

令和元年6月27日現在

機関番号：17701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12490

研究課題名(和文) 構造データに対する表現学習と特性の異なる2種類の実問題への応用

研究課題名(英文) Representative Learning for Structured Data and Its Application to Two Real World Problems with Different Characteristics

研究代表者

小野 智司 (Ono, Satoshi)

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：90363605

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：1次元系列データにおける微小なパターンの変化する検知をはじめ、構造データにおける特徴量を学習する技術を、深層ニューラルネットワークをはじめとする技術を中心として、実現した。また、1次元の構造を持つ実問題として海洋観測データの品質管理に、2次元の構造を持つ実問題として歪んだ2次元コードの復号に着目し、それらにおける表現学習技術として既存の解法(条件付き確率場、マルコフ確率場)に組み込むことで、実用レベルの性能を実現できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

時間と共に変化するなどの構造を持つデータにおいて、従来は各分野の専門家が設計していた特徴量を、問題のデータから自動的に設計する技術を実現した。また、開発した技術を、海洋観測データにおける観測エラーの発見問題に応用し、専門家が目視で行うレベルの精度で観測エラーを発見できることを確認した。さらに、紙などに印刷されたQRコード等の2次元コードが複雑に歪んだ際にも、読取りを行える技術を実現した。

研究成果の概要(英文)：This study proposed representative learning methods using deep neural networks such as convolutional neural network and recurrent neural network and other machine learning techniques for structured data, e.g., change detection of slight patterns on one dimensional sequential data. In addition, this study focused two real world problems: quality control of ocean observation data as one-dimensional sequential data and decoding distorted two-dimensional data as two-dimensional sequential data and confirmed that incorporating the proposed methods into conventional method such as conditional random field and Markov random field achieved the performance of practical level in these problems.

研究分野：機械学習

キーワード：表現学習 構造データ 系列データ 深層ニューラルネットワーク 決定木 海洋観測データ コンピュータビジョン 2次元コード

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

データの表現(素性)は、機械学習やデータマイニングにおいて、結果に多大な影響を及ぼす。近年、データから素性を自律的に構成する表現学習が目覚ましい成果を上げている。自然言語処理の分野では、単語の素性を連続ベクトル空間上で表現する Word2Vec が表現学習器として定着しつつある。また、音声や画像の認識の分野では、深層ニューラルネットワーク(DNN)、リカレントNN(RNN)や畳み込みNN(CNN)を用いた表現学習方式が提案されている。それらの成功を受け、より複雑な構造を持つデータセットに対して、普遍的に利用できる表現学習の実現が期待されている。

応募者は海洋観測データの品質管理、および、局所的に激しく歪んだ2次元コードの復号の研究に従事している。これらはそれぞれ、1次元系列およびグラフ構造を持つラベリング問題として表現でき、条件付確率場(CRF)およびマルコフ確率場(MRF)としてモデル化できる。現状、素性は手作業で作成しているが、特異なパターンの検出が困難であるという共通の特徴を持つ。すなわち、海洋観測データ品質管理問題では、自然変動の影響に対して観測不良を示すパターンが微小なためその検出が困難である。また、2次元コード復号問題では、局所的な激しい歪みにより自己遮蔽が生じる際、遮蔽領域の範囲を正確に推定することが重要となる。それぞれの実用化に向けて素性の自動設計の実現が急務となっている。

上記の2問題において、未知の異常パターンに対応可能となるよう素性を観測データから自動構築できる方式を開発し、一般化することで、構造データに対して広く有効な表現学習方式の実現が期待できる。

### 2. 研究の目的

構造化されたデータを含む問題における表現学習方式、すなわち、素性(特徴)の自動設計方式を開発する。本研究では、素性の設計が困難な実問題として、海洋観測データにおける品質管理ラベルの割り当て問題、および、歪んだ2次元コードの復号問題に着目する。これらの問題は系列ラベリング問題として表現できるものの、特異なパターンの検出が困難であることが共通する。それぞれにおいて素性の自動構築方式を開発した後、構造データを対象とした表現学習方式として一般化を図る。なお、上記2問題における応用は、表現学習の有効性を検証するためだけでなく、それぞれ実用レベルの技術を確立する。

### 3. 研究の方法

本研究では、素性の設計が困難な実問題として、海洋観測データにおける品質管理ラベルの割り当て問題、および、歪んだ2次元コードの復号問題に着目する。これらの問題は系列ラベリング問題として表現できるものの、特異なパターンの検出が困難であることが共通する。それぞれにおいて素性の自動構築方式を開発した後、構造データを対象とした表現学習方式として一般化を図る。

