

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01357

研究課題名(和文) 深層ネットからのルール抽出に基づく手首筋電による革新的インタフェースの基盤構築

研究課題名(英文) Construction of Innovative Interface Platform by Wrist EMG based on Rule Extraction from Deep Net

研究代表者

福見 稔 (FUKUMI, Minoru)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・教授

研究者番号：80199265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ジャンケン認識を行う深層学習ネットに対して、乱数を用いて学習用サンプル数を増加させる方法を提案し、その有効性を評価した。また、深層学習ネットの中間層付近から出力層部分をクラス分類と個人認証(被験者分類)を行うネットワークの二つに分けて学習認識する方法を提案し、高精度を達成できた。

認識用ルール抽出について様々な仕組みを検討したが、結果的に畳み込み層を有する深層学習で効果的に識別ルールを抽出できる仕組みを開発できなかった。今後は新たな仕組みの開発を検討する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ジャンケン認識を行う深層学習ネットに対して、乱数を用いて学習用サンプル数を増加させる方法を提案し、その有効性を評価した。また、深層学習ネットの中間層付近から出力層部分をクラス分類と個人認証を行うネットワークの二つに分けて学習認識する方法を提案し、高精度を達成できた。これらの仕組みは、他の分野で使用される深層学習ネットにも直接適用可能な方法であり、また個人認証を含むことからセキュリティ面での安全性強化に役立つ方法である。

研究成果の概要(英文)： In this study, we proposed a method for increasing the number of learning samples by using random numbers for deep learning nets that perform rock-paper-scissors recognition, and evaluated its effectiveness. In addition, we proposed a method of learning recognition by dividing the output layer part from the middle layer of the deep learning net into two networks: class classification and personal authentication (subject classification), and achieved high accuracy.

We have examined various mechanisms for rule extraction, but as a result, we have not been able to develop a mechanism that can effectively extract identification rules by deep learning with convolutional layers. In the future, we will study the development of a new mechanism.

研究分野：信号処理

キーワード：手首筋電 ジャンケン認識 深層学習 個人認証

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、世界中でニューラルネットワーク(以後 NN と略記する)の一種である深層学習(Deep Learning)に関する研究開発が活発で、第三期のフィーバー状態となっていた。ここで言う深層学習とは、通常の3層構造を越える多くの(深い)層を持つ NN の学習のことである。下火となっていた NN 研究は、2006年の Hinton らによる深層学習の提案以後に世界中で活発化し、また様々な認識コンテストで従来法を大幅に上回る性能を発揮したことにより、多くの研究者がこの分野に参入している。深層学習が注目を集めるもう一つの理由は、学習により自動で注目すべき特徴量の生成(表現学習、従来の人工知能では不可能であったこと)ができたためである。

しかし、その一方で1980年代から指摘さえている欠点が解決されたわけではない。そのため、学習の局所収束、中間表現(内部表現)の解釈困難性、組み合わせ構造(言語構造など)への対処など、深層学習でも課題となっている。申請者は1990年代後半に学習済みの3層 NN からパターン認識を行う際のルールを抽出する方法を提案した。この方法は遺伝的アルゴリズム(生物進化の工学モデル)等で NN の構造を進化させルール抽出に適した構造とした後で“ If ~ then ルール ”を抽出する方法である。この研究により、3層 NN からのパターン認識用のルール抽出法はほぼ完成された。ただ深層学習では、4層以上の深い層(7~12層、またはそれ以上)の NN を用いるため、これまでルール抽出の研究はほとんど無かった。そのため、ルール抽出ではなく、ある特徴ニューロンが最も強く反応する入力信号を合成したり、内部表現の多変量解析などを行っていた。しかし、それらは解釈が困難な場合も少なくない。本研究では、深層学習の中間表現の解釈困難性を解決するために、学習済みの深層学習 NN から抽出できるルール表現を調査し、人間が理解しやすいルールを抽出する方法を研究することを目指した。深層学習の高精度認識達成の理由を明確にするためにも人間が理解できるルールとしてその性能を説明することは重要である。

