Vol.2017-GN-100 No.29
Vol.2017-CDS-18 No.29
Vol.2017-DCC-15 No.29
2017/1/21

車載カメラ俯瞰映像における立体物消失回避技術とその評価

樋口晴彦[†1]　坂庭秀紀[†1]　中嶋満雄[†1]　内田吉孝[†2]

概要：運転時の視界補助を目的として，複数の車載カメラを用いた俯瞰映像表示システムが普及しつつあるが，生成される俯瞰映像のうち各カメラ映像の繋ぎ目において立体物が消失し，障害物を見落としてしまう課題があった．本研究では，各カメラ映像が重複して撮像する領域の画像を利用した立体物消失回避技術を提案する．車載カメラ映像を用いた評価により本技術の有効性を確認した．

キーワード：車載カメラ，透視投影，俯瞰表示，画像相関

Prevention of 3D Object Disappearance in the Overhead View Image Composed of Vehicle-mounted Camera Images

HARUHIKO HIGUCHI[†1]　HIDENORI SAKANIWA[†1]
YOSHITAKA UCHIDA[†2]

Abstract: In the on-vehicle camera system generating the overhead view image from vehicle-mounted camera images, there is a problem that the 3D object would disappear at the image boundary of the composite image. In this paper we propose the technique that detects 3D objects at the overlap region of camera images and control the image synthesis conditions dynamically. We confirmed the effectiveness of this technique by the evaluation experiment that assumed the use of an actual vehicle.

1. はじめに

自動運転技術の実用化と並行して，車載カメラを用いたモニタリングシステムが急速に普及してきている．米運輸省道路交通安全局(NHTSA)では，2018 年 5 月以降に米国内で製造される新車に後方確認カメラの装備を義務付ける動きがあり[1][2]，運転時の死角を低減する安全確認支援技術が注目されている．また，車両に複数カメラを設置して各映像を変換・合成することにより車両周囲の俯瞰映像を表示する俯瞰映像表示システムが 2007 年に実用化され[3][4]，以降，同様の技術が各自動車メーカーからも実用化されている[5][6]．国土交通省では 2016 年 6 月に自動車安全基準を改正し，バックミラー・サイドミラーをカメラやモニタで代替することが可能となり[7]，カメラによるモニタリング技術が今後も重要になると考えられる．

さらに，俯瞰映像を用いた駐車支援技術[5][6]も提案されており既に製品化されている．この技術は，駐車枠を画像認識で検出する機能も有しており，指定した駐車枠に向けて前進後退と操舵を誘導する．これにより運転者は安全を確認しながら駐車作業を行うことが可能となる．

一般に，俯瞰映像表示システムでは，複数の車載カメラの映像を基に透視投影変換により上空から真下を見たような映像に変換し，1 つに合成された映像をモニタに表示させる．ここで，各カメラ映像は撮像する範囲の一部が重複しており，視点変換後に適宜設定した境界で切り出す・繋ぎ合わせる等の処理を施して繋ぎ目を合成する．しかし，俯瞰映像の繋ぎ目付近においては人やパイロンのような立体物が途切れて消失してしまい，繋ぎ目部分の合成の仕方により，歩行者などの立体物を見逃してしまう可能性がある．車両周囲の安全を確認する機能において，この立体物消失は解決すべき課題である．本論文では，俯瞰映像の繋ぎ目部分に存在する立体物の消失回避を目的として，映像から立体物を検出して最適な表示制御を実現する技術について提案する．

以下，2 章では関連する研究について述べ，3 章で解決すべき課題を説明する．4 章にて提案技術を詳述し，5 章で提案技術の評価について述べる．最後に 6 章でまとめる．

