

車載カメラによる運転者の完全自動視線計測手法

松尾 治夫^{†1†2}, 金田 雅之^{†1}, 長屋 忍^{†1}

単眼カメラにより撮影した運転者の顔画像から、運転者の負担を掛けずに、運転者の視線を簡易的に解析するシステムを試作した。本システムは、運転中の運転者の自然な正面方向とミラーの注視行動を用いることで、視線のキャリブレーションを必要としない。本システムを用いて運転者の視線を正面と、右、左の3つに分ける検出性能を評価した。その結果、80%以上の検出率を得た。

Fully-automatic Driver's Gaze Measurement Method for an In-Vehicle Monocular Camera

HARUO MATSUO^{†1†2}, MASAYUKI KANEDA^{†1}, SHINOBU NAGAYA^{†1}

We developed a simple gaze measurement system using an in-vehicle monocular camera. This system uses driver's normal gaze behavior while driving to perform an implicit calibration procedure. It relies on and exploits driver's gaze behavior of the looking to the front and to the mirrors. This system can distinguish between the three (front, left, and right) distinct gaze directions. An evaluation in actual vehicle driving situation showed superior accuracy performance of more than 80%.

1. はじめに

車両を運転する上で運転者は目から運転に必要な多くの情報を取り入れている。このため、運転者の視線を知ること、その運転者の運転行動を調べる上で有用である。これまで、運転者の視線の計測には、ステレオカメラなどによる運転者の顔特徴の3次元位置計測手法¹⁾²⁾³⁾や、運転者の目に近赤外の光を照射し角膜反射をカメラで撮影する手法⁴⁾、運転者の顔画像から得られた特徴点を3次元の眼球モデルに当てはめる手法⁵⁾、眼鏡などにカメラを取り付けた装置を顔に装着することで眼球の動きを直接撮影し視線を推定する装置⁶⁾などが用いられる。また、従来からの車両運転中の運転者をカメラで収録した映像を後で人手により解析する手法⁷⁾⁸⁾も使われている。

前記計測装置を用いる手法では、安定した計測性能やリアルタイム計測といったメリットがある。一方、運転者ごとに顔と目の動きと視対象の関係を明らかにするキャリブレーションをあらかじめ行う必要や、顔に眼鏡を装着するなど運転者の負担となるというデメリットがある。これに対し、人手によるビデオ映像の解析は、撮影装置の簡便さと人の目による判断の正確さというメリットはあるものの、解析を行う人のスキルに依存する点や、解析作業に非常に長い時間を要するという点でデメリットもある。

我々は、これまでに図1に示すようにメータパネル内に単眼カメラとIRランプを設置するだけで、画像処理により運転者ごとに視線や目の開閉の特性を運転中の行動から自動取得することで、簡便に視線推定や目の開閉検出を行う手法^{9) 10)}を提案している。視線については正面方向を推

定するにとどまっておらず、視線方向を自動でキャリブレーションするには至っていなかった。

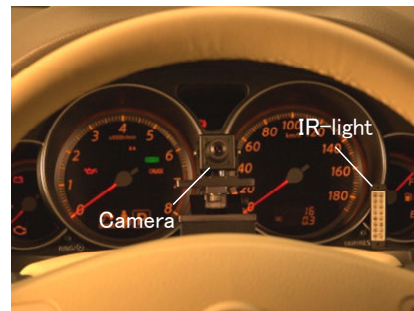


図1 カメラとIRランプの設置例

Fig. 1 The layout of a camera and an IR-lamp

本研究では、運転者の注視行動の特性に着目し、運転者の負担となるキャリブレーションを自動化し視線推定を行うシステムについて述べる。まず、第2節にて運転者の視線解析のロジックを説明する。次に、第3節にて実験室内と車両運転時の運転者の視線解析結果について述べ、人手による視線のビデオ映像解析作業との比較を行う。最後に第4節にてまとめと今後の課題について説明する。

2. 視線計測装置

運転者の視線計測装置の処理フローを図2に示す。顔画像をカメラにて撮影し、顔の特徴点を検出する部分は、両目の目頭と目じり、鼻の5点を検出できるものとし、本研究では既存の顔特徴検出ロジック¹¹⁾を流用した。以下、図中破線内の処理について説明する。

