

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2611920号

(45) 発行日 平成 9 年 (1997) 5 月 21 日

(24) 登録日 平成 9 年 (1997) 2 月 27 日

| (51) Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|------|--------|---------------|--------|
| G 0 9 B 9/00 | | | G 0 9 B 9/00 | Z |
| A 6 3 B 69/00 | | | A 6 3 B 69/00 | |
| G 0 9 B 19/00 | | | G 0 9 B 19/00 | Z |

請求項の数 7 (全 7 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願平 5 - 178282 | (73) 特許権者 | 592179296 株式会社エイ・ティ・アール人間情報通信研究所 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷 5 番地 |
| (22) 出願日 | 平成 5 年 (1993) 7 月 19 日 | (72) 発明者 | 川人 光男 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷 5 番地 株式会社エイ・ティ・アール人間情報通信研究所内 |
| (65) 公開番号 | 特開平 7 - 36362 | (72) 発明者 | 小池 康晴 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷 5 番地 株式会社エイ・ティ・アール人間情報通信研究所内 |
| (43) 公開日 | 平成 7 年 (1995) 2 月 7 日 | (74) 代理人 | 弁理士 深見 久郎 (外 2 名) |
| | | 審査官 | 郡山 順 |

(54) 【発明の名称】 運動技能学習装置

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 運動技能を学習者に学習させる運動技能学習装置であって、前記学習者の複数の筋肉の活動に応じた信号を検出する検出手段と、前記検出手段の各検出出力を各筋肉が発生する張力に対応する擬似張力を表わす信号に変換し、その信号に基づいて非線形ダイナミクスモデルを用いて運動パターンを推定する推定手段と、前記推定手段によって推定された運動パターンと予め記憶された理想パターンを比較して、その誤差を擬似張力の誤差に変換する変換手段と、前記変換手段によって変換された擬似張力の誤差に基づいて、前記学習者に前記理想パターンの運動を行なわせるための刺激を与える刺激付手段とを備えた運動技能

2

学習装置。

【請求項 2】 前記刺激付手段は、前記変換手段によって変換された擬似張力の誤差を前記学習者が運動を開始したときから記憶し続ける記憶手段と、前記記憶手段に記憶された擬似張力の誤差に基づいて、前記学習者に付与する刺激の時間パターンを生成する生成手段と、前記生成手段で生成された時間パターンで前記学習者に刺激を付与するために刺激を制御する制御手段とを含む、請求項 1 記載の運動技能学習装置。

【請求項 3】 前記変換手段は、巡回型誤差逆伝搬学習則を用いて、前記運動パターンと理想パターンの誤差を時間を遡って逆伝搬して、前記擬似張力の誤差に変換することを特徴とする、請求項 1 記載の運動技能学習装

10

置。

【請求項 4】 前記刺激付与手段は、前記各筋肉が発生する張力を増加させるために高い振動数の刺激を与えるか、または前記各筋肉が発生する張力を減少させるために低い振動数を与えることを特徴とする、請求項 1 記載の運動技能学習装置。

【請求項 5】 前記推定手段は、神経回路を含み、前記神経回路は、前記検出手段から入力されている複数の筋肉の活動に応じた信号をフィルタリングし、各筋肉が発生する張力に対応する擬似張力を表わす信号を出力する前段回路と、前記前段回路から信号を受け、運動パターンを推定する複数層からなる後段回路とを含む、請求項 1 記載の運動技能学習装置。

【請求項 6】 前記神経回路は、パラメータを決定するために所定の学習則を用いて学習することを特徴とする、請求項 5 記載の運動技能学習装置。

【請求項 7】 前記検出手段は前記筋肉の活動に応じた信号を検出するために前記学習者の身体に装着される表面電極を含む、請求項 1 記載の運動技能学習装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は運動技能学習装置に関し、たとえばゴルフ、テニス、スキー、水泳を習得するためのスポーツ技能や自動車操縦技術などを習得するための特殊技能に対して指導者を必要とせず、さらに個人に対しては自宅で、または多数の人々に対しては一堂に会してもしくは同時通信回線を介して運動技能を苦痛なく容易に習得させることができるような運動技能学習装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の運動技能の学習では、スポーツや特殊操作法に関する専門家学習者を指導することによって行なわれていたが、学習者に対して科学的に指導するための教育プログラムに一貫性がなかった。さらに、言語による運動技能の記述が実際に脳神経系で行なわれている計算と全く関連がないという批判さえあった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、人体の運動やその指令である筋電信号、床反力などを高時間分解能、高精度で計測する計測装置があるが、運動技能学習に対して直接的には役立っていない。