2. 関連研究

2.1 俯瞰映像表示システム

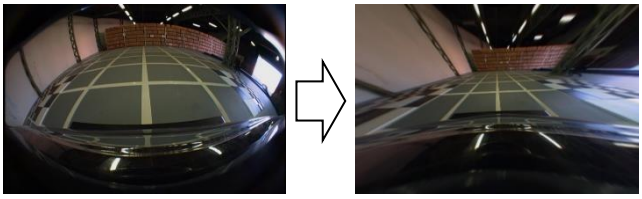
一般に，車の周囲を死角なく撮像するため，カメラは超広角のレンズを備えて車両の前後左右に計 4 個設置する．このとき，各カメラの画像には樽型の歪みを有しており，歪みを補正するため図 1 に示すようにピンホールカメラで見たような画像に変換する．

次に，歪み補正画像に対して俯瞰画像への透視投影変換を行う．図 2 中の点 $P(x_p, y_p, z_p)$は歪み補正後のカメラ画像中の画素を示している．俯瞰画像を生成するにあたっては，各画素がワールド座標において路面上，すなわち $Zw=0$ の平面上の点を結像しているとして，点 P はワールド座標系

†1 (株)日立製作所
Hitachi Ltd.
†2 クラリオン(株)
Clarion Co., Ltd.

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-GN-100 No.29
Vol.2017-CDS-18 No.29
Vol.2017-DCC-15 No.29
2017/1/21



(a) Distorted by Fisheye Lens (b) Corrected

図 1　ピンホールモデルへの変換

Figure 1　Transformation to Pinhole Model.

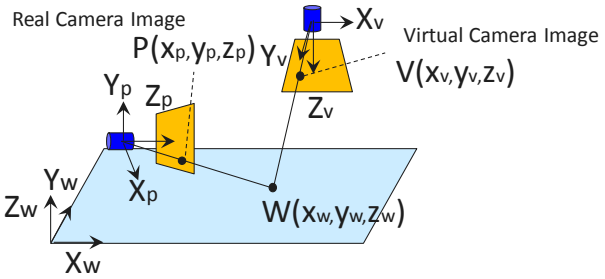


図 2　座標変換

Figure 2　Coordinate Conversion.

の点 W(x_w, y_w, z_w)に投影される．さらに，上空から真下を見下ろす仮想カメラを配置した時, 点 W はこの仮想カメラ座標系の点 V(x_v, y_v, z_v)に投影される．

実カメラ座標系の点 P とワールド座標系の点 W は, 4×4 の透視投影変換行列 M_p を用いて以下のように表される．

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \\ 1 \end{bmatrix} = M_p \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad \cdots (式 1)$$

同様に，仮想カメラ座標系の点 V とワールド座標系の点は透視投影変換行列 M_v を用いて以下のように表される．

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \\ 1 \end{bmatrix} = M_v \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad \cdots (式 2)$$

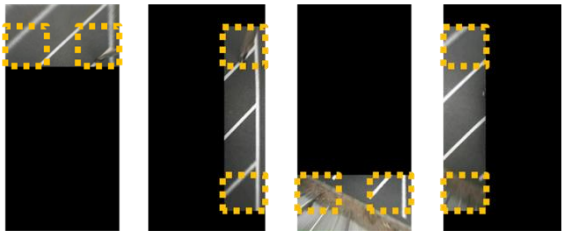
但し，M_p，M_v はそれぞれ，3×3 の回転行列 R と 3×1 の並進行列 T で構成される．

$$M_p = \left[\begin{array}{c|c} \underset{3\times3}{R} & \underset{3\times1}{T} \\ \hline 000 & 1 \end{array}\right], \quad M_v = \left[\begin{array}{c|c} \underset{3\times3}{R} & \underset{3\times1}{T} \\ \hline 000 & 1 \end{array}\right] \quad \cdots (式 3)$$

式 1 及び式 2 より，上空の仮想カメラから見た俯瞰映像 V は，カメラ画像 P を用いて，式 4 の関係式で求められる．

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ z_v \\ 1 \end{bmatrix} = M_v M_p^{-1} \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \\ 1 \end{bmatrix} \quad \cdots (式 4)$$