†1 日産自動車株式会社 総合研究所
Nissan Research Center, Nissan Motor Co., Ltd.
†2 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

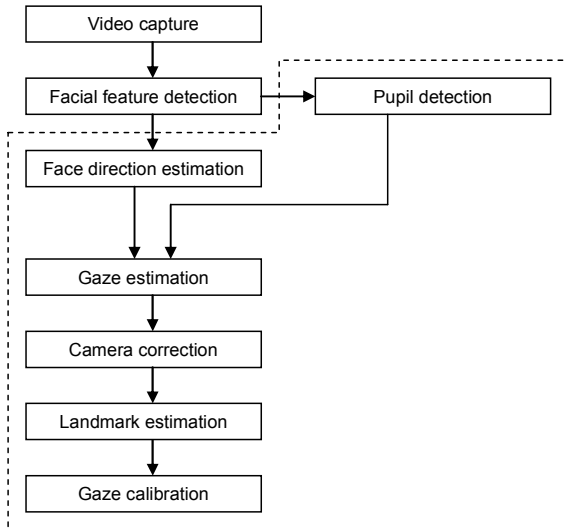


図 2 運転者視線推定装置の処理フロー
 Fig. 2 Processing chart of driver's gaze estimator

2.1 瞳検出

図 3 に瞳検出ロジックのブロック図を示す. 顔の検出・追跡結果より得られる目の周囲画像からの瞳の検出のため, 水平方向のエッジライン(上瞼)下に位置する暗く丸い低輝度円形領域を検出する.

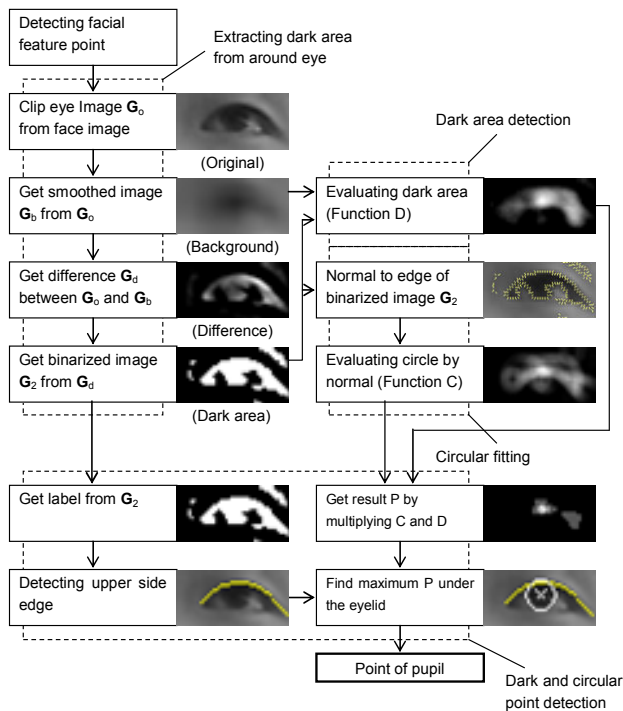


図 3 瞳検出ロジック
 Fig. 3 Logic of pupil detection

2.1.1 目周囲画像からの暗領域の抽出

上瞼の影と瞳など画像中で周囲に比べ暗い領域を得るため, 目の周囲画像 G_0 を平滑化処理によりぼかした画像を仮

想背景画像 G_b とし, G_0 との差 G_d を求め, 2 値化することで低輝度領域 G_2 を得る.

2.1.2 低輝度評価関数 D

次に, 低輝度領域画像 G_2 及び仮想背景画像 G_b を用いて評価を行う. 図 4 に示すように, 瞳の範囲内, 半径 $r_1 (= r)$ 円内の画素値を加算し, それより少し大きい領域(半径 $r_1 \sim r_2$) を何もしない領域とし, r_2 よりも外側の領域を減算する領域とする. 目の画像では上瞼部分も低輝度領域となるため, 主に円の下半分の領域を評価対象とする. なお, 瞳の半径 r は設定値である.

