



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 －

Half-DR Expression of Peripheral Vehicles for Supporting Safe Driving, Part 1
- Design and Implementation of V2V Module -

平松黎, 有富友紀, 若林優, 木村朝子, 柴田史久

Rei HIRAMATSU, Tomonori ARITOMI, Suguru WAKABAYASHI, 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: 本研究では, 周辺車両によって生じた死角領域を実時間で可視化するシステムの実現を念頭に, 車車間で死角領域に関する情報を送受信するためのモジュールを設計・実装した. 提案モジュールでは, ROS ベースのシステムで動作する各車車間で, 可視化に必要な情報を独自で設計したフォーマットで送信する. システムの使用が想定される状況を模した実験を行い, 開発したシステムにより死角領域の可視化ができることを確認した.

キーワード: 隠消現実感, 車車間通信, LiDAR, 自動運転ソフトウェア

1. はじめに

道路環境における死角領域は, 車両同士の衝突や歩行者の飛び出しによる事故などの原因になりうる. 搭乗者にとっても死角領域の存在は心理的負担につながると考え, 我々は自動運転車が普及するまでの過渡期と普及後の社会を前提に, 隠消現実感技術[1]を用いて死角領域を可視化するシステムを提案した[2]. 将来的な自動運転車の普及に伴い, 運転者への死角領域の可視化といった安全運転支援は必要なくなるという見方もあるが, 死角領域の可視化は, 自動運転車による危険回避行動の原因や意図を搭乗者に伝えることができるため, 必要だと考える.

我々が提案するシステムは, 死角領域を観測している車両(観測車両)が取得した死角領域内の 3 次元点群やカメラ画像などの情報を利用者の車両(自車両)と共有することで可視化する(図 1). また実現性を考慮し, 将来車両に搭載される可能性の高いセンサと運転支援モジュールを活用する. 先行研究では, 1 台の車両の走行データから作成した仮想的な自車両と観測車両のデータを用いて, 提案する可視化手法により死角領域の可視化ができることを確認した[3]. しかし, 仮想的な状況下での使用を前提としていたため, 車車間のデータ共有方法や描画に必要な処理速度に関して検討不足であった.

本研究では車車間で死角領域の情報を送受信する通信モジュールを設計・実装し, 死角領域を可視化するシステムを開発する. 開発したシステムの利用が想定される状況を模した車両配置で実験し, システムを使用することで死角領域の可視化ができるかを確認した.

2. 関連研究

2.1 道路環境における死角領域の可視化

道路環境における死角領域の可視化に着目した従来研究の多くは, 専用の機器やインフラが利用できることを前提とした設計であるため, 実現性が不透明である. 例えば, Kojima らが提案した「NaviView」は, 見通しの悪い交差点に設置した監視カメラの映像を仮想的なミラーとして運転手に提示する[4]. しかし, 道路環境のすべての場所をカバーしてカメラが設置されるとは考えにくいため, 実現性は低い. また, 笹井らは拡張現実感技術を用いて, 死角領域を可視化するシステムを提案した[5]. 具体的には, 自車両によって生じた死角領域を車両の前方に設置したカメラで撮影し, プロジェクタによりダッシュボード上に表示する. このシステムも車両に搭載される可能性の低い機器を使用しているため, 実現性が低いと考える.

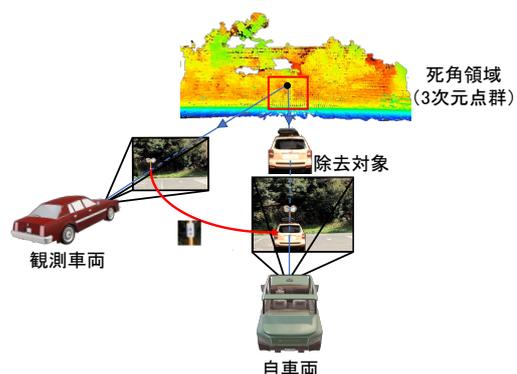


図 1 提案システムにおける可視化手法のイメージ

さらに Rameau らは、自車両の前方を走る車両に搭載したステレオカメラで取得した画像を用いて、前方車両自体を視覚的に除去するシステムを提案した[6]。このシステムでは、現在すでに車両に搭載されているステレオカメラを使用しているため、実現性が高い。しかし、透過する対象は自車両の前方を走行する車両のみであり、使用できる状況は限定される。ほかにも車両を透過し、死角領域を可視化する研究は行われている[7]。