【0004】それゆえに、この発明の主たる目的は、運動を生じさせる原因である脳、神経系の活動を何らかの非侵襲的な方法で計測し、予め理想とされる脳、神経系の活動と計測された活動とを比較し、その計測された活動を修正することで学習者に理想的な動作を行なわせることができるような運動技能学習装置を提供することである。

【0005】この発明の他の目的は、学習者が特別な苦勞、苦痛、疲労、危険を感じることなく、さらに安価にかつ短時間に運動技能を習得することができるような運動技能学習装置を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】請求項 1 に係る発明は、運動技能を学習者に学習させる運動技能学習装置であって、学習者の複数の筋肉の活動に応じた信号を検出する検出手段と、検出手段の各検出出力を各筋肉が発生する張力に対応する擬似張力を表わす信号に変換し、その信号に基づいて非線形ダイナミクスモデルを用いて運動パターンを推定する推定手段と、推定手段によって推定された運動パターンと予め記憶された理想パターンを比較して、その誤差を擬似張力の誤差に変換する変換手段と、変換手段によって変換された擬似張力の誤差に基づいて、学習者に理想パターンの運動を行なわせるための刺激を与える刺激付与手段とを備える。

【0007】請求項 2 の発明では、請求項 1 の刺激付与手段は、変換手段によって変換された擬似張力の誤差を学習者が運動を開始したときから記憶し続ける記憶手段と、記憶手段に記憶された擬似張力の誤差に基づいて、学習者に付与する刺激の時間パターンを生成する生成手段と、生成手段で生成された時間パターンで学習者に刺激を付与するために刺激を制御する制御手段とを含む。

【0008】請求項 3 の発明では、請求項 1 の変換手段は、巡回型誤差逆伝搬学習則を用いて、運動パターンと理想パターンの誤差を時間を遡って逆伝搬して、擬似張力の誤差に変換する。

【0009】請求項 4 の発明では、請求項 1 の刺激付与手段は、各筋肉が発生する張力を増加させるために高い振動数の刺激を与えるか、または各筋肉が発生する張力を減少させるために低い振動数を与える。

【0010】請求項 5 の発明では、請求項 1 の推定手段は神経回路を含み、神経回路は、検出手段から入力されている複数の筋肉の活動に応じた信号をフィルタリングし、各筋肉が発生する張力に対応する擬似張力を表わす信号を出力する前段回路と、前段回路から信号を受け、運動パターンを推定する複数層からなる後段回路とを含む。

【0011】請求項 6 の発明では、請求項 5 の神経回路は、パラメータを決定するために所定の学習則を用いて学習する。

【0012】請求項 7 の発明では、請求項 1 の検出手段は、筋肉の活動に応じた信号を検出するために学習者の身体に装着される表面電極を含む。

【0013】

【作用】この発明に係る運動技能学習装置は、学習者の複数の筋肉の活動に応じた信号を検出手段によって検出し、その検出信号を各筋肉が発生する張力に対応する擬似張力を表わす信号に変換した後、非線形ダイナミクス

モデルによって推定された運動パターンと予め記憶された運動パターンとを比較して、その誤差を変換手段によって擬似張力の誤差に変換し、その擬似張力の誤差に基づいて刺激を付与することで運動技能を学習者に学習させる。

