

車載カメラ利用に適した映像通信フレームワーク (2)

— 通信帯域を考慮した車列状況提示のための仮想視点移動映像生成法 —

平田 遼太郎^{*1} 菊池 裕太^{*1} 池田 聖^{*1} 木村 朝子^{*1} 田村 秀行^{*2} 柴田 史久^{*1}

Abstract — 既開発の複数車両間でセンサ情報を共有する映像通信フレームワークを基にし、応用例として距離画像とカラー画像から車線を 3 次元再構成し、車列停車時に仮想的な視点移動映像を運転者に提示するシステムを提案する。提案手法では、制限された通信帯域と車両の配置を考慮し、高解像度なキーフレームと車両間およびフレーム間の位置合わせに利用する特徴量記述子を送信することで、通信量の増大を避けつつ受信側において全フレームにわたる高解像度な画像の再構成を目指す。

Keywords: ITS, 映像通信フレームワーク, 距離センサ, 仮想視点映像

1 はじめに

安全運転支援や自動運転の実現を目的として、車両に搭載されるセンサの高機能化が進んでいる。現在販売されている自動車では、こうしたセンサから得た情報は主として搭載された自車両でのみ利用されている。一方で、今後は車両ネットワークを利用した車両間におけるセンサ情報の共有・活用が活発化することが予想され、車両間の通信に関する研究が盛んに行われている[1][2]。

そこで我々は、車載カメラで撮影したカメラ画像などのセンサ情報を、車両ネットワークを介して共有するための映像通信フレームワークを提案した[3]。同フレームワークでは、カメラから得られる画像や各種センサから得られる情報を連携させた様々なアプリケーションの実装を目標に、複数の通信方式（平成 23 年に総務省が制度化[4]した 700MHz 帯を利用した車車間通信 (Vehicle-to-Vehicle; V2V) や路車間通信 (Vehicle-to-Roadside; V2R), 車両と携帯電話等の基地局の通信 (Vehicle-to-Infrastructure; V2I)) を組み合わせて利用可能な仕組みを導入した。

先行研究では、映像通信フレームワークの一応用例として、仮想視点移動映像による車列状況提示システムを提案した[5]。これは、図 1 に示すように自車両から前方に存在する複数の車両間を移動し、車線上を進むような仮想的な視点移動映像を運転者に提示することで、車列の周辺状況の把握を支援するシステムである。我々は、複数の計算機間でフレームワークを利用した画像の送受信実験により、

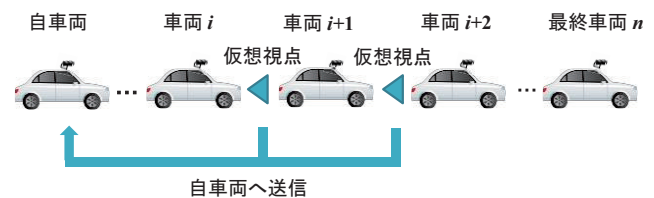


図 1 仮想視点移動映像による車列状況提示

640×480 画素のカラー画像を 10fps 以上で 2 車両間のやり取りが可能であること、取得した画像の切り替えによる仮想視点映像の生成が可能であることを確認した。しかし、車両間の任意の内挿点に視点を配置する方法や、実際の通信環境を考慮した仮想視点映像の生成法については実証されていない。また、2 車間でセンサ情報を共有し、前方車両に隠れた領域を映像提示する Rameau らの手法では、自車両に視点が固定された状況を想定しているため、車線上遠方の視認が困難であり、任意視点で車列状況を映像提示するには通信帯域についての検討が不十分である[6]。

そこで本研究では、車両間の滑らかな視点移動を実現するために、距離画像とカラー画像から車線を 3 次元再構成する仮想視点映像生成法を検討する。センサ情報の取得に際しては、実際の車列状況における車両の位置関係を考慮するため、複数台の実車両を配置したシーンを想定する。また、通信帯域の制限を想定した送信ビットレートを設定し、高解像度なキーフレームと車両間およびフレーム間の位置合わせに利用する特徴量記述子を送信することで、通信量の増大を避けつつ受信側において全フレームにわたり高解像度な画像の再構成を目指す。