2.2 自動運転技術

様々な企業や組織が自動運転技術に関する研究を行っており、アメリカの Waymo や Tesla などの企業は、一部の公道において走行実験を実施している。同様に日本国内の企業も活発的に開発を行っており、Kato らが開発している Autoware [8]は国内の公道で走行した実績がある。

こうした実際の環境で走行するための技術だけではなく、自動運転技術の開発を支援するためのシミュレータについても開発が行われている。中でも CARLA Simulator [9]は、オープンソースのシミュレータであり、RGB カメラや Depth センサ、LiDAR (Light Detection and Ranging) などの各種センサに対応している。また、NVIDIA もシミュレータの開発をしており、現実の環境を忠実に再現ができるといった特徴を持つ[10]。

3. 開発したシステム

3.1 使用機器とソフトウェア

開発したシステムは、将来的に車両に搭載される可能性の高いセンサである LiDAR と RGB カメラを用いる。2章で述べたとおり、自動運転に関連するソフトウェアはいくつか存在するが、今回は Autoware のモジュールを運転支援モジュールとして活用する。Autoware は、Robot Operating System (ROS) [11]をベースとしており、再利用や追加のモジュールの組み込みが容易であるのに加え、公道での自動運転の実績があるためである。以下に、開発したシステムで使用する Autoware のモジュールを示す。

センシング：カメラ、LiDAR, GNSS 受信機, IMU などのセンサからデータを取得

3次元地図作成：LiDAR で取得した3次元点群から3次元点で構成された環境地図を作成

自己位置推定：3次元地図中の点群と LiDAR で取得した点群のマッチングを行い、3次元地図内における車両の位置姿勢を推定

物体検出：カメラで取得した画像内における人や車両などの物体を検出

上記に加え、カメラ画像に LiDAR で取得した3次元点群を投影するモジュールや独自で開発したモジュールを活用する。図2に簡略化したシステム構成を示す。

3.2 死角領域の可視化方法

死角領域の可視化は、LiDAR による3次元点群を用いて、従来からある簡易的な Point-based Rendering 手法に基づいて行う。具体的な可視化処理の流れを次に示す。

- (1) 3次元地図を予め作成しておき、自車両と観測車両で共有する。
- (2) 各車両は、Autoware の自己位置推定機能を用いて、3次元地図内における位置姿勢を推定する。
- (3) 観測車両は、LiDAR より得られた点群をカメラ画像に投影し、投影できた点群を抽出する(図2における前処理)。
- (4) 観測車両から自車両へと死角領域に関する情報を送信する。
- (5) 自車両のカメラ画像内における除去対象車両の範囲を物体検出や手動で定める。
- (6) 観測車両のカメラ画像に(4)で得られた点群を投影し、3次元点とカメラ画像上の死角領域部分の色情報を対応付ける。
- (7) (5)で得られた範囲に(4)で得られた点群を投影し、(6)で対応付けた色情報を重畳描画する。

3.3 車車間通信モジュールの設計と実装

3.2節で述べたとおり、死角領域の可視化には、観測車両から自車両へ死角領域に関する情報を送信する必要がある。送信する情報は、カメラ画像や位置姿勢情報、3次元点群に加え、カメラ画像上に点群を投影するためのパラメータ(以下、投影用パラメータ)の4つである。投影用パラメータとは、カメラの内部パラメータ、カメラと LiDAR 間の外部パラメータを指す。

観測車両が送信するカメラ画像は、可能な限り高解像で鮮明であることが望ましい。しかし、車車間通信の方式や周囲の通信環境によっては、大容量の非圧縮画像を送信できない可能性も考えられる。本システムの目的は安全運転の支援であり、可能な限りシステムを使用できることが好ましいため、実装するモジュールには通信品質に応じて送信する画像のフォーマットや圧縮率を変更できる機能を設ける。画像フォーマットは、非圧縮形式のほか、JPEG 形式、PNG 形式を選択可能とする。そのため、フレーム毎のカメラ画像のデータ容量は一定ではない。また、送信する3次元点群もセンシングする環境によって、取得できる点群数が異なるため、フレーム毎のデータ量は可変である。加えて、LiDAR のスキャンデータ内には、取得したデータが正常であるかを表す情報が含まれており、その情報も3次元点群とともに送信する。位置姿勢情報は、位置 (x, y, z) と姿勢 (x, y, z, w) から成り、

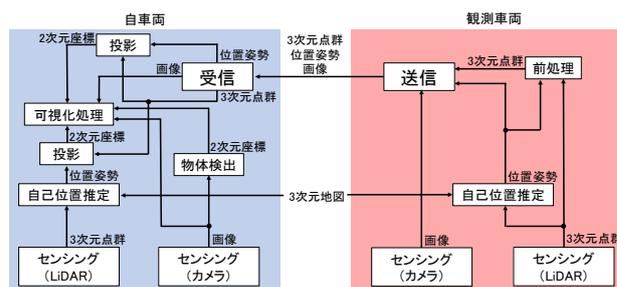


図2 システムのモジュール構成

それぞれ 8 bytes で表現されるため、送信するデータは固定長の 56 bytes である。

観測車両は、上述した 3 種類のデータをフレーム単位でまとめたフォーマットに変換して、自車両へ送信する。本研究では、各データの情報を記載したヘッダ部とデータ本体であるメインデータ部の 2 つで構成されるフォーマットを設計した(図 3)。ヘッダ部は 10 bytes で表され、画像サイズを表す ImageLength 部 (4 bytes) や画像のフォーマットを表す Format 部 (1 byte)、3 次元点群の数を表す PCLength 部 (4 bytes)、点群データが正常かを表す Check 部 (1 byte) で構成される(図 4)。また、メインデータ部は可変長の画像と点群データ、56 bytes の位置姿勢データで構成される(図 5)。

自車両は、観測車両から受け取ったデータに含まれるヘッダ部の情報を参考にメインデータ部から死角領域に関する情報の抽出する。なお、投影用パラメータについては通信路確立時に観測車両側から送信するものとする。また、車車間でのデータ共有方法に関して、5G NR を用いた sidelink [12]やインターネットを経由した通信方法など多くの研究が行われているが、本研究で実装した通信モジュールは送信先の車両は IP アドレスによって指定し、プロトコルには TCP を使用する。

4. 実験と考察

4.1 実験内容

自車両の前方に車両があり、その車両によって死角領域が生じている状況を想定し、図 6 のような車両配置で開発したシステムにより死角領域の可視化ができるかを確認した(図 7)。2 台の車両に設置した計算機はルータ (Buffalo WXR-2533DHP2) を介して、有線の Gigabit Ethernet により通信を行う。送信する画像は JPEG 形式 (圧縮品質: 100) とした。また、表 1 に車両に搭載したセンサを示す。表中の GNSS 受信機と IMU は車両の自己位置推定を開始する際の位置姿勢を定めるために使用し、

