

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Predictive Analytics in Human Behaviors and Social Trends with Graph Neural Networks
著者(和文)	JINRuidong
Author(English)	Ruidong Jin
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12797号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村田 剛志,岡崎 直観,徳永 健伸,石田 貴士,金崎 朝子
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12797号, Conferred date:2024/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Ruidong Jin		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	村田 剛志	教授	審査員	金崎 朝子	准教授
	審査員	徳永 健伸	教授			
		岡崎 直観	教授			
		石田 貴士	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は“Predictive Analytics in Human Behaviors and Social Trends with Graph Neural Networks”と題し、英文7章からなっている。

第1章「Introduction」では、本論文が対象とする人の振舞いおよび社会トレンドを概観し、その多くが画像や時系列データなどとは異なり、不規則な構造を有していると主張している。それらをグラフとしてモデル化することで、複雑な関係を捉えたり、動的な分析をしたりすることができると述べている。さらに構造データを対象とした深層学習であるグラフニューラルネットワークについて概観し、本論文の柱となる3つの研究について、動機やチャレンジ、関連性、ターゲットとするデータ等について述べ、本論文の全体の構成について説明している。

第2章「Background」では、本論文で扱う無向・有向・重みつきグラフや、同種・異種の頂点から構成されるグラフ、動的グラフの表記法について述べ、グラフニューラルネットワーク(GNN)の従来研究を紹介し、グラフニューラルネットワークのタスクについて概観している。さらにグラフ構造学習や注意機構、デコーダー、損失関数等について説明している。

第3章「Predictive Analytics on Static Bipartite Graph」では、静的な2部グラフを対象としたグラフニューラルネットワークであるBipartite Graph Convolutional Network (BiGCN)について述べている。2種類の異なる頂点から構成される2部グラフにおいてグラフ畳み込みを行うと、意味の違う頂点の表現が集約によって集められてしまう問題がある。それを回避するために、BiGCNは2つの独立した畳み込み層を導入してそれぞれの種類の頂点の畳み込みを行い、最後にその結果を連結して2頂点を結ぶ辺の表現を得て、予測等のタスクを行っている。この手法の有効性を示すために、救急医療サービスの需要予測の実験を行っている。具体的には、患者の発生地点と救急搬送先との対応を表す2部グラフにおいて、その各辺の需要レベルが高いか低いかを予測するタスクを、東京都の実際の救急搬送データを用いて実験を行っている。その結果、ほとんどの場合において14種類のベースライン手法よりも優れた結果となったことを述べている。さらに性能に寄与する要因の分析やバランシングパラメータについての考察を行い、このような救急医療サービスの需要予測は、救急医療の質を高め、患者の生存率を高める上で重要であると述べている。

第4章「Predictive Analytics on Discrete-time Dynamic Graph」は、第3章の内容と第5章の内容とをつなげる研究である。前章のBiGCNが対象とする静的な2部グラフよりも複雑な構造である、異種の頂点から構成される離散時間動的グラフ(DTDG)に対するグラフニューラルネットワークであるHeterogeneous Discrete-time Dynamic GNNについて述べている。ユーザーと商品の2種類の頂点から構成される社会ネットワークにおいて、ユーザーによる商品の閲覧頻度で表される人気を予測するタスクを考える。ユーザー間や商品間にも辺があり、かつ閲覧頻度が時間を追って変化するヘテロな離散時間動的グラフを扱う必要がある。DTDGは時間順のグラフのスナップショットを入力とし、各スナップショットにおける頂点の表現を出力する多層動的GNNである。入力を、同種の頂点を結ぶ辺からなるintra graphと、異種の頂点を結ぶ辺からなるinter graphに分解し、入力グラフの質を高めるためのグラフ構造学習を導入している。2部グラフの畳み込みには前章のBiGCNを用い、時系列データの処理にLSTMを用い、結果の結合部に多頭注意機構を用いている。YouTube、MOOC、Reddit、Wikipediaのデータセットを用いて実験を行い、RMSEやMAPEによって人気予測の精度を比較した結果、8種類のベースライン手法よりも優れた結果となったことを示している。さらにパラメータの敏感度やアブレーションスタディについても述べている。

第5章「Predictive Analytics on Continuous-time Dynamic Graphs」では、前章での離散時間動的グラフ(DTDG)よりもさらに複雑な連続時間動的グラフ(CTDG)に対するグラフニューラルネットワークであるTemporal Difference Graph Neural Network(TDGNN)について述べている。TDGNNの入

力は、初期グラフと、タイムスタンプ付きのグラフに対する操作であり、出力は各時刻における頂点ラベルの確率である。頂点の埋め込みと、ある時刻でのグラフ操作による頂点の表現の伝搬の差分をもとに、多頭注意機構を用いて新たな頂点の埋め込みをエンコードし、アンサンブル MLP によってデコードをして各時刻における頂点ラベルの確率を出力している。TDGNN の有効性を示すために、YouTube live streaming dataset を用いて、視聴者のメッセージや時刻をもとに、視聴者から放送者への寄附である superchat の時刻を予測する実験を行っている。その結果、11 種類のベースライン手法と比較して高い精度を示している。さらにパラメータの敏感度や頂点埋め込みの可視化の分析を行っている。

第6章「Discussion」では、提案したグラフニューラルネットワークの枠組みをもとに、与えられたデータをどのようなグラフ構造で表現するかについて考察し、領域依存の知識を組み込んだ GNN の必要性について述べ、本論文で述べた 3 つの手法の関係性について述べている。さらに、第3章の BiGCN と第5章の TDGNN について、他のデータセットを用いた評価実験の結果を示している。

第7章「Conclusion」では、本論文の主要な貢献についてまとめた上で、今後の研究の方向性について述べている。

以上で述べたように、本論文では、人の振舞いおよび社会トレンドの予測という実問題に対して、与えられた対象に適したグラフニューラルネットワークを提案し、実データを用いた実験を行って多数のベースライン手法と比較することによってその有効性を示している。本論文での成果は、救急医療サービスの需要予測や YouTube の寄附予測など、重要でインパクトのある実問題に対してグラフ深層学習が有効であることを示すものであり、機械学習においても学術上寄与するところが大きい。よって本論文は博士（学術）の学位論文として十分価値があるものと認める。