

氏名	兼田雅弘
	かねだまさひろ
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第723号
学位授与の日付	昭和49年11月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	インパルス応答の測定とそのデータ処理に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 近藤文治 教授 池上淳一 教授 桑原道義

### 論文内容の要旨

制御系の性質が変化するとき、変化の模様を計測し、制御系の新しい性質に最も適するよう制御の方法を自動的に変更するような機能を具えた制御系を適応制御系という。この新しい制御方式は従来の固定的な制御系の機能を飛躍的に進歩させるものとして注目を集めてきた。本論文は、適応制御系の中でも最も興味のある制御対象の動特性が変化する場合の適応制御を取上げ、制御系の構成に必要な動特性の自動測定および測定データの処理法についての研究を纏めたもので7章および結言からなっている。

第1章は序論で、適応制御系に関する従来の研究の概要を説明し、さらに本研究の概要を述べて、本研究の立場と意義を明らかにしている。

第2章では、線形系の動特性(伝達関数)を測定するのに、正規性雑音を探索信号として用い、測定回路の構成を簡単にするための方策としてその入出力を共に零交叉波に変換した後、相関法によって推定する場合の誤差の一般式を誘導している。さらに上述の場合と同じ簡単さで推定できる方法として、ランダム・テレグラフ・ノイズを探索信号として用い、出力を零交叉波に変換して相関法を用いると、ゲインを除くすべての情報がえられるということを明らかにし、しかも相関々数を一定の許容誤差で測定するのに必要なデータ長は、通常の白色雑音を用いた場合の約半分でよいという結果をえている。

第3章では、インパルス応答の測定に必要な2値信号の遅延装置の試作について記述している。この装置は相関々数の測定に必要な相異なる遅延時間を有する10個の遅延出力(原理的には記憶容量以下であれば任意にとれる)が同時にえられるようになっている。記憶要素としては構造の簡単な磁歪遅延線を用い、装置の最大遅延時間は2ms~99.8s可変で、パネル面で任意の値を指定できる。一方、探索信号として利用するランダム・テレグラフ・ノイズ発生器を試作し、これと、上述の遅延装置を用い、アナログ計算機で種々の伝達関数を有する制御対象を模擬し、伝達関数の測定を行ない、理論値と比較し、実用上十分な精度でインパルス応答が測定できることを実証し、試作装置の実用性を確認している。

第4章では、系のパルス伝達関数を2次系で近似し、その応答をインパルス応答のサンプル値から推定

する新しい方法を提案している。すなわちインパルス応答のサンプル値をいくつかの組に分けてパラメータを推定し、それらの重み付平均により最終的な推定値をえるという方法を提案している。この方法は従来の最短左側インバース法に較べると、データ処理が簡単でしかも実用範囲ではデータが含んでいるノイズに対しても強いことを、近似式による解析的方法ならびに計算機シミュレーションによって確かめている。

また、この場合、パラメータの推定誤差を小さくするためには、インパルス応答の測定点の間隔すなわちサンプリング周期に最適値が存在することを明らかにし、これを系の時定数と全体として利用しうるサンプル値の個数とをパラメータとして与えている。

第5章では、重み付平均による推定法において、その推定値の分散最小という立場から、最適重みを推定式が1次および2次の有理式で与えられる場合について求め、その結果から第4章で提案している推定法における重み付が実用的には最適重み付になっていることを数値例によって明らかにしている。

第6章は、連続系をサンプル値で等価するときの問題点について検討し、等価サンプル値系を構成するとき、サンプルの後にホールド回路を挿入しないとき、ゲインはサンプリング周期に逆比例させて設定しなければならないことを指摘している。

さらに、第4章で提案した推定法と最短左側インバース法との比較を、単にパラメータの推定値がその真値にどれ程近いかではなく、その推定値を用いて制御した場合、系全体としての評価関数にどのような影響を与えるかを検討し、新しい推定法の有用性を確認している。

