

ステアリングホイールカメラを用いた
信頼度マップに基づくドライバー画像生成
Driver's Non-Rotating Image Generation Based on Probability Map
by Using Steering Wheel Cameras

長谷川 陽一[†] 河中 治樹[†] 小栗 宏次[†]
Yoichi Hasegawa Haruki Kawanaka Koji Oguri

1. はじめに

高度交通システム (ITS) の予防安全技術として居眠り検知[1][2][3]や漫然運転検知[4][5][6]などの主にヒューマンエラー防止を目的とした研究が多く行われている。従来のこうした運転支援技術はドライバーの状態に関係なく行われるものであったが、最近ではドライバーの状態推定 (ドライバーモニタリング) をして、その時のドライバーの状況に応じた制御を行う予防安全技術の開発が盛んに行われている[7][8][9]。例えば、ドライバーの顔の向きやドライバーの目の開閉度などの情報を取得し、これらの情報をもとにドライバーの脇見や眠気を検知して、警告音やモニタ表示で運転を支援する。一般的にこれらのドライバーモニタリング用のカメラは図 1 に示すようなルームミラー、ダッシュボード上およびステアリングコラムの奥に取り付けられる。

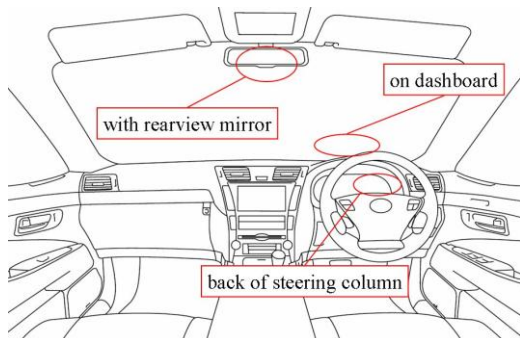


図1 ドライバモニタリング用カメラの取付位置

ドライバー状況に応じた運転支援を行うためには、ドライバーを常にカメラでモニタリングできなければいけないが、現状のこれらの取り付け位置だけではフルタイムでのドライバーモニタリングができない。例えば、ドライバーの状態評価のためにドライバーの目を撮影することを考えると、ルームミラーのような正面以外の位置では首を左右に動かすことによって目が隠れるおそれがあり、それよりも正面から顔全体を撮影できる状況にあるのが安定的で望ましい。ステアリングコラムの奥に取り付けた場合は、ドライバーの腕やステアリングホイール (スポーク) などカメラとドライバーの間に存在する様々な障害物により遮断されて常時モニタリングすることは困難である。ダッシュボード上への設置については、運転視界の

妨げになることや事故時にドライバーが接触するといった危険性からカメラ配置による突起を避けるべきである。

これに対して平田らはカメラの設置場所として図 2 に示すようなステアリングホイールを提案している[10]。ステアリングホイールに複数のカメラを配置することにより、ステアリングホイールが回転してもいずれかのカメラにドライバーが映っている可能性が高まる。そのため、複数台のカメラ配置を統計的に分析し、運転操作の影響を受けることなくフルタイムでモニタリングすることができるカメラ配置を求めている[10]。

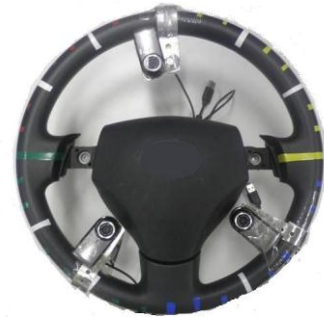


図2 カメラを取り付けたステアリングホイール

しかし、平田らの提案した設置位置であっても、ステアリングホイールに付けられたカメラは運転手に対して正面に存在しているわけではない。したがって、あるカメラに映るドライバーの様子は図 3 に示すようになり、従来の顔向き検出アルゴリズムをそのまま適用すると正面を向いて運転している場合にも脇見をしているように識別されてしまう。

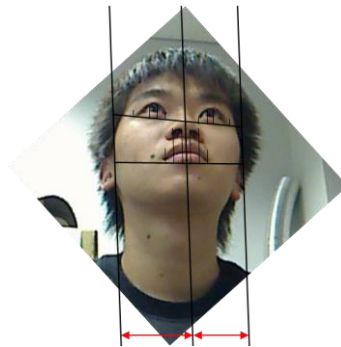


図3 ステアリングホイールカメラによる正面を向いたドライバーの顔向き検出の例

[†] 愛知県立大学大学院情報科学研究科 Graduate School of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University

