

車載カメラ俯瞰映像における 立体物消失回避技術

樋口晴彦^{†1} 坂庭秀紀^{†1} 内田吉孝^{†2} 小野崎勝夫^{†2}

概要: 近年、自動車の前後左右に設置したカメラ映像に基づき自車周囲の俯瞰映像を生成する車載カメラシステムが普及しつつある。一方、従来手法では各映像の繋ぎ目付近において歩行者や障害物などの立体物が消失してしまう課題があった。本論文では、隣接する2カメラ間で重複する撮像領域に含まれる立体物を画像相関により検出し、俯瞰映像における各映像の合成率を制御する手法を検討する。実車走行を想定した評価実験において、本提案手法の有効性を確認した。

キーワード: 画像処理, 透視投影, 俯瞰変換処理, 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} KATSUO ONOZAKI^{†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 detect 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

車載カメラによるモニタリングシステムが近年急速に普及しつつある。米運輸省の高速道路交通安全局(NHTSA)では、米国内の新車に対する後方確認カメラの装備を義務付ける動きがあり、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、車両に設置した複数カメラの映像を変換・合成することにより、車両の後方のみでなく車両周囲の俯瞰映像を生成し表示する俯瞰映像表示システムが2007年に実用化された[1][2]。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[3][4][5]。

さらに、俯瞰映像を用いた駐車支援技術[6]も提案されており、既に製品化されている。本技術は、駐車する際の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、車両に設置した複数カメラの画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視点変換し、1つに合成された俯瞰映像をディスプレイに表示させる。これにより、運転手は車両周辺360度の路面状態や障害物を確認することが可能となる。

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、視点変換後合成する際には、適宜設定した境界で切

り出し繋ぎ合わせる等の処理が必要となる。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。俯瞰映像から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、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。また本技術を車載カメラ用 SoC (System on a Chip) にソフトウェアにて実装し、リアルタイム動作を実現する。

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章において提案技術を詳述し、5章で提案技術の実装結果及び評価結果について述べる。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

俯瞰映像表示システムについて概要を説明する。

一般に、カメラは車両の前後左右に計4個設置され、車の周囲2,3m程度の範囲を死角なく撮像するため、それぞれが超広角のレンズを備えている。このとき、各カメラの画像には樽型の歪みがあるため、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される。

次に、レンズ歪みを補正した補正画像に対し、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

^{†1} (株)日立製作所 横浜研究所
Yokohama Research Laboratory, Hitachi Ltd.
^{†2} クラリオン(株)
Clarion Co., Ltd.

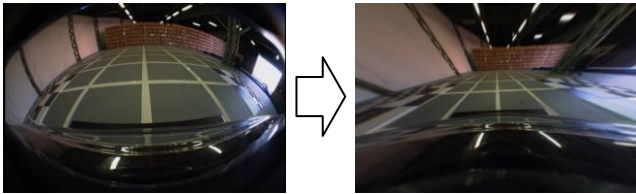


図1 ピンホールモデルへの変換

Figure 1 Transformation to Pinhole Model

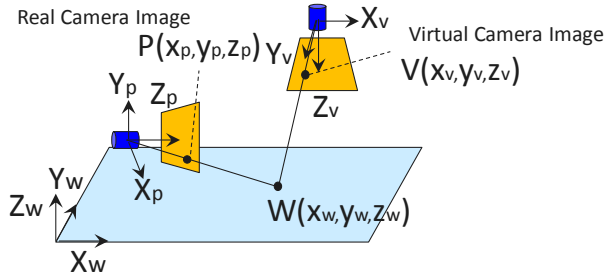


図2 座標変換

Figure 2 Coordinate Conversion

正後のカメラ画像中の画素を示している。俯瞰画像生成時は、各画素がワールド座標において路面上、すなわち $Z_w=0$ 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。

