Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-07-09

高効率な深層学習を目指すRNNの構造設計と性能評価

藤田，倫弘

(Degree)
博士（システム情報学）
(Date of Degree)
2021-09-25
(Date of Publication)
2022-09-01
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲第8175号
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1008175

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

(別紙様式 3)

論文内容の要旨

氏　名　藤田倫弘

専　攻　システム科学

論文題目（外国語の場合は，その和訳を併記すること。）

高効率な深層学習を目指す RNN の構造設計と性能評価

指導教員　羅志偉

本論文は Recurrent Neural Network (RNN)におけるパラメータの削減ならびに構造解析についての研究に関する論文である．RNN は内部に再帰構造を有し，時系列データなどを処理することが可能であるが，時系列方向へと RNN が展開されるために計算コストやメモリ使用量が問題となることが多い．最も基本的な構造を持つ Simple RNN では，勾配消失や勾配爆発といった，学習時に勾配が不安定になってしまう問題を抱えており，実際に使用される RNN は Long Short-Term Memory (LSTM)や Gated Recurrent Unit (GRU)などのゲート付き RNN となる．これらゲート付き RNN では，複数のゲート構造，及びゲート構造に行列重みパラメータを持つことから，計算コストやメモリ使用量がさらに増加してしまい，実際の使用に際して現実的な時間での学習ができない，メモリが枯渇し学習が行えないなどの制約を受けることも少なくない．また近年では大規模データセットに対し RNN 適用が試みられることもあり，計算コスト・メモリ使用量の問題解決はより重要度を増している．したがって本研究では，この RNN における計算コスト・メモリ使用量の問題点に着目し，RNN のパラメータを削減したより効率的な RNN 構造を構築することが主な目的となる．ゆえに本論文は，RNN のパラメータを削減するべく行われた計算コスト・メモリ使用量の少ない RNN モデルの構築及び構造解析と評価に関しての以下の 3 つの研究内容についてまとめたものとなる．

研究 1: 既存ゲート構造を用いた 4 種類の RNN (Simple Gated RNN: SGR)を構築し，従来のゲート付き RNN から性能を落とすことなくパラメータを削減することを試みた．構築した SGR に対して，複合的な要素を持つ機械翻訳タスクにおける英語から日本語への翻訳により，従来のゲート付き RNN である LSTM と GRU との計算機を用いた性能比較実験を行った．その結果，構築した一部の SGR が従来の LSTM や GRU より優れた機械翻訳スコアを示した．しかしながら，多層化した場合の機械翻訳スコアは期待通りに向上せず，また SGR の機械翻訳スコアが GRU のスコアを上回るためには比較的大きなユニット数が必要であり，大幅にパラメータを削減するには至らなかった．この問題点を解消し，更なるパラメータ削減を行うには，ゲート構造の働きについて考え，ゲート構造そのものについて検討する必要があると結論付けた．

研究 2: ，研究 1 における実験の結果及び考察から RNN のパラメータを更に削減するべく，ゲート構造の利点である隠れ状態のスケーリング機能に着目し，解析的な観点からゲート構造の行列重みパラメータをスカラー値に変更後，それに伴って発生するゲート構造のスケーリング機能が働かなくなる可能性を踏まえ，従来のゲート構造での活性化関数である sigmoid 関数を，従来用いられてこなかった sech 関数に置き換えたパラメータの少ない全く新しいゲート構造を構築した．そして勾配消失問題や degradation 問題を念頭に置き，新しく構築した sech 関数とスカラー値により構成されたゲート構造を shortcut

connection を基にした RNN の基本構造に挿入する形で，パラメータの非常に少ない新しい RNN を構築した．この新しい RNN は，行列重みパラメータの有無や出力活性化関数の位置などを考慮して４種類構築された．この４種の RNN について，WikiText-2 を用いた言語モデリングタスクと IMDB を用いた２値分類タスクという性質の異なる２つの自然言語処理タスクを用いて評価し，従来型のゲートを持つ LSTM や GRU との性能評価実験を行った．その結果，WikiText-2 を用いた言語モデリングタスクでは，多層化してもなお LSTM や GRU に劣る結果となってしまったが，IMDB を用いた２値分類タスクの場合では，パラメータが 1/6 以下と少ないながらも LSTM や GRU に匹敵する精度となった．したがって，実験の結果からゲート構造の改善によってパラメータの削減が可能であることが示された．加えてゲート構造の解析により判明した RNN モデル出力時の勾配消失問題の緩和などにより，言語モデリングタスクの性能も更に精度を向上させることが可能であると考えられ，出力活性化関数の選択や多層化時の構造について更なる検討が必要となった．

