

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25700038

研究課題名(和文)1万コア以上を用いる並列探索アルゴリズムで囲碁名人に勝つ

研究課題名(英文)Winning against Go masters with massively parallel search algorithm using 10,000 or more CPU cores

研究代表者

美添 一樹 (Yoshizoe, Kazuki)

国立研究開発法人理化学研究所・革新知能統合研究センター・ユニットリーダー

研究者番号：80449115

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,700,000円

研究成果の概要(和文)：グラフ探索アルゴリズムは何らかのグラフから条件を満たす節点や経路を発見する問題であり、最短経路探索などから組み合わせ最適化まで多くの応用がある。わかりやすい例の一つがゲームAIであり、当初の目的の一つとして探索の並列化によって囲碁プログラムを強化することを狙ったが、周知のように他の研究グループによって囲碁においては目的が達成された。そこで目的の残りの部分である並列探索アルゴリズムの性能向上、応用範囲の拡大に集中した。深さ優先探索アルゴリズムとハッシュテーブル型探索アルゴリズムについて性能向上を得、特に深さ優先型探索アルゴリズムの並列版では実用的な問題において非常に良好な性能を達成した。

研究成果の概要(英文)：Graph Search problem aims at finding node(s) or path(s) from given graphs, which has various applications including path finding and combinatorial optimization. One of the interesting example is game AI. In the original research proposal, one of our goals was to develop a strong Go program for promoting the research results. However, as is well known, a strong Go program was developed by other research groups and we had focused on other goals, which is improving the performance of parallel search algorithms and applying to various problems. For depth-first search algorithms and hash-table based algorithms, we achieved promising results. Especially for depth-first search applications, we obtained an extremely efficient parallel algorithm for realistic problems.

研究分野：探索アルゴリズムと並列計算

キーワード：ゲームプログラミング 並列計算 探索 人工知能 囲碁

1. 研究開始当初の背景

本研究計画の主目的は要素技術としては探索アルゴリズムの並列化手法の改良による更なる大規模化であり、それを用いて様々な問題に応用し、さらに囲碁において成果を上げることによって成果を発信することであった。

単一 CPU コアの計算速度が物理的な限界に達しつつあり、計算速度の向上は CPU コア数の増加やメニーコアの発展 (GPU や XeonPhi による) によってもたらされており、全てのアルゴリズムは並列化される必要がある。探索アルゴリズムは一般的に並列化が難しいとされており、1,000CPU コア以上を用いて効率の良い性能が達成された例は希であった。研究代表者らの過去の研究は数少ない成功例である。そこで汎用性の高い探索アルゴリズムを効率よく並列化することによって多くの探索問題を高速に解くことを目指した。また、探索アルゴリズムの中でも最近の発明であり、また汎用性が高いアルゴリズムであるモンテカルロ木探索を大規模並列化し、それを利用して囲碁プログラムを強化することによって成果を発信することを目指した。

研究計画立案当時は、ゲーム AI の分野では探索アルゴリズムと機械学習の組み合わせが盛んに研究されていたものの、それ以外の分野では組み合わせは多くなかった。また深層学習が画像認識で成果を挙げたのは 2011 年であり、急速に有名になったのは研究期間が始まった後のことである。

2. 研究の目的

研究の目的はグラフ探索アルゴリズムの並列化によって様々な問題に対する高速なソルバを作成することであった。主な探索アルゴリズムの中から、1, 深さ優先探索型 2, ハッシュテーブル型 3, 優先度付きキュー型の 3 タイプについてそれぞれ並列化手法を研究することとした。特にタイプ 2 に分類されるモンテカルロ木探索について、性能向上を行い、囲碁プログラムに適用することを目指した。さらに他のグラフ探索問題に並列化手

法を応用することも目的とした。

しかし 2014 年 11 月に Google DeepMind 社によって深層学習を囲碁に適用する手法が論文発表され、さらに周知の通り 2016 年 3 月には同社による囲碁プログラム AlphaGo が元世界ランク 1 位のプロ棋士を破るという出来事があった。このために、研究期間の半ばから囲碁を通じて成果を発信することはあきらめ、並列探索アルゴリズムの研究およびその応用に集中することとした。

