

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年06月04日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011年度～2012年度

課題番号：23700018

研究課題名（和文）

大規模時間依存最短路問題に対する高速アルゴリズムの研究

研究課題名（英文）

Fast algorithm for large-scale time-dependent shortest path problem

研究代表者

趙 亮 (ZHAO, Liang)

京都大学大学院 情報学研究科 講師

研究者番号：90344902

研究成果の概要（和文）：

大規模な時間依存ネットワークにおける二点間の最短路を計算する問題に対して、新しい時間依存 A* アルゴリズムの枠組みを提案し、この枠組みのもとで、従来のランドマークを使う ALT アルゴリズムをベースに、動的に有効ランドマークの集合を更新して高速に最適解を求める A* アルゴリズムを開発した。この方法は、ネットワークのグラフ構造に依存しないため、あらゆる問題例に適用できる利点がある。

研究成果の概要（英文）：

We developed a new time-dependent A* algorithm framework for finding a shortest path in a large-scale time-dependent network. In particular, based on the conventional ALT method that uses landmarks, we developed a fast A* algorithm for finding an optimal solution with dynamical updating of the set of the effective landmarks. This algorithm can be applied to any kind of instances since it does not depend on the graph structure of the network.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：組み合わせ最適化

1. 研究開始当初の背景

与えられた二点間の最短路を計算する問題は、実用的にも理論的にも重要なことである。この問題に対して、古くから Dijkstra 法や A* アルゴリズムといった方法が知られているが、最近では、データの蓄積やネットワーク技術、クラウドコンピューティングの進歩により、グラフデータの前処理を用いてより高速に計算する方法が注目されている。特に静的（つまり枝の長さが定常である）問題

の場合、問題例にもよるが、グラフの圧縮処理を用いることなどにより、古典的な Dijkstra 法に比べ、百万倍も速く計算できるという実験結果が報告されている。

申請者らは、実用性が高いが、より難しく結果の少ない時間依存（つまり、枝の通過時間が始点の出発時刻に依存するような）問題に着目し、これまで一定の成果を得ている。しかし、時間依存 Dijkstra 法と比較したときの計算速度の改善が数倍程度にとどまって

おり、静的な場合に比べて、時間依存の部分の難しさを差し引いてもまだまだ不十分と思われる。新しい方法の提案が望まれる。

2. 研究の目的

申請者らは、以前時間依存 A*アルゴリズムの枠組み及び静的問題に対する ALT 法の時間依存拡張を提案している。本研究では、以前の成果を踏まえ、A*アルゴリズムにおける新しい評価関数とそのための探索方法を検討し、従来の方法よりも高速に大規模なネットワークを処理できるアルゴリズムを提案することを目的とする。

3. 研究の方法

A*探索は、古典的な Dijkstra 法を一般化したものと考えることができ、計算中に、各節点 v に対して、始点からの距離の計算値 $g(v)$ と終点への距離の評価値 $h(v)$ の合計値 $g(v)+h(v)$ を計算し、合計値が最も小さい節点 (の一つ) u を選び、 u の隣接点 w の距離ラベル $g(w)$ を

$$g(w) = \min\{g(w), g(u)+l(u, w)\}$$

で更新する。ここで $l(u, w)$ は枝 (u, w) の長さである。また、一度選ばれたものは二度と選ばない。この過程を終点が選ばれるまで繰り返す。

A*アルゴリズムにおいては、終点への距離の評価がキーポイントである。Dijkstra 法は評価値が常に0の自明的A*アルゴリズムとみなすことができる。また一般には、任意の枝 (u, v) について、いわゆる三角不等式

$$h(u) \leq h(v) + l(u, v)$$

を満たす評価関数であれば、評価値の精度がよければアルゴリズムの探索範囲も小さくなることを証明できる。ただし、計算速度については、評価値の計算でかかる時間とトレードオフの関係がある。

申請者らは、時間依存最短経路問題に対して世界で初めて自明でない A*アルゴリズムの枠組みを考えた。この枠組みでは、評価関数が一般的に時間に依存するものと仮定した場合、最適解が得られるための十分条件を与えた。さらにその枠組みのもとで、既知のランドマークを使った静的 ALT 法に、時間に対するサンプリングを加えて時間依存 ALT 法を開発した (T. Ohshima, P. Eumthurapojn, L. Zhao, H. Nagamochi, "An A* Algorithm Framework for the Point-to-point

Time-dependent Shortest Path Problem," Revised Selected Papers of CGGA 2010, Lecture Notes in Computer Science, vol. 7033, pp. 154-163, Springer (2011).).

