

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11863

研究課題名（和文）深層学習と統計モデリングの融合による自然現象予報のための画像変換方法の検討

研究課題名（英文）Fusion of Deep Learning and Statistical Modeling for Image Transformation Methods for Natural Event Forecasting

研究代表者

八谷 大岳 (Hachiya, Hirotaka)

和歌山大学・システム工学部・講師

研究者番号：00578908

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：不規則に発生するイベントの予報において、次のイベントの起こりやすさを表すハザード関数は、知見に基づき経験的に設計されてきた。近年、自由度の高いハザード関数のモデルとして、ディープニューラルネットワーク（DNN）を過去データから学習する方式が提案された（Omi et al., 2019）。しかし、当該方式は、イベント発生場所などの空間予報には対応していない。そこで、本研究では、時空間予報を実現するために、ハザード関数を、条件付き独立性に基づき分解し、複数のDNNでモデル化する、深層マルチストリーム点過程方式を提案した。そして、実際の地震データを用いた実験を通し、本提案手法の有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、自然科学分野にて研究が進んでいる統計モデリングと、画像や自然言語分野にて目覚ましい発展を遂げているDNNを、分野横断的に融合した、新しいイベント予報のアプローチを提案した。また、統合に際し、画像や言語処理にて発展した、深層マルチストリームモデルやTransformerのアルゴリズムに、イベント予報に特化した独自性の高い拡張を導入した。そのため、本研究のアプローチは、イベント予報および機械学習アルゴリズムの両分野において独自性が高く、その成果は、機械学習の国際会議と英文雑誌に掲載される運びとなった。そのため、本研究の成果は、社会的および学術的に意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In forecasting irregular events such as earthquakes, the hazard function, which represents the likelihood of the next event, has been designed manually based on human knowledge. Recently, in order to increase the degree of freedom of the hazard function, a deep neural network (DNN) based method, trained from historical data (Omi et al., 2019) was proposed. However, this method did not address spatial forecasting, such as event locations. Therefore, to achieve spatio-temporal forecasting, we proposed a deep multi-stream point process model, in which multiple DNNs model the hazard function decomposed based on conditional independence. The effectiveness of the proposed method was demonstrated through experiments using actual earthquake data.

研究分野：機械学習

キーワード：統計モデリング 深層学習 点過程 Transformer イベント予報 時空間 マルチストリーム 機械学習

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、画像変換の技術はディープニューラルネットにより飛躍的に進歩し、白黒写真や線画への色付けや、昼間の風景写真を夜間に変換することなどが可能になってきた。このように高度化した画像変換技術を、地震予報に応用する研究が2019年に発表された(Hachiya et al., IUGG2019、八谷 et al., 地震学会秋季大会2019)。具体的には、関東領域を格子状に分割し、各格子点で、ある時刻を境に過去と未来の特定期間に発生した地震の回数を数える。そして、回数を平滑化した過去の頻度マップ画像から未来の頻度マップ画像に変換する生成モデルを学習する。

これにより、従来、地震学の知見に基づく物理モデルや統計モデルを用いたアプローチが主流だった地震予報の問題を、新たに画像変換の問題として定式化し、データ駆動のアプローチの導入の可能性が示された。しかしながら、地震頻度マップ、降水量マップおよび人流マップなどの自然現象や社会現象の事象に画像変換技術を応用する場合、通常の写真や線画と異なり以下の2つの課題が想定される。

課題1)地震頻度のような自然現象の事象は、時空間的に疎であるのが一般的である。平滑化レベルを上げることにより問題が多少改善されるが、実際の地震頻度からの乖離が大きくなる問題がある。このように疎な画像では、出力画像のほとんどのピクセルの値が「0」になっており、通常の画像変換で用いられている二乗損失や敵対的損失では、適切に誤差を測ることが難しい。

課題2)通常の写真などに対する画像変換では、各ピクセル値が独立に正規分布に従うという仮定のもと、画像変換の損失として二乗損失が用いられている。また、画像に特化した損失関数として、輝度勾配損失(Mathieu et al., ICLR2016)などが提案されている。しかしながら、地震の頻度、降水量および人流などの事象は一般的には正規分布に従っていない。例えば、地震の頻度や人流は、ポアソン分布などに従い、降水量はガンマ分布に従うと地震学および気象学にて分析されている。そのため、通常の画像変換で用いられている二乗損失や敵対的損失最小化により、自然現象および社会現象のマップ画像を精度よく変換するのは困難であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、上述した課題を分析し、自然科学および社会科学の統計モデリング手法とディープラーニングの画像変換とを融合した独自性の高い解決方法を提案することを目的とする。自然科学における統計モデリングとしては、例えば、各グリッドセルで発生する地震回数が、ポアソン分布やBrownian Passage Time分布に従うと分析されている(野村, 統計数理2015、Lombardi, Earth, Planets and Space, 2014)。また、降水量の予報では、各グリッドセルの降水量のある閾値を超過する確率が、ガンマ分布に従うと分析されている(Amburn et al., Weather and Forecasting, 2015)。本研究では、これらの自然現象や社会現象の予測に対する画像変換において、統計モデルに基づく損失関数を、画像変換に導入することを検討する。