3. 研究の方法

グラフ探索アルゴリズムはある時点までの探索の結果を元に、それ以降の探索の方向を決定する。そのために自明に並列化可能な部分がなく、アルゴリズムの何らかの変形が必要である。さらに実用的なグラフ探索問題は、グラフの部分によって探索時間が大きく異なるような非常にアンバランスな形状を取ることが普通である。これらの問題に対処する手法は、探索アルゴリズムのタイプに合わせて開発されてきた。深さ優先探索についてはアルゴリズムのスタック化およびワークスティーリング手法、ハッシュテーブル型と優先度付きキュー型に関してはハッシュ関数による分散手法である (図 1)。これはグラフの節点を「色分け」し、それぞれの色に対応する計算機のメモリ上に節点を配置することを意味している。

過去の研究代表者らの研究から、ある程度の並列化性能はハッシュテーブル型のモンテカルロ木探索については得られており、また他のグループによって優先度付きキュー型のアルゴリズムについても良好な性能が報告されていた。また深さ優先型探索はより単純であるために並列化も探索アルゴリズムとしては比較的容易であり、こちらも高い性能が得られる例が複数存在した。しかし 1,000 並列以上を視野に入れた場合には通信の一局集中等によってオーバーヘッドが生じることが問題となることが判明していた。

そこで更なる性能向上のために通信の集中を回避する方法が必要である。そのためには通信パターンから作られるグラフが一定の良い性質を満たす必要がある。具体的には、最大次数が少なく、直径が小さく、betweenness centrality が小さいという条件が重要である。比較的最近知られた事実、規則正しいグラフよりもランダムな枝を加えたグラフの方がグラフの直径が小さくなることもある。我々はこの事実を応用した通信手法を採用することによって、通信オーバーヘッドを削減することを目指した。図 2 は深さ優先探索アルゴリズムについて、通信のパターンが作るグラフを示す。提案手法のポイントは通信の目的に応じて 2 種類のグラフを使い分けることである。ワークスティーリングについては超次元立方体にランダムな枝を加えた通信パターンを用い (図 2 (a))、

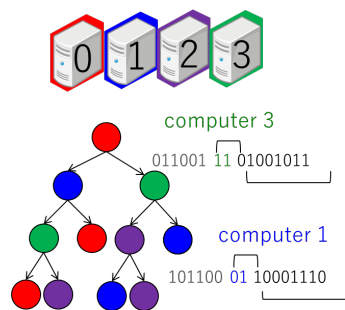


図 1, ハッシュ関数による分散

探索アルゴリズムに必要な閾値などの情報の伝達には全域木上の通信パターンを用いた (図 2 (b), (c))。

4. 研究成果

提案手法によって深さ優先探索アルゴリズムの並列版の性能を大きく向上されることに成功した。深さ優先探索アルゴリズムは単純な形のアルゴリズムではあるが、アルゴリズムの工夫によって実用的な問題に適用される例は多数存在する。我々は数値制約充足問題と統計的パターンマイニングに並列深さ優先探索アルゴリズムを適用し、実用上も重要と思われる問題について実際に良好な性能向上を得た。統計的パターンマイニングをスーパーコンピュータ上で並列に動作させた場合の速度向上を図 3 に示す。この例では最大で 1,200 コアを用い、1175 倍の速度向上を得ている。これは若年性アルツハイマーのデータベースから、病因として統計的に有意な遺伝子の変異の組み合わせを全列挙するという問題に適用したものである。これ