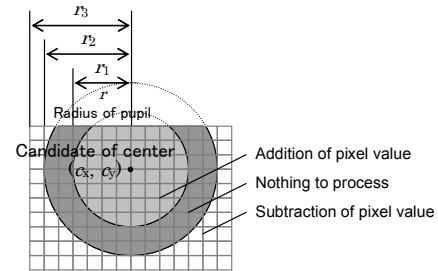


図 4 暗部評価方法

Fig. 4 Dark point evaluation method

低輝度領域画像 G_2 及び仮想背景画像 G_b の評価領域内の任意点の画素値 p, q について, 式(1)によって, 評価領域中心(円中心)から対象点までの距離 d により加減算し, 瞳の面積 πr^2 で割り評価関数 D の結果とする.

$$D(c_x, c_y) = \sum_{j=c_y-r_3}^{c_y+r_3} \sum_{i=c_x-r_3}^{c_x+r_3} M_{ij} / (\pi r^2) \quad (1)$$

$$M_{ij} = \begin{cases} \text{if } d_{ij} < r_1 : p_{ij}(1 - q_{ij} / 255) \\ \text{if } d_{ij} > r_2 : -p_{ij}(1 - q_{ij} / 255) \\ \text{else } 0 \end{cases}$$

2.1.3 円形評価関数 C

一方で, 低輝度領域の抽出結果である 2 値画像 G_2 のエッジ部分を評価する. 瞳のように円形部分では, 円の中心からエッジに対し放射状に法線ベクトルが存在する. ただし, 目の画像に関しては, 上瞼部分の法線ベクトルは上瞼のラインに沿うので, 円の中心から放射状の法線ベクトルとならない. よって, 主に円の下半分を評価対象とする.

図 5 に示すように, 瞳の半径 r に対し少し小さい半径 r_1 と少し大きい半径 r_2 の円を設定し, これら 2 つの円に挟まれる領域に存在するエッジの法線 v_1 及び円の中心 (c_x, c_y) と対象点を結ぶベクトル(円周上の法線ベクトル) v_2 を求める.

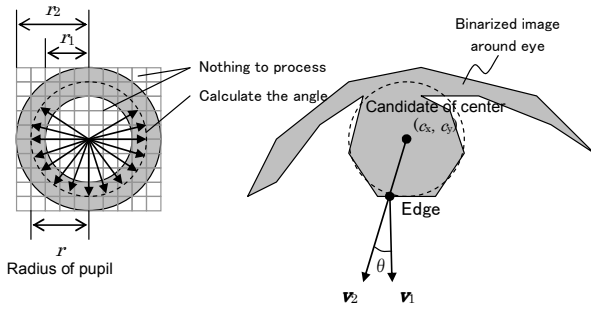


図 5 円形評価方法

Fig. 5 Circular point evaluation method

式(2)に示すように、円の中心 (c_x, c_y) と対象点間距離を d とし、ベクトル v_1, v_2 のなす角 θ の余弦を得て領域内の合計値を求め、エッジ部分の理論最大値である $(\pi r_2^2 - \pi r_1^2)$ で割り評価関数 C の結果とする。

$$C(c_x, c_y) = \sum_{j=c_y-r_2}^{c_y+r_2} \sum_{i=c_x-r_2}^{c_x+r_2} N_{ij} / (\pi r_2^2 - \pi r_1^2)$$

$$N_{ij} = \begin{cases} \text{if } (r_1 < d_{ij} < r_2) \text{ and } (|\theta_{ij}| < 90): \cos \theta_{ij} \\ \text{else } 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\cos \theta_{ij} = v_1 \cdot v_2 / (|v_1| |v_2|)$$

2.1.4 低輝度円形評価及び瞳の位置の決定

次に、式(3)に示すように円形評価関数 $C(c_x, c_y)$ および低輝度評価関数 $D(c_x, c_y)$ の積を瞳の評価関数 $P(c_x, c_y)$ とする。

$$P = CD \quad (3)$$

最後に、低輝度画像 G_2 に対しラベリングを行い、中央付近のラベル上端のエッジ (上瞼候補) 下で、瞳の評価関数 P が最大となる点を瞳の位置とする。

2.2 顔向き推定

運転者の顔の向きは、顔の特徴点が円柱上に存在するとして円柱の回転に近似することで推定できる。に示すように顔の特徴点の検出結果より右目 K, 左目 L, 鼻 M とし、点 M より線分 KL へ降ろした垂線と線分 KL の交点を N とする。なお、右目 K, 左目 L は瞳の座標ではなく顔特徴点検出の結果得た目頭と目じりの中点である。

