

令和 3 年 5 月 15 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11481

研究課題名(和文)ディープラーニングから得た特徴抽出画像のルール表現・透明化に関する研究

研究課題名(英文) Study on the rule representations and transparency of feature extracted images obtained by deep learning

研究代表者

林 陽一 (Hayashi, Yoichi)

明治大学・理工学部・専任教授

研究者番号：20189666

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：一般に、ディープラーニングによる学習結果を分かりやすく説明することは困難でありしばしば“ブラックボックス”であると評される。ディープラーニングをどのような対象に適用するかによってブラックボックスを許容できる範囲は異なる。本研究では医用画像に対する診断が厳しい説明責任をもつことを念頭においてDBNおよびCNNなどのディープラーニングからルール表現による説明能力の向上により説明責任を実現する方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義はディープラーニングを画像に対して適用する際、データセットが非構造化データセット(数値など)、非構造化データセット(コンピュータビジョン、産業応用画像)および非構造化データセット(医用画像)において学習方式および学習結果の説明能力と解釈性は大きく異なるので、それぞれに適したディープラーニングの方式を具体的に示した点にある。

この研究はクレジットスコアリング、peer-to-peerレンディング、材料画像、病理画像などの広範な応用範囲がありディープラーニングを核とした新しい人工知能システムの重要な起点になり日本における人工知能の研究お

研究成果の概要(英文)：Generally, it is often difficult to explain and/or the results obtained by deep learning. This situation is called "black box". Although, deep learning can be applicable to various applications, allowance for the black box is different. In this study, we focus medical images with strict accountability and proposed various rule representation such as rule extraction to enhance the accountability for the results obtained by deep learning for medical images such as DBN and CNN.

研究分野：人工知能

キーワード：ディープラーニング ルール抽出 医用画像 深層学習 ブラックボックス 解釈性 説明能力

1. 研究開始当初の背景

ルール抽出技術は分類器(クラシファイアー)と相いれない技術であるという考え方が支配的である。何故ならルール抽出器はルールベース分類器とも呼ばれ、多数のルールを使ってデータセットを分類している。従って、学術文献ではルール抽出は分類精度を犠牲にして簡潔なルール表現を達成できるように“妥協”を試みるという記述が殆どである。しかし、ディープラーニングなどの高性能分類器の分類精度は非常に高いが、高い精度を実現できる理由を説明する能力は全くないので 1980 年代のニューラルネットのブラックボックス性のパラダイムを解消できていない。分類精度とルールの理解度はトレードオフの関係にある。

2. 研究の目的

本研究ではディープラーニングの手法の一つである DBN および CNN の重みフィルタを介して得られる特徴抽出画像から画像の特性を *If-Then* ルールによって透明化して表現することを目的とする。ディープラーニングの一つである DBN と CNN による特徴抽出画像の学習を透明化し、更にルール抽出させるパラダイムシフトの工学的効果と社会的な意義を図 1 で示す。研究代表者は既に MNIST 画像の透明化には成功している。この研究は比較的少ない

