

審査の結果の要旨

氏 名 金子 卓弘

本論文は「Learning to Generate Images from Uncertain Data (不確実データからの画像生成の学習)」と題し、画像やラベルに不確実性が存在するときに画像生成モデルを学習する方法を提案したものであり、全3部全11章から構成される。

本論文で扱う画像生成とは、ある抽象的表現が与えられたときに画像を具現化する技術であり、人間に代わって精緻な画像を自動生成・変換する技術として期待を集めている。画像生成は少ない情報（乱数・ラベルなど）からより詳細な画像を創り出す不良設定問題であり、解くのは容易ではないが、近年、高い表現力を持つ深層生成モデルが提案され、飛躍的な発展を遂げている。この深層生成モデルの学習には大量の学習データが必要になるが、一般的にデータ収集はコストがかかるため、比較的安価なウェブクロウニングやクラウドソーシングなどが用いられることがよくある。このような方法でデータを集めた場合、安価になる一方で、データの質の担保が難しくなるという欠点があるが、従来の深層生成モデルでは、このようなデータの質の低下を考慮していなかったため、画像のノイズや誤ラベルに脆弱という問題点があった。この問題に対し、本論文では、データの不確実性を考慮した深層生成モデルを提案し、収集したデータの質が低いときでも質の高い生成モデルを学習することを可能にした。具体的には、画像生成の二つの代表的タスクである非条件付き画像生成と条件付き画像生成を対象に研究に取り組んでいる。前者については画像における不確実性を演算方法と画像との依存関係に基づき分類を行い、各不確実性に頑健な生成モデルを提案している。一方、後者に関してはラベルにおける不確実性をラベルまたは画像との依存関係に基づいて分類し、各不確実性に対処可能な条件付き生成モデルを提案している。さらに、応用として、非条件付き画像生成についてはカメラの画像処理も考慮した不確実性に頑健な生成モデルを提案し、条件付き画像生成に関しては画像変換への適用法を提案している。各提案モデルについては検証実験も行ない、有効性を示している。各部・各章の概要は以下である。

導入部分は第1章から第3章で構成される。第1章「Introduction」では、まず、画像認識と本論文で扱う画像生成の双対関係について議論を行った後、不確実データに対する従来深層生成モデルの脆弱性を指摘し、本研究の目的を導入している。第2章「Terminology, Scope, and Methodology」では、本論文の指針、スコープ、方法論の明確化のため、非条件付き画像生成と条件付き画像生成の定義、不確実性の分類、不確

実性を生成モデルに組み込むための方法論について述べている。第3章「Related Work」では、まず、生成モデルの関連研究として非条件付き画像生成と条件付き画像生成について取り上げ、続いて、本論文で扱う不確実性を考慮した画像生成の双対問題である画像復元およびラベルノイズに頑健な画像識別について議論を行い、最後に、画像生成の代表的な応用タスクである画像変換と本研究の関係について説明している。

第I部「Learning to Generate Images from Uncertain Images」では、「不確実性のある画像からの非条件付き画像生成の学習」について扱い、第4章・第5章で構成される。第4章「Learning to Generate Images from Noisy Images」では、不確実性のある画像の一分類であるノイズを含む画像を扱い、ノイズをさらに画像非依存と画像依存に分類しながら、各ノイズに頑健な生成モデルを提案している。第5章「Learning to Generate Images from Blurred and Compressed Images」では、不確実性のある画像の残りの二分類であるボケ・圧縮アーティファクトを含む画像を扱い、各々に頑健な生成モデルを提案している。さらに、本章では、全モデルを組み合わせることも提案し、ノイズ・ボケ・圧縮アーティファクト全てに頑健な生成モデルも導入している。

第II部「Learning to Generate Images from Uncertain Labeled Images」では、「不確実性のあるラベルからの条件付き画像生成の学習」について説明を行い、第6章・第7章で構成される。第6章「Learning to Generate Images from Noisy Labeled Images」では、不確実性のあるラベルの二分類であるランダムラベルノイズとクラス依存のラベルノイズを取り上げ、それらのラベルノイズに頑健な条件付き生成モデルを提案している。第7章「Learning to Generate Images from Ambiguously Labeled Images」では、不確実性のあるラベルの残りの一分類である画像依存のラベルノイズを扱い、クラス間の曖昧性を表現可能な生成モデルを提案している。

第III部「Applications」では、第II部で述べた手法の応用を議論しており、第8章から第10章で構成される。第8章「Towards Learning to Generate Images from Real-World Degraded Images」では、第4章・第5章で提案した不確実性のある画像に頑健な生成モデルの応用として、カメラの画像処理も考慮した不確実性に頑健な生成モデルを提案している。第9章「Learning to Translate Images from Noisy Labeled Images」と第10章「Learning to Translate Images from Ambiguously Labeled Images」では、それぞれ第6章と第7章で提案した不確実性を考慮した条件付き生成モデルの画像変換への応用について述べている。

第11章「Conclusion and Future Work」においては、上述した提案手法について総括した上、得られた知見および今後の展望について議論を行なっている。

以上、本論文は、「不確実データからの画像生成の学習」という新しい研究領域に対して、独自性の高い手法を提案しながら、網羅的に研究に取り組んでおり、学術的に極めて価値の高い研究成果を達成していると言える。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。