他方、本研究では手首筋電(以後 EMG と略記する)に基づくインタフェースを開発することを目指した。EMG を用いた研究は従来から、義手や義足、様々なインタフェースに応用(ゲームコントローラも含む)できるのではないかという期待から世界中で活発に行われていた。しかし、それらの研究の中で、例えば腕の EMG を利用する場合、上腕や前腕の太い筋肉(橈側・尺側主根屈筋上等)に電解クリームを塗布して装着する方式であり、装着に際して若干の専門的知識を必要とする。指や顔の EMG を利用する研究でも、計測装置(センサ)を容易に装着することは困難であり、本研究で目指す手首 EMG の利用形態(腕時計型、図1)がインタフェース利用目的の場合、最も装着性に優れている。

本研究では、学習済み深層学習 NN から抽出されたルールと手首 EMG により手首と指の動作を高精度に認識して、次世代の革新的インタフェースの基盤を構築することを目指した。

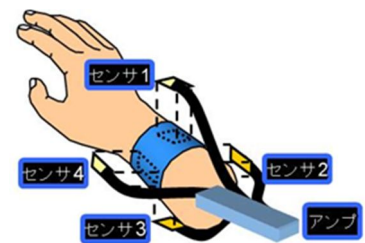


図1 手首にセンサ装着

2. 研究の目的

本研究では、手首で計測される EMG により学習された深層学習型 NN から認識ルール(規則性)を抽出し、それを用いて手首と指の動作を認識できる次世代の革新的インタフェースの基盤を構築することが目的である。そのために、学習済みの深層学習 NN から抽出できるルール表現を調査し、人間が理解しやすい認識ルールを抽出して(認識アルゴリズムのルール化)、それに基づいて手首 EMG による手首と指の動作認識を高精度に行える腕時計型インタフェースシステムの基盤を構築する。

これらを実現するためには、手首で計測された EMG を用いて深層学習 NN により、まずジャンケン認識などの指動作を高精度に行えることを示す必要がある。高精度に認識を行える深層学習 NN を実現してから、その認識を行うためのルール表現（規則性中手中）を検討する必要がある。深層学習 NN で高精度認識を達成するためには十分な個数の良い学習サンプルが必須である。しかし、生体信号の場合、計測データ数を増加させることは被験者の負担が大きくなり、一般には難しい。そのため、少ない個数の生体信号数を何らかの方法で増加させる仕組みが必要である。本研究では、その方法を検討した。

次に、本研究の目的では、ジャンケン認識に加えて、セキュリティ面での強化を図るために、同一 NN で個人認証（被験者認識）を行えることが必要である。もちろん、それらを別々の深層学習 NN で実現しても良いのであるが、同一 NN とした方が NN に対する教師データの種類が多くなり、学習を効率化できる可能性があるため、同一 NN で二つの種類の異なる課題を実現することを試すことにした。さらに、学習後に、深層学習 NN の出力部分を除去し、深層学習 NN を単に特徴生成器として動作させ、生成された特徴を SVM（サポートベクタマシン）により学習識別する方法も検証した。

深層学習 NN の学習サンプル数を増加させ、NN による高精度なジャンケン識別・個人認証を実現した後、ルール抽出の方法を検討することも目的である。

3. 研究の方法

本研究では、手首で計測された EMG を用いて学習させた深層学習型 NN から人間が理解しやすい形式のルール（規則性）を抽出する方法を調査し、その深層学習 NN から抽出されたルールに基づいて手首と指の動作を認識できる革新的インタフェースの基盤を構築するために、各年度に以下の研究を進めた。