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

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。

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

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。

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

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。

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

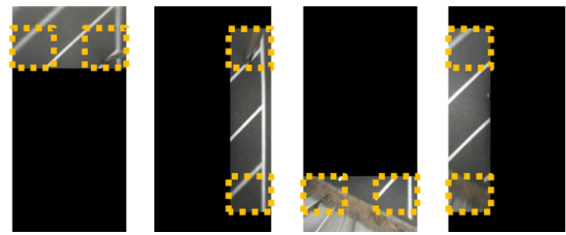


図3 変換後の映像

Figure 3 Transformed Images of each Camera Image

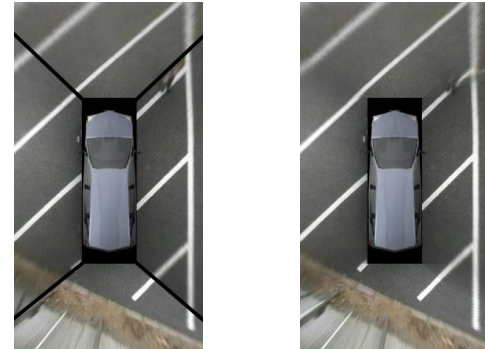


図4 俯瞰映像の表示例

Figure 4 Display Example of Overhead View Image

車両に設置した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、点線の矩形で示すような重複して撮像される領域（以下、重複領域と呼ぶ）があり、各画像を合成する際に上記の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 ブレンディングして合成する方法（図4(b)）が広く採られている[3][4][5][6].

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、車両に設置されるカメラには、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、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[7]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[8]では、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。本提案では、ポリゴンレンダリングを実現する高性能な3D-CG(Computer Graphics)コアを実装することで、自転車からより遠い範囲までの表示を実現し、また、視点の移動に合わせて連続的に映像を切り替えること

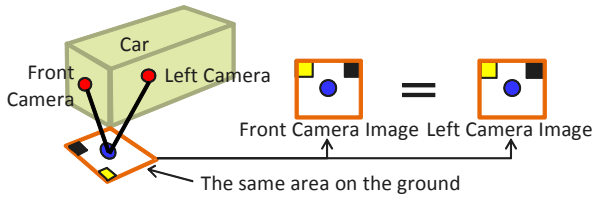


図5 重複撮像領域 (立体物なし)
 Figure 5 Overlap Area without 3D Object

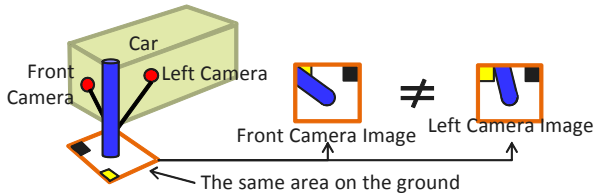


図6 重複撮像領域 (立体物あり)
 Figure 6 Overlap Area with 3D Object

が可能である。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。

一方、上記した俯瞰映像においては、後述するように立体物の投影像が伸びて表示され、合成映像の境界においては消失してしまう課題がある。

3. 解決すべき課題

俯瞰映像において、重複領域に置かれた物体が投影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の重複領域を線で囲んで示す。

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、カメラの撮影対象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、そのため、それぞれの映像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、カメラと立体物とを結んだ線上に伸びるように投影される。立体物が伸びる方向と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り、それぞれの映像から変換される俯瞰映像には立体物の投影像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、境界に沿って映像を区切って合成する場合、図7に示すように立体物の立体部分が境界において消失してしまう。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、図8に示すように2方向に伸びて投影される立体部分は路面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。どちらも、立体物の表示が重複領域とそれ以外とで異なるため、視認性が低下する原因となり得る。

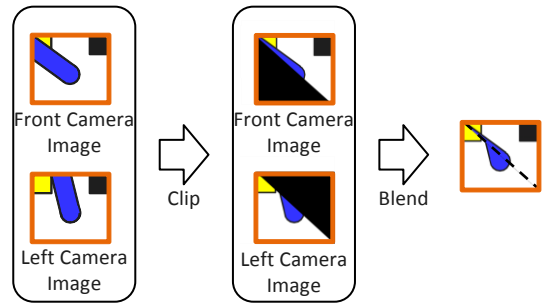


図7 画像合成 (境界線で区切る場合)
 Figure 7 Image Synthesis (Clipping)



図8 画像合成 (α ブレンディングする場合)
 Figure 8 Image Synthesis (Alpha Blending)