第7章では、高次系を(2次系) + (むだ時間要素)で近似する場合のパラメータの推定法とその性能について検討している。すなわち実用性を考慮し、遅れ時間を高次系のインパルス応答の傾斜が最大となる点に注目した簡単な方法で推定することを提案し、具体的な各種の高次系についてこの方法を検討し、さらに3次系について、2次形式の評価関数を有する最適制御系を例にしてその有用性を確かめている。

結言は以上の成果を要約したものである。

## 論文審査の結果の要旨

制御系の性質が変化しても、常に最適な状態で制御が行なわれるような機能を有する制御系を適応制御系という。この系は、従来の機能の固定した制御系に対して、その性能を一段と飛躍させるものとして注目されて来た。その中でも制御対象の動特性が変化する場合の適応制御は一つの中心的問題である。これを実現するためには2つの課題すなわち(i)動作状態のままで制御対象の動特性を測定あるいは推定すること (ii)えられた情報を利用して最適制御を決定することを可能にしなければならない。本研究は、前者を中心に行ったもので、えられた成果の主なものを挙げるとつぎの通りである。

(1) 動特性の測定を、系に存在するノイズを信号として利用し相関法によって行なう場合、相関器の構造を簡単にするため、制御対象の入出力を零交叉波に変換し、これを入出力として利用する場合、あるいは、ランダム・テレグラフ・ノイズを探索信号として加え、出力だけを零交叉波とする場合について、零交叉波に変換することに基づく測定誤差を詳細に検討し、特にランダム・テレグラフ・ノイズを探索信号とする場合は、ゲインの情報が失われるだけで、相関々数を一定の許容誤差で測定するのに必要なデータ

長は、通常の白色雑音を用いる場合の半分程度でよいという興味ある結果をえている。

(2) 上述の零交叉波やテレグラフ・ノイズなど 2 値信号波で相関々数（入力が白色のときはインパルス応答）を測定するために必要な遅延装置を開発している。すなわち

(i) 遅延素子として磁歪遅延線を用い、信号のサンプリング周期、クロックパルスの周波数、遅延線の容量の間に適当な関係をもたせると、遅延時間を任意の値に指定でき、指定された遅延時間の  $q/n$  ( $n$ ; 整数  $q = 1, 2, \dots, n$ ) だけ遅延する  $n$  ケの信号を取出すことができ、しかも遅延線の全容量を常に有効に使用できる方法を見出した。

(ii) 上述の方法により遅延時間は  $2 \text{ ms} \sim 99.8 \text{ s}$  で、遅延時間の相異なる 10 個の出力を有する装置を試作し、別に試作したテレグラフ・ノイズ発生器とアナログ積分素子とを組み合わせ、インパルス応答自動測定器を構成し、種々のインパルス応答を実測し、理論値と比較し満足すべき結果をえている。構造が簡単なことを併せ考えると実用性の高い装置であるといえる。

(3) (2) で述べた方法でえられたノイズを含んだインパルス応答のサンプル値から、仮定された近似伝達関数のパラメータを決定する方法について検討し、実用性に重点をおいた新しい方法を提案している。すなわち

(i) インパルス応答を 2 次系で等価し、そのパラメータを推定する方法として、計算の極めて簡単な重み付平均法なるものを提案している。この方法における重みは、推定値の分散最小という立場からする最適重みに実用の上ではほぼ一致することを理論的に明らかにしている。また一般に用いられている最短左側インバース法 (Minimum Left Inverse Method) と比較検討し、著者の方法は単に計算が非常に簡単であるだけでなく、実用の範囲では、ノイズに対しても強いことを計算機シミュレーションによって明らかにしている。

(ii) パラメータの推定誤差を少なくするためには、インパルス応答のサンプリング周期（測定点の時間間隔）に最適値があることを明らかにし、系の時定数と全体として利用しうるサンプル値の個数とをパラメータとして与えている。

(iii) インパルス応答を（むだ時間 + 2 次）系で近似する場合のパラメータ推定法についても言及し、傾斜が最大となる点に注目した方法を提案し、例題によってその有用性を確かめている。

以上を要するにこの論文は、適応制御の立場から、インパルス応答の自動計測法とそのデータ処理について、特に実用の立場から検討を加えたもので、学術上ならびに實際上寄与するところが少なくない。よって、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。