

## 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アルゴリズム

平田 達識<sup>†</sup> 河中 治樹<sup>†</sup>  
Md. Shoaib Bhuiyan<sup>††</sup> 小栗 宏次<sup>†</sup>

安全運転支援のためにドライバーの状態をカメラ映像で把握する試みが様々な検討されている。ところが、既存のカメラ位置では運転操作や運転姿勢に影響され、ドライバーの顔を常に撮影するのは困難である。そこで本研究では常時ドライバーの顔を撮影するために複数のカメラをステアリングホイールに設置することを提案する。そしてカメラ台数に対するドライバー撮影の頑健性に着目し、カメラの配置効率を評価するアルゴリズムを考案した。その結果、4台のカメラを適切に配置することで一般的なステアリング操作において少なくとも2台のカメラでドライバーの顔を常に撮影できることが確認できた。また、ステアリングホイールに設置したカメラでは回転によるぼけが映像に生じるため、PSF推定による画像復元が必要である。これらの検討に基づいて、ステアリングホイールがドライバーを撮影する車載カメラの設置箇所として有効であることを示す。

### Evaluation algorithm of camera placement on steering wheel for full-time driver monitoring

Tatsunori Hirata<sup>†</sup>, Haruki Kawanaka<sup>†</sup>,  
Md. Shoaib Bhuiyan<sup>††</sup> and Koji Oguri<sup>†</sup>

For the safety driving assistance system, various studies have attempted to perceive the driver's state by some cameras. However, it is difficult to always take pictures of the driver's face because they are influenced by driving operations and driver postures on the existing camera locations. In this paper, we proposed that the multiple cameras were installed in the steering wheel to take pictures of the driver's face on the full time. And, we focused on relationship between the number of cameras and the robustness of taking pictures of the driver. Then an algorithm was developed to evaluate the efficiency of the camera placement. As a result, it was recognized that the driver's face was caught by at least two cameras if only four cameras were properly locating in a general steering operation. Here, some blurs are caused by the wheel rotation on undesirable side-effects when a camera is mounted on the steering wheel. So, it is necessary to restore the image by the estimated PSF. On the basis of these verifications, it was indicated that the steering wheel is an effective location of in-vehicle cameras for the driver monitoring.

### 1. はじめに

現在実用化されている予防安全技術には車両に搭載するカメラ（車載カメラ）の映像を利用したものが様々ある。そしてその車載カメラは車外向きのカメラと車内向きのカメラの2つに大別することができる。例えば車外向きのカメラには、自動車の前後左右にカメラを設置してドライバーの視界を補助するもの[1][2]があり、すでに市販車両にも搭載されている。他にもレーンキープの為の車線検出センサやアクセル・ブレーキの踏み間違いの防止[3]、事故の内容を把握し証拠として用いるための映像記録[4]、歩行者、信号機および道路標識などを対象とした認識補助など[5][6][7][8][9]、様々な役割を果たす車載カメラがある。これに対して車内向きのカメラは、居眠り運転検知[10][11][12]や漫然運転検知[13][14][15]などの主にヒューマンエラー防止を目的としたドライバーの状態推定に用いられている。

一般的にこれらの車内向きのカメラは図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カラムの奥に取り付けられる。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、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。ステアリングカラムの奥に取り付けた場合は、図2のようにドライバーの腕やステアリング（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が困難である。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。

そこで、そうした問題がなくドライバーを常時撮影できる可能性をもった場所として我々はステアリングへのカメラ配置を提案する。言うまでもなくステアリングホイール上にカメラを1台配置しただけではステアリングカラムの奥に設置した場合と同様に映像が遮断されてしまう可能性があるが、カメラを複数台配置することで多数のカメラがステアリングホイールと同時に回転し、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。複数のカメラを用いた距離計測にはそれぞれの映像中の対応点とカメラ間の位置関係を使用するが、このときひとつでも多くのカメラに対象が映っていれば計測精度の向上が見込まれる。ドライバーの姿勢形状を正確に推定できたり、ドライバーの状態推定[16]に用いられる視線情報も高い精度で計測できる。また、ステアリングにカメラを設置したときには、映像を遮断する原因がドライバーの手および腕のみであることを利用して、腕が映っているカメラの映像からステアリン