さらに発展的な内容として、従来の統計モデリングに基づく回帰分析では、ポアソン回帰を代表する一般化線形モデルのように、比較的少数の目的変数の回帰分析を対象にしてきた。一方、画像変換では、空間的および時間的に相関を持つ大量のグリッドセルに対応する目的変数を回帰することを目的としており、マルチタスク回帰の問題(Zhang and Yang, arxiv2018)として解釈することができる。時空間的に近傍のセル同士は、類似の分布を持つという仮定に基づくグラフベースのマルチタスク回帰(Shimosaka et al., AAAI2019)の試みはあるものの、自然現象の画像変換の枠組みでは本研究が初の試みになる。

3. 研究の方法

本研究は、以下の2つの期間それぞれにて目標を設定し段階的に研究を進める。

ステップ1: 2020年度~2021年度前半

基本的な自然科学および社会科学の統計モデルとして、各グリッドセルが独立にポアソン分布やガウス分布などの特定の分布に従うと仮定した場合のディープラーニング画像変換方法を導出し実装する。そして、地震頻度予報などの公開データに提案方法の画像変換を応用し、予測精度の実験評価を行う。そして、実験を通して、既存の最先端の画像変換方法と実験的に比較し、提案方法の有効性を示す。

ステップ2: 2021年度後半~2022年度

より発展的な統計モデリングとして、自然科学の知見および入力画像から獲得した空間的な事象の確率分布に基づき、時空間的な相関を考慮したマルチタスク学習を導入し、ステップ1の画像変換方法を拡張する。そして、ステップ1と同様の実験を行い、ステップ1の提案法および最先端の画像変換方法を比較し、その有効性を分析する。

ステップ1およびステップ2の成果は、それぞれ、機械学習、画像認識、地震および気象関連の学会および論文誌にて報告する。

4. 研究成果

○初年度

地震などの不規則に発生するイベントの統計モデルとして、ポアソン過程を一般化した、点過程が知られている。点過程は、余震のように、直近のイベントの発生時刻や場所から減衰関数を用いて、次のイベントの起こりやすさを表す強度関数をモデル化する。強度関数には、地震の知見に基づき指数分布関数などが用いられてきた。近年、LSTM (Long Short-Term Memory) と DNN とを用いて自由度の高い累積強度関数をモデル化する DNN ベースの方式が提案された (T. Omi et al., NeurIPS2019)。しかし、当該方式は、次のイベントまでの時間間隔の予測には応用されたものの、過去の地震の位置や深さなどの付加的な情報を活用することができていなかった。また、付加的な情報を点過程で用いるためには、ETAS (Y. Ogata 1998) のように、知見に基づきモデルを設計する必要があった。

本課題を解決するために、初年度は、地震の付加的な情報を視認可能な状態で画像に埋め込み、画像からオートエンコーダを介して抽出した特徴量を時間間隔と組み合わせて DNN に入力し、時間と付加情報とに関する強度関数を推定する面的点過程方式を新たに提案した。そして、トイデータ、および地震の公開データを用いた実験を通して、本提案手法の有効性を示した。これらのステップ1の成果を、2020年11月にIBISワークショップにて発表するとともに、2021年3月に、査読ありの国際・国内会議に論文を2本投稿した。

○2年目

ステップ1の成果を、MIRU2021のインタラクティブ、ACML2021のlong oral発表にて報告するとともに、国際論文誌に投稿した。また、ステップ2の成果を、国際会議に投稿した。具体的には、ステップ2として、近年、LSTMやConvolutional Neural Networkを凌駕する性能を出し注目を集めているTransformerを点過程に適用し拡張した方式を提案した。直近のイベントに基づきイベント系列の特徴抽出を行う既存のTransformer方式に対し、任意の学習可能なベクトルをイベントの一つとして系列に組み込み、Attention機構を通して多様な系列パターンの特徴量を抽出できるように拡張した。また、未来のイベントの候補ベクトルも同様に組み込むことにより高い精度でのイベント予測を実現した。

○最終年度

ステップ1の成果を国際論文誌Neural computationに2022年5月に投稿し、2023年3月に採録となった。また、ステップ2の成果を、IBISML研究会2022-1およびIBIS2022にて発表するとともに、2022年12月に国際論文誌Neurocomputingに投稿した(2023年3月に査読結果に対する修正版を提出し、現在は結果待ち状態)。

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 Hachiya Hirotaka, Hong Sujun	4. 巻 35
2. 論文標題 Multistream-Based Marked Point Process With Decomposed Cumulative Hazard Functions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Neural Computation	6. 最初と最後の頁 699 ~ 726
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1162/neco_a_01572	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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Sujun Hong, Hirotaka Hachiya
2. 発表標題 Multi-stream based Marked Point Process
3. 学会等名 Proceedings of the 13th Asian Conference on Machine Learning (ACML2021), PMLR157, pp. 1269--1284 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sujun Hong, Hirotaka Hachiya
2. 発表標題 Mark-encoded image-based point process
3. 学会等名 第24回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 洪秀俊, 八谷大岳
2. 発表標題 オートエンコーダを用いた時系列解析のための高自由度な面的点過程モデル
3. 学会等名 第23回情報論的学習理論ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fumiya Nishizawa, Sujun Hong, Hirotaka Hachiya
2. 発表標題 Transformer-Based Fully Trainable Model for Point Process with Past Sequence-Representative Vector
3. 学会等名 IBISML2022-1, pp. 1--5, IBISML研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fumiya Nishizawa; Sujun Hong; Hirotaka Hachiya
2. 発表標題 Transformer-based fully trainable model for point process with virtual sequence vectors and its experimental evaluation
3. 学会等名 第25回情報論的学習理論ワークショップ
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------