I-580

学習による動的システムの更新

武蔵工業大学　学生員　○清水良和
東京電力（株）　正　員　小淵康義
武蔵工業大学　正　員　星谷　勝

１．まえがき

動的•静的システムに対する数多くの同定問題に関する研究が行われているが，これらの研究は，与えられた構造モデルに対するパラメータ同定を対象としている。パラメータ同定では，構造モデルや構成則などのモデル化が適切でない場合，パラメータは同定できるが，そのモデルは物理的に誤った解釈をしていることがある。したがって，実データの解析では最適なモデルの選択が必要となる。

本報告では，動的システムを入力と出力の関係が柔軟に表現できるシステムダイナミックス手法（ＳＤ手法）によりネットワークを表現し，そのネットワークを最適化することにより，システムを同定する手法について検討する。本手法の確認のため，線形１自由度システムを対象とした数値シミュレーションを行った。

２．動的システムの表現

システムダイナミクス（ＳＤ）によるシステム表現の例として，図-1(a)に示す線形１自由度系システムを考える。振動方程式は次式で表される。

$$\ddot{x}+2\beta\omega\dot{x}+\omega^2 x=-\ddot{f} \qquad (1)$$

ここで，βは減衰定数，ωは固有円振動数，xは変位を，fは入力変位をそれぞれ表す。

(1)式において，状態量を$z_1=x$，$z_2=\dot{x}$とおくと，(1)式は次式の状態方程式で表すことができる。

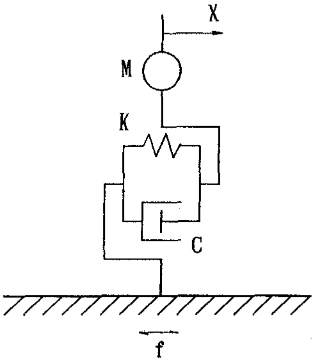
$$\begin{bmatrix}\dot{z}_1\\ \dot{z}_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}z_2\\ -\omega^2 z_1-2\beta\omega z_2-\ddot{f}\end{bmatrix} \qquad (2)$$

線形１自由度系に対するＳＤモデルは(2)式を用い，状態量をレベル変数とみなし，レート変数を状態量の１階微分とすることにより，レベル変数とレート変数を内部結合して図-1(b)のように表される。このモデルでは，内部結合している各リンクに重みWi(i=1～3)を考える。これらの重みはシステムのパラメータに対応している。

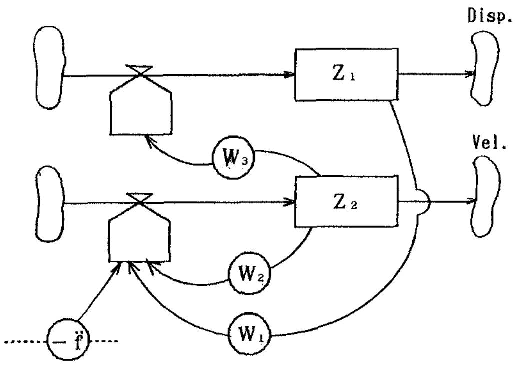
３．動的システムの更新

本研究において，システムを同定することは，リンクの各重みWiが最適な値に収れんしてＳＤモデルの骨格が明確になり，対象となる動的システムの最適なネットワークが構成されることである。したがって，動的システムの更新，学習とは，意味のあるリンクの重みはシステムの物理パラメータに収束し，それ以外のパラメータは零に近い値に収束することを意味する。すなわち，初期状態において各レベル変数が完全に相互結合されているネットワークでは，システムの更新後，より簡単なネットワークに収束することになる。

リンクの重みの更新には，拡張カルマンフィルタ重みつきグローバルな繰り返し(EK-WGI)法を使用する。状態量をＳＤモデルのレベル変数と重みとし，観測量をレベル変数とすることにより拡張カルマンフィルタのアルゴリズムが使用できる。



(a)モデル図



(b)SDによるネットワーク表現

図－１．線形１自由度系システム

４．数値計算例

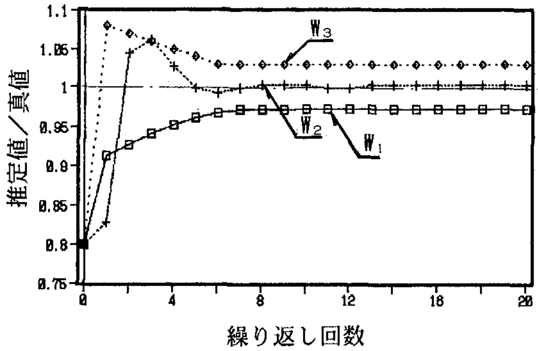
線形１自由度系を対象に数値計算を行った。例－１には図-1 (b)に示す簡単なモデルを用い，例－２ではより一般化したモデルを使用した。入力波形として，EL CENTRO(1940)を使用し，既知の１自由度系にルンゲ・クッタ・ジル法を適用して観測データを作成した。

