7P-04

物体に映る鏡像を用いた隠れた物体の３次元復元

飯田 光樹† 坂上 文彦† 佐藤 淳†
名古屋工業大学大学院†

1. はじめに

自動車事故発生の原因の一つとして死角からの急な飛び出しが挙げられる．このような事故の場合，飛び出した物体を視認してから事故を回避することは難しく，早い段階で死角に存在する対象物を検出する必要がある．そこで本研究では，自車カメラから観測可能な他車のボディーに映りこんだ鏡像を用いることで，死角に存在する対象物の３次元形状を復元する手法を提案する．しかし自車から見える車両であってもそのボディー形状は未知である．そこで本研究では，鏡面物体として用いる他車の形状と死角に存在する対象物体の形状とを鏡像から同時復元する手法を提案する．

2. 鏡像による隠れた物体の３次元復元

本研究では，車両のボディーなどのミラーの役割を果たす鏡面物体が２つ以上あると仮定し，隠れた対象物体がこれらの鏡面物体に映り込んでいるものとする．また，鏡面物体の３次元形状は未知であるとする．このとき，図１に示すように，２つの鏡面物体への映り込みから光線追跡を行うことで，隠れた対象物体の位置と鏡面物体の形状を同時復元する．

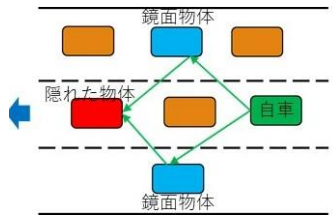


図１ 鏡像による隠れた物体の３次元復元

3. 提案法

3.1 鏡面物体が平面の場合

まず，図２に示すように，対象物体と鏡面物体A，鏡面物体Bが平面である場合を考える．このとき，光線は対象物体上の物体点から出たのち，鏡面物体Aと鏡面物体Bでそれぞれ反射し，カメラの画像面で観測される．このようにして画像で観測される観測点をもとに光線追跡を行い，鏡面物体と対象物体の位置を推定する．このとき，対象物体のY座標Y_P，および２つの鏡面物体のX座標であるX_AとX_Bが未知であるとして，本手法ではこれら３つを推定する．ここで，反射点に向かうベクトルをそれぞれ$\boldsymbol{R_1}, \boldsymbol{R_3}$とし，反射点から物体点に向かうベクトルをそれぞれ$\boldsymbol{R_2}, \boldsymbol{R_4}$とする．図２に示すように鏡面物体Aで反射し物体点に到達するまでのベクトル$\boldsymbol{R_1}+\boldsymbol{R_2}$と，鏡面物体Bで反射し物体点に到達するまでのベクトル$\boldsymbol{R_3}+\boldsymbol{R_4}$は同じ物体点に到達するため，次式が成り立つ．

$$\boldsymbol{R_1}+\boldsymbol{R_2}=\boldsymbol{R_3}+\boldsymbol{R_4}$$

観測される物体点の個数がMであるとすると，推定で用いる損失関数$Loss_1$は次式で表せる．

$$Loss_1=\sum_{i=1}^{M}||\boldsymbol{R_{1i}}+\boldsymbol{R_{2i}}-\boldsymbol{R_{3i}}-\boldsymbol{R_{4i}}||^2$$

提案法１では，この損失関数を最小化することで，対象物体のY座標であるY_Pと，鏡面物体のX座標であるX_A, X_Bを求める．

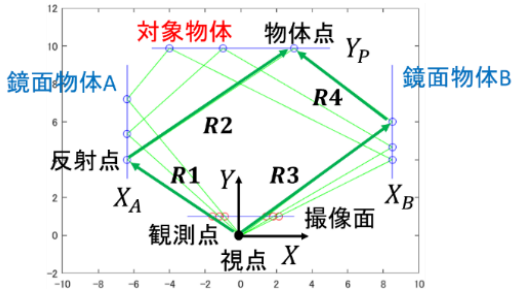


図２ 光線追跡による推定

3.2 鏡面物体が非平面の場合

次に，鏡面物体が非平面である場合について考える．本研究では，非平面の面を点ごとに法線が変化する平面として近似して考える．この近似は，道路環境のようにカメラから車両までの距離の大きさに対して車両の面の形状変化が小さい場合において有効である．

3D Reconstruction of Invisible Objects using Mirror Images on Visible Objects
†Mitsuki Iida, †Fumihiko Sakaue, †Jun Sato
†Nagoya Institute of Technology

Copyright ©2022 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

いま図 2 において鏡面物体A,Bが，それぞれ形状的には平面だが各点における法線が滑らかに変化しているものとする．このため，反射する光線の方向が反射点の法線に応じて変化する．本研究では，このような法線方向の変化を有限個のパラメータによって表すため，図 3 左のような B スプライン曲面を用いる．法線方向を図 3 右のようにθとφで表すこととし，θを表す B スプライン曲面とφを表す B スプライン曲面の 2 つの B スプライン曲面を用いて，面上の法線分布をパラメトリックに表す．このとき，制御点がK個存在するものとし，これらのK個の制御点$\boldsymbol{Q_a}$によって法線の分布を表す．以上より，提案法 2 の損失関数$Loss_2$は次式のようになる，

$$Loss_2 = \sum_{i=1}^{M} \begin{matrix} ||\boldsymbol{R_{1i}}(\boldsymbol{Q_a}) + \boldsymbol{R_{2i}}(\boldsymbol{Q_a}) \\ -\boldsymbol{R_{3i}}(\boldsymbol{Q_a}) - \boldsymbol{R_{4i}}(\boldsymbol{Q_a})||^2 \end{matrix}$$

