

Development of Graphical User Interface for a System Identification Support Device

Hiroyuki Takanashi Member (Akita Prefectural University, takanashi@akita-pu.ac.jp)

Shuichi Adachi Member (Keio University, adachi@appi.keio.ac.jp)

Keywords: system identification, identification device, SITB, Graphical User Interface (GUI)

This paper describes a development of graphical user interface for a system identification device. The identification device executes system identification operations in interactive manner. We have been developing graphical interfaces of the identification device. In this paper, we call the interface “GUI-SITB”.

A basic system identification procedure consists of following steps;

- collecting I/O signal(s),
- preprocessing the I/O signal(s),
- executing identification algorithm and estimating a model parameters, and
- validating the estimated model.

Since one of the objectives of system identification is designing control systems, we include control systems design to the above steps. Because of a diversity of system identification, system identification results in different models depend on various identification conditions. It is an advantage of system identification. However, the diversity makes system identification problems more complex for beginners. Thus, a standard identification procedure is necessary for beginners, we call it “standardize”. The standardize means that the user obtain the same results whenever the identification is done under the same conditions.

The system identification device is desirable ways to standardize system identification procedures, since graphical interface is one of the most familiar interface for user. The GUI-SITB utilizes an advantage that the interface can provides identification procedures in turn for user.

The GUI-SITB supports the users, in particular beginners, who execute above processes. Main algorithm in the GUI-SITB is System Identification Toolbox (SITB) of MATLAB.

Figure 1 shows a main screen of the GUI-SITB. This GUI has five menus in left side of the window as a push button form. These menus are classified based on standard system identification procedure. The five menus are

- generating input signal(s),
- collecting I/O signal(s),
- preprocessing the I/O signal(s),
- estimating a model and validating the model, and
- designing a controller.

An example of generated input signal is shown in Fig. 2. Generating input signal is one of the most important step in system identification procedure. Then, it is desirable that input signal contains many frequency components and has large amplitude.

Moreover, there are some important steps in system identification. In preprocessing, user must eliminates all the undesired elements in the signals. The GUI supports the above preprocessing, iteratively. Evaluation of the estimated model is also important in system identification. The GUI-SITB provides both qualitative and quantitative evaluation results. The qualitative evaluations are diagram representations, *i.e.*, bode diagram, comparison of output with reference model, pole-zero map and so on. On the other hand, quantitative ones are error rate in frequency domain and fitting rate in time domain. Control systems design method is also implemented.



Fig. 1. Main screen of GUI-SITB

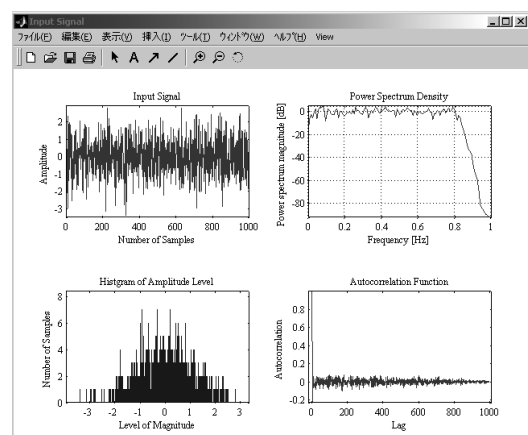


Fig. 2. Generated input signal and its characteristics

システム同定支援装置のインターフェースの開発

正員 高梨 宏之* 正員 足立 修一**

Development of Graphical User Interface for a System Identification Support Device

Hiroyuki Takanashi*, Member, Shuichi Adachi**, Member

This paper describes an interface for a system identification device on which system identification theory is implemented. A basic system identification procedure includes following steps; 1) collecting I/O data, 2) preprocessing the I/O data, 3) executing identification algorithm and constructing a model, and 4) validating the estimated model. System identification produces different results depend on various identification conditions. This results in a diversity of system identification. On the other hand, the diversity makes system identification problems more complex. The system identification device supports the user, in particular beginners, who execute above processes. The device utilizes MATLAB as a main processing software with a GUI in order to deal with the system identification processes visually. The system identification device is one of the most desirable ways to standardize system identification operations.

キーワード：システム同定，同定装置，システム同定ツールボックス，グラフィカル・ユーザインターフェース

Keywords: system identification, identification device, SITB, Graphical User Interface (GUI)

1. はじめに

近年，さまざまなシステムのモデリングにシステム同定^{(1)~(4)}が利用されている。メカニカルシステムのモデリング⁽⁵⁾に限らず，経済や環境分野においても積極的に利用されている^{(6)~(8)}。システムのモデリング法は，良く知られているように，物理モデリングが基本である。しかしながら，大規模かつ複雑なシステムや化学プロセスなどを，物理法則のみに基づいてモデリングすることは困難である。そのような場合，システム同定の利用が効果的である。システム同定は，対象の入出力データに基づいて動特性を決定する方法であり，物理モデリングと相対するモデリング法である。また，両者を併用することにより，より高精度なモデルを構築することも可能である。

システム同定は，従来から“芸術的な手法”と形容されることがある。これは，物理モデリングが自然法則に基づく手法であるのに対し，システム同定では経験（ノウハウ）に基づく処理が含まれるためである。つまり，システム同定

