

myRIO を用いたシステム同定に関する研究

— 工学実験への導入について —

笠原雅人^{*1}, 越村太一^{*2}

Study on System Identification using myRIO — Introduction to engineering experiment —

Masato KASAHARA, Taichi KOSHIMURA

To automatically control a dynamic system needs modeling the system. System identification which is one method of modeling requires input-data and output-data of the system. This study considers system identification using myRIO as an interface for collecting experiment data. Labview is used as the development software for myRIO. Data transfer between myRIO and PC is realized by DMA FIFO. Based on the result of identifying a 1st-order RC circuit, we consider the selection of input signals and selection of model structure in system identification.

Keyword: Control Engineering, System Identification, myRIO

1. はじめに

動的システムを自動制御するには、制御対象のモデル化が不可欠である。モデル化の方法として第一原理に基づくものと実験データに基づくシステム同定に大別される。第一原理モデリングは対象を支配する運動方程式などの科学法則に基づいてモデル化を行う方法であり、制御対象の大規模化、複雑化は第一原理モデリングの適用を困難にする。そのような場合は、実験により測定された対象の入出力データを用いてモデリングを行うシステム同定が有効であるが、多くの知識を必要とするため容易に使えない。

myRIO は National Instruments 社製(NI)の学生向け組み込みデバイスであり、MXP と MSP のコネクタ形式でデバイスの両側面に I/O が備わっており、アナログ入出力、デジタル入出力、Xilinx FPGA およびデュアルコア ARM CortexA9 プロ

セッサなどが搭載されている。システム開発ソフトウェアである NI LabVIEW を使用してプログラミングをすることで、計測から制御まで様々なアプリケーションの開発が容易に可能となるため、計測・制御の初歩を学ぶ上での有効な手段となりうる。

本研究の目的は NI myRIO をデータ収集のためのインターフェイスとし、簡単な電気回路に対し実際にシステム同定を行う。制御工学において必要となるシステム同定を行うことにより、複雑な操作無しにシステムの入出力関係を理解でき、学生実験に導入できるシステムの構築を行なう。

2. システム同定

自動制御において制御系を設計するためには、制御対象となるシステムの伝達関数あるいは状態方程式などの入出力を明確にし、対象となるシステムの数式モデルが既知である状況で制御システムの設計を行う必要がある 1)。

^{*1} 電気電子創造工学科 (Dept. of Innovative Electrical and Electronic Engineering), E-mail: kasahara@oyama-ct.ac.jp

^{*2} 専攻科 電子制御工学コース (Dept. of Electronic Control Engineering)

数式モデルを導き出す方法の一つとして、物理・化学法則を用い運動方程式に代表されるようなシステムの動的な方程式をたてて、代数的に求める第一原理モデリングがある。一方において、システム同定は対象の入出力データ (u, y) を用いて、対象と同一であると証明できるような数学モデル (G) を作成することをいう。同定実験では、対象に合わせた入力を選定、入出力データの収集・処理、モデルの構造決定・妥当性の検証などのステップがあり、どのステップも非常に重要である。したがって、広い視点からそれぞれのステップの相互的な関連を考慮し、システム同定を行う必要がある。

手順としてはまず、同定の対象となるシステムに対し入出力データの収集を行なう。入力信号としては白色雑音が望ましいが、コンピュータ上ではその代替として 2 値 M 系列信号が使用されることもある。つぎに、同定をおこなう上で必要となるデータの前処理、つまりはデータの加工をする。具体的には、アウトライアの除去や過渡期データの切り出しである。データについての準備が完了したら、モデル構造の決定をする。構造が決まったら、実際に同定法に基づいて同定し、最後にデータを使って比較検討する。

3. myRIO によるデータ収集

myRIO にはデュアルコア ARM リアルタイムプロセッサおよびカスタマイズ可能な Xilinx FPGA が備えられており、システム開発ソフトウェアである NI LabVIEW を使用して FPGA をプログラミングすることができる。また、myRIO はアナログ入力 (AI)、アナログ出力 (AO)、デジタル入出力 (DIO)、オーディオ、および電源出力を搭載している。図 1 に、myRIO のハードウェア構成を示す 2)。