本論文では、重複領域に含まれる立体物を抽出し、抽出した立体物の大きさに応じて重複領域の表示方法を切り替えることにより、重複領域における立体物消失の低減を目的とする。本検討では、実際の走行シーンにおける立体物消失条件を考慮し、想定するシーンのうち50%以上で立体物の消失を回避し、誤検出による悪化を5%未満に抑えることを目標値として設定する。

4. 提案アルゴリズム

本章では、提案アルゴリズムの詳細について示す。提案アルゴリズムは、隣接する2カメラ映像の相関を用いて、2カメラ映像の重複領域内における立体物を検出する立体物有無判定処理と、立体物があった場合には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立体物大小判定処理から構成される。以下、各処理について詳述する。

4.1 画像相関による立体物有無判定

車両に設置したフロントカメラ、左カメラでの撮影画像のうち重複領域部分を俯瞰変換した画像を図9に示す。図9(a)路面上の白線、図9(b)は白線に加えて直立する人の脚を撮影している。以降、フロントカメラと左カメラで撮影した重複領域部分の画像を例にして提案手法を説明する。

ここで、フロントカメラによる重複領域の撮影映像と左カメラによる重複領域の撮影映像では、各カメラと重複領域との距離及び相対位置により、画素値が厳密には一致しない。そこで提案アルゴリズムでは、カメラ間における画素値の差を補正するため、ガウシアンフィルタを適用することとした。より具体的には、画像中の輪廓を検出するため、重複領域の画像に対してラプラシアンフィルタを適用した後、ガウシアンフィルタを適用する。各フィルタ適用後の画像を図10に示す。図に示すように、路面上の白線や

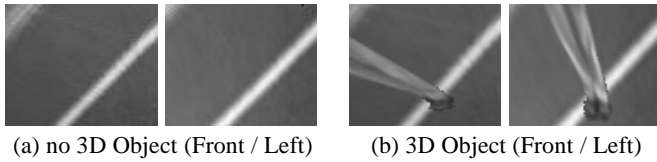


図9 重複領域の元画像
 Figure 9 Original Images of Overlap Area

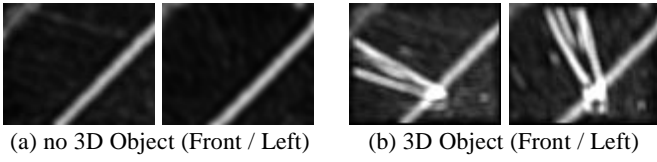


図10 輪郭抽出, ノイズ除去
 Figure 10 Edge Detection and Denoising

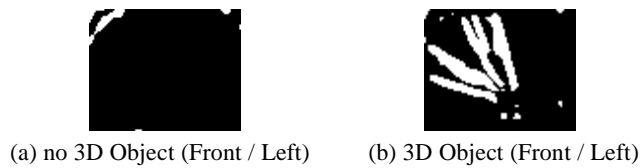


図11 路面成分の除去
 Figure 11 Removal of Ground Texture



図12 立体部分の抽出 (Front / Left)
 Figure 12 Extraction of 3D Parts (Front / Left)

人の脚の輪郭部分が高輝度を示しており、高い特徴量として抽出されている。

次に、輪郭抽出後の各カメラ画像間の差分絶対値を算出する。以降、上記による生成画像を差分画像と呼ぶ。差分画像においては、白線などの路面上のテクスチャは各カメラ画像で相関が高く差分画像では除去される。一方、人の脚などの立体物は、立体部分の投影方向が各カメラ画像で異なるため、差分画像では2方向に投影された特徴量が抽出される。よって、2カメラ画像の差分絶対値を取ることにより、路面のテクスチャを除去することが可能となる。差分画像を2値化した画像を図11に示す。図11(a)、図11(b)において、共に路面上の白線が除去されており、図11(b)では2方向に伸びた脚のみが抽出されていることがわかる。2値化した画像のうち画素値が1である画素数を計測することにより、重複領域に立体物が含まれるか否かを判定する。なお2値化にあたっては、判別分析法[9][10]を利用して閾値を求めた。