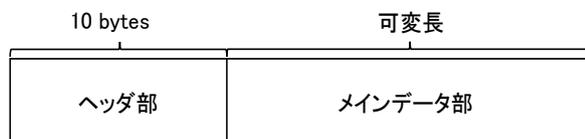


図 3 送信時のフォーマット

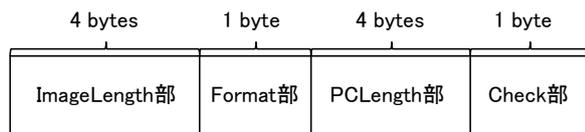


図 4 ヘッダ部の構成

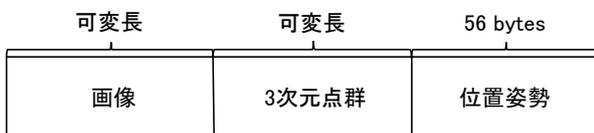


図 5 メインデータ部の構成

LiDAR とカメラのセンシング周期は 20 Hz とした。なお、配置した 2 台の車両は搭載した計算機への電力供給の都合上、ともに停車している状況下で実験する。

4.2 実験結果

図 8 に実験結果の一部を示す。実験結果を確認すると、前方車両から情報を受け取ることで車両を透過し死角領域を可視化したことが分かる。具体的には、システムを使用することで死角領域に存在した歩行者を視認できるようになった。また、観測車両から自車両へ送信したデータの容量は、周囲の状況によって増減するが、1 フレームあたりの平均をとると約 963 KB であり、約 19 MB/s の通信を行った。共有したデータのうち、画像は約 833 KB、点群データは約 124 KB (約 7,770 点) である。

可視化処理の速度は、ROS 上で可視化結果だけを表示するのであれば約 16 FPS であり、先行研究時の約 1 FPS と比べ向上した。また、使用した画像や可視化結果を画像ファイルとして生成すると約 4 FPS となった。

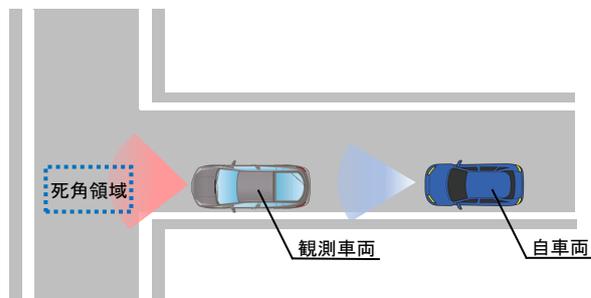


図 6 車両配置のイメージ



図 7 自車両視点のカメラ画像

表 1 使用したセンサ

	自車両	観測車両
LiDAR	Velodyne VLP-16 HiRes	Velodyne VLP-32 MR
カメラ	Point Grey Flea3	FLIR Flea3
GNSS 受信機	MSJ 多周波マルチ GNSS 受信モジュール	
IMU	RT USB 出力 9 軸 IMU センサモジュール	

