

衝突回避のためのアルゴリズムの研究<sup>1</sup>

3U-5

松嶋 竜<sup>2</sup>中森眞理雄<sup>3</sup>東京農工大学工学部電子情報工学科<sup>4</sup>

## 1 はじめに

本論文では、障害物を避けながら移動するという動作を衝突回避と定義する。衝突回避をテーマとした研究は、アルゴリズムの開発研究の分野や、ロボット制御の分野や、計算幾何学の分野で盛んである。しかしながら、“移動する障害物を回避しながら目的地までの経路を探索する”というテーマを扱ったものはきわめて少ない。衝突回避とは別のテーマであるが、移動する物体を扱った研究では、動的計算幾何学がある。この分野では、移動する物体が1変数(例えば時間  $t$ )によって位置が決定される場合には確立した理論があるが、多変数の場合は一般論が確立されさえおらず、2変数の場合でさえ、特殊な場合にのみ結果が得られている状況であると報告されている。以下では、移動させる対象を自機と定義する。

## 2 実現を想定したシステム

## 2.1 対象とする条件

今回発表するアルゴリズムの対象とする条件は、

1. 移動空間はユークリッド平面で、長方形に囲まれた領域とする。長方形の辺上も移動可能。
2. 自機の移動方法は移動領域を自由に等速運動で移動できる。また、停止していることも可能とする。
3. 障害物は突然現われたり、消えたりせず、常に連続した移動を行う。
4. 障害物の形状は、円である。

とする。

## 2.2 想定したシステム

対象とする条件から、衝突回避システムは、単位時間あたりの処理を繰り返すことで移動方向を決定するリアルタイムオンラインシステムとした。一回のループの実行時間を極力短くすることにより、障害物はほとんど静止しているものとも考えることもできる。なお、障害物がどの位置にあり、どのような移動を行っているのかの情報はすべて得られているものとする。

## 3 衝突回避の手法

衝突回避という動作は、衝突回避する対象の回りにどのような障害物があるのかを把握する“状況把握”、状況把

握によって得られた情報を元に目的地までの経路を探索する“経路探索”の2つに分けられる。

## 3.1 状況把握

状況把握の方法は、ポテンシャル場というものを生成して(マッピングと呼ばれる)考えるのが一般的である。占有領域(障害物のある領域)と自由領域(障害物の無い領域)の2つに分け、2つを隔てる境界線より得られるポテンシャルによってマップを形成する。ポテンシャル場の生成方法においてはさまざまな研究がなされている。

本研究では計算幾何学の分野の基本的な手法である、“Voronoi 図”を用いて状況把握を行う。Voronoi 図は平面上に  $n$  個の母点が与えられたときに、平面上のすべての点を最も近い母点に帰属させることにより、平面を各母点の勢力圏に分割する。ここで、障害物を母点として Voronoi 図を生成し、Voronoi 辺上を自由領域、Voronoi 多角形内部を占有領域と考えることにより状況把握ができる。

## 3.2 経路探索

状況把握の作業により得られた情報を元に、自機の移動方向を決定する作業が経路探索である。状況把握で得られた Voronoi 図の Voronoi 辺上を自由領域とみなし、辺上をたどって移動することにより障害物との衝突を避けながら移動が可能となる。また、Voronoi 辺をグラフの枝、Voronoi 点をグラフのノードと考えると、経路探索はグラフの最短経路問題として扱うことができる。また、グラフの最短経路問題として扱うには始点と終点を与えなければならない。このためには、状況把握の際に始点(自機がいる位置)および終点(目的地)も母点として Voronoi 図を生成し、その後、始点と終点の Voronoi 多角形を構成する Voronoi 点を結ぶ(終点についても同様の作業を行う)作業が必要となる。

## 4 状況把握のアルゴリズムの改良

障害物の中心を母点として考え Voronoi 図を生成しているだけでは、リアルタイムオンラインアルゴリズムで周期をいくら短くしても、障害物が移動している場合に完全に処理できるわけではない。例えば、障害物の進行方向と自機の進行方向とが交差する場合、衝突する可能性は大きい。そこで、障害物の進行方向にある Voronoi 辺を削除し、

<sup>1</sup> A study on collision-free path algorithm

<sup>2</sup> Ryu Matsushima

<sup>3</sup> Mario Nakamori

<sup>4</sup> Tokyuu A&T university

経路探索の際の選択枝から除外する方法を考えた。(図1参照)

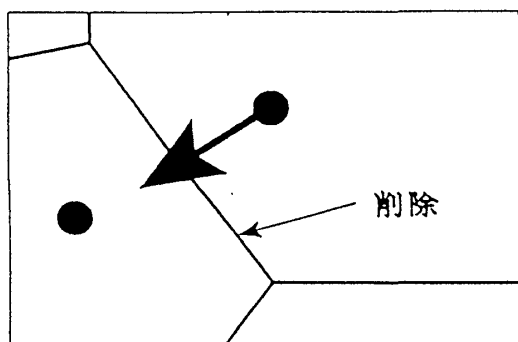


図1: 枝刈り

また、選択した経路の幅(障害物とVoronoi辺の間の距離)が狭く、通り抜けが不可能な場合(図2参照)を避けるために、そのようなVoronoi辺は経路の候補としては削除することにした。

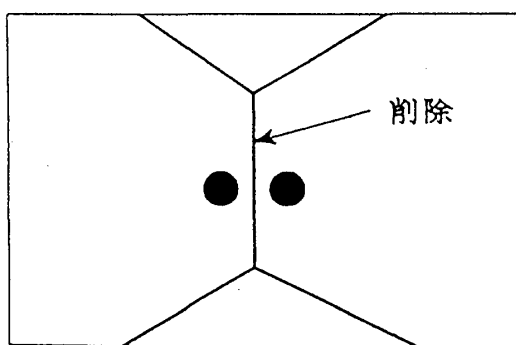


図2: 間が狭く通り抜けが不可能

## 5 アルゴリズムのまとめ

これまでに、衝突回避のアルゴリズムをして考えてきたものは次の通りである。

1. リアルタイムオンラインアルゴリズムであり、状況把握、経路探索を繰り返しながら目的地までの移動を行う。
2. 状況把握には障害物を点として考えVoronoi図を用いる。その際、出発点(現在自機がいる地点)と目的地も母点として考える。
3. 出発点と出発点のVoronoi多角形を構成するVoronoi点を結ぶ。同様に目的地についても行う。
4. 障害物の進行方向と自機の進行方向が交差しないように、生成されたVoronoi図の辺を削除する処理を行う。

5. 障害物とのVoronoi辺の距離が狭く、通り抜けが不可能なVoronoi辺を削除する処理を行う。
6. これまでの処理によって得られたVoronoi図のVoronoi点をグラフのノード、Voronoi辺をグラフの枝と考え、グラフの最短経路問題を解くことによって経路を決定する。
7. 目的地までの経路が求められない場合は、その場所ですべて停止する。

## 6 提案したアルゴリズムの計算量

考案したアルゴリズムの計算量は、

1. 状況把握のためのVoronoi図生成については $O(n)$
2. 進行方向の枝刈りおよび通り抜け不可能な場合の枝刈りについては、1つの障害物に対するVoronoi辺がほぼ一定で数個であることから $O(n)$
3. 経路探索についてはダイクストラ法を用いることにより $O(n^2)$

となる。状況把握の部分については、 $n$ 個のデータすべてに対して処理を行う場合の最速の $O(n)$ の計算量となっている。リアルタイムオンラインアルゴリズムで考えていることから、一回のループに対する処理時間を極力押さえるという目標は達成できていると考えることができよう。

## 7 今後の課題

このアルゴリズムはまだ考案しただけで、実際にシステムを制作して性能を測定するには到っていない。今後の課題としては、制作して有効性を確認する必要がある。また、円だけでなく他のさまざまな形状を持つ障害物に対しても適応できるように改良することを計画している。

## 参考文献

- [1] 伊理政夫 監修/腰塚武志 編集, "bit 別冊 計算幾何学と地理情報処理", 共立出版, 1986
- [2] R. セジウィック著, 野下浩平, 星守, 佐藤創, 田口東訳, "アルゴリズム 第2巻 探索・文字列・計算幾何", 近代科学社, 1992年
- [3] 岡部篤行, 鈴木敦夫 著, "最適配置の数理", 朝倉書店, 1992年
- [4] 浅野哲夫 著, "計算幾何学", 朝倉書店, 1990年
- [5] F. P. プレパラー, M. I. シューモス 著, 浅野孝夫, 浅野哲夫 訳, "計算幾何学入門", 総研出版, 1992年