今回は、MXP(NI myRIO-1900 Expansion Port) A コネクタを使用する。MXP A コネクタの各ポートの仕様を表 1 に示す。実験ではこの内の AI, AO, AGND を用いる。このアナログ入出力ポートの分解能は 12 bit で、サンプリングレートは入力ポートが 500 kS/s、出力ポートが 345 kS/s である。また、測定の際にコンピュータ (PC) 上のデータ値は分解能に対応する整数値として表現されるため、次式によって myRIO からの入出力で扱う電圧値へと変換される。

$$V = V_{PC} \times W_{LSB}$$

表 1 MXP A コネクタの仕様

ポート名	基準	用途
+5 V	DGND	Output
AI	AGND	Input
AO	AGND	Output
AGND	N/A	N/A
+3.3 V	DGND	Output
DIO	DGND	In, Out
DGND	N/A	N/A

$$W_{LSB} = Nr \div 2^n$$

ただし、 V は実際の電圧値、 V_{PC} は PC 上のデータ値、 W_{LSB} は最下位ビットの重み、 Nr は公称範囲、 n は分解能とする。実際に用いる MXP A コネクタの場合、分解能 n が 12 bit、公称範囲 Nr が 0-5 V であり以下のように与えられる。

$$\begin{aligned} W_{LSB} &= 5 \div 2^{12} = 1.221 \text{ mV} \\ (\text{最大読込値}) &= (2^{12} - 1) \times 1.221 \text{ mV} \\ &= 4.999 \text{ V} \end{aligned}$$

以降の測定値の表記については、PC 上のデータ値（整数値）を用いることにする。

収集したデータはダイレクトメモリアクセス (DMA) FIFO を用いて PC へと転送する。このタイプの FIFO は、ホストコンピュータのバッファと FPGA ターゲットのバッファの 2 つの FIFO バッファから構成されており、直接メモリにアクセスしてホスト VI と指定の FPGA VI 間のデータ転送を実現する。

4. 同定環境の構築

同定の環境を構築するにあたり、myRIO 自体で同定入力を生成し D/A コンバータを通して同定対象に印加される。同定対象からの出力信号は A/D コンバータを通して myRIO に読み込まれる。入力信号の印加と出力信号の読み取りを 1 ループとし、1 ループ内での入出力信号を交互に FPGA バッファへと格納する。また、サンプリングレートはこのループを繰り返す速さとする。FIFO 転送により PC にデータが到達したら、入

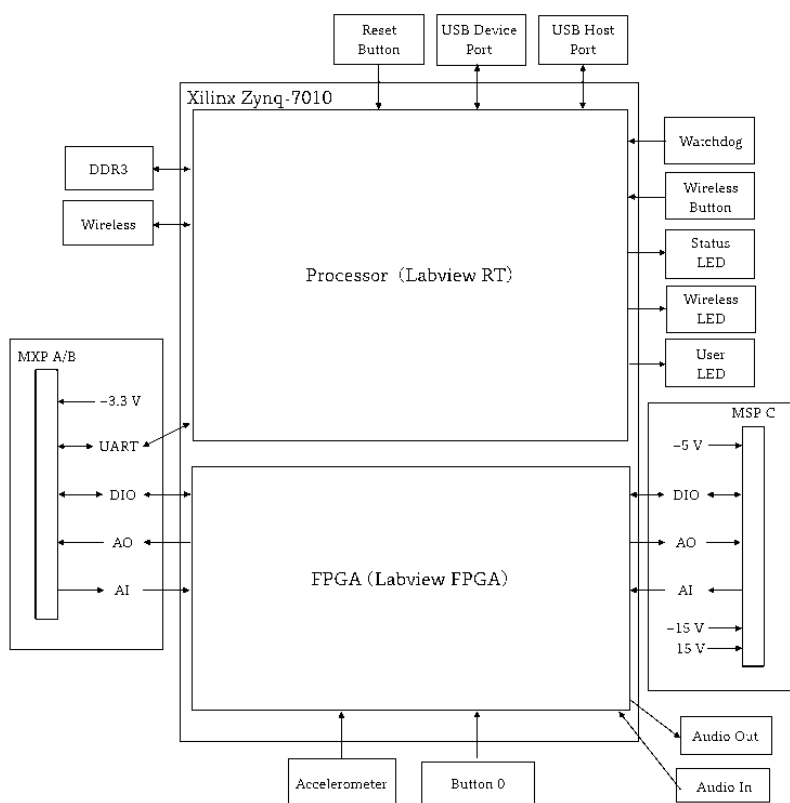


図 1 myRIO のハードウェア構成

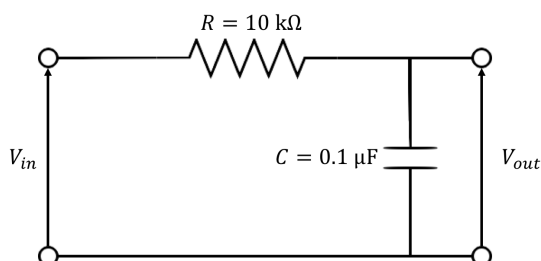


図 2 1 次 RC 回路

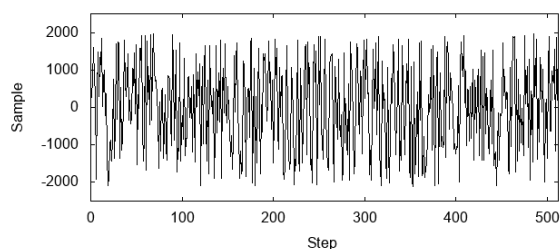
5. 同定実験

今回の同定実験の対象とする電気回路を図 2 に示す．ここに， $R = 10 \text{ k}\Omega$ ， $C = 0.10 \text{ }\mu\text{F}$ ，時定数は 1.0 msec であり，伝達関数はつぎのようになる．