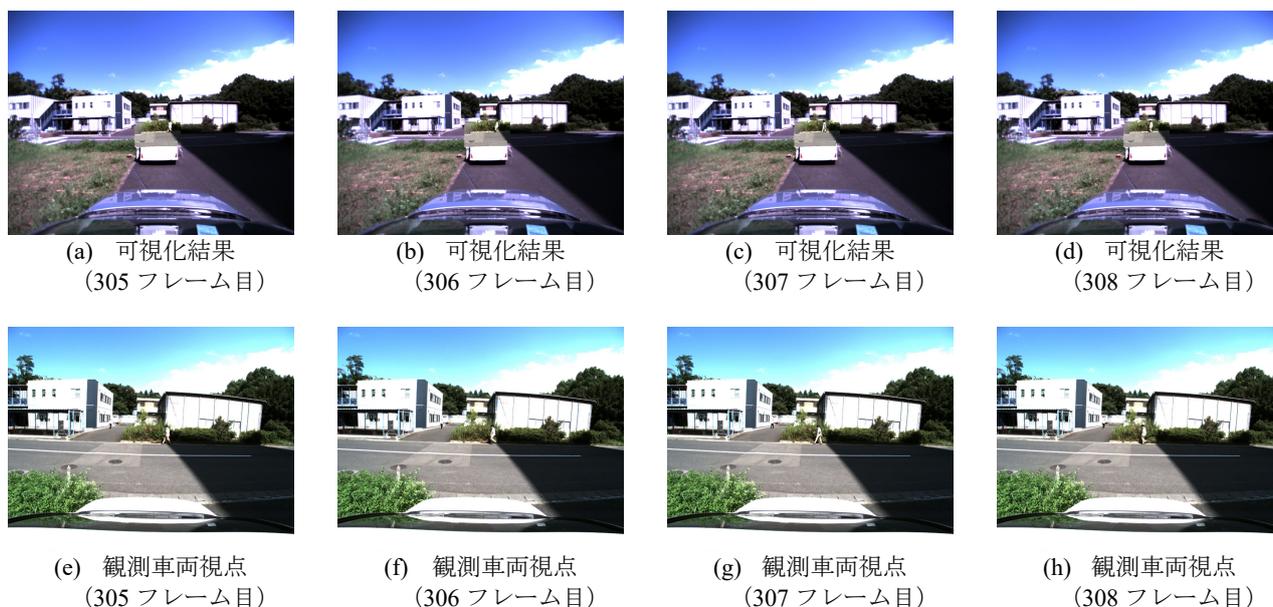


図8 実験結果の一部

4.3 考察

実験により、可視化処理における描画部分の課題が見つかった。まず、観測車両と自車両のカメラ画像を確認すると光学的なずれが生じている。この課題に関しては、使用するカメラの設定を調整することで解決できると考える。また、開発したシステムの可視化手法では、車両を透過したことにより車両自体を認識できない可能性や、車両の位置関係によっては死角領域内に存在する歩行者の把握が困難な場合があった。そのため、可視化する際の表現法や移動物体を含めた死角領域の可視化手法の検討を進めている[13]。さらに、今回の実験結果より、開発したシステムは大容量通信を必要とすることが分かった。しかし、画像の圧縮率を調整することで共有するデータの容量削減は可能であるため、今後、可視化処理に使用する画像の解像度が可視化結果に対して与える影響を調査する。

5. むすび

本研究では車車間通信モジュールを設計・実装し、複数の車両間で死角領域に関する情報を共有することで可視化するシステムを開発した。また、屋外で2台の車両を用いた実験により、開発したシステムを用いることで、前方車両を透過し死角領域を可視化できることを確認した。しかし、可視化処理に対する課題が見つかったため、今後それらの解決策の検討を進めていく。

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] 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, 第 63 回システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, OS15-3, pp. 438 - 439, 2019.

[4] K. Kojima, *et al.*: NaviView: Visual assistance by virtual mirrors at blind intersection, Proc. IEEE ITS, pp. 592 - 597, 2005.

[5] 笹井, 他: 自動走行車両搭乗者のストレス軽減を目的とした死角領域と車両制御情報の可視化, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 22, No. 2, pp. 189 - 198, 2017.

[6] F. Rameau, *et al.*: A real-time augmented reality system to see-through cars, IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, vol. 22, No. 11, pp. 2395 - 2404, 2016.

[7] H. -I. Chen, *et al.*: Integrating dashcam views through inter-video mapping, In 2015 IEEE Int'l Conf. on Computer Vision (ICCV), 2015.

[8] S. Kato, *et al.*: An open approach to autonomous vehicles, IEEE Micro, Vol. 25, Issue 6, pp. 60 - 68, 2015.

[9] A. Dosovitskiy, *et al.*: CARLA: An open urban driving simulator, Proc. 1st Annual Conf. on Robot Learning (CoRL), pp. 1 - 16, 2017.

[10] NVIDIA | NVIDIA DRIVE Constellation: <https://www.nvidia.com/ja-jp/self-driving-cars/drive-constellation/> (最終検索日: 2020 年 8 月 7 日).

[11] M. Quigley, *et al.*: ROS: An open-source robot operating system, Proc. ICRA Open Source Software Workshop, pp. 1 - 6, 2009.

[12] S. Lien, *et al.*: 3GPP NR sidelink transmissions toward 5G V2X, in IEEE Access, vol. 8, pp. 35368 - 35382, 2020.

[13] 若林, 他: 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 -, 日本 VR 学会第 25 回大会論文集, 2020.