

令和元年8月30日現在

機関番号：14303

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2018

課題番号：18H06463

研究課題名（和文）継続的な学習を可能に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 Continuously Learning

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） 1,200,000円

研究成果の概要（和文）：破滅的忘却の軽減に対して、MVG (Modularly Varying Goal) が有用であることを明らかにした。具体的には、MVGでニューラルネットワークを進化させることで、少しのリンクの張り替えや重みの書き換えで、複数の学習したタスクに対して高い適応度が得られることが分かった。また、MVGでニューラルネットワークを進化させることで、情報処理に有用な特定のモチーフの数が相対的に多く得られることが分かった。さらに、学習するタスクの数が増加するにつれて、これらのモチーフの数が相対的により多く得られることが分かった。

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、少しのリンク張替えや重みの書き換えで、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）：We clarified that MVG (Modularly Varying Goal) is useful for mitigating catastrophic forgetting. In detail, we find that, by evolving the neural network with MVG, high fitness can be obtained for multiple learned tasks by a few link rewiring or weight changes. In addition, we find that the number of specific motifs said to be useful for information processing is relatively large in neural networks evolved by MVG. Furthermore, the number of these motifs become relatively increase as the number of tasks to learn increases.

研究分野：ネットワークトポロジー

キーワード：ネットワークトポロジー ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

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、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。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人工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人工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、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変わりはない。そのため、本研究では、「如何に忘却を緩やかにし、カテゴリを横断した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

「1. 研究開始当初の背景」で述べた通り、ニューラルネットワークには、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、破滅的忘却の問題が存在する。本問題に関する既存研究は、直前に学習した知識をダイレクトに保持するものがあるが、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変わりはない。そこで、本研究では、破滅的忘却を軽減するニューラルネットワークを設計するために、生物システムに習い、システムが遷移できる状態数を増加させることを目的とする。

3. 研究の方法

研究の方法として、モジュールの自発的な出現につながることを示唆されている MVG (Modularly Varying Goal) を応用することにより、破滅的忘却を軽減するニューラルネットワークを設計する。

モジュールを持つニューラルネットワークの進化が、破滅的忘却が軽減に寄与すると考えられている[1]。なぜなら、学習が選択的にオンオフ可能な、物理的に異なるモジュールに機能を分割することで、タスク間の学習の干渉を軽減することができると考えられるためである。

しかし、モジュールを持つニューラルネットワークの進化は容易ではない。例えば、文献[1]で示された手法は、タスクごとに入力ニューロンがあらかじめ定まっていることから、学習する知識の数を事前に知ることが必要となる。しかし、継続的に学習する環境下では、これをあらかじめ知ることは現実的ではない。

そのような中、文献[2]では、モジュールな方式で変化する環境下 (Modularly Varying Goal, MVG) での進化が、モジュール性の自発的な出現につながることを示された。ここでのモジュールな方式で変化する環境とは、すなわち、いくつかのゴールが繰り返し切替わる状態であり、これらのゴールは、互いに異なるものの、同じサブゴールの組み合わせから成るものである。MVG で進化したネットワークは、これらのゴールに、少ないリンク張替や重みの書き換えで、高い適応度を示すことが示されている。

そのため、本研究では、モジュールの自発的な出現につながることを示唆されている MVG を応用することにより、複数の知識に対して、素早く切り替え可能なニューラルネットワークを設計する。

4. 研究成果

破滅的忘却の軽減に対して、MVG(Modularly Varying Goal)が有用であることを明らかにした。

具体的には、MVG でニューラルネットワークを進化させることで、少しのリンクの張り替えや重みの書き換えで、複数の学習したタスクに対して高い適応度が得られることを明らかにした。

また、モジュールに関しては、MVG でニューラルネットワークを進化させることで、情報処理に有用な特定のモチーフの数が相対的に多く得られることを明らかにした。さらに、ニューラルネットワークで学習するタスクの数が増加するにつれて、これらのモチーフの数が相対的により多く得られることを明らかにした。

(1)適応度

MVG でニューラルネットワークを進化させることで、少しのリンクの張り替えや重みの書き換えで、複数の学習したタスクに対して高い適応度が得られることを明らかにした。

