

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：14303

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20415

研究課題名（和文）脳のモジュール性に学ぶ破滅的忘却を軽減するニューラルネットワークの設計

研究課題名（英文）Designing Neural Network for Mitigating Catastrophic Forgetting Inspired by Brain Modularity

研究代表者

CHEN LU (CHEN, LU)

京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・助教

研究者番号：60822872

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：リアリスティックなデータセットを学習するニューラルネットワークに対して脳におけるモジュール性の発生メカニズムであるMVG (Modularity Varying Goal) を応用し、繰り返し切替わるゴールを与えて学習させることにより、モジュール性の高いニューラルネットワークが得られ、それが破滅的な忘却を軽減することを明らかにした。さらに深層強化学習エージェントに対してもMVGを応用し、目先の環境のみに対して学習させた場合と比較して、目先の環境に加えて時間的もしくは空間的に異なる環境を交互に与えながら学習させた場合の方が、未学習の環境に遭遇した際の学習精度の低下を抑えることができることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深層学習の急速的な発展により、人工ニューラルネットワーク技術の応用が注目を集めており、幅広い産業分野への応用が図られている。現状を考慮すると、人工ニューラルネットワークの応用カテゴリが今後も拡大することは想像に難くない。しかし、計算機資源には物理的限界が存在する。本研究で提案するニューラルネットワークは、複数のゴールに対して高い適応度を得ることができることから、これまでは複数のニューラルネットワークが必要であった学習タスクを、1つのニューラルネットワークで学習可能となるケースが存在することが考えられることから、計算機資源の削減が期待できる。

研究成果の概要（英文）：By applying MVG (Modularity Varying Goal) to a neural network that learns realistic data sets, which is, giving repeatedly switching goals while learning, we clarified that a highly modular neural network can be obtained and it can reduce catastrophic forgetting. Furthermore, MVG is also applied to deep reinforcement learning agents. We clarified that compared to the neural network trained only for the immediate environment, the neural network trained while repeatedly giving temporally or spatially different environments in addition to the immediate environment can suppress the decrease of learning accuracy when encountering an unlearned environment.

研究分野：ニューラルネットワーク

キーワード：ネットワークポロジィー ニューラルネットワーク モジュラリティ 深層強化学習 C-RAN

1. 研究開始当初の背景

深層学習の急速的な発展により、ニューラルネットワーク技術の応用が注目を集めている。手書き文字の認識に始まり、自動運転における歩行者の検知、土木現場における路面のひび割れの検出等、幅広い産業分野への応用が図られている。現状を考慮すると、ニューラルネットワークの応用カテゴリが今後も拡大することは想像に難くない。しかし、計算機資源には物理的限界が存在する。そのため、将来においても現在と同様に個々のカテゴリに特化したニューラルネットワークを設計することには限界がある。それゆえ、将来的にはカテゴリを横断して大規模なデータを継続的に学習できるニューラルネットワークが求められる。

しかし、ニューラルネットワークには破滅的な忘却の問題が存在し、カテゴリを横断して継続的に学習することが可能でない。破滅的な忘却とは、新しい知識を学習すると、過去に獲得した知識を極度に忘却することである。ニューラルネットワークはリンクの重みを書き換えることにより学習するが、新しい知識を学習すると、過去の知識を保持するリンクの重みを書き換えるため、破滅的な忘却が生じる。それゆえに、新しいカテゴリを学習すると過去に学習したカテゴリの知識を極度に忘却する。本問題に関する研究は国内外で盛んに行われているが、ほとんどが直前に学習した知識をダイレクトに保持するものであり、これでは直前に学習した数個の知識しか保持できず、ある時点を境にそれより過去に獲得した知識を極度に忘却することになりはしない。そのため、本研究では、「如何に忘却を緩やかにし、大規模なデータの継続的な学習を可能にするニューラルネットワークを設計するか」を考える。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ニューラルネットワークに大量のデータを学習させる際に生じる「破滅的な忘却」を回避し、継続的な学習を可能にするニューラルネットワークを設計するために、将来の学習において再利用可能な知識を獲得することにある。