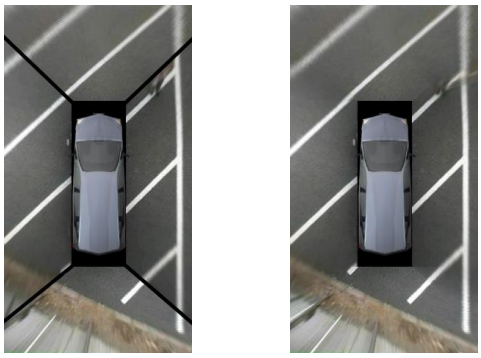
車両の前後左右に設置した 4 カメラの映像から俯瞰変換した映像を図 3 に示す．それぞれの俯瞰映像には，点線で示すように重複して撮像される領域(以下, 重複領域と呼ぶ)



(a) Front (b) Right (c) Rear (d) Left

図 3　変換後の映像

Figure 3　Transformed Images of each Camera Image.



(a) Clipping (b) Alpha Blending

図 4　俯瞰映像の表示例

Figure 4　Display Example of Overhead View Image.

がある．各画像を合成する際には，これら重複領域を一部切り出して貼り合わせる方法（図 4(a)）や，α ブレンディングにより合成する方法（図 4(b)）が広く採られている[5][6][8][9].

2.2 車載カメラシステムの関連研究

複数の車載カメラを用いて車両周囲をモニタリングする画像処理技術については，様々な手法が提案されている．

一般に，カメラには，入力映像の輝度・色度を検出し露光やホワイトバランスを調整する機能が備えられている．しかしながら，これらの機能が独立して動作する 4 つのカメラ映像を合成すると，各カメラ映像の繋ぎ目で輝度・色度に差異が生じうる．そのため，文献[10]では繋ぎ目をシームレスに接合することを目的として，隣り合うカメラの重複領域において輝度・色度を取得し，比較結果から各カメラ映像を補正する技術が提案されている．また，本文献では，重複領域において α ブレンディングのブレンド値を段階的に変えて合成する手法も提案されている．

また文献[11]では，ポリゴンレンダリングを実現する高性能な 3D-CG(Computer Graphics)環境を利用し, 4 つの車載カメラ映像を仮想的な立体投影面に投影し，自由な視点から見た映像を表示する技術が提案されている．仮想的な立体面に投影することにより，立体物の投影像の歪みを低減しており，より自然な映像表示を可能としている．

3. 解決すべき課題

俯瞰映像中の重複領域において，撮像される物体が投影

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-GN-100 No.29
Vol.2017-CDS-18 No.29
Vol.2017-DCC-15 No.29
2017/1/21

