


# 学位論文の要旨

## Observer design for control systems (制御系のオブザーバの設計法)

氏名 Jessada Juntawongso 

本論文では、非最小位相系に対する未知入力オブザーバの設計法と状態と、系の状態と入力を一定の外乱に対する変数として用いた全線形外乱オブザーバのパラメータ化の2つの手法を提案する。制御系設計において、補償器は制御対象の使用可能な状態変数のフィードバックによってしばしば実現される。これは、制御対象のすべての状態変数が、補償器を実現する変数として計測できなければならないことを示している。しかしながら、実際の制御対象のすべての状態変数を直接計測できることは稀である。そこで、計測できる状態変数から計測できない状態を推定し、制御対象の状態変数を再構成する必要がある。オブザーバは制御対象の使用可能でない状態変数を推定するために利用される。いくつかのオブザーバの設計方法は、状態変数を推定するために制御入力を得ることが要求されている。しかしながら、プラナーガントリークレーンの角度、速度とICエンジントルクの推定のように状態変数と制御入力の両方が利用できない場合には、オブザーバは測定された出力のみを用いて状態変数を推定することが求められる。制御入力を得ることが出来ないなかでその状態を推定する必要がある。このようなオブザーバのことを未知入力オブザーバと呼ぶ。いくつかの論文によれば、未知入力オブザーバが設計できるための必要十分条件は、(c1) 制御対象の出力の次数は制御入力のそれ以上であることと(c2) 制御対象は不安定な不変零点を持たないことが良く知られている。条件(c1)と(c2)はやや厳しいので、様々な研究者が条件(c1)と(c2)を緩和することで未知入力オブザーバを設計する方法を検討している。J. Jinら、F. Amato and M. Mattei, R. Suzukiら、T. Mitaの研究では、条件(c1)を必要としない未知入力オブザーバの設計法が検討されているが、この設計法は条件(c2)を満たさない場合には適用することが出来ない。これに対して、H. HikitaとK. Fuwaraはそれぞれ、第1条件(c1)と(c2)の両方の条件を近似的に解決するために、多項式行列と固有構造配置を用いた設計方法を提案している。しかし、これらの方法は非常に代数的であり結果として得られる制御系の入出力特性を直感的に調整することが困難になる。またA. Termehchy and A. Afsharは条件(c1)と(c2)を満たすようにローパスフィルタで制御プラントを増強することを提案している。しかし、この方法は、拡大系全体の出力を測定するためのセンサの数を増やす必要があり、コストの観点から、元の制御対象が与えられている

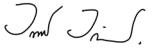
場合には採用しにくいという課題がある。

オブザーバは、外乱を除去するためや閉ループ系をロバスト安定にさせるためにも利用される。外乱の除去を目的としたオブザーバは外乱オブザーバと呼ばれる。さまざまな外乱オブザーバの設計方法に関する研究がある。もし任意の外乱に対するすべての外乱オブザーバのパラメタリゼーションが得られれば、これまでの外乱オブザーバの研究を統一的に表現することが可能となる。しかし、どのような外乱に対しても、すべての外乱オブザーバのパラメタ化は行われていない。

論文では、非最小位相系に対する未知入力オブザーバの設計法と状態と、系の状態と入力を一定の外乱に対する変数として用いた全線形外乱オブザーバのパラメタ化の 2 つの手法を提案する。本論文の第一章では、非最小位相系のための未知入力オブザーバの設計方法と、システムの状態と入力を一定外乱に対する変数として用いた線形外乱オブザーバのパラメタリゼーションについて述べる。これは、制御系設計において、プラントの状態変数を測定することがいかに重要であるかを示したものである。第 2 章では、制御系の意図する帯域幅が指定されている場合に容易に適用可能な、非最小相系に対する未知入力オブザーバの代替設計手法を提案する。この設計手法は、条件(c1)-(c2)や制御対象の拡大を必要としない。もし高周波領域の信号入力を捨てたオブザーバを設計することが出来れば、その結果として得られるオブザーバは未知入力オブザーバとして機能する。さらに提案した設計方法を保管する方法として、得られた未知入力オブザーバを H1 状態フィードバック制御と組み合わせれば、出力フィードバック制御系の構築に利用できることを明らかにした。第三章では、システムの状態と入力を変数として、一定外乱に対する線形外乱オブザーバのパラメトリゼーションを行う方法を提案した。これにより、一定外乱に対する線形外乱オブザーバのパラメトリゼーションが得られた。第 4 章では、今後の研究で期待される各手法の応用をまとめている。