によって得られるモデルの精度は，それまでの経験に大きく左右されてしまうことを暗示している。そのため，システム同定の経験者は高精度なモデルを構築できるのに対し，初心者[†]は精度の高いモデルを構築することができず，結局システム同定の適用を止めてしまうことも考えられる。

システム同定は入出力データの取得から始まり，最終的に，得られたモデルを評価するまでの手順があり，その間にも様々な処理を行う必要がある。それらの処理をどのように行うかによって最終的に得られるモデルの精度が影響を受ける。このような数多くの手順がシステム同定を複雑にしている一因であると考えられる。本論文では，ユーザにシステム同定の手順を提示することで，ユーザの経験に依らず同じ結果が得られるような環境を構築すること[‡]を目指す。

実システムへの適用という観点からは，システム同定理論に基づくハードウェアを開発することで，システム同定の利用がさらに増加すると期待される。そのためにも，システム同定の手順を提示するようなインターフェースの開発が必要である。ここでは，MATLABで利用可能なSystem Identification Toolbox⁽⁹⁾（SITB）を用いてシステム同定演算を行うことを前提とする。関連するすべての手順をMATLABで実行できるようにするために，SITBをベースとして，グラフィカルな対話によってシステム同定を実行

* 秋田県立大学 システム科学技術学部
〒015-0055 由利本荘市土谷 84-4
Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University
84-4, Tsuchiya, Yurihonjo 015-0055

** 慶應義塾大学 理工学部
〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1
Faculty of Science and Technology, Keio University
3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522

[†]ここでは，システム同定の学習，研究を始めたばかりの人を指す。

[‡]このことを本論文では標準化と呼ぶ。

する環境を開発する。GUI の特徴を活用し、システム同定の手順を順次提示することにより、実行手順の複雑さという問題点を解決することを目指す。

本論文の構成は以下のとおりである。2 章では、本研究で開発を目指すシステム同定支援装置の構成について述べる。3 章では、開発したインターフェースの機能を説明し、4 章で初心者が本システムを利用する利点を述べる。5 章で現時点での問題点と今後の開発について述べ、最後に 6 章でまとめる。

2. システム同定支援装置

システム同定には様々な処理や演算が存在し、いずれも重要な過程である。システム同定を適用する際の最初の問題点は入力信号の生成である。なぜなら、適切な入力信号によって対象の動特性をできる限り励起する必要があり、得られるモデルの精度に直接影響するためである。また、測定した入出力データには高周波雑音などの不要成分が含まれることから、同定アルゴリズムに通す前に必ず何らかの前処理を施すことも重要である。最後に、システム同定アルゴリズムを通して得られたモデルが、対象の主要な動特性を記述しているかを判断する必要がある。もし、これが満たされていない場合には、前処理や同定演算を再度行う必要がある。場合によっては、入出力データの取得や入力信号の生成からやり直す必要もある。

図 1 にシステム同定のフローチャートを示す。システム同定が難しいとされる理由の一つが、複数の前処理法の存在、多数の同定法の存在であるといえる。また、システム同定における評価は経験的な評価の比重も大きい。そのため、初心者が十分な判断を下すことが難しい場合がある。

理論を実用化する際に重要なことは、使いやすさである。

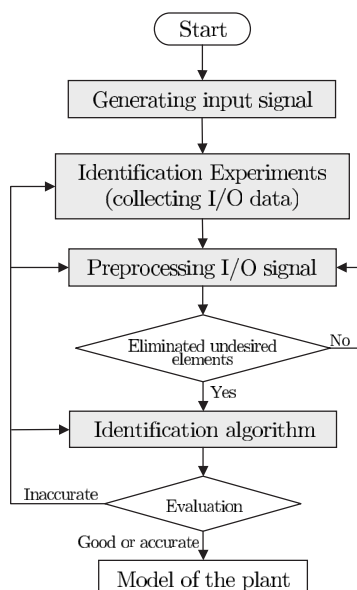


図 1 システム同定のフローチャート

Fig. 1. Flowchart of a system identification procedure.

つまり、いかに優れた理論であっても、ハードウェアやソフトウェアでの実現の結果、操作が非常に複雑であったり理解し難いものとなってしまえば普及の障害となる。システム同定の場合、理論体系は確立されているものの、標準化されていないことが、初心者が適用を迷う一因となっている。

また、サーボアナライザや FFT アナライザが産業の現場で広く利用されている理由を考えると、計測器であるために利用しやすいということが挙げられる。サーボアナライザは周波数応答の原理を実現した計測器であり、簡便かつ信頼度の高い機器の一つである。すなわち、理論を実装したものであっても、ハードウェアやソフトウェアの操作手順が複雑なものになっておらず、理論の実用化が成功した典型的な例といえる。サーボアナライザのようにハードウェアでシステム同定理論を実現することができれば、システム同定の使い勝手が向上し、さらなる普及が期待できる。