<sup>†</sup> 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

<sup>††</sup> 鈴鹿医療科学大学  
Suzuka University of Medical Science

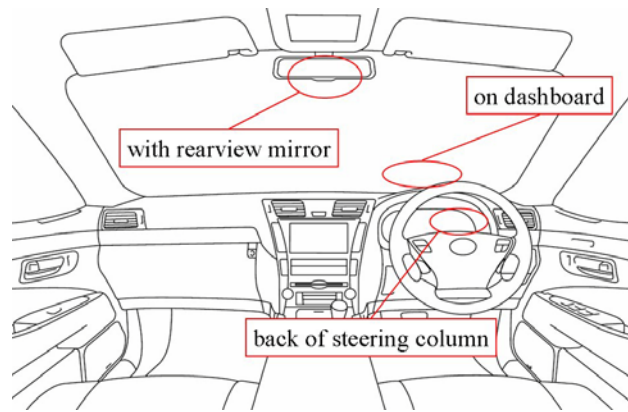


図 1 既存の車載カメラ位置

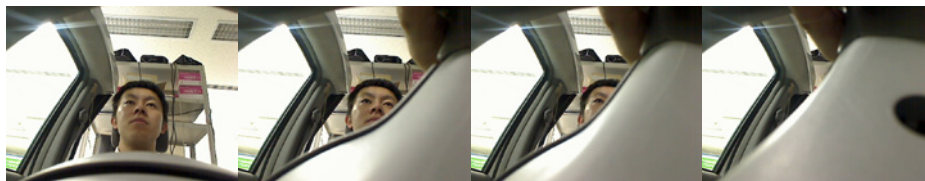


図 2 運転操作時にステアリングコラムの上に設置したカメラで撮影した映像

グホイールの握り位置を推定し、それによる運転中のステアリングホイール操作の巧拙の評価やステアリングホイールの片手保持の検出を行える可能性もある。握り位置についてはステアリングホイールに電極を装着して計測する研究[17]も行われているが、ステアリングカメラならそこで問題となっている衣類による影響を軽減できるなどのメリットがある。

しかしながら、いたずらにステアリングホイール上のカメラ台数を増やすのはコストの面で現実的ではない。したがって、本稿ではステアリングホイール上のカメラ台数や設置位置を評価するアルゴリズムを提案する。カメラ映像を使うアプリケーションによっては必要となる映像の数が異なるが、本アルゴリズムを使えば様々な数に応じた最適なカメラ位置を得ることができる。

一方、ステアリングホイール上のカメラの映像はドライバーのステアリング操作によってカメラ自体が動くため、映像中にぶれが生じる。この回転運動により発生するぶれは画像全体で一様ではないため、単純な Point Spread Function (PSF) では取り除

くことはできない。そこで本稿ではウィーナーフィルター[18]および RL アルゴリズム [19]でのぶれの除去について述べ、その結果を考察する。

## 2. カメラ設置位置評価アルゴリズム

図 3 に示すように、ステアリングホイールの円の中心を座標原点とした極座標を定義すると、カメラの設置位置は中心からの距離  $r$ [mm] と、 $x$  軸からの偏角  $\theta$ [rad] で表現される。複数のカメラを取り付けたときの全ての映像についてある一定の基準の下で評価することができれば複数のカメラの様々な設置場所と常時モニタリングに必要なカメラ台数を決定することができる。ただし、ステアリングホイール上でカメラが設置可能な場所は、その中心部から外周部にかけて多数存在し（ただし、既存のエアバックやホーンなどのような部品との干渉は考慮する必要はある）、 $C$  個のカメラをステアリング上に設置したとき、その設置位置の全ての組み合わせについて実際にカメラを設置して評価するのは現実的ではない。そこで本稿では 1 台のカメラ映像から得られた情報を組み合わせることで、任意の場所に複数のカメラを設置する全ての組み合わせについて評価する方法を提案する。

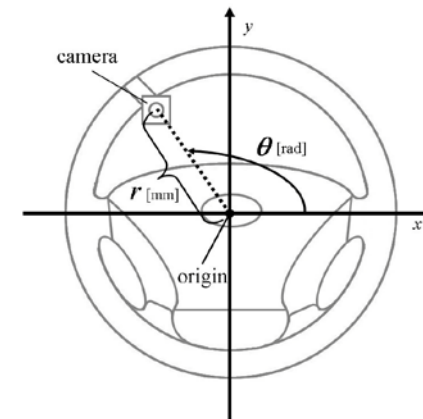


図 3 カメラ設置位置を表す座標系

ある位置  $\theta$  にカメラを設置してステアリングホイールを一回転操作したときの映像を取得したとき、図 4 のようにスポークや腕などで顔が遮蔽されることがある。右回りを正としたステアリングホイールの回転角を  $\varphi$ [rad] とすると、被験者  $n$  のカメラ

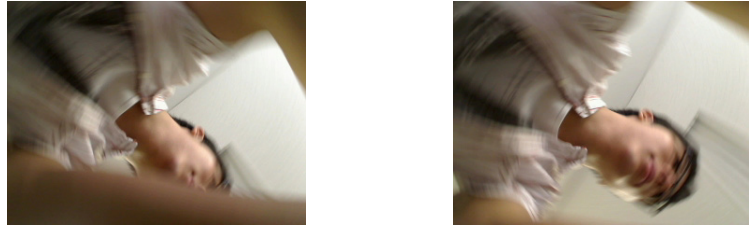


図 4 顔の遮蔽による映像の評価 (左  $U_n=0$ , 右  $U_n=1$ )

位置  $\theta$  およびステアリング回転角  $\varphi$  における画像の単一視点評価値  $U_n(\theta, \varphi)$  は被験者の顔の遮蔽の有無によって式(1)のように定める.

$$U_n(\theta, \varphi) = \begin{cases} 1 & \text{If the outline of the whole face can be confirmed} \\ 0 & \text{Others} \end{cases} \quad (1)$$

ステアリングホイール一回転中に取得される画像の枚数を  $I$  枚とし,  $N$  人の被験者に対してそれぞれステアリングホイールの左回転および右回転を行うとすると, 評価に使用する画像の総枚数は  $2NI$  枚となり, それぞれの画像について  $U_n(\theta, \varphi)$  が得られる.

