

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500024

研究課題名(和文)可視性に基づいた幾何学的検索問題へのグラフアプローチ

研究課題名(英文)A graph-based approach to the visibility-based pursuit-evasion problem

研究代表者

譚 学厚 (Tan, Xuehou)

東海大学・情報理工学部・教授

研究者番号：50256179

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：幾何学的検索問題にグラフ的手法を導入して効率のよい検索アルゴリズムを開発することは研究の目的である。まず、ツーガイド問題に対してガイドの走行距離が最小、ツーガイド間の最大距離が最小となるような検索スケジュールを報告するアルゴリズムを提案した。次に、2人の探索員による循環回廊の検索問題に対するアルゴリズムを与えた。さらに、 m 頂点の多角形内に n 個の中継点を与えられるとき、中継点を利用して与えられた始点と終点をつなぐ、自己交差のない単純経路を見つける問題に対する $O((n+n+m)\log m)$ 時間の解法も提案した。最後、LR-可視的多角形への特徴はより簡単な方法で与え、判定アルゴリズムも開発した。

研究成果の概要(英文)：This work presents a new method for solving the visibility-based pursuit-evasion problems, mainly by transforming them into the shortest path problems in graphs. For the two-guard problem, we presented the $O(n)$ time algorithms for computing the search schedules in which the sum of the distances traveled by the two guards is minimized, or the maximum distance between the two guards is minimized. For the problem of searching mobile intruders in a circular corridor by two 1-searchers, we gave an $O(n^2)$ time solution. For the problem of finding a simple path that turns at the points from the given n points but avoids the boundary of the given polygon of m vertices, we presented an $O((n+n+m)\log m)$ time algorithm, which greatly improves upon the previous $O((nm)^2)$ time bound. Finally, we also gave a simple characterization of LR-visibility polygons and a linear-time algorithm for determining whether a given polygon is LR-visible.

研究分野：アルゴリズム論

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：アルゴリズム 計算幾何 幾何学的検索問題 可視性 ツーガイド問題 LR-可視的多角形

1. 研究開始当初の背景

領域内に移動する目標を探索する問題は救助ロボットや航空制御などの応用システムから生まれる。探索の領域を多角形、探索員と探索の対象を多角形内部の点として定式化されている。探索対象物の移動速度には特に制限がないが、探索員に一度でも発見されることができれば、その領域が探索可能であるという。さもないと、探索不可という。多角形の形状や探索員の数と可視範囲(visibility)などを変えることによって様々な探索問題を定義することができるので、この問題のバリエーションは豊富である。

これまでの研究は、探索員が1人の場合に多角形領域を探索できる必要十分条件や効率のよい探索アルゴリズムなどに集中して行われた。例えば、探索員が1人の場合に多角形領域を探索できる必要十分条件は多角形の幾何学的特徴から調べることができ、最適な解法も提案されていた。しかし、このような単純な手法は複数の探索員や最適な探索スケジュールなどを扱う探索問題には適用することはできない。本研究では、幾何学的探索問題にグラフ的な手法を導入して効率のよい探索アルゴリズムを開発する事とともに、可視性に基づいた幾何学的探索問題に対する新しいパラダイムを提案する。

2. 研究の目的

ロボットなどの応用システムにおいては、様々な探索問題の解法が求められている。例えば、エネルギーを節約するため、探索ロボットの走行距離を最小にすることや、探索ロボット間の協調をいかにして図れるかが重要な研究課題である。このため、本研究の主な目的は下の3つに絞った。

(1) 探索スケジュールが存在すると知られている探索問題について、探索員の走行総距離が最小となるような探索スケジュールに関する研究を行う。また、探索員の可視範囲や安全確認等の要因を考慮する必要があるため、探索員間の最大距離を最小にする探索スケジュールも研究する。これらの最適な探索スケジュールをグラフの最短路問題に変換したうえ、効率的なアルゴリズムを提案したい。さらに、2人の探索員による合同探索の問題を取り上げ、探索可能な多角形領域への特徴付けや合同探索のスケジュールなどを与える。この研究結果を多数の探索員に拡張することも検討する。

(2) LR-可視的多角形への特徴付け問題は幾何学的探索問題に関連していることが知られている。本研究では、まずLR-可視的多角形への特徴付けおよびその判定アルゴリズムを与える。グラフ的な手法を用いてより簡単な特徴付けを与えることは最大の目的である。さらに、LR-可視的多角形概念をリンク-2可視性に拡張する。

(3) m 頂点の多角形内に n 個の中継点が与えられるとき、中継点を利用して与えられた始

点と終点をつなぐ、自己交差のない単純経路を見つける問題はよく研究されていた。しかし、今までのアルゴリズムの時間計算量は非常に高い。中継点の集合による可視的グラフと中継点間の最短路を計算しておけば、この問題もグラフの最短路問題に帰着させることができる。この新しい手法に基づいてより効率的なアルゴリズムを開発したい。

3. 研究の方法

(1) 与えられた領域を探索する最適なスケジュールを求める問題等に対して、本研究では下のような新しい方法を提案する。まず、探索の対象となる可能な領域をすべて三角形または台形に分割する。三角形または台形に対する探索スケジュールを簡単に求めることができるので、この単純な操作をグラフのノードで表す。隣り合う2つの操作をグラフの枝で表すと、最適な探索スケジュールを求める問題は得られたグラフにおける最短路問題に帰着されることになる。ダイクストラアルゴリズムを使えば、最適な探索スケジュールを簡単に得ることができる。この方法はほかの幾何学的問題(例えば、多角形内の中継点をつなぐ自己交差のない単純経路を見つける問題)にも適用できる。

