

# 学 位 論 文 の 要 旨

論文題目 : Development of Advanced Control Methods Applicable to Industrial Processing Systems

(産業プロセスシステムに適用可能な先進制御技術の開発)

氏 名 徐 松 印

With the fast development of science and technology, industrial processes such as thermal process, manufacturing process, production process and so on are becoming more and more important, and have higher requirement for the operation performance. Thermal processing system, as one of the most complex processes, has a wide range of applications in the industrial field especially in the food process. For the multi-point (multi-input multi-output) thermal processing systems, temperature control is playing a more and more important role in its application. The proportional-integral-derivative (PID) control technologies have been widely used for most of the industrial processes. However, due to the nonlinearity and large dead time of the temperature control objects, the performance of PID-only control system may not satisfy the expected requirements. Also, the coupling influence and dead time difference in the multi-point temperature system have a significant effect to the transient response of each point.

Two advanced control methods are proposed in this thesis to deal with the two shortcomings mentioned above, respectively. For the coupling influence and dead time difference in the multi-point temperature control system, a pole-zero cancellation method is proposed. While for the nonlinearity and large dead time of the control objects, a reference-model-based artificial neural network (NN) method is proposed.

## 1) Pole-zero cancellation method for multi-point temperature control system

The proposed method is one kind of the model-based advanced control method. In order to realize the model-based advanced control, the system identification method was performed to obtain the plant model of the control object. The detailed introduction of the system identification method for first order plus time delay (FOPTD) system has been presented. Based on the identified plant model, the multi-input multi-output (MIMO) PI control system was designed as such. Due to the strong coupling effect of the controlled object, the decoupling compensation was added into the MIMO PI control system. The experiments for the MIMO PI control system with and without decoupling compensation were then carried out. Upon these foundations, the pole-zero cancellation method has been proposed for the MIMO temperature control system to ensure proper transient response and to

provide more closely controlled temperatures. In the proposed method, the temperature difference and transient response of all points can be controlled by considering the delay time difference and coupling term together with matrix gain compensation, and by investigating the pole-zero cancellation with feedforward reference model to the control loop. The simulations were carried out in the MATLAB/SIMULINK environment, and the experiments were performed based on the DSP controlled system platform. The effectiveness of the proposed pole-zero cancellation method was evaluated by comparing the results to those of a well-tuned conventional PI control system and PI plus decoupling compensation system.

## 2) Reference-model-based Artificial NN control method for temperature control system

In this method, a reference-model-based artificial neural network (NN) control method has been proposed for the temperature control system. Several types of neural network structure and activation function are investigated, and the multi-layer NN structure is chosen with the ReLU function as its activation function. The control system is driven by using the error signal between system output and reference model output as the teaching signal of the NN controller. The proposed method is a reference-model-based NN system combined with I-PD control structure. The reference model and I-PD parameters are designed based on the FOPTD system. The simulation was carried out in MATLAB/SIMULINK environment to evaluate the control performance of the proposed method by comparing with the conventional feedback error learning NN control system. The effectiveness of the proposed method has been evaluated by focusing on the overshoot and transient response of the controlled system. As a result, the robustness of the proposed reference model-based NN control method for the plant perturbation and disturbance has been successfully verified. In addition, the recurrent type NN structure was then introduced to the control system, and simulations were carried out to compare with the feedforward type NN control system. Finally, the experiments of the proposed control method have been carried out on a DSP-based temperature system platform. The results are quantitatively evaluated by taking the transient response into account.

# 学 位 論 文 の 要 旨

論文題目 : Development of Advanced Control Methods Applicable to Industrial Processing Systems

(産業プロセスシステムに適用可能な先進制御技術の開発)

氏 名 徐 松 印

科学技術の急速な発展に伴い、熱プロセス、製造プロセス、生産プロセスなどの産業プロセスがますます重要になり、操作性能に対する要求が高まっている。最も複雑なプロセスの 1 つである熱処理システムは、産業分野、特に食品プロセスにおいて様々な用途で用いられる。多点（多入力多出力）熱処理システムの場合、温度制御はそのアプリケーションでますます重要な役割を果たしている。比例積分微分（PID）制御技術は、ほとんどの産業プロセスで広く用いられている。ただし、温度制御の対象が持つ非線形性と大きなむだ時間により、PID のみを用いた制御では期待する制御要件を満たさない場合がある。また、多点温度システムにおける干渉の影響とむだ時間の差は、各点の過渡応答に大きな影響を及ぼす。

この論文では、上記の課題に対処するため、それぞれに対し新しい制御方法を提案する。多点温度制御システムにおける干渉の影響とむだ時間の差については、極零相殺法を提案する。制御対象の非線形性と大きなむだ時間に対しては、規範モデルベースの人工ニューロネットワーク（NN）制御法を提案する。

## 1) 多点温度制御システムの極零相殺法

提案手法は、モデルベースの新しい制御手法の一つである。モデルベースの高性能な制御を実現するために、制御対象のモデルを取得するためにシステム同定法を行った。ここでは、FOPTD（一次遅れ+むだ時間）システムの同定方法について詳述した。次に、同定されたプラントモデルに基づいて、多入力多出力（MIMO）PI 制御システムを設計した。さらに、制御対象の強い干渉効果を考慮し、MIMO PI 制御システムに非干渉補償を追加した。非干渉補償を使用した場合と使用しない場合の MIMO PI 制御システムの実験を行った。これらの結果を基に、適切な過渡応答特性を達成し、より高精度に温度を制御するため、MIMO 温度制御システムに対して極零相殺法を提案した。提案方法では、むだ時間差と干渉項をマトリックスゲイン補償とともに考慮し、フィードフォワード規範モデルを使用し

て極零相殺法を導入することにより、すべての点の温度差と過渡応答を同時に制御することが可能である。シミュレーションは、MATLAB / SIMULINK 環境で実行し、実験は DSP 制御システムのプラットフォーム上で実行した。提案した極零相殺法の有効性を、適切にパラメータ調整した従来の PI 制御システムと PI プラス非干渉補償システムの結果と比較することにより評価、検証した。

## 2) 温度制御システムのための規範モデルベースの人工 NN 制御方法

本提案では、規範モデルベースの人工ニューラルネットワーク (NN) 制御法を温度制御システム用に応用した。ここでは、いくつかのタイプのニューラルネットワーク構造と活性化関数を比較し、その結果、活性化関数として ReLU 関数を用いた多層 NN 構造を選択している。提案するシステムは、システム出力と規範モデル出力間の誤差信号を NN コントローラーの教師信号として利用する。本手法は、I-PD 制御構造を組み込んだ規範モデルベースの NN 制御システムである。規範モデルと I-PD パラメータは、FOPTD システムに基づいて設計している。シミュレーションは MATLAB / SIMULINK 環境で実行し、従来のフィードバック誤差学習 NN 制御システムと比較し、提案手法の制御性能に関する有効性を評価している。その評価においては、制御システムのオーバーシュートと過渡応答特性に焦点を当てているが、プラントの摂動と外乱に対する提案法の堅牢性も含め、有効性を検証できた。さらに、再帰型 NN 構造を制御システムに導入し、フィードフォワード型 NN 制御システムと比較検証した。最後に、提案した規範モデルに基づく NN 制御方法の有効性を、DSP ベースの温度システムプラットフォームで実験検証し、オーバーシュートと過渡応答特性を含め定量的に評価した。