$C$  個のカメラを配置するときのある配置パターンを  $p = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_C\}$  とすると, 回転角  $\varphi$  における  $C$  枚の画像のそれぞれの評価値  $U_n(\theta, \varphi)$  を用いて, それらを組み合わせた多視点評価値  $M_n(p, \varphi)$  を式(2)から算出する.

$$M_n(p, \varphi) = \sum_{k=0}^C \left\{ \delta \left[ \sum_{c=1}^C U_n(\theta_c, \varphi), k \right] 10^{(C-k)D} \right\} \quad (2)$$

ただし,  $D$  は式(3)を満たす最小の自然数とする.

$$D > \log_{10}(2NI) \quad (3)$$

また,  $\delta[\alpha, \beta]$  はクロネッカーのデルタを表し, 式(4)で定義される.

$$\delta[\alpha, \beta] = \begin{cases} 1 & \alpha = \beta \\ 0 & \alpha \neq \beta \end{cases} \quad (4)$$

ステアリングホイールの左回転および右回転を行った映像からそれぞれの多視点評価値  $M_n(p, \varphi)$  および  $M'_n(p, \varphi')$  を得て, 全ての被験者の全ての角度  $\varphi$  における評価値を合計してその配置パターンにおける最終的な評価値  $S(p)$  を式(5)から算出する.

$$S(p) = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \{M_n(p, \varphi_i) + M'_n(p, \varphi'_i)\} \quad (5)$$

得られた  $S(p)$  は  $D$  桁ごとにそれぞれ意味を持ち,  $10^{(C-k)D}$  桁から  $10^{(C-k+1)D-1}$  桁の部分の数字は  $k$  台のカメラでドライバーの顔の映像が得られた枚数を表す.  $S(p)$  が最小となる配置パターン  $p$  が常時モニタリングにおいて最適な配置パターンとなり, また,  $S(p)$  を小さい順に並び替えることで, 評価値の高い配置パターンの傾向を知ることができる.

### 3. ステアリングホイールの回転による映像の劣化

カメラで撮影する際, 露光の間にカメラが動くとき全体的にぶれた写真が撮影される. これはブラーと呼ばれる現象で, 映像の劣化原因のひとつである. ブラーによる劣化画像は原画像と PSF の畳み込み積分で式(6)のようにモデル化される.

$$g = f \times h \quad (6)$$

ただし,  $g$  は劣化画像,  $f$  は原画像,  $h$  は PSF,  $\times$  は畳み込み積分を表す.

逆畳み込みの計算をする場合には画像に対して 2 次元のフーリエ変換を行う. 式(6)を 2 次元フーリエ変換すると劣化画像のスペクトル  $G$  は原画像のスペクトル  $F$  と PSF のスペクトル  $H$  の積で表すことができる.

$$G = FH \quad (7)$$

また,  $H$  が 0 にきわめて近いとき復元した画像に大きなノイズが現れるため, ウィーナーフィルターを用いて式(8)で復元する方法も提案されている[18].

$$F = \left( \frac{H^*}{|H|^2 + \Gamma} \right) G \quad (8)$$

ただし,  $*$  は複素共役を表し,  $\Gamma$  は定数である. その他, ベイズの定理を利用することで式(9)の繰り返し計算から復元画像を求める Richardson-Lucy のアルゴリズム[19]も提案されている.

$$f^{i+1} = f^i \left( h^* \times \frac{g}{h \times f^i} \right) \quad (9)$$

実際に計算を行う際には繰り返し処理を行う際に用いる初期値  $f^0$  は劣化画像  $g$  とする.

以上より, PSF を推定することでぶれのない画像を復元することができる. したがって, 例えば画像全体に同方向の直線的なぶれが発生したと仮定できる場合には, PSF を求めることは容易である. ところが, ステアリングホイールのような回転運動をする物体にカメラを取り付けた場合, 図 5 に示す点  $(u_c, v_c)$  を中心とした同心円状のぶれが生じる. こうした画像全体で一様でない動きに対しては, 直線的なぶれを仮定した

PSF では表現することができない．このように発生するブーの PSF が画面全体で一様ではない時はそのぶれに応じて様々な処理を行う必要がある[20][21][22][23]．

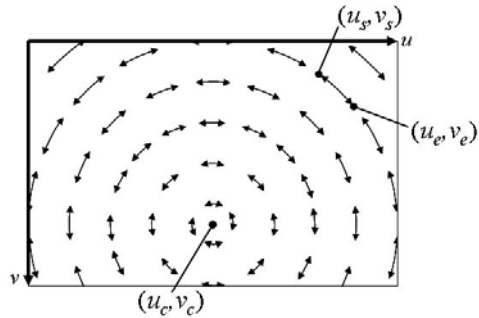


図 5 カメラの回転運動により生じる画像のぶれ

本研究で扱う回転のぶれに対しては，画像を  $uv$  直交座標系から同心円状のぶれの中心  $(u_c, v_c)$  を原点とした  $l\psi$  の極座標系に変換し，同心円状のぶれを直線的なぶれへ変換してから逆畳み込みの計算を行う手法が提案されている[24][25]．図 6 に回転によるぶれが生じた画像を極座標系に変換したときのぶれの様子を示す．極座標系に画像を変換した場合でも直線的なぶれは画像中心からの距離  $l$  によって異なり，画像全体で一様ではない．したがって， $l$  ごとに異なった PSF を推定して逆畳み込みの計算をする必要がある．その際の各 PSF は画像の回転中心からの距離  $l$  とステアリングホイールの回転角速度  $\omega$  [rad/s]，カメラの露光時間  $T$  [s] を用いて式(10)のように表現することができる．

