

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500198

研究課題名(和文) 3次元センサによる頑健な大規模平面認識

研究課題名(英文) Robust plane recognition for large scale 3D data

研究代表者

清水 郁子 (SHIMIZU, Ikuko)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70312915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、3次元センサによる大規模平面認識手法の開発を行った。平面認識は、3次元センサにより得られるデータの処理のうち、様々な用途の基礎となる処理の一つである。大規模データを扱うために有利な局所処理による平面認識であること、特有の空間的な解像度の不均一性に対応するために複数の解像度間での関係が明確な検出であることが特徴である。

本研究では、解像度を変更したときに不変性のある離散モデルを検討し、解像度間での不変性を保証する平面パターンを生成した。また、大規模データの取扱いのために、点や平面パターンをビット表現し、処理をビット演算にすることで高速な処理を可能とするソフトウェアを開発した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a method for plane recognition using large scale 3D data obtained by 3D scanner. Plane recognition is one of the most important algorithms for 3D data processing. To cope with the large scale data, we proposed a local plane recognition method based on local plane patterns which uses a point and its few neighboring points. In addition, to cope with the ununiformity of the data, our local plane patterns's relationship between multiple resolutions are clearly defined.

In our algorithm, we proofed that the discrete model we used in our method is invariant under multiple resolution and we generated discrete plane patterns. Our implementation is based on bit operation by representing plane patterns and point coordinates using bit expression,

研究分野：知能情報処理

キーワード：3次元データ 平面認識

## 1. 研究開始当初の背景

近年、対象までの距離を直接計測することが可能な距離センサ(レーザレーダや赤外線センサなど)がロボットや車などに搭載され、周辺環境を認識するために用いられている。従来、距離センサを用いてある特定の高さについての環境の2次元的な断面を得て、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術により環境地図を作成したり位置特定を行ったりすることが多く、例えば商用ロボットもこの機能は搭載されている[1]。

さらに環境を詳細に認識して行動を計画したり、3次元的な環境地図を生成するために、2次元的な断面が得られる距離センサを回転させたり、もしくは断面だけではなく3次元的に計測できるセンサ(スキャナ式レンジセンサなど)を用いるなどして、特定の高さだけではなく3次元的な計測を行うことセンサが用いられることが多くなってきた[2]。さらに、Microsoftから発売されたKinectと呼ばれるゲーム用デバイスは、得られるデータの計測精度は低いものの、非常に安価であり、赤外光を用いてリアルタイムに3次元的な対象の形状データを得ることができる[3]ため、3次元的な計測を行ってそのデータを用いることが非常に身近になりつつある。ここでは3次元的な計測を行うことのできるセンサを3次元センサと呼ぶことにする。

3次元センサから得られるデータの処理のうち、平面の認識は非常に重要である。例えば、ロボティクスへの応用を考えると、一般的な車両移動ロボットが移動可能な領域を判定したり[4]、作業ロボットが把持しやすい部分を発見したりする[5]ためには、平面の領域を認識する必要がある。また、屋外の環境認識を行う場合には建物の壁や道路は平面である場合が一般的であり、工場等の屋内環境の検査においても壁や床が平面であることから、これらの用途にとっても平面の認識は非常に重要である。

従来、3次元センサを用いた平面認識には、RANDOM SAMPLE CONSENSUS(RANSAC)法が用いられることが一般的であった(例えば[6])。RANSACでは、推定したい平面上にある計測点が一定の割合で計測データ中に含まれていることを仮定し、計測点集合からランダムに3点サンプリングすることを繰り返し、3点で張られる平面からの距離が閾値以内の計測点数をカウントし、しかしながら、大規模データを対象とした場合には望みの結果が得られない場合が多い。これは、空間的解像度は極めて不均一であることに起因している。センサはパン方向(およびチルト方向)に一定の微小角度ずつ回転しながら計測を行うため、対象平面のセンサに対する角度にも依存するが、センサ付近では極めて高密度な計測点が得られ、センサからの距離が離れるほど疎になる傾向が顕著である。また、RANSACでは、計測点が一定の割合で

求めたい平面上に存在することを仮定するが、計測誤差の影響により、本来平面上にあるべき計測点であってもわずかに平面からずれた位置に計測されることも問題である。小規模データであれば、わずかな平面のずれはさほど問題にならないため望みの結果が得られるが、大規模データの場合には、平面のずれは増幅される。そのためRANSACを適用すると、例えば密度の高い部分が平面として検出されるなどの問題が生ずる。さらに、ユーザの設定した値によって得られる結果がまちまちであるという問題もある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、3次元センサにより得られたデータ(3次元データと呼ぶ)を用いた平面認識手法の開発である。このとき、特に室内環境や屋外環境を計測した場合のような、大規模データを対象とする。また、ユーザが何らかのパラメータを指定することなく頑健に平面を認識する手法を目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) 解像度に変な離散モデルの検討

本研究で扱う3次元データは、例えば3次元CTデータのような均一な解像度で得られているデータとは異なり、空間解像度が不均一である。3次元センサからの距離や面の傾きにより非常に密度が高くデータが得られている領域と密度が低くデータが得られない領域があり、密度の差が非常に大きい。そのため、複数の解像度で平面を検出し、解像度間で対応付けを行うことが不可欠である。空間を離散化するモデルには複数の方法があり(二値画像の4連結と8連結に相当する)、モデルによっては、高い解像度では検出される平面が低い解像度で検出されないという問題が発生する。

そこで本研究ではまず解像度に変な離散モデルについて検討する。複数のモデルについて検討し、高い解像度で検出した平面が必ず低い解像度で検出できることの証明を行う。

### (2) 複数解像度での関係づけられた平面パターン生成

局所的に離散平面であると判定可能なパターンを生成する。注目点の近傍のボクセルに対し、各ボクセルについて、平面の内側と外側の全ての組合せを生成してそれが平面であると判定できるかどうかを確認する。

### (3) 局所的な平面判定手法の開発

実際に3次元センサにより得られたデータを用いて、平面を検出するアルゴリズムを実装する。一般に、3次元センサにより得られるデータはデータ量が膨大であり、実装には工夫が必要である。できるだけ高速にデータ処理が行えるような実装について検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 解像度に不変な離散モデルの検討

複数の離散モデルについて検討を行った結果, standard と呼ばれるモデルにより空間を離散化することにより, 高い解像度で検出された平面が必ず低い解像度でも平面として検出されることを証明した.

##### (2) 複数解像度での関係づけられた平面パターンの生成

注目点とその近傍のボクセルのみから, 注目点が平面上にあるかどうかを判定するための離散平面パターンの生成を行った. 従来手法[7]で提案されている離散平面パターンは naïve と呼ばれる離散モデルで記述された 3X3X3 ボクセルについてのパターンであり, 多重解像度に拡張することができない.

本研究では, 解像度の変更を容易にするために, 4X4X4 の大きさのボクセルを近傍領域とし, 注目点は 4X4X4 ボクセルの端の点であると仮定した. これにより, 解像度の変更を行いより高い解像度での平面検出を行う場合, 注目点を含む 1/4 の大きさのボクセルに着目すればよくなる.

平面パターンを生成するためには, 4X4X4 の近傍ボクセルのうち, 注目点を除く 4X4X4-1 個のボクセルについて, 平面に含まれる(あるいは平面上にある)場合と平面に含まれない場合の全ての組合せを生成し, その点の配置の組合せが standard モデルの平面の内外の式としてあらわされるかどうかを判定することにより行うことができる. しかしながら, 4X4X4-1 個のボクセルそれぞれが平面の内側か外側かの全ての組合せを生成すると組合せ数が膨大になり, 計算できない. そのため, 本研究では, 平面の 2次元の断面は必ず直線になることを利用し, まずは 4X4 の 2次元の領域を考え, 平面パターンを生成した. 生成したパターンの例を図 1 に示す. なお, 図中の青い画素が直線の境界もしくは内側のピクセルであり, 白い画素は直線の外側のピクセルである. そして, 4X4 平面パターンを 4 種類ずつ組み合わせると 4X4X4 のボクセルを生成し, これを standard モデルの平面として記述できるかどうかを判定することにより平面パターンを生成した. 生成したパターンの例を図 2 に示す. なお, 図中の左下が基準点であり, 平面上の点の基準点からの高さを 4 段階(黄色, 橙, 茶色, 赤)で示している.

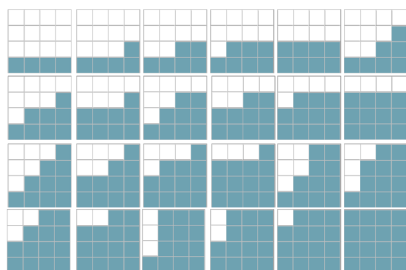


図 1 4X4 直線パターンの例

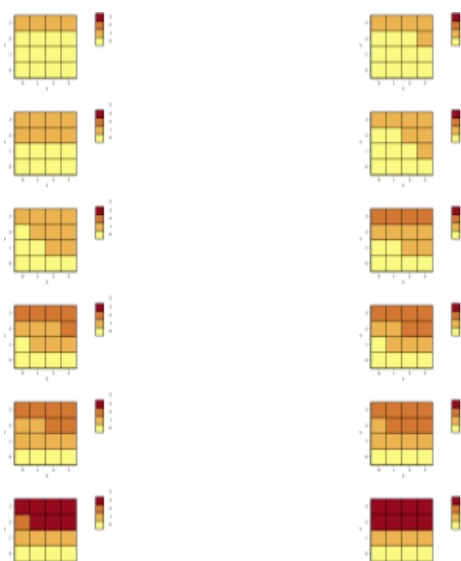


図 2 4X4X4 平面パターンの例

さらに, 生成した 4X4X4 平面パターンの基準点を含む 2X2X2 ボクセルについて, 解像度を高くしたときに対応する 4X4X4 平面パターンを関連付けた. これにより, 低い解像度で平面であると判定された注目点に対し, より高い解像度で平面であるかどうかを判定する際に効率よく判定が行えるようになる.

##### (3) 局所的な平面判定手法の開発

3次元センサで1回の計測で得られる3次元データは, 数万~数百万点にもなる場合が多く, データ量が多い. そこで, 本研究では大規模データを効率よく扱うために, 点の座標や平面パターンをビット表現して平面判定手法を実装した. これにより, 注目点とその近傍が平面とみなせるかどうかの一連の演算がビット積などのビット演算で行えるようになり, 高速に実行できるようになった.

##### <引用文献>

- [1] Brian Gerkey, Mapping with the iRobot Roomba, <http://www.ai.sri.com/~gerkey/roomba/>
- [2] 浅井俊弘, 神原誠之, 横矢直和, ``屋外環境の三次元モデル化のための推奨度マップを用いたレンジデータ取得支援システム'', 電子情報通信学会論文誌(D), Vol. J92-D, No. 4, pp. 531--541, (2009)
- [3] Microsoft, Kinect for Windows' SDK, <http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/projects/kinectsdk/default.aspx>
- [4] 國弘孝生, 坂野肇, ``ステレオカメラを用いた平面検出技術の自律移動ロボットへの適用'', IHI 技法, Vol. 50, No. 1, pp. 3--10, (2010)
- [5] 山崎公俊, 友納正裕, 坪内孝司, 油田信一, ``密な三次元形状モデルに基づく小型物体の把持'', 第 23 回日本ロボット学会学術講演会, 講演番号 3C17, (2005)
- [6] 黒木崇博, 寺林賢司, 梅田和昇, ``マル

チスリット光を用いた小型距離画像センサの計測精度評価およびヒューマノイドへの応用", 第28回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 312-4, (2010)

[7] Yukiko Kenmochi, Lilian Buzer, Akihiro Sugimoto, Ikuko Shimizu, "Digital Planar Surface Segmentation Using Local Geometric Patterns", Discrete Geometry for Computer Imagery, Lecture Note in Computer Science, Vol.4992, pp.322-333(2008)

## 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 1 件)

[1] 宮武孝尚, 中力雅人, 清水郁子, "最適性を保証する多重解像度表現を用いた離散直線当てはめ", 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用, Vol.5, No.3, pp.107-119, 2012.9 査読有

[学会発表](計 4 件)

[1] Takahisa Miyatake, Ikuko Shimizu, "Generating discrete line patterns", International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2015), 2015.1.10 台湾(台南) 査読有

[2] Yuko Shikanai, Ikuko Shimizu, "Plane detection in the large scale 3D point cloud based on local discrete plane patterns", International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2015), 2015.1.10 台湾(台南) 査読有

[3] 鹿内夕湖, 清水郁子, "大規模点群に対する局所的な離散平面認識によって検出された平面パターンの可視化", サマーセミナー2013, 2013.8.19 石和温泉(山梨県笛吹市) 査読無

[4] 宮武孝尚, 中力雅人, 清水郁子, "最適性を保証する多重解像度表現を用いた離散直線当てはめ", 情報処理学会MPS研究会研究報告, Vol.MPS-88, No.6, 2012.5.17 名古屋大学(愛知県名古屋市) 査読無

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

清水 郁子 (SHIMIZU, Ikuko)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 70312915

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

宮武 孝尚 (MIYATAKE, Takahisa)

鹿内 夕湖 (SHIKANAI, Yuko)