

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18560424

研究課題名(和文) 低分解能なAD変換器を用いたシステム同定に関する研究

研究課題名(英文) A study on system identification by Low-resolution AD converter

研究代表者

足立 修一 (ADACHI SHUICHI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：40222624

**研究成果の概要：**

最も低分解能な1ビットAD変換器を用いて生成されたバイナリデータを用いたシステム同定に関する理論研究を行い、実問題に適用可能な新しいバイナリデータを用いたシステム同定法を開発した。また、変換を用いたシステム同定法を提案し、提案法の性能について解析した。さらに、数値シミュレーションとネットワーク環境を模擬した実験によって、提案したシステム同定法の有効性を検証した。本研究で開発したバイナリデータを用いた新しいシステム同定法は、デジタル通信との親和性がよいため、ネットワークを介した同定/制御の基礎になるとと思われる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,400,000	0	1,400,000
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	630,000	4,130,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御工学，情報通信工学，システム同定，AD変換器，1ビット

**1. 研究開始当初の背景**

ダイナミカルシステムの解析，あるいは制御系設計を行う場合，対象の数学モデルは重要な役割を果たす。特に，標準的な制御系設計手順を実行する上で，対象のモデリングは最重要課題の一つである。

制御系設計のためのモデリング法としては，

第一原理モデリング（物理モデリングと呼ばれることもある）とシステム同定がよく知られているが，特に実験データからモデリングを行うシステム同定は，計算機，IT技術，計測器などの発展のおかげで，近年注目を集めている。

通常システム同定法では，連続時間信号である対象の入出力信号をデジタル化した

もの、すなわち、時間軸と振幅軸の双方を離散化した信号を用いる。これまで、時間軸の離散化であるサンプリングについては、同定・制御の両面においてさまざまな研究が行われてきたが、振幅軸の離散化である量子化の影響に関する研究は比較的少なかった。近年、津村幸治（東大）らによって、システム同定問題における量子化雑音の影響に関する理論的解析が行われているが、量子化雑音の影響を低減化するシステム同定法の設計問題にはその研究は至っていない。

## 2. 研究の目的

1962年に日本人によって提案された変換（日本語では、英語ではと順番が逆転した呼び名がついているが、ここでは日本語表記である変換という並び順を用いる）に基づくAD変換技術は、デジタルVLSI技術の発展に伴い、現在では通信やオーディオの分野に応用されている。

従来は、量子化に伴う量子化誤差の影響を低減するために、AD変換器のビット数を上げることによって高分解能な量子化を実現してきた。しかし、ビット数を上げることにより、それを電子回路実現することが困難になるという問題点が生じている。そこで、AD変換器のビット数を低次（特に1次）にし、その一方でサンプリング周波数を非常に高くして、量子化雑音の影響を低減化しようとする変換器に基づく1ビットAD変換器が、音響の分野で最近注目されている。

図1に変換のブロック線図を示した。従来のナイキストサンプリングでは、遮断特性に優れた複雑なアナログ低域通過フィルタと高ビットAD変換器が必要であったのに対して、変換器では、オーバーサンプリングとデシメーションを組み合わせることによって、1ビットAD変換器という最も低分解能なAD変換器を用いることができる。

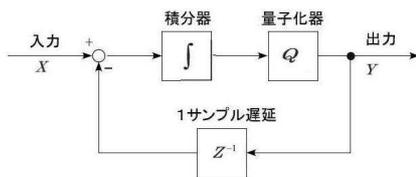


図1：変換

そこで、本研究では変換に基づく低分解能なAD変換器を用いた新しいシステム同定法を提案することを目的とする。また、従来から研究を進めているバイナリデータを直接用いたシステム同定法についても検討を行う。

そして、提案した方法の有効性を数値シミュレーションとネットワーク環境を模擬した実験によって検証することも目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 変換に関する文献調査

変換はオーディオをはじめとするデジタル信号処理の分野で活発に研究、実用化されており、その文献調査を行った。図2に離散時間変換のブロック線図を示した。これまでは主にデジタル信号処理の立場で変換に関する研究が行われてきたが、それらをシステム同定理論を含む制御理論的な立場から再考察した。

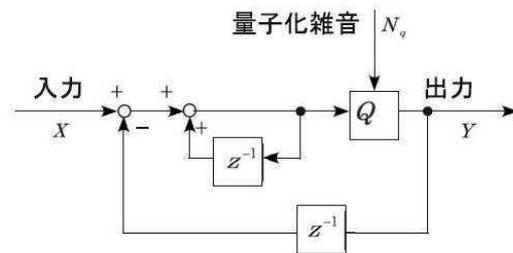


図2：離散時間変換

### (2) 変換を用いたシステム同定法の提案

高い周波数でのサンプリング、変換、そしてデシメーションから構成される低分解能AD変換に基づくデジタル信号処理を、同定対象の入出力データに適用し、得られた入出力データを用いてシステム同定を行う新しいシステム同定法を提案した。提案法を図3に示した。

