

## 障害物のある場合の警備員経路問題に関する研究

A study on the watchman route problem with obstacles

3D-12

上野由美子<sup>1</sup> 池田諭<sup>2</sup> 中森真理雄<sup>3</sup>

### Abstract

警備員経路問題とは、与えられた領域内の全ての地点を一人の警備員が警備するための最短経路を求める問題である。これまでに、与えられる多角形領域が（障害物がない）単純多角形である場合が詳しく研究され、時間計算量と空間計算量が  $O(n^2)$  のアルゴリズム [swr1] が提案されている。一方、より現実的である障害物がある場合の最短経路問題は、NP-hard であることが知られており [owr]、これまで有力な手法が知られていなかった。本論文では、部屋の内部に障害物がある場合に、障害物と部屋の間スリット（切り込み）を入れることによって警備員の経路の方向を限定し、多項式時間で経路を導く近似解法を提案する。

### 1 初めに

まず、警備員経路問題の定義を与える。与えられた多角形領域を  $P$  とする。ただし、 $P$  は凸多角形領域でなくてもよい。 $P$  の内部のどの点からも経路の一部がみえる経路の集合を警備員経路と呼ぶ。その警備員経路の中で最短経路を求める問題を警備員経路問題という。障害物のない場合の警備員経路問題は文献 [swr1] によって  $O(n^2)$  の時間計算量で解けることが証明されている。しかし、障害物のある警備員経路問題の最適解は [owr] によって NP-hard であると証明されている。本論文では障害物のある警備員経路問題のアルゴリズムについて報告する。また、本論文は以下の条件に基づく。

1. 与える多角形領域
  - (a) 外側の多角形は凸多角形である
  - (b) 障害物は凸多角形である
  - (c) 障害物の個数は単数または複数である
2. 警備員
  - (a) 警備員は同時に  $360^\circ$  全方向を見渡すことができる
  - (b) 警備員は連続的にしか移動できない
  - (c) 警備員の人数はひとりである
3. 求める警備員経路
  - (a) 警備員経路の始点は与えられた点とする
  - (b) 警備員経路の終点は始点と同一の点とする

### 2 障害物を含まない場合の警備員経路問題

多角形において内角が  $180$  度以上となる頂点を凹点という。障害物を含まない場合の警備員経路問題では、視界が遮られる原因が凹点によるものだけである。このとき、警備員が凸点によって遮られる部分を見に行くということは辺の延長線に接触することになる。そのため、現在地から次の地点への方向は一方方向である。

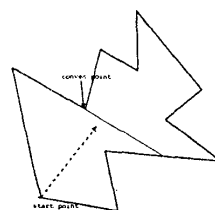


Figure 1: 障害物を含まない場合

### 3 障害物を含む警備員経路問題のアルゴリズム

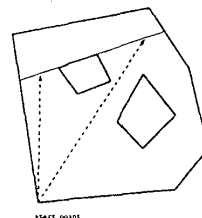


Figure 2: 障害物を含む場合

障害物を含む場合の警備員経路問題では、始点から視界を遮る原因が障害物である。障害物のある頂点に接する辺によって遮られる部分を警備員が見に行くということは figure2 の様に 2 本の延長線が存在する。そのため現在地から次の地点への方向は 2 方向のうちのどちらかである。警備員経路問題は単純多角形るとき、巡回するルートが 1 方向に限られるため [swr1]、前章の様に多項式時間で求めることができる。今回はこの性質に基づいて、穴のあいた多角形を単純多角形に変形することによって経路を求める。つまり、部屋と障害物の間に、切り込み（スリット）を入れることによって穴のあいた多角形を単純多角形とみなす。

#### 3.1 スリットとは

本論文で提案するスリットは次の 2 種類である。

1. 視点からの可視グラフによって作成された視点と障害物を結ぶメインスリット

<sup>1</sup>東京農工大学大学院工学研究科アルゴリズム工学研究室

<sup>2</sup>東京農工大学情報コミュニケーション学科

<sup>3</sup>東京農工大学情報コミュニケーション学科

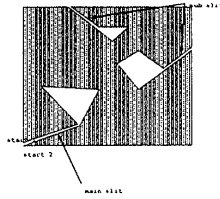


Figure 3: スリットとは

2. メインスリットに属さない多角形の壁, または障害物と障害物を結ぶサブスリット

メインスリットは, 始点から始点に移動する警備員の経路によって出来るループの領域  $R$  と障害物  $O_i$  が以下の関係,

$$R \supset O_i$$

を満たすような障害物を線分で結んだものである.

すなわち, メインスリットによって部屋の始点に切り込みが入るため, figure3の様に变形され, 始点 start1 から終点 start2 への経路を求める事になる. サブスリットは上の式を満たさないが, 警備員が障害物の後ろを覗きに行くときどちら側から見に行くかを限定する.

また, メイン, サブスリットともに互いに交差する事はない. figure3の start1 から start2 にもどる警備員の経路が今回求める経路である.

### 3.2 今回のアルゴリズムの手順

本論文で提案するアルゴリズムの流れは以下の通りである.

- ステップ 1 部屋と障害物の間にスリットをいれる.
- ステップ 2 スリットを利用して, 障害物のある部屋を単純多角形にする.
- ステップ 3 既存のアルゴリズムを適用してカットを求める.
- ステップ 4 不必要なカットを削除する.
- ステップ 5 経路を求める.

スリットを入れた部屋を単純多角形として既存のアルゴリズムを適用させたとき, スリットによって見える部分を見えないと判定してしまう場合がある. そのため, 凹部分に延長線入れる際, その延長線が必要かどうかの判定もする. それに付いては発表で述べる.

## 4 結果

本論文では, 以上の手法をもちいて以下の場合で計算した.

1. 障害物の組み合わせ全通りによる各スリットに対する計算
2. 障害物の位置, 形状によってメインスリットを選択し, 選択されたスリットのみに対する計算

障害物のある場合の警備員経路問題に関する手法は現在まで存在しなかった. しかし, 本研究にて多項式時間ではないが最短経路を求めることができた. また, 2の手法によって1で求めた最短経路と大差なく多項式時間にて近似解を求めることができた.

## References

- [1] Xuehou TAN, "Constructing shortest watchman routes by divide-and-conquer", LNCS ISAAC, pp.68-77, 1993
- [2] Xuehou TAN, Tomohiro HIRATA, "On the time analysis of watchman route algorithms", 情報処理学会研究報告 アルゴリズム 55-7, pp.53-60, 1997
- [3] W.P.Chin and S.Ntafos, "Optimum watchman routes", Inform. Process. Lett. 28,39-44,1988
- [4] 浅野哲夫, "計算幾何学", 朝倉書店, 1990
- [5] E.Welzl, "Constructing the Visibility Graph for  $n$  Line Segments in  $O(n^2)$  Time", Inform. Process. Lett. 28,167-171,1985
- [6] Herbert Edelsbrunner 著, "Algorithms in Combinational Geometry" 今井浩, 今井桂子訳, "組合せ幾何学のアルゴリズム", 共立出版株式会社, 1995
- [7] 伊理正夫 監修, 腰塚武志 編集, "計算幾何学と地理情報処理", bit 9月号別冊, 共立出版株式会社, 1986