【平成 28 年度】高精度 EMG 認識のための深層学習 NN の構造と入力信号形態の検討

【平成 29 年度以降】深層学習 NN の構造最適化方法とルール表現法の検討

【平成 28 年度】

(1) 高精度 EMG 認識のための深層学習 NN の構造の検討

従来の申請者らの手首 EMG 認識では、手首に装着した 4 チャンネルまたは 8 チャンネルの乾式センサ（各々電極 3 個）により EMG 計測を行い、高速な統計的学習法でデータ次元の圧縮をして認識していた。この場合、学習用データと異なる被験者のデータに対しては精度悪化が著しかった。次世代のインタフェースとして実現するためには、学習に用いたデータと異なる被験者のデータを高精度に認識できることが重要である。そのための深層学習 NN の構造を検討した。特に、NN の入力層から中間付近の層までは共通構造で、中間層付近から出力層までは動作（クラス）認識部と被験者識別部を分けて構築し、深層学習によりそれらの特徴を分離可能か否かを検証する。複数の被験者に共通する特徴と被験者固有の特徴を抽出することが重要である。従来の 3 層 NN を用いた学習でも NN の構造を工夫することにより、回転に依存する情報と回転に不変な情報（相反する情報）を 3 層 NN の中間層上に共通特徴として実現できていた。本研究では 7 層程度の畳み込み NN を深層学習の基本形とし、その構造を工夫した。28 年度に識別する動作はジャンケン動作であり、その後指のピンチ動作・指文字等を加える予定で進めた。

(2) 入力信号形態の検討

深層学習で高精度認識を達成するために必要な入力信号の形態を調査・検討した。使用する入力信号として、EMG の時系列信号、周波数スペクトル、それらを統計的学習法で次元圧縮した信号などを組み合わせて調査した。この研究は平成 29 年度以降も継続した。また、入力信号で

ある EMG は、計測精度にも依存するが計測の度に变化する（個人内分散が大きい）ため、この変動成分を可能な限り最小化するための正規化法を検討した。

【平成 29 年度以降】

(3)抽出するルール表現の検討

上記の(2)とも関連するが、入力層からと出力層からの 2 方向から実現可能なルール表現を調査・検討した。特に、深層学習で得られた情報表現には人間が意味を与える必要がある。第 2 層以降も同様に構造化するが、2 層目～3 層目および 4 層目～5 層目は、いわゆる pooling 層（ぼかし効果）となっており、この部分のルール表現も検討した。第 5 層～7 層目も同様であるが、出力層から前方向に向けたルール表現を検討した。これは出力層が 2 種類の情報を別々に表現する仕組みとなっているためである。その後で全体的な構造を考慮したルール表現方法を検討する必要がある。最終的に、深層学習での学習結果に基づいて全体的なルール（規則性）を検討した。

(4)個人差解消のための構造の検討

本研究で使用する深層学習 NN は出力層とその一つ前の層をクラス（動作）分類と被験者分類に分けている。この構造により、クラス分類での個人差解消とセキュリティ向上の意味での被験者分類（照合）を同時に学習させ、その分類精度を評価した。また、様々な構造（特に第 5 層～7 層）も検討し、その効果（性能）を評価した。

4. 研究成果

まず、深層学習 NN を高精度化するために、良質な学習サンプル数を増加させる方法を検討した。入力信号（EMG 信号）を周波数変換し、周波数空間上で小さなガウス乱数を適用し、様々な学習サンプルを発生させた。発生させた信号が学習に寄与するか否かを検証するために、膨大な回数の計算機シミュレーションを実施した。このために、購入した GPU 搭載の計算機を活用した。多くのガウス乱数発生法を検討した結果、振幅値を増減する形式でジャンケン認識に対する精度改善の効果が高いことが分かった。また、EMG センサを 8 個使用しているが、センサ間に平滑化を導入することにより、さらに精度改善できることが示された。さらに、深層学習 NN の出力部分を SVM に置き換えることにより、最終的に、約 95% 程度の認識率を達成できた。これは、学習に用いなかった被験者の EMG データに対する精度であり、従来よりも高精度であると言える。

