

安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法(3) - 5G 環境下における性能評価実験 -

平松黎¹ 若林優¹ 佐々木俊希² 木村朝子¹ 柴田史久¹

概要: 道路環境における車両や建物に起因する死角領域の存在は、交通事故や搭乗者のストレスの原因となる恐れがある。そのため、死角領域を可視化することは事故の防止やストレスの軽減に繋がると考えられる。我々はこのような考えの下、実現性を考慮して、将来車両に搭載される可能性の高いセンサとソフトウェアのモジュールを活用し、車車間で情報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ている。先行研究では提案システムを構築し、実車実験を行うことで提案手法により死角領域の可視化ができることを確認した。しかし、ルータを介した有線の Gigabit Ethernet を用いた通信による簡易的な実験を行ったため、システムの課題や使用する通信方式に求められる性能などの確認が不十分だった。そこで本研究では、5G とドコモオープンイノベーションクラウド[®]を組み合わせた通信方式を使用した実車実験を行い、システムと通信方式の性能分析を行う。

Half-DR Expression of Peripheral Vehicles for Supporting Safe Driving, Part3 - Performance Evaluation Experiment under 5G Environment -

REI HIRAMATSU¹ SUGURU WAKABAYASHI¹ TOSHIKI SASAKI²
ASAKO KIMURA¹ FUMIHISA SHIBATA¹

1. はじめに

道路環境における車両や建物などに起因する死角領域は、車両同士の衝突や歩行者との事故だけでなく、搭乗者のストレスの原因となる恐れがある。そのため ITS (Intelligent Transport Systems) の分野では、現実世界の物体を視覚的に除去する技術である隠消現実感技術[1]を用いて、死角領域を可視化する取り組みが行われている[2]。その他にも同分野では、人が介入しなくても走行が可能な自動運転技術[3]に加え、車車間や路車間で情報共有するための通信技術[4]などの研究がある。

我々は事故の防止や搭乗者のストレス軽減を目的として、車車間でセンサ情報の共有を行うことで死角領域を可視化するシステムを提案している(図1)[5]。本システムでは、自動運転車が普及するまでの過渡期と普及後を想定し、将来車両に搭載される可能性が高いセンサとソフトウェアのモジュールを最大限に活用して可視化を行う。自動運転車が普及すれば、このような安全運転支援技術は必要ないという見方もあるが、システムが全ての操作を行う完全な自動運転であるレベル 5[6]においても、本取り組みは効果が期待できると考えている。なぜなら、自動車による危険回避動作の意図の伝達や周囲が見えないことにより生じる搭乗者のストレスの軽減ができる可能性があるためである。また、完全自動運転が可能な車両においても自動

運転を強いられるのではなく、従来の運転手が行う運転と切り替えられる可能性もある。そのため、冒頭で述べたような事故の防止も可能だと考えている。

先行研究ではシステムを構築し、2 台の車両を用いた実験を行うことで、提案手法により死角領域を実時間で可視化できることを確認した[7]。しかし、この実験では車車間を有線の Gigabit Ethernet (GbE) で接続して簡易的に実験したため、実利用を考えた場合のシステムの課題や使用する通信方式に求められる性能などの確認が不十分であった。

そこで本研究では、現在も研究が行われている車車間通信の手法の一つである 5G を使用した実験によって、システムや通信方式の性能分析を行う。なお、本実験では、NTT ドコモが提供する MEC (Multi-access Edge Computing) サービスであるドコモオープンイノベーションクラウド[®][8]を合わせて使用する。

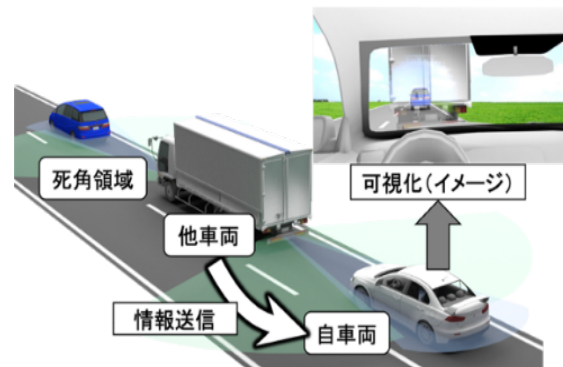


図1 提案システムの利用イメージ

1 立命館大学大学院情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
2 立命館大学情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