アルツハイマーデータ

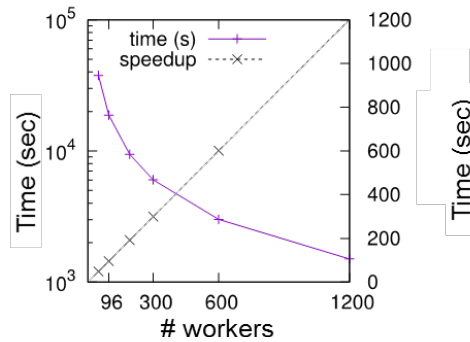


図 3, 統計的パターンマイニングの速度向上

はゲノムワイド関連解析 (GWAS) と言われる問題の一例だが、従来は数万秒かかった計算時間を数十秒まで短縮しており、大きな貢献であると言える。

また、モンテカルロ木探索をマテリアルサイエンスなどへ適用し、既存手法を上回る性能を得るなど、探索アルゴリズムの応用範囲をさらに広げること成功しており、並列探索手法によって新たな分野で大規模な実問題を解く可能性が拡大されている。

しかし既に述べたように残念ながら囲碁においては他の研究グループによって名人を倒すという達成されており、この点においては成果が得られたとは言えない。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 9 件)

1, 渡辺 順哉, 美添 一樹, 金子 知適. “モンテカルロ木探索を統合したプレイアウト方策の最適化” 第 20 回ゲームプログラミングワークショップ (GPW2015), pp. 5-11, 2015 年 11 月 6 日, 箱根セミナーハウス (長野県・北佐久郡軽井沢町).

2, Daisuke Ishii, Kazuki Yoshizoe, Toyotaro Suzumura. “Scalable Parallel Numerical Constraint Solver Using Global Load Balancing”, In ACM SIGPLAN Workshop on X10 (X10 2015), pp. 33-38, ACM, Jun. 14th 2015, Portland, United States of America.

3, Daisuke Ishii, Kazuki Yoshizoe, Toyotaro Suzumura. “Scalable Parallel Numerical CSP Solver.” In The 20th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP2014), Sep. 11th, 2014, Lyon, France.

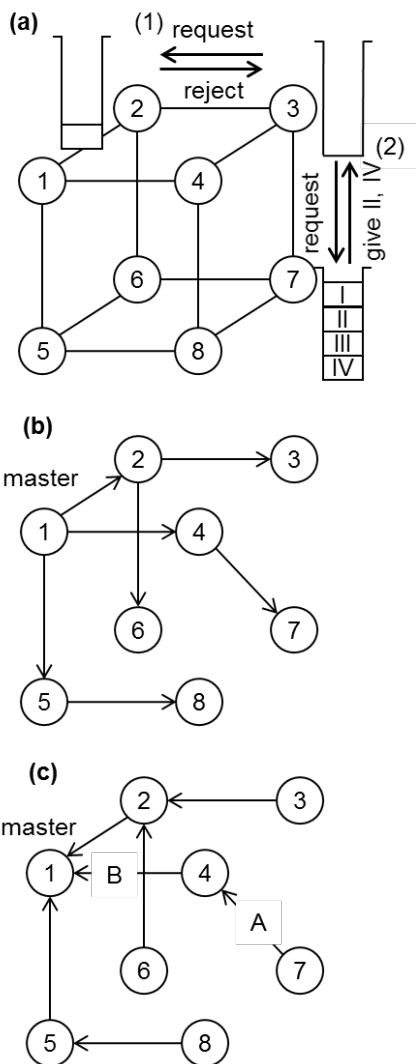


図 2, 通信負荷の軽減

〔図書〕(計 1 件)

Kazuki Yoshizoe and Martin Müller.
“Computer Go”, In Encyclopedia of
Computer Graphics and Games. Springer
International Publishing, pp 1--13, 2016.

〔その他〕

美添 一樹. 電気通信大学主催, コンピュー
タ囲碁講習会 第 0 回 概論編. これで書け
る! コンピュータ囲碁講習会
http://entcog.c.ooco.jp/entcog/cg_koushu.html, 電通大, 2015.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

美添 一樹 (Yoshizoe Kazuki)
理化学研究所・革新知能統合研究センター・
ユニットリーダー

研究者番号 : 80449115