodic state into periodic and aperiodic states. The periodic/aperiodic separation filter can extract all harmonics of the periodic state. Then, a frequency estimator based on an adaptive notch filter is designed for addressing frequency-varying periodicity.</p> <p>Chapter 3 describes the periodic/aperiodic state control. By using the periodic/aperiodic separation filter, this chapter constructs the periodic/aperiodic state feedback control. Separated stabilities of the separation, observation, and control for the control system is proved as the separation principle. The control is further developed into periodic/aperiodic motion control with six periodic/aperiodic motion controls assigning position, force, and impedance controls to periodic motion and aperiodic motion. This chapter further shows experiments that validated the practicality of the periodic/aperiodic motion control using a multi-axis manipulator.</p> <p>Chapter 4 describes the periodic/aperiodic disturbance compensation. Industrial robots work repetitively and induce periodic disturbances, which impair their precision. This chapter shows a periodic-disturbance observer that estimates and compensates for periodic disturbances. Furthermore, an enhanced periodic-disturbance observer that can suppress both periodic and aperiodic disturbances is mentioned. Finally, comparative experiments are shown.</p> <p>Chapter 5 describes the periodic/aperiodic diagnosis. This chapter describes the diagnostic applications of the periodic/aperiodic separation filter. Periodic/aperiodic separation filter based haptic leak detection and periodic/aperiodic separation filter based proficiency diagnosis are described for industrial food packing inspection and motor learning evaluation, respectively.</p> <p>Chapter 6 summarizes the results of this thesis and presents the conclusions.</p>			