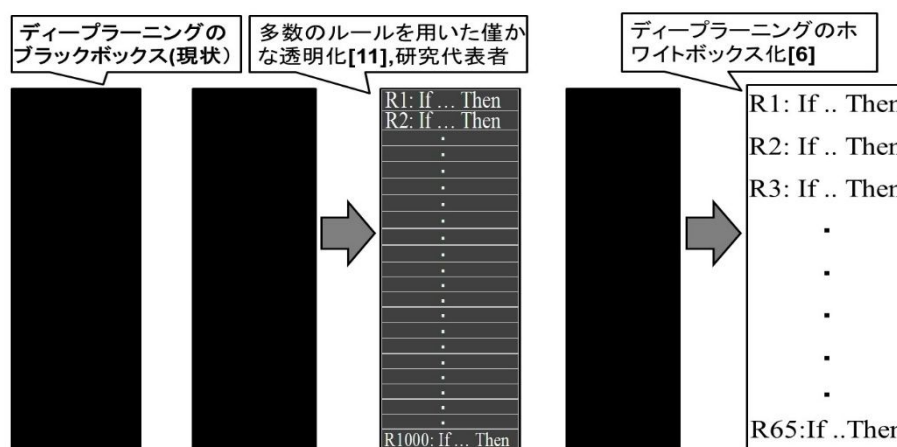


図 1

ルールで構成する分類器が最新の DBN を用いて得た精度と同水準の精度を達成できる事を示す実験を世界で初めて示している。ディープラーニングの MNIST 手書き数字の画像データに対するエラー率として報告されている値は単純な平均値であり統計的検証ができていないので僅かなエラー率の減少で実用上の性能の優劣を評価するのは不十分である。そこで本研究では簡潔で明快なルール抽出を行う事に焦点当てる。図 1 の学習方式は DBN および CNN ではなく離散型解釈可能多層パーセプトロン(DIMLP)であるため DBN および CNN の特徴抽出画像情報とノウハウを活用する事ができない。

本研究では DBN および CNN によって生成された特徴抽出画像を入力情報として直接取り込む。その上で分類精度とルールの理解度を同時に実現する方式とルール数の増加に伴い過学習を抑制しつつ同時に分類精度を向上させる理論に基盤をおいて研究を遂行する。最終的に画像データから簡潔で理解度の高い高精度な分類ルールを抽出する独創的な研究課題である。

3. 研究の方法

DBN を用いて特徴抽出画像をルール抽出ができる程度の数(100 枚程度)を取得して(図 2 の左側の数字の特徴抽出画像)を二段逐次アンサンブル型・高分類精度優先ルール抽出器に入力データとして与えて図 2 の右側の 0-9 の手書き数字(10 クラス)を DBN がどのような特徴抽出を行っているかを簡潔な *If-Then* ルールで表現するアルゴリズムを開発する。

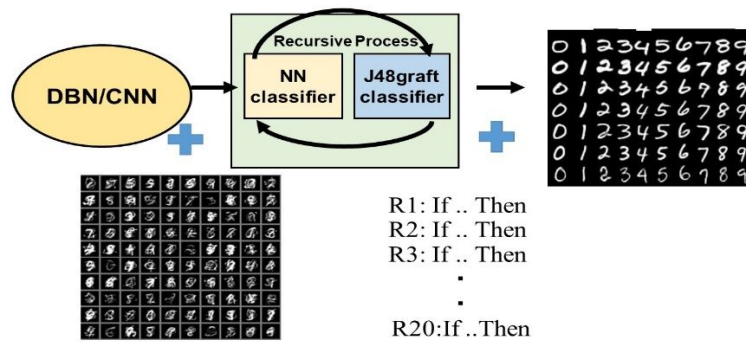


図 2

上記を行うに第一段階として、DBN を用いて抽象度の高い連続値属性および順序属性（グレード・レーティング）からなる少数のデータセットを学習させて DBN 単体に近い分類精度を達成するルール抽出器を提案し実験・検証を行った。提案法の概念図は図 3 のように示す事ができる。この方式は DBN 単体と近い分類精度を達成しつつルールによるの透明化を達せ得るため医用画像を専門医が国際基準でグレーディング・レーティングしている場合などの DBN の透明化に非常に有効であった。

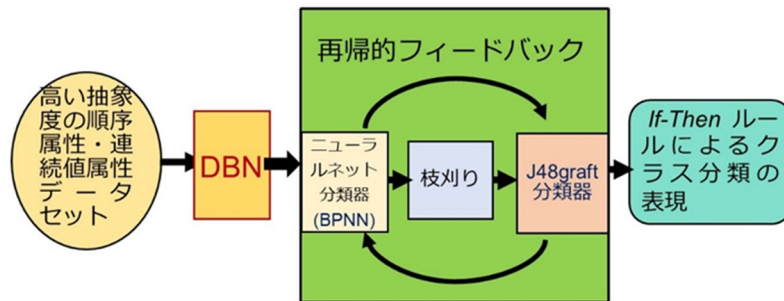


図 3

次に、DBN の部分を CNN に置き換えた場合に生成される DNNs (Deep Neural Networks) はブラックボックス性をもつ。画像の領域が CT, MRI などの放射線画像および病理画像などのように専門医の知識により Deep 特徴を意味属性に変換できる事が比較的容易な医用画像の場合は図 4 の様に CNN からのルール抽出が可能である。Deep 特徴から意味属性の変換には annotation に関する専門知識は必要であるので図 4 の方式は有効である。すなわち、医用画像の領域の専門医が画像に対して知識を与える事が予想できるので異なるカテゴリー（画素数など）の画像に対してルール抽出を統一的に行える事を示している。

一般的に CNN はクレジットスコアリングには向いていないと考えられている。この理由は CNN のデータ処理が二次元で行われる事が前提とされているからである。実用的な観点から考えると一次元データセットの属性が大きい場合がある。例えばソーシャルレンディングの P2P (Peer-to-Peer) およびデジタルマーケティングのデータセットが該当する。

このような場合に多数の次元をもつデータセットを高い精度で分類するだけでなく分類した結果を説明するルール表現であるルール抽出を行う場合にはルールの前件部 (*if*-部) の属性の個数が少ないことはルールの簡潔さ・分かりやすさに直結する。

そこで、図 5 の様な Inception Module を用いて高い分類精度を得た後に次元削減を行い、CNN から簡潔なルール抽出を行う方式を用いている (図 6)。この方式は今までルール表現が困難であった対象に対して簡潔さ・分かりやすさを最優先するルール抽出する方式を与えている。

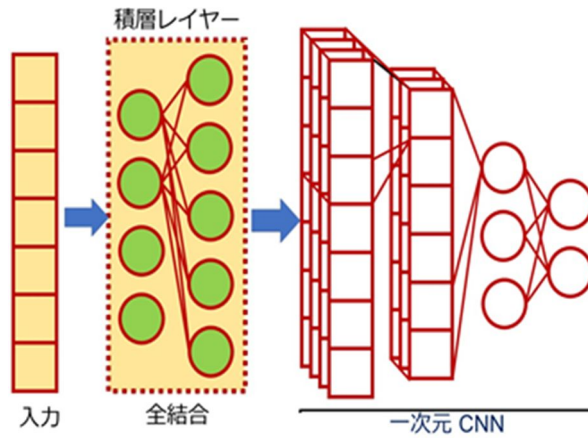


図 4

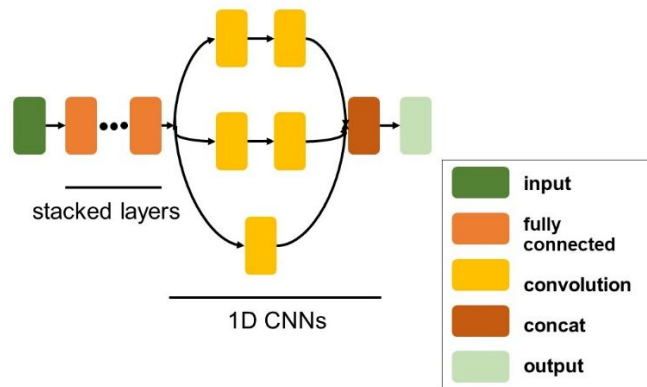


図 5

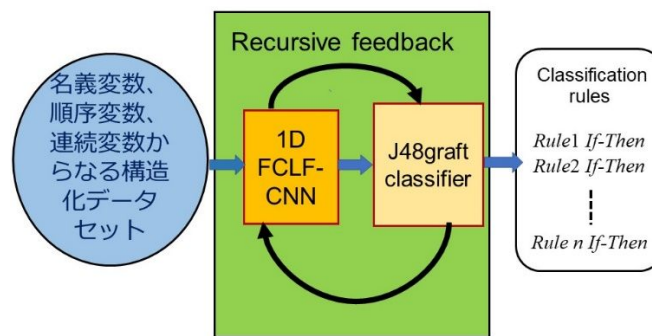


図 6

4. 研究成果

本研究の当初の目的は特徴抽出画像のルール表現・透明化であったが、直接的な実現方式は得られなかった。しかし、研究過程で、異種混合属性のデータセットから簡潔で分かりやすいルール抽出する方式を提案した。ディープラーニングを医用画像などに適用する際に最も困難な点の一つは十分な画像の数を得られない点である。他の領域においても同様であり、少数サンプル(症例など)しか得られない医用画像・病理画像、あるいは、再現性が低い・コストが高いなどの制約のため画像の取得が限られている場合である。本研究の成果は領域の専門家が比較的容易に Deep 特徴を意味属性に変換が可能であることを踏まえると、医用画像、材料画像、金属画像、化学画像、生物画像、バイオ画像など自然科学・工学の広い領域に適用できる事ができると期待できる。本研究はディープラーニングの高い分類能力とルール抽出技術の融合による新しいホワイトボックス AI への波及効果をもつ。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 9件）

| | |
|---|----------------------|
| 1. 著者名 Yoichi Hayashi | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 The right direction to be needed to develop a white-box deep learning in radiology, pathology, and ophthalmology: A short review | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Frontiers in Robotics and AI | 6. 最初と最後の頁 Mar 24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/frobt.2019.00024 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Yoichi Hayashi | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Toward to transparency of deep learning in radiological imaging: Beyond quantitative to qualitative AI | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Medical Artificial Intelligence | 6. 最初と最後の頁 19 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21037/jmai.2019.09.06 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Yoichi Hayashi | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Detection of lower albuminuria levels and early development of diabetic kidney disease using an artificial intelligence-based rule extraction approach | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Diagnostics | 6. 最初と最後の頁 33 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Yoichi Hayashi, Kei Nakajima, Keisuke Nakajima | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 Artificial intelligence-based rule extraction approach to derive the upper limit of hemoglobin during anemia treatment in patients with predialysis chronic kidney disease | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Informatics in Medicine Unlocked | 6. 最初と最後の頁 100262 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 1.Nowicki Robert K, Grzanek K, Yoichi Hayashi | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Rough Support Vector Machine for Classification with Interval and Incomplete Data | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research | 6. 最初と最後の頁 47-56 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

| | |
|--|----------------------|
| 1. 著者名 Yoichi Hayashi | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 New unified insights on deep learning in radiological and pathological images: beyond quantitative performances to qualitative interpretation | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Informatics in Medicine Unlocked | 6. 最初と最後の頁 100329 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Yoichi Hayashi, Hideaki Iiduka | 4. 巻 273 |
| 2. 論文標題 Optimality and Convergence for Convex Ensemble Learning with Sparsity and Diversity based on Fixed Point Optimization | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Neurocomputing | 6. 最初と最後の頁 367:372 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neucom.2017.07.046 | 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 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 Guido Bologna, Yoichi Hayashi | 4. 巻 2018 |
| 2. 論文標題 A comparison study on rule extraction from neural network ensembles, Boosted shallow trees and SVMs | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Applied Computational Intelligence and Soft Computing | 6. 最初と最後の頁 ----- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2018/4084850 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Yoichi Hayashi, Tatsuhiko Oisi | 4. 巻 36 |
| 2. 論文標題 High accuracy-priority rule extraction for reconciling accuracy an interpretability in credit scoring | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 New Generation Computing | 6. 最初と最後の頁 393:418 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00354-018-0043-5 | 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 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Daisuke Uehara, Yoichi Hayashi, Yosuke Seki, Satoru Kakizaki, Norio Horiguchi, Hiroaki Hashizume, Hiroki Tojima, Yuichi Yamazaki, Ken Sato, Motoyasu Kusano, Masanobu Yamada, and Kazunori Kasama | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 The non-invasive prediction prediction of non-alcoholic steatohepatitis in Japanese patients with morbid obesity by artificial intelligence using rule extraction technology | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 World Journal of Hepatology | 6. 最初と最後の頁 934:943 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4254/wjh.v10.i12.934 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Yoichi Hayashi | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 Use of deep belief network for high-level abstraction small data sets using artificial intelligence with rule extraction | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Neural Computation | 6. 最初と最後の頁 3309:3326 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/neco_a_01139. | 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 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 6.Guido Bologna, Yoichi Hayashi | 4. 巻 2018 |
| 2. 論文標題 A Rule Extraction Study from SVM on Sentiment Analysis, Big Data and Cognitive Computing | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Big Data and Cognitive Computing | 6. 最初と最後の頁 ----- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/bdcc2010006 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

明治大学理工学部人工知能研究室
<http://www.ci.cs.meiji.ac.jp/en/index.html>

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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|---------|----------------------|--|--|--|
| スイス | University of Geneva | | | |