2. 関連研究

2.1 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関する研究の多くは、専用の機器やインフラの利用を前提としている。例えば、Kojimaらは、交差点に設置した監視カメラの映像を加工することで、周囲の死角領域を視覚的に運転手に提示するシステムを提案した[9]。また、笹井らは拡張現実感技術を用いて、自車両によって生じた死角領域をカメラとプロジェクタによりダッシュボード上に表示するシステムを提案し、実際に可視化を行った[10]。このような研究における実験では、実際に車両に設置される可能性が低い機材の使用や実環境に機材が網羅的に設置されることを前提としており、実現性が不透明である。

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により、前方車両自体を視覚的に除去するシステムの提案を行った[11]。このシステムでは、既に車両に搭載されているセンサを使用しているため、実現性が高い。しかし、透過対象が前方を走行する車両のみであり、使用できる状況に制限がある。同様に、前方車両によって生じた死角領域を可視化する研究としては、Chenらの取り組みが挙げられる[12]。

2.2 自動運転技術

近年、アメリカのWaymoや中国のBaiduなどの企業が実際の公道での走行実験を行うなど、自動運転車の実現に向けた取り組みが進んでいる。海外だけでなく、日本国内においても開発や実験が行われており、例えば、名古屋大学発の企業は、オープンソースの自動運転用のソフトウェアであるAutoware[13]を開発し、日本国内の公道で走行実験を行った。2021年3月には、日本の本田技研工業がレベル3の自動運転が可能な車両「LEGEND」をリース販売するなど、一部の技術は実用化されている[14]。

自動運転を行う際に必要とされる車両周辺の情報を取得するセンサとしては、測距センサのLiDAR (Light Detection And Ranging) が注目を集めている。LiDARとは、レーザ光を照射することで、周囲の状況を3次元点の集合として取得が可能なセンサである。このセンサから得られた情報と予め作成・取得しておいた道路環境の形状や情報がまとめられている高精度な地図を照合させながら行う自動運転手法が多い。その他にも、LiDARで取得した3次元点群を用いた3次元的な物体検出手法[15]に加え、学習データの収集や検証のためのシミュレータ[16]などの検討も進められている。

2.3 ITS分野における通信技術

ITSには、自車両で完結するシステムだけでなく、車両と外部の機器間で情報のやり取りを行うシステムも存在する。代表例として、有料道路での支払いを停車せずに行うことができるETC (Electronic Toll Collection System) が挙げ

られる。ETCでは車載した機器と道路に設置された機器間でDSRC (Dedicated Short Range Communications) [17]によって、情報のやり取りを行うことで停車することなく、料金の支払いが可能である。日本国内で採用しているDSRC規格は、5.8GHz帯を使用しており、伝送速度は4Mbpsとなっている。そのため、文字や数字といった容量が小さいデータや小さな画像の送受信は可能だが、大容量データの大量送受信は困難とされる。無線通信として使用される方式はDSRCだけでなく、移动通信システムを活用した通信方式であるCellular-V2X (Vehicle to Everything) がある。第5世代移动通信システム(5G)を使用した規格の標準化もされており、ここでは2つの方式をサポートする。1つは、基地局を経由せず車両同士が直接通信を行うsidelink方式であり、2つ目は基地局を経由して広範囲の機器と通信を行う方法である。Mikamiらは、トラックの隊列走行にsidelinkを活用した実験を行い、実現の可能性を示した[18]。隊列走行とは先頭車両だけに人を搭乗させ、後続車両は無人で追従させる走行手法であり、ドライバー不足の解決や効率化が期待される。上記のような運転支援だけでなく、自動運転での活用も考えられており、2.2節で述べたような地図情報の更新にこれらの通信技術が使用される。

