

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：12605
研究種目：挑戦的研究（萌芽）
研究期間：2019～2020
課題番号：19K22864
研究課題名（和文）真に深層にできるグラフ深層学習への挑戦

研究課題名（英文）Towards Deeper Graph Neural Networks

研究代表者

田中 雄一（Tanaka, Yuichi）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：10547029

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：グラフ上の信号のサンプリング：一般化サンプリングをグラフ上データへ拡張する研究に取り組んだ。データに対する様々なモデルが、グラフ上データでも利用できることを明らかにした。本成果は通常信号に対するサンプリングとグラフ上データに対するサンプリングを結びつけるものである。深層展開を用いたグラフ上データの復元：深層展開を用いた点群データやセンサデータの復元に対し、通常のグラフ畳み込みニューラルネットワークや凸最適化に基づく手法と比較して、大幅な性能向上を果たした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、グラフ深層学習を真に深層にするための研究に取り組んだ。成果の意義として、以下の2点が挙げられる。1) グラフ上データのシフト不変性に関する議論が必須であること。2) 深層展開と呼ばれる手法の一群がグラフ上データの解析に有効であること。グラフ深層学習を深層とするための取り組みは機械学習分野において意義のある問いであり、これは理論なしには実現し得ない。本研究による研究成果はグラフ深層学習を真に深層とするための問題点を一部明らかにした。本点は大きな学術的意義があると思われる。

研究成果の概要（英文）：Sampling of signals on graphs: We extend generalized sampling into graph-structured data. We reveal that various signal models studied in standard signal processing are applicable for graph signals.

Deep algorithm unrolling for graph-structured data: We propose a new deep algorithm unrolling method for graph signals. The proposed method outperforms existing graph convolutional neural networks and convex optimization algorithms in several signal restoration problems.

研究分野：信号情報処理

キーワード：深層学習 信号処理 グラフ信号処理 グラフ深層学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

グラフ深層学習は、画像等の整列したデータではなく、神経網・交通網などのネットワーク上のデータ、あるいは点群データなどの不均一に分布するデータに対する特徴抽出・分類・認識などに用いられている、深層学習の新しいパラダイムである。

グラフ深層学習の中で広く用いられているアーキテクチャの一つに、グラフ畳込みニューラルネットワーク (GCNN) がある。しかしながら、GCNN では CNN と異なり、ニューラルネットワークの層を浅くする必要がある。

これは、GCNN 内の操作が頂点領域——CNN における空間領域——で定義されていることによる。逆に言えば、グラフスペクトル領域で GCNN の処理を完結できれば、ニューラルネットワークの層を深くすることが可能となり、結果として GCNN の爆発的な性能向上につながる。

2. 研究の目的

本研究課題では、上記背景のもと、全スペクトル領域 GCNN (Fully Spectral domain GCNN: FS-GCNN) の実現に挑戦した。

3. 研究の方法

2019 年度においては、基礎的な検討として、グラフニューラルネットワークにおけるプーリングに相当するグラフ上の信号のサンプリングに関する検討と、点群に対してグラフニューラルネットワークを利用することで修復する手法に関する研究を行った。

- グラフ上の信号のサンプリング：サンプリングは信号点数を削減する手段であり、信号処理の分野では広く研究されている。一方で、今まで研究が行われてきた時間・空間領域のデータと異なり、グラフ上のデータは一般に空間上に不規則に分布している。そのため、信号処理の知見を利用できる機会は限られていた。本年度においては、帯域制限されていないデータを復元するためのサンプリングである、一般化サンプリングをグラフ上データへ拡張する研究に取り組んだ。
- グラフニューラルネットワークによる点群修復：点群データはグラフニューラルネットワークの主要な応用対象であり、自動運転や 3D 情報処理などに応用が期待されている。本年度においては、グラフや点数に依存しないグラフニューラルネットワークに関する基礎検討を行った。

2019 年度から 2020 年度にかけて FS-GCNN を実装し、実験する中で、本質的にグラフ深層学習を発展させる上で重要なのは、グラフ上データと通常の空間領域のデータの違いを理解することである、という結論に至った。より正確に言えば、グラフ上データのシフト不変性の欠如に対し取り組むことが必要となった。そこで、FS-GCNN の実装から軌道修正を行い、深層学習と凸最適化を組み合わせることにより、深層とできる NN の構造に関して研究を行うこととした。

2020 年度においては、深層展開を用いたグラフ上データの復元手法について研究を行った。深層展開は、(凸)最適化の繰り返しアルゴリズムのパラメータを深層学習手法を用いて学習する手法であり、データに応じて正則化パラメータが学習される。グラフ上データへ深層学習を応用した手法はまだ数少なく、また、従来手法は GCN に基づいているため、上述した層が浅くなるという問題点を継承したままであった。我々は PnP-ADMM という繰り返しアルゴリズムを元に深層展開することにより、深層グラフ上データ修復手法の実現に取り組んだ。