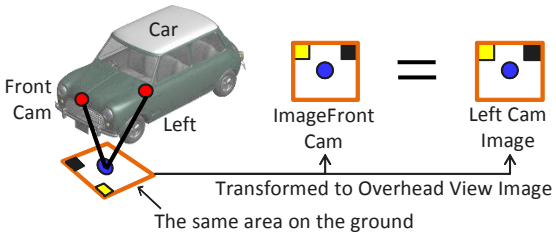


図 5　重複撮像領域と俯瞰変換画像（立体物なし）

Figure 5　Overlap Area and Transformed Image with no 3D Object

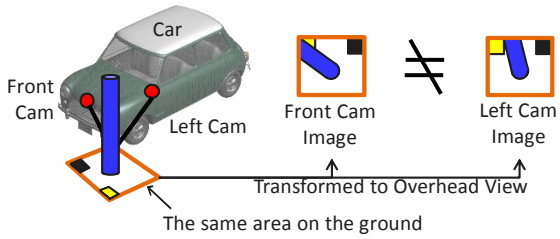


図 6　重複撮像領域と俯瞰変換画像（立体物あり）

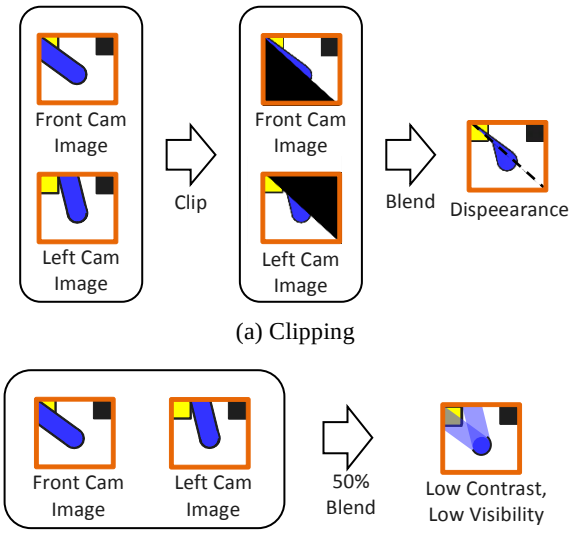
Figure 6　Overlap Area and Transformed Image with 3D Object.

される像について考える．図 5 及び図 6 に，車載カメラのうちフロントカメラと左カメラが重複領域を撮像する構成例と，撮影画像を俯瞰変換した画像例を示す．図 5 は重複領域に立体物が存在せず，図 6 は立体物が存在している．

図 5 のように重複領域内に立体物が存在しない場合には，カメラで撮像されるのは路面上のテクスチャであり，投影面と一致している．2 つのカメラ映像でオクルージョンの差異はなく，それぞれから変換される俯瞰映像は一致する．一方，図 6 のように重複領域内に立体物が存在する場合，立体部分は設定する投影面と一致せず，また立体物によるオクルージョンは 2 つのカメラ映像で異なる．それぞれから変換される俯瞰映像においては，立体物部分が伸びたように投影され，カメラごとに立体物が伸びる方向が異なって表示される．

ここで，図 4(a)に示すように重複領域に境界を設定して映像を切り出して合成する場合，立体物の立体部分が境界において消失するおそれがある（図 7(a)）．また，図 4(b)に示すように重複領域を α ブレンディングして合成する場合，伸びて投影される立体部分は他方のカメラ映像と半透過で合成されるため，コントラストが低く表示されてしまう（図 7(b)）．どちらも，視認性が低下する原因となり得るものであり，合成後の俯瞰映像をユーザが見た時に，立体物を見落とすおそれがある．

本論文では，俯瞰映像生成時の重複領域における立体物の視認性向上を目的として，立体物消失低減及びコントラスト低下抑制を実現する画像処理技術を提案する．本検討にあたり，



(a) Clipping

(b) Alpha Blending

図 7　画像合成例

Figure 7　Image Synthesis.

(a)　重複領域を撮像する 2 つのカメラ映像のうち，立体物がより大きく撮像される方を選択する

(b)　ブレンディング方式と比較して，立体物のコントラストを改善する

の 2 点を両立させることとした．(a)については主観評価と比較，(b)については処理後の画像のコントラストを計測することにより，本技術の有効性を確認する．自動車が走行するシーンを想定して評価用画像を準備し，本論文では評価用画像のうち 75%以上で(a)(b)が実現することを目標値として設定した．5.2 節にて今後の課題・改善点について考察する．

4.　提案アルゴリズム

提案アルゴリズムは，重複領域を撮像する 2 つのカメラ映像を用いて重複領域内の立体物を検出する立体物検出処理と，立体物があった場合にいずれのカメラ映像により大きく表示されているかを判定する大小判定処理，これら処理結果から画像の合成条件を決定する α 値決定処理から構成される．提案手法による各処理のフロー図を図 8 に示す．図 8 では，Cam A と Cam B が撮像する重複領域 1 箇所に対する処理を示しているが，実際は 4 つのカメラが成す 4 箇所の重複領域についてそれぞれ独立して同様の処理が行われる．以下，フロー内の各処理について詳述する．

4.1　立体物有無判定

本節以降，車両に設置した車両に設置したフロントカメラ，左カメラでの撮影画像を例として提案手法を説明する．図 9 に，2 つのカメラで撮影した映像のうち重複領域部分について，俯瞰変換した画像を示す．図 9(a)では路面上の白線を，図 9(b)では白線に加えて直立する人の脚を撮影している．図 9(b)に示す通り，人の脚のように高さを持つ部