3. 研究の方法

手段として、人間の脳機能ネットワークに見られるモジュール性の発生メカニズムを取り入れ、動的にモジュールを生成可能な人工ニューラルネットワークを設計する。ネットワークにおけるモジュールとは、互いに密に接続されたノードの集合であり、モジュールの存在により、知識を物理的に異なるモジュールに蓄えることが可能となるため、破滅的な忘却の軽減に有用であることが言われている。モジュール性の発生メカニズムについて、理論生物学の分野では、ネットワークシステムを、ゴールが素早く切り替わる環境下で進化させるとモジュールが生成されることが明らかにされている。

そこで、本研究では、ニューラルネットワークに対して、素早く切り替わるゴールを与えて進化させることにより、動的にモジュールを生成する。結果として、将来の学習において再利用可能なモジュールを獲得し、過去のデータの再学習や未知のデータの学習が容易になることを期待する。

本研究ではまずリアリスティックなデータセットを学習するニューラルネットワークに応用した。脳におけるモジュール性の発生メカニズムに習い、繰返し切替わるゴールを与えて学習させることにより、モジュール性の高いニューラルネットワークの存在し、それが破滅的な忘却を軽減することを明らかにした。

次に強化学習の問題への応用を図った。目先の環境のみに対して学習させたニューラルネットワークと比較して、目先の環境に加えて時間的もしくは空間的に異なる環境を交互に与えながら学習させたニューラルネットワークの方が、未学習の環境に遭遇した際の学習精度の低下を抑えることができることを明らかにした。

4. 研究成果

(1) リアルスティックなデータセットを学習するニューラルネットワークへの応用

本研究ではまずリアルスティックなデータセットを学習するニューラルネットワークに応用した。脳におけるモジュール性の発生メカニズムに習い、繰返し切替わるゴールを与えて学習させることにより、モジュール性の高いニューラルネットワークの存在し、それが破滅的な忘却を軽減することを明らかにした。

図1(a)は Airplane と Truck を交互に与えて学習させた時の学習精度であり、MVG での学習の進捗を表す。X軸がエポック数で、Y軸が学習精度を示している。青線がMVGの結果である。ここで示している学習精度は学習中のゴールに対する学習精度であるため、すなわち Airplane 学習後には Airplane に対する学習精度を示し、Truck 学習後には Truck に対する学習精度を示している。また比較のため、Airplane のみを学習した FG の結果を赤線で示している。結果より、MVG は FG より低いものの、両方のゴールに対してある程度の学習精度に到達できていることが見て取れる。

この時、得られたニューラルネットワークのモジュラリティはMVGで0.2041、FGで0.1865であり、FGで得られたネットワークのモジュラリティは低くないが、MVGで得られたネットワークはより高いことが分かる。