そこで、本研究ではステアリングホイールに取り付けられたカメラを利用して常にステアリングホイールの中心から見たときのドライバの非回転映像を生成できるシステムを考える。そのために、ステアリングホイールカメラでの撮影画像をもとに多層信頼度マップ法[11]を用いて中間視点画像を合成する方法を提案する。

また、多層信頼度マップ法は固定カメラに対する中間視点画像を生成する手法であるが、ステアリングホイールの操舵によりドライバに対するカメラの相対位置が変わり、ドライバの撮影角度は変わってしまう。例えば図 4 に示すように、ステアリングホイールが回転すると、生成した中間視点画像はその回転の影響を受ける。したがって、ステアリングホイールの操舵による回転の影響を考慮して、各カメラの位置が回転遷移した場合にも、非回転画像を生成できるようにする。



(a) $\varphi = 0$ (b) $\varphi = 90$ (c) $\varphi = 180$ (d) $\varphi = 270$
 図4 ステアリングホイールの操舵によって回転する撮影画像

2. 多層信頼度マップ法

被写体はドライバの顔であるが、そのステアリングホイールからの相対的な位置はドライバの座高およびシートアレンジ、さらには運転操作（ステアリングホイールの操舵）によって変化する。本研究ではそうした点を鑑みて、被写体表面の存在する確率（信頼度）を用いて画像合成を行う多層信頼度マップ法[11]に基づいて画像生成を行う。

多層信頼度マップ法は、仮想視点から被写体方向へ向けて多層に配置したレイヤ上に信頼度の分布とその点のテクスチャを保持し、それらの値を用いて仮想画像を生成する方法である。図 5 に多層信頼度マップ法概念図を示す。

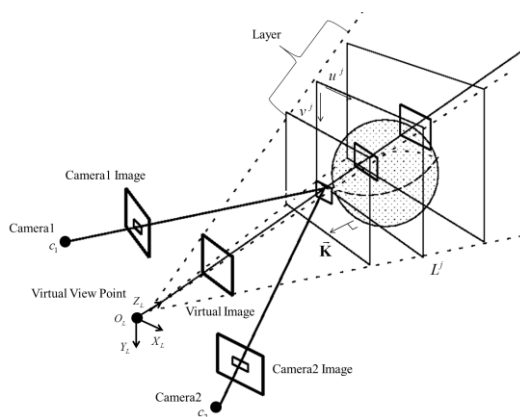


図5 多層信頼度マップ概念図

c_1, c_2 は設置されたカメラ、 O_L は仮想視点を表す。仮想視点 O_L から被写体方向にマップ状のレイヤを J 枚配置し、それぞれのレイヤ j 上の点 $\mathbf{m}^j = [u^j, v^j]^T$ に対して c_1, c_2 の撮影画像をもとに信頼度 $\beta(\mathbf{m}^j)$ とテクスチャ $T(\mathbf{m}^j)$ を求める。

信頼度 $\beta(\mathbf{m}^j)$ は以下の式(1)から(3)を用いて求める。

$$\text{SAD}(I_i(\mathbf{m}^j), I_r(\mathbf{m}^j)) = \sum_{\rho=\frac{\alpha-1}{2}}^{\frac{\alpha-1}{2}} \sum_{\sigma=\frac{\alpha-1}{2}}^{\frac{\alpha-1}{2}} |I_i(u_i^j + \rho, v_i^j + \sigma) - I_r(u_r^j + \rho, v_r^j + \sigma)| \quad (1)$$

$$S(\mathbf{m}^j) = \frac{1}{\text{SAD}^\eta + \varepsilon} \quad (2)$$

$$\beta(\mathbf{m}^j) = \frac{S(\mathbf{m}^j)}{\sum_{j \in J} S(\mathbf{m}^j)} \quad (3)$$