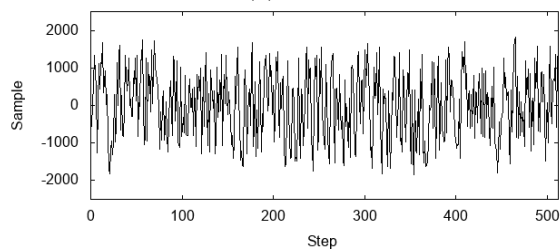
$$G = \frac{1}{1 + 1.0 \times 10^{-3} s} \quad (1)$$

入力信号には白色雑音を用い，データは入力と出力それぞれ 1024 点ずつ収集し，後半の 512 点を同定用のサンプルとして用いる．サンプリングレートは対象のシステムに対してステップ応答を測定し，その応答における立ち上がり時間の中に 5 から 8 サンプル点が入るように選定するべきであるが，今回は 1.5 msec とした．収集した入出力データの低周波外乱の除去のため，サンプル平均値をデータから減算する処理を行なった．このときの入出力データを図 3 に示す．図 3 はどちらも対象システムの入出力の電圧値 ($0 \sim 5 \text{ V}$) を意味しており，PC 上のデータ値である 0 から 4096 の間の整数値から全データの平均値を減じたもの

出力信号の分解，データの切り出し，低周波外乱の除去を順に行う．具体的に，データの切り出しにおいては，測定の過渡領域を切り出し定常状態のデータのみを取り出し，低周波外乱の除去のために，サンプルの平均値をデータから減じている．その後，ARX モデルを仮定し，最小二乗法によってパラメータ推定を行う．この同定には Labview の”SI Estimate ARX Model”を用いる．

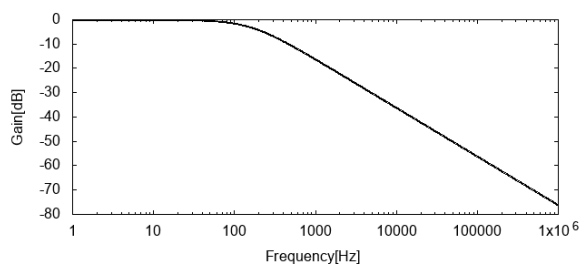


(a) Input

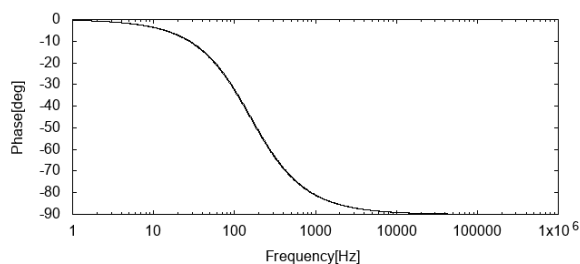


(b) Output

図3 Collected Data



(a) Gain



(b) Phase

図4 Bode Plot

となっている．得られたデータより，AIC が最小となるように試行錯誤を繰り返しモデルの次数を定め ARX モデルを構築している．そのようにして得られたシステムの伝達関数を以下に示す．

$$G_{Noise} = \frac{0.9877}{1 + 1.065 \times 10^{-3}s} \quad (2)$$

式 (1) と式 (2) のボード線図をそれぞれ破線と実線で比較したものを図 4 に示す．伝達関数に関しては，各パラメータがそれぞれ非常に近い値となっているのがわかる．よって，ボード線図として描画しても差異はなく，実システムと同定により得られたシステムのモデルは一致していると言える．

6. おわりに

myRIO を用いてシステムの入出力データを収集し，同定を行うための環境構築および同定を行った．構築した環境を使って，システムの同定が簡単に行なえ，システムへの入出力を理解していればモデルを構成できることを確認した．

今回紹介している対象とするシステムが単純なものであり，今後より高次のシステムに対しての確認が必要になる．また，白色雑音から 2 値 M 系列信号への入力信号の変更，サンプリング周期の変更などの比較検討などに関して，ソフト上で選択出来るように現在検討中である．

参考文献

- 1) 足立修一:MATLAB による 制御のためのシステム同定, 東京電機大学出版社 (1997)
- 2) USER GUIDE AND SPECIFICATION NI myRIO-1900, <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047a.pdf>

【受理年月日 2018年 9月14日】