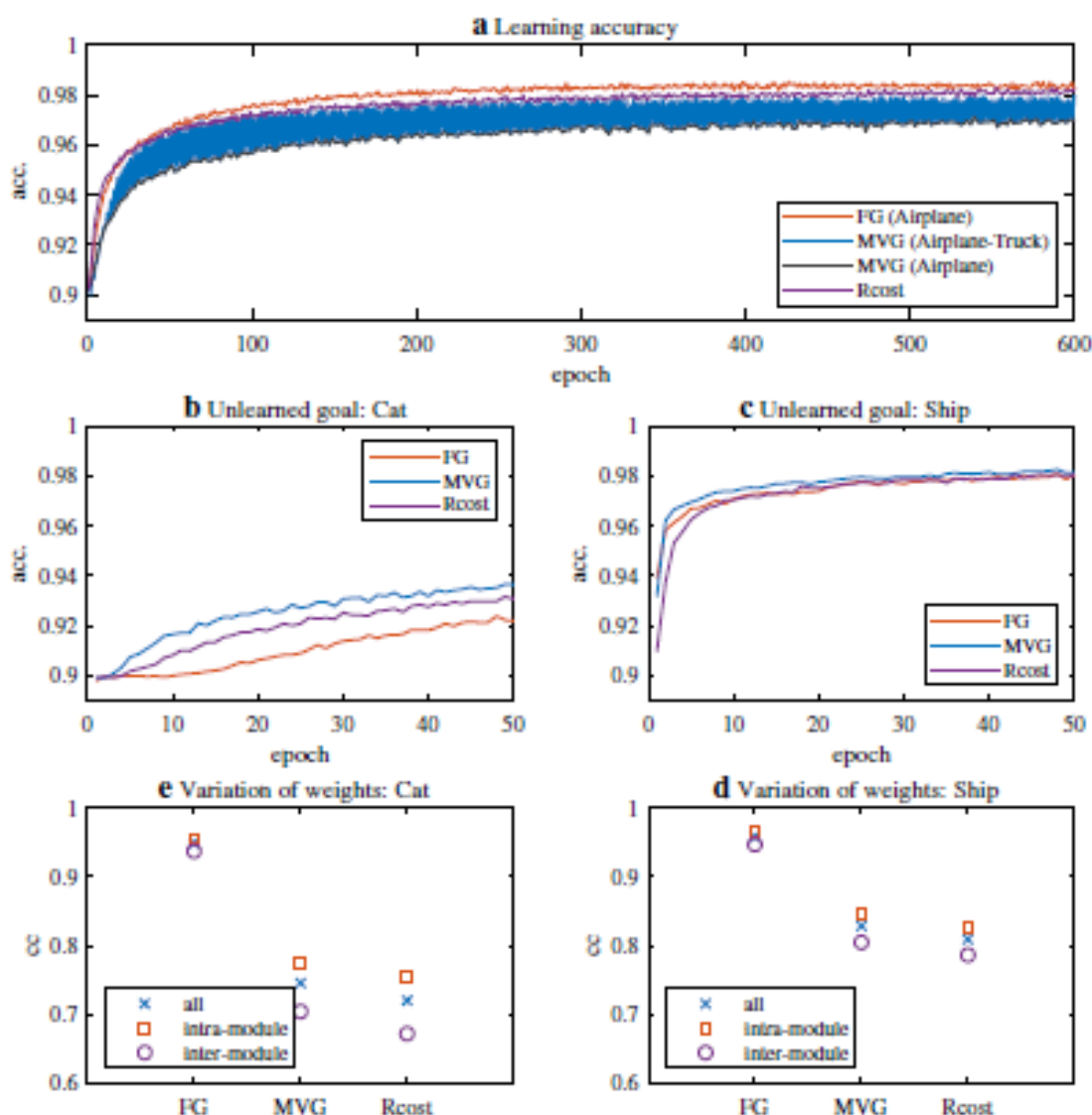


図1：リアルスティックなデータセットを学習するニューラルネットワークへの応用の結果

未学習ゴールへの学習精度を図 1(b)と図 1(c)に示す。オリジナルの文献 [1] では未学習のゴールとして、過去に学習したことのあるゴールのサブゴールでありながら、それらのサブゴールの新しい組み合わせと定義しているが、実データには明確なサブゴールは存在しない。画像データセットは、エッジや直線、曲線といった特徴を共有していることが一般に知られているため、ここでは新しいゴールは未学習のカテゴリとする。動物と人工物では特徴が異なるため、ここではそれぞれの代表として Cat と Ship で評価する。ニューラルネットワークの重みはそのままゴールのみを変更し、50 エポック学習される。結果より、双方において MVG は FG と比較して素早く学習できることが分かる。

図 1(e)と図 1(d)は未学習のゴールを学習する前後でのニューラルネットワークの構造変化を示している。MVG に期待するメリットがモジュールの再利用であることから、ここではモジュール内リンク、モジュール間リンクに分けて構造変化を調査する。構造変化の調査に用いる指標は相関係数である。未学習のゴールを学習する直前のステップと直後のステップでのニューラルネットワークのリンク重みの相関係数を示す。モジュール検出は未学習ゴールを学習する直前のニューラルネットワークに対して行う。結果より、FG は MVG と比較して相関係数が高いことが分かる。これはゴールが変化したとしても FG の要素がほとんど変化しないことを表している。一方で、MVG で得られたトポロジーは新しいゴールに対して変化できることが分かる。さらに、MVG はモジュール内リンクと比較してモジュール間リンクの相関係数が低い。これはモジュール内リンクを相対的に保持しながら、モジュール間リンクを切り替えていることを意味する。