本論文では、システム同定理論をハードウェアで実現するために必要なインターフェースの開発を行う。システム同定支援装置のプロトタイプ構成を図 2 に示す。現時点では、ノート型 PC と AD/DA 変換器で構成することを検討しているが、最終的には一体型とすることを目指す。また、持ち運びすることを前提とし、できる限り小型で軽量の構成にすることを目指す。

ところで、MATLAB の SITB には、あらかじめ GUI 環境が整備されている。しかし、この GUI 環境は、システム同定とそれに必要な信号処理に特化したものであり、また、初心者にとって必ずしも使いやすい環境であるとはいえない。以上のような理由からも、システム同定を GUI で実行する環境を整備することの必要性は高いといえる。

3. インターフェースの機能

システム同定支援装置用 GUI の詳細を以下で述べる。開発時の環境は表 1 のとおりである。開発に使用した MATLAB のバージョンは R13.1 であるが、新バージョンへの対応は比較的容易である。なお、この GUI を正確に動作さ

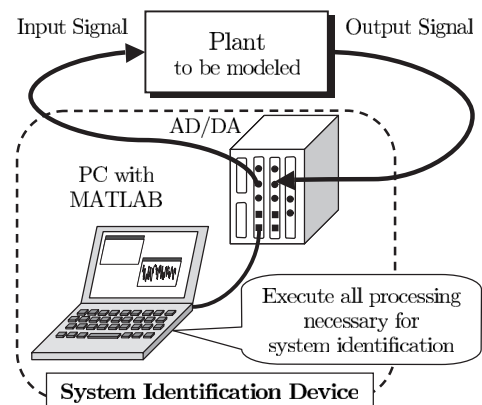


図 2 システム同定装置の構成

Fig. 2. System identification device.

表 1 開発環境

Table 1. Development environment.

Software	Version
OS	Windows 2000(SP4)
MATLAB	Version 6.5(R13) SP1
Control System Toolbox	Version 5.2.1
SYSID Toolbox	Version 5.0.2
Signal Proc. Toolbox	Version 6.1
Simulink	Version 5.1



図 3 GUI の起動画面
Fig. 3. Main screen of GUI.

せるためには、Signal Processing Toolbox, SITB などが必要である。図 3 に GUI の起動画面を示す。

この GUI には、

- 入力信号の生成
- システム同定実験
- 入出力データの前処理
- システム同定演算と評価
- 制御系設計

の 5 項目を実装した。これは、広義のシステム同定に基づいて設定した項目である。システム同定の枠組みからみると制御系設計はそれを外れているが、システム同定の目的の一つが制御系設計のためのモデリングであることから、機能の一つとした。以下では、これらの項目の詳細を述べる。

〈3・1〉 入力信号の生成 システム同定によってモデリングを行うとき、得られるモデルの精度は対象に印加する入力信号の特性に大きく依存する。そのため、入力信号の生成は重要なステップである。システム同定実験では対象のもつ動特性を十分に励起しなければならないため、周波数特性や振幅特性を十分に考慮する必要がある。

ここでは、SITB に用意されている同定入力生成コマンド `idinput` を利用した。生成可能な信号は、

- 正規性ランダム信号
- ランダム 2 値信号
- M 系列信号
- 正弦波信号 (複数周波数)

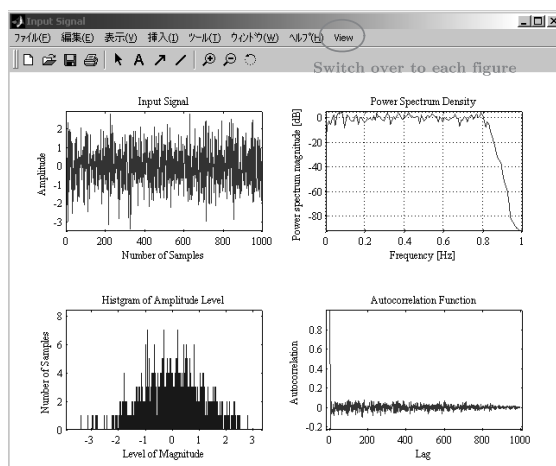


図 4 入力信号の生成画面
Fig. 4. Generating input signals.

である。生成する信号を選択後、それに応じて表示されるいくつかのパラメータを設定することにより、時系列が表示される。また、パワースペクトルやヒストグラムなどをバックグラウンドで計算しており、ツールバーの「View」メニューによって各図を切替えたり、すべての図を同時に表示することも可能である (図 4)。このとき表示される周波数範囲は、 F_s をサンプリング周波数として $[0, F_s/2]$ である。生成した信号の特性を図 4 によって評価し、特性を見比べながら信号生成を繰り返し実行することができる。

また、多入力システムの同定には複数個の無相関な信号が必要である。本 GUI 上でも複数個の無相関な信号を生成することができる。その場合、図 4 のように表示されるのは第一番目の信号の特性である。信号同士のすべての相関を表示することにより、生成した信号の無相関性を図的にチェックできる。