(2) 多角形 P の境界線上に2点 s, t があると仮定する。 P の境界線は s と t によって2つのチェーン L と R に分割される。 L のどの点も R の少なくとも1点から見え、同様に R のどの点も L の少なくとも1点から見えるとき、多角形 P が LR-可視的であるという。LR-可視的多角形への特徴付けは計算幾何の基本問題であり、ほかの幾何学的問題への応用も多い。本研究では、内部角度が π を超える反射頂点とそれらの辺から延長される線分の端点によって定義される境界線の間隔の組合せ特性を利用して、より簡単な特徴付けを与える。

4. 研究成果

(1) 2人の探索員が互いに安全を確認しながら多角形の領域を探索する問題はツーガード問題(two-guard problem)と呼ばれている。ツーガードに探索可能な領域については、ツーガードの走行距離が最小、またはツーガード間の最大距離が最小となるような探索スケジュールを報告する $O(n^2)$ 時間のアルゴリズムを提案した。

(2) 2人の探索員による循環回廊(circular corridor)の探索問題に対する $O(n^2)$ 時間のアルゴリズムを提案した。2人の探索員による多角形領域の探索問題に対する $O(n^4)$ 時間のアルゴリズムもあったが、その結果と比べ、我々のアルゴリズムは非常に効率的であると言える。

(3) LR-可視的多角形への特徴付けはより簡単な方法で与えることができた。また、LR-可視的多角形であるかどうかを判定する線形時間のアルゴリズムも開発した。さらに、

LR-可視的多角形の概念をリンク-2 可視性に拡張することにも成功した。

(4) m 頂点の多角形内に n 個の中継点を与えられるとき、中継点を利用して与えられた始点と終点をつなぐ、自己交差のない単純経路を見つける問題については、動的計画法に基づいた $O((m+n)^2)$ 時間の解法が提案されていたが、今回我々はこの問題をグラフの最短路問題に帰着させ、 $O((n^2+m) \log m)$ 時間のアルゴリズムを開発した。これまでの結果を大きく改善することができた。

(5) 2D の凸体の Fermat-Weber センターから凸体内のすべての点への平均距離が凸体の直径の $1/3$ に超えないことは予想されている。その上限係数が 0.3490 であることは既に証明していたが、我々の研究ではそれを 0.3444 に改善することに成功した。また、球体から凸多面体をカットする問題に対しては、カットのコストを最小にするためのカッティングアルゴリズムも提案した。

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 8 件)

X. Tan and B. Jiang, Minimization of the maximum distance between the two guards patrolling a polygonal region, 査読有、Theoretic Computer Science, Vol. 532, 2014, 73-79, doi:10.1016/j.tcs.2013.03.019

X. Tan and B. Jiang, Optimum sweeps of simple polygons with two guards, 査読有、Information Processing Letters, Vol.114, 2014, 130-136, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ipl.2013.11.002>.

X. Tan, B. Jiang and J. Zhang, Characterizing and recognizing LR-visibility polygons, 査読有、Discrete Applied Mathematics, Vol. 165, 2014, 303-311, doi:10.1016/j.dam.2012.10.030.

X. Tan and B. Jiang, Finding simple paths on given points in

a polygonal region, 査読有、Lect Notes Comput. Sci. Vol. 8479, 2014, 229-239.

X. Tan and Gangshan Wu, Approximation algorithms for cutting a convex polyhedron from a sphere, 査読有、Theoretic Computer Science, Vol. 508, 2013, 76-73, doi:10.1016/j.tcs.2012.03.035

D. Chen, X. Tan, H. Wang and G. Wu, Optimal point movement for covering circular regions, Algorithmica, 2013, doi:10.1007/s00453-013-9857-1.

X. Tan and B. Jiang, A new approach to the upper bound on the average distance from the Fermat-Weber center of a convex body, 査読有、Lect Notes Comput. Sci. Vol. 8287, 2013, 250-259.

B. Jiang and X. Tan, Searching for mobile intruders in circular corridors by two 1-searchers, 査読有、Discrete Applied Mathematics, Vol. 159, 2011, 1793-1805, doi:10.1016/j.dam.2010.10.007.

[学会発表](計 2 件)

B. Jiang, X. Tan and L. Wang, A characterization of link-2 LR-visibility polygons with applications, in Proc. Of 16th Japan Conference on Discrete and Computational Geometry and Graphs, Sept. 2013, Tokyo, Japan.

X. Tan and B. Jiang, A new upper bound on the average distance from the Fermat-Weber center of a convex body, in Proc. Of Thai-Japan Joint Conference on Computational Geometry and Graphs, Dec. 2012, Bangkok, Thailand.

〔図書〕(計 1 件)

M. Fellows, X. Tan and B. Zhu,
Frontiers in Algorithmics and
Algorithmic Aspects in Information
and Management, Springer, 2013,
361.

〔産業財産権〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

譚 学厚 (TAN, Xuehou)
東海大学情報理工学部・教授
研究者番号：50256179

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし