

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第	号
------	-------	---

氏 名 和田 裕一郎

論 文 題 目

Study of Prediction on Manifolds with Almost No or No
Labeled Data

(ラベル情報が極端に少ない、もしくは無い状況下における多様
体を利用したラベル予測に関する研究)

論文審査担当者

主 査	名古屋大学教授	酒井 正彦
委 員	名古屋大学教授	松原 洋
委 員	名古屋大学教授	柳浦 睦憲
委 員	東京工業大学教授	金森 敬文

論文審査の結果の要旨

和田裕一郎君提出の論文 "Study of Prediction on Manifolds with Almost No or No Labeled Data" (ラベル情報が極端に少ない、もしくは無い状況下における多様体を利用したラベル予測に関する研究) では、多様体構造をもつさまざまなデータに対する機械学習アルゴリズムについて、一連の研究成果が報告されている。

論文は全 13 章からなり、2 部構成になっている。第 I 部では、半教師つき学習に対するロバストなラベル伝播法について考察し、第 II 部では、深層学習モデルを用いたクラスタリングについて考察している。第 1 章は序論であり、研究全体の背景や目的について述べている。第 2 章から第 7 章で第 I 部のテーマを扱い、第 8 章から第 12 章で第 II 部のテーマを扱っている。第 13 章で研究成果を総括し、今後の課題と展望を述べている。

まず第 I 部第 2 章では、オフライン学習とオンライン学習のそれぞれの設定で半教師つき学習を定式化し、必要となる前提条件や仮定について説明している。第 3 章では、既存手法を紹介している。とくに、提案法と深く関連するラベル伝播法、測地的 k-最近傍法、そしてオンライン版の量子化ラベル伝播法について説明している。第 4 章では、オフライン半教師付き学習においてロバストな予測を実現するための方法として、ロバストなラベル伝播法を提案している。提案法ではまず、データの密度が高い領域からいくつかのラベルなしデータを選択し、通常のラベル伝播法によりラベルを予測する。これにより外れ値などに強いロバストな予測が可能になる。次に測地的 k-最近傍法を用いて、データの多様体構造を考慮しながら、残りのデータのラベルを予測する。さらに、提案法に含まれるいくつかのハイパーパラメータを、計算量最適化の観点から決定する方法を提案している。第 5 章では、第 4 章で得た成果をオンライン半教師付き学習に応用する方法を考察している。オンライン学習では、オフライン学習と比べて記憶容量が制限されるため、ラベル伝播法に用いるデータのグラフ構造を圧縮する必要がある。グラフ圧縮のアルゴリズムとして知られているダブリング法を用いることで、ロバストなラベル伝播法をオンライン化することに成功している。第 6 章では、数値実験により提案法の有効性を予測精度と計算コストの両面から検証している。第 7 章で第 I 部の総括と今後の課題を述べている。

第 II 部第 8 章と第 9 章では、深層学習モデルによるクラスタリングの問題設定について説明し、本研究と関連の深い既存手法を紹介している。とくにスペクトラル・クラスタリングと敵対的学習について説明している。第 10 章では提案法について説明している。提案法は 2 段階のステップからなる。最初のステップでは、第 I 部のロバストなラベル伝播法と同様に、データの密度が高い領域からいくつかのデータを選択する。さらにこれらのデータに対して、スペクトラル・クラスタリングを用いてクラスターラベルを予測する。次のステップでは、クラスターラベルを観測ラベルとみなして半教師つき学習を行う。このとき、複雑なデータに対応するために深層学習モデルを用い、さらにデータ構造の平滑性を捉えるために、敵対的なデータを仮想的に追加して学習を行う方法を提案している。またデータの多様体構造を学習するために、相互情報量によるマージン最大化基準も考慮してアルゴリズムを構築している。第 11 章では、数値実験により提案法の有効性を検証している。提案法は、とくに各クラスターのサイズが非一様の場合に高い性能を達成することが、いくつかの評価尺度のもとで示されている。第 12 章で第 II 部の総括と今後の課題を述べている。

以上のように本論文では、データの多様体構造を適切に捉え、半教師付き学習やクラスタリングにおいて高い性能を達成する実用的な学習アルゴリズムを提案している。本研究の成果は学術上の意義があるのみならず、情報科学への応用の観点からも極めて価値の高いもの

である。したがって、本論文提出者の和田裕一郎君は、博士(情報科学)の学位を受けるに十分な資格があるものと判断する。