図 1 が用いたゴールを示している。例えば G1 は L1 and R1 であり、L1 は Retina の左 4 マスのパターンが、図示している 8 パターンの中に含まれている時に 1、そうでないとき 0 となる。R1 は同様に、Retina の右 4 マスのパターンが、図示している 8 パターンに含まれるか否かを表す。G2 から G8 も同様である。評価では G1 から G8 の 8 個のゴールを用いている。

学習ステップの総数は 100000 であり、ゴールは 20 世代ごとに、G1, G2, G3, ..., G8, G1, G2, G3, ... と順に切替えている。

図 2(a) は MVG で G1, G2, G3, ..., G8 を与えた時の結果である。上図は横軸が世代数で縦軸が適応度であり、10 世代ごとの適応度をプロットしている。赤線が、異なる乱数種で実行した 5 回の試行の、適応度の平均値で、ピンク色の領域の上端が適応度の最大値、下端が最小値を表している。図から、適応度は 0.75 と 1.0 の間の間となっていることが見て取れる。

下図は横軸が世代数で縦軸がモジュール性であり、10 世代ごとのモジュール性をプロットしている。同様に赤線が平均値で、ピンク色の領域の上端が最大値、下端が最小値を表している。図から、モジュール性の平均値は 0.42 付近で推移していることが分かる。

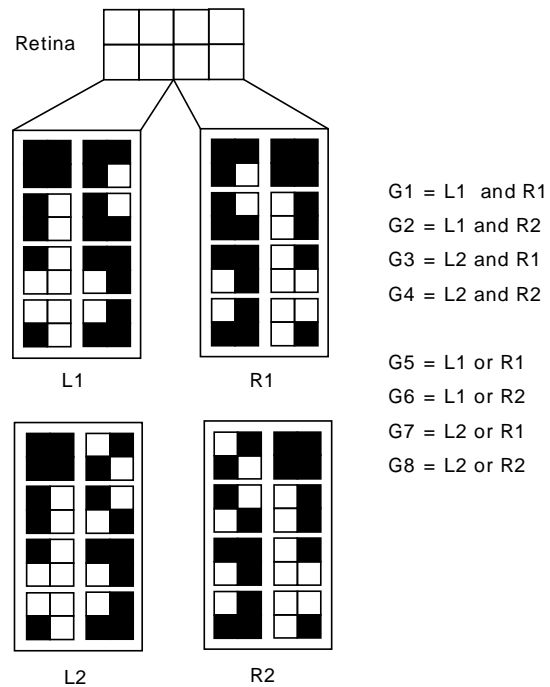


図 1 : ゴール

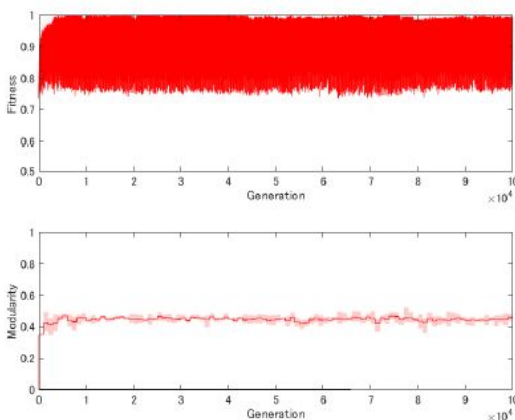


図 2(a) : 適応度

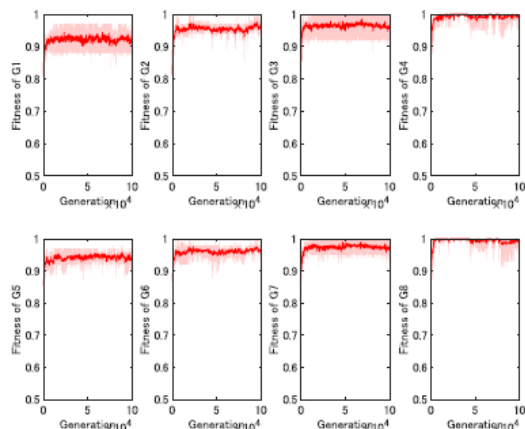


図 2(b) : ゴール毎の適応度

図 2(b)は図 2(a)のゴール毎の結果である。図 2(b)は G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, G8 のそれぞれについてプロットするために、160 世代ごとにプロットしている。図 2(a)が学習中の適応度をも含めているのに対し、図 2(b)は学習直後の適応度のみを示している。横軸が世代数で縦軸が適応度である。赤線が、異なる乱数種で実行した 5 回の試行の、適応度の平均値で、ピンク色の領域の上端が適応度の最大値、下端が最小値を表している。結果から、適応度の平均値は、100000 世代で、G1 が 0.92 程度、G2 が 0.96 程度、G3 が 0.98 程度、G4 が 0.99 程度、G5 が 0.96 程度、G6 が 0.96 程度、G7 が 0.98 程度、G8 が 0.99 程度となっていることが見て取れる。