例－１：簡単なＳＤモデル

ＳＤモデルの骨格が明確な図-1(b)をシステムモデルとし，減衰定数β＝0.05，固有円振動数ω＝31.4rad/secとして計算を行った。未知の重みの初期値は真値の８０％とし，レベル変数を観測量とした。

EK-WGI法の結果を図－２に示す。この図では推定値は真値で正規化してある。この図より推定値は真値の５％以内に収束し，適切なネットワークが同定された。

本ケースでは同定の初期値により，システムの構造がある程度制限される。例えば，重みw_3の初期値を零にした場合，ネットワークは可制御でなくなりシステムは制御不能となる。

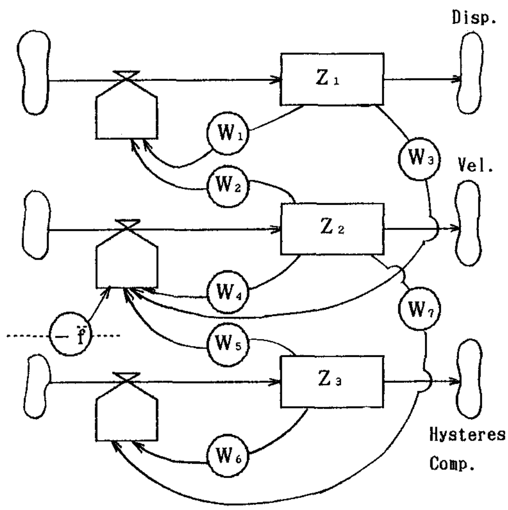


図－２．グローバルな繰り返しの結果

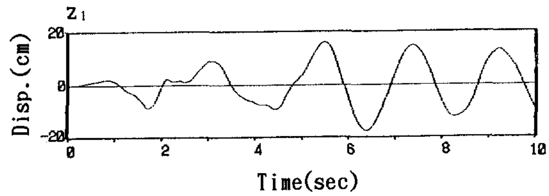
例－２：より一般的なモデル

より一般的な１自由度系システムは図-3 (a)のようになる。このモデルでは，非線形履歴項がレベル変数として付加されている。ここでは，β＝0.05，ω＝3.14 rad/secとして計算している。また全てのレベル変数を観測量としている。

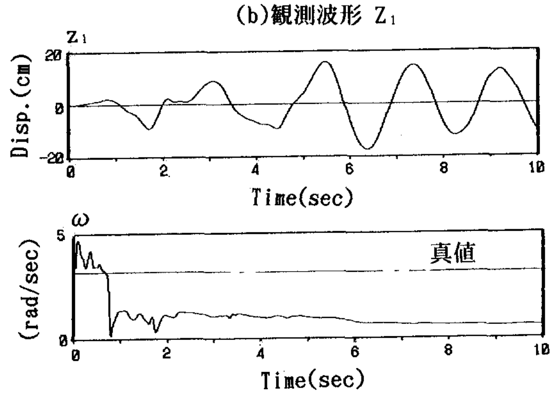
計算結果の一例を図-3 (c)に示す。この図は，最初の繰り返しの結果を示したものである。結果によれば，状態量（レベル変数）x_1～x_3の推定値は観測量に一致したが，重みは真値には収束していない。



(a)SDによるネットワーク表現



(b)観測波形 Z1



(c)推定波形 Z1 と 推定固有円振動数 ω

図－３．より一般的な１自由度系システム

５．あとがき

ＳＤモデルの骨格が正確な例－１では安定した同定が行えた。それに対し，より一般的なＳＤモデルである例－２では，レベル変数の推定値は正確に再現出来たが，各リンクの重みの推定値は，真値と違う値に収束する場合や，発散する場合もあった。

ＳＤモデルを完全なものにするためには，他の何らかの数学的な手法を導入する必要があると考えられる。例えば，ニューラルネットワークの自己組織化が手法の１つに考えられる。

尚，本研究では第三著者が課題の提案を，第二，第三著者で理論の検討を，第一著者が計算を分担した。