*1 立命館大学大学院 情報理工学研究科

*2 立命館大学 総合科学技術研究機構

*1 Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

*2 Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

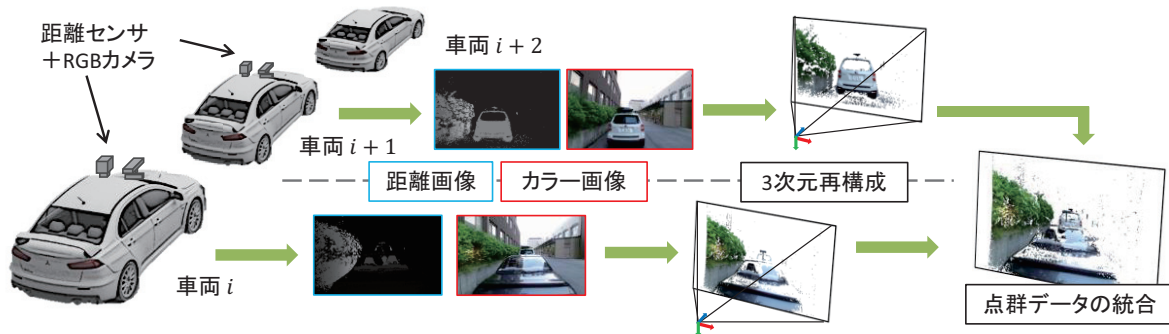


図2 仮想視点映像の生成手法

2 仮想視点移動映像による車列状況提示

2.1 仮想視点移動映像生成に要する情報

本研究における仮想視点移動映像とは、自車両からの不可視領域を運転者に提示するために、複数車両のセンサ情報を利用して実時間で生成する仮想的な視点移動映像のことである。しかし、単純に車載カメラから得られるカラー画像情報を利用するだけでは、直接的にその前後のシーンの幾何的な情報を取得出来ず、車両間の滑らかな視点移動が困難である。一方で、自動走行車や安全運転支援に距離センサが導入される事も多いため、本研究では、距離センサから得られる奥行き画像もフレームワークを介して共有することで、車線上の幾何的な情報を取得する。つまり、車列上任意の位置で仮想視点移動映像を生成するため、車両で撮影される現在のカメラ画像と距離センサから得られる距離画像が得られる事を想定する。具体的には、図1に示すように車列最後尾の自車両から i 番目 ($i=1, \dots, n$) の車両 i の前方に車両 $i+1$ が存在し、車両 i から車両 $i+1$ の間の任意の内挿点における仮想視点映像を生成する場合、車両 i と車両 $i+1$ が現在取得するカメラ画像と距離画像を用いる。図2に示す様に車両 i から車両 $i+1$ までの視点移動が、2 車両で得られる三次元点群を統合したシーン上で達成されれば、自車両から車列最前位置までの視点移動は、2 車両間の視点移動の繰り返しによって実現可能であるが、実際の通信では送信レートと通信帯域を考慮する必要がある。

2.2 通信帯域による制限

2 車両で仮想視点映像を生成するには、一方の車両からカメラ画像と距離画像をもう一方の車両へ送信する必要がある。その際、屋外でデータサイズの大きい画像情報を安定して送信可能な通信規格が選択されるべきである。現在、屋外向けの通信規格として広く使われる LTE では、理論的には現状上り最大 50Mbps で通信が可能とされているが実効速度はさらに下がり、平成 28 年に NTT docomo が実施した LTE 通信の速度計測実験では、全国 10 都市で計測し

た送受信速度において、上り最大 39Mbps という調査結果が発表されている[7]。また、本システムでは、車線上の複数の車両が同じ帯域を利用して画像情報を送信する必要があるため、車両間で送受信する画像のデータサイズが大きくなることで帯域制限を超過してしまう恐れがある。そのため、仮想視点映像の生成に必要な情報を送信する際に、データサイズと遅延を可能な限り小さくすべきである。一方で、車線状況を把握するためには、再構成する仮想視点映像は高画質である方が良いことは言うまでもない。