次に、ジャンケン認識に加えて個人認証を行える出力層部分を追加した。つまり、出力層部分が二つに分かれており、ジャンケン認識と個人認証（被験者分類）に対して別々の教師データを与え、同時に学習するものである。入力層から中間層付近までが共通である。2 種類の教師データを与えることにより、学習の際の情報量が増加し、効率的な学習が行えることが期待できる。また、セキュリティ面での強化を図ることができる。実施に、学習識別を行うと若干の精度改善効果が見られた。また、深層学習 NN の構造を検討し、Wide Residual Network を用いて学習識別を行った。このネットワークは層の深さよりも、横方向の広がりに着目した NN となっている。結果として、若干の精度改善効果があることが分かった。同様に、Dilated Convolution による学習識別も試したところ、こちらも若干の精度改善効果が見られた。したがって、今後も、様々な NN 構造を検討する価値があると考えられる。また、ジャンケン以外に、指文字の認識（中国指文字、1～10）を行った。この際、入力信号の次元圧縮方法を検討し、次元圧縮することにより精度改善効果があることも分かった。

最後に、深層学習 NN からのルール抽出の方法であるが、様々な観点から検討を行った。しかし、結果的に有効なルール抽出方法を開発するには至らなかった。深層学習で典型的な構造である畳み込み層とプーリング層を数式や If~then ルール、もしくは論理関数的ルールで表現することは困難であった。現在のところ、畳み込み層を有する深層学習 NN からのルール抽出法はまだ提案されていない。いくつかの制約を有するネットワークからは Table-lookup 形式のルール表現を生成することはできているが、深層学習の深い層構造での冗長性を考慮すると真の意味でのルール抽出とはなっていない。したがって、深層学習 NN は現在でもブラックボックスとしてしか使用することができていない。今後、自動運転、医療診断、大型プラントの制御などに適用するためには、深層学習 NN から我々が理解できる形式でのルール表現を抽出することが不可欠である。現在のところ、入力層の表現を中間層付近での中間表現に変換し、そして、中間表現から出力層への関係を求め、それらを統合することを検討している。今後、このアプローチで研究を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Daiki Hiraoka, Momoyo Ito, Shin-ichi Ito and Minoru Fukumi	4. 巻 11
2. 論文標題 Japanese Janken Recognition by Support Vector Machine Based on Electromyogram of Wrist	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ECTI Transactions on Computer and Information Technology	6. 最初と最後の頁 154-162
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://repo.lib.tokushima-u.ac.jp/ja/113535	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Shan Xiao, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 Study on Discrimination of Finger Motions based on EMG signals
3. 学会等名 Proc. of 2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shan Xiao, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 Study on Discrimination of Finger Motions based on EMG signals
3. 学会等名 Proc. of ISPACS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryohei Shioji, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 Personal Authentication and Hand Motion Recognition Based on Wrist EMG Analysis by a Convolutional Neural Network
3. 学会等名 Proc. of Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryohei Shioji, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 Personal Authentication and Hand Motion Recognition Based on Wrist EMG Analysis by a wide Residual Network
3. 学会等名 Proc. of 2018 Annual Conference on Engineering and Applied Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩土 亮平, 福見 稔, 伊藤 桃代, 伊藤 伸一
2. 発表標題 深層学習を用いた手首筋電の個人認証
3. 学会等名 電気学会情報システム研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryohei Shioji, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 Personal Authentication Based on Wrist EMG Analysis by a Convolutional Neural Network
3. 学会等名 Proc. of the 5th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryohei Shioji, Daiki Hiraoka, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 Personal Authentication Based on Wrist EMG Analysis by a Convolutional Neural Network
3. 学会等名 International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'Rome) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Daiki Hiraoka, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 Japanese Janken Recognition Based on Wrist EMG Analysis by CNN and SVM
3. 学会等名 International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'Rome) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考