ただし、 \mathbf{m}_i^j は \mathbf{m}^j に対応するカメラ画像 i の画素、レイヤ ρ および σ は類似度を計算するブロックサイズ、SAD (Sum of Absolute Difference) は累積絶対値誤差、 η は信頼度のピークを際立たせるためのパラメータ、 ε は 0 ではない十分小さな値である。また、 \mathbf{m}^j およびそれに対応するカメラ画像 I_i の画素 \mathbf{m}_i^j はそれぞれの同次座標 $\tilde{\mathbf{m}}^j$ 、 $\tilde{\mathbf{m}}_i^j$ を用いて、以下の式(4)および(5)により求める。

$$\mathbf{H}_i^j \equiv \mathbf{A}_i \left(\mathbf{R}_i + \frac{\mathbf{t}_i \mathbf{K}^T}{d^j} \right) (\mathbf{A}_L)^{-1} \quad (4)$$

$$\tilde{\mathbf{m}}_i^j \equiv \mathbf{H}_i^j \tilde{\mathbf{m}}^j \quad (5)$$

ただし、 \mathbf{A} はカメラの内部パラメータ行列、 \mathbf{R} はカメラの外部パラメータの回転行列、 \mathbf{t} は並進ベクトル、 \mathbf{K} はレイヤの法線ベクトルを表す。

テクスチャマップ $T(\mathbf{m}^j)$ は次の式(6)および(7)により求める。

$$\omega_i = \cos \theta_i \quad (6)$$

$$T(\mathbf{m}^j) = \frac{\sum_{i \in N_c} \omega_i \cdot I_i(\mathbf{H}_i^j \tilde{\mathbf{m}})}{\sum_{i \in N_c} \omega_i} \quad (7)$$

ただし、 ω_i は重み、 θ_i は O_L, \mathbf{m}_i^j, c_i の 3 点のなす角、 N はカメラの台数を表している。

そして、信頼度とテクスチャを用いて仮想視点画像 I_L の生成を次の式(8)および(9)によって行う。

$$\tilde{\mathbf{m}}^j = (\mathbf{H}_L^j)^{-1} \tilde{\mathbf{m}} \quad (8)$$

$$I_L(\mathbf{m}) = \frac{\sum_{j \in J} \beta^j(\tilde{\mathbf{m}}^j) \cdot T^j(\tilde{\mathbf{m}}^j)}{\sum_{j \in J} \beta^j(\tilde{\mathbf{m}}^j)} \quad (9)$$

3. ステアリングホイール操舵下における非回転画像の生成

3.1 ステアリングホイールの操舵角を考慮した多層信頼度マップ法

図 4 のように生成する画像が傾く原因は、多層信頼度マップ法[11]が固定カメラを条件とした手法のためである。本研究のステアリングホイールカメラのようにステアリングホイールの操舵によりカメラの位置が移動すると式(4)におけるカメラの外部パラメータ \mathbf{R} および \mathbf{t} が変化してしまう。そこで、我々はステアリングホイールの回転角検出器を用いて、その値から各カメラの外部パラメータ \mathbf{R} および \mathbf{t} を適応的に変更する方法を提案する。

そのために、すべてのカメラ座標系をステアリング座標系に統合し、世界座標系に対してステアリング座標系が回転する状態を行列計算で扱えるようにする。以下、そのステアリング座標系の定義およびそれに基づく座標系変換について述べる。

まず、3 台のカメラをステアリングホイールに設置し、すべてのカメラで同時に (同一のキャリブレーションボードおよびステアリング操舵角で) カメラ校正[12]を行う。これにより、キャリブレーションボードに作られる世界座標系 (\mathbf{W}) とカメラ i のカメラ座標系 (c_i) を以下のような変換式(10)で表すことができる。

$$\mathbf{X}_{c_i} = \mathbf{R}_{i\varphi} \mathbf{X}_{\mathbf{W}} + \mathbf{t}_{i\varphi} \quad (10)$$

ただし、 φ はステアリングの操舵角を表す。カメラ校正で算出した $\mathbf{R}_{i\varphi}$ および $\mathbf{t}_{i\varphi}$ を用いて、世界座標系におけるベクトル $\mathbf{t}_{Wi\varphi}$ を式(11)のように求めることができる。

$$\mathbf{t}_{Wi\varphi} = (\mathbf{R}_{i\varphi})^{-1} \mathbf{t}_{i\varphi} \quad (11)$$

