

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：84510

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500234

研究課題名(和文) 動画処理を応用した屋外環境の三次元モデル化に関する研究

研究課題名(英文) Study on 3D Modeling of Outdoor Environments using Image Sequence

研究代表者

金谷 典武 (KANATANI, TSUNETAKE)

兵庫県立工業技術センター・その他部局等・主席研究員

研究者番号：10470254

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)：屋外環境の三次元モデルは、さまざまな用途に利用することができる。三次元モデルの生成には屋外環境を測定する必要があるが、測定時に移動物体が含まれると、移動物体の場所に不適切なデータが存在することになるとともに、移動物体に隠蔽された部分のデータが取得できなくなり三次元モデルに欠損が生じる。これらの問題を解決するために、光学的整合性と道路環境の事前知識を利用することによって、移動物体を判定する手法の開発を行った。また、実験によって、開発した手法の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Three-dimensional (3D) models of real road environments can be used in several applications. In this field, the environment is first measured using several types of sensors, and a 3D model of the environment is then constructed based on the results of the 3D measurements. In this 3D modeling process, 3D points that exist on moving objects become obstacles or outliers to enable the construction of an accurate 3D model. To solve this problem, we proposed a method for detecting 3D points on moving objects from 3D point cloud data based on photometric consistency and knowledge of the road environment. In addition, we confirmed the effectiveness of the proposed method through experiments for real outdoor environments.

研究分野：画像処理

キーワード：画像処理 屋外環境 三次元モデル 移動物体 三次元点群

1. 研究開始当初の背景

屋外環境の三次元モデルは、景観シミュレーションやナビゲーション、複合現実感などの様々な分野で利用されている。これらの分野において利用される三次元モデルは、多くの場合、モデリングソフトなどを利用して人手により作成されることが多く、広域屋外環境のモデルを作成するには膨大な労力が必要になる。そのため、複数の静止画像や動画像から三次元形状を復元する研究や、レーザレンジファインダ（以下、レンジファインダと略す。）による測定結果を併用し、屋外環境の三次元モデルを自動生成する研究が盛んに行われている。

静止画像や動画像から三次元形状を推定する技術は、コンピュータビジョンの分野において研究されており、ステレオ法や因子分解法などを利用してモデルを復元する手法が多く存在する。これらの手法では、カメラ以外の特別な機器を必要としないという利点がある反面、復元されたモデルの精度や信頼性には課題が残されているため、広範囲の屋外環境を安定して三次元モデル化することは現時点では困難である。一方、物体の三次元形状を広範囲かつ高精度に測定することが可能なレンジファインダを利用して、屋外環境モデルを自動生成する手法が注目を集めている。レンジファインダは、正確に物体までの距離を測定できるが、測定可能な場所はレーザの届く範囲に限定され、一般に、一回の測定で対象物体の全てを測定することは困難である。

2. 研究の目的

近年、車両走行環境の三次元モデル生成に関する発展がめざましく、二次元デジタル地図と地上撮影画像を利用して環境の三次元モデルを作成するシステムやレンジファインダと視覚センサを組み合わせる走行環境の三次元形状を自動で測定するシステムなどが開発されており、実用化が進んでいる。中でも、三次元モデルを自動生成するシステムは、モデル生成のための人的コストが低く、このようなシステムが普及していくことが期待される。しかし、これらの現実環境の測定に基づく三次元モデルの生成では、測定時に移動物体が存在した場合、測定データ中に移動物体上を測定した点が混在するとともに、移動物体によって隠蔽された静止物体のデータが欠落することになり、三次元モデル生成の際に妨げになる。そこで、本研究では、このような三次元モデルを生成する上で問題となる「屋外環境下に移動物体が含まれた場合」に焦点を当てて研究開発に取り組む。具体的には、レンジファインダから得られた位置情報や視覚センサから得られた動画像データ等を利用して、移動物体領域を判定する技術の開発を行う。