本研究では、より高速な計算ができるために、新しい枠組みとそのための探索手法を考える。具体的に、従来の ALT 法では固定するランドマークの集合を動的に更新して高速化を実現する方法を考える。以下アイデアを述べる。

ALT 法では、まず前処理の段階において、いくつかの節点 (ランドマークという) を選び、これらの節点 L からグラフの各節点 v への最短距離 $d(L, v)$ を予め計算しておく。そして最短経路を計算したい二点が与えられたら、計算済みのランドマークとの距離を使って終点への距離の見積もりを次の式で計算する。

$$h(v) = \max\{0, \max\{d(L, d) - d(L, v)\}\}$$

ここで終点は節点 d と仮定し、右の \max はランドマーク集合について最大値を計算している。この式からわかるように、見積もりの計算には、ランドマークの数が多ければ多いほど評価値も正確に (=大きく) なり、アルゴリズム探索範囲の削減に貢献できる一方、見積もりそのものの計算量がランドマークの数に比例して増大し、全体としてトレードオフの関係がある。

そこで本研究は、「有効なランドマーク集合」という概念のもとで、動的にこの有効ランドマークの集合を更新していく方法を考える。具体的に、有効性の定義とランドマークの選び方や、更新の仕方の検討を実験的に行う。なお、動的更新の概念自体は先行研究でも提案されているが、具体的な実験検討、特に時間依存の場合の検討は本研究がはじめてと思われる。

4. 研究成果

研究の成果を項目ごとに説明する。

(1) 評価関数の切り替えを可能にした新しい時間依存 A*アルゴリズムの枠組み

従来の A*アルゴリズムの枠組みでは、評価関数が一つのみからなっているが、複数個の評価関数を切り替えることができるよう、新しい枠組みを考えた。具体的に、評価関数が変わったら、まだ確定されていない節点の評価値を再計算しキューを構築しなおすことである。静的な場合は研究があったが、本研

究では、時間依存の場合において正しく最適解を計算できることを証明した。

(2) 実用的な高速化手法の提案

アルゴリズムの計算中に、一定の条件を満たせば、ラベルの更新や評価値の計算を省略する簡易処理を提案し、特に低次数の節点に対して有効であることを示した。この方法は、Dijkstra法をはじめ、あらゆるA*アルゴリズムに適用可能であることを示した。さらに道路ネットワークを使って実験した結果、約倍ぐらいの高速化効果を確認できた。この成果は国際会議で発表しており、学術誌に掲載される予定になっている。

(3) 新しいランドマーク集合の決定法

ALT法ではランドマークの選び方が重要で、これまで様々な実践的手法が提案されている。本研究は、少ない数のランドマークでグラフを被覆するという視点から、グラフのL-VertexCover問題を考えた。この問題に対して、理論的なアプローチとして近似アルゴリズムを考案し国際会議で発表した。しかし近似比の理論値はまだ満足できるほどよくないと思われるので、次の研究で引き続き考えることにしたい。また、実用的なアプローチから先行研究を改善したヒューリスティクスを提案した。計算時間が半減し、多くの場合において先行研究より改善されたことを確認できた。現在国際会議に投稿している。

(4) 動的にランドマーク集合を更新して高速化を図るALT法改善の開発

前述のように、ALT法の高速化を得るためにランドマーク集合をどう更新すればよいか実験的に考察した。様々な更新パターンを考察した結果、一つずつ増やしていくほうが効果的であることが分かった。また、有効なランドマークの発見やランドマーク集合更新のタイミングについて、道路ネットワークの場合、比較的頻繁に行うほうが効果高いことを確認した。実験では、従来法に比べ2倍高速になっていることを確認した。

これらの成果は指導する学部学生の卒業研究にもなっており、研究終了後に結果の発表および特許申請を考えたが、特許申請の予備審査の段階で、静的問題に関して、動的にランドマーク集合を更新するような関連特許の存在が分かり、現在その特許との相違点を詳しく分析し、新しい改善や再度出願することを考えている。

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)

[雑誌論文] (計1件)

1. Liang Zhao, Mingji Gao, "Node Early-Fixing: A Practical Speedup Technique for A* Algorithms," GSTF Journal of Mathematics, Statistics and Operations Research, Vol. 2 (to appear).

[学会発表] (計4件)

1. Liang Zhao, Mingji Gao, "Node Early-Fixing: A Practical Speedup Technique for A* Algorithms," the second International Conference on Operations Research and Statistics (ORS 2012), Bali, Indonesia, 2012.5.7-8 査読有

2. Mingji Gao, Liang Zhao, "Some practical speed-up techniques for A* algorithms," 情報処理学会アルゴリズム研究会報告, 2011-AL-137(7), pp. 1-2, 2011年11月18日、山口大学.

3. Qiaoyun Chen, Liang Zhao, "Approximation algorithms for the L-distance vertex cover problem," Proc. the third International Conference on Theoretical and Mathematical Foundations of Computer Science (ICTMF 2012), Bali, Indonesia, 2012.12.1-2. 査読有

4. Qiaoyun Chen, Liang Zhao, "Approximation algorithms for the L-distance vertex cover problem," 情報処理学会アルゴリズム研究会報告 2012-AL-141(5), 1-3, 2012年10月4日、北海道大学.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

趙 亮 (ZHAO, Liang)
京都大学大学院 情報学研究科 講師

研究者番号：
90344902

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：