



安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法 (2)

— 移動物体を含む死角領域の可視化 —

Half-DR Expression of Peripheral Vehicles for Supporting Safe Driving, Part 2

- Visualization of Blind Background Area Including Moving Objects -

若林優, 竹村岩朗*, 平松黎, 木村朝子, 柴田史久

Suguru WAKABAYASHI, Iwao TAKEMURA, Rei HIRAMATSU, Asako KIMURA, and Fumihisa SHIBATA

立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 道路環境における死角領域の可視化は, 交通事故の防止や運転者・同乗者のストレスを低減する効果が期待できる. 先行研究では, ユーザが乗る車両と別視点から死角領域を観測することで, 周囲の車両により生じた死角領域を可視化するシステムの実現可能性を検討したが, 死角領域を可視化する際の表現方法については検討が不十分であった. そこで本稿では, 死角領域内の静的な背景や移動物体の視認性・安全性を考慮した可視化表現モジュールを開発し, システムの拡張を目指す.

キーワード: 隠消現実感, LiDAR, 自動運転ソフトウェア, 移動物体

1. はじめに

ITS の分野では, 現実世界に存在する物体を視覚的に隠蔽・透過・除去する隠消現実感 [1] という技術を用いて死角領域を可視化する研究が数多く行われている. 我々の研究グループでは, 道路上に存在する建物や車両などを視覚的に除去し, 運転者からは見えない死角領域を可視化するシステムを試作した. このシステムによって現実世界の情報を拡張し, 視界を広げることで死角領域に存在する危険事象を運転者に提示することができる.

竹村ら [2] は, 車両間で車載センサの情報を共有することで, 死角領域を可視化するシステムを提案した. このシステムは自動運転車の普及に伴い将来多くの車両に搭載される可能性が高いと考えられる運転支援モジュールとデバイスを最大限に活用している. このシステムでは死角領域の可視化を図 1 のようにして行う.

このシステムでは, 実際には車両間の通信は行なっておらず, 仮想的に作成したデータを用いて死角領域を可視化することで, システムの実現可能性を実証した. そこで平松ら [3] は, 車両間で通信を行って情報共有するシステムを設計・実装している. これにより, 実時間で取得した死角領域の情報を車両間で共有し, 移動物体の可視化を実現できるが, 可視化の際の表現については検討が不十分であった.

本研究では, 平松らのシステムにおける死角領域の可視化表現の課題に対し, 視認性や安全性を考慮した表現方法を検討した. 静的な背景の可視化については, 除去対象を透過することによって考えられる事故の危険性を考慮し, パッチの平滑化処理や除去対象の半隠消表示を行った. また, 死

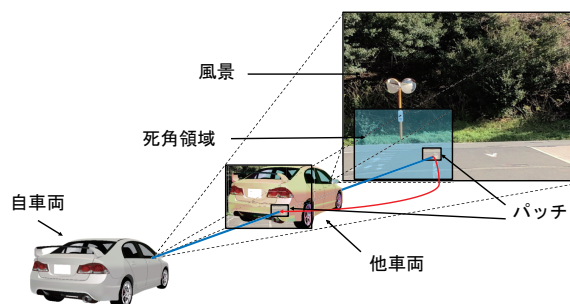


図 1: 死角領域の可視化イメージ

角領域内に存在する移動物体については, 従来のパッチによる重畳ではなく可視化対象となる移動物体の 3D モデルを重畳することとした. これにより, 車両の位置関係に影響されず, 移動物体の存在や姿勢, 色情報を把握しやすい可視化を実現する. 本システムでは, 竹村らのシステムと同様に ROS 上のトピック通信 [4] を利用して可視化する. しかし, 将来的には平松らの実際に車両間の通信によって可視化を実現したシステムに本システムのモジュールが導入されることを前提として開発することとする.

