

富士通エフ・アイ・ピー 正会員 羽柴 徹
鳥取大学工学部 正会員 野田 茂

1. 序論

ニューラルネットワークは環境に対する適応能力が高いため、種々の分野に対する適用の試みがなされている。文献1)に示されるように、ニューラルネットワークを用いた振動制御の研究は近年頻繁に実施されている。しかし、構造物の非線形性挙動や時間遅れまで考慮した振動制御系はまだ考案されていない。そこで、本研究では、非線形構造物として、質点間がバイリニア履歴復元力特性を有する非線形バネで模擬できるような構造系を対象とし、非線形性挙動まで考慮したより実用的な構造振動制御系のアルゴリズムを提案するものである。

2. ニューラルネットワークの構成

ニューラルネットワークでは、構造パラメーターをネットワークの重みに置き換える。この特徴を活かして、本研究では、ニューラルネットワークを用いて、観測データを時々刻々取り込みながら、適応制御を行う。

振動制御アルゴリズムとして、図1に示すように、2つのニューラルネットワークを構築する。ニューラルネットワーク1(NN1)では構造パラメーターを同定する。ニューラルネットワーク2(NN2)では、NN1で推定された状態量と入力地震動を用いて、制御力を決定する。このようなアイデアは文献1)他で既に示されている。

本研究と文献1)の相違は、図1から明らかなように、NN1の同定において、中間層を用い、さらに t 時点における最適制御力 $U(t)$ を決定するのに、ローカルな繰り返しを実施していることである。構造物の非線形性をも考慮し、非線形履歴挙動が生じて、最適な振動制御となるように、中間層のユニットを考えていることも、文献1)と異なる新しい点である。また、NN1で同定されたパラメーターを用いて、NN1とは独立に、NN2のみの学習で、制御力を決定している点も異なる。これは、ローカルな繰り返しによって、解を改善することができることによる。

図1の入力層と中間層1の関係は図2のように考えた。中間層1の出力関数としては、 $f_1(x)$ 、 $f_2(x)$ ・・・を用いる。入力層と中間層1間の初期重みは非線形パラメーター β 、 γ ・・・で表せ、これらの値はランダムに付与する。