〈3・2〉 システム同定実験 本システムでは、設計した入力信号を用いて、MATLAB をベースとしてシステム同定実験を実行できる構成とした。図 3 のメイン画面上にある「Identification Experiment」を選択後にダイアログボックスが表示され、シミュレーションと実システムを選択するようにした。これは、本 GUI がシステム同定手順の習得を一つの目的としており、たとえ実システムがなくても、システム同定の一連の手順をすべて実行できるようにしたためである。シミュレーション用の同定対象には教科書レベルのシステムを採用したが、これ以外にもユーザが作成した同定対象のモデルを利用することも可能にし、できるだけ汎用性のある構成とした。図 5 にシミュレーションによるシステム同定実験の実行画面を示す。

システム同定実験の主な設定パラメータは、シミュレーション、実システムの場合ともに、

- 入力信号
- データ収集のサンプリング周波数
- 実験時間

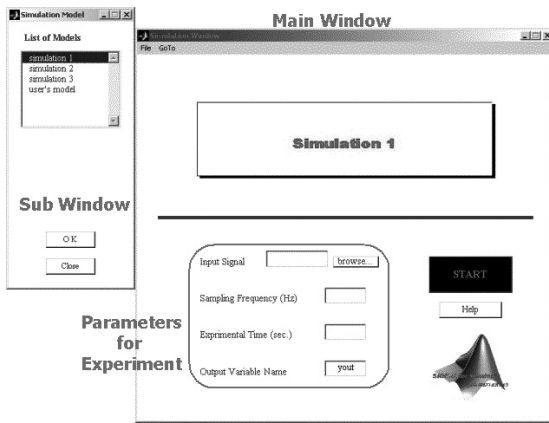


図 5 システム同定実験画面

Fig. 5. System identification experiment.

● 出力ファイル名

とした。システム同定実験が終了すると、必要な入出力信号が自動的に保存される。

〈3・3〉 入出力データの前処理 入出力データの前処理は、入力信号の生成と並んで、システム同定の精度を大きく左右する重要なステップである。測定したデータには、高周波ノイズが混入していたり、トレンドなどの低周波外乱が存在したりする。また、計測器の一時的な異常により、データの一部が欠損していることも考えられる。あるいは、通常、一定のサンプリング間隔でデータを収集するが、何らかの原因により不等間隔でサンプリングされていることも考えられる。このようなデータを直接用いてシステム同定演算を実行しても、正確なモデルを求めることは困難である⁽¹⁰⁾。そのため、同定演算を実行する前に適切な処理を施す必要がある。

前処理を行う場合には、その信号を

- 時間領域で確認すること
- 周波数領域で確認すること

が重要である。つまり、「どのような処理が必要か」をまず視覚的に判断するためである。

本システムでは基本的な処理として、

- トレンドの除去
- デシメーション
- リサンプリング
- フィルタリング (ローパス, ハイパス, バンドパス)

などを実装した。たとえば、システム同定実験での入出力信号の計測は、サンプリング定理を満たすように行われるのが一般的であるが、対象の特性がわからない場合には、可能な限り短いサンプリング周期で入出力信号を測定し、デシメーションによってデータを間引くことでサンプリング周期を荒くするという手法がしばしば利用されている。

それぞれの処理にはいくつかの設定パラメータを用意しているが、その設定もできるだけ単純なものとなるようにした。GUI 上では、一度データを読み込んだ後は、処理と保存を繰り返すことで、処理前後のデータを時間領域と周波

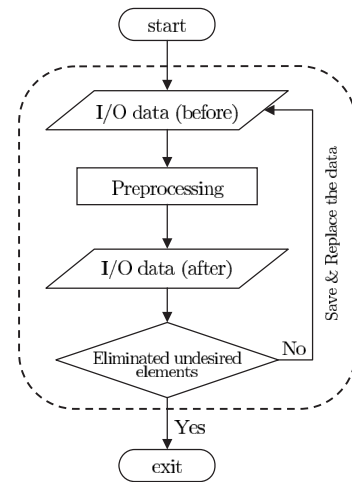


図 6 入出力信号の前処理画面

Fig. 6. Flowchart of preprocessing the I/O signal.

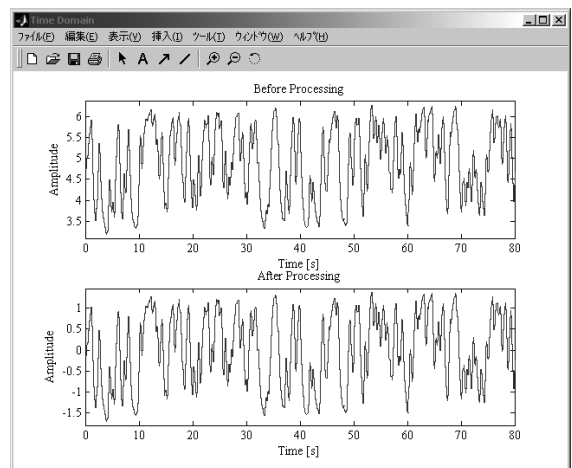


図 7 入出力信号の前処理 (上: 処理前, 下: 処理後)

Fig. 7. Preprocessing I/O signals (upper: before preprocessing, lower: after preprocessing).

