

Title	サンプル値制御系の最適制御理論に関する研究
Author(s)	長田, 朗
Citation	大阪大学, 1964, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/28628
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名・(本籍)	長 田 朗 なが た あきら
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	第 531 号
学位授与の日付	昭和39年3月25日
学位授与の要件	工学研究科通信工学専攻 学位規則第5条第1項該当
学位論文題目	サンプル値制御系の最適制御理論に関する研究 (主 査)
論文審査委員	授 教 熊谷 三郎 (副 査) 授 教 青柳 健次 授 教 笠原 芳郎 授 教 板倉 清保 授 教 加藤 金正 授 教 牧本 利夫 授 教 藤沢 和男 授 教 西村正太郎 授 教 宮脇 一男

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、サンプル値制御系の最適制御理論の一つとして、時間最適化問題を中心に、状態空間技法による解法の確立を試みたものである。6章で構成され、第1章は緒論である。

従来行なわれてきた、多くの最適化問題に関する研究は、そのほとんどが連続制御系を対象とするものであるが、操作に必要な情報が本質的に離散的な時点でしか検出できない場合、および制御対象の複雑化または制御の評価に対する高度な要求にともなう、デジタル計算機を含む制御系を考えなければならぬ場合など、サンプル値制御系としての取り扱いが必要である。このような点から、最近になってサンプル値制御系の最適制御理論が注目され、最大原理、線形計画法、動的計画法、または逐次近似計算法などの応用が研究されているが、解(最適操作信号)の計算過程が繁雑となること、および場合によってはきわめて厳しい仮定をおかなければならないなど、工学的な面からみて十分な形であるとはいえない。

本論文で取り扱っている状態空間技法は、系の状態変数によってはられる状態空間内において、適当に定義された集合と、系の状態との幾何学的な性質にもとづいて、解を決定、計算しようとするもので、解の計算が容易であること、および解が系の状態の関数として求められるなど、とくに工学的実用化の点から有利な解法であると考えられる。

本論文を通じて、操作信号はその大きさに制限が与えられ、制御対象は n 次定数係数線形微分方程式で記述されるサンプル値制御系の、時間最適化問題を取り扱っている。

まず、目標状態を系の平衡状態の一つである状態空間の原点に選び、任意の初期状態から出発した系の状態を、最小のサンプリング・ステップ数でもって目標状態に到達させるための許容操作信号を求める問題を零整定問題と呼び、これを第2章において解いている。あらかじめ一群の一次代数方程式の形で求めておくことのできる、状態空間内の適当な集合をもとに、任意に与えられる初期状態に対する解は簡単な手順で求めることができる。この解法は、最適制御系全体をデジタル計算機(MELCOM, LD-1)上に

模擬したものに適用され、解および応答の例を満足な形で得ている。

第3章では、目標状態が系の平衡状態とは限らない任意の一定な状態として与えられ、任意の初期状態から出発した系の状態を最小のサンプリング・ステップ数でもって、この目標状態に到達させるための許容操作信号を求める問題を設定値問題と呼び、その解法を考察している。目標状態が系の平衡状態でない場合、たんに状態空間の原点を、あらかじめ目標状態に移動させて考えるだけでは、零整定問題に対する解法をそのままの形で適用することができない。設定値問題を零整定問題に帰着させて解くために、目標状態、系の状態、およびサンプリング・ステップ数によって適当に定義される新しい状態変数を導入している。また設定値問題に対する解の存在性についての考察を行ない、系の形で定まる条件により、いくら時間をかけても到達させることのできない目標状態が存在し得ることを明らかにしている。設定値問題としての例題を、零整定問題の場合と同一の系に対して与え、これを数値的に解き、満足な結果を得ている。

第4章では、目標状態が時間の関数として状態空間内を移動するとき、任意の初期状態から出発した系の状態を、これに追従させるための許容操作信号を求める問題を追値問題と呼び、その解法を明らかにしている。追値問題における最適条件は、系の状態をできるだけ早いサンプリング時点において目標状態に一致させること、およびその途中において、つぎつぎのサンプリング時点での系の状態を目標状態にできるだけ近付けるといふ、二つの要素で構成されている。系の状態を目標状態に一致させることができたのちのつぎの操作は、この時点を出発点としてふたたび同じことを繰り返さなければならない。追値問題の解法は、設定値問題の解法の応用として容易に構成することができ、この理論は簡単な数値例への適用から、満足できるものであることが確かめられている。

第5章では、操作信号の大きさの制限とともに、系の状態のある要素に対しても大きさの制限が与えられる場合の時間最適化問題を解いている。目標状態は状態空間の原点に選び、制限された状態空間内の任意な初期状態から出発した系の状態を、最小のサンプリング・ステップ数でもってこの目標状態へ到達させるための許容操作信号を求めることが問題であるが、この場合の許容操作信号としては、その大きさが制限範囲にあるだけでなく、これによって操作される系の状態を、すべてのサンプリング時点において制限された状態空間内にとどめるようなものでなければならない。この問題は、状態空間内での集合を適当に修正することにより、第2章の場合と同様な手順で解くことができる。また解の存在性についての考察から、系の形で定まる条件により、制限された状態空間内にありながら、解をもたない初期状態が存在し得ることが明らかにされている。この解法も、簡単な例題に適用することにより、満足できるものであることが確かめられている。

