

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11994

研究課題名（和文）強化学習に適した並列分散機械学習環境の研究

研究課題名（英文）Parallel-Distributed Machine Learning Environment for Reinforcement Learning

研究代表者

中田 秀基（NAKADA, HIDEMOTO）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：80357631

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：並列分散環境における強化学習のフレームワーク構築のために、高速で高機能な言語を対象とした並列分散システムを構築した。対象言語として機械学習での利用が急速に拡大しつつあるJulia言語に着目し、強化学習フレームワークを実装するのに適したActor機構を実装した。Actor機構を実装する際にJuliaの言語的な特性に即したAPIを構築した。さらに、大規模機械学習に用いられることの多い高速なネットワークを持つ大規模計算機システムでの使用を考慮し、高速なネットワークライブラリに対して最適化を行い、大幅な性能向上を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、並列分散強化学習をターゲットとして研究を進めたが、高性能計算機環境に適した並列分散実行環境の応用範囲は強化学習への適用にとどまらず、広く適用可能である。特にPythonを置き換える可能性のある言語として最近急速に注目を集めているJulia言語で実現したことには大きな社会的意義があると考えられる。また直感的に利用可能なActorをAPIとして採用することで、多くのユーザや応用分野に資することができると思われる。

研究成果の概要（英文）：In order to construct a framework for reinforcement learning in a parallel and distributed environment, we constructed a parallel and distributed system targeting a fast and highly functional language. We focused on the Julia language, which is rapidly expanding its use in machine learning, as a target language and implemented an actor mechanism suitable for implementing a reinforcement learning framework. Furthermore, considering the use on large-scale computer systems with fast networks, which are often used for large-scale machine learning, we optimized our framework for the fast network library and confirmed a significant performance improvement.

研究分野：分散並列計算

キーワード：分散計算 並列計算 強化学習

1. 研究開始当初の背景

人工知能・機械学習の応用は急速に広まりつつあったが、単純なクラス分類問題や回帰問題などの教師あり学習にとどまっておらず、強化学習は広く普及していなかった。強化学習は環境の各状態における最良の方策を探索する問題で、環境の状態数は一般に膨大になるため、探索に要する計算量も膨大となる。さらに、学習の効率化のために環境を計算機上でシミュレートすることが広く行われているが、このシミュレーションにも多大な計算機時間を要する。したがって、大規模な強化学習を行うには並列分散実行による高速化が必須となる。

しかし、強化学習の並列化は容易ではない。勾配計算の並列化以外に、環境シミュレーションの並列化、さらには、階層型強化学習による副方策学習の並列化など、さまざまな並列化可能部分が存在する。これらを並列プログラミングの素養を持たない強化学習の専門家が行うことは難しい。したがって、強化学習の並列化による高速化を普及するためには、高度な抽象化界面を提供し、効率的な実行時システムを持つ、強化学習フレームワークが必要となる。

このようなフレームワークとしては、Python 言語を用いた Ray が提案されていたが、通信が十分に高速でなく、Python 言語の低速性もあいまって実用的とは言い難い状況であった。

2. 研究の目的

並列分散環境における強化学習のフレームワーク構築を行うためには、高速で高機能な言語を対象とした並列分散システムが必要となる。スクリプト言語的な使い勝手を維持しつつ非常に高速な実行が可能な Julia 言語を採用し、この言語をベースに高速かつ柔軟で、同期を容易に表現可能な並列分散システムを構築する。この並列分散システムは、強化学習フレームワークを実装するのに適していると思われる Actor 機構を実装したものとする。

3. 研究の方法

Python 言語による Ray の API に着目し、Ray と同様のプログラミングインターフェイスを Julia 上に構築することを目指した。Ray の分散計算は Actor と呼ばれる分散オブジェクト抽象に基づくものであり、リモートノードに作成した Actor に対してメッセージを送信することで、分散計算を行うモデルである。メッセージの送信は、オブジェクトのメソッド呼び出しと類似している。また、計算の同期は Future 機構に基づいて行う。Future 機構は古くから知られる同期機構で将来的に値が格納されることが約束されている変数である。この変数に対してアクセスを行うと、値が格納されていればその値が返り、格納されていなければブロックする。このような機構を用いることで、通常プログラムと比較的近い形で、並列同期を持つプログラムを記述できる。

Julia にはデフォルトで分散計算機構が用意されているが、状態を持たないリモート関数呼び出し(RPC)をベースとしたものであるため、我々の目的には適さない。したがって、独自の Julia の分散計算機構上に、我々の目的に適した Actor ベースの分散計算機構を実装する。

また、Julia の持つ分散計算機構は、高速ネットワークを持つ計算機環境の性能を引き出せるものではない。高速ネットワークで用いられるメッセージパッシングライブラリに特化することで、高速な通信性能を実現する。