$$h = \frac{1}{1+l\omega T} \quad (10)$$

これにより，式(6)から(9)の方法を回転ぶれの除去に用いることができる．

#### 4. 実験

図 7 のように，直径 370[mm] のステアリングホイールにカメラを設置してドライバーの撮影を行なう．カメラは Logicool 社製 QcamPro (焦点距離：100mm $\sim$  $\infty$ ，フレームレート：30fps，USB 接続) で，画像サイズは 320 $\times$ 240 である．ステアリングホイールは回転軸付きの台に取り付けてあり，自動車の運転操作を行うのと同様に動かす

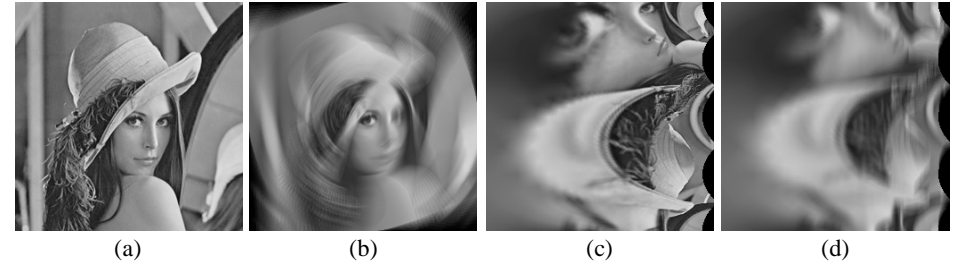


図 6 直交座標および極座標におけるぶれの様子の比較

(a) ぶれの無い原画像，(b) 回転ぶれが生じている画像，(c) (a) の極座標変換，(d)(b) の極座標変換．

ことができる．被験者は正しい座り方[26]で座席に座り，通常の運転の様子を再現した状態でステアリングの操作を行う．ステアリング操舵時のドライバーの握り位置や操舵方法により式(1)の  $U_n(\theta, \varphi)$  は様々に変化する．この統一をはかるために一般的に安全とされている時計の 9 時 15 分から 10 時 10 分の間[27]を初期のステアリングホイール握り位置とし，操舵方法はクロスハンドルとした．初期の握り位置を図 8 に，操舵の様子を図 9 に示す．



図 7 ステアリングホイールカメラ



図 8 ステアリングの握り位置

##### 4.1 複数カメラ配置の検討

何台のカメラをステアリングホイール上のどこに設置すれば常時モニタリングが可能になるかを調査した．ステアリングホイールをドライバーが握る際に干渉しない位置としてその中心から  $r=110$ mm の位置にカメラを設置した．そして，10 度間隔で設置箇所を変えた全 36 箇所に対してステアリングホイール操作時の映像を 3 人の被験



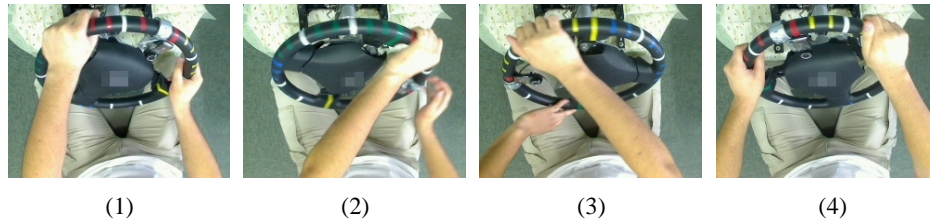


図 9 クロスハンドルによる操舵（右に回す場合）

(1)両手でまわす, (2)右手が右脚あたりにきたらなし, 左手だけでまわす, (3)右手で左手の反対側を持つ, (4)左手を持ちかえる.

者に対して取得した.  $N=3$  および  $I=36$  より,  $D=3$  となる. 設置したカメラの台数が 1~4 台における評価値  $S(p)$  の上位 5 つの配置パターンをそれぞれ表 1~4 に示す.

表 1 カメラ 1 台の良好な配置パターン 表 2 カメラ 2 台の良好な配置パターン

パターン[degree]	$S(p)$
100	028 188
90	029 187
70	032 184
80	032 184
60	034 182

パターン[degree]	$S(p)$
100, 290	000 068 148
100, 310	000 068 148
90, 290	000 069 147
100, 270	000 070 146
100, 320	000 070 146

表 3 カメラ 3 台の良好な配置パターン 表 4 カメラ 4 台の良好な配置パターン

パターン[degree]	$S(p)$
100, 230, 320	000 012 085 119
80, 230, 310	000 012 087 117
80, 230, 320	000 012 089 115
60, 230, 320	000 012 091 113
60, 220, 320	000 012 095 109

パターン[degree]	$S(p)$
80, 100, 270, 320	000 000 046 052 118
60, 100, 270, 320	000 000 047 052 117
90, 100, 270, 320	000 000 048 045 123
80, 100, 270, 310	000 000 048 046 122
70, 100, 270, 320	000 000 048 048 120

表 1 では  $S(p)$  の  $10^5 \sim 10^3$  の桁の値が 0 ではない. これはカメラに顔が映らないケースが存在していることを示している. つまり, 1 台のカメラでの撮影ではドライバーの腕が障害物となり映像に途切れが発生している. また, カメラ 1 台では最良の  $S(p)$  となる配置パターン  $p=\{100\}$  でもステアリングホイールを 1 回転操舵する間の約 15%

の部分で腕などにより遮断されていることがわかる. カメラ 1 台の場合では常時モニタリングができなかったが, 遮蔽を少なくするためには  $p=\{60 \leq \theta_1 \leq 110\}$  の場所にカメラを設置するのが適切である.