第6章は結論であり、ここに示された状態空間技法による解法の特徴、および今後に残された問題点について言及している。

論文の審査結果の要旨

本論文は、サンプル値制御系の最適制御理論のうち、特に時間最適化問題を対象として、状態空間技法による確法の確立を企図したもので、6章から成っている。

第1章は緒論で、まず近年の制御理論の分野に画期的な新風を送り込んだ最適制御理論について、その発展の跡を概説するとともに、その工学的意義について記し、特にサンプル値制御系に対する最適制御理論が、工学的応用の見地からきわめて重要なものであることを述べた。ついでサンプル値制御系の最適制御理論に用いられた各種の数学的手法を紹介検討し、著者が特に状態空間技法の確立を試みた理由を明らかにしている。

全篇を通して、操作信号はその大きさに制限が与えられ、制御系は n 次定数係数線形微分方程式で記述されるサンプル値制御系であるとしている。

第2章では、零整定問題、すなわち目標状態を系の平衡状態であるとし、これが状態空間の原点で与えられた場合、任意に与えられた初期状態から、最小のサンプリング・ステップ数で原点に到達させるための操作信号を決定する問題を解いている。

まず、系の状態を規定する状態変数でつくられる状態空間を考え、この空間内で系の状態の時間的な変り変わりを記述する状態転移方程式を導き、ついで、適当なベクトルおよび集合を定義して、この集合と初期状態との関係から最適操作信号の満たすべき条件を明らかにし、最適操作信号の計算法を導いた。この計算法によって数値例題を解き、この方法が工学的に大きな利点をもつことを示している。

第3章では、設定値問題、すなわち目標状態が原点とは限らない状態空間内の任意の一定の状態として与えられた場合の時間最適制御の問題を解いている。前章の解法は、一般にそのままの形で設定値問題に適用することはできないので、著者は設定値問題を零整定問題に変換するため、目標状態と系の状態とから定義される新しい状態ベクトルを導入して、目標状態を原点として、しかも前章の状態転移方程式がそのままの形で成立する新しい状態空間を見出した。これによって設定値問題を零整定問題におきかえることに成功し、例題によって、その具体的方法を説明している。なお、著者は設定値問題における制御可能性について考察し、系の形で定まる条件によって、いくら時間をかけても到達することのできない目標状態の存在し得ることを示している。

第4章では、目標状態が時間の関数として状態空間内を移動するとき、系の状態をこれに追従させるいわゆる追値問題を取り扱っている。

まず、追跡の最適条件を与え、この条件にもとづいて追値問題を明確に表現し、与えられた初期状態および目標状態に対して、最小のサンプリング・ステップ数をもって、系の状態を目標状態に一致させるための操作信号を求めて、その性質を調べ、この操作信号には一意性がないことを明らかにしている。

つぎに、この一意性のないことを利用して、サンプリング点における系の状態を目標状態に最も近づける最適操作信号を決定する理論的方法を導き、この理論を2次系の例題に適用して、その効用を示している。

第5章では、制御対象の人力に制限を与えるほか、系の状態の要素の一つ、たとえば速度、加速度などにも制限を同時に与えた場合のサンプル値制御系の時間最適制御の問題を取り扱っている。

まず、状態に制限が与えられる場合においても、集合の定義を適当に修正することにより、第2章に導いた理論が利用できることを明らかにし、最適操作信号の計算法を与えた。

ついで、このような系に対する制御可能性について考察し、目標状態に到達することのできない初期状態の存在し得ることを示した。本章においても、例題について最適操作をおよび応答を求め、著者の方法

の具体的説明を行なっている。

第6章は結論で、研究成果の概要を記すとともに、今後に残された問題点について言及している。

最適化問題に関する従来の研究の多くは、連続制御系を対象にしたものであるが、近年、制御対象の複雑化と制御評化の高度化にともない、デジタル計算機を含む制御系の重要度が高まり、一方、操作に必要な情報が離散的な時点でしか検出できない場合もあって、サンプル値制御系の最適制御理論の確立が強く要望されてきた。著者はこれに応じて、サンプル値制御系の時間最適化問題をとりあげ、状態空間技法による解法の確立を試み、ほとんど満足に近い形でその目的を達している。著者の展開した状態空間技法によれば、空間の次元、すなわち対象とする系の次数の制限をうけることなく、最適操作信号が状態の関数として与えられるので、その点、最大原理、リニヤ・プログラミングあるいは逐次近似計算法などにくらべて、実用上はるかに有利であるのみならず、計算過程が簡単で、計算時間が短縮される大きな利点をもっている。制御系の設計ならびに運用に貢献するところが大きい。なお、今後に残された問題点として、制御時間以外の一般化された評価関数による最適化問題への状態空間技法の応用に対しても、著者はきわめて貴重な資料を提供したもので、工学上の寄与はきわめて大きい。それで本論文は博士論文として価値があるものと認める。