平面の場合とは異なり，$\boldsymbol{R_1}$から$\boldsymbol{R_4}$までのベクトルが B スプライン曲面の制御点$\boldsymbol{Q_a}$の関数となる．この場合の未知数の数は制御点$\boldsymbol{Q_a}$の K 個と対象物体と鏡面物体の位置3個の合計$K+3$個となる．従って，次式のように$Loss_2$を最小化することで，これらの$K+3$個の未知数を推定する．

$$\{\boldsymbol{Q_a}, Y_P, X_A, X_B\} = \mathrm{argmin}\, Loss_2$$

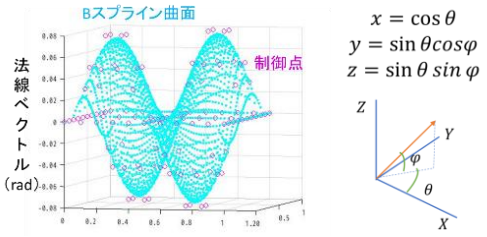


図 3　B スプライン曲面による法線の表現

4. 実験

4.1 合成画像実験

提案法の有効性を確認するために合成画像実験により推定を行った結果を示す．本実験では 3 次元空間内で鏡面物体と対象物体を撮像面に対し，適当な位置で垂直，および水平に配置した．また，鏡面物体の 1 つを非平面とし，その法線を表す 2 つの B スプライン曲面を用意した．$K=32$ とし，不定性解消のため鏡面物体の位置は既知とし，求める未知数の数を 33 とした．これらを物体点 33 点の像を用いて推定した．結果を図 4, 5 に示す．図 4 左は法線のθの空間分布を表す B スプライン曲面であり，右はφの空間分布を表す B スプライン曲面である．赤は制御点，青は曲面上の点を表す．また〇は真値，×は推定値を表す．これらの図より推定値と真値がおおむね一致していることが確認できる．また，図 5 は光線追跡と 3 次元点の復元結果を表す．緑点は鏡面物体 A での反射点，青点は鏡面物体 B での反射点，赤点は対象物体の物体点である．図より復元結果が真値とおおむね一致していることが確認できる．以上より，提案法を用いることで，対象物体が正しく復元できることが確認できた．

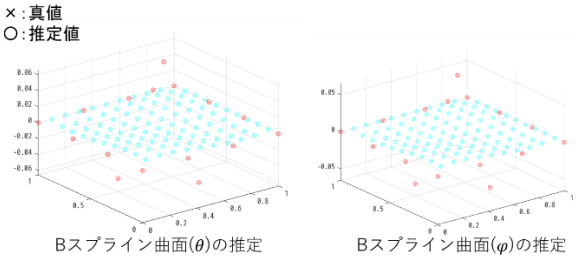


図 4　B スプライン曲面の推定結果

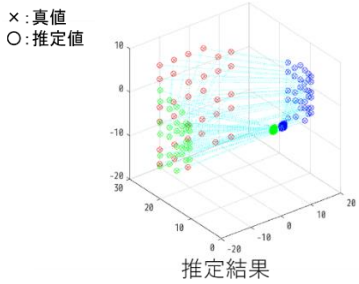


図 5　合成画像実験における復元結果

4.2 実画像実験

次に鏡面物体が平面である場合における実画像実験の結果を示す．図 6 左に示すように鏡面物体と対象物体を配置し，画像中において左右の反射物体上の対応点を取り推定に用いた．鏡面物体の位置は既知とし，16 個の物体点の像を用いて対象物体の位置を推定した．図 6 右に復元結果を示す．対象物体の 3 次元位置は真値が 68.50cm であるのに対して，推定値は 69.55cm であった．以上より，実画像実験においても提案法の有効性が確認できた．

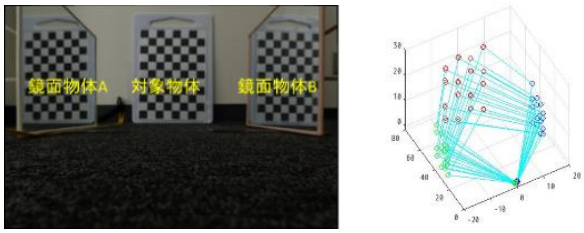


図 6　実画像実験の様子と復元結果

5. まとめ

本研究では，他車における映り込みを用いることで，死角に存在する物体を復元する手法を提案した．また，実画像実験と合成画像実験により提案法の有用性を確認した．

Copyright ©2022 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.