表 2 では  $S(p)$  の  $10^8 \sim 10^6$  の桁, 表 3 では  $S(p)$  の  $10^{11} \sim 10^9$  の桁の部分が 0 になっている. これは少なくとも 1 台のカメラで顔を常時撮影できていることを示している. よって設置カメラを 2 台にし, 設置箇所を考慮することでドライバーの常時モニタリングが可能であることが分かる. カメラ 2 台で常に 1 つ以上の有効な映像を得るには,  $p=\{40 \leq \theta_1 \leq 100, \theta_2=290, 60 \leq \theta_1 \leq 90, \theta_2=270\}$ , もしくは  $p=\{\theta_1=100, 310 \leq \theta_2 \leq 320\}$  を満たす位置に設置すべきである. カメラ 3 台の場合は  $p=\{40 \leq \theta_1 \leq 100, 220 \leq \theta_2 \leq 260, 310 \leq \theta_3 \leq 320\}$  の場所に設置すれば常に 1 つ以上の有効な映像を得ることができる.

表 4 では  $S(p)$  の  $10^9$  以上の桁の値が 0 であるので, 少なくとも 2 台のカメラでドライバーの顔を常時撮影可能であると言える. カメラ 4 台の場合は  $p=\{40 \leq \theta_1 \leq 90, \theta_2=100, \theta_3=270, \theta_4=290 \text{ or } 310 \leq \theta_4 \leq 320\}$  を満たす場所に設置することで常時 2 つ以上の有効な映像を得ることができる.

被験者ごとの  $U_n(\theta, \varphi)$  の違いはわずかであったが, 操舵の仕方には個人差があるため, より汎化性のある  $S(p)$  を得るためには被験者数をさらに増やして検証をする必要があると思われる. また,  $r$  の値が小さい場合 (カメラがステアリングの回転中心に近い) にはカメラの回転移動距離が短くなるので腕などによる遮断が特定のカメラで増加する傾向にある. 逆に  $r$  の値が大きい場合 (カメラがステアリングの回転中心から遠い) には  $S(p)$  が小さくなる傾向にあるが,  $r$  が一定以上になるとステアリングを握る手の影響を受けるようになってしまう. 今回の実験では  $r=110[\text{mm}]$  辺りが最も適していた.

## 4.2 回転運動により発生したぶれの除去

ステアリングホイールカメラの映像に発生した回転のぶれを除去する実験を行った. ぶれの除去についての精度評価を行うため, 図 10(a) のようなチェッカーボードを撮影した画像を用いた. チェッカーボードとステアリングホイールの平面は平行になるように設置をし, ステアリングホイールの回転角速度  $\omega$  は 100Hz の速度センサにより得た. 画像の回転の中心  $(u_c, v_c)$  は図 5 に示すようにぶれの始点  $(u_s, v_s)$  および終点  $(u_e, v_e)$  を用いて以下の計算によって求める [28].

$$2 \begin{bmatrix} u_e^1 - u_s^1 & v_e^1 - v_s^1 \\ u_e^2 - u_s^2 & v_e^2 - v_s^2 \\ \vdots & \vdots \\ u_e^J - u_s^J & v_e^J - v_s^J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_c \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (u_e^1)^2 + (v_e^1)^2 - (u_s^1)^2 - (v_s^1)^2 \\ (u_e^2)^2 + (v_e^2)^2 - (u_s^2)^2 - (v_s^2)^2 \\ \vdots \\ (u_e^J)^2 + (v_e^J)^2 - (u_s^J)^2 - (v_s^J)^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

ただし、 $J$  は計算に使用する画素の数である。本実験ではこれを擬似逆行列の枠組みで最小二乗法によって解いたところ、(155, 169)の画素が回転の中心となった。実験に用いたぶれの無い画像、回転のぶれが生じている画像、ウィーナーフィルタによる復元画像および RL アルゴリズムによる復元画像を図 10 に示す。ウィーナーフィルタの定数は経験的に 0.05 とし、RL アルゴリズムの繰り返し回数は収束の度合いを見て 10 回とした。