3. 研究の方法

本研究で利用したモバイルマッピングシス

テムを図1に示す。このシステムには、図1(b)に示すように移動車両の上部に取り付けられた3台の一次元レーザレンジファインダと1台の全方位カメラが設置されている。レンジファインダの測定点は1ライン上のみであるが、移動車両が走行することにより、屋外環境の距離情報を測定することができる。全方位カメラは、6台のカメラで構成されたマルチカメラシステムであり、水平方向の周囲360°と上方の映像を一度に撮影することができる。本システムにはGPSやジャイロセンサも設置されているので、位置情報や角度の情報も取得できる。このシステムを利用して道路を走行しながら屋外環境の三次元形状とテクスチャ情報の取得を行う。

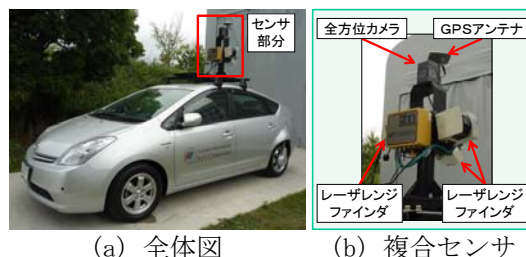


図1 モバイルマッピングシステムの外観

本システムを利用することにより得られた三次元点群の例を図2に示す。また、図2の点A付近で撮影された全方位画像を図3に示す。図2の左上から右下に存在する帯状の点群が道路を表している。この図を見ると、道路上に2か所の点の密集部分と、密集部分の右側に穴が空いたような空間を確認することができる。これは測定時に移動物体が存在したために発生する現象であり、1回の測定で三次元モデルを構築しようとする、このような結果になる。

一般的に、このような移動物体の存在と、移動物体によって引き起こされる未測定領域の問題を回避することは困難である。そのため、移動車両（移動物体）の少ない時間帯を選択して撮影を行ったり、複数回撮影を行うことでこの問題を回避しているのが現状である。この移動物体の問題を解決するため、本研究開発に取り組んでいる。

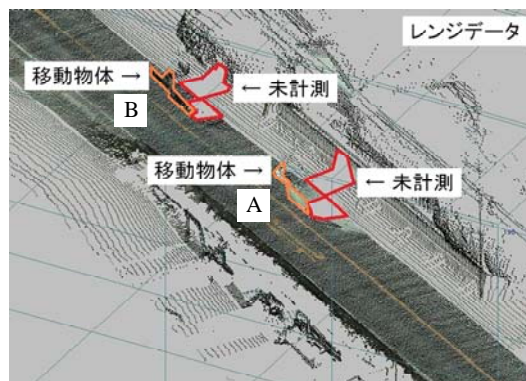


図2 屋外環境の測定例



図3 全方位画像の例

4. 研究成果

図1に示したモバイルマッピングシステムを利用して、屋外環境の測定を行い、得られた三次元点群データから、移動物体上の点と静止物体上の点を判定する手法の開発を行った。その内容を以下に示す。

(1) 画像間の輝度の変化

測定した点群データの中から、数点選び出し、その各点が投影される全方位画像上の画素値の変化を測定した。各点の輝度変化の様子を図4、図5に示す。移動物体上の点として、赤色と白色の自動車を測定した三次元点を選択し、静止物体上の点として、移動物体後方の建物を測定した三次元点を選択した。図4、図5は、各画像に投影される点の画素値(HSVの値)の変化を表している。横軸は画像番号、縦軸は色相(H)、彩度(S)、明度(V)の値を示し、基準画像は、各点が測定された直近の画像を表している。移動物体上の点の輝度の変化を追跡した結果、明度(V)、彩度(S)の値が大きく変化することが確認できた。

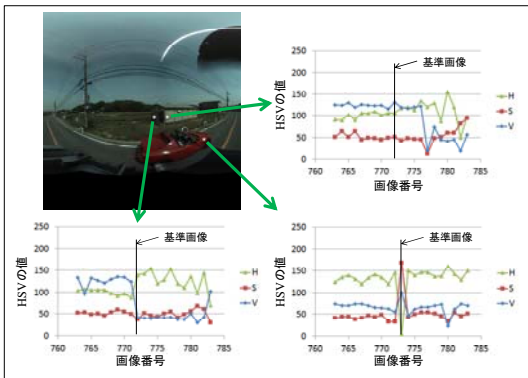


図4 画像間の輝度の変化 (赤色自動車)