3. 提案システム

3.1 システム概要

我々は車車間や路車間で多様な情報を共有し合う社会の到来を想定しており、提案システムでは車車間でセンサ情報を共有することで死角領域を可視化する。また、実現性を考慮し、将来的に自動運転車に搭載される可能性の高いセンサとソフトウェアのモジュールの活用を目指す。

3.2 使用機器とソフトウェア

提案システムでは、現時点で自動運転車に搭載される可能性が高いセンサであるLiDARとRGBカメラの2つを主に使用する。ソフトウェアとしては、2.2節で述べたAutowareを採用し、本ソフトウェアを構成する基本モジュールを活用する。Autowareを採用した理由は3つあり、1つはオープンソースで開発されており、扱いやすいためである。2つ目は、Robot Operating System (ROS) [19]をベースとしており、1つのソフトウェアとしてではなく、基本モジュールの組み合わせにより、自動運転を行うことが挙げられる。これにより、Autowareを活用して構築したシステムにより可視化することができれば、その他の自動運転ソフトウェアへの適用も可能であると考えている。3つ目は、実際の公道での走行において使用した実績があるため、将来的に普及する自動運転車に搭載される可能性があるためである。

Autowareを構成するモジュールの内、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：カメラ、LiDAR、GNSS受信機、IMUなど

のセンサ・機器からデータを取得

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3
次元点群のマッチングを行い、地図内における車両の
位置姿勢を推定

物体検出：カメラやLiDARで取得したデータ内における
人や車などの物体を検出

提案システムでは、上記のモジュールと我々が開発した
モジュールを活用することで、死角領域の可視化を行う。

3.3 死角領域の可視化の流れ

死角領域の可視化は、従来からある Point-based Rendering
手法に基づいて行う。死角領域を可視化するためには、主
に以下の4つの情報を必要とする。

- ・自車両、他車両それぞれの位置姿勢情報
- ・自車両、他車両それぞれのカメラ画像
- ・自車両、他車両それぞれの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）
- ・他車両のLiDARで取得した3次元点群

死角領域を可視化するために行う処理の全体の流れを
以下に示す（図2）。

- (1) 3次元地図を予め作成しておき、自車両と他車両で共
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) 他車両は、LiDARより得られた点群をカメラ画像に
投影し、投影してきた点群を抽出する。
- (4) 他車両から自車両へと3次元点群、カメラ画像、位置
姿勢情報、投影用パラメータの4つを送信する。
- (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) 他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。

提案システムのモジュール構成を図3に示す。白色のモ
ジュールがAutowareで提供されているモジュールであり、
色付きのモジュールは我々が独自で開発したモジュールで
ある。各モジュール間で情報をやり取りし、適宜、処理を
行うことで死角領域の可視化を行っている。

3.4 点群を投影するための座標変換処理

他車両のLiDARで取得した3次元点群は、他車両LiDAR
座標系となり、直接、自車両や他車両のカメラ画像に投影
することができない。そのため、車両それぞれのLiDAR座
標系、カメラ座標系、画像座標系、3次元地図座標系（ワ
ールド座標系）の4つの座標系間で変換を行うことで、点
群の投影を行っている。各車両で行っている主な座標変換
の流れを以下に示す。

【他車両】

- (1) 他車両LiDAR座標系 → 他車両カメラ座標系
- (2) 他車両カメラ座標系 → 他車両画像座標系
- (3) 他車両LiDAR座標系 → 3次元地図座標系

【自車両】

- (1) 3次元地図座標系 → 自車両LiDAR座標系
- (2) 自車両LiDAR座標系 → 自車両カメラ座標系
- (3) 自車両カメラ座標系 → 自車両画像座標系
- (4) 3次元地図座標系 → 他車両LiDAR座標系
- (5) 他車両LiDAR座標系 → 他車両カメラ座標系
- (6) 他車両カメラ座標系 → 他車両画像座標系