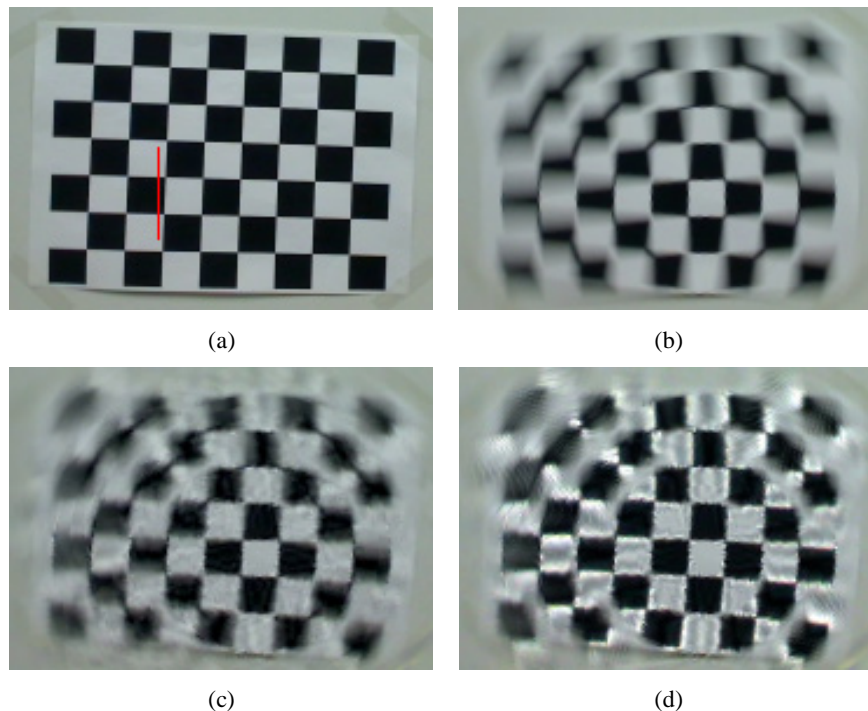


図 10 ステアリングカメラによるチェッカーボードのぶれとその除去  
 (a)ぶれの無い画像 (赤線は図 11 に対応する画素), (b)回転ぶれの生じた画像, (c)ウィーナーフィルタによる復元画像, (d)RL アルゴリズムによる復元画像

図 10(a)の画像の中に赤い縦線で示した画素 ( $u=113, 150 \leq v \leq 189$ ) の輝度値を図 11 のグラフに示す。同様に、図 10(b)~(d)についてもそれと対応する画素の輝度値を図 11 にプロットした。白色領域と黒色領域の境界 ( $v=163$  と  $v=177$ ) の輝度誤差を見

てみると、 $v=164$  においてぶれの無い画像とぶれの生じている画像の誤差が 87 と最も大きく、次いでウィーナーフィルタが 71、そして RL アルゴリズムが 37 と最も誤差が小さくなっている。 $v=176$  のときも同様にぶれの生じている画像が誤差 79 と最も大きく、ウィーナーフィルタが 44、RL アルゴリズムが 23 となっている。したがって RL アルゴリズムは元画像における輝度変化の大きな箇所での輝度誤差を 64%程度軽減できていると言える。

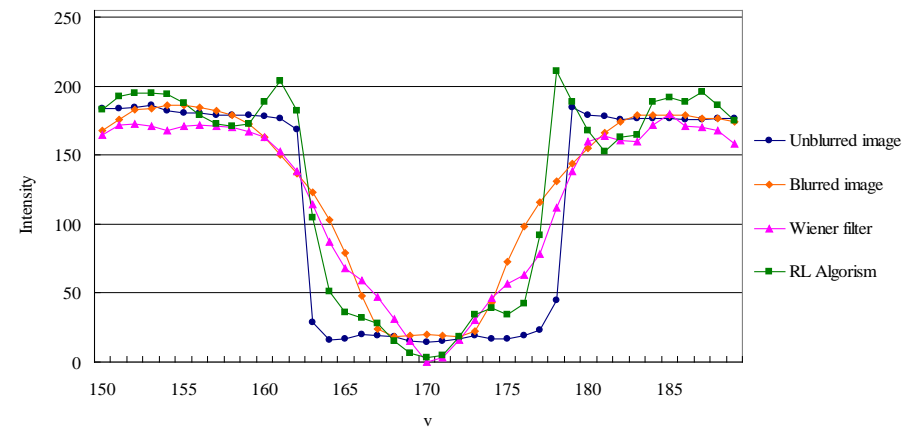


図 11 ぶれの復元結果の比較。(図 10 の赤線部分の輝度値)

次に輝度の傾きについて比較すると、ぶれの生じている画像の傾きはぶれの無い画像に比べて緩やかになっている。それに対して RL アルゴリズムの画像の傾きが最も大きく、元画像に近いエッジを形成している。以上より、ウィーナーフィルタおよび RL アルゴリズムのいずれの手法もぶれを軽減してぶれの無い画像に近づいているが、RL アルゴリズムの方がより良い結果が得られていると言える。

次に人物を撮影した画像についても同様にぶれの除去を行った。図 12 に実験結果の画像における顔の部分拡大したものを示す。PSF の各パラメータは前述の実験と同様にして求めた。画像の回転の中心は(156, 171)でステアリングの回転角度は約 12 度であった。また、それぞれの結果に対して同一パラメータでの Canny エッジ検出 [29]を行った結果を図 13 に示す。図 13(b)の結果から、ぶれが生じている画像からはエッジがほとんど検出できていないことが分かる。また、図 13(c)の結果からウィーナーフィルタでは検出できているエッジの量は少し増えているものの目鼻などの特徴は検出できておらず、上唇が若干検出されている程度である。一方、RL アルゴリズム