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-GN-100 No.29
Vol.2017-CDS-18 No.29
Vol.2017-DCC-15 No.29
2017/1/21

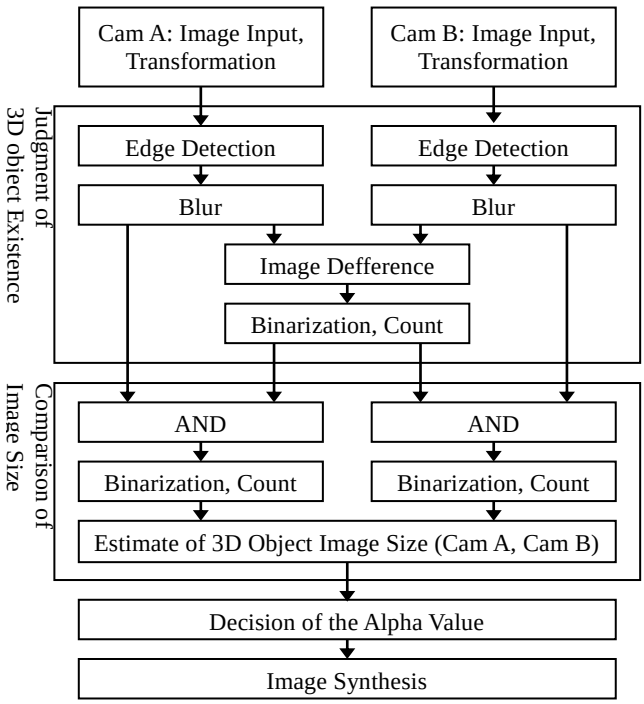


図 8　提案手法

Figur8　Proposed Method

分はカメラ毎に異なる方向に伸びて表示される．

撮像される物体の輪郭をラプラシアンフィルタにより抽出する（図 10 上段(a)(b)）．このとき，俯瞰変換において一部の画素は変換時に周囲の画素値の補間により生成されており，例えばアスファルトなどの細かいテクスチャは俯瞰変換後カメラ毎に完全に一致しない．そこで，ガウシアンフィルタを適用し，ぼかし処理を施す（図 10 下段(a)(b)）．

次に，立体物部分を抽出するため，2 つの画像（フロントカメラ，左カメラ）で差分絶対値を算出し差分画像を取得する．差分画像においては，各画像で相関が高い成分である路面上のテクスチャが除去される．また，人の脚や車両などの立体物は，各カメラで異なって表示されるため，差分画像では 2 方向に投影された特徴量が抽出される．この差分画像を 2 値化し（図 11），白の画素数を計測することにより，重複領域における立体物の有無を判定する．なお 2 値化にあたっては，判別分析法[12][13]を利用して閾値を求めた．本検討では，重複領域の画素数の 5%を立体物有無の判定閾値として設定した．

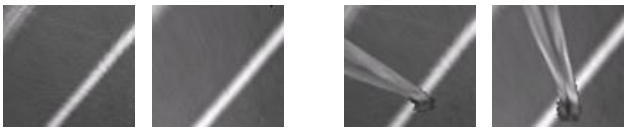
4.2 俯瞰映像における立体物大小判定，α値決定

重複領域で立体物があると判定すると，2 つの画像（フロントカメラ，左カメラ）それぞれで立体物が写るサイズを計測し，大小比較する．

始めに，図 10(b)上段に示す 2 カメラの輪郭抽出画像と図 11 に示す路面成分除去画像とで論理積を求め，立体部分を抽出した画像を求める．その後，判別分析法を用いて 2 値化し（図 12），特徴量である白画素を計測する．図 12 に示す通り，俯瞰画像のうち立体物である人の脚部分が抽出されていることがわかる．

次に，2 カメラ間で特徴量の大小を比較し，4.1 節で述べた立体物検出結果と併せて，各カメラ画像のα値を決定する．各判定結果に応じて，重複領域のα値を表 1 に示すように決定する．立体物がない場合は各カメラ映像のα値を 50%とし，立体物がある場合は俯瞰映像における立体部分の画像サイズの大きい方のα値を 100%として合成する．