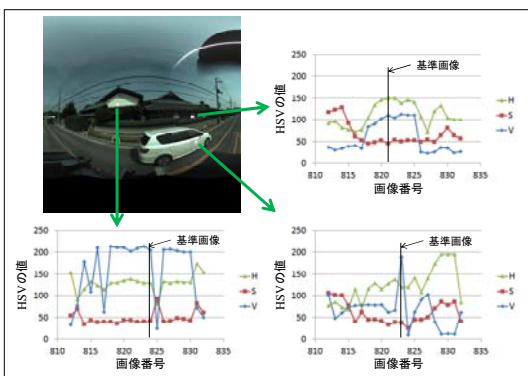


図5 画像間の輝度の変化 (白色自動車)

(2) 光学的整合性の利用

静止物体上の三次元点を全方位画像上に投影し、連続する全方位画像上の投影点の画素の分散を計算すると、分散は小さくなる。同様に、移動物体上の三次元点について分散を計算すると、分散は大きくなる。これにより、ある程度、移動物体上の点と静止物体上の点を分離することが可能であるが、ここで発生する問題は、静止物体上の点が高他の物体によって隠蔽された場合、分散が大きくなることである。この問題を解決するために、スライディングウィンドウアプローチを利用した光学的整合性の手法を提案し、その有効性を確認した。

まず、点群データと全方位画像から作成した合成画像を図6に示す。青色の点はレンジファインダで測定した三次元点群(25000点)を表しており、各点の投影点を計算し、全方位画像上に重ねて表示している。次に、分散とスライディングウィンドウアプローチによる移動物体の検出結果を図7に示す。青色と赤色の点はレンジファインダで測定した三次元点群であり、静止物体上の点として判定された点は青色で、移動物体上の点として判定された点は赤色で表示されている。図7は、それぞれの実験結果について、図6の右側半分に対応する部分のみ表示している。図7に描かれた円の内側を確認すると、左図において移動物体(赤色)と間違っ判定されている建物の壁上の点群は、提案手法(右図)を利用することにより、静止物体(青色)と正しく判定されていることがわかる。これにより、提案手法の有効性が確認できる。

(3) 事前知識の利用した移動物体の検出

前述の提案手法を用いて移動物体の候補点を検出することができるが、見落としや誤検出も含まれているため、更に詳細な点群の分離が必要になる。そこで、道路環境の事前知



図6 点群データと全方位画像の合成

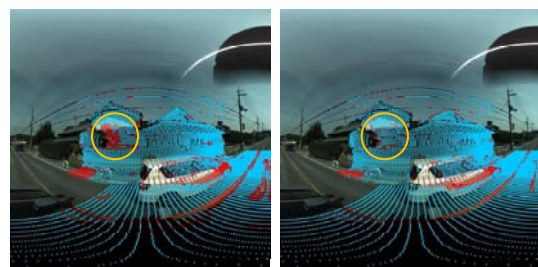


図7 分散(左)と提案手法(右)の比較

識を利用することによって、最終的な移動物体検出を行った。

モバイルマッピングシステムの中心から移動物体の候補点までの水平距離を求め、ヒストグラムを作成しピークを選択することにより、走行中の車両の側面の位置を推定する。このとき、道路面に相当する候補点についてはヒストグラムの集計から除外する。国土交通省の条例によって、車の長さ、幅は制限されているので、それを考慮した直方体を考慮し、点群データの再判定を行う。

図6の点群データに対して、スライディングウィンドウアプローチを利用した移動物体判定を行い、検出された移動物体上の候補点に対象に、ヒストグラムを作成した。その結果を図8に示す。ここで、ヒストグラムのビン幅は10cmに設定しており、正の距離は本システムの右側（実験における対向車線側）を表している。このヒストグラムを見ると、中心軸からの距離2.2mのところに頻度のピークがあり、この位置に移動物体の側面が存在すると思われる。この位置を基準に、移動物体が存在する直方体を設定し、その直方体により検出した結果が図9である。図中の直方体は、図8のヒストグラムを基に設定されたものであり、黄色の点が直方体内部の点を表している。最終的に、これらの手順によって、直方体内部の点が移動物体上の点として決定される。