研究 3: 研究２において構築した sech 関数とスカラー値を用いたゲート構造を持つ RNN において，自然言語処理以外のタスクにおいて性能の更なる検討を行うため，時系列データ処理や画像処理の要素を含む応用的な医療情報処理課題としてパーキンソン病 (Parkinson's Disease: PD)検出タスクを設定する．この PD 検出タスクでは，sech 関数とスカラー値を用いたゲートを持つ RNN の内，研究２の２値分類タスクにおいて最も性能の良かった RNN を RNN-SH と呼称し，この RNN-SH を用いて更に検証を進めた．PD の検出では，PD 患者の運動障害性構音障害に着目し，PD 患者の音声を特定区間に分割したものを２次元リカレンスプロット画像に変換し，CNN と RNN を用いた PD 検出モデルにより検出する．実験では PD 検出精度によって，従来のゲート付き RNN との性能比較や，出力活性化関数を tanh から relu 関数に変更した場合の性能の検討を行った．その結果，tanh を出力活性化関数に用いた場合の RNN-SH と従来の LSTM，GRU を使用した各 PD 検出モデルの精度に統計的優位差は認められなかった．しかしながら性能差が小さいにも関わらず，RNN-SH を用いた PD 検出モデルのパラメータ量は GRU を用いた場合の 1/3 以下であり，RNN-SH が自然言語処理のみならず，時系列データ処理や画像処理などのタスクにも応用可能であることが示唆される．一方で，研究２において問題となった RNN-SH の多層化における精度向上は，多層化に重要な役割を果たす活性化関数である relu 関数を用いた場合でも検出精度を向上させることはできず，パラメータの初期化や正規化法を検討し，より詳細な調査を行う必要がある結果となった．PD 検出精度に関しても，実験を通して 70%前後と実用的な精度には到達しなかった．原因として，データセットの大きさや PD 検出に適した単母音の選択，RP 画像を作成する時間間隔，RP 画像のサイズ，PD 検出モデルにおける CNN の構造などが最適ではなかった可能性がある．したがって，これらを最適化することで更に精度を向上させることができると考えられ，今後改善すべき点について詳細な調査・検討を行い，PD 検出精度の改善を行う予定である．

本論文は６章で構成され，概要はそれぞれ以下の通りである．

第 1 章では，近年の複雑化するニューラルネットワークの設計思想と計算資源の制約について本研究の背景を述べ，RNN のパラメータ削減における研究の重要性を説明する．また，本研究の目的及び特徴についても述べ，他の関連研究との比較と問題点，並びに本研究の特徴と意義を確認する．

第２章では，本研究で扱う従来型 RNN の基本的な構造と特徴などについて述べ，主要な RNN モデルについて具体的に説明する．またそれぞれ RNN モデルにおける問題点やパラメータ量について説明し，本研究の意義について述べる．

第３章では，研究１の内容について，既存のゲート構造取り入れた新しい RNN モデルの構造や機械翻訳タスクにおける性能評価実験の概要，並びに実験の結果について述べる．

第４章では，研究２の内容について，新しい sech 関数とスカラー値を用いたパラメータの少ないゲート構造を持つ，shortcut connection を基にした RNN モデルの構造や，性質の異なる２つの自然言語処理タスクである WikiText-2 を用いた言語モデリングタスク並びに IMDB を用いた２値分類タスクにおける性能評価実験の概要，並びにその実験の結果について論じる．

第５章では，研究３の内容について，研究２で構築した sech 関数とスカラー値を用いたゲートを持つ RNN の内，IMDB を用いた２値分類タスクにおいて最も性能の良かった RNN の１つ用いて行われた，リカレンスプロットを用いた PD 検出タスクにおける性能評価実験の概要，並びに実験の結果とリカレンスプロットを用いた PD 検出タスクにおける改善すべき点と展望について述べる．