数領域で表示しながら継続して処理を続けることができる。前処理におけるデータのフローチャートを図 6 に示す。つまり、破線内部の処理を必要な回数だけ繰り返すことになる。図 7 にバイアスを除去したときの時間領域の結果を示す。上段に処理前の時系列が、下段に処理後の時系列が表示される。また、周波数領域では処理前後の信号のワースペクトルを表示する。

〈3・4〉 システム同定演算と評価 以上に述べたシステム同定実験および入出力信号の前処理を実行することで、システム同定演算を実行する準備が完了する。図 3 のメイン画面から「System Identification」を選択し、システム同定演算に使用する入出力データを指定することで、図 8 の特性が別ウィンドウに表示される。これも図 4 と同様に、ツールバーに追加した「View」メニューで表示を切り替えることが可能である。

システム同定演算には、

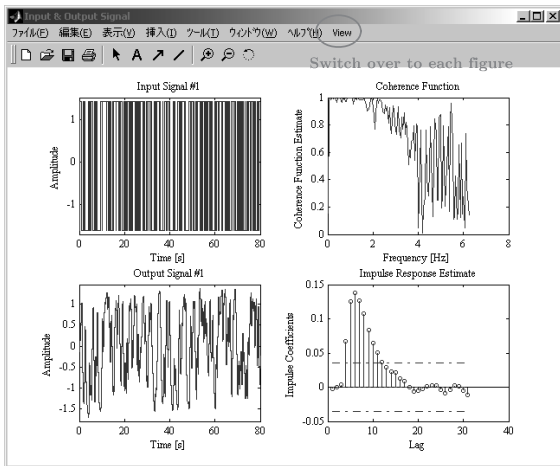


図 8 システム同定用の入出力データ表示
Fig. 8. I/O data for system identification.

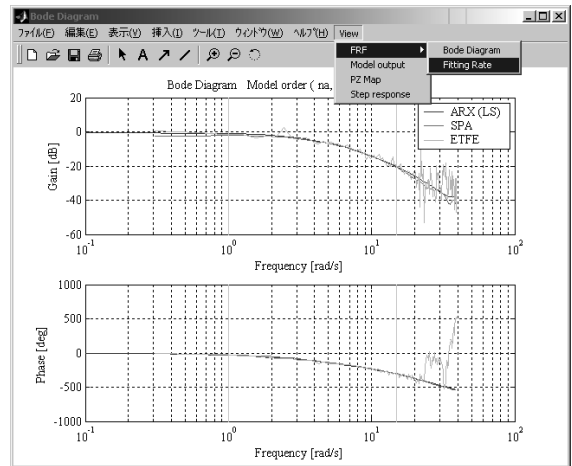


図 9 システム同定結果——ボード線図
Fig. 9. Identification result—Bode diagram.

- 最小二乗法による ARX モデル
- 予測誤差法による ARMAX モデル
- 予測誤差法による OE モデル
- 部分空間法⁽¹¹⁾⁽¹²⁾による状態空間モデル

を実装した。まず、モデル構造として最も簡単である ARX モデルを取り上げた。また、多入出力システムの同定を行う場合、状態空間モデルが有効である。ARX モデルでは不必要に次数が高くなる可能性があるため ARMAX モデルを実装した。さらに、伝達関数形式の式誤差モデルとして OE モデルを実装した。

SITB には以上のほかにも同定モデルが用意されているが、ここでは、式誤差法である最小二乗法と出力誤差法である部分空間法という観点で同定法を実装した。これにより、システム同定の結果から、対象がモデリングしやすいシステムかどうかを判断することができる。なぜなら、両者の差が小さいということは、モデル化誤差が少ないことを意味するからである。これらのモデルは、システム同定ではパラメトリックモデルと呼ばれており、これに対して、周波数伝達関数やステップ応答などはノンパラメトリックモデルと呼ばれる。

同定結果は、主に図で表示する構成とした。ただし、ボード線図と出力の比較に関しては数値評価も導入した。表示される結果は、

- 周波数特性 (図の評価, 数値評価)
- 出力の比較 (図の評価, 数値評価)
- 極零マップ (図の評価)
- ステップ応答 (図の評価)
- 残差 (図の評価)

である。これらの結果も、図 9 に示すように、ツールバーの「View」メニューで表示する結果を選択することにより切替えが可能である。

まず、周波数特性の表示では、リファレンスとしてノンパラメトリックモデルであるスペクトル解析法 (SPA) とフー

リエ解析法 (ETFE: Empirical Transfer Function Estimate) を用いた。さらに、周波数特性を数値的に評価するための基準としては、スペクトル解析法を採用した。評価方法は、任意の帯域での平均的な誤差とし、次式より得られる。

$$E_f = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \{G(j\omega_i) - \widehat{G}(j\omega_i)\}^2} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $G(j\omega)$ はスペクトル解析によって得られたモデルのゲイン、 $\widehat{G}(j\omega)$ はシステム同定によって得られたモデルのゲインである。デフォルトではシステム同定演算時に指定した全帯域での平均的な誤差が表示されるが、図 9 のようにメニューを選択することで、ユーザが指定した任意帯域の誤差を表示することも可能である。