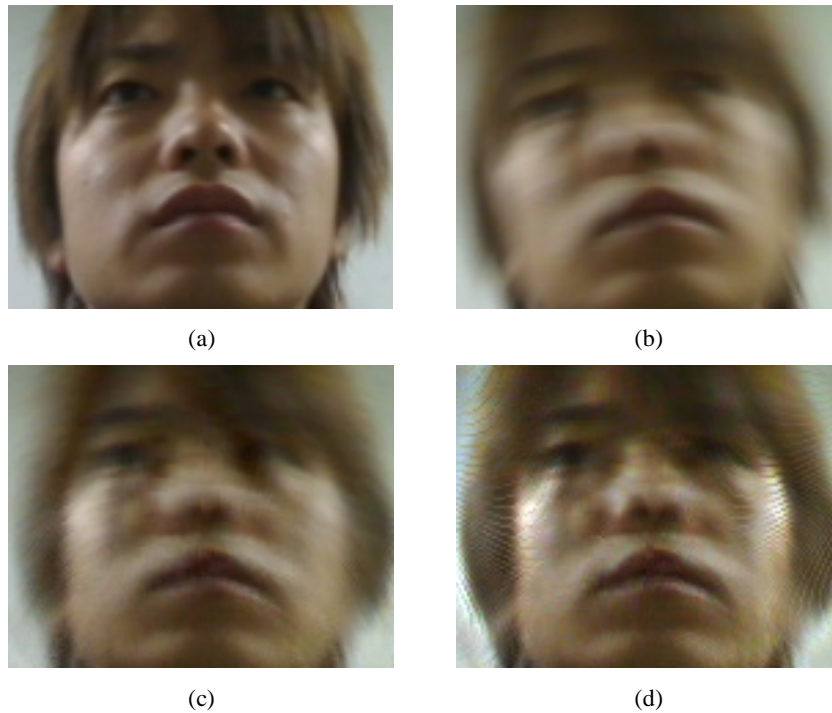


図 12 ステアリングカメラで撮影したドライバー画像のぶれとその除去  
(a)回転ぶれのない画像, (b)回転ぶれの生じている画像, (c)ウィーナーフィルタによる復元画像, (d)RL アルゴリズムによる復元画像

ムではドライバーの上唇, 鼻および頭部の形状を確認することができ, 概ね右目部分のエッジも検出できている. この結果からも RL アルゴリズムによるぶれの改善が確認できる.

## 5. おわりに

本論文では車載カメラによる常時モニタリングを目的としてステアリングホイール上にカメラを複数台設置することを提案した. このときステアリングホイール上で設置可能な部分にカメラを取り付けて得た映像を組み合わせることで, 必要な常時モ

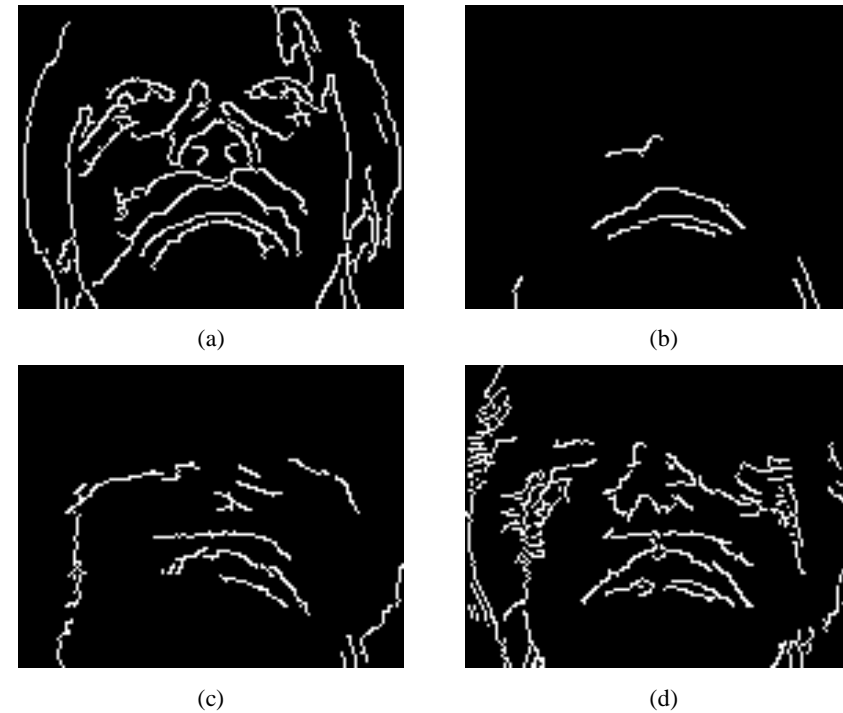


図 13 Canny エッジ検出器適用後のドライバーの顔画像  
(a)回転ぶれのない画像, (b)回転ぶれの生じている画像, (c)ウィーナーフィルタによる復元画像, (d)RL アルゴリズムによる復元画像

ニタリングの映像数に応じたカメラの個数と位置を決定付けるアルゴリズムを述べた. 実際にカメラをステアリングホイールに設置して得た映像から評価した結果, カメラ 4 台を適切な位置に配置することで 2 つの有効な映像を常に取得することができ, 距離計測など 2 台のカメラの映像を必要とするシステムへの入力にも耐えうる配置パターンを得ることができた. ただし, ステアリングホイールの操舵に伴ってカメラが露光中に移動するため, 撮影した映像には回転のぶれが生じる. このぶれは同心円の形状であるためその中心を原点とした極座標に画像を変換することでぶれを除去する計算を行うことが可能である. その結果ドライバーの顔を撮影した画像では RL アルゴリズムを用いることで鼻や唇などの顔の特徴を復元することができ, ステアリングカメラによって常時取得された映像から顔の特徴を取得できる可能性を示した.

