

## 自己評価報告書

平成 23 年 5 月 10 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20360044

研究課題名(和文) 時間変化を伴う空間におけるロバスト幾何計算アルゴリズムの構築

研究課題名(英文) Construction of robust geometric computation algorithms for time-varying spaces

研究代表者

杉原 厚吉(SUGIHARA KOKICHI)

明治大学・研究・知財戦略機構・教授

研究者番号：40144117

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・工学基礎

キーワード：数理工学, ロバスト幾何計算, 最短到達時間, ボート航行距離, ボロノイ図, 主観的奥行き, 不可能モーション

## 1. 研究計画の概要

本研究の目的は、背景空間が時間とともに変化する環境での幾何計算アルゴリズムを、数値誤差に対してロバストな計算手続きを伴った形で開発するとともに、それを応用することである。(1) 背景空間の計量が時間変化する第一の代表例として、流れの中でのボートの最短到達時間を表すボート航行距離を定義し、そのロバストな計算法を構成するとともに、それを、最短航路の計算、浮遊物の拡散シミュレーション、海難救助船の受け持ち領域の計算などに応用する。(2) また、第2の代表例として、動く立体の画像から知覚される主観的奥行きの推測法を構成し、それを新しい錯視立体の設計へ応用する。これらを通して、時間変化する計量をもった空間におけるロバストな幾何アルゴリズムの設計法を構築する。

## 2. 研究の進捗状況

(1) 流れの中でのボート航行距離に関しては、二つの計算法を開発した。その第一は、粒子追跡法を利用したものである。ボートの最短経路の計算には同時刻到達可能領域の包絡線の法線方向が必要となるが、従来の粒子追跡では特異点付近で計算が不安定になるが、各粒子で独立に法線方向を計算する方法(独立粒子法)を開発することによって、計算を安定化できた[雑誌論文3]。第二の計算法は、高速前進法を利用したものである。従来の方法では因果関係が逆転するために計算が不正確になるが、流れがもたらす因果関係を判定し、時間順序に沿って計算を行う方法(改良高速前進法)を開発することによって計算を安定化できた[雑誌論文1]。種々の流れのもとでの計算実験によって、これら

の方法の有効性を実験的にも確認できた。

(2) 画像からの主観的奥行きの知覚については、知覚の数理モデルを構成し、それに基づいて奥行きのロバストな計算法を開発できた。このモデルは、画像からの特徴の抽出、可能立体集合の特定、最適立体の抽出、の三つの過程からなり、数値誤差に対して非常に不安定な第2過程の計算のロバスト化に成功するとともに、第3過程が錯視を生み出すメカニズムとして働くことを見つけた。これをもとに、主観的奥行きと実際の立体の奥行きの違いを錯視量として数値化し、この錯視量の大きさを予測する方法、錯視量の大きい立体を設計する方法を開発した[学会発表1]。そして、それを利用して錯視をもたらず立体を多数製作し、その一つは錯視コンテストで1位に選ばれた[その他1]。

(3) 硬い材料から部品を切り取る際に、材料形状が時間とともに変わるために、カッターの動きが多様な摂動をもたらず場面で、できるだけ振動の生じないカッターの経路を探索する高速アルゴリズムを開発した[雑誌論文2]。これは、材料の無駄とカッターの動きの無駄を少なくする部品配置法も含んだもので、任意形状図形のパッキング法としても性能のよいものとなっている。

## 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

(1) 流れの中でのボート航行距離の計算法については、2種類のロバストな方法を開発することができた。第一の独立粒子法は、ルンゲ・クッタ法と組み合わせることによって高い精度の計算ができ、第二の改良高速前進法は、隘路があっても安定に計算ができる

という特徴をもち、この二つを使い分けることにより、広い場面での計算が可能になった。このように基本計量計算法の開発はおおむね順調に進展している。一方、海流や気流の実データに近い環境でこの計算法を応用する計算実験については、やや遅れている。