そこで、あるキーフレーム t ($t=1, \dots, k$) において高解像度カメラ画像を送信し、その画像を幾何的に変形したものをフレーム $t+1$ から k において利用する。これを帯域制限に合わせたフレーム間隔で行う事で、送信データ量を削減しつつ 3 次元再構成を実現する。

2.3 前提条件

仮想視点移動映像による車列状況提示システムの実現には、車車間の映像共有、車列最前位置の検出、仮想視点映像生成、仮想視点位置の入力インタフェースなど様々な問題を解決する必要がある。本稿では簡単化の為、車車間の映像共有および仮想視点映像生成部分に焦点を絞り、以下の前提条件を設ける。

- (1) 全車両に前方を撮影するカメラと距離センサが搭載されている。
- (2) 車列の最前位置が既知である。
- (3) 車線数が 1 車線である。
- (4) フレーム間の車両の動きが十分に小さい。

3 仮想視点映像生成手法

映像通信フレームワークを利用し、仮想視点映像を生成する手順は以下の通りである (図3)。

- ① 車両 i , $i+1$ において、車載センサから現在のカラー画像 (I_i, I_{i+1}) と距離画像 (D_i, D_{i+1}) を取得する。
- ② 車両 i , $i+1$ において、現在のフレームの画像特徴量 (d_i, d_{i+1}) を抽出する。
- ③ 車両 $i+1$ において、過去のキーフレームと現在の画像特徴量からホモグラフィ変換 $H(x)$ を推定する。

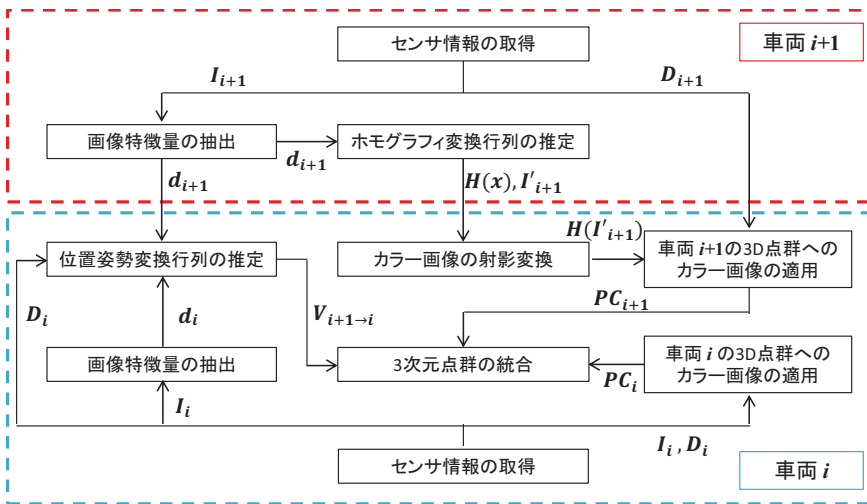


図3 仮想視点映像の生成手順

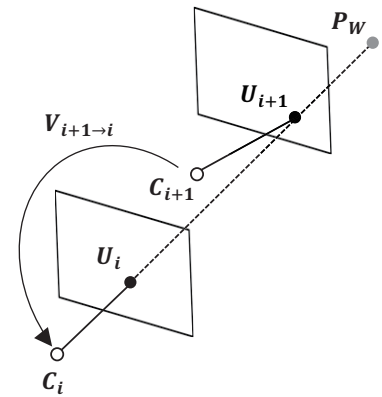


図4 車両間の位置姿勢関係

④車両 $i+1$ から車両 i に、キーフレームではカラー画像 I_{i+1} 、距離画像 D_{i+1} 、特徴量記述子 d_{i+1} を、キーフレーム以外では距離画像 D_{i+1} 、ホモグラフィ変換 $H(x)$ 、特徴量記述子 d_{i+1} を送信する。