つぎに、同定結果の定量的な評価規範として、モデル出力の一致度

$$MSF(\%) = 100 \times \left(1 - \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^N (\widehat{y}(k) - y(k))^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (y(k) - \bar{y})^2}} \right) \dots \dots \dots (2)$$

を用いた。ここで、 $y(k)$ は測定出力、 $\widehat{y}(k)$ はモデル出力、そして \bar{y} は測定出力の平均値であり、

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N y(k) \dots \dots \dots (3)$$

によって得られる。評価規範 (2) 式は、検証用の入力信号をモデルに入力したときの出力と検証用の出力信号の一致度を百分率で測るものである。よって、この値が大きいほど精度の高いモデルであるといえる。測定出力とモデル出力の比較例を図 10 に示す。

以上のほかにも、ステップ応答、極零マップ、そして残差の

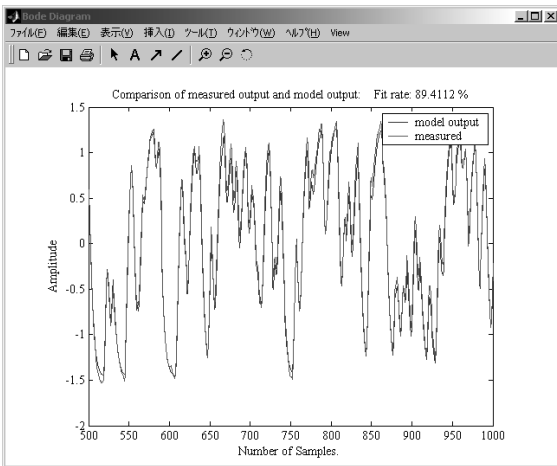


図 10 システム同定結果——実出力とモデル出力の比較

Fig. 10. Identification result—Comparison of measured and estimated output.

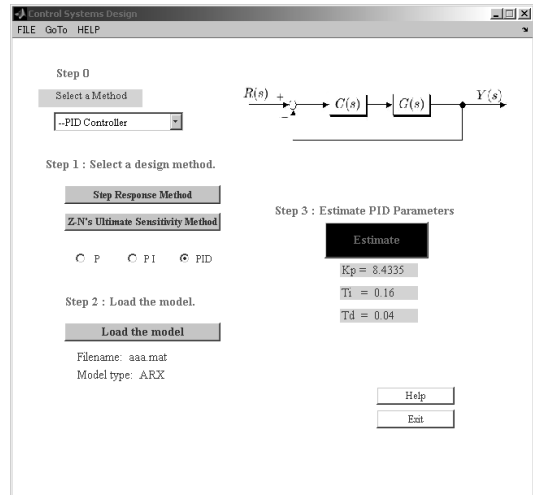


図 12 PID コントローラの設計

Fig. 12. Design of PID controller.

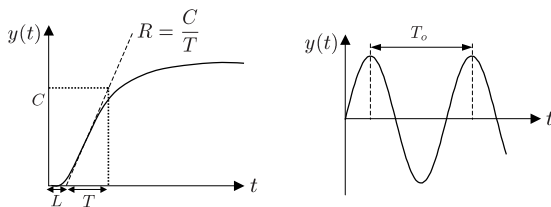


図 11 ステップ応答法と限界感度法

Fig. 11. Step response and ultimate sensitivity method.

表示を行うことができる。その中で残差は、同定によって得られたモデルの出力と測定データの差を評価したものであり、これが小さいほうが良いモデルであるといえる。さらに、残差解析の結果から、システム同定に利用したデータの良し悪しを判断することもできる。

〈3・5〉 制御系設計 制御系の設計法は、古典制御から現代制御において非常に多くの手法が提案されている。本ツールボックスにすべての設計法を実装することはほとんど不可能であり、非現実的である。本装置の開発時に、利用者がシステム同定の初心者であることを想定しているため、制御系設計に関しても同様に初心者を対象とした。そこで、PID 制御器の設計法を実装することとした。PID 制御⁽¹³⁾は古典制御の枠組みで開発された手法であり、構造が簡単のため、現在も産業界において広く用いられている制御法である⁽¹⁴⁾。

ここでは、PID 制御器の基本的な設計手法である

- ステップ応答法
- 限界感度法

を実装した。図 11 に示すように、ステップ応答法は対象の時定数 (T)、むだ時間 (L) およびステップ応答曲線の最大勾配 (R) から PID パラメータを求め、限界感度法は、持続振動が生じるときのゲイン (K_0) とそのときの振動周期 (T_0) からパラメータを決定する方法である⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。図 12

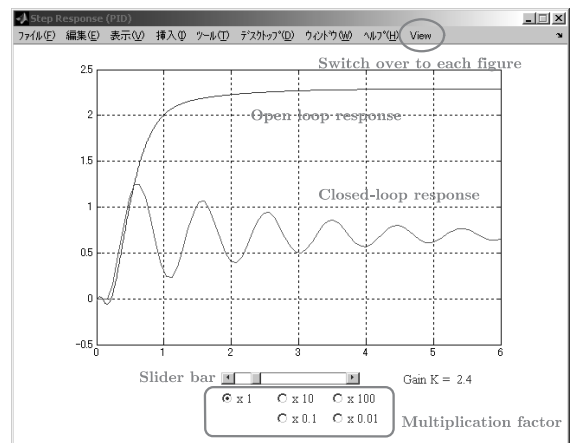


図 13 ステップ応答に基づく PID パラメータの決定

Fig. 13. Determination of PID parameters based on step response.