次に、式(11)を利用して $\varphi=0, 90$ および 270 に対する 3 つの $\mathbf{t}_{W1\varphi}$ を求める。ここで、これら 3 つのベクトルを用いてステアリング座標系の原点 O_S を定義する。図 6 に 3 つのベクトルとそれによって張られる三角形およびステアリング座標系の関係を示す。この三角形の各辺の長さ t_1, t_2 および t_3 と面積 A から、式(12)~(19)を利用して三角形の外心をステアリング座標系の原点 O_S とする。

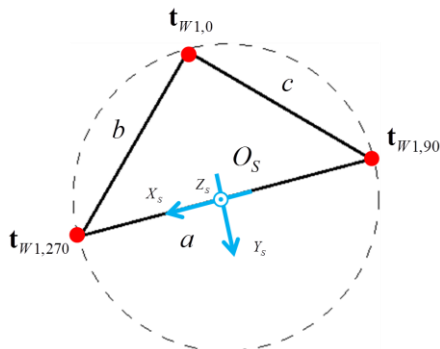


図6 3つのベクトルとステアリング座標系

$$a = |\mathbf{t}_{W1,270} - \mathbf{t}_{W1,90}| \quad (12)$$

$$b = |\mathbf{t}_{W1,270} - \mathbf{t}_{W1,0}| \quad (13)$$

$$c = |\mathbf{t}_{W1,90} - \mathbf{t}_{W1,0}| \quad (14)$$

$$A = \frac{1}{4} \sqrt{(a+b+c)(-a+b+c)(a-b+c)(a+b-c)} \quad (15)$$

$$e = a^2(-a^2 + b^2 + c^2) \quad (16)$$

$$f = b^2(a^2 - b^2 + c^2) \quad (17)$$

$$g = c^2(a^2 + b^2 - c^2) \quad (18)$$

$$\mathbf{O}_S = \frac{1}{16A^2} (e\mathbf{t}_{W1,0} + f\mathbf{t}_{W1,90} + g\mathbf{t}_{W1,270}) \quad (19)$$

ステアリング座標系の基底ベクトルも 3 つのベクトル $\mathbf{t}_{W1,0}$, $\mathbf{t}_{W1,90}$ および $\mathbf{t}_{W1,270}$ を用いて定義する。

$$\mathbf{x}_S = \frac{\mathbf{t}_{W1,270} - \mathbf{t}_{W1,90}}{|\mathbf{t}_{W1,270} - \mathbf{t}_{W1,90}|} \quad (20)$$

$$\mathbf{y}_S = \frac{\mathbf{t}_{W1,90} - \mathbf{t}_{W1,0} + \lambda(\mathbf{t}_{W1,270} - \mathbf{t}_{W1,90})}{|\mathbf{t}_{W1,90} - \mathbf{t}_{W1,0} + \lambda(\mathbf{t}_{W1,270} - \mathbf{t}_{W1,90})|} \quad (21)$$

$$\mathbf{z}_S = \mathbf{x}_S \otimes \mathbf{y}_S \quad (22)$$

ただし、 λ は次式(23)を満たす正の定数、 \otimes は外積を表す。

$$\mathbf{x}_S \cdot \mathbf{y}_S = 0 \quad (23)$$

これらの基底ベクトルを用いることにより、世界座標系からステアリング座標系への変換は次式のように表せる。

$$\mathbf{X}_S = [\mathbf{x}_S \quad \mathbf{y}_S \quad \mathbf{z}_S] (\mathbf{X}_{\mathbf{W}} + \mathbf{O}_S) \quad (24)$$

また、多層信頼度マップで使用するレイヤ座標系 (L) はステアリングの回転中心、つまりステアリング座標系の原点 O_S と同じ位置に原点 O_L を持ち、回転軸である \mathbf{z}_S を共有する座標系として定義する。そして、 \mathbf{x}_S は水平方向、 \mathbf{y}_S は鉛直下向きとする。したがって、ステアリング操舵角 φ を使ってレイヤ座標系からステアリング座標系への変換は次式のように表せる。

$$\mathbf{X}_L = \begin{bmatrix} \cos(270 + \varphi - \theta_i) & -\sin(270 + \varphi - \theta_i) & 0 \\ \sin(270 + \varphi - \theta_i) & \cos(270 + \varphi - \theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{X}_{S_i} \quad (25)$$