(2) 強化学習の問題への応用

次に強化学習の問題への応用を図った。目先の環境のみに対して学習させたニューラルネットワークと比較して、目先の環境に加えて時間的もしくは空間的に異なる環境を交互に与えながら学習させたニューラルネットワークの方が、未学習の環境に遭遇した際の学習精度の低下を抑えることができることを明らかにした。

C-RAN (Cloud Radio Access Network) において、ユーザ数の変化に応じて RRH (Remote Radio Head) をオン/オフして省電力化する問題を学習する深層強化学習エージェントに対して MVG の応用を図った。問題のゴールは RRH のオペレーションシーケンスを探索することである。異なるトラフィック需要を持つユーザが複数存在するとする。ブラウジングするユーザは少量であるが頻度の高いトラフィックを生じさせるものとし、ビデオストリーミングするユーザは頻度は少ないが一度に多くのトラフィックを生じさせるものとする。例として、ブラウジング 4 人とストリーミング 1 人の環境 E[B4S1]、ブラウジング 2 人とストリーミング 3 人の環境 E[B2S3]を交互に学習させた後に、ブラウジング 1 人とストリーミング 4 人の環境 E[B1S4]を与えて評価する。

評価では、E[B4S1]と E[B2S3]を交互に学習させたネットワークがどのようにして E[B1S4]を学習するかを調査する。比較対象として、E[B4S1]か E[B2S3]のどちらか片方のみを学習させたもの (FG) を用意する。

各評価シナリオの累積報酬は図 2 の通りである。X 軸がステップを示し、Y 軸が 1000 ステップ毎の累積報酬を示す。環境は 10×10^4 ステップで E[B1S4]にスイッチングする。各シナリオは 12 個の異なる乱数種で試行されている。MVG の結果より、 10×10^4 ステップまでにエージェントは E[B4S1]と E[B2S3]の双方で高い累積報酬を獲得できていることが分かる。さらに、MVG と比較して FG[B2S3]と FG[B4S1]は 10×10^4 ステップ後の報酬が悪いことが見て取れる。

< 引用文献 >

N. Kashtan and U. Alon, "Spontaneous evolution of modularity and network motifs," PNAS, vol. 102, no. 39, pp. 13 773–13 778, Sep. 2005.

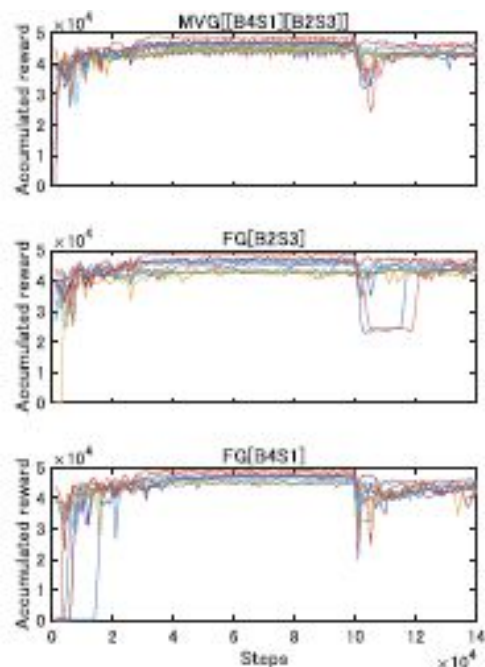


図 2 : 強化学習問題への応用の結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Chen Lu, Murata Masayuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Enhancing network modularity to mitigate catastrophic forgetting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Network Science	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s41109-020-00332-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Lu Chen, Masayuki Murata
2. 発表標題 Mitigate Catastrophic Forgetting by Varying Goals
3. 学会等名 International Conference on Agents and Artificial Intelligence(ICAART)（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lu Chen, Masayuki Murata
2. 発表標題 Deep Reinforcement Learning for Resource Management in C-RAN for Dynamic Environment
3. 学会等名 IEEE International Workshop on Artificial Intelligence for Sustainable B5G/6G Networks (IEEE GLOBECOM WORKSHOP)（国際学会）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------