【0014】

【実施例】図1は、この発明の一実施例による運動技能学習装置の概略ブロック図である。

【0015】図1を参照して、身体1に装着された表面電極3は、身体1の筋肉の活動に応じて筋電信号を検出する。検出された筋電信号は、筋電信号増幅器4に与えられて増幅され、フィルタ5に与えられる。フィルタ5は、増幅された筋電信号をフィルタリングし、擬似張力を表わす信号に変換し、身体ダイナミクスモデル6に与える。身体ダイナミクスモデル6は、たとえば非線形神経回路が用いられ、擬似張力を表わす信号に基づいて運動パターンを推定し、減算回路8に与える。

【0016】減算回路8には、身体ダイナミクスモデル6からの入力他に理想運動パターン記憶装置7からの理想運動パターンが入力されており、2つの運動の差によってその誤差を計算し、身体ダイナミクスモデルのコピー9に与える。身体ダイナミクスモデルのコピー9は、運動パターンの誤差を擬似張力の誤差に変換して、刺激時間パターン生成器11と筋張力誤差記憶装置10に与える。筋張力誤差記憶装置10は、学習者が運動を開始したときからの誤差の時間関数を蓄えており、それを刺激時間パターン生成器11に与える。

【0017】刺激時間パターン生成器11は、筋張力誤差記憶装置10によって与えられた筋張力の誤差の時間関数と身体ダイナミクスモデルのコピー9によって与えられた筋張力の誤差とに基づいて、刺激時間パターンを生成し、刺激制御器12に与える。刺激制御器12は刺激電極およびパイプレータ13に制御信号を与え、刺激電極およびパイプレータ13は身体1に刺激を与える。

【0018】図2は、この発明の一実施例による運動技能学習装置の動作を説明するためのフローチャートであり、図3は、フィルタ5と身体ダイナミクスモデル6とを接続した4層パーセプトロン神経回路を示した図である。以下、図2および図3を参照して、図1の動作について説明する。

【0019】表面電極3を身体1に装着した学習者が、運動開始のキュー2に合わせて身体1を動かしたり力を発生したりすると、複数の筋肉から筋電信号が表面電極3によって検出される。なお、運動開始のキュー2に合わせて運動を始めるのは、学習者の身体1だけでなく、後で説明するが理想運動パターン記憶装置7と筋張力誤差記憶装置10も動作を始める。検出された筋電信号は、筋電信号増幅器4によって増幅された後、フィルタ5に与えられ、擬似張力を表わす信号に変換されて身体ダイナミクスモデル6に与えられる。身体ダイナミクス

モデル6は、与えられた擬似張力に基づいて、肩と肘の2つの関節角度で表わされた運動パターンを推定する。次に、フィルタ5と身体ダイナミクスモデル6について図3を用いて詳細に説明する。

【0020】フィルタ5と身体ダイナミクスモデル6を接続した巡回型4層パーセプトロン神経回路は、第1層14、第2層15、第3層16および第4層17とを含み、第1層には過去から現在に至る筋電信号 $EMG_m(n) \dots EMG_m(n - N + 1)$ を表現したニューロン18があり、そのニューロン18の出力は第2層15のニューロン19のそれぞれに入力される。第1層14から第2層15までの変換によってフィルタ3を実現しており、第2層15のニューロン19は擬似張力を表わす。

【0021】第2層15には、ニューロン19の他に、肩の関節角度 s_1 、肘の関節角度 e_1 、肩の関節角速度 s_2 および肘の関節角速度 e_2 を表わすニューロン20, 21, 22および23が設けられており、第2層15のニューロン19, 20, 21, 22, 23の出力は、第3層16のニューロン24のそれぞれに入力される。第3層16は非線形活動関数を有しており、その出力は第4層17のニューロン25に入力される。なお、第2層15と第3層16はシナプス結合26によって結合されており、第3層16と第4層17もシナプス結合27によって結合されている。