### (3) バイナリデータを用いたシステム同定法の検討

本研究で提案するシステム同定手順では、すべてのデータがバイナリデータになる。そこで、二値信号を用いたシステム同定アルゴ

リズムの開発を検討した。0 と 1 だけの二値信号しか存在しないという利点を活用した、効率的な（計算量の少ない）同定アルゴリズムの開発をめざした。

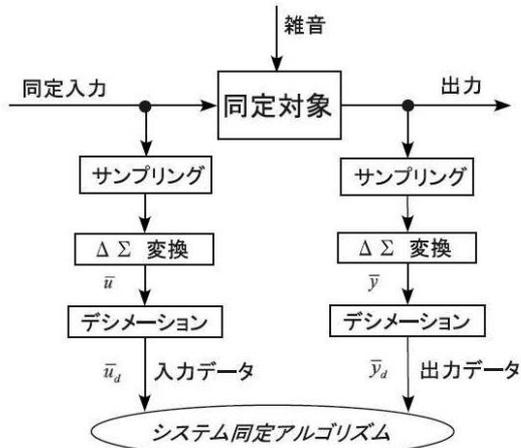


図 3：提案した 変換を用いたシステム同定法

#### 4. 研究成果

連続時間信号を 変換することによって 1 と 0（あるいは、+1 と -1）の 2 値信号が得られる。このような信号表現は、デジタル通信に向けたものである。特に、遠隔地でシステム同定実験を行い、それを異なる場所に伝送する場合に適している。また、システム同定で同定入力として利用されることが多い M 系列信号は、+1 と -1 の 2 値信号であり、1 ビット AD 変換との親和性もよい。

本研究では、1 と 0 の二値信号を用いた新しいシステム同定アルゴリズムの構築を検討した。制御理論の分野では、近年、ネットワークを介した同定・制御に関する研究が盛んに行われているが、本研究により、デジタル通信技術とのインターフェイスのよいシステム同定理論を構築することができた。その結果、システム同定の実用化を進めている産業界へ与えるインパクトがあるものと思われる。

具体的には以下のような研究成果を得た。

##### (1) 変換を用いたシステム同定法

提案した 変換を用いたシステム同定法の性能について、以下の観点から解析を行

った。

##### 雑音の影響の低減化

多項式ブラックボックスモデルを用いた線形システム同定理論において最も重要な課題の一つは、測定雑音やシステム雑音への対処であった。そのため最も基本的な AR (Auto-Regressive with eXtra input) モデルに始まり、有色性雑音の影響を考慮するために、ARMAX (Auto-Regressive Moving Average with eXtra input) モデル、BJ (Box and Jenkins) モデルなど、より複雑な同定モデルが提案された。それに対応して、最小二乗法を修正した拡大最小二乗法、あるいは雑音の無相関化をめざした補助変数法、部分空間法など、さまざまなシステム同定法が提案された。

変換は、量子化雑音をオーバーサンプリングとハイパスフィルタによって高域側に移動されるノイズシェーピング（雑音整形）という特徴を有する。この性質をシステム同定で活用することにより、着目する同定帯域内に存在する有色性雑音を、高域側に移動させ、元の帯域内では平坦な特性をもつ SN 比の良い白色雑音で近似できる。そのため、有色性雑音に対しても、簡単な ARX モデルを用いた最小二乗法によってシステム同定が可能になった。

##### 同定入力の設計

線形システム同定でしばしば用いられる M 系列信号は二値信号、すなわち 1 ビット信号であり、 変換で生成されるデータ列と同じ構造をとる。このデータ構造に着目した新しい同定入力の最適選定法について、理論的な検討を行った。

##### 変換を用いたシステム同定法の性能検証

提案法の有効性を検証するために、数値シミュレーション実験を行い、確認した。また、ネットワーク環境を模擬した実験装置を用いて、提案法の有効性を確認した。

##### (2) バイナリデータを用いたシステム同定法の検討

Wang らによりバイナリデータを用いたシステム同定法が提案されていたが、その方法

では入出力データに関する制約に問題があり、そのままでは現実の問題に適用することは難しかった。そこで、この問題点を解決する新しいバイナリデータを用いたシステム同定法を開発した。

1ビットデータでシステム同定を行うことができる提案法は、デジタル通信との親和性がよく、本研究は、今後ますます発展が期待されるネットワークを介した同定/制御のための基礎を築いた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

- (1) T.Azuma, H.Kato and S.Adachi : An experimental result of system identification over networks using Delta-Sigma transformation, 査読有, 3rd International Conference on Sensing Technology, pp.595-599, IEEE (2008)
- (2) 平田光男, 野口 栄, 足立修一 : 速度や変位の絶対値で切り替わるメカニカルハイブリッドシステムの同定法, 査読有, 電気学会論文誌C, Vol.128, No.5, pp. 781 - 787 (2008)

[学会発表](計4件)

- (1) 東 剛人, 嘉藤裕寿, 足立修一 : 1ビット変換器を用いたネットワークを介したシステム同定のための一手法, SICE 第37回制御理論シンポジウム, pp.101-104, 霧島 (2008.9.17)
- (2) 高橋憲介, 足立修一 : バイナリデータを用いたシステム同定, SICE 第36回制御理論シンポジウム, pp.161-166, 札幌 (2007.9.5)
- (3) 高橋憲介, 足立修一 : バイナリセンサを用いたARXモデルの同定, 第7回SICE制御部門大会, 電気通信大学 (2007.3.7)
- (4) 嘉藤裕寿, 東 剛人, 足立修一 : コミュニケーションネットワークを考慮したシステム同定のための一手法, 第49回

自動制御連合講演会, 神戸大学  
(2006.11.25)

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
足立 修一 (ADACHI SHUICHI)  
慶應義塾大学・理工学部・教授  
研究者番号: 40222624
- (2) 研究分担者  
平田 光男 (HIRATA MITSUO)  
宇都宮大学大学院・工学研究科・准教授  
研究者番号: 50282447
- (3) 連携研究者  
該当なし