ただし、 θ_i は各カメラの設置位置 (角度) を表し、図 7 に示すような極座標の角度を意味する。回転行列の中の 270 というのは、ステアリングホイールの最高点にカメラがあるときにその画像の水平と垂直がレイヤ座標系と平行になるように設置するためである。

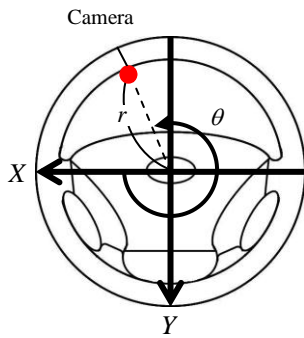


図7 レイヤ座標系とカメラ設置に用いる極座標

式(24)および(25)を用いて、ステアリングの操舵角を考慮した非回転画像に対する多層信頼度マップ法の計算を行うことができる。

3.2 多層信頼度マップ法の改善

背景に類似した色しか分布しない場合は、式(1)の SAD がマップの全体で小さくなり、被写体の存在しない空間部分の信頼度が相対的に高まることがある。それに対処するために、従来法[11]のようにすべてのレイヤから作成した信頼度マップをそのまま用いるのではなく、次式のようにレイヤ系列で信頼度 $\beta(\mathbf{m}^j)$ を見たときに極大となるレイヤ j の点のみを採用することにする。

$$\{j \in J \mid \forall k | k \in J, j < k, \beta(\mathbf{m}^j) - \beta(\mathbf{m}^{j-1}) > 0 \cap \beta(\mathbf{m}^j) - \beta(\mathbf{m}^k) \leq 0\} \quad (26)$$

また、被写体表面の存在しているところは3つのカメラ間でそれぞれの信頼度の値も類似しているという予測のもと、すべてのカメラの組み合わせで式(1)の SAD の絶対値誤差和 τ^j を計算して相違度の高いレイヤ j の点を排除する。

$$\tau^j = |\text{SAD}(I_1(\mathbf{m}_1^j), I_2(\mathbf{m}_2^j)) - \text{SAD}(I_1(\mathbf{m}_1^j), I_3(\mathbf{m}_3^j))| + |\text{SAD}(I_1(\mathbf{m}_1^j), I_2(\mathbf{m}_2^j)) - \text{SAD}(I_2(\mathbf{m}_2^j), I_3(\mathbf{m}_3^j))| + |\text{SAD}(I_1(\mathbf{m}_1^j), I_3(\mathbf{m}_3^j)) - \text{SAD}(I_2(\mathbf{m}_2^j), I_3(\mathbf{m}_3^j))| \quad (27)$$

これにより、実際に物体が存在する可能性が高いレイヤが残り、類似した色しか分布しない背景による影響を取り除くことができる。信頼度マップはこのカメラ間の相違度の類似度で重み付けを行った $\tau^j \beta(\mathbf{m}^j)$ とする。また、テクスチャマップ $T(\mathbf{m}^j)$ の算出には、式(7)の代わりに、相違度が最少となるカメラの組み合わせ i および i' におけるテクスチャの平均を用いることにする。

$$T^j = \frac{1}{2}(T_i^j + T_{i'}^j) \quad (28)$$

そして、重み付き信頼度をテクスチャの不透明度に設定することで、次式のように中間視点画像の $I(u,v)$ における画素値を算出する。

$$I(u,v) = \sum_{j=1}^J \tau^j \beta(\mathbf{m}^j) T^j \quad (29)$$

4. 実験

4.1 実験環境

ステアリングホイールに3台のカメラを取り付けて実際の撮影画像で中間視点画像の生成を行い、従来手法と提案手法での比較を行った。実験に用いるステアリングは図2に示すような形状であるが、これを図8に示す回転軸付きの台に取り付けて実験を行なった。この回転軸付き台には回転部分にエンコーダが取り付けられており、図9のようなマイコンボードで回転角度を計測できる。また、ステアリングに取り付けたカメラ3台はすべて同一の製品であり、表1にその仕様を示す。