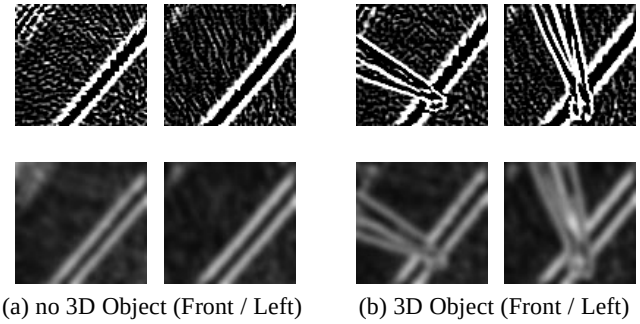
図 13 に，従来手法である 50%αブレンディングで作成した俯瞰画像の例と，本手法によりα値を決定した俯瞰画像の例を示す．これら判定処理及びα値の決定は映像が入力される毎フレームに実行する．



(a) no 3D Object (Front / Left)　(b) 3D Object (Front / Left)

図 9　重複領域の俯瞰画像

Figure 9　Transformed Images of Overlap Area



(a) no 3D Object (Front / Left)　(b) 3D Object (Front / Left)

図 10　輪郭抽出（上段），ぼかし処理（下段）

Figure 10　Edge Detection (Upper) and Bluring (Lower)

(a) no 3D Object　(b) 3D Object

図 11　路面成分の除去

Figure 11　Removal of Ground Texture

図 12　立体部分の抽出 (Front / Left)

Figure 12　Extraction of 3D Parts (Front / Left)

5. 評価

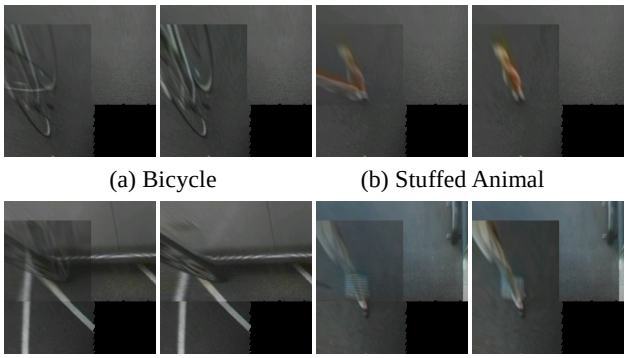
提案手法を評価するにあたり，表 2 に示すように路面，

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

表 1　判定結果に応じた α 値設定

Table 1　Alpha Value Setting According to the Determinations

3D Object Existence	3D Object Size in Transformed Image	Alpha Value (Cam A : Cam B)	Mark
No	-	50 : 50	Half
Yes	Cam A >= Cam B	100 : 0	A
	Cam A < Cam B	0 : 100	B



(a) Bicycle　(b) Stuffed Animal

(c) Vehicle on White Line　(d) Pedestrian on Manhole

図 13　従来手法と提案手法による俯瞰映像

Figure 13　Overhead View Image with Conventional (50% Blend) / Proposal Method

立体物，車両環境の 3 つに分けて評価条件を抽出し，これらの組み合わせで評価シーンを選定し，実車の前後左右に設置したカメラにて評価用映像を取得した．取得した画像に対して，2.1 節に示すようにレンズによる像歪みを補正した後に俯瞰画像に変換した．

5.1 主観評価

評価においては，図 3 に示すような俯瞰画像に対し，

・重複領域に立体物が存在するか

・存在する場合は，2 つのカメラ映像でどちらがより大きく表示されているか

を，あらかじめ主観評価で振り分けた（表 3）．この主観評価結果をリファレンスとし，提案手法による判定結果と照らし合わせることにより，提案手法の効果を検証した．主観評価結果と判定結果について，それぞれ表 3 と表 1 中の Mark を用いて，表 4 のように 4 つの指標で評価した．主観評価における“≈”は，重複領域に立体物があり，2 つのカメラでほぼ同じ大きさで写っていることを示しており，本手法でどちらのカメラ画像を選択しても視認性に変化がないものとした．