### 4. 研究成果

#### (1) 1次元系列データを対象とした表現学習方式

1次元時系列データを対象として Stacked LSTM を用いた表現学習方式の検討を行った。特に、微小な特徴量に着目する必要がある変化点検知を対象として教師あり学習を行う方式を開発した。通常の変化点検知は教師無し学習を行うが、本研究では、変化点検知のための教師信号付き訓練データを生成する方法を考案し、教師あり学習を可能にした。考案した教師情報付訓練データを合成する方法の実装および検証を行い、本方式により知覚が困難な微小な変化を検知が可能となることを確認した。

また、周期性が明確なデータの場合は周期性を考慮してデータの変形を行い、3次元畳み込みニューラルネットワークを組み合わせることにより、周期性を持つ1次元の系列データにおける変化点検知する方式の考案および実装を行った。さらに、ネットワーク全体の最終出力に影響する畳み込み層の出力の微小な変化をもとに、提案方式が着目する入力データの特徴の可視化を試み、提案方式が適切に入力パターンの特徴を捉えていることを確認した。

微小なパターンの変化点検知を対象とした表現学習の枠組みを実現できたことから、本研究の目標の1つを達成したと考える。本方式は正常データのみを組合せら変化点検知に必要な訓練データを合成するものであり、極めて単純な方法であることから、多様な分野のデータへの

応用が期待できる．本方式については特許の出願を行った．

## (2) 海洋観測データ

海洋観測データの品質管理において，決定木学習を利用することで，条件付き確率場の素性関数を自動的に設計する方式を開発した(図1)．特に，海洋観測データの品質管理においては，観測深度毎，あるいは，感想エラーの種類毎に必要な素性が異なるため，単純な素性を大量に作成するだけでは識別を正確に行えず，特徴間の関係を明確に含む素性関数の設計が必要となる．本方式は，特に，素性間の依存性が強く素性関数の設計が困難な問題においても自動設計を行える点に特徴がある．

上記の方式により，素性の自動設計を行うことで専門技術者と同程度の品質で観測エラーの発見を行える方式を実現した．これにより，本研究の目標の1つを達成したと考える．上記の研究成果についてまとめた論文が査読付論文誌(人工知能学会論文誌)に掲載された．

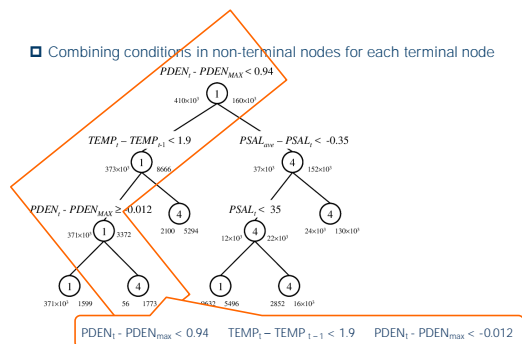


図1 決定木を利用した素性関数の自動設計



図2 歪んだ2次元コードの復号

## (3) 2次元系列データを対象とした表現学習方式

歪んだ2次元コードの復号問題においては，表現学習に必要な訓練データを合成することを目的として，3次元変形とレンダリングを行うシミュレーション環境を開発し，また，実撮影に極めて近い画像データを生成できることを確認した．さらに，モジュールの同定を組合せ最適化により行う基本的な枠組みの実装を行った．一方で，畳込みニューラルネットワークを利用することで，歪んだ2次元コード画像において歪みの度合いが激しい領域を推定することが可能であることを示し，補助線を含まない一般的な2次元コードであっても，複雑に歪んだ際に復号を行える方式を実現した(図2)．上記の歪んだ2次元コードの復号に関する論文の査読付論文誌(情報処理学会論文誌：数理モデル化と応用)への採録が決定している．

## (4) より高次元な構造データを対象とした表現学習形式

上記(1)～(3)で扱った系列データよりも，より高次元の構造データであるグラフ構造を持つタスクに対する表現学習方式として，Relational Graph Convolutional Network (R-GCN)に着目し，三面図理解問題における曖昧さの解消に応用することでその有効性を検証した．

三面図理解問題は，平面図，正面図，側面図の3枚の2次元の図面から，3次元物体の立体形状を推定する問題である．3枚の図面にはしばしば省略が含まれることと，3次元形状を2次元図形で表すことに限界があるために曖昧性が生じるが，業界ごとの慣例などを学習することで解消でき，機械学習が有効なアプローチの一つとなる．