に制御系設計時の GUI 画面を、図 13 に限界感度法の設計過程を示す。図 12 の Step 3 において、「Estimate」ボタンを押すことで図 13 のような開ループ、閉ループシステムのステップ応答が表示される。閉ループの応答が持続振動となるゲインをスライダーによって調整し、そのときの PID 係数が図 12 に表示される。

ただし、ここで実装した制御系設計法は、あくまでも簡易的な手法であり、求められたパラメータを基に再調整することが必要である。

〈3・6〉 ヘルプ機能 最後に、ヘルプ機能について簡単に述べる。本システムでは、〈3・1〉節から〈3・5〉節までのすべてのステップにおいて、ヘルプを参照できるように、各ステップのメイン画面上およびツールバーに「ヘルプ」を実装している。

ヘルプには、ソフトウェアのインストール方法、基本的な操作法および典型的なトラブルへの対処法⁽¹⁷⁾がまとめられている。最終的には、初心者が一人で同定演算を実行で

きる程度のヘルプ機能とすることを目指す。

4. システム利用の利点

初心者がシステム同定を適用する場合、手順の複雑さなどによって精度の低いモデルしか得られないことが起こり得る。そのような問題点を解決するための一つの手段が、本論文で開発したインターフェースである。本システムを利用する利点として、つぎのようなことが挙げられる。

- システム同定の手順に迷わない。
- ユーザに次の手順を明示できる。
- システム同定の標準的な手順を学習できる。
- ユーザによるプログラミングがほとんど不要である。

また、本システムでは各ステップごとにできるだけ多くの図を表示する構成としている。これは、前処理や同定演算の結果の図からユーザが多くのことを判断できるようにするためである。たとえば、同定に使用する入出力データにアウトライアや欠損データが含まれている場合、それらは同定演算の前に取り除かれなければならない。アウトライアを目視によって検出することは可能であるが、欠損データを目視のみで検出するには限界がある。そのため、欠損データを含んだまま同定演算が行われることがある。この影響が残差の振幅に現れる。残差の振幅が極端に大きな箇所にデータの異常が存在することを意味する。よって、このような場合には再度前処理を行い、同定アルゴリズムに通す必要がある。

本システムは、システム同定を短期間で系統的に学習するための一つのツールになり得るものと考えられる。表2にシステムの有用性に関する比較の一例を示す。

5. 問題点と今後の開発課題

4章で示したように、本システムを利用することの利点は多いが、その一方で問題点も挙げられる。それは、ブラックボックス化されたソフトウェアのため、内部での演算を理解せずに利用できてしまうことである。つまり、本システムをシステム同定の習得用として利用するにも関わらず、アルゴリズムなどの重要な部分を理解できなくなる恐れが考えられる。

広義のシステム同定をハードウェアで実現しようとする、非常に多くの機能が必要となり、本来の対象である初心者が利用することが難しくなってしまう。しかし、単にシステム同定演算を実現するだけでは初心者がシステム同定を習得する上で不十分である。そのため、できるだけ簡単でありながら、かつシステム同定に十分なだけの機能を

有したシステムとすることが理想である。

現時点では、

- データ形式、変数名の制約
- GUIプログラムの最適化
- 設定パラメータの単純化

などが主な問題点である。一つ目は、入出力データの変数名を固定しているため、任意の変数名を付けたデータに対応できないことである。二つ目は、本研究の第一の目的が、初心者がシステム同定を利用しやすいGUI環境を構築することであるため、GUIアルゴリズムの最適化に関して考慮していないことである。そのため、場合によっては実行速度に影響が現れる可能性もある。また、設定パラメータは主に関数の入力引数としているが、システム同定を可能な限り自動化するためには、この設定もできるだけ単純化する必要がある。

本論文で述べた機能により、最低限のシステム同定演算を実行することは可能である。しかし、使いやすさなどを考慮し、今後は

- 前処理法の充実
- 同定モデルの追加
- 制御系設計法の追加
- ヘルプ機能のさらなる充実

を重点的に行う必要がある。また、ユーザによる評価の曖昧さを低減するとともに、前処理や同定演算結果に基づいて、結果を改善する可能性がある処理法などを提示する機能の実装が必要である。さらに非線形システムへの対応も視野に入れている。

6. おわりに

本論文では、システム同定の初心者を対象として、システム同定ツールボックスをGUIに基づいて利用する環境を構築した。初心者が処理過程に迷うことなく利用できることを第一の目的とし、GUIの利点を活用して処理手順を順に提示する構成とした。また、本システムを利用することでシステム同定の一連の手順を学習できるようにするため、ヘルプ機能の充実を目指した。

3章で示した項目を順に実行することにより、システム同定の標準的な手順を学ぶことができる。また、それぞれの項目を独立に利用することも可能であるため、ユーザのニーズに合わせて使用することもできる。今後は、本システムをハードウェアで実現することを目指す。

(平成18年5月22日受付, 平成18年10月24日再受付)

表2 システムの有用性

Table 2. Usefulness of the system.