“○”は，主観評価と提案手法の処理結果が一致していることを示しており，成功したといえる．

一方“△”“□”“×”は，提案手法の処理結果がリファレンスと異なることを示している．

このうち“△”は，立体物が存在しないシーンに対して立体物ありと判定している，結果として，一方のカメラ画像を 100%として α ブレンディングすることになるが，重複領域に立体物が存在せず 2 カメラの俯瞰画像においてオクルージョンがなく，画像の差分もほとんどないため，表示上大きな問題はないといえる．

“□”は，主観評価で立体物ありと判定されているのに対して，提案手法では立体物なしと判定している．結果として，従来手法と同様に 50%で α ブレンディングされるため視認性が低下した表示となってしまう．

“×”は，立体物がより大きく写るカメラの判定結果が主観評価と異なっており，立体物が小さく写る，もしくは立体物が映っていない方の画像を誤って選択していることを示している．このとき，図 4 に示すような従来の俯瞰映像と比較して，立体物の消失がより悪化した状態といえる．

取得した評価用映像に対して，以上の評価指標に基づき主観評価及び提案手法の判定処理を実施した結果を表 5 に示す．結果として，重複領域において，77.5%のシーンに対して，主観評価で期待される合成処理を実現することができた．一方，立体物消失が悪化してしまう 1.3%については，5.3 節にて改善方法を考察する．

5.2 コントラスト評価

本手法による立体物の画像コントラスト改善を評価するため，重複領域内の輝度の標準偏差を計測し，従来手法で

表 2　評価条件

Table 2　Evaluation Conditions

Ground	3D Object	Vehicle Environment
Asphalt	no 3D Object	no condition
Asphalt &White Line	Pedestrian	Moving
Tiles	Pylon	Calibration Error
Manhole	Bicycle	Sunset
etc.	etc.	etc.

表 3　元画像の主観評価

Table 3　Subjectivity Evaluation for Original Images

3D Object Existence	3D Object Size in Transformed Image	Mark
No	-	0
Yes	Cam A > Cam B	A
	Cam A < Cam B	B
	about the Same	≈

表 4　提案手法の性能検証

Table 4　Performance Verification of the Proposal Method

		Determination by Proposed Method		
	Mark	Half	A	B
Subjectivity Evaluation	0	○	△	△
	A	□	○	×
	B	□	×	○
	≈	□	○	○

○:　Success　△:　Failure but no Negative Effect
□:　Failure (Same Effect as Conventional)
×:　Failure and Worse

表 5　評価結果

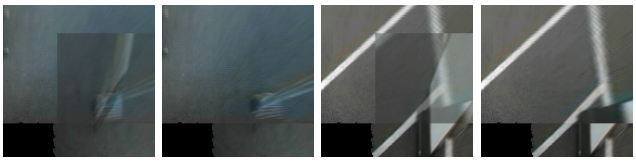
Table 5　Evaluation Result

Evaluations	Rate [%]
○: Success	77.5
△: Failure but no Negative Effect	3.8
□: Failure (Same Effect as Conventional)	17.5
×: Failure and Worse	1.3

表 6　重複領域内の輝度標準偏差（成功シーンの平均）

Table6　Standard Deviation of Brightness at Overlap Area (Average of Successful Scenes)

	Standard Deviation
Conventional (50% Alpha Blending)	17.37
Proposal	22.98
Rate of Improvement	32.30 [%]



(a) Pedestrian (Low Contrast)　　(b) Wall on White Line

図 13　提案手法による悪化例

Figure 13　Worth Result

Conventional (50% Blend) / Proposal Method

ある 50%αブレンディングと比較した．5.1 節にて“○”で示す提案手法が有効に動作したシーンで標準偏差を取り，平均値を求めたものを表 6 に示す．50%αブレンディングと比較して，該当するシーン全てでコントラスト改善を実現し，改善は平均で 32.30%であった．