(4) 様々な種類の移動物体の検出

異なるサイズや色の移動物体に対して、移

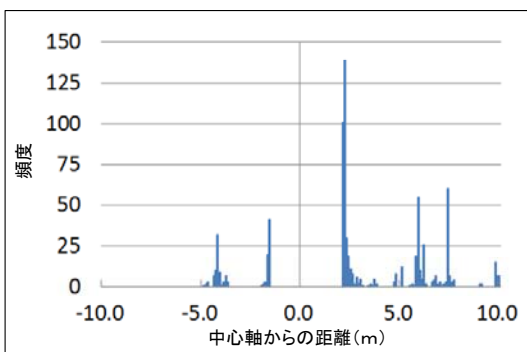


図8 モバイルマッピングシステムと移動物体上の候補点との間の水平距離

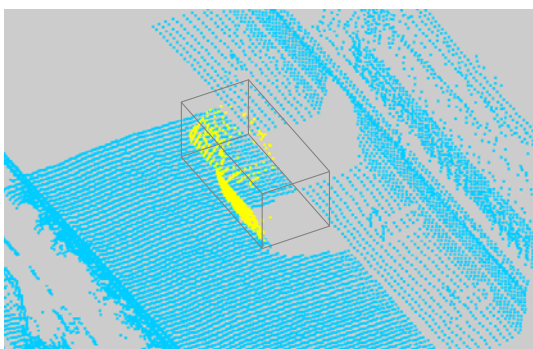


図9 移動物体上の点の検出結果

動物体検出実験を行った。赤色自動車に対する検出結果を図10に、銀色自動車に対する検出結果を図11に、黒色トラックに対する検出結果を図12に示す。各図とも、上段左図は全方位画像の右側（対向車線側）を示しており、上段右図は事前知識を用いることなしに検出された候補点の結果を示している。下段の図は事前知識を利用することによって検出された直方体内側の点を示している。青色の点が静止物体、赤色の点が移動物体として検出された結果を表している。黄色の点は、最終的に移動物体上の点として判定された結果を表している。

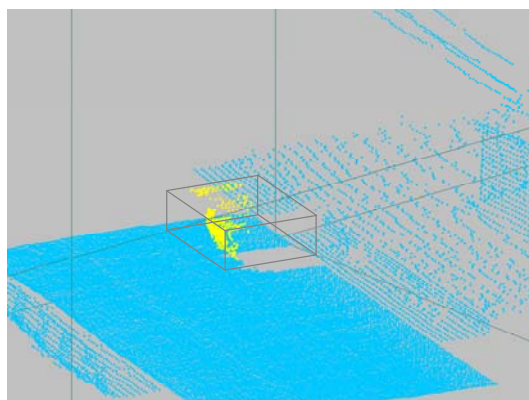


図10 移動物体の検出結果（赤色自動車）

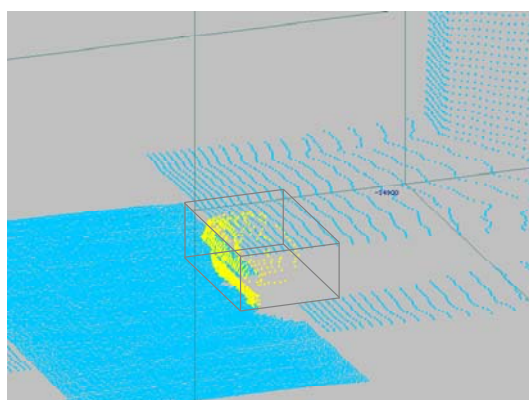
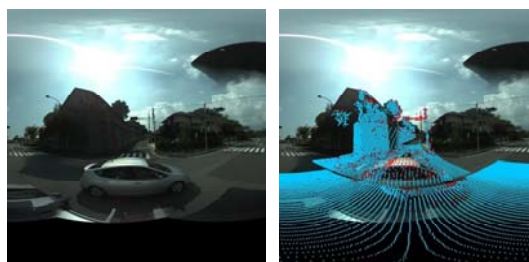