4. 研究成果

4-1 Julia 言語への Actor 機構の導入

Julia 言語のセマンティクスとシンタックスを可能な限り保持した形で、Actor 機構の導入を行った。Actor とは本質的にデータを保持したコルーチンである。われわれは Julia の提供するリモートチャンネルを利用して Actor を実装した。個々の Actor をメッセージハンドラ関数群とデータ構造で表現し、リモートチャンネルからメッセージを読み出して処理するループとして、Actor を実現した(図 1)。メッセージはタプルで表現する。Actor へのメッセージパッシングは、リモートチャンネルへの書き込みで表現する。Actor の実態であるコルーチンは、リモートチャンネルからタプルを読み出し、そのタプルと保持しているデータ構造とを引数として、メッセージハンドラ関数を呼び出す。この際に、ハンドラ関数の選択は、Actor を表現した構造体の型と引数のデータの型によって自動的に行われる。また、返り値は Julia 標準の分散機構から借用した Future を用いて返す。このように、Julia 標準の機能を巧みに使用することで、比較的低コストで Actor を実装することができた。

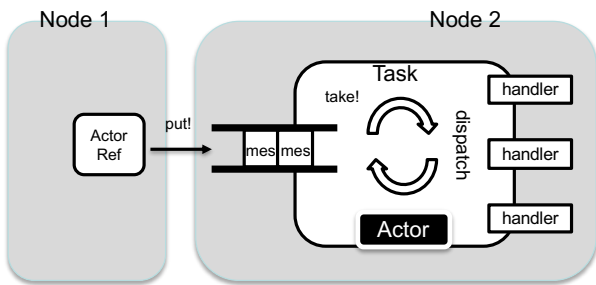


図 1 Actor の実装

Actor の定義方法および、利用方法の例を図 2 に示す。この例は整数値を保持するカウンタ Actor である。add および sub メソッドを持ち、それぞれカウンタの値を増減できる。また、それぞれのメソッドは更新後のカウンタ値を返却する。明示的に return 文は書かれていないがこれは、Julia 言語の仕様で、関数の最後の式の評価値が返り値になるため、return 文を省略している。この例からわかるように、ごく普通の Julia プログラムに対して、@remote マクロを指定するだけで Actor として利用ができるようになっている。@remote マクロが自動的に呼び出し側のスタブとなる関数を自動的に生成している。図 2 の下に示したものが Actor を利用するコードである。@startat マクロは、ノード番号と、Actor 構造体の初期化関数を引数にとる。メッセージパッシングはごく普通の関数呼び出しとして記述する。個々で実際には@remote マクロが自動的に生成したスタブ関数が呼び出され、メッセージのリモートチャンネルへの書き込みを行っている。結果は Future (図中 f) として得られる。この Future に対して fetch を行うことで、値を読み出す事ができる。

```
mutable struct Counter <: Actor
    v::Int64
end

@remote function add(c::Counter, v::Int64)
    c.v += v
end

@remote function sub(c::Counter, v::Int64)
    c.v -= v
end

counter = @startat 2 Counter(0)

f = add(counter, 10)

fetch(f)
```

図 2 Actor の定義と利用

4-2 Actor 機構の高性能計算機環境での最適化

われわれの実装した Actor 機構は Julia の並列分散機構上に構築されている。しかし Julia の並列分散機構は、比較的低速のネットワークをターゲットに記述されているため、大規模機械学習を行うような、高性能並列環境では十分な性能を出すことができないことがわかった。このため我々は、高性能並列環境で多用される MPI ライブラリの使用を前提に、通信の高速化を図った。

Julia の並列分散環境が低速なのは、すべてのオブジェクトがシリアライズされた上で、バイト列として適当にチャンク分割されて送信されているためであると考えられる。またこのような機構を取っているため、メモリコピーの回数も多くなっている。

この問題を解決するために、機械学習で多用される大規模配列に限って、シリアライズをバイパスし、MPI ネイティブのデータ形式として転送する方法を実装した。図 3 にこの様子を示す。転送データ中に大規模な配列があった場合、それを特殊なタプルで置き換える。配列は別チャンネルで送信する。受信側では、個別に受信したデータを組み合わせることで、大規模配列データに関してはシリアライズとコピーのコストを排除することができる。

図 4 に実験結果を示す。横軸はデータサイズを、縦軸にスループットを示す。Actor を用いた場合と Julia ネイティブの通信ライブラリの性能をプロットしてある。いずれの場合も最適化によって大きく性能が向上し、およそ 7 倍のスループットが得られている事がわかる。