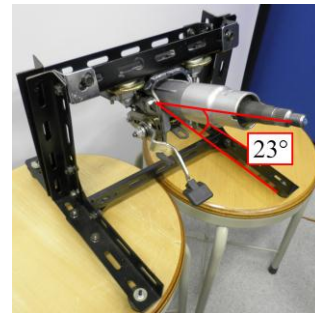


図8 回転軸付きステアリングホイール台

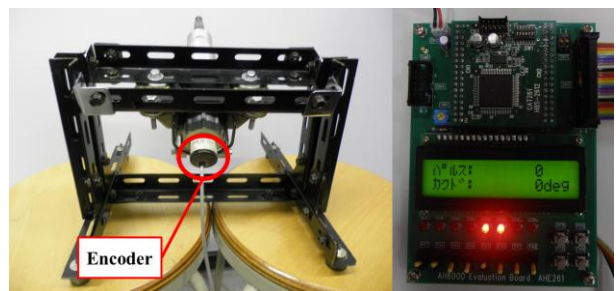


図9 ステアリングホイールの回転角度センサ

表1 カメラの仕様

製品名	Logicool Qcam Pro for Notebooks
型番	Qcam-200V
フォーカス	100mm~∞
画像センサー	True200 万画素
ビデオキャプチャ	最大 200 万画素(1600×1200)
静止画キャプチャ	最大 800 万画素 (ソフトウェア処理に依存)
フレームレート	最大フレーム/秒
露出	オート
ホワイトバランス	オート

ステアリングのチルト角は一般的に 20~25 度とされているため、今回は 23 度に設定した。ステアリングホイールの直径は 370 mm であり、先行研究[1]に従って取り付けカメラの設置角度は、50, 140 および 280 度、 $r=110\text{mm}$ とした。キャプチャした画像のサイズは 640×480 である。

4.2 非回転画像の精度検証

ステアリングホイールの回転による影響がどの程度除去できるかを検証するために、図 10 のように 2×2 マスを白黒 2 色で交互に塗った平面を、ステアリングを回転させながら撮影した。0~345 度まで 15 度ずつ回転させて撮影を行った。

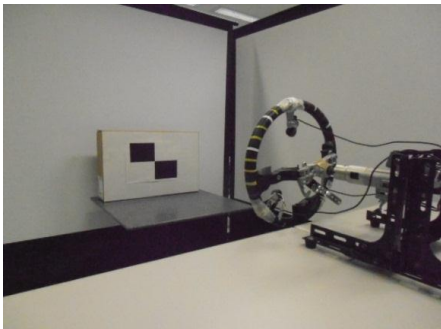


図10 撮影対象とステアリングホイールカメラ

この撮影環境の下、回転補正の誤差評価を行った。図 11 に示すように、ステアリングホイールの回転がないときと φ 回転したときとで、生成される中間視点画像の黒色矩形領域の辺 \mathbf{p}_φ を抽出し、その差を次式によって算出する。

$$\text{error} = \arccos\left(\frac{\mathbf{p}_0 \cdot \mathbf{p}_\varphi}{|\mathbf{p}_0 \cdot \mathbf{p}_\varphi|}\right) \quad (30)$$

error が 0 に近いほどステアリングの回転による影響を除去できたこととなる。ただし、ベクトル \mathbf{p}_φ は画素を基準として抽出するため量子化誤差も含まれる。

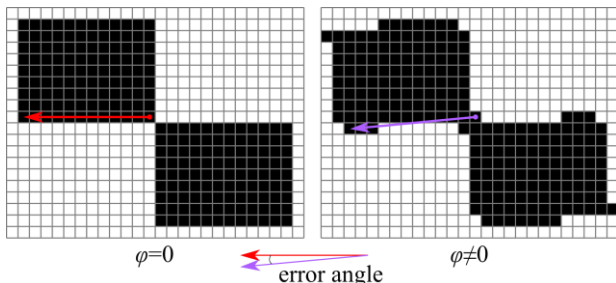


図11 回転によるベクトルの角度誤差

黒色矩形領域の水平辺の誤差評価結果を図 12 に示す。横軸がステアリングホイールの操舵角を表しており、縦軸が error 角度を示している。この結果より、角度誤差は ± 2.6 度以内に収まっていることがわかる。また、誤差平均は 0.752 度であった。

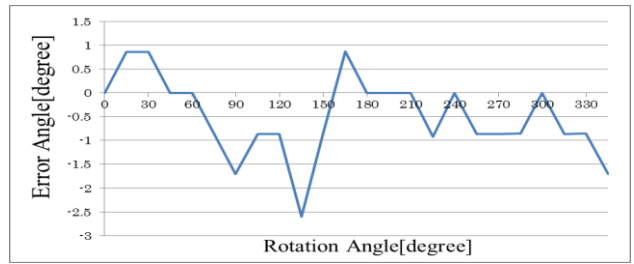


図12 水平方向のズレ検証

黒色矩形領域の垂直辺の誤差評価結果を図 13 に示す。この結果を見ると水平辺と同様に角度誤差は ± 2.5 度以内に収まっていることがわかる。また、誤差平均は 1.05 度であった。水平および垂直ともに誤差が発生しているが、これらの誤差はベクトルの量子化が原因の一部ではあるものの、カメラ校正によって求めたレンズ歪などの内部パラメータやステアリング座標系の導出に用いる並進ベクトルについての誤差が主な要因と考えられる。

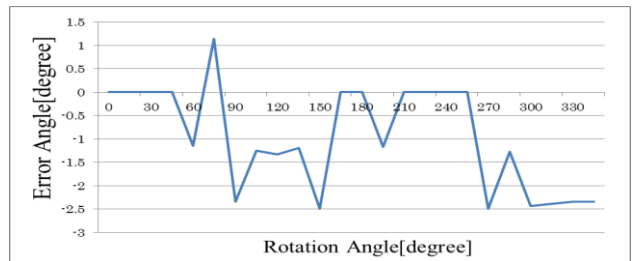


図13 垂直方向のズレ検証

4.3 人物での中間視点画像生成実験

$\varphi = 0$ におけるそれぞれのカメラから撮影された画像を図 14 に示す。これらの画像より、従来手法および提案手法で画像生成を行った結果を図 15 に示す。



(a) $\theta = 270$ (b) $\theta = 50$ (c) $\theta = 140$

図14 各カメラから撮影した画像



(a) 従来法 (b) 提案手法

図15 従来手法と提案手法の比較

従来法では 2 台以上, 提案手法では 3 台のカメラで共通して撮影できている領域のみでテクスチャを生成し, それ以外の領域は黒く表示している. どちらの手法もレイヤ配置場所, レイヤ枚数, レイヤ間隔などは同一の条件で画像を生成した. 従来手法では, 鼻や口といった部分で被写体表面の存在しない空間のテクスチャの影響を受けてしまっている. しかし, 提案手法ではそういったテクスチャの違和感を軽減できており, 顔の各パーツの領域を正しくとらえることができる. これにより, 従来法の信頼度およびテクスチャの生成における改善が伺える.

次に, 図 4 に示したステアリングホイールの回転によって傾いてしまった画像に対して, 無回転な中間視点画像を生成した結果を図 16 に示す.



(a) $\phi = 0$ (b) $\phi = 90$ (c) $\phi = 180$ (d) $\phi = 270$

図 16 提案手法による回転除去を用いた生成画像

この結果から, 無回転の画像を生成できていることがわかる. また, この無回転画像に対して顔向き検出を行うと図 17 に示すようになり, ドライバが正面をむいているときに脇見として検知される問題は解消される. また, 正面を向いている顔の左右の対比の理想は 1:1 となる. 図 4 と図 16 の画像について顔の左右の対比を求め, それぞれ 4 枚の平均を計算した. 従来手法で 0.9605:1, 提案手法で 0.9906:1 となり提案手法の方が理想に近い値になっている. この理由として, 従来手法ではレイヤの奥行きが広がるとボケてしまうため顔の中の特徴点を正しく得にくい, 提案手法ではその点に対応してボケを軽減しているため精度が上がっている. ただし, 生成した画像を回転させて顔向きを計算しているのに対し, 提案手法では画像生成の過程で回転を考慮しているため, その差も含まれる. 以上より, ステアリングホイールが回転した際にもその影響を受けずにドライバの中間視点画像を生成する提案手法の有効性を確認できた.

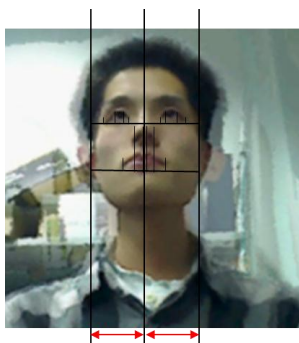


図 17 無回転画像での顔向き検出の例

5. おわりに

本研究では, ステアリングホイールに取り付けた複数台のカメラを用いてステアリングの回転に影響を受けない中間視点画像の生成を行った. その際に, ステアリング座標系の考慮方法の提案や多層信頼度マップ法の信頼度やテクスチャ導出についての改善を行った. その結果, ステアリングの回転による影響は除去でき, ドライバの無回転画像を生成することができた.

今後の課題として, 提案手法がドライバモニタリングで必要とされる画質を担保できるかどうかの評価, 抽出した顔領域に応じた信頼度マップの配置間隔の細分化, 車載カメラとの併用などがある. また, 今回は顔向き検出のためのステアリングカメラ仕様で中間視点画像生成を行ったが, 視線方向計測の仕様でのカメラからの画像生成も検討の余地がある.

参考文献

- [1] 西山 潤平, 谷田 公二, 楠見 昌司, 平田 豊, “瞳孔ゆらぎを指標とした覚醒度状態評価”, 生体医工学, Vol.46, No.2, pp.212-217 (2008).
- [2] 鈴木 麻以, 山本 望, 山田 啓一, 山本 修身, 中野 倫明, 山本 新, “画像処理によるドライバの意識低下状態の推定と運転支援システムへの応用の試み”, 電気学会論文誌 C, Vol.126, No.12, pp.1497-1503 (2006).
- [3] 中野 倫明, 杉山 和彦, 水野 守倫, 山本 新, “居眠り検出のためのまばたき検出と覚醒度推定”, 電子情報通信学会技術研究報告 パターン認識・理解, Vol.95, No.44, pp.73-80 (1995).
- [4] 秋山知範, 稲垣敏之, 古川宏, 伊藤誠: 視点移動の解析によるドライバの漫然状態検出, ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 345-350 (2005).
- [5] 永作浩, 屋所健司, 稲垣敏之, 古川宏, 伊藤誠: 体動情報に基づくドライバの漫然運転リアルタイム検出, ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp.351-356 (2005).
- [6] 宮治正廣, 段野幹男, 河中治樹, 小栗宏次: 生体情報を利用した AdaBoost によるドライバ認知負荷状態の検知, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.171-180 (2009).
- [7] 仁科 多美子, 森泉 清貴, 大上 健一, 魚住 重康, 木村 賢治, 中越 聡, 鈴木 智晴, 足立 淳, “ドライバの眼の開閉検出を用いたブリラッシュセーフティシステムの開発”, 自動車技術会学術講演会前刷集, Vol.51-08, pp.17-20, (2008).
- [8] 今井 章博, 小栗 宏次, “覚醒低下の段階変化を考慮したドライバの眠気レベル推定”, 電気学会研究会資料, Vol.2011, No.1, pp.47-52, (2011).
- [9] 石田 健二, 蜂須賀 知理, 木村 禎祐, 上條 正義, “覚醒低下に伴う顔表情の特徴と眠気検知手法への適用”, 自動車技術, Vol.64, No.10, pp.41-45, (2010).
- [10] 平田 達識, 河中 治樹, Md.Shoaib Bhuiyan, 小栗 宏次, “ドライバー常時モニタリングのためのステアリングホイールカメラ配置評価”, 情報処理学会 高度交通システム研究会, Vol.43, No.18, pp.1-8, (2010).
- [11] 國田 豊, 上野 雅浩, 田中 敬二, “多層信頼度マップを用いた 3 次元映像の実時間生成システム”, 映像情報メディア学会誌, Vol.60, No.7, pp.1102-1110, (2006).
- [12] Zhengyou Zhang, “A flexible new technique for camera calibration”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.11, pp.1330-1334, (2000).