4.2 俯瞰映像における立体物大小判定

4.1 節の処理にて立体物を検出すると、立体物が俯瞰映像で投影されるサイズを計測し、2カメラ間で大小比較する。まず、2カメラの重複領域画像から立体物のみを抽出

表1 判定結果に応じた α 値設定

Table 1 Alpha Value Setting According to the Determinations

Determination Results		Alpha Value (Cam A : Cam B)	Mark
3D Object Existence	3D Object Size		
No	-	50 : 50	0
Yes	about the Same	50 : 50	\approx
	Camera A	100 : 0	A
	Camera B	0 : 100	B

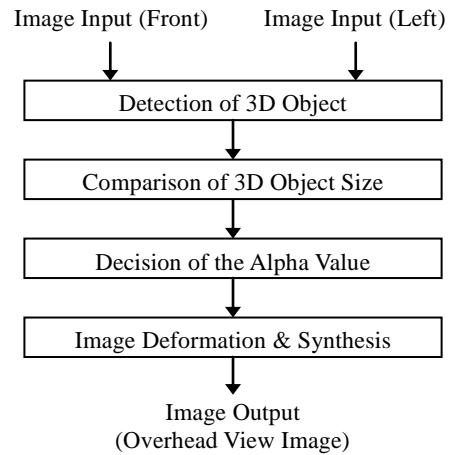


図13 提案手法による画像合成方法制御処理
 Figure 13 Control of Image Synthesis Condition by Proposed Method

するため、図10に示す輪郭抽出画像と図11に示す路面成分除去画像とで論理積を算出する(図12)。その後、判別分析法を用いて2カメラ画像それぞれを2値化して特徴量を計測し、特徴量の大小を比較する。

その結果、立体物が大きく写る方の重複領域映像が合成されるように α 値を設定する。各判定結果に応じて、重複領域の α 値は表1において示すように設定され、 α ブレンディングにより合成される。

これら判定処理及び α 値の決定は、映像が入力されるたびに実行し、重複領域部分の α ブレンディングは毎フレームで制御される。提案手法による立体物の有無判定及び大小判定の処理を図13に示す。図13では、便宜上1つの重複領域に対する処理のみを示しているが、実際は4箇所の重複領域それぞれについて同様の処理が行われる。

5. 評価

5.1 消失回避の性能評価

提案手法を評価するにあたり、表2に示すように路面、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た。このうち166シーンについて、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。評価環境として、表3に示すように各カメラの仕様、設置条件を設定した。

表 2 評価条件

Table 2 Evaluation Conditions

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

表 3 評価用カメラの条件

Table 3 Camera Configurations

		Front	Right	Rear	Left
Camera Installation	x [mm] (left to right)	0	950	0	-950
	y [mm] (front to back)	0	1800	4500	1800
	z [mm] (ground height)	700	1000	900	1000
	Wave Angle [deg]	-43	-54	-41	-54
Resolution		NTSC (720×480i)			
Horizontal Angle of View [deg]		200			
Vertical Angle of View [deg]		150			

評価においては、取得した2カメラの映像に対し、重複領域に立体物が存在するか、また存在する場合は2つのカメラ映像のどちらに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4)。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で、提案手法の性能を検証した。主観評価結果と判定結果を照らし合わせたときの提案手法の性能を、表1及び表4中のMarkを用いて、表5のように評価した。

表5中、“◎”は主観評価と判定結果が一致していることを示しており、処理は成功したといえる。一方、“×”は主観評価と間逆の判定結果となったことを示しており、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。

“○”は、主観評価と判定結果とで、立体物なしと判定するか立体物ありで撮像サイズに大差なしと判定するかで差異があるが、どちらも共通してα値が50:50に設定するものであり、検証結果としては問題ないと考えられる。

“△”は、主観評価では立体物なしと判定、もしくは立体物ありで立体物の撮像サイズに大差なしと評価され、α値は50:50に設定されることを期待されている。一方、提案手法では、立体物を検出し2カメラ映像で立体物のサイズに差があると判定した結果、カメラAもしくはカメラBのα値を高く設定しており、誤検出した状態といえる。しかし、“△₁”は、主観評価結果より立体物がないシーンと推測され、このときα値がどちらかのカメラ映像で高く設定されたとしても、合成映像において立体物の消失はなく、

表 4 元画像の主観評価

Table 4 Subjectivity Evaluation for Original Images

Evaluation Item		Mark
3D Object Existence	3D Parts Size Comparison	
No	-	0
Yes	about the Same	≈
	Camera A	A
	Camera B	B

表 5 提案手法の性能検証

Table 5 Performance Verification of the Proposal Method

	Mark	Determination by Proposed Method			
		0	≈	A	B
Subjectivity Evaluation	0	◎	○	△ ₁	△ ₁
	≈	○	◎	△ ₂	△ ₂
	A	□	□	◎	×
	B	□	□	×	◎

◎: Success ○: no Problem
 △: no Problem □: as Conventional
 ×: Worse

表 6 評価結果

Table 6 Evaluation Result

	Evaluations	Rate [%]
Improvement	◎Success	75.3
Conventional	○no Problem	22.3
	△no Problem	
	□as Conventional	
Worse	×Worse	2.4

2カメラの間でオクルージョンに差異はない。ゆえに、処理結果としては問題ないと考えられる。また、“△₂”については、主観評価では立体物があり立体物の撮像サイズに大差がないと評価されており、どちらのカメラのα値を高く設定しても立体物の消失はないといえる。よって、処理結果としては問題ないと考えられる。

“□”は、主観評価で立体物があり、立体物の大小関係に有意差があると評価され、カメラAもしくはカメラBにα値を高く設定することを期待されている。一方で、提案手法では立体物が存在しない、もしくは立体物が存在しても立体物の撮像サイズに差がないと判定しており、α値は50:50に設定される。結果として、図4で示す従来手法と同等の表示がなされる。

取得した166シーンの映像に対して主観評価及び提案手法の判定処理を実施し、以上の評価仕様に基づき、表6に示すように改善/従来通り/悪化の3つに分けて評価結果をまとめた。結果として、重複領域において、75.3%のシ

表 7 画像処理 SoC 仕様

Table 7 Image Processing SoC Specifications

Item	Specifications
Input Video	720×480i×4Cams
Output Video	720×480i
Frame Rate (Input/Output)	30 fps
Maximum Operating Frequency	534 MHz

表 8 各処理の実行時間

Table 8 Execution Time each Processing [ms]

Item	Execution Time
Detection of 3D Object	12.67
Comparison of 3D Object Size	2.10
Decision of the Alpha Value, Image Deformation Setting	1.19
Total	15.96

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。また、立体物が消失してしまう悪化は 2.4% に抑えており、それぞれ目標値を達成することができた。

5.2 車載画像処理 SoC へのソフトウェア実装

本提案手法を車載画像処理 SoC 上にソフトウェアとして実装し、SoC 上でリアルタイム動作 (30fps) することを確認した。適用した SoC の仕様を表 7 に、測定した各処理の実行時間を表 8 に示す。

5.3 考察

本提案手法は、車載画像処理 SoC にソフトウェアとして実装することを目的としており、当初の想定よりもアルゴリズム構成やフィルタ係数を簡略化する必要があったが、想定するシーンのうち 75% 以上で立体物の消失を回避する俯瞰映像表示を実現し、目標性能を達成した。

また、SoC が提供する画像処理ライブラリを活用したため、1 フレームの処理を 33ms 以内に完了させ高速処理を実現することができた。

評価結果に示す Worse は、各カメラ映像の俯瞰映像に数 10cm 以上のズレがある条件で、かつ撮像される立体物のテクスチャが少ないシーンであり、悪条件が重なった際の結果である。本手法の性能は各カメラ映像の俯瞰映像の張り合わせ精度に大きく依存しており、今回の検討では 10cm 程度以下のキャリブレーション精度が必要であることを確認している。

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 75.3% 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。また、同手法を車載画像処理 SoC に

ソフトウェア処理し、リアルタイム動作することを確認できた。

自転車や自動車など立体物の形状が複雑なものは、評価条件によっては検出精度が低く出てしまっている。今後は、ステレオマッチングを用いた被写体の同定や、オブティカルフローによる立体物の動き検出など利用、さらにレーザレーダやソナーなどのセンサ情報を併用することにより、更なる精度向上が期待できると考える。

参考文献

- 1) http://www.nissan-global.com/JP/NEWS/2007/_STORY/071012-01-j.html
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) http://www.volkswagen.co.jp/cars/touareg/features_equipment.html
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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)
- 9) 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
- 10) 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