

(第3号様式) (Form No. 3)

学位論文要旨 Dissertation Summary

氏名 (Name) 佐伯 昌造

論文名: Deep Metric Learningの高精度化および深層強化学習による
(Dissertation Title) 視野検査エージェント

本論文では視野等の眼科検査データベースの構築とそのデータベース上での情報検索システムを作成する方法として、Deep Metric Learning (DML)の手法の高精度化と視野検査システムの効率化に関する研究を行う。本論文では情報検索のためのDMLと視野検査の効率化に関して3つのアプローチの研究を行う。1つ目は、L1正則化によるDMLの特徴選択である。2つ目は、Multi Proxy Anchor (MPA) 損失とDMLの評価手法に関する研究である。3つ目は、深層強化学習による視野検査エージェントである。

(1) L1正則化によるDMLの特徴選択

DMLは似ているデータを近くに、似ていないデータを遠くなるように、データを特徴ベクトルへ写像するニューラルネットワークを学習する手法である。DMLで学習されたネットワークで変換された特徴ベクトルを用いてデータ検索や詳細画像解析ができる。既存のDMLでは、特徴ベクトルがL2正規化されている。本研究では、従来のSoft Triple損失にL1正則化項を加えたL1 Soft Triple損失を提案する。L2正規化とL1正則化の組み合わせは、特徴ベクトルの重要な特徴が強調され、重要でない特徴が抑制されるように作用する。評価実験ではL1正則化の影響を適当な値に定めることにより、既存の損失関数と比べてRecall@1が3.5%向上した。したがって、L1正則化はDMLにおいて、より良い特徴の獲得に寄与するものと考えられる。

(2) Multi Proxy Anchor損失とDMLの評価手法

DMLの損失関数にはPair-based損失とProxy-based損失がある。Proxy-based損失は各クラスに対して代理の中心を考えることにより、バッチサンプリングによるデータの組合せの影響が小さい。Proxy-based損失にはSoft Triple損失とProxy Anchor損失がある。Soft Triple損失は特徴ベクトルの各クラスに対して、複数の中心を考慮するが、損失関数の勾配特性に問題がある。一方で、Proxy Anchor損失は、Soft Triple損失等にある勾配特性の問題を解決しているが、各クラスに対して一つの中心しか考慮することができない。本研究では、それぞれの

損失関数の特徴を持つMulti Proxy Anchor (MPA)損失を提案する。MPA損失は特徴ベクトルの分布に局所中心が存在すると考えられるデータセットにおいて、既存の損失関数と比べ1~2%程度の精度向上があった。この結果はMPA損失による勾配特性の改善による学習効率の向上と複数の中心によりデータセットの局所中心が表現できていると考えられる。

DMLの精度の評価は特徴ベクトルを用いた検索精度で評価する。既存のDMLの精度評価にはRecall@kメトリックやMean Average Precision (MAP@R)が用いられている。これらの評価手法は検索結果に対して変化が乏しい場合や検索長が固定長となり、DMLの精度を柔軟かつ適正に評価することが困難である。本研究では、任意の検索長kのnormalized Discounted Cumulative Gain (nDCG@k)メトリックによるDMLの評価方法を提案する。nDCG@kメトリックは任意の検索長において、ダイナミックレンジが一定である。さらに、検索長内の検索結果の変化を反映することが可能である。そのため、既存の評価メトリックと比べ、DMLの精度の比較が容易であり、柔軟な比較が可能であると考えられる。

(3) Visual Field Transformer と深層強化学習による視野検査エージェント

視野検査は視野の網膜感度を定量化し、視野の状態を判定する検査である。視野検査は被験者に光刺激を呈示して、光刺激への反応から網膜感度を定量化する。一般的な視野検査は検査時間が片目6~9分ほどであり、検査中に1点を固視し続ける必要がある。視野検査は自覚的検査であるため、長い検査時間は検査精度の低下につながる可能性がある。さらに、視野検査は被験者へのストレスが大きいいため、短時間での検査が望ましい。検査時間を短縮するためには、網膜の刺激位置と光刺激の強度を決定する計測ストラテジーの改善が必要不可欠である。従来の視野検査の計測ストラテジーは、特定の眼病を仮定した計測ストラテジーや計測場所ごとに感度推論し、計測を決定する計測ストラテジーがある。計測場所ごとの推論は検査時間が長く、特定の眼病を仮定した計測ストラテジーは異なる眼病の際に性能の低下が考えられる。

本研究では計測ストラテジーとして、ニューラルネットワークで構成されるVisual Field Transformer (ViFT)を深層強化学習によって学習する方法を提案する。ViFTは被験者の光刺激への反応の履歴から計測場所と計測感度を決定する。評価実験では既存の計測ストラテジーとViFTによるシミュレーションを行い、評価する。ViFTは既存の計測ストラテジーと比較して、半分以下の計測回数で小さい計測誤差であった。ViFTは被験者の網膜上の位置関係を考慮して計測を実施できるため、短時間の計測で高精度な検査が可能と考えられる。この網膜上の位置関係はTransformerの構造により、事前定義なしでデータのみから学習ができる。さらに、ViFTは視野検査の計測を全て一つのエージェントで制御することが可能であり、様々な種類の視野検査に対して容易に適用が可能であると考えられる。