図11 移動物体の検出結果（銀色自動車）

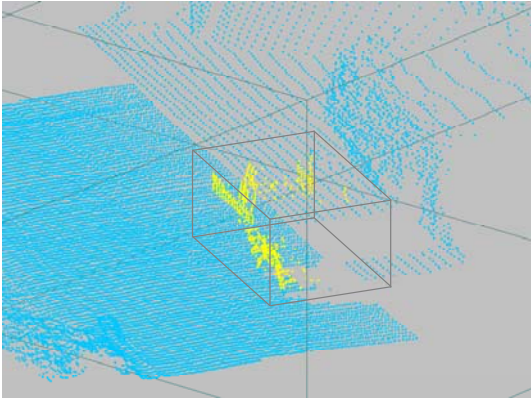
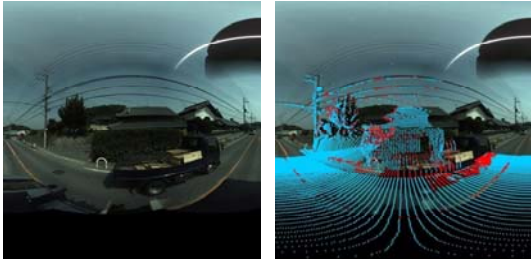


図 12 移動物体の検出結果（黒色トラック）

(5) 欠損領域のためのデータ補間

図 9 の結果に対して、移動物体を削除した後、欠損領域を補間した例を図 13 に示す。この例では、モバイルマッピングシステムの移動方向に併せた方向に線形補間を行っている。補間した三次元点の色については、画像内の静止物体から手動で選択して利用した。この結果から、単純な線形補間ではあるが、欠損領域の自然な補間が可能であることがわかる。

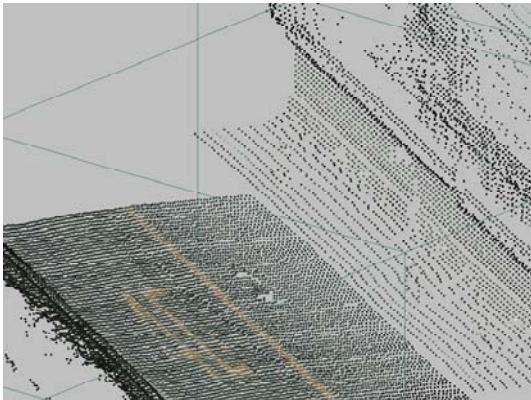


図 13 欠損領域の補間例

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 4 件)

- ① T. Kanatani, H. Kume, T. Taketomi, T. Sato, N. Yokoya, “Removal of Moving Objects from Point Cloud Data for 3D Modeling of Outdoor Environments”, IIEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing, Vol. 3, No. 1, June 2015 (to appear) . 査読有.
- ② T. Kanatani, H. Kume, T. Taketomi, T.

Sato, N. Yokoya, “Detection of Moving Objects from Point Cloud Data Using Photometric Consistency and Prior Knowledge of Road Environment”, Proc. of The Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference 2014 (SICE2014), pp. 341-346, Sep. 2014. 査読有.

- ③ 金谷典武, “複合センサを利用した屋外環境の計測技術に関する研究”, 兵庫県立工業技術センター研究報告書, Vol. 22, p34, Nov. 2013. 査読無.
- ④ T. Kanatani, H. Kume, T. Taketomi, T. Sato, N. Yokoya, “Detection of 3D Points on Moving Objects from Point Cloud Data for 3D Modeling of Outdoor Environments”, Proc. of IEEE International Conference on Image Processing, pp. 2163-2167, Sep. 2013. 査読有.

[学会発表] (計 0 件)

[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]

- ① ホームページ等
<http://www.hyogo-kg.jp/>
- ② 研究成果報告書
“動画処理を応用した屋外環境の三次元モデル化に関する研究”, pp. 1-37, March 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金谷 典武 (KANATANI, Tsunetake)
兵庫県立工業技術センター・技術企画部技術支援室・主席研究員
研究者番号：1 0 4 7 0 2 5 4

(2) 研究分担者

横矢 直和 (YOKOYA, Naokazu)
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：1 0 2 5 2 8 3 4

佐藤 智和 (SATO, Tomokazu)
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授
研究者番号：5 0 3 6 2 8 3 5

(3) 連携研究者

該当なし ()

研究者番号：