これらの評価より、8 個のゴールに対して、少しのリンク張替えや重みの書き換えで、0.9 以上の適応度を得ることのできる事が明らかとなった。

(2)モジュール

モジュールに関しては、MVG でニューラルネットワークを進化させることで、情報処理に有用な特定のモチーフの数が相対的に多く得られることを明らかにした。さらに、ニューラルネットワークで学習するタスクの数が増加するにつれて、これらのモチーフの数が相対的により多く得られることを明らかにした。

文献[2]では、モジュール方式で変化する目標の下で発展したネットワークは特定のネットワークモチーフを多く有することが述べられている。モチーフが情報処理のための有用な構成要素であると述べられていることから、本研究ではゴールの数を増やした場合におけるモチーフの多寡を明らかにしている。

本研究で用いたニューラルネットワークには隣接する層間のみを単方向で接続する制約があることから、制約のないネットワークに存在し得る 4 ノードモチーフが、全て、用いたニューラルネットワークで存在し得るわけではない。用いたニューラルネットワークで存在し得る 4 ノードモチーフを図 3(a)に列挙する。id14, 76, 204, 2184 は二階層のノードから成るモチーフであり、id28, 74, 280, 328, 392, 904 は三階層のノードから成るモチーフである。

図 3(b)は図 2(b)の最終世代のニューラルネットワークのモチーフに対する Z-score の平均値である。Z-score は、実ネットワークにおけるモチーフの数が、ランダム化されたネットワークと比較してモチーフの数が如何に多いかまたは少ないかを表す指標である。5 回の試行の平均を表している。図から 204、904 番モチーフが他のモチーフと比較して多いことが見て取れる。

また、ゴールの数が 2 個、4 個、8 個の場合を比較すると、2 個よりも 4 個、4 個よりも 8 個の時の方が 904 番モチーフの Z-score が高いことを明らかにした。

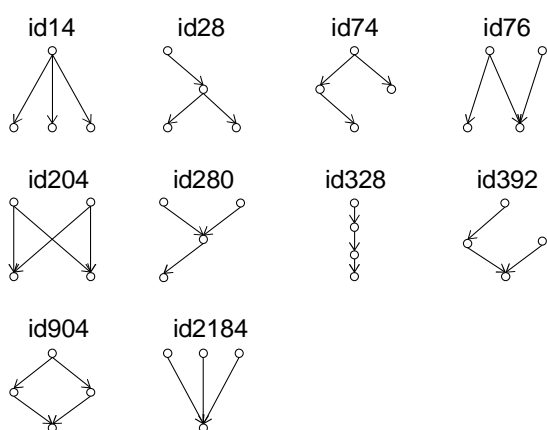


図 3(a) : ネットワークモチーフ

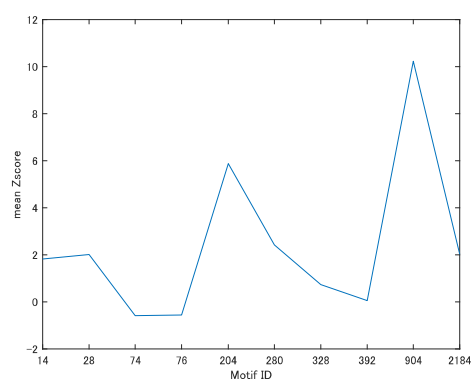


図 3(b) : ネットワークモチーフの数

参考文献

[1] K. O. Ellefsen, J.-B. Mouret, and J. Clune, "Neural modularity helps organisms evolve to learn new skills without forgetting old skills," PLoS Computational Biology, vol. 11, no. 4, p. e1004128, Apr. 2015.

[2] N. Kashtan and U. Alon, "Spontaneous evolution of modularity and network motifs," PNAS, vol. 102, no. 39, pp. 13773-13778, Sep. 2005.

5 . 主な発表論文等

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/view/l-chen>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

LU CHEN (LU CHEN)

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