他車両が行う座標変換(1)と(2)は、3.3節における(3)
の処理に相当する。

LiDAR座標系と3次元地図座標系間の変換には、
Autowareの自己位置推定から得られた3次元地図内にお
ける車両の位置姿勢情報を使用する。また、LiDAR座標系と
カメラ座標系間やカメラ座標系と画像座標系間の変換を行
うには、投影用パラメータを予め取得しておく必要がある。
投影パラメータとは、カメラの内部パラメータやカメラと
LiDAR間の外部パラメータの2つを指す。

3.5 車車間通信モジュール

3.3節で述べたとおり、死角領域を可視化するためには、
他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。具体的には、カメラ画像や位置姿勢情報、3次元
点群に加え、投影用パラメータの4つである。

他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

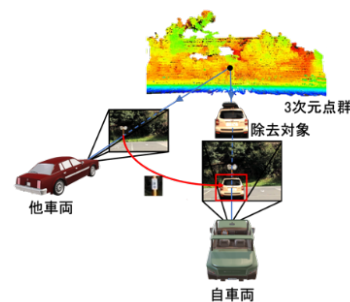


図2 可視化処理の流れ

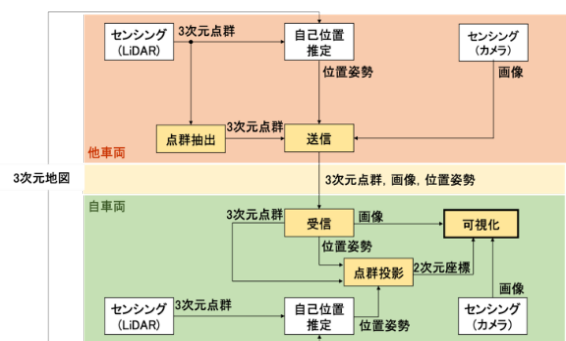


図3 モジュール構成

周囲の通信環境によっては、大容量の高解像度画像を送受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るため、求められる解像度は超高解像度ではなく、物体や人が視認できる程度の解像度である。そのため、本モジュールには通信品質に応じて送信画像のフォーマットや圧縮率を変更できる機能を設けた。画像フォーマットには非圧縮形式に加え、JPEG 形式、PNG 形式の3つを選択可能としている。したがって、フレーム毎のカメラ画像のデータ容量は可変となる。同様に、3次元点群もセンシングを行う環境によって、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。位置姿勢情報は、位置 (x, y, z) と姿勢 (x, y, z, w) から成り、それぞれ 8 bytes で表現されるため、送信データは固定長の 56 bytes となる。また、LiDAR のスキャンデータ内には、取得した点群データが正常であるかを表す情報が含まれており、この情報も 3次元点群とともに送信する。

上記の通り、送受信するデータには可変長のデータやフォーマットなどの情報が含まれる。そのため、本モジュールでは、各データの構成情報を含む Header 部とデータ本体である MainData 部の 2 つで構成されるフォーマットに変換し、送受信を行う (図 4)。Header 部は、10 bytes で構成され、画像のデータ容量を表す ImageLength 部 (4 bytes) と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 5)。MainData 部は、画像や 3次元点群、位置姿勢情報の 3 つを含む (図 6)。自車両は、他車両から送られてくるデータのうち、Header 部の 10 bytes 分を読み込み、得られた情報を元に MainData 部を受信する。そして、取得したデータから 3種類の情報の抽出を行う。投影用パラメータについては、車車間の通信

