マニピュレータの軌道追従制御に用いるCMACの一設計法

学生員 高 瀬 英一郎 (明治大)

正 員 牛 久 徹 (明治大)

正 員 三 木 一 郎 (明治大)

A Design Method of CMAC for Continuous Path Control of Manipulator

Ei-ichiro Takase, Student Member, Tohru Ushiku, Member,

Ichiro Miki, Member (Meiji University)

キーワード: CMAC, マニピュレータ, 量子化間隔, 学習係数

1. まえがき

現在, マニピュレータの運動の高速化が求められているが, それに伴い非線形性が著しくなり, 従来の線形的な制御では制御性能が悪化することになる。そこで, これを克服する一手法として, ニューラルネットワークを用いる方法が研究されている⁽¹⁾。ニューラルネットワークの実現方法の一つであるCMAC⁽²⁾ (Cerebellar Model Arithmetic Controller)は, 1ステップあたりの学習時間が短いという利点があるため, マニピュレータ等の速応性を必要とするシステムの制御に適していると考えられる⁽³⁾。しかし, 従来のCMACの設計法では量子化間隔や学習係数を試行錯誤的に決定しており, 膨大な時間と手数がかかるうえに, 学習速度と精度を共に良好なものにするのは困難である。

本稿では, マニピュレータの軌道制御にCMACを用いるにあたり, 学習速度と精度を共に良好なものにでき, かつ設計に要する時間と手数をできるだけ少なくできるCMACの一設計法を提案する。

2. CMACの新しい設計法

<2・1> 量子化間隔の設定法 従来の方法は, 試行錯誤的に一定の量子化間隔を設定していた。しかし, マニピュレータ制御のように入力間隔が一定でない場合, 平等な汎化作用が生じないため設定が困難であった。

そこで, 入力間隔が変化しても平等な汎化作用を生じることができるように, 以下に示す方法で量子化間隔を自動的に変化させる⁽⁴⁾。まず, (1)式により入力の差分を求め, (2)式により量子化間隔を設定する。つまり, 入力間隔に応じた量子化間隔を設定することができる。

$$f(t) = \left. \frac{dS(t)}{dt} \right|_{t=kT} = \frac{S(kT+T) - S(kT)}{T} \quad \cdots \cdots (1)$$

$$C(t) = F(t)R \quad \cdots \cdots (2)$$

(1)式において, $S(t)$ は入力, T はサンプリングタイム, k はサンプリング回数とする。(2)式において, $C(t)$ は量子化間隔, R は量子化の値, $F(t)$ は $f(t)$ を R で量子化した値である。

<2・2> 学習係数の設定法 従来の方法は, 試行錯誤的に一定の学習係数を設定していた。しかし, 前述のように膨大な時間と手数がかかるうえに, 学習速度と精度を共に良好にするのは困難であった。

そこで, 誤差に応じて学習係数を変化させることを考えた⁽⁵⁾。学習の初期段階では誤差が大きいため大きな学習係数とし, 学習が進行するに伴い誤差が小さくなるので小さな学習係数とする。

学習係数の切り替えは, 現在の学習係数で学習が進行しなくなったときに行う。この状態は, 使用したメモリの増加がとまり, 誤差が次式で表せるときである。

$$\left. \begin{array}{l} \Delta(n-1) - \Delta(n) < 0 \\ \Delta(n) = \sum |\delta(i)| \end{array} \right\} \quad \cdots \cdots (3)$$

ここで, n は学習回数, $\Delta(n)$ は総誤差とし, $\delta(i)$ は1サンプリングごとの誤差である。

学習係数は, 以下のように変形したシグモイド関数を用い, 学習が進まなくなった時点における総誤差をパラメータとして変化させる。

$$g_1(\Delta(n)) = \frac{1}{\{1 + \exp(-\beta \Delta(n)) + \alpha\}} \quad \cdots \cdots (4)$$

ここで, g_1 は学習係数, α , β は係数である。

3. CMACによるマニピュレータ制御システム

マニピュレータの概略図を図1に示す。また, 本制御システムの構成を図2に示す。図2において, g_2 , g_3 は係数, θ_d は目標角度, θ は実角度, ω_r は角速度である。

このシステムでは, CMACへの入力が角度であるので,

図1 マニピュレータの概略図

Fig. 1. Model of manipulator

図2 システムの構成

Fig. 2. Block diagram of system

図3 目標軌道

Fig. 3. Desired orbit

図4 シミュレーション結果

Fig. 4. Simulation results

量子化間隔の設定は角速度により行った。

4. シミュレーション結果

従来の設計法によるCMAC（従来方式）と本設計法によるCMAC（本方式）を用いて、マニピュレータの軌道追従制御のシミュレーションを行った。シミュレーション時間は2.5[s]とし、制御周期は100[μs]とした。 θ_1 、 θ_2 の目標軌道は、台形型速度パターンを用い、図3に示すように設定した。図4に従来方式と本方式の総誤差の比較結果を示す。これらの結果より、本方式が学習速度および精度の点において従来方式に優ることが明らかになった。

5. まとめ

本稿では、従来の設計法によるCMACの問題点を解決する一設計法を提案し、シミュレーション結果によりその有効性を確認した。
(平成6年6月28日受付)

文献

- (1) たとえば、辻、西田、高橋、伊藤：「神経回路網によるマニピュレータの能動的重力補償」，平元電気学会産業応用大会，193
- (2) J. S. Albus（小杉他訳）：ロボティクス，p.151（昭59）啓学出版
- (3) 牛久，永山，三木：「CMACによるマニピュレータの軌道追従制御」，平5電気学会大会，714，6-147
- (4) 牛久，高瀬，三木：「マニピュレータの軌道追従制御に用いるCMACの一設計法」，IEA-93-16，（平5）
- (5) 高瀬，牛久，三木：「マニピュレータの軌道追従制御に用いるCMACの一設計法-その2-」，平6電気学会大会，705，6-112

高瀬 英一郎

（学生員）昭和45年8月28日生。

平成5年3月明治大学理工学部電気工学科卒業。同年4月同大学大学院理工学研究科博士前期課程に進学，現在に至る。

牛久 徹

（正員）昭和43年4月5日生。平成6年3月明治大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年4月（株）キャノン入社，現在に至る。

三木 一郎

（正員）昭和25年9月20日生。昭和53年3月明治大学大学院博士課程単位修得退学。同年同大学工学部助手，昭和62年3月～昭和63年3月ケンタッキー大学，カリフォルニア大学デビス校において客員研究員。平成2年4月同理工学部教授，現在に至る。工学博士。IEEE会員。