⑤車両 $i, i+1$ のセンサ間の位置姿勢変換行列を算出する。図4に示すように車両 $i, i+1$ に固定された座標系がそれぞれ C_i, C_{i+1} であるとき、車載カメラの内部パラメータが既知であれば、 C_{i+1} から C_i への位置姿勢変換行列 V_{i+1-i} は、 C_i 上で三次元位置が既知の点 P_W と C_{i+1} に設置したカメラで取得される画像上での観測位置 U_{i+1} の複数の対応から算出される。このとき、画像特徴量 (d_i, d_{i+1}) の対応から PnP 問題を解くことで算出される。

⑥車両 i において、車両 $i, i+1$ で得られた距離画像にカラー画像のデータを割り当て、3D 点群を生成する。距離画像 D_i に対しては、カラー画像 I_i を適用し、色付きの点群 PC_i を得る。距離画像 D_{i+1} に対しては、キーフレームでは高解像度カラー画像 I'_{i+1} を、それ以外のフレームではホモグラフィ変換 $H(x)$ によって I'_{i+1} を射影変換した画像 $H(I'_{i+1})$ を適用し、色付きの点群 PC_{i+1} を得る。

⑦位置姿勢変換行列 V_{i+1-i} により、車両 $i, i+1$ の視点位置から得られる 3D 点群 PC_i, PC_{i+1} を一つの座標系に統合する。

4 実験

4.1 送信ビットレートの設定

2.2 節で述べたように、提案手法は制限された通信帯域下において再構成する仮想視点映像の画質向上を目的としている。そこで、帯域制限下の具体的な送信ビットレートを設定するために、仮想視点映像生成に要する画像を送信する場合のビットレートを概算した。30fps で画像を送信可能であると仮定し、距離画像は毎フレーム PNG 形式の高解像度の画像

を送信する。30 フレーム中、一定の割合で PNG 形式から JPEG 形式に変換した 1920×1080 画素のカラー画像を、それ以外のフレームで特徴量記述子を送信する。特徴量抽出において安定したトラッキングのために SIFT を用いて 50 点の特徴点を検出すると想定した場合、計算に使用した画像および特徴量記述子のデータサイズは表1の通りである。計算結果から、全フレームで高解像度画像を送る場合のビットレートは 159.8Mbps となり、LTE 通信における上り通信の帯域制限を超過する。ここでは、利用する帯域で 40Mbps の通信が保証されていると仮定すると、15 フレームに 1 回の割合で高解像度画像を送信可能となり、送信ビットレートは 30.3Mbps と算出される。全フレームで高解像度なカラー画像を送信する場合と比較して、送信するデータ量を約 5 分の 1 にまで削減できることがわかる。また、カラー画像の解像度を単純に下げて、提案手法と同程度まで送信ビットレートを削減すると、解像度が 480×270 画素のとき、送信ビットレートが 30.2Mbps となり、提案手法とほぼ同等になる。提案手法による車列シーンの 3 次元再構成結果の確認においては、上記で算出した解像度を用いて画質の比較を行う。

4.2 実験内容

高解像度なキーフレームと車両間およびフレーム間の位置合わせに利用する特徴量記述子を送信する仮想視点映像生成法により、再構成した画像の画質が向上可能であることを確認する。実験に使用する画像の解像度は、表1で指定したものを利用する。具体的には、以下の3つのパターンにおけるシーンの3次元再構成の結果を比較する。

(I) 車両 $i+1$ から車両 i に、15 フレームに 1 回の割合で高解像度カラー画像(a-2)、距離画像(c)、特徴量記述子(d)を、それ以外のフレームでは、距離画像(c)、

表 1 仮想視点映像生成に要する情報の通信レート

番号	送信する情報	解像度	データ量
(a-1)	カラー画像 (JPEG 形式)	1920×1080	145.4Mbps
(a-2)		1920×1080	9.7Mbps
(b)		480×270	15.8Mbps
(c)	距離画像(PNG 形式)	640×360	14.4Mbps
(d)	特徴量記述子 (SIFT)		6.2Mbits
(e)	ホモグラフィ変換		8.1Kbps



