

ニューラルネットワークによる前庭動眼反射の学習制御とその機能

張 曉林, 若松秀俊
 東京医科歯科大学 医学部 保健衛生学科

LEARNING MODEL AND FUNCTION OF COMPENSATORY EYE MOVEMENT BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Xiaolin ZHANG, Hidetoshi WAKAMATSU
 Faculty of Medicine, Tokyo Medical and Dental University

1. はじめに 網膜の中心窩に視標の像を結ぶように、頭部回転の逆方向に眼球がスムーズに動く。この前庭動眼反射運動が環境や生体機能の変化に対応できる学習機能が生理学的・解剖学的に確認されている。この眼球運動に関しては適応機能をもつ発生学的に古い小脳片葉の神経回路網の構造が解剖学的にも徐々に明らかになっており、その基本的機能や機序を論じるにモデル化によるシミュレーション手法が有効である。本研究では制御工学の立場からこれまでの生理学・解剖学的の知見をもとに、適応機能を含めた神経回路網のシステムモデルを構築する。しかる後、小脳片葉の実際の神経回路網(BNN)に対応した人工ニューラルネットワーク(ANN)の学習機能を用いて、前庭動眼反射の制御システムを構成しその制御性について論じる。また、その学習制御システムの収束性について、拡大プリズムと逆転プリズムを装着したときの反射運動の適応の過程について具体的に検討する。

2. 前庭動眼反射性運動のメカニズム 本研究では生理的眼球運動のうち、前庭動眼反射運動のみに着目し、その運動機能を考察する。そのために必要とする最も単純化した解剖学的経路を図1に示す。

前庭動眼反射の水平方向における反射経路は、水平半規管(HC) 前庭核(VN) 動眼神経核(OMN)という前向き経路である。これに対して、制御経路は水平半規管(HC) 苔状線維(mf) 小脳片葉(FL)であり、この経路で生成される信号が前庭核(VN)に加わる。この際、苔状線維(mf) から小脳片葉(FL)に入る経路の信号の伝達量がプルキンエ細胞により学習的に調節される。この伝達量を制御する視覚信号、すなわち網膜誤差信号は、網膜R 視蓋前域(PT) 下オリブ核(IO)の後帽

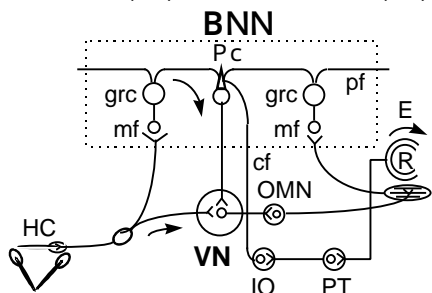


図1 前庭動眼反射経路の概略

を經由して、登上線維(cf)から小脳片葉(FL)に入る。また、眼球の伸張受容器からの信号も苔状線維(mf)を通して小脳片葉に入る。

3. ANNを用いた前庭動眼反射のモデル

本研究では、従来の研究の知見に学習機能を持つ小脳片葉のBNNのモデルを取り入れ、前庭動眼反射眼球運動全体のモデルを構築する。

まず、水平半規管からの信号の前向き経路のゲインを定数とする。前庭核から動眼神経核までの経路には不完全積分が存在し⁽¹⁾、半規管からの信号の制御経路は小脳片葉のBNNを通して前庭核に入る。したがって、図1をもとに前庭反射系の制御モデルを図2のように構築することができる。頭部の回転角度、視標の位置、および視軸の位置によって決まる網膜誤差を $e(s)$ で表す。また、 $H(s)$ は頭部の回転角度、 $O_o(s)$ は頸の中心軸に対する視標の回転角度、 $E(s)$ は眼軸の回転角度である。Kは環境変化係数とし、通常は1であり、2倍プリズムの装着時は2、そして逆転プリズムの場合は-1である。 $H_v(s)$ は水平半規管からの頭部回転速度の出力である。

ANNの学習は逆伝播法を用いて行う。学習用誤差信号は網膜誤差を用いる。

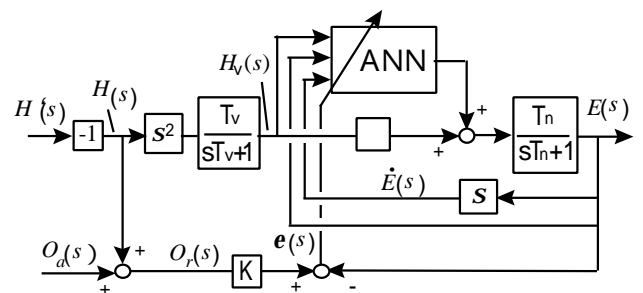


図2 前庭動眼反射制御系のモデル

4. おわりに 本研究は小脳片葉のBNNの学習機能を人工的なANNを用いて模擬し、前庭動眼反射制御系モデルに取り入れた。このモデルを離散化し、シミュレーションした結果は、生理学実験の結果と一致する。

今後は視機能反射運動を考慮した眼球反射運動、さらに随意性運動である滑動性および衝動性眼球運動を含めた運動システムについて学習機能を検討する予定である。

参考文献 若松・張：前庭動眼反射運動の学習モデル，日本ME学会第10回秋季大会論文集，38(1996)。