2. 関連研究

道路上の死角領域を可視化する従来研究の多くは, その実現に必要な専用の機器構成やインフラが利用できることを前提として検証実験が行われている. 例えば, Oishi らは魚眼カメラと LiDAR で構成される RGB-D カメラを利用して建物の奥の死角領域を可視化するシステムを提案した [5]. このシステムは死角領域を観測する RGB-D カメラとユーザが持つ RGB カメラから抽出した特徴点のマッチングを行い, 死角領域を可視化する. しかしこのシステムは

*現在は株式会社 デンソーに所属.

ユーザと観測カメラの位置関係や周囲の環境によって特徴点マッチングが行えない場合、正しい可視化結果が得られない。また、Kojima らのシステム [6] は、可視化する領域が平面または十分な距離があるために平面と近似できる環境を想定しているため、実際の道路環境では実現性が低い。また、Rameau ら [7] のシステムは、除去対象はユーザが乗る車両の前方を走行する車両のみという制約がある。

3. 提案する可視化システム

実時間で取得した死角領域の情報を車両間で共有し、移動物体を含む死角領域の可視化を行えるようにシステムを拡張する。従来のような単純なパッチによる重畳では、移動物体を可視化した際、色情報の欠損やパッチの投影ズレによって移動物体を認識することが困難な場合があった。そこで死角領域を観測する他車両のカメラ画像から移動物体の 3D モデルを作成することで、移動物体の存在や姿勢、色情報を把握しやすい可視化を実現する。また、重畳する死角領域のパッチの画素値の連続性を考慮して平滑化処理を加え、さらに、除去対象を意図的に半透明にする半隠消表示をシステムに適用する。

3.1 使用機器とソフトウェア

提案手法では既存システムと同様に将来車に普及する可能性が高い屋外用距離センサである LiDAR と RGB カメラを使用する。また、運転支援モジュールとして、Autoware が提供するモジュールの中から以下のモジュールを活用してシステムを構築した。

センシング: LiDAR, RGB カメラ, GPS, IMU などのセンサから情報を取得する。

SLAM: LiDAR で取得した点群データから自己位置姿勢推定と 3 次元地図の作成を同時に行う。

物体検出: LiDAR で取得した点群データと RGB カメラで取得した画像によって歩行者や車両などを検出する。

この他にも静止物体や移動物体を検出するために画像上に点群を投影する点群投影モジュールを活用する。

3.2 モジュールの接続関係

提案手法では、図 2 に示すように Autoware モジュールを活用してシステムを構成する。このとき、各車両からの要求に従って、Dynamic Map[8] の一部分を送信するデータベースが存在すると仮定する。Dynamic Map は複数のレイヤによって構成されており、その中には 3 次元地図、画像、ベクターマップの情報が格納されている。

他車両のモジュール群では、LiDAR で取得した現フレームの 3 次元点群を自己位置姿勢に基づいてカメラ画像上に投影することで、移動物体に該当する 3 次元点群を抽出する。そして、抽出した移動物体の点群データとカメラで取得した現フレームの画像を自車両と共有する。

自車両のモジュール群では、他車両から実時間で送られてきた移動物体の点群データと画像を活用することで、移動物体の可視化を行う。

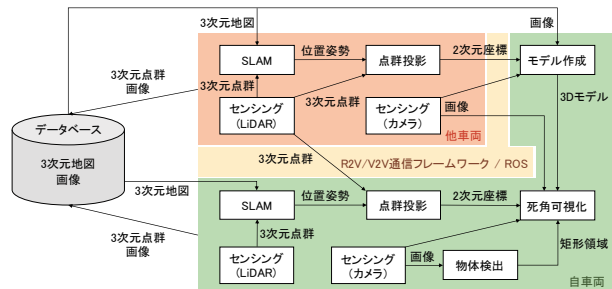


図 2: 提案システムのモジュール群

3.3 静的な領域の可視化

死角領域内の静的な背景は、竹村らのシステムと同様に、他車両が観測した情報を基に生成されたパッチを自車両のカメラ画像に重畳描画することで可視化を実現する。

パッチを重畳描画する際、隣り合うパッチ間の画素値の連続性を考慮していないためパッチの境界が目立ち、ユーザに違和感を与えてしまう可能性がある。そこでパッチを重畳描画した画像に平滑化処理を加えた。また、遮蔽物を視覚的に除去することによって、遮蔽物との距離感が把握できずに衝突事故を起こす危険性がある。そこで、遮蔽物を完全に透過するのではなく、意図的に半透過することでこの問題を解決する。

提案手法では、自車両が取得した画像と平滑化処理を加えた死角領域の可視化画像を α ブレンディングによって合成する。ブレンドする際、透過度は遮蔽物の画像上の明度に応じてピクセルごとに設定し、明度が高いピクセルほど透過度を高く、明度が低いピクセルほど透過度を低くする。これは遮蔽物の明度が高い部分ほど半透過した死角領域が見えにくいことに考慮している。遮蔽物の輪郭は透過しないこと、遮蔽物の視認性を向上させ、遮蔽物の見落としによる事故の発生を低減させる。このような一連の処理に基づく除去対象の可視化表現を半隠消表示と定義する。

3.4 移動物体の可視化

死角領域を可視化した後に、他車両のカメラ画像から生成した移動物体の 3D モデルを重畳することで、死角領域内に存在する移動物体の可視化を行う。

従来のように取得した 3 次元点群に対してパッチを重畳して移動物体を可視化する手法では、現フレームの LiDAR の 3 次元点群が可視化対象となる移動物体全体を検出する必要がある。しかし、LiDAR の垂直方向の FOV やスキャンラインの制約によって、移動物体全体を観測することが難しく、不完全な移動物体を可視化する場合がある。また移動物体と車両の位置関係によっては、ユーザが可視化結果から移動物体の存在を認識するのが困難な場合がある。そこで移動物体と車両の位置関係に影響されず、移動物体の存在や姿勢、色情報を把握しやすい可視化結果を得るために、移動物体の 3D モデルを作成する。本研究では、まず対象を人とした可視化を目指す。

人のモデルの作成には Human Mesh Recovery[9] を利用する。この手法では、単一の RGB 画像から人の姿勢を推定し、推定した姿勢情報を既存の人体モデルに反映させる。

これによって欠損のない人体の 3D モデルを作成することができる。ただし、Human Mesh Recovery で生成される 3D モデルは対象の移動物体の姿勢のみが反映されているため、テクスチャは別途作成しマッピングする必要がある。そこでテクスチャの生成・マッピングには DensePose[10] を利用する。DensePose は、画像上の人の身体部位が 3D モデル上のどの部位に相当するかを推定して部位ごとにセグメントし、マッピングする。

このようにして作成したテクスチャ付き 3D モデルの位置姿勢を、観測視点から自車両視点に対応するように変更させる。ここでは、LiDAR が取得した移動物体の 3 次元点群を自車両のカメラ画像上に投影し、その点群の中で最も高い位置にある点を 3D モデルの頂点として位置を決定する。また、Autoware の自己位置姿勢推定機能を利用して自車両と他車両の姿勢を求めることで 3D モデルの姿勢を決定する。さらに他車両が移動物体を観測して作成した 3D モデルの大きさを基準に、自車両視点から見た 3D モデルの大きさは、他車両と移動物体の距離に対する自車両と移動物体の距離の比に応じて拡大・縮小する。

4. 実験

4.1 実験内容

本実験では図 3 に示すように屋外に車両を配置し、自車両視点から前方の他車両を除去対象として移動物体を含む死角領域の可視化を行なった。将来的には車両間での直接的な通信を想定しているが、本実験では、実験時に各車両が取得した 3 次元点群と画像を BAG 形式で保存し、ROS 上でトピック通信を行い結果を確認した。

4.2 システム構成

自車両には、LiDAR として Velodyne 社製 VLP-16 HiRes、RGB カメラとして FLIR 社製 Flea3 を搭載した。他車両には、Velodyne 社製 VLP-32MR、Point Grey 社製 Flea3 を搭載した。本実験にて使用した PC は、Autoware の実行に必要なスペックに合わせたものである。OS は Ubuntu16.04 を用いたため、モジュール間の接続に使用する ROS のバージョンは ROS Kinetic を使用する。

また、死角領域を可視化する際、画素の投影誤差を低減させるため、Colmap を使用して内部パラメータを取得した。さらに、LiDAR-カメラ間の対応付けは有富ら [11] が提案した手法でキャリブレーションを行った。

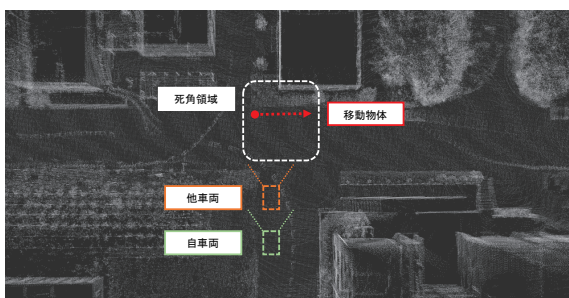


図 3: 車両配置と移動物体および死角領域の位置関係

4.3 結果と考察

自車両または他車両が観測した画像を図 4 に示す。また、図 5 に拡張した機能である移動物体の可視化の過程を示す。また、図 5(b)、図 5(c)、図 5(d) を拡大したものをそれぞれ図 6、図 7、図 8 に示す。

図 5(a) のように単純にパッチを重畳した場合、パッチの画素値の連続性を考慮していないため、特に除去対象領域中心から上部にかけてパッチの境界が確認できる。また、除去対象を視覚的に透過することで、除去対象を認識できず、衝突事故を起こす危険性がある。このような問題は図 5(b) のように半隠消表示を行うことで解決している。パッチにぼかしを付与することで境界部はほとんど目立たず、除去対象を半透過し輪郭を強調することで除去対象の存在を認識しやすくなった。しかし、ぼかしを付与したことによって死角領域内の移動物体の認識が困難となった。この問題に対しては、移動物体の 3D モデルを作成し重畳描画することで、移動物体の視認性を確保できていることが確認できる。また、図 5(d) では移動物体の見落としを防止するために移動物体を強調表示し、距離を提示している。

図 9 は死角領域内に存在した物体が移動して除去対象領域外に現れた際の可視化結果である。ここで示すように、死角領域内に移動物体が存在しない場合、3D モデルの重畳はせず、静的な背景の半隠消表示のみを行なっていることが確認できる。

しかし、提案するシステムの移動物体の 3D モデルを重畳する可視化表現において、図 10 に示すように、3D モデルのサイズの急な変更や描画位置のズレが確認された。これは本システムにおいて 3D モデルの描画位置は LiDAR がセンシングした点群に依存しているために発生したと考えられる。LiDAR の点群は垂直方向の FOV 内を一様に取得できない。死角領域内の移動物体が動いた場合、その移動物