図 5 実車両を用いた実験

特徴量記述子(d), ホモグラフィ変換(e)を送信
 (II)車両 $i+1$ から車両 i に, 全てのフレームで高解像度カラー画像(a-1), 距離画像(c)を送信
 (III)車両 $i+1$ から車両 i に, 全てのフレームで低解像度カラー画像(b), 距離画像(c)を送信

実験データは, 図 5 に示すシーンで撮影した. 3D 点群を生成するためのカラー画像と距離画像の取得には, フル HD のカラー画像が取得可能であり, 近景における距離分解能の高い Microsoft 社製の Kinect v2 を用いた. 今回の実験では, 車両 i 地点はセンサから取得する画像に映らないため, 車両 i の位置に三脚で固定した Kinect v2 を設置し, 前方のカラー画像・距離画像を取得した. 車両 $i+1, i+2$ の位置には実車両を配置し, 車両 $i+1$ の上部に Kinect v2 センサを設置した. 実験データの撮影の際には, 動的なシーンにおけるデータを取得するために, 車両 $i+1$ が撮影中に前進し, 車両 $i+2$ との車間を約 3.5m から約 0.5m に詰めるまでを 1 シーケンスとし, 全 270 フレームで画像を取得した.

また, 今回の実験の目的は提案手法による画質向上の確認であり, 2 台の Kinect v2 から得られる 3D 点群の位置合わせにずれが生じた場合, 実験結果を確認しづらくなる恐れがある. そこで, 2 台の Kinect v2 センサ間の位置姿勢変換行列の算出に, ニコン社製の測量機器 Total Station を用いた. 図 6 に示すように車両 $i, i+1$ に固定された座標系がそれぞれ $C_i,$

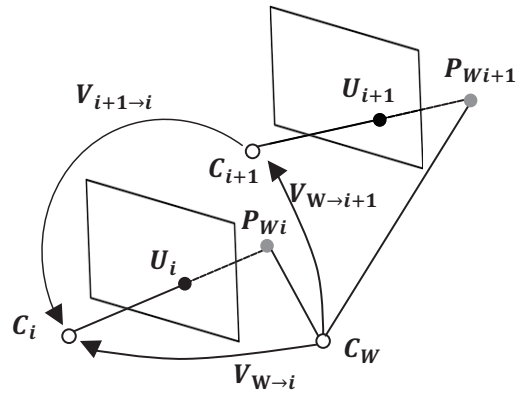


図 6 Total Station を用いた車両間の位置姿勢関係の推定

C_{i+1} , Total Station の位置が C_W であるとき, 座標 C_W から C_i への位置姿勢変換行列 $V_{W->i}$ は, C_W 上での三次元位置が既知の点 P_W と C_i に設置したカメラで取得される画像上での観測位置 U_i の複数の対応から算出される. 同様に, $V_{W->i+1}$ は, C_W 上での三次元位置が既知の点 P_W と C_{i+1} に設置したカメラで取得される画像上での観測位置 U_{i+1} の複数の対応から算出可能である. 両変換を用いて, C_{i+1} から C_i への位置姿勢変換行列は $V_{i+1->i} = V_{W->i}^{-1} V_{W->i+1}$ により求めた.