第 6 章では，各章で得られた結果を要約し，本研究における結論及び，今後の課題と展望について述べる．

(別紙1)

論文審査の結果の要旨

氏名	藤田　倫弘
論文題目	高効率な深層学習を目指すRNNの構造設計と性能評価

審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	羅　志偉
	副査	教授	的場　修
	副査	教授	滝口　哲也
	副査	准教授	全　昌勤

要旨

本論文は，時系列データや自然言語に関する情報処理を行うための深層学習方式を研究し，計算コストやメモリ使用量の削減を目指した斬新な RNN (Recurrent Neural Network)の構造を提案し，性能評価を行った．

RNN は内部に再帰構造を有し，時系列データ方向または文字列方向へと展開されるため，計算コストやメモリ使用量が重要な問題となっている．最も単純な構造を持つ Simple RNN では，勾配消失や勾配爆発といった学習時の問題を抱えており，この問題を回避するために，Long Short-Term Memory (LSTM)や Gated Recurrent Unit (GRU)などのゲート付き RNN が提案されている．しかしながら，これらのゲート付き RNN は，複数のゲート構造及びゲート構造に重みパラメータ行列を持つことから，計算コストやメモリ使用量が大幅に増えてしまうという問題が生じる．この問題を改善するために，本論文は以下に示す三つの研究を展開した．

まず，一番目の研究では既存の LSTM と GRU の性能改善を目指して，Simple RNN から出発し，4 種類の Simple Gated RNN (略称: SGR) を考案した．そして，機械翻訳における英語から日本語への翻訳タスクにより， LSTM 及び GRU との性能比較実験を行った．その結果，本研究で提案した SGR は少ない計算コストやメモリ使用量でありながら，従来の LSTM や GRU よりも優れた機械翻訳性能を有することを明らかにした．この研究成果は，システム制御情報学会論文誌に掲載された．

次に，RNN のゲート構造における活性化関数の選定に着目し，sech 関数を用いることでかつ shortcut connection と組み合わせてより学習パラメータの少ない RNN を提案した．そして，WikiText-2 を用いた言語モデリングタスクと IMDB を用いた 2 値分類タスクという異なる自然言語処理タスクを用いて性能計算を行い，LSTM や GRU との性能比較を行った．その結果，WikiText-2 を用いた言語モデリングタスクでは，多層化してもなお LSTM や GRU に劣る結果となってしまったが，IMDB を用いた 2 値分類タスクでは，学習パラメータの数が 1/6 以下に抑えながら LSTM や GRU に匹敵する分類精度を有することを確認できた．この研究成果も，システム制御情報学会論文誌に掲載された．

最後に，自然言語処理以外のタスクにおける上記研究で提案した RNN の有効性を検証するために，時系列データ処理や画像処理の要素を含む医療応用の情報処理課題を取り上げ，音声からパーキンソン病(Parkinson' s Disease: PD)検出タスクにおける上記 RNN の有効性検証を実施した．この研究成果は，国際論文誌 Applied Sciences に掲載された．

本論文は 6 章で構成されている．

第 1 章では，本研究の背景を述べ，RNN における学習パラメータ削減の重要性を説明した．また，本研究の目的及び特徴についても述べた．

第 2 章では，本研究で扱う RNN の基本的な構造と特徴などについて述べ，主要な RNN モデルについて具体的に説明した．またそれぞれ RNN モデルにおける問題点や学習パラメータ数について説明し，本研究の意義について述べた．

第 3 章から 5 章までは，上記の三つの研究内容について詳細に記述し，考察している．

第 6 章では，本研究における結論と今後の課題と展望についてまとめた．

氏名	藤田　倫弘

以上で，本論文は，自然言語処理や時系列情報処理に関する RNN の構造設計と性能評価を研究され，数多くの有益な知見と有益な示唆を与えることができた．よって、提出された論文はシステム情報学研究科学位論文評価基準を満たしており，学位申請者の藤田倫弘は，博士(システム情報学)の学位を得る資格があると認める．