(2) 動画像からの主観的奥行き知覚の数理モデルとその計算法については、当初の計画では特に意識していなかったが、本研究目的に合致する一つの実例であることに気付いて研究範囲を広げることができた。1枚の画像には奥行きの情報が欠けているから、実際には無限に多くの奥行きの解釈が可能である。そのため、画像から読み取った立体形状は正しいとは限らない。そこで立体を回転するなどして多くの方向から見た動画にすれば、その奥行きをより正確に知覚できるはずだと予想されるが、この予想に反して、立体が変形するように知覚してしまうことがある。これが、時間変化する奥行き知覚空間の数理モデルで説明できることがわかった。そして、本研究で開発したロバストな計算法を不可能モーションという新しい立体錯視とそれをもたらす立体の設計法へ応用することもできた。その意味で、この方向は、当初の計画以上に進展しているといえることができる。

(3) 材料から部品を切り取る過程で材料の形が変わり、振動の様子も変化するという場面が、本研究で対象とする時間変化する背景空間の一例であることも研究をスタートさせたあとで気付いた。そしておおむね順調にロバストな計算法を開発できている。

#### 4. 今後の研究の推進方策

(1) ボート航行距離計算法によって、時間変化する空間での基本計量をロバストに計算できるようになったから、次に、この計量による一般化ボロノイ図の定義とその計算法を考える。この場合のボロノイ図は、単に計量をユークリッド距離からボート航行距離に取り替えてできる一般化だけではない。たとえば、船が難破して自力航行ができなくなったとき、その船にかけつける救助船は、難破した場所へ行けばよいわけではない。なぜなら、その後、難破船は海流によって流され別の場所へ移動するからである。したがって、時間と共に流される難破船に最も早く到達できる救助船を特定することを定義の中に加味した一般化ボロノイ図を導入する。これは、今までにはない新しいタイプの一般化ボロノイ図である。これを定義したあと、その計算法も開発する。

(2) 主観的奥行き知覚空間に関しては、立体の動きの多様性を広げて、不可能モーション錯視のバリエーションを増やす。今までは、棒を通す、輪をかける、玉を転がす、という3種類の物理的動きについて、立体と主観的

奥行きの関係を調べてきた。今後は、これに加えて、液体を流す、糸につけたおもりをたらし、ボールを反射させるなどの新しい動きと主観的奥行き知覚の関係を予測する計算法を開発し、それを利用して新しい不可能モーション錯視を創作する。また、立体を撮影する方向と知覚される奥行きの関係について、本研究で開発した数理モデルを心理学的な知見と比較し、その共通点と相違点を明らかにする。そして、特にゲシュタルト心理学で蓄積されている図形のまとまりの良さと人の知覚との知見を、モデルの中に取り入れて、モデルの性能を向上させる。

(3) 流れの中のボート航行距離と画像からの主観的奥行きの二つの時間変化する計量についての今までの研究をもとに、計量が時間変化する空間でのロバストな幾何計算アルゴリズムの設計法をまとめる。そして、その作業を通して、時間変化する空間における計算幾何学の体系化の基礎を固める。

#### 5. 代表的な研究成果

(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13件)

- ① Tetsushi Nishida and Kokichi Sugihara: Boat-sail Voronoi diagram and its application., International Journal of Computational Geometry and Applications, 査読有, vol. 19, 2009, pp. 425--440.
- ② Shinji Imahori, Motoki Kushiya, Takeru Nakashima and Kokichi Sugihara: Generation of cutter paths for hard material in wire EDM., Journal of Materials Processing Technology, 査読有, vol. 206, 2008, pp. 453--461.
- ③ Tetsushi Nishida, Kokichi Sugihara and Masato Kimura: Stable marker-particle method for the Voronoi diagram in a flow field., Journal of Computational and Applied Mathematics, 査読有, vol. 202, 2007, pp. 377--391.

[学会発表] (計18件)

- ① Kokichi Sugihara: Design of antigravity slopes for visual illusion., 27<sup>th</sup> European Workshop on Computational Geometry, March 28-30, 2011, Morschach, 査読有, pp. 55-58.

[図書] (計8件)

[その他]

- ① K. Sugihara, "Impossible Motion: Magnet-Like Slopes", First Prize in the Best Illusion of the Year Contest 2010 (May 10, 2010, Florida).