4.3 実験結果と考察

図 7 の A は, 車両 i に設置されたカメラから取得した高解像度カラー画像のデータである. 図 7 の B は, パターン(I)において車両 $i+1$ の視点位置で得られる 3D 点群を A に重畳描画して, 車両 $i+1$ を透過した結果である. 図 7 の C は, B のレンダリング結果から車両 i で得られる 3D 点群を取り除いたものである. 車両 i の視点位置から車両 $i+1$ に隠されることなく車両 $i+2$ を視認できるものの, 視点位置が遠いために詳細な様子までは把握できない. 図 7 の D, E, F はそれぞれ, パターン(I), (II), (III)において車線を 3 次元再構成し, 車両 $i+2$ の約 1m 後方まで視点位置を移動したときのレンダリング結果である. このとき, フレーム番号は 254 であり, D は提案手法によって, キーフレームである 240 フレーム目で得たカラー画像を幾何的に変形してテクスチャとして利用した. E, F はそれぞれ, 254 フレーム目で得た高解像度カラー画像, 低解像度カラー画像を利用している. D と E のレンダリング結果を比較すると, 目視ではほとんど画質の差を見分けることは出来ない. このことから, 以前のフレームで得た画像を利用することによりシーンを高画質に 3 次元再構成するという提案手法の目的が達成されていることがわかる. 細かな違いとしては, D と E で車両 $i+2$ の左下にかかる車両 $i+1$ の影の掛かり方が異なっている. これは, フレーム間で車両 $i+1$ が動くことによる影の掛かり方の変化を, ホモグラフィ変換による幾何



図 73 次元再構成したシーンのレンダリング結果

的な変形では反映できなかったためである。次に、D と F のレンダリング結果を比較する。F では低解像度の画像を用いてシーンを再構成したために、車両 $i+2$ の車体全体にぼけが生じている。また、D ではナンバープレートの数字が視認出来る一方で、F では数字が潰れてしまっている。このことから、送信ビットレートを下げるために、単純に送信する画像の画質を下げると、シーン中の視覚的な情報量が減少することがわかる。

以上から、提案手法では、非剛体の動きやフレーム間の細かなシーンの変化には弱いものの、シーン全体の動きが小さければ、車両間で画像を送信する際の全体の送信ビットレートを下げつつ、高画質にシーンを 3 次元再構成可能なことが確認された。

5 まとめ

本研究では、既開発の複数車両間でセンサ情報を共有する映像通信フレームワークを基に、距離画像とカラー画像から車線を 3 次元再構成し、仮想的な視点移動映像を運転者に提示するシステムを提案した。提案手法では、高解像度なキーフレームと特徴量記述子を送信することで、受信側において全フレームにわたり高解像度な画像の再構成を実現可能であることを確認した。

今後の展望としては、車両の配置やセンサの向きを変更したシーンで実験を行うことで、より幅広い車線状況において提案手法を適用可能かどうか検討する。また、過去のフレームと現在のフレームの距離画像の情報を足し合わせる事で 3D 点群の密度を高めるなど、通信帯域に考慮しつつ更に画質を向上させる方法の検討を行う予定である。本稿では、画

質向上の確認のために近距離における距離分解能の高い Kinect v2 センサを用いたが、今後は自動走行で使われる LiDAR センサに代表される広範囲の距離計測が可能なレーザーレンジファインダー等を利用し、より実環境に近い設定で提案手法の実現性について検討する。

謝辞

本研究の一部は、科研費・基盤研究 (B) 課題番号 17H01747、および、15H02737 による。

参考文献

- [1] 特集：自動運転システムにおける情報処理技術の最新動向, 情報処理, Vol. 57, No.5 (2016)
- [2] Connecting the mobile world: Motivating network deployment, IEEE Vehicular Technology Magazine, Vol. 12, No. 3 (2017)
- [3] 樋口, 他: 車載カメラ利用に適した映像通信フレームワークの基本設計と試作, Proc. DICOMO, pp. 85 - 92 (2015)
- [4] 総務省 | 700MHz 帯安全運転支援システムについて: http://www.soumu.go.jp/main_content/000281445.pdf (最終検索日: 2017 年 9 月 21 日)
- [5] 菊池, 他: 車載カメラ利用に適した映像通信フレームワーク - 仮想視点移動映像による渋滞情報提示への応用 -, 情報処理学会第 79 回全国大会講演論文集, 4T-04 (2017)
- [6] Rameau, F, et. al.: A real-time augmented reality system to see-through cars, Proc. TVCG, Vol. 22, No. 11, pp. 2395 - 2404 (2016)
- [7] NTT docomo | 実行速度計測結果: https://www.nttdocomo.co.jp/support/area/effective_speed/ (最終検索日: 2017 年 9 月 21 日)

© 2017 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)