【0022】これらの第2層15から第4層17までの非線形変換によって図1に示した身体ダイナミクスモデル6を実現しており、最終的に第4層17のニューロン25の出力は、擬似張力、関節角度および関節角速度から推定された関節角加速度（図3には肩の関節角加速度 s_3 のみを示した）である。この関節角加速度を数値積分することで関節角の時間波形で表わした運動パターンを推定することができる。そのため、身体ダイナミクスモデル6はその関節角の時間波形で表わされた運動パターンを減算回路8に入力する。一方、理想運動パターン記憶装置7は、運動開始のキュー2とともに記憶された関節角の時間波形で表わされた理想運動パターンを読み出し、減算回路8に入力する。減算回路8は、2つの運動パターンを比較し差を計算することで、理想運動パターンに対する推定された運動パターンの誤差を身体ダイナミクスモデルのコピー9に入力する。

【0023】身体ダイナミクスモデルのコピー9は、身体ダイナミクスモデル6と逆の動作、すなわち巡回型4層パーセプトロン神経回路に入力された運動パターンの誤差を巡回型誤差逆伝搬学習則によって、擬似張力の誤差に変換する。ここで、巡回型誤差逆伝搬学習則は、巡回結合を持つ神経回路モデルに対し、前向き結合だけを用い、巡回結合を持たないフィードフォワード型神経回路モデルの最も広く使われている誤差逆伝搬学習則を拡張したものである。変換された擬似張力の誤差を減らす

ように刺激時間パターン生成器 1 1 が電気刺激または機械振動刺激を身体 1 に与える時間パターンを決定するが、ある時刻での運動パターンの誤差は、その時点での緊張力の誤差だけで決定されるわけではなく、その時点以前の緊張力の誤差にも依存している。

【0024】そのため、身体ダイナミクスモデルのコピー 9 を通した時間を遡る誤差逆伝搬学習によって、その時点以前の筋張力を修正しなければならない。しかし、時間の流れを逆転することができないため、運動開始のキュー 2 を原点として筋張力の誤差の時間関数を記憶する筋張力誤差記憶装置 1 0 が設けられている。これにより、刺激時間パターン生成器 1 1 は、筋張力誤差記憶装置 1 0 によって読出される筋張力の誤差の時間関数と身体ダイナミクスモデルのコピー 9 によって変換されたその時点での擬似張力の誤差とに基づいて、刺激の強度と時間パターンを計算し、刺激制御器 1 2 に入力する。刺激制御器 1 2 が刺激電極およびパイプレータ 1 3 に制御信号を与えることによって刺激電極およびパイプレータ 1 3 が駆動し、身体 1 に刺激が与えられる。

【0025】以上のことをまとめると、学習者は運動開始のキュー 2 を与えられることにより運動を開始し、理想運動パターンはそのキューに合わせて理想運動パターン記憶装置 7 から読出され始める。学習者の運動にかかわる複数の筋肉から表面電極 3 を用いることによって筋電信号が計測され、フィルタ 5 と身体ダイナミクスモデル 6 によって実時間で運動パターンが推定される。理想運動パターンと推定された運動パターンは上述のキューによってタイミングがあっているので、それぞれの時刻ごとに 2 つの運動パターンの差が計算されることで運動パターンの誤差は時間の関数として実時間で計算される。この誤差は、身体ダイナミクスモデルのコピー 9 の出力端に与えられ、ダイナミクスモデルのコピー 9 を通じて誤差逆伝搬されることにより筋張力の誤差に変換される。計算された筋張力の誤差を補償するように刺激制御器 1 2 によって学習者の筋肉へ電気刺激または振動機械刺激が実時間で与えられる。このようにして、学習者の身体 1 の運動は、理想運動パターンに対応した運動に修正される。

【0026】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、学習者の複数の筋肉の活動に応じた信号を検出し、その検出信号を各筋肉が発生する張力に対応する擬似張力を表わす信号に変換し、その信号に基づいて推定された運動パターンと予め記憶された理想運動パターンとの誤差を修正するための刺激を学習者に与えるようにしたので、学習者は実時間で運動技能を学習することができる。しかも、訓練を受けるときにおいて、学習者は特別な苦勞、苦痛などを感じることなく、安価でかつ短時間に運動技能を学習することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の一実施例による運動技能学習装置の概略ブロック図である。

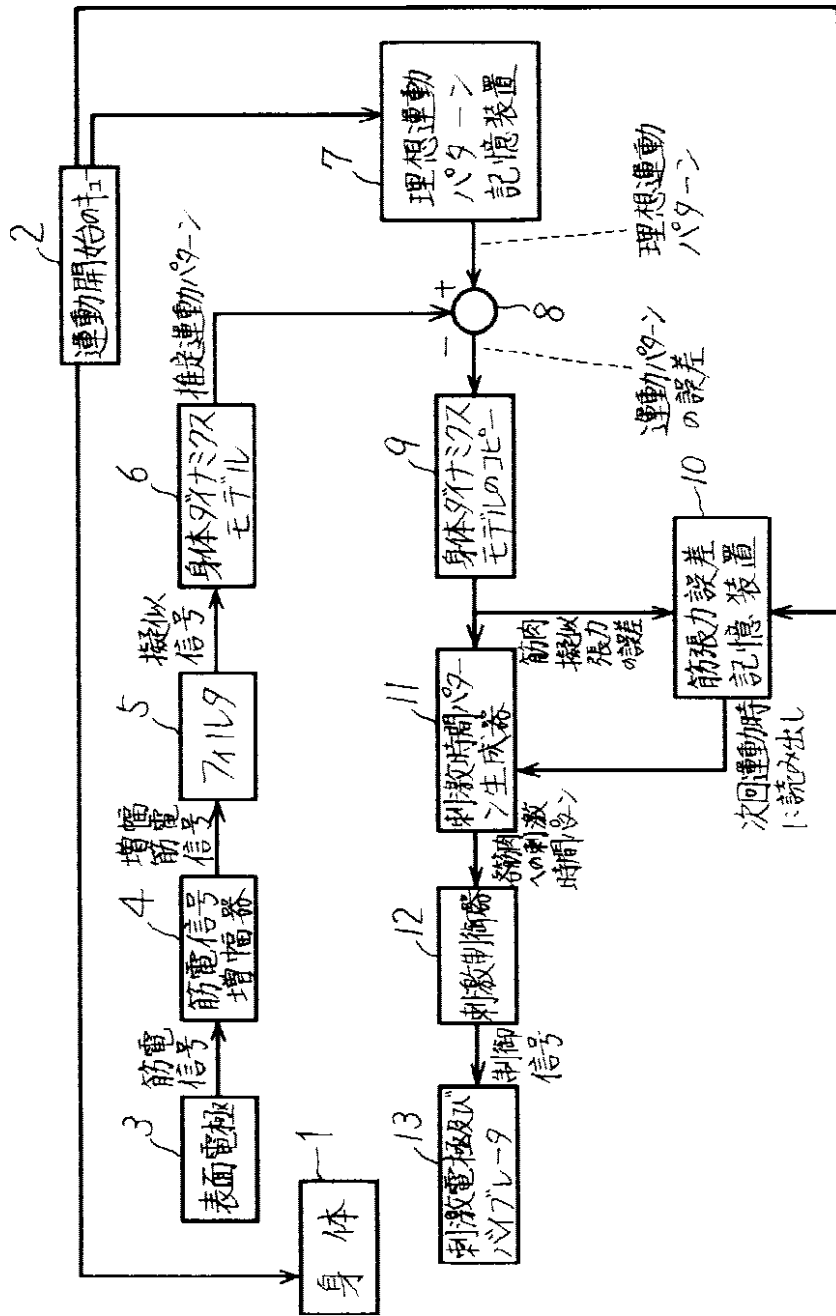
【図 2】図 1 に示した運動技能学習装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図 3】筋電信号と位置、速度から関節角加速度を推定する基本的な 4 層構造のパーセプトロンを示す図である。

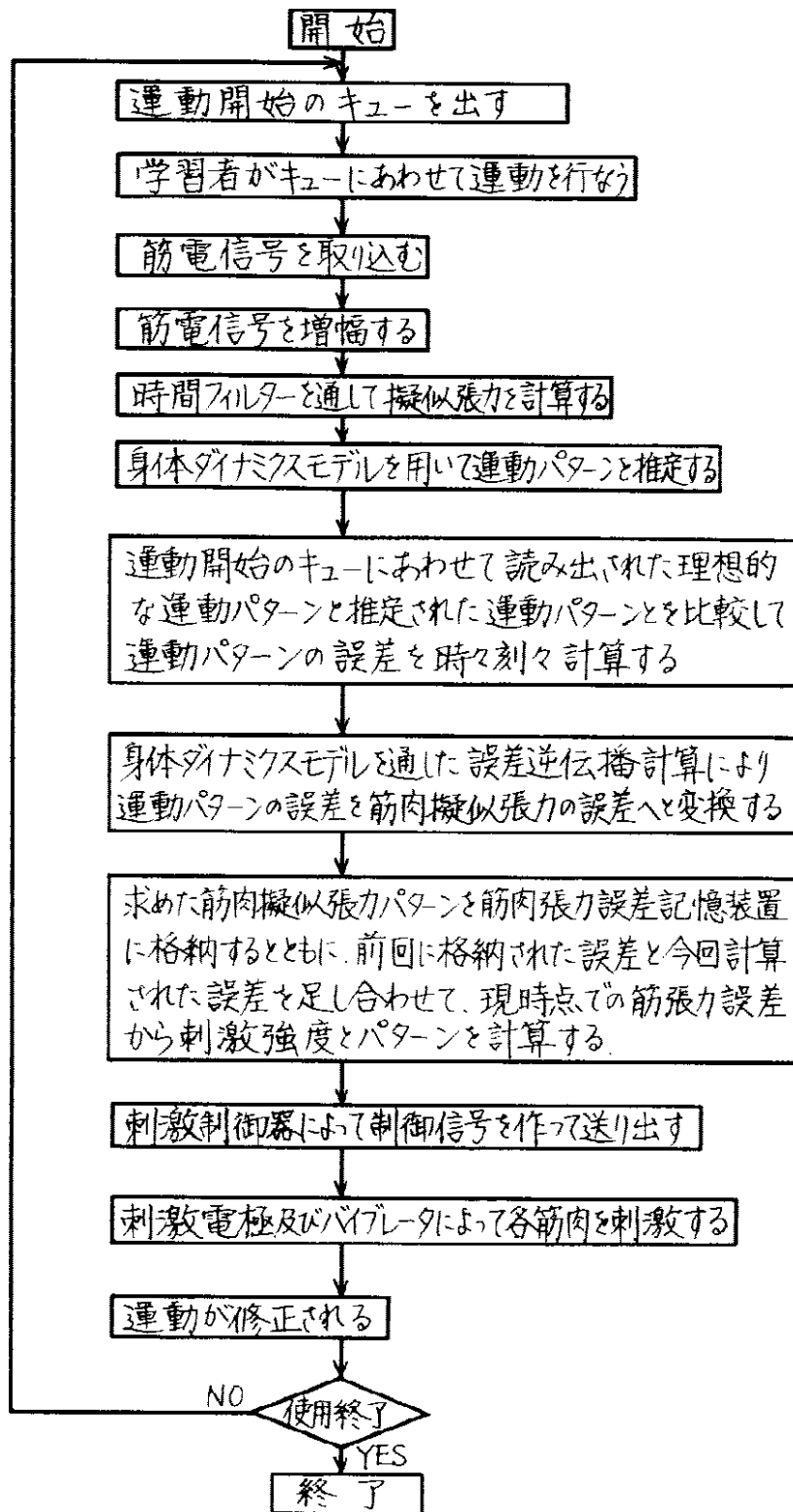
20 【符号の説明】

- 1 身体
- 3 表面電極
- 4 筋電信号増幅器
- 5 フィルタ
- 6 身体ダイナミクスモデル
- 7 理想運動パターン記憶装置
- 8 減算回路
- 9 身体ダイナミクスモデルのコピー
- 10 筋張力誤差記憶装置
- 30 11 刺激時間パターン生成器
- 12 刺激制御器
- 13 刺激電極およびパイプレータ
- 14 第 1 層
- 15 第 2 層
- 16 第 3 層
- 17 第 4 層
- 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 ニューロン

【図1】



【図 2】



【図 3】