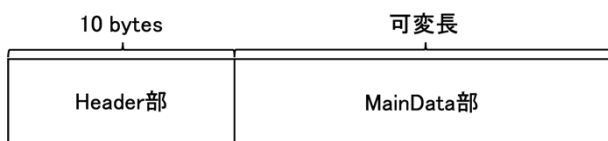


図 4 送受信のフォーマット

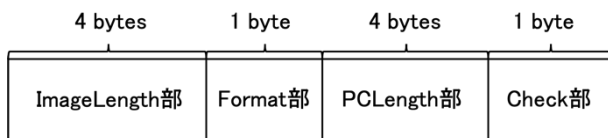


図 5 Header 部の構成

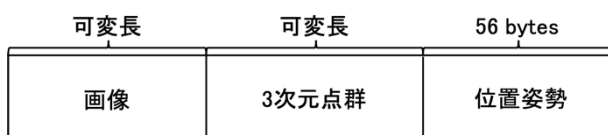


図 6 MainData 部の構成

路確立時に他車両が送信するものとする。今回は IP ベースの送受信を想定し、TCP の使用を前提としたモジュールとしている。

4. 実験

4.1 実験概要

提案システムを実利用した際に生じる課題や使用する通信方式に求められる性能を確かめるために実験を行った。本実験では、図 7 のように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模した車両配置とし、前方車両自体が死角領域の観測を行っている (図 8)。2 台の車両は、搭載した機器への電力供給の都合上、共に停車した状態とする。

システムの課題は、死角領域内に歩行者が「0 人」「1 人」「2 人」の 3 パターンで実験を行い、どのように可視化されるかで評価する。また、通信性能の評価は遅延時間とスループットの 2 つで行う。遅延時間はフレームごとの受信時間と送信時間の差から算出した。スループットは送信間隔も含めて 1 秒間で送受信出来るデータ量と定義する。詳細は次節で示すが 1 秒あたりの送信フレーム数は M とし、 i フレーム目のデータ容量 D_i 、受信時間 R_i 、送信時間 S_i を用いて、以下の式で求めた。

$$\frac{\sum_{k=Mn+1}^{M(n+1)} D_k}{R_{M(n+1)} - S_{Mn+1}} \quad (n \geq 0) \quad (1)$$

死角領域内に存在する歩行者の数が異なる 3 パターンそれぞれに JPEG 形式 (圧縮品質: 100, 90, 50) の 3 つを適応した 9 パターンの実験を行った。さらに、非圧縮形式の送受信も行い、大容量データの高速通信が可能かも確かめた。実験に際しては、 $M=20$ としている。計測に先立って、他車両と自車両の計算機を有線で直接繋ぎ、NTP を利用して内部時刻を同期させており、今回の実験では時刻のズレはないものとする。

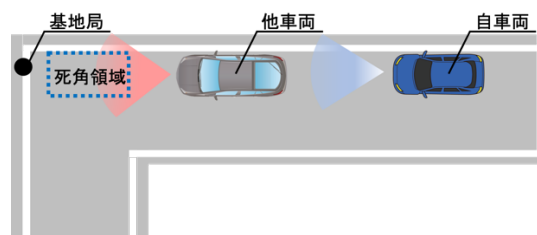


図 7 実験環境のイメージ図



図 8 自車両視点のカメラ画像

4.2 使用機材や通信方法

自車両と他車両に搭載した計算機を表 1 に、センサを表 2 に示す。LiDAR とカメラのセンシング周期は、20 Hz とし、GNSS 受信機と IMU は、Autoware の自己位置推定の初期位置を決める際に使用した。実験環境となる施設には、4.5 GHz, 3.7 GHz 対応の基地局が 1 台ずつと 28 GHz 対応の基地局が 2 台設置してあり、ミリ波と sub-6 が使用可能である。そのため、計算機と GbE で接続するルータには、sub-6 とミリ波に対応するモバイルルータ Wi-Fi STATION SH-52A[20]を使用した。

一般的なモバイルルータを用いて 5G のネットワークに接続すると、固定 IP アドレスではなく、動的 IP アドレスが割り振られるため、通信相手を特定できない。そのため、NTT ドコモが提供する MEC (Multi-access Edge Computing) サービスであるドコモオープンイノベーションクラウド®を使用し、固定 IP アドレスを計算機に割り振った。MEC は、よりユーザ端末に近い場所 (エッジ) に設置されたサーバで端末からのデータを処理する技術であり、低遅延な通信が実現できると期待されている。今回は、ドコモオープンイノベーションクラウド®のオプションサービスであるクラウドダイレクト™を用いて、ドコモネットワーク網における閉領域内で使用可能な IP アドレスをモバイルルータに割り振った。なお、モバイルルータと計算機間は GbE の有線接続とし、DMZ に設定している。これにより、インターネットを通さない閉領域内での端末間通信が可能となる。同様に固定 IP アドレスを割り振ることができる技術として VPN が考えられる。そこで、立命館大学内に OpenVPN