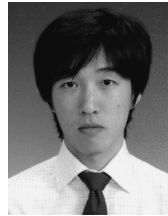
	With GUI	Without GUI
Procedure	○	×
Programming	unnecessary	necessary
Educational use	○	×

文 献

- (1) L. Ljung: "System Identification—Theory for the User (2nd Ed.); Englewood Cliffs", NJ:Prentice Hall PTR (1999)
- (2) S. Adachi: "System Identification for Control using MATLAB", Tokyo Denki Univ. Press (1996) (in Japanese)
足立修一:「MATLABによる制御のためのシステム同定」, 東京電機大学出版局 (1996)

- (3) T. Katayama: "Introduction to System Identification", Asakura Publishing (1994) (in Japanese)
片山 徹:「システム同定入門」, 朝倉書店 (1994)
- (4) T. Katayama: "System Identification—Approach from Subspace Method—", Asakura Publishing (2004) (in Japanese)
片山 徹:「システム同定—部分空間法からのアプローチ—」, 朝倉書店 (2004)
- (5) H. Takanashi, H. Kato, A. Toukairin, T. Mayama, S. Wakui, and S. Adachi: "Multivariable System Identification Experiments for Semiconductor Exposure Apparatus Supported by Anti-Vibration Units Using Subspace Method", *Trans. of ISCIE*, Vol.14, No.7, pp.339–346 (2001) (in Japanese)
高梨宏之・加藤宏昭・東海林 敦・間山武彦・涌井伸二・足立修一:「部分空間法による除振マウント支持の半導体露光装置に対する多変数システム同定実験」, システム制御情報学会論文誌, **14**, 7, pp.339–346 (2001)
- (6) C. Chiarella and S. Gao: "Direct estimation of a continuous time model of the stock market", *Proc. IFAC Symposium on System Identification 2006*, pp.1282–1287 (2006)
- (7) C. Mocenni and A. Vicino: "Modelling ecological competition between seaweed and seagrass: A case study", *Proc. IFAC Symposium on System Identification 2006*, pp.732–737/1281 (2006)
- (8) P. Young and H. Garnier: "Identification and estimation of continuous-time rainfall-flow models", *Proc. IFAC Symposium on System Identification 2006*, pp.1276–1281 (2006)
- (9) L. Ljung: "System Identification Toolbox User's Guide", The MathWorks Inc. (1995)
- (10) S. Adachi and M. Tanji: "A system identification method for nonuniform sampling data based on missing data estimation", *The IEE Japan*, Vol.122-C, No.8, pp.1383–1384 (2002-8) (in Japanese)
足立修一・丹治雅之:「欠損データ推定に基づく不等間隔サンプリングデータに対するシステム同定法」, 電学論 C, **122**, 8, pp.1383–1384 (2002-8)
- (11) P. Van Overschee and B. De Moor: "N4SID: Subspace algorithms for the identification of combined deterministic-stochastic system", *Automatica*, Vol.30, No.1, pp.75–93 (1994)
- (12) M. Viberg: "Subspace-based methods for the identification of linear time-invariant systems", *Automatica*, Vol.31, No.12, pp.1835–1851 (1995)
- (13) N. Suda: "PID Control", Asakura Publishing (1992) (in Japanese)
須田信英:「PID 制御」, 朝倉書店 (1992)
- (14) H. Özbay: "Introduction to Feedback Control Theory", CRC Press (2000)
- (15) T. Higuchi: "Automatic Control Theory", Morikita Shuppan (1989) (in Japanese)
樋口龍雄:「自動制御理論」, 森北出版 (1989)
- (16) 山本重彦・加藤尚武:「PID 制御の基礎と応用 (第 2 版)」, 朝倉書店 (2005)
- (17) S. Adachi: "Advanced System Identification for Control using MATLAB", Tokyo Denki Univ. Press (2004) (in Japanese)
足立修一:「MATLAB による制御のための上級システム同定」, 東京電機大学出版局 (2004)

高梨宏之 (正員) 1975 年 11 月 29 日生。2003 年宇都宮大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月立命館大学総合理工学研究機構ポスドク研究員。2004 年 7 月秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科助手となり、現在に至る。システム同定とその応用研究に従事。博士 (工学)。計測自動制御学会, システム制御情報学会などの会員。



足立修一 (正員) 1957 年 10 月 19 日生。1986 年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年 (株) 東芝入社, 総合研究所に勤務。1990 年宇都宮大学工学部電気電子工学科助教授, 2002 年同教授, 2003 年から 2004 年ケンブリッジ大学客員研究員, 2006 年慶應義塾大学理工学部物理情報工学科教授となり, 現在に至る。工学博士。システム同定理論・制御理論と, それらの産業応用に関する研究に従事。1993 年 SICE 創立 30 周年記念著述賞 1 等受賞。1998 年日本機械学会賞 (論文) 受賞。計測自動制御学会, 日本機械学会, IEEE などの会員。