ステアリングカメラの今後の展開としては複数カメラ映像を利用したドライバ正面画像の合成, ドライバ姿勢の三次元形状推定などのシステムへの応用が考えられる。しかしながらそのためにはぶれの除去精度を向上させるために, 画像サイズ, 焦点距離, フレームレートなどのカメラの仕様の検討, さらにぶれの除去アルゴリズムの改善が必要である。また, リアルタイムなアプリケーションに向けては RL アルゴリズムによるぶれの除去の計算時間を減らす工夫が必要である。

## 参考文献

- 1) 畑中健一, 吉村明展, 熊本博文, 大見則親, 沢井孝典: 車載画像処理装置の開発, SEI テクニカルレビュー, No.162, pp.90-93 (2003).
- 2) 金岡晃廣, 高野照久, 菅原大輔, 大谷荘太郎, 鈴木政康, 知野見聡, 大泉謙: Safety Shield コンセプトに基づく安全新技術 アラウンドビューモニターの開発, 日産技報, No.63, pp.37-41 (2008).
- 3) 柴田英司, 森光登, 松浦宗徳, 高橋靖, 加藤哲也, 道繁達也: EyeSight (アイサイト)富士重工工業 (株) (レガシィ), 自動車工学, Vol.58, No.6, pp.6-17 (2009).
- 4) 堀野定雄: 道路交通における安全性の向上一映像記録型ドライブレコーダの搭載効果一, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.615, pp1-4 (2007).
- 5) N.Dalal, B.Triggs and C.Schmid: Human Detection using Oriented Histograms of Flow and Appearance, European Conference on Computer Vision, Vol.3952, pp.428-441 (2006).
- 6) 望月大介, 矢野良和, 橋山智訓, 大熊繁: 車載カメラによる歩行者検出のための背景除去及びアクティブ探索を用いたテンプレートマッチングの高速化, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D-II, No.5, pp.1094-1103 (2004).
- 7) 増田恭一郎, 山里敬也, 岡田啓, 片山正昭: LED 信号機と車載カメラを用いた可視光空間通信における階層的符号化方式, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J90-A, No.9, pp.696-704 (2007).
- 8) M.Noda, T.Takahashi, D.Deguchi, I.IDE, H.Murase, Y.Kojima and T.Naito: Recognition of Road Markings from In-Vehicle Camera Images by a Generative Learning Method, Pattern Recognition and Media Understanding, Vol108, No.263, pp.31-36 (2008).
- 9) A.Ihara, H.Fujiyoshi, M.Takagi, H.Kumon and Y.Tamatsu: Improved Matching Accuracy in Traffic Sign Recognition by Using Different Feature Subspaces, Proc IAPR Conf Mach Vis Appl, Vol.11, pp.130-133 (2009).
- 10) 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, 生体医学工学, Vol.46, No.2, pp.212-217 (2008).
- 11) 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).
- 12) 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, Vol.95, No.44, pp.73-80 (1995).
- 13) 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).
- 14) 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).
- 15) 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出, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.171-180 (2009).
- 16) M.Miyaji, H.Kawanaka and K.Oguri: Effect of Pattern Recognition Features on Detection for Driver's Cognitive Distraction, 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.605-610 (2010).
- 17) 鈴木郁: ステアリングホイール上の握り位置を検出する簡便な装置について, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-D, No.7, pp.1599-1605 (2006).
- 18) N.Wiener: Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Times, The MIT Press (1964).
- 19) L.B.Lucy: An iterative technique for the rectification of observed distributions, Astronomical Journal, Vol.79, pp.745-754 (1974).
- 20) 橋本正一, 斉藤英雄: PSF のパラメータ分布を推定するシフトバリエーションボケ画像の復元法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-D-II, No.4, pp.719-728 (1994).
- 21) M.B.Ezra and S.K.Nayar: Motion-Based Motion Deblurring, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.26, No.6, pp.689-698 (2004).
- 22) J.Jia: Single Image Motion Deblurring Using Transparency, Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8 (2007).
- 23) Y.W.Tai, N.Kong, S.Lin, S.Y.Shin: Coded Exposure Imaging for Projective Motion Deblurring, Computer Vision and Pattern Recognition, pp.2408-2415 (2010).
- 24) S.Ribaric, M.Milani and Z.Kalafatic: Restoration of images blurred by circular motion, Image and Signal Processing and Analysis, pp.53-60 (2000).
- 25) H.Hong and T.Zhang: Fast restoration approach for rotational motion blurred image based on deconvolution along the blurring paths, Society of Photo Optical Instrumentation Engineers, Vol.44, No.12, pp.3471-3486 (2003).
- 26) JAPAN AUTOMOBILE FEDERATION 日本自動車連盟 (ジャフ)  
<http://www.jaf.or.jp/index.htm>
- 27) 運転教本, 中部日本自動車学校.
- 28) Q.Shan, W.Xiong and J.Jia: Rotational Motion Deblurring of a Rigid Object from a Single Image, IEEE 11th International Conference on Computer Vision, pp.1-8 (2007).
- 29) J.Canny: A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, Vol.8, No.6, pp.679-698 (1986).