を用いた VPN サーバ (CPU: Core i9-9900K, メモリ: 32GB, OS: Ubuntu 18.04 LTS) を設置し、JPEG 形式の画像 (圧縮品質: 100, 90, 50) を用いて、性能を比較した。

4.3 死角領域の可視化

死角領域内に歩行者が 0 人のパターンの可視化結果を図 9 に、1 人のパターンを図 10 に、2 人のパターンを図 11 に示す。図 9, 10 を確認すると、他車両から情報を受け取り、可視化できていることがわかる。さらに図 10, 11 では、死角領域の可視化に加え、領域内に存在する歩行者の存在が確認できる。しかし、図 11 における 2 人の歩行者のうち、車両に近い歩行者は上半身だけが確認でき、歩行者としての認識ができない。掲載していない可視化結果においても、車両に近いもしくは可視化領域の中央から離れた位置に存在する場合や照明条件によっては歩行者の把握が困難だった。その他にも、結果全体を通して現実世界の歩道と可視

表 1 各車両に搭載した計算機

	自車両	他車両
OS	Ubuntu 16.04 LTS	
CPU	Intel(R) Core i7-7700	Intel(R) Core i7-9750H
メモリ	48 GB	32 GB
GPU	GeForce GTX 1080	GeForce GTX 1660

表 2 各車両に搭載したセンサ

	自車両	他車両
LiDAR	Velodyne VLP-16 HiRes	Velodyne VLP-32 MR
カメラ	FLIR Flea3	Point Grey 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	



(a)

可視化結果
(フレーム番号: 500)



(b)

他車両視点
(フレーム番号: 500)

図 9 歩行者が 0 人 (JPEG: 100)



(a)

可視化結果
(フレーム番号: 335)



(b)

他車両視点
(フレーム番号: 335)

図 10 歩行者が 1 人 (JPEG: 100)



(a)

可視化結果
(フレーム番号: 213)



(b)

他車両視点
(フレーム番号: 213)

図 11 歩行者が 2 人 (JPEG: 100)

化結果内の歩道とのズレが確認できる。このズレは先行研究でも起きており、自己位置推定と投影用パラメータを作成する際のキャリブレーションの精度が原因であると考えている。また、可視化処理の速度を、rostopic コマンドを使用して計測した結果、歩行者の数に関係なく、最大約 11 fps であった。

4.4 通信性能

ドコモオープンイノベーションクラウド®を使用する 10 パターンと VPN を使用する 3 パターンにおける遅延時間、スループット、データ容量を表 3 にまとめた。ドコモオープンイノベーションクラウド®を使用した際の送受信のフレームレートを計測すると、JPEG 形式の圧縮品質 100 で 9.7 fps, 同 90 で 17 fps, 同 50 で 19.8 fps, 非圧縮形式においては 2 fps であった。

スループットを確認すると、全体を通して最大値と最小値の差が大きいことが分かる。歩行者が 0 人のパターンで JPEG (圧縮品質: 50) を使用した場合であると、最大スループットは最小スループットの 2 倍以上となった。さらに、圧縮品質ごとの歩行者数と平均スループットに注目すると、歩行者数によってデータ容量はほとんど変わらないにも関わらず、平均スループットは約 15 ~ 24 Mbps の差が生じ、安定していない。自車両に設置した計算機において、一般の 5G 回線に接続した状態で Fast.com のインターネット回線の速度テスト[21]を用いて、速度測定を 2 回行った結果を次に示す。1 回目が上り: 41 Mbps, 下り: 1.0 Gbps であり、2 回目が上り: 99 Mbps, 下り: 750 Mbps だった。他車両においても同様の速度テストを行ったところ、1 回目が

上り: 110 Mbps, 下り: 470 Mbps, 2 回目が上り: 140 Mbps, 下り: 260 Mbps となった。これらの結果から、5G 技術は発展途上の技術であることがうかがうことができる。簡易的な手法でスループットを求めたが、5G とドコモオープンイノベーションクラウド®を用いて確保した通信路の今回の実験時におけるスループットは約 66 Mbps であると予想され、一般の 5G 回線での測定結果から上りの通信にボトルネックがあると推測される。

遅延時間もスループットと同様の結果となっている。具体的には、最大値と最小値の差や同一品質内における平均値の差が大きい。JPEG (圧縮品質: 50) の平均値を確認すると、歩行者が 0 人のパターンでは 0.157 s, 2 人のパターンでは 0.088 s と大きく異なる。平均遅延時間の内、最も小さな値は 0.088 s だったが、この数値は時速 10 km で走行する自車両と停車している車両間での送受信を想定した場合、受信完了までに自車両が約 0.244 m 走行することを意味する。

VPN を使用したときと比較すると、遅延時間とスループットと共にドコモオープンイノベーションクラウド®を使用した場合の数値がより優れていることが分かる。これは、MEC と VPN の仕組みの差が結果として表れたと言っている。

4.5 考察

図 10,11 を見ると、歩行者が小さく表示され認識が困難である。このような可視化した小さな物体の認識の困難さは先行研究においても生じている。システムの実利用を考えた場合、可視化結果に対する認識の曖昧さや迷いは運転

表 3 計測結果

送信データ	歩行者 (人)	スループット (Mbps)			遅延時間 (s)			データ容量 (MB)
		平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
JPEG (品質: 100)	0	66.272	70.977	38.029	0.275	1.505	0.159	1.004
	1	60.977	66.805	37.153	0.295	1.632	0.180	0.998
	2	42.261	48.154	26.437	0.445	1.737	0.318	0.992
JPEG (品質: 90)	0	47.404	51.133	30.532	0.238	0.608	0.190	0.359
	1	37.695	41.518	31.617	0.325	0.515	0.124	0.346
	2	32.325	36.604	19.012	0.373	1.208	0.242	0.341
JPEG (品質: 50)	0	28.666	32.511	13.334	0.157	0.726	0.079	0.201
	1	29.755	31.097	25.328	0.088	0.500	0.060	0.197
	2	29.813	30.941	26.467	0.091	0.336	0.048	0.195
非圧縮		67.654	73.682	52.434	0.640	4.130	0.495	4.049
JPEG (品質: 100,VPN)		16.479	22.568	12.167	0.737	1.581	0.311	0.999
JPEG (品質: 90,VPN)		17.883	25.971	8.448	0.400	1.112	0.135	0.356
JPEG (品質: 50,VPN)		13.388	15.993	6.000	0.306	0.973	0.149	0.202

者の危険回避動作の遅れに繋がると考えられる。特に死角領域内の歩行者の存在は事故発生の大きな要因になるため、運転手にこの存在を速やかに把握させる必要がある。そこで、我々は死角領域内の人に注目し、3Dモデルを投影することで直感的に歩行者の存在を認識できるような表現方法を提案している[22]。今後、この手法を組み込んだシステムの実車実験を行い、再度システムの課題を確認する予定である。また、可視化処理の速度が最大 11 fps であり、走行している車両間での使用を考えると遅い。この課題に対しては、点群の並列処理や GPU 処理により解決できると考えており、現在解決に向けた取り組み中である。

通信性能分析においては、VPN を使用した際の送受信と比較を行ったことで、MEC を使用することの利点を感じることができた結果となった。しかし、5G の電波の性質から生じる不安定さや基地局を経由するルーティングなどが原因により、車車間の大容量データの高速通信は困難であった。今回使用したような基地局経由での通信方式で大容量データの高速通信を行うのであれば、ルータや基地局の設定の調整、高周波数帯の無線通信を安定化させるための技術が必要であると考えられる。また、基地局を経由してしまうと周囲の利用状況に影響されやすい。そのため、提案システムのように低遅延性が求められるシステムで使用する場合には、sidelink のような直接通信でなければ、高速大容量通信は困難である可能性も考えられる。