# 学 位 論 文 の 要 旨

## Observer design for control systems (制御系のオブザーバの設計法)

氏 名 Jessada Juntawongso 

In this thesis, two methods have been proposed a design method of unknown input observer for non-minimum phase plants and a parameterization of all linear disturbance observers using the states and inputs of the system as variables for constant disturbances. The State observers are employed to estimate the unavailable state variable of the controlled plant. Several design methods require the access to the control input for estimating the state variable. However, in some cases such as estimation of an IC engine torque and velocity and angle of planar gantry crane, both the state variable and the control input are unavailable, state observers are required to estimate the state variables using only the measured output. Such a state observer is called the unknown input observer. Several papers have been published to design unknown input observers. According to those papers, the unknown input observer for the plant can be designed if and only if the following two conditions hold true: (c1) the number of outputs should be greater than or equal to that of inputs and (c2) the plant has no invariant zero in the closed right half plane. Since the conditions (c1) and (c2) are rather restrictive, some authors have considered designing unknown input observers by relaxing the conditions (c1) and (c2). J. Jin et al., F. Amato and M. Mattei, R. Suzuki et al., and T. Mita considered the problem of designing unknown input observers without requiring the first condition (c1). Unfortunately, those design methods cannot be applied if the second condition (c2) fails. In contrast, H. Hikita, and K. Fuwa tackled approximately lifting both of the first and second conditions (c1)-(c2) via the minimal polynomial bases approach and eigenstructure assignment approach, respectively. Those approaches are highly algebraic and it is difficult to intuitively tune the input-output characteristics of the resulting control systems. A. Termehchy and A. Afshar proposes to augment the controlled plant with a low-pass filter so that the augmented plant satisfies the conditions (c1)-(c2). The design method in A. Termehchy et al. requires to increase the number of sensors for measuring the overall output of the augmented plant, and hence

from a cost-aware point of view it is not readily employed when the original plant is given.

On the other hand, the observer is also used to cancel disturbances or make a closed-loop system robustly stable. The observer to cancel disturbances is called the disturbance observer. There are several research about the design method of the disturbance observer. If the parameterization of all disturbance observers for any disturbance could be obtained, this research could be expressed in a uniform manner as previous studies of disturbance observers. However, there is no parameterization of all disturbance observers for any disturbance.

In this thesis, chapter I, it is presented the description about a design method of an unknown input observer for non-minimum phase plants and a parameterization of all linear disturbance observer using the states and inputs of the system as variables for constant disturbances. The reason is how important to measure a state variable of a plant in the control system design,

In chapter 2, it is proposed that alternative design methods of unknown input observers for non-minimum phase plants that are handily applicable when the intended bandwidth of the control system is specified. The proposed design methods do not require neither the conditions (c1)-(c2) nor plant augmentation. If one can design a state observer discarding the high-frequency-range signal components of the control input, then the resulting state observer works as an unknown input observer. Furthermore, as a complement to the proposed design methods, it is cleared to describe that the resulting unknown input observers can be employed for constructing output feedback control systems if it is combined with the H1 state feedback control.

In chapter 3, the method for the parameterization of linear disturbance observers for constant disturbances has been proposed by using the states and inputs of the system as variables. The parameterization for constant disturbances was obtained.

In chapter 4 shows the summarization of the performance of each method presented with the expected future studies.