提案する方式の全体像を図3に示す．本方式では，図形の立体構造をグラフ構造で表現する．ノードは当該立体，立体を構成する面の候補(候補面)を表し，エッジは構成要素間の関係を表す．例えば，平行な関係にある候補面の間には「平行」という関係を付与し，垂直に交わる候補面を表すノード間には「垂直」の関係が付与される．候補面に対して実在する，しないの2クラスを付与することで，立体の形状を推定する．

本問題において，ひとつの角が欠けた立方体の構成を予測させるベンチマーク問題を作成して学習を行ったところ，99.14%の精度を示すことを確認した．汎化性能の検証は十分でないが，三面図理解問題におけるR-GCNの基本的な有効性を確認し，高次元な構造を持つデータに対する表現学習手法としての基礎技術として期待できることがわかった．

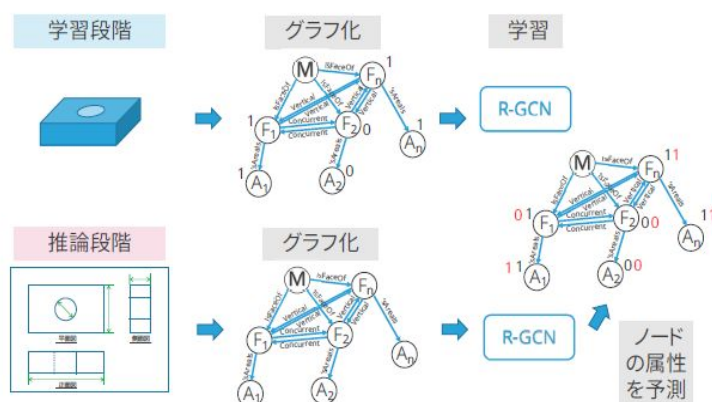


図 1 提案手法の処理手順

図 3 三面図理解問題への R-GCN の応用

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- [1] 鞍津輪 一希, 上鶴 晃平, 久富 あすか, 川崎 洋, 小野 智司: "白黒 2 階調の補助線を用いた幾何歪みに頑健な 2 次元コードとその復号方式に関する研究", 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, Vol.12, (採録決定).
- [2] 上川路 洋介, 松山 開, 福井 健一, 細田 滋毅, 小野 智司: "条件付確率場を用いた海洋観測データの品質管理", 人工知能学会論文誌, Vol.33, No.3, pp.G-SGA105\_1-11 - (2018).
- [3] 林 勝悟, 小野 智司, 細田 滋毅, 沼尾 正行, 福井 健一: "空間的自己相関を考慮した海洋データのエラー検知", 人工知能学会論文誌, Vol.33, No.3, pp.D-SGA102\_1-10 - (2018).
- [4] Kazuya Nakamura, Kohei Kamizuru, Hiroshi Kawasaki, and Satoshi Ono: "Multi-agent-based Two-dimensional Barcode Decoding Robust against Non-uniform Geometric Distortion", International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications, Vol.8, No., pp.423-433 (2016).

〔学会発表〕(計 19 件)

- [1] Kohei Kamizuru, Kazuya Nakamura, Hiroshi Kawasaki, Satoshi Ono: "A belief-propagation-based decoding method for two-dimensional barcodes with monochrome auxiliary lines robust against non-uniform geometric distortion", 13th International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV2017) (2017).
- [2] Shogo Hayashi, Satoshi Ono, Shigeki Hosoda, Masayuki Numao, Ken-ichi Fukui: "Error Detection of Ocean Depth Series Data with Area Partitioning and Using Sliding Window", IEEE 15th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA 2016) (2016).
- [3] Yosuke Kamikawaji, Haruki Matsuyama, Ken-ichi Fukui, Shigeki Hosoda, Satoshi Ono: "Decision Tree-based Feature Function Design in Conditional Random Field Applied to Error Detection of Ocean Observation Data", 2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (IEEE SSCI 2016) (2016).
- [4] Ryusuke Sagawa, Yuki Shiba, Takuto Hirukawa, Satoshi Ono, Hiroshi Kawasaki, Ryo Furukawa: "Automatic feature extraction using CNN for robust active one-shot scanning", 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR) (2016).
- [5] 小野 智司: "海洋や気象の観測における人工知能の応用", SICE九州フォーラム 2017, 招待講演 (2017).
- [6] 木下 貴裕, 富田 智彦, 小野 智司: "3 次元畳み込み自己符号化器を用いたレーダーエコー強度画像からの時空間特徴抽出に関する基礎検討", 情報処理学会 火の国情報シンポジウム 2019, No.A4-2, (2019).
- [7] 林 祐作, 小野 智司: "グラフ畳み込みネットワークを用いた図面理解における曖昧さの解消に関する基礎検討", 情報処理学会 火の国情報シンポジウム 2019, No.A4-3, (2019).

- [8] 鞍津輪 一希, 上鶴 晃平, 久富 あすか, 川崎 洋, 小野 智司: "白黒2階調の補助線を用いた幾何歪みに頑健な2次元コードとその復号方式に関する研究", 第121回数理モデル化と問題解決研究発表会, Vol.2018-MPS-121, No.4, pp.1-6, (2018).
- [9] 上園 翔平, 小野 智司: "LSTM Autoencoder を用いたマルチモーダル系列データの特徴抽出", 人工知能学会 第115回 知識ベースシステム研究会 (SIG-KBS), Vol.B5, No.02, pp.1-6, (2018).
- [10] 前原 宗太朗, 福井 健一, 富田 智彦, 小野 智司: "畳み込みニューラルネットワークを用いた気象時系列データにおける変化点の検知と注目範囲の可視化についての基礎検討", 電子情報通信学会 人工知能と知識処理研究会 (AI), Vol.IEICE-118, No.197, pp.45-50, (2018).
- [11] 鞍津輪 一希, 神園 誠, 川崎 洋, 小野 智司: "畳み込みニューラルネットワークによる補助線検出を用いた歪みを含む2次元コードの復号方式", 人工知能学会全国大会(第32回), No.4Pin1-07, (2018).
- [12] 前原 宗太朗, 福井 健一, 富田 智彦, 小野 智司: "気象時系列データにおける変化点検知の基礎検討", 人工知能学会全国大会(第31回), No.4P2-0S-38b-1in2, (2017).
- [13] 林 勝悟, 小野 智司, 細田 滋毅, 沼尾 正行, 福井 健一: "空間的自己相関を考慮した海洋データのエラー検知", 人工知能学会全国大会(第31回), No.4P1-0S-38a-4, (2017).
- [14] 上園 翔平, 小野 智司: "マルチモーダル系列データを入力とする積層自己符号化器と議論における発話者認識への応用", 情報処理学会火の国情報シンポジウム 2016, No.A3-3, (2017).
- [15] 前原 宗太朗, 福井 健一, 富田 智彦, 小野 智司: "気象時系列データにおける変化点検知の基礎検討", 情報処理学会火の国情報シンポジウム 2016, No.C6-3, (2017).
- [16] 林 勝悟, 小野 智司, 細田 滋毅, 沼尾 正行, 福井 健一: "近傍法による海洋深度系列データのエラー検知", 第26回インテリジェント・システム・シンポジウム(FAN2016), (2016).
- [17] 上川路 洋介, 松山 開, 福井 健一, 細田 滋毅, 小野 智司: "機械学習を用いた海洋観測データの良否識別の試み", 日本海洋学会 2016年度秋季大会, (2016).
- [18] 上川路 洋介, 松山 開, 福井 健一, 細田 滋毅, 小野 智司: "海洋観測データの良否識別を目的とした条件付確率場における素性関数の自動設計の試み", 人工知能学会全国大会(第30回), No.2K4-0S-25a-3, (2016).
- [19] 上鶴 晃平, 中村 法矢, 川崎 洋, 小野 智司: "複雑な幾何歪みに頑健な二次元コードと信頼度伝搬法を用いた復号法", 情報処理学会 第107回数理モデル化と問題解決研究発表会, Vol.2016-MPS-107, No.17, (2016).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 教師情報付学習データ生成方法、機械学習方法、教師情報付学習データ生成システム及びプログラム

発明者: 小野 智司, 前原宗太郎, 福井 健一, 富田 智彦

権利者: 鹿児島大学, 大阪大学, 熊本大学

種類: 特許

番号: 特開 2019-40456

出願年: 2017 年

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 細田 滋毅

ローマ字氏名: Shigeki Hosoda

所属研究機関名: 国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：地球環境観測研究開発センター  
職名：グループリーダー代理  
研究者番号（8桁）：60399582

研究分担者氏名：川崎 洋  
ローマ字氏名：Hiroshi Kawasaki  
所属研究機関名：九州大学  
部局名：システム情報科学研究所  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：80361393

研究分担者氏名：福井 健一  
ローマ字氏名：Ken-ichi Fukui  
所属研究機関名：大阪大学  
部局名：産業科学研究所  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：80418772

## (2)研究協力者

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、研究者個人に帰属されます。