

( 続紙 1 )

京都大学	博士 (情報学)	氏名	高橋 大志
論文題目	Improving Variational Autoencoders on Robustness, Regularization, and Task-Invariance (ロバスト性, 正則化, タスク不変性に関する変分オートエンコーダの改善)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、深層学習における代表的なデータ生成モデルとして知られる変分オートエンコーダを、実世界の様々な問題に応用した際に起きる問題の解決へ向けた研究の結果をまとめたものであり、全6章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の目的とその内容を概観している。変分オートエンコーダは、深層学習における生成モデルとして最も代表的なもののひとつであるが、偏ったデータに対する不安定性、過度な正則化による性能の悪化、データが十分に入手できない状況での性能劣化という3つの深刻な問題を抱えている。この章では、これらの問題の解決を通じて、実世界のデータに対する変分オートエンコーダの一層の性能を引き出すという本論文の目的を述べるとともに、続く各章の見通しを与えている。</p> <p>第2章では、本論文の研究対象である、変分オートエンコーダおよび、これを条件付き分布に拡張した条件付きオートエンコーダについて、その基本的な考え方と、標準的なモデル構成、そして変分下界の最大化に基づくモデル学習のアプローチについて簡潔にまとめている。</p> <p>第3章では、変分オートエンコーダを連続的な確率変数に対して適用する際に、デコーダ (復号化器) として標準的な正規分布を用いると、データの分布に偏りがある場合には学習が不安定になるという問題を扱っている。本論文では、この不安定性が、デコーダの出力の分散が過剰に小さくなることによって起こることを指摘し、これを解決するために、ニューラルネットワークで表現されるデータ依存のパラメータをもつガンマ分布を出力の事前分布として導入する修正法を提案し、その有効性をいくつかの実データを用いて検証している。</p> <p>第4章では、実世界の複雑なデータに対して変分オートエンコーダを適用するとき、潜在変数の事前分布として正規分布を仮定すると、正則化が過剰となり、結果としてモデルの過小適合を引き起こすという問題に対して、より柔軟な事前分布を用いることによる解決法を提案している。具体的には、変分オートエンコーダを学習する際の目的関数であるELBOに含まれる、エンコーダと事前分布の間のKLダイバージェンスが2つの分布の密度比で表されることに着目し、これをニューラルネットワークを用いて直接学習する手法を提案し、いくつかの標準的なベンチマークデータによってその有効性を示している。</p> <p>第5章では、少数のデータから変分オートエンコーダを学習する際に、過去の類似した状況のデータを再利用することで精度を高める問題に取り組んでいる。この問題は、複数のデータセットの識別子を所与とした条件付き変分オートエンコーダによってモデル化できるが、そのままでは個別のデータセットの特徴に過剰に適合してしまう問題が生じる。本論文では、データセット間の依存度合いを相互情報量で測り、こ</p>			

れを小さくするように学習することで、全データセットに共通の普遍的な情報を取り出す手法を提案するとともに、その性能についての理論保証を与えている。また、ベンチマークデータを用いた実験においても、提案手法の性能が通常の（条件付き）変分オートエンコーダを上回ることが確認されている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。即ち本論文は、変分オートエンコーダの実世界応用を見据えた際に課題となる種々の問題点を解決するために、変分オートエンコーダに様々な拡張を行い、その有効性を実験的・理論的に示したものである。本論文では最後に、将来の課題・展望として、たとえば分布外検出や動的システムへの拡張などによって、変分オートエンコーダをさらに実用的に発展させることを挙げ、本論文を結んでいる。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、深層学習における代表的なデータ生成モデルとして知られる変分オートエンコーダを、実世界の様々な問題に応用した際に起きる問題の解決へ向けた研究に取り組んだものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 変分オートエンコーダを連続的な確率変数に対して適用する際に、データの分布に偏りがある場合には学習が不安定になるという問題と、その一因としてデコーダの出力の分散が過剰に小さくなることを指摘した。また、ニューラルネットワークで表現されるデータ依存のパラメータをもつガンマ分布を出力の事前分布として導入することによる解決法を提案し、その有効性を実験的に確認した。

2. 変分オートエンコーダにおいて、潜在変数の事前分布として単純な正規分布を仮定することが過剰な正則化となり、結果としてモデルの過小適合を引き起こすという問題を指摘した。また、変分オートエンコーダを学習する際の目的関数であるELBOに含まれる、エンコーダと事前分布の密度比を、ニューラルネットワークを用いて直接学習する手法を提案し、その有効性を実験的に確認した。

3. 少数のデータから変分オートエンコーダを学習する際に、過去の類似した状況のデータを再利用するために、複数のデータセットの識別子を所与とした条件付き変分オートエンコーダによってモデル化すると個別のデータセットの特徴に過剰に適合してしまう問題を指摘した。また、データセット間の依存度合いを相互情報量で測り、これを小さくするように学習することで、全データセットに共通の普遍的な情報を取り出す手法を提案するとともに、その性能についての理論保証を与え、さらには実験的にも確認した。

以上、本論文は、変分オートエンコーダの実世界応用を見据えた際に課題となる種々の問題点を解決するために、変分オートエンコーダに様々な拡張を行う方法を提案したものであり、学術上・実応用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年2月24日に実施した論文内容とそれに関連した口頭試問の結果、合格と認めた。なお、インターネットでの全文公表を行うことについて支障がないことを確認した。

要旨公開可能日： 年 月 日以降