5. むすび

本研究では、我々が提案する死角領域可視化システムの実利用に向けた実験を行い、システムの課題や使用した通信方式の性能を確認した。具体的には、LiDAR とカメラを搭載した 2 台の車両を使用し、車車間通信の手法として将来使用される可能性の高い 5G とドコモオープンイノベーションクラウド®を組み合わせた手法を活用した実験を行った。

実験の結果、5G を用いた基地局を経由した車車間の通信によって死角領域の可視化ができることを確認できた。また、死角領域内に存在する歩行者の数が異なるパターンの実験を行ったことで、歩行者の視認性や可視化処理の速度、投影ズレの 3 つの課題を確認することができた。

5G とドコモオープンイノベーションクラウド®を用いて確保した車車間の通信路においては、徐行している車両と停車している車両間での通信であれば利用ができると考えられる。しかし、我々が提案するシステムは、走行中においても死角領域の可視化を行うことを想定しているため、より高速大容量通信が可能な通信方式が求められる。今後は、今回の実験より得られた課題の解決策の検討を行い、実利用に向けた取り組みを進めていく。

謝辞 実験にご協力いただいた株式会社 NTT ドコモおよび株式会社ドコモ CS 関西の皆様にご感謝いたします。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] H. Li and F. Nashashibi, Multi-vehicle cooperative perception and augmented reality for driver assistance: A possibility to 'see' through front vehicle, 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 242 - 247, 2011.
- [3] R. Hussain and S. Zeadally, Autonomous Cars: Research Results, Issues, and Future Challenges, in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 32, no. 2, pp. 1275 - 1313, 2019.
- [4] S. Lien, *et al.*: 3GPP NR sidelink transmissions toward 5G V2X, in IEEE Access, vol. 8, pp. 35368 - 35382, 2020.
- [5] S. Ikeda, *et al.*: Diminished reality system based on open-source software for self-driving mobility, 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), pp. 354 - 357, 2018.
- [6] SAE Standard J3016_201806, Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles, 2018.
- [7] 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 —, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3B1-3, 2020.
- [8] 株式会社 NTT ドコモ | ドコモオープンイノベーションクラウド® : <https://www.nttdocomo.co.jp/biz/service/doic/> (2021 年 5 月 10 日)
- [9] K. Kojima, *et al.*: NaviView: Visual assistance by virtual mirrors at blind intersection, Proc. IEEE ITS, pp. 592 - 597, 2005.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] H. Chen, *et al.*: Integrating Dashcam Views through Inter-Video Mapping, 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 3110 - 3118, 2015.
- [13] S. Kato, *et al.*: An open approach to autonomous vehicles, IEEE Micro, Vol. 25, Issue 6, pp. 60 - 68, 2015.
- [14] 本田技研工業株式会社 | 自動運転技術の取り組み : <https://www.honda.co.jp/automateddrive/auto/> (2021 年 5 月 10 日)
- [15] A. H. Lang, *et al.*: PointPillars: Fast Encoders for Object Detection from Point Clouds, 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 12689 - 12697, 2019
- [16] NVIDIA | NVIDIA DRIVE Constellation : <https://www.nvidia.com/ja-jp/self-driving-cars/drive-constellation/> (2021 年 5 月 10 日)
- [17] 柳内, 他: ETC を支える無線通信方式 DSRC, 映像情報メディア学会誌 63 巻 2 号 pp. 179 - 184, 2019.
- [18] M. Mikami, *et al.*: Field Trial on 5G Low Latency Radio Communication System Towards Application to Truck Platooning. IEICE Transactions on Communications. E102.B, pp. 1447 - 1457, 2019.
- [19] M. Quigley, *et al.*: ROS: An open-source robot operating system, Proc. ICRA Open Source Software Workshop, pp. 1 - 6, 2009.
- [20] 株式会社 NTT ドコモ | Wi-Fi STATION SH-52A : <https://www.nttdocomo.co.jp/product/sh52a/> (2021 年 5 月 10 日)
- [21] Netflix | Fast.com : <https://fast.com/ja/>
- [22] 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 —, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3B1-4, 2020.