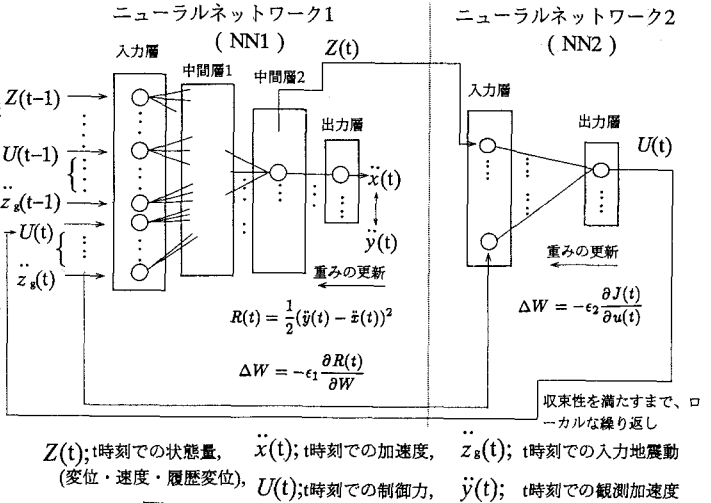


図1 ニューラルネットワーク

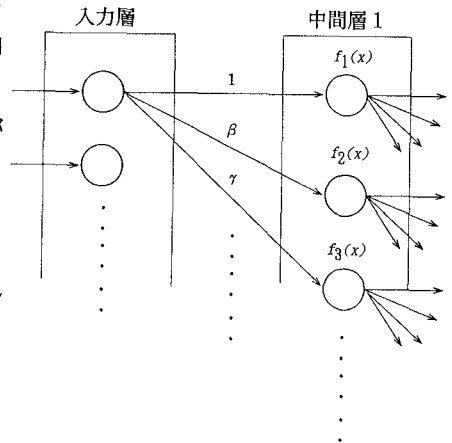


図2 ネットワークの非線形性

3. 振動制御のアルゴリズム

NN1の入力層は、1時点前の状態量(変位・速度・履歴変位) $Z(t-1)$ 、制御力 $U(t-1)$ と入力地震動 $\ddot{z}_g(t-1)$ 、現時点の制御力 $U(t)$ と入力地震動 $\ddot{z}_g(t)$ からなる。現時点の制御力はまだ確定していないので、この段階では、初期条件として、1時点前の制御力を用いる。NN1の中間層2から現時点の状態量 $Z(t)$ を、NN1の出力層から加速度応答 $\ddot{x}(t)$ を計算する。NN1において、加速度応答の計算値と観測値 $\ddot{y}(t)$ の2乗誤差を最小にするように、ニューラルネットワークを同定する。ここでは、計算の都合上、非線形多自由度系の運動方程式から推定される加速度に、ホワイトノイズを付加し、これを観測値とみなした。NN1の結果、構造パラメーターを推定することができる。

NN2を実施するために、2次形式で表される振動系のエネルギー、制御系のエネルギーと構造物に入力する地震エネルギーを考慮した時間依存型の評価関数 $J(t)$ を考える。

$$J(t) = \frac{1}{2} \Delta t \{ Z^T(t) (Q_1 + 2 \frac{\alpha Q_2}{\Delta t}) Z(t) + U^T(t) R U(t) \} + \alpha Z^T(t) W_2 \ddot{z}_g(t)$$

上式の評価関数を最小にするように、入力層にNN1で得られた現時点での状態量 $Z(t)$ と入力地震動 $\ddot{z}_g(t)$ を、出力層に制御力 $U(t)$ を与え、ニューラルネットワーク2を構成する。

制御力の算定精度を高めるために、NN2で得られた現時点の制御力をNN1の入力量として、フィードバックする。

図3は、一連の計算アルゴリズムを示したものである。同図からわかるように、NN1→NN2→NN1→NN2の繰り返しをローカルに行い、初期値の影響がなくなると、最適な制御力が得られる。このNN1とNN2のネットワークの重みは、それぞれのネットワークの学習率 ε_1 と ε_2 によって、収束する。

現時点の状態量、入力地震動と制御力を上式の評価関数に代入し、ローカルな繰り返しに伴って、この評価関数の変化量が十分小さくなると、最適な制御力は得られる。

4. 結論

- 1) 既往の適応制御にはない構造物の非線形性や時間遅れなどを効率的に処理するために、ニューラルネットワークによる非線形振動制御のアルゴリズムを考えた。
- 2) ニューラルネットワークに中間層と入出力間の非線形関数を導入することにより、構造物の非線形制御が行えるようになった。
- 3) ニューラルネットワーク1とニューラルネットワーク2の一連のアルゴリズムを、ローカルに繰り返し実施することにより、パラメーターの同定結果および制御力の推定精度は改善される。すなわち、本方法によれば、ニューラルネットワークを用いた既往の振動制御の研究よりも、より最適な制御系が得られる。

参考文献

- 1) 佐藤忠信・土岐憲三・橋本雅道：ニューラルネットワークを用いた構造物の最適振動制御，アクティブ制振(震)シンポジウム論文集，pp.109～116，1992年3月。

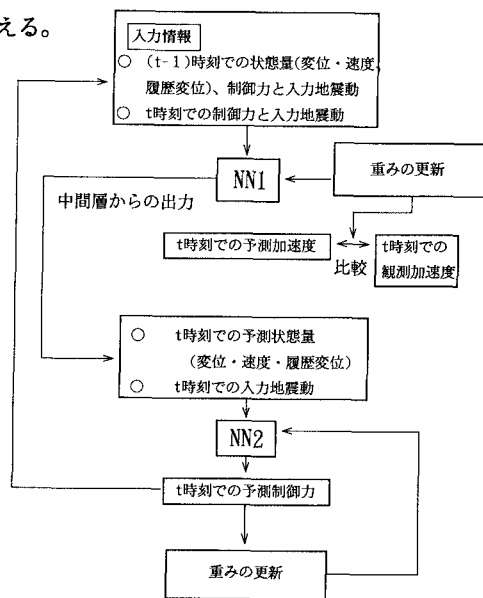


図3 制御アルゴリズム