(a) 他車両視点画像 (b) 自車両視点画像

図 4: 入力画像



(a) パッチの重畳描画 (b) 半隠消表示



(c) 3D モデルの重畳描画 (d) 3D モデルの強調表示

図 5: 移動物体の可視化画像の生成過程

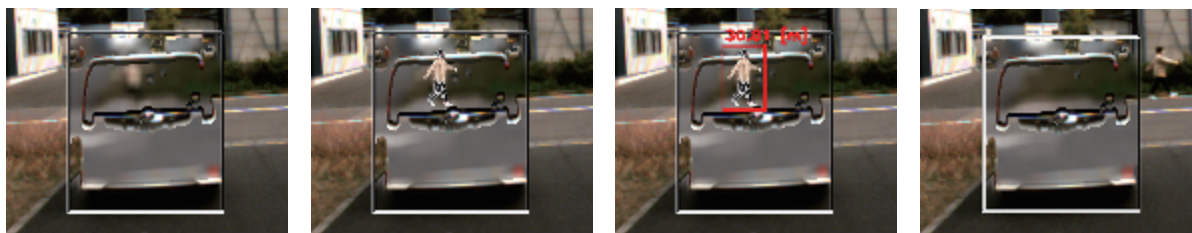


図 6: 図 5(b) の拡大図

図 7: 図 5(c) の拡大図

図 8: 図 5(d) の拡大図

図 9: 死角領域内に移動物体が存在しない場合



(a) 1 フレーム目

(b) 2 フレーム目

(c) 3 フレーム目

図 10: 各フレームの可視化結果の比較

体を含むスキャンラインが変化したことが原因である。この問題を解決するには、移動物体の点群に頭部や腕部など、身体部位の ID を付与することが考えられる。具体的には点群に ID を付与し、作成した 3D モデルも身体部位ごとにセグメントする。そして、点群の ID と対応するようにセグメントした各部位のモデルを描画する。また、ID を付与できない点群が存在しても他の部位の位置やサイズによって相対的に描画すべき部位モデルの位置や大きさを決定する。これによってモデルサイズや描画位置の問題を緩和できると考える。

5. むすび

本稿では、車両を透過する際の安全性や移動物体を含む死角領域の視認性を考慮した表現方法を実装したシステムを開発した。具体的には、死角領域内の静的な背景には半隠消表示を適用し、移動物体には 3D モデルを作成し重畳描画した。

また、この提案システムにおける可視化モジュールは車両間の通信により情報を共有することで死角領域の可視化を行うシステムに実装されることを前提として構築した。今後は、提案した可視化モジュールを平松らのシステムに導入し、実際に通信を行なって可視化を行う。また、今回実装した以外の表現方法についても検討し、各表現がユーザーに与える影響について評価を行う。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究 (B) 17H01747 の支援による。

参考文献

- [1] 森, 他: 隠消現実感の技術的枠組と諸問題~現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について~, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 239-250, 2011.
- [2] 竹村, 他: 自動運転ソフトウェアを活用した死角領域の半隠消表示, 日本 VR 学会第 23 回大会論文集, 14D-1, 2018.
- [3] 平松, 他: 安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法 (1) - 車車間通信モジュールの設計と実装 -, 日本 VR 学会第 25 回大会論文集, 2020.
- [4] M. Quigley, *et al.*: ROS: An open-source robot operating system, Proc. ICRA Open Source Software Workshop, pp. 1-6, 2009.
- [5] K. Oishi, *et al.*: An instant see-through vision system using a wide field-of-view camera and a 3D-Lidar, Proc. ISMAR, pp. 344-347, 2017.
- [6] K. Kojima, *et al.*: Naviview: Visual assistance by virtual mirrors at blind intersection, Proc. IEEE ITS, pp. 592-597, 2005.
- [7] F. Rameau, *et al.*: A real-time augmented reality system to see-through cars, Proc. ISMAR, pp. 2395-2404, 2016.
- [8] ダイナミックマップ基盤株式会社 | ダイナミックマップ協調領域: <https://www.dynamicmaps.co.jp/service/index.html> (2020 年 8 月 7 日)
- [9] A. Kanazawa, *et al.*: End-to-end recovery of human shape and pose, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 7122-7131, 2018.
- [10] R. A. Guler, *et al.*: Densepose: Dense human pose estimation in the wild, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 7297-7306, 2018.
- [11] 有富, 他: 自動運転ソフトウェアを活用した周辺車両の半隠消表示-物体検出モジュールによる半隠消候補領域の抽出-, 情報処理学会第 81 回全国大会講演論文集, 6R-04, pp. 2-215-2-216, 2019.