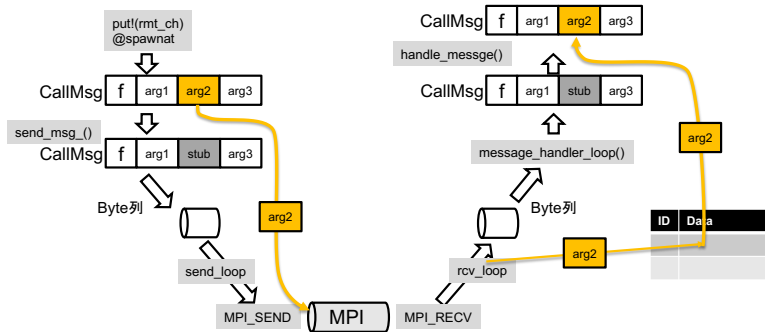


図 3 MPI 環境での通信最適化

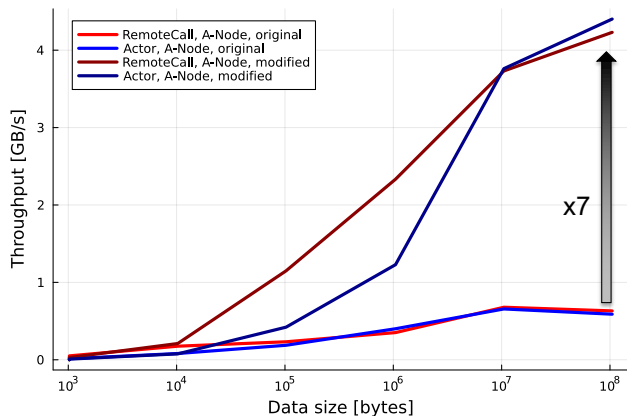


図 4 MPI 環境での性能

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 中田秀基	4. 巻 120, 121
2. 論文標題 Julia言語を用いた大規模計算機上での分散並列実行環境の構築	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 信学技報, vol. 120, no. 121, CPSY2020-2	6. 最初と最後の頁 9-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Paulino Cristovao, Hidemoto Nakada, Yusuke Tanimura, Hideki Asoh	4. 巻 8
2. 論文標題 Generating In-Between Images Through Learned Latent Space Representation Using Variational Autoencoders	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 149456-149467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3016313	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21件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 中田秀基
2. 発表標題 Julia言語へのActorの導入
3. 学会等名 情報処理学会プログラミング研究会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Hidemoto Nakada, Hideki Asoh
2. 発表標題 A Method to Generate Posed Person Image with few Context Images
3. 学会等名 IMCOM 2022, The 16th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Paulino Cristovao, Hidemoto Nakada, Yusuke Tanimura, Hideki Asoh
2. 発表標題 Few Shot Model based on Weight Imprinting with Multiple Projection Head
3. 学会等名 IMCOM 2022, The 16th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Paulino Cristovao, Hidemoto Nakada, Yusuke Tanimura, Hideki Asoh
2. 発表標題 Variational Information Bottleneck on Few Shot Model based on Weight Imprinting for Image Classification
3. 学会等名 2021 ASIAN CONFERENCE ON INNOVATION IN TECHNOLOGY (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Paulino Cristovao, Hidemoto Nakada, Yusuke Tanimura, Hideki Asoh
2. 発表標題 A study on the effect of regularization for weight imprinting
3. 学会等名 2021年度 人工知能学会全国大会 (第35回)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Hana Isoi, Atsuko Takefusa, Hidemoto Nakada, Masato Oguchi
2. 発表標題 Performance of Domain Adaptation Schemes in Video Action Recognition using Synthetic Data
3. 学会等名 The 2022 4th International Conference on Image, Video and Signal Processing (IVSP 2022) (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 合成データを用いた教師なしドメイン適応による室内動作認識手法の比較
3. 学会等名 情報処理学会 第84回全国大会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 合成データを用いた教師なしドメイン適応による室内動作認識手法の検討
3. 学会等名 第14回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 合成動画データを用いた学習でのドメイン適応による動作認識精度の比較
3. 学会等名 第24回画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 動作認識のための合成データ活用に向けたドメイン適応手法の比較
3. 学会等名 「マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM02021)シンポジウム」
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 磯井 葉那, 竹房 あつ子, 中田 秀基, 小口 正人
2. 発表標題 動作認識のための合成データ活用に向けたドメイン適応手法の検討
3. 学会等名 信学技報 PRMU2021-5(2021-05)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Yingfeng Fu, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada
2. 発表標題 MIDI note embedding with fasttext model
3. 学会等名 2021年度 人工知能学会全国大会 (第35回)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Yingfeng Fu, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada
2. 発表標題 Transfer symbolic music style from latent representation
3. 学会等名 2020年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Paulino Cristovao, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada, Hideki Asoh
2. 発表標題 Sparsity enforcement on latent variables for better disentanglement in VAE
3. 学会等名 2020年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mu Zhou, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada
2. 発表標題 Few-shot Learning with Data Augmentation with Generative Model
3. 学会等名 2020年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yingfeng Fu, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada
2. 発表標題 Piano score vectorization using fasttext
3. 学会等名 IBIS2020 第23回情報論的学習理論ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Paulino Cristovao, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada, Hideki Asoh
2. 発表標題 Auxiliar Dataset on Few Shot Learning with Weight Imprinting
3. 学会等名 IBIS2020 第23回情報論的学習理論ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mu Zhou, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada
2. 発表標題 Image synthesis for One-shot Classification with Triplet Network
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2019) , 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Liangyu Liu, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada
2. 発表標題 Few-Shot Style Transfer for Handwriting Chinese Synthesis Using Conditional GAN
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2019) , 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yingfeng Fu, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada
2. 発表標題 An improvement on CycleGAN based symbolic music genre transfer
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2019) , 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Paulino Cristovao, Yusuke Tanimura, Hidemoto Nakada, Hideki Asoh
2. 発表標題 A study on the latent space of VAE
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS 2019) , 2019
4. 発表年 2019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
---------	---------