4. 研究成果

グラフ上の信号のサンプリング：一般化サンプリングで広く用いられている信号の仮定である、1) 部分空間に関する情報、2) 滑らかさに関する情報、3) 統計的な情報 を利用した手法が、グラフ上データでも適切な仮定のもとで利用できることを明らかにした。本成果は通常の信号に対するサンプリングとグラフ上データに対するサンプリングを結びつけるものである。また、グラフ上データのサンプリングに関する総説論文を発表した。

深層展開を用いたグラフ上データの復元：深層展開を用いた点群データやセンサデータの復元に対し、通常の GCN や凸最適化に基づく手法と比較して、大幅な性能向上を果たした。また、GCN と異なり、層の数が多いとき (10 程度) に性能が高くなることも確認できた。グラフ上データのノイズ除去を行った結果を図 1 に示す。本成果は論文投稿準備中である。

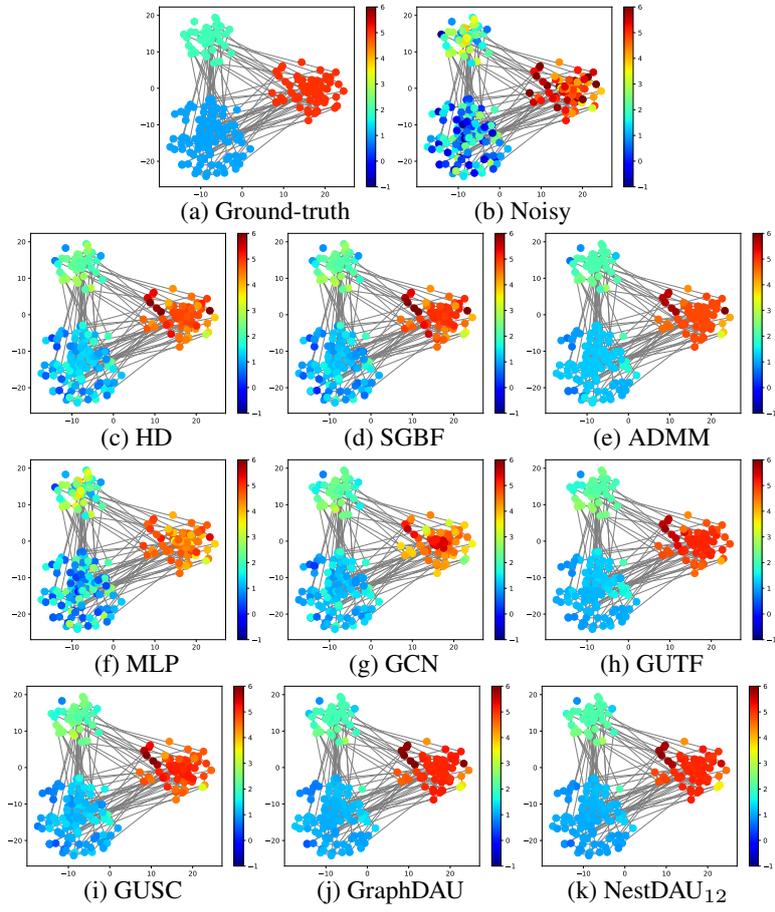


図1 深層展開によるグラフ上データ復元の例. GraphDAU および NestDAU が提案手法.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tanaka Yuichi, Eldar Yonina C., Ortega Antonio, Cheung Gene	4. 巻 37
2. 論文標題 Sampling Signals on Graphs: From Theory to Applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Signal Processing Magazine	6. 最初と最後の頁 14 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MSP.2020.3016908	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 Tanaka Yuichi, Eldar Yonina C.	4. 巻 68
2. 論文標題 Generalized Sampling on Graphs With Subspace and Smoothness Priors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Signal Processing	6. 最初と最後の頁 2272 ~ 2286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TSP.2020.2982325	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 Hara Junya, Tanaka Yuichi, Eldar Yonina C.	4. 巻 1
2. 論文標題 Generalized Graph Spectral Sampling with Stochastic Priors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 2020 IEEE ICASSP	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICASSP40776.2020.9053720	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 該当する
1. 著者名 M. Nagahama, K. Yamada, Y. Tanaka, S. H. Chan, and Y. C. Eldar	4. 巻 1
2. 論文標題 Graph signal denoising using nested-structured deep algorithm unrolling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE ICASSP	6. 最初と最後の頁 1-5
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 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長濱直智, 山田宏樹, 田中雄一
2. 発表標題 入れ子型深層展開を用いたグラフ信号復元
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021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		
イスラエル	ワイツマン科学研究所		