

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2013

課題番号：23800059

研究課題名(和文)球面上の点集合に対する尺度空間解析理論の構築とそのコンピュータビジョンへの応用

研究課題名(英文)Scale-space analysis for point sets on the sphere and applications to computer vision

研究代表者

望月 義彦 (MOCHIZUKI, Yoshihiko)

早稲田大学・理工学術院・助教

研究者番号：00609191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：球面上の点集合に関する尺度空間解析では、理論的な基礎の構築と、応用のための実践的な計算手法の構築を行った。一般的なユークリッド空間上の尺度空間理論に対して、本研究ではそれを球面に拡張したものと考えることができる。

本研究では、球面尺度空間解析をコンピュータビジョンで典型的に現れる問題に適用した。一つは、クラスタリング、もう一つはオプティカルフロー計算である。これらは、全方位カメラを用いた広範囲な視覚による様々なシステムの実現を容易にする。

研究成果の概要(英文)：Scale-space analysis has been typically discussed on the Euclidean space. This study extends the analysis to the spherical space to reveal theoretical foundations on the space and to develop some practical methods for computer vision problems.

Two methods, spherical clustering and spherical optical flow computation, were evaluated by applying to images captured by omnidirectional camera, which has a large field of view. The results show that the proposed methods enable us to build the various systems for vision-based problems efficiently and robustly.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：尺度空間解析 球面画像解析 全方位画像 クラスタリング オプティカルフロー

1. 研究開始当初の背景

本研究は、コンピュータビジョンで頻出する多様体上でのデータ処理を目的としている。カメラ幾何をはじめとする空間的な処理では、誤差を含む計測値から目的とする推定量を与えるために、球面をはじめとする多様体上のパラメタ空間を考えることが多い。一方、パラメタ空間上の解析として、ユークリッド空間の場合では、尺度空間解析と呼ばれる深層構造を明らかにする手法が利用される。尺度空間解析は、ユークリッド空間に対して詳細な研究が行われており、理論構築が進んでいる。しかし、尺度空間解析の理論は、まだ発展途上であり、さまざまな多様体上での解析は不十分である。特に、多様体の一つの球面でさえ、あまり研究は行われていない。しかし、球面はユークリッド平面と局所構造は似ており、また、3次元ユークリッド空間との親和性も高い。また、コンピュータビジョンの研究においては、様々な推定問題のパラメタ空間として現れる、重要な対象である。

2. 研究の目的

多様体上の尺度空間解析の例として、球面をとりあげ、球面上の点集合に対する尺度空間解析の理論構築及び、コンピュータビジョンへの応用を目的とする。特に、計算の精度、速度といった基礎的な部分から、解析結果の有効な利用方法の模索といった応用面での活用法を重視する。

3. 研究の方法

点集合に対する尺度空間解析は、点ごとに正規分布を畳み込むことによって計算される。これは熱拡散方程式で記述され、任意の空間で解くことができる。球面上でその方程式を解くと、球面調和関数による展開として記述することができる。この時、拡散の時間変数に対応するものが尺度であり、入力を濃淡画像とすれば、尺度が上がるにつれて、画像はぼけたものになると考えればよい。つまり、高尺度ではデータの詳細な部分は取り除かれ、大域的な構造がよりよく見えるようになる。尺度空間解析では、尺度も解析する対象とし、局所的な構造と大域的な構造の間の変化やつながりを検出することで、様々な応用を与えることができる。

本研究では、尺度空間の構築における、計算上の精度や安定性の向上を図り、より詳細な解析を可能とすること、また構造を解析することにより、球面上の点集合に対する事前知識を要しないクラスタリング手法の確率、および、コンピュータビジョンにおける認識問題への適用を行う。具体的には、全方位カメラにより撮影された画像を球面画像に変換し、特徴量から得られる直線の検出や、オプティカルフローの計算などを行う。

4. 研究成果

(1) 球面上の尺度空間解析により、事前知識

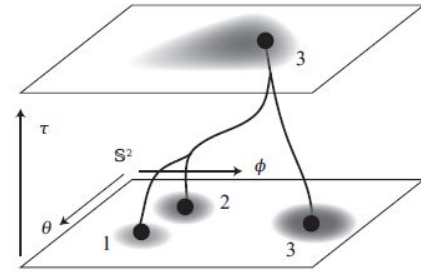


図1 Mode trajectory in scale space

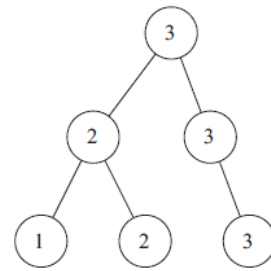


図2 Mode tree constructed from mode trajectory and singular points

を使わないクラスタリング手法を開発した。これは、点集合から生成される尺度空間上の停留点の遷移によりできる木構造をもとにしている(図1)。

クラスタは、停留点による木の構造をたどることで、各点の所属を決定できる(図2)。停留点の生存期間という概念を導入し(図3、4。グレーで示した部分が、生存期間の長いと判断される場所である)、どの位置でその決定を行うかを判断した。これは、どの尺度でもあまり重心を移動しないクラスタが重要視し、ほかの細かいクラスタとの関係を木の位相構造が支配していると考えられることになる。この結果、一般のk-近傍法などで計算されるクラスタリング結果と比べ、比較的安定した分割を行うことができた。

停留点による木の構築では、計算精度が重要である。特に低尺度では球面調和関数の正確な計算が困難である。本研究では、低尺度において球面正規分布の近似式を利用し、計算速度と精度の改善をし、生成される木の精度を安定させた。

この結果をもとに、球面上のクラスタリングをシミュレーションにより検証した。球面上の点集合が複雑な構造を持って分布していても、人間が認識するのと近い形状として分割可能であることが実験により示すことができた。また、実画像実験として、鳥居らによる球面 Hough 変換のパラメタ空間のクラスタリングにより、直線の推定を行った(図5)。これらは、学会発表で成果発表を行った。この応用としては、法線などの推定に利用できる。これは、カメラの校正など、誤差に対して頑健であることが求められる問

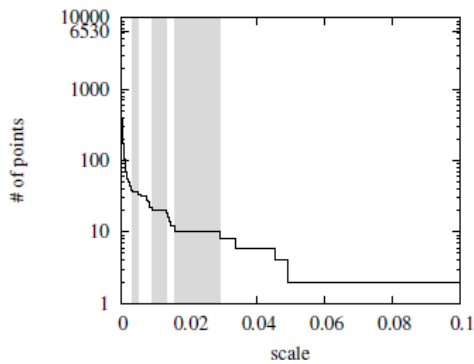


図3 Number of mode in the linear scale

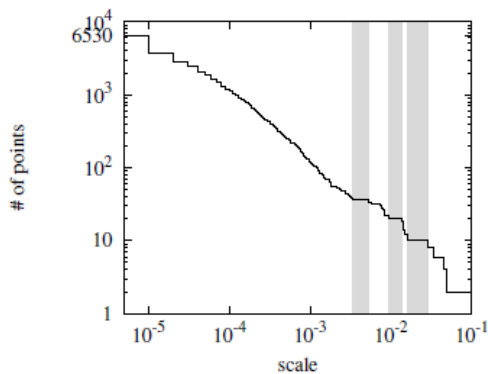


図4 Number of mode in the log scale

題に対して有効である。過剰に複雑なクラスタを正確に分離することができないことが課題の一つである。特に、球面の広範囲に分布する場合のクラスタリング精度は悪い。例として、長い曲線状に連なる点集合である。これは、生存期間には所属する部分木の点数を重みとすることでより精度のよいクラスタリングが実現できると考えている。これにより、球面上の曲線を事前知識なく高精度の検出できる可能性がある。また、現段階では、球面上の計量が、通常のユークリッド空間と対応して、一様であることを仮定しているが、畳み込みに使われる核関数を取り換えることにより、より特殊な問題へも適用できると考えている。球面は数学的に容易に高次元に拡張できる。高次元球面（単位超球面）は、経済学や経営学などの分野の問題に現れることが知られている。球面尺度空間の高次元への拡張は今後取り組むべき課題の一つである。

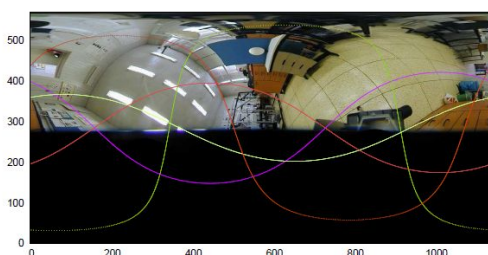


図5 :球面尺度解析による直線の検出

また、別の発展として、任意の2次元多様体に拡張することが考えられる。特に、最近が多様体学習などの分野で利用価値があるものと考えられる。

(2) 球面上の尺度解析によりオプティカルフロー計算の改善を行う手法を提案した。球面上の尺度空間解析では、入力画像が鏡面やレンズにより歪曲している。この状態で離散化された画像に対して、通常のオプティカルフローの計算手法では計量の影響で正確に計算ができない。球面尺度画像により計算を行うために、球面上のオプティカルフロー拘束式を導出した。

この方程式は、極を持つため、計算が不安定になるが、多重解像度により計算の精度の向上を図った。これは学会発表 [10] により成果発表を行った。

この研究では、球面上のオプティカルフローの応用として、ロボットに設置した全方位カメラにより、ロボットの自律制御と障害物回避の方法について提案した。これらは、visual compass と呼ばれる手法の一種で、人間や動物が視覚により行動する際に使われる原理を模倣したものである。全方位カメラは、通常よりも広い視野を持つ。このため、球面オプティカルフロー計算はロボットの進行方向に限らず、全方向で速度場が与えられる。速度場は、各視点の奥行きによる視差を反映するため、各点の距離を推定できる可能性がある。ロボットは平面を走行するとことを仮定して、平面で現れる理想的なフローをテンプレートして、背景差分の要領で、非平面領域を推定することが可能である。特に、全方位カメラでは、平面領域が占有する面積が大きいと、高精度で計算できることが期待される。球面上のフローは、3種類の場合に分解できることが知られている。この分解を数値的に効率よく行うことで、高精度なテンプレートを動的に作成することができる。このため、未知の環境下で移動するロボットは、その走行の過程を記憶することで、障害物の検知や、移動可能領域の推定が逐次的に行える。このようなロボットにより、様々な環境下で遠隔無人走行させることが可能になり、内部状況が不明でも、自動的に危険回避などが行える可能性が高い。

本研究では、この問題は理論的な解析およびシミュレーションによる検証にとどまっているが、今後、全方位カメラを搭載したロボットによる実画像実験を行い、ノイズなどの影響の調査や自律制御全体のアルゴリズムに関する新たな手法の検討を行っていく必要がある。

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 0件)

〔学会発表〕(計 4件)

Yoshihiko Mochizuki, Atsushi Imiya, Kazuhiko Kawamoto, Tomoya Sakai, Akihiko Torii, Scale-Space Clustering on the Sphere, 15th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP2013), pp. 417-424, York, UK

Hideitsu Hino, Jun Fujiki, Shotaro Akaho, Yoshihiko Mochizuki, Noboru Murata, Pairwise Similarity for Line Extraction from Distorted Images, 15th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP2013), pp. 250-257, York, UK

Yoshihiko Mochizuki, Atsushi Imiya, Pyramid Transform and Scale-Space Analysis in Image Analysis, 14th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP2011), pp. 348-355, Seville, Spain

Yoshihiko Mochizuki, Atsushi Imiya, Multiresolution Optical Flow Computation of Spherical Images, Theoretical Foundations of Computer Vision (TFCV2011), pp. 78-109, Germany

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 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 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

望月 義彦 (MOCHIZUKI, Yoshihiko)
早稲田大学・理工学術院・基幹理工学部・
情報理工学科・助教
研究者番号：00609191

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：