

Graduate School of Fundamental Science and Engineering  
Waseda University

博士論文審査報告書  
Doctoral Dissertation Review Report

論文題目  
Dissertation Title

A Study of Recommendation Systems with Temporal and Geographical  
Information

時間的・地理的情報を用いた推薦システムに関する研究

申請者  
(Applicant Name)  
Fan MO  
莫凡

Department of Computer Science and Communications Engineering Research on Parallel and  
Distributed Architecture

February, 2024

ビッグデータの時代，ビッグデータを有効に利用する上で，情報オーバーロードの問題が顕在化している．その一つの対応策として，情報推薦技術がある．本論文は，情報推薦システムにおける推薦精度向上を目的としたものである．

グラフ畳み込みネットワーク (Graph Convolutional Networks, GCN) は，近年の情報推薦において高い推薦精度を実現する方法として注目されている．GCN では，POI (Point of Interest) (あるいはアイテム) とユーザとをノードで表現し，POI に対するユーザのチェックインをエッジで表現する．そして，各ノードに対してエンベディングを行い，エッジで接続されるノード同士が似たエンベディングを持つよう学習する．本論文は，GCN を対象にユーザの POI へのチェックイン情報だけでなく，地理情報と時間情報を GCN に内包させることで推薦精度向上を目指すと共に，もう一つの観点である推薦モデルの更新の高速化による推薦精度向上を目指したものである．

本論文の貢献は，以下の三つに集約される．

最初の貢献は，GCN による POI 推薦において「アクティブエリア・ネイバー」と呼ぶ概念を導入した点である．アクティブエリア・ネイバーとは，各ユーザの活動領域 (アクティブエリア) の中心が一定の距離内にあるユーザグループを示す．具体的には，GCN においてエンベディングを行う際，アクティブエリア・ネイバーを一人のユーザとして扱うことで，個々のユーザが持つ情報を拡張し，推薦精度を向上させている．Yelp データセット及び Gowalla データセットを用いた評価により，従来手法である RankGeoFM, LR-GCCF, LightGCN, GPR に比較して高い推薦性能を確認している．Yelp (Gowalla) データセットでは，Precision@5 において 2.8% (1.1%)，Recall@5 において 3.5% (3.0%)，NDCG@5 において 3.8% (3.1%) の改善を達成している．

二つ目の貢献は，ユーザのチェックインの時間帯情報を GCN に導入した点である．チェックインの時間帯別に異なるサブグラフを構築し，POI とユーザの関係を表現している．時間帯でアクティブエリア・ネイバーは異なることから，時間帯数分のサブグラフが構築できる．その上で，サブグラフ毎に推薦スコアを計算し統合することで，推薦対象となる POI をランキングしている．これにより，時間帯別のユーザの類似性を捉えることができる．Gowalla データセット及び New York データセットを用いた評価により，従来手法である RankGeoFM, LR-GCCF, LightGCN, GPR, GNN-POI, IMP-GCN に比較して高い推薦性能を確認している．1 日を 6 時間毎の 4 つの時間帯に区分した場合に最も高い性能が得られ，Gowalla (New York) データセットでは，Precision@5 において 8.8% (11.6%)，Recall@5 において 8.8% (7.8%)，NDCG@5 において 9.0% (12.4%) の改善を達成している．

三つ目の貢献は，推薦モデルの更新を高速化することによる推薦精度向上である．本研究では，短い間隔でアイテム及びユーザが変化するオンライン広告

配信を対象としている．オンライン広告配信では，広告カテゴリ毎の配信数の制約を守った上で「どの広告をどのユーザに配信するか」を短時間で決定しなければならない．入力となるデータはユーザのクリック履歴と広告カテゴリ毎のコンバージョン率（広告主にとって価値のある行動に結びついた率）である．本論文では，情報推薦分野で初めてイジング計算機（アニーリング計算機）を用い，ユーザ毎に求めた広告カテゴリ別のコンバージョン率をもとに，組み合わせ最適化問題として情報推薦を実現している．イジング計算機での最適化を行うため，**QUBO**（**Quadratic Unconstrained Binary Optimization**）モデルへの変換手法を提案すると共に，ユーザのクリック履歴，広告カテゴリのコンバージョン率からなる生データを短い周期で **QUBO** モデルへ適合するようデータ変換している．評価では，実際の広告配信システム上で 5 分毎の周期的最適化を行い，イジング計算機を用いない従来手法によるコンバージョン率 0.239 を 0.324 に向上させることに成功している．

以下，各章の構成について説明する．

第 1 章は，序論である．

第 2 章は，情報推薦の高速化，及び，時間情報と地理情報をサイド情報として用いた従来の推薦システムのサーベイである．

第 3 章は，オンライン広告を対象とした情報推薦の高速化手法を提案している．イジング計算機を用いた広告配信最適化のための **QUBO** モデルを提案すると共に，高速なデータ変換を実現し，実際の広告配信システム上で評価を行っている．

第 4 章は，**POI** 推薦の前提知識と時間情報と地理情報をサイド情報として活用した従来の情報推薦研究を紹介している．

第 5 章は，地理的近傍をサイド情報として **GCN** に適用する手法を提案している．具体的には，アクティブエリア・ネイバーという概念を導入し，アクティブエリアに近いユーザの情報を用いることで推薦性能を向上させている．

第 6 章は，第 5 章のモデルに加えて，時間情報をサイド情報として追加した **GCN** 構成方法を提案している．時間帯毎にサブグラフを構成することにより，時間帯別に異なったアクティブエリア・ネイバーの情報を扱うことを可能とし，推薦性能を向上させている．

第 7 章は，本論文のまとめである．

以上を要するに，本論文では，情報推薦研究において，**GCN** に時間情報と地理情報の 2 つのサイド情報を追加し推薦性能を向上させる手法を提案すると共に，推薦性能向上のために，イジング計算機を活用する新しい手法を考案し，それぞれの有効性を評価している．これらの成果は，情報推薦技術の発展に大いに貢献するものであり，博士（工学）（早稲田大学）の学位論文として価値あるものと認める．

2024年2月

審査員

主査 早稲田大学教授 博士（工学）（早稲田大学） 山名早人

副査 早稲田大学教授 博士（工学）（早稲田大学） 酒井哲也

副査 早稲田大学教授 博士（工学）（早稲田大学） 笠井裕之