5.3 考察

本提案手法により，実車走行を想定した評価用画像のう 77.5%において，立体物の検出及び俯瞰画像中の立体物の大きさを検出・比較し，その全てのシーンにおいてコントラストを改善し立体物の消失を回避させる俯瞰表示を実現した．

一方で，評価用画像のうち 22.5%においては，提案手法が主観評価と異なる判定結果を出しており，このうち 1.3%は誤検出により立体物の消失を悪化させてしまっている．これらのシーンの特徴としては，以下が挙げられる．

・立体物のテクスチャもしくは背景とのコントラストが少なく，特徴量が十分に検出されない
・一方の俯瞰画像で立体物によりオクルージョンが発生し，他方の俯瞰画像で該当する領域でテクスチャが細かいとき，路面部分を立体物として判定されてしまう

これらへの対策として，フレーム間の差分を利用した Structure From Motion を適用することにより，検出精度向上が期待できる．

6. 結論

変換された俯瞰映像中，隣り合う 2 カメラが重複して撮像する領域において，立体物の消失回避を目的として，画表像相関から立体物の有無を判定し，立体物の撮像サイズの大きさから映像のαブレンディングのブレンド値を動的に制御する手法を提案した．提案手法により，評価用の映像のうち 77.5%において，主観評価で期待される合成俯瞰映像の生成を実現した．

完全自動運転に向けて車両周囲の環境や走行シーンにロバスト性に対する要求が高まっており，単眼カメラによる画像認識だけでなく Lidar やミリ波レーダなどによる立体物検出も実用化されている．高性能・高速な認識処理を実現するため, GPU を搭載した ADAS も急速に拡大している．今後は高精度な立体物検出及び 3D テクスチャマッピングを活用して，画像の歪みや消失を意識することのないより視認性が高いモニタリング表示を提供できると考える．

参考文献

[1] NHTSA Announces Final Rule Requiring Rear Visibility Technology https://www.nhtsa.gov/press-releases/nhtsa-announces-final-rule-requiring-rear-visibility-technology
[2] 「米国リア・カメラ標準設定最終規則(MVSS111)」の概要 https://www.marklines.com/ja/report_all/rep1290_201405
[3] 日産自動車，世界初アラウンドビューモニターを 10 月末発売予定の「エルグランド」に搭載 http://www.nissan-global.com/JP/NEWS/2007/_STORY/071012-01-j.html
[4] 金岡，高野，菅原，大谷，鈴木，知野見，大泉，“アラウンドビューモニターの開発”, Nissan Technical Review, No. 63, 2008
[5] 藤原，川越，三枝，“マルチビューカメラシステムの紹介”，自動車技術 63(12), 38-42, 2009-12-01
[6] 清水，河合，山田, "全周囲立体モニタシステム", Fujitsu 60(5), 496-501, 2009-09
[7] 国土交通省，保安基準等の改正 http://www.mlit.go.jp/common/001135204.pdf
[8] Volkswagen, 駐車支援カメラシステム 2016 年グッドデザイン賞受賞 http://www.volkswagen.co.jp/ja/volkswagen/award/2016/20161006.html
[9] 高野，金岡，菅原，角，“俯瞰ビューシステムを用いた切返可能な駐車支援の開発”，自動車技術会論文集, Vol. 41 (2010) No. 5 P 1145-1150
[10] 吉岡，佐藤，野尻，“全周囲カメラシステムの開発”，Matsushita Technical Journal, Vol. 54, NO. 2, 2008/7
[11] 清水，水谷，鶴田，“全周囲立体モニタ技術の実用化”，映像情報メディア学会誌 Vol. 68, No. 1, pp. J24～J29 (2014)
[12] Otsu, Nobuyuki: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, 1979
[13] 大津 展之: 判別および最小 2 乗規準に基づく自動しきい値選定法，電子通信学会論文誌 D, Vol. 63, No. 4, pp. 349-356, 1980

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan