

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 10 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00357

研究課題名(和文) 観測像が持つ統計的性質を利用して物体認識機構を獲得する神経回路モデルの構築と応用

研究課題名(英文) Construction and Application of a Neural Network Model that Acquires Object Recognition Mechanisms Using Statistical Properties of Observed Images

研究代表者

木本 智幸 (Tomoyuki, Kimoto)

大分工業高等専門学校・電気電子工学科・教授

研究者番号：30259973

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：AIで物体識別をする場合、大量の画像でAIを訓練する必要がある。このとき、入力画像の明るさや出現頻度、相関関係などが学習結果に依存する。本研究では、画像の輝度情報を明瞭に捉えるために多チャンネル化したり、または、教師無し学習型のAIモデルで統計的情報を低次元化したりした後、通常の教師あり学習AIモデルで学習を行った。これにより、観測増が持つ統計的情報で前処理することで、識別性能が向上することを狙った。その結果、画像識別において識別率が向上することが分かった。今後、この技術を、高度経済成長期から50年経過した社会インフラ(道路や橋脚等)の劣化診断システムへ応用していく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高度経済成長期の社会インフラ建設から50年が経ち、トンネルや道路の崩落事故が起き始めており改修工事が急いで進められている。現在、地上から地中に向けて電波を照射して、その反射波で地中内部の状態を可視化する地中レーダが注目されている。しかしながら、レーダ画像は実埋設物とは全く異なった形状で観測され、加えて地下物体の比誘電率・サイズ・深度に依っても変化するため、熟練技術者でもレーダ画像からそれが空洞(危険因子)なのか埋設管(非危険因子)なのかを判断することは困難である。本研究の結果から、反射画像と埋設物の関係をAIに学習させることで、人間よりも高精度な識別システムが構築できる可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：When using AI to identify objects, it is necessary to train AI with a large number of images. At this time, the brightness, appearance frequency, correlation, and the like of the input image depend on the learning result. In this research, we reducing the dimensionality of the statistical information using an unsupervised learning type AI model, and then the learning is performed using a normal supervised learning AI model. This aims to improve the discrimination performance by preprocessing with the statistical information of the observation increase. As a result, it was found that the identification rate was improved in the image identification. In the future, this technology will be applied to a deterioration diagnosis system for social infrastructure (roads, piers, etc.) 50 years after the high economic growth period.

研究分野：AI応用

キーワード：人工知能 AI ディープラーニング 地中レーダ 物体識別 非破壊検査

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

同一人物でも観測方向に依って顔画像が異なるが、我々は観測方向に影響されず、同一人物であることを認識できる。また、サルの脳(IT野)に存在する顔ニューロンの生理学的研究において、サルに見せるマネキンの顔の方向を変えても、顔ニューロン集団の反応は大きく変化しないことが報告されている。こうしたことから、観測方向に依らず同一物体に同一反応を示すモデルの構築は、生理学的に重要な課題である。これまでは、観測方向に依存しない識別システムは、人によるモデルの作りこみで実現されてきた。しかしながら、人は与えられる画像だけで、それが同一人物のものか、他者のものかを識別でき、与えられる画像の統計的性質からその区別を行っている可能性がある。そのため、画像の統計的性質と脳を模した学習モデル(Hopfield型連想記憶モデル)の学習結果の関係性を詳細に調べる必要がある。更に、モデルの構成素子などによって、学習結果に影響があるかも調べる必要がある。

脳の識別構造だけでなく、工学的な応用でもデータの構造が学習結果に及ぼす影響を調べておくことは重要である。高度経済成長期の社会インフラ建設から50年が経ち、トンネルや道路の崩落事故が起き始めており改修工事が急いで進められている。2023年には建設後50年を経過する施設の割合が道路橋43%、トンネル34%、河川堤防43%(国土交通省発表)となり、古い順に改修工事をしては時間的にもコスト的にも間に合わない。そこで、地上から地中に向けて電波を照射して、その反射波で地中内部の状態を可視化する地中レーダが注目されている。しかしながら、レーダ画像は実際の埋設物と全く異なった形状で観測され、加えて地下物体の比誘電率・サイズ・深度に依っても変化するため、熟練技術者でもレーダ画像からそれが空洞(危険因子)なのか埋設管(非危険因子)なのかを判断することは困難である。そこで、畳み込みニューラルネットワークを用いたデータ駆動型の学習による識別システムの構築のニーズが高まっていた。この場合も、レーダ画像のデータ構造で識別精度に影響が出るものと考えられるため、データ構造による学習結果を詳細に調べる必要がある。

2. 研究の目的

ニューラルネットワークは、データを学習することで識別アルゴリズムを自己組織的に構築する情報処理装置である。そのため、ニューラルネットワークに入力するデータの構造によって、学習結果が大きく異なる。そこで、学習データの構造が学習結果にどのように影響するかを十分調べておくことが重要である。本研究では、Hopfield型連想記憶モデルと畳み込みニューラルネットワークに関するデータ構造と学習性質の関係を調べる。

Hopfield型連想記憶モデルでは、観測方向に依存しない物体識別システムの自己組織的な構築可能性について調べる。

また、近年、インフラの老朽化が進み、技術者が埋設物をレーダで調べることが多くなってきているが、反射波画像から埋設物を判断するには熟練が必要なため、高い識別率を持つ埋設物自動識別システムの開発が急がれている。畳み込みニューラルネットワークについては、こうした実社会問題の解決に関する社会実装も目的とする。

3. 研究の方法

Hopfield型連想記憶モデルを統計力学で解析して、そのアトラクタ構造を調べ上げた。また、計算機シミュレーションを用いて、理論解析の妥当性も検証した。また、畳み込みニューラルネットワークを用いた地下埋設物の識別では、大規模な学習を行う必要があるため、GPUマシンを使った計算機シミュレーションで、その性質の解析を行った。その際も、学習画像の統計的性質に焦点を当てて、どういった画像構造を学習させると識別率が高くなるかを検証した。

4. 研究成果

Hopfield型連想記憶モデルにおいて、記憶パターンの相関が高いと混合状態になることが分かっている。こうした画像は、顔等のように同一人物でも様々な方向からの観測像があり、それらに相関がある場合の一例である。各方向から見た顔が顔画像そのものを記憶することも重要であるが、顔の観測方向に依存しないで人物を識別することも重要である。顔の方向に依存しない人物識別には、混合状態を想起させる方法が有効である。つまり、どの記憶パターンを入れても、常に同じ混合状態が想起されれば、観測方向に依存しない識別モデルを作ることができる。一方で、記憶パターンそのものも重要な想起対象である。そこで、Amit型の連想記憶モデルを用いることで、この両方を想起時に切り替えられることが分かった。また、記憶パターンが、連続的な相関を持つ場合と、一様な相関を持つ場合についても詳細に調べ上げた。

畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた地中レーダ識別も研究目的である。学習画像に効果的な前処理の方法と、画像を3D化してCNNに学習させる方法について研究したが、埋設物の種類だけでなく物体サイズについても識別率が向上させられた。実際の地中は媒質の非一

様性が存在する。そうした場合にも識別率が下がらないためにも 3D 化した CNN で識別することが有効であることを確認した。3D 構造としてレーダ画像を取得する方法は、すでに地質調査会社では一般的になりつつあるため、3D-CNN で 3D レーダ画像を識別させるのは合理的な方法である。

物体の種別識別では、地中媒質に近い誘電率を持つ物体の反射強度が弱いため、識別が困難となりやすい。クラス識別型 CNN では識別させる誘電率が離散的な値となるが、その値を同一数値間隔で選ぶのではなく、画像強度の弱い誘電率では狭い刻みで設定するなどの工夫が識別率向上に有効である。また、弱い電解強度を明瞭にとらえるために、電解強度をその強さ毎に別チャンネルでとらえるようにして、3D-CNN に入力するようにすることで、微細な電解強度差を CNN に入力できるようになり、識別率を向上させられることも分かった。このように、3D-CNN は地下物体の 3D 構造を入力するためだけではなく、電解強度の情報表現の拡張に利用できることも分かった。また、複数物体が埋設されている場合への適用も行うために、YOLO での地中レーダ画像識別の研究も行った。

さらに、様々な地中レーダ反射波を変分オートエンコーダ (VAE) と呼ばれる AI で学習させ、レーダ画像の統計的性質を AI に自動獲得させて、識別性能向上のための前処理とすることが有効であることが、トイモデルの実験で確認できた。こうした手法は正解ラベルの無い画像の有効利用法にもつながるため、今後、VAE による画像の統計的性質を抽出して識別率の改善を行う詳細な研究へ発展させる計画である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Jun Sonoda, Tomoyuki Kimoto	4. 巻 --
2. 論文標題 Object Identification form GPR Images by Deep Learning Using FDTD Simulation with GPU Cluster	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium	6. 最初と最後の頁 1515
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 Jun Sonoda, Tomoyuki Kimoto	4. 巻 FR3-K-3
2. 論文標題 Object Identification form GPR Images by Deep Learning	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 Asia-Pacific Microwave Conference	6. 最初と最後の頁 1298-1300
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 Hayashi Kao, Hashimoto Chinami, Kimoto Tomoyuki, Uezu Tatsuya	4. 巻 87
2. 論文標題 Unlearning of Mixed States in the Hopfield Model - Extensive Loading Case -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054004-1 ~ 16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.87.054004	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 園田潤, 木本智幸	4. 巻 67
2. 論文標題 畳み込みニューラルネットワークと敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による地中レーダ画像の物体識別とイメージング	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 12-15
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 Tomoyuki Kimoto, Tatsuya Uezu	4. 巻 100
2. 論文標題 Correspondence between phase oscillator network and classical XY model with the same random and frustrated interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 022213-1-13
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33件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 ディープラーニングによる地中レーダの物体識別におけるシミュレーション画像と転移学習による実験画像の識別
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 ディープラーニングにおける転移学習とFDTDシミュレーションによる地中レーダ画像の識別
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun Sonoda, Tomoyuki Kimoto
2. 発表標題 Object Identification form GPR Images by Deep Learning Using FDTD Simulation with GPU Cluster
3. 学会等名 Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium 2018 (PIERS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による地中レーダ画像からのクラッタ除去
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本優花, 上江洩達也, 木本 智幸
2. 発表標題 一次元最隣接相互作用及び非局所相互作用を有する古典XYモデルと位相振動子ネットワークの対応関係
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木本智幸, 上江洩達也
2. 発表標題 SK型相互作用を有するXYモデルと位相振動子ネットワークの対応 IV
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上江洩達也, 木本智幸
2. 発表標題 SK 型相互作用を有する XY モデルと位相振動子ネットワークの対応 V
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮田佳奈, 上江洩達也, 木本 智幸
2. 発表標題 Amit型相互作用を有するXYモデルと位相振動子系の対応関係ー連続アトラクタと対応する解ー
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun Sonoda, Tomoyuki Kimoto
2. 発表標題 Object Identification form GPR Images by Deep Learning
3. 学会等名 Proceedings of 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による地中レーダ画像からのモデル逆推定
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜野佑介, 木本智幸, 園田潤
2. 発表標題 YOLOを用いた地中レーダ画像からの埋設物体検出
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による地中レーダ画像の超解像化
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークと敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による地中レーダ画像の物体識別
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮田佳奈, 上江洩達也, 木本智幸
2. 発表標題 Amit型相互作用を有するXYモデルと位相振動子系の対応関係-連続アトラクタの安定性と対応する解-
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸田光, 上江洩達也, 木本智幸
2. 発表標題 強磁性及び反強磁性一次元最隣接相互作用を有する古典XYモデルと位相振動子ネットワークの対応関係
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上江洩達也, 木本智幸
2. 発表標題 SK 型相互作用を有する XY モデルと位相振動子ネットワークの対応 VI
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木本智幸, 園田潤
2. 発表標題 CNNによる地中レーダ反射画像からの埋設物識別
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを用いた深層学習による地中レーダ画像の物体識別 --クラッタ除去・超解像化・逆推定--
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜野佑介, 木本智幸, 園田潤, 辻繁樹
2. 発表標題 地中レーダ画像の物体識別における学習画像の改善とDCNNの特徴解析
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津野龍, 木本智幸, 園田潤
2. 発表標題 3D-CNNを用いた地中レーダ画像の誘電率分類
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野修平, 木本智幸
2. 発表標題 関連のある記憶パターンを学習したAmit型連想記憶モデルの想起特性
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸, 山本佳土, 光谷和剛
2. 発表標題 FDTD法を用いた地中レーダのコンクリート亀裂検出の定量化
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 ディープラーニングによる地中レーダ画像の物体識別特性
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 ディープラーニングを用いた地中レーダ画像の物体識別における多層化と高解像度化による識別特性
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木本智幸, 上江洩達也
2. 発表標題 SK型相互作用を有するXYモデルと位相振動子ネットワークの対応I --計算機シミュレーションによる解析--
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上江洩達也, 木本智幸
2. 発表標題 SK型相互作用を有するXYモデルと位相振動子ネットワークの対応II
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林 華央, 木本智幸, 上江洩達也
2. 発表標題 ホップフィールドモデルの混合状態の反学習---相関のあるパターンからなるクラスター集団の場合--
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 園田 潤, 木本智幸
2. 発表標題 VGG構造を一部に持つCNNによる地中レーダ画像からの物体識別
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 浜野佑介, 木本智幸, 園田潤, 辻繁樹
2. 発表標題 ディープラーニングモデルYOLOを用いた地中レーダ画像の物体識別
3. 学会等名 大分高専・大分大学合同発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 津野龍, 木本智幸, 園田潤
2. 発表標題 ディープラーニングモデルVGG16を用いた地中レーダ画像の物体識別
3. 学会等名 大分高専・大分大学合同発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高野修平, 木本智幸
2. 発表標題 記憶パターンに相関を持つXYスピン型連想記憶モデルの想起特性
3. 学会等名 大分高専・大分大学合同発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸, 橋本瑞樹, 金澤靖
2. 発表標題 阿蘇山における地中レーダ探査と火山灰の複素比誘電率特性
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 園田潤, 木本智幸
2. 発表標題 ディープラーニングを用いた地中レーダ画像識別におけるシミュレーション画像と実験画像による識別特性
3. 学会等名 電子情報通信学会
4. 発表年 2018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
研究分担者	上江洩 達也 (Uezu Tatsuya) (10160160)	奈良女子大学・自然科学系・教授 (14602)	
研究分担者	園田 潤 (Sonoda Jun) (30290696)	仙台高等専門学校・総合工学科・教授 (51303)	