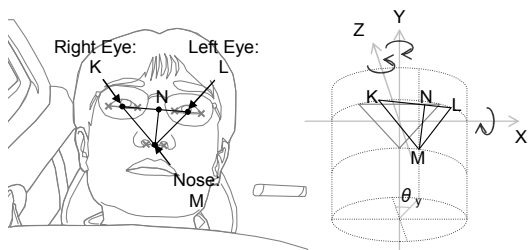


図 6 顔向きを推定するための特徴点

Fig. 6 Facial feature points for face direction

点 K, L, M などの円柱上の点 (x, y, z) は、顔のピッチ角 (X 軸周りの回転角) θ_x , 顔のヨー角 (Y 軸周りの回転角) θ_y , 顔のロール角 (Z 軸周りの回転角) θ_z によって同一円柱上の点 (x', y', z') へ移動できる。以下、各軸周りの回転角の推定について説明する。

(1) 顔のピッチ角 (X 軸回りの回転角) の推定

あらかじめ $KN : LN = 1 : t$ となるパラメータ t を顔の回転角 θ_x に応じて算出したテーブルを用意する。このテーブルは図 7 に示すように顔を上にに向けた場合と、下に向けた場合で対称の形状をしているため、通常、一意に回転角 θ_x は決まらないが、カメラを運転者正面下方、例えば 15 度に設置すると、一意に顔の回転角 θ_x を決定できる範囲を設けられる。

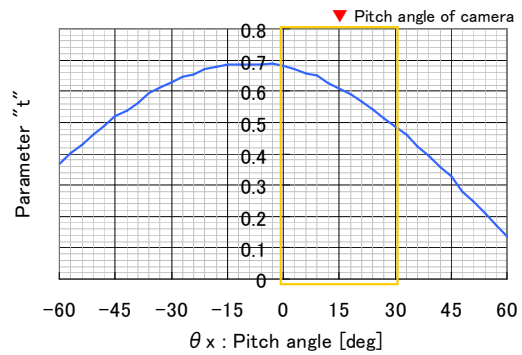


図 7 顔のピッチ角を推定するためのパラメータ "t"

Fig. 7 The parameter "t" for estimating face pitch angle

(2) 顔のヨー角 (Y 軸回りの回転角) の推定

あらかじめ $KN : LN = s : (1 - s)$ となるパラメータ s を顔の回転角 θ_y に応じて算出したテーブルを用意しておく。図 8 に顔のヨー角 θ_y とパラメータ s の関係を示す。パラメータ s を算出し用意したテーブルから顔のヨー角 θ_y を推定する。このようにパラメータ s はカメラのピッチ角に依存する。

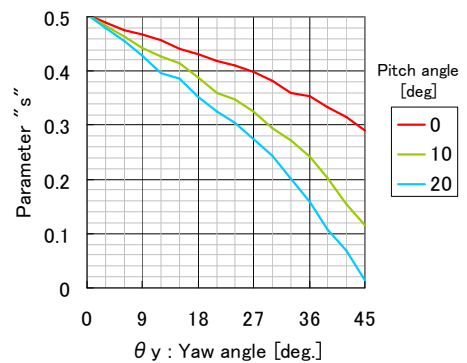


図 8 顔のヨー角を推定するためのパラメータ "s"

Fig. 8 The parameter "s" for estimating face yaw angle

(3) 顔のロール角(Z軸回り回転角)の推定

画面内で右目 K, 左目 L を結んだ直線 KL と画面の水平方向とのなす角をロール角 θ_z とする. ロール角は顔のヨー角の影響を受ける. 運転中, ロールの回転発生は少ないと考えられるため本稿では以後取り扱わない.

2.3 視線推定

図 9 に示すように, 目頭, 目じり, 瞳の中心の三点をそれぞれ A, B, P , AB の中点を C , 顔向き角を (θ_y, θ_x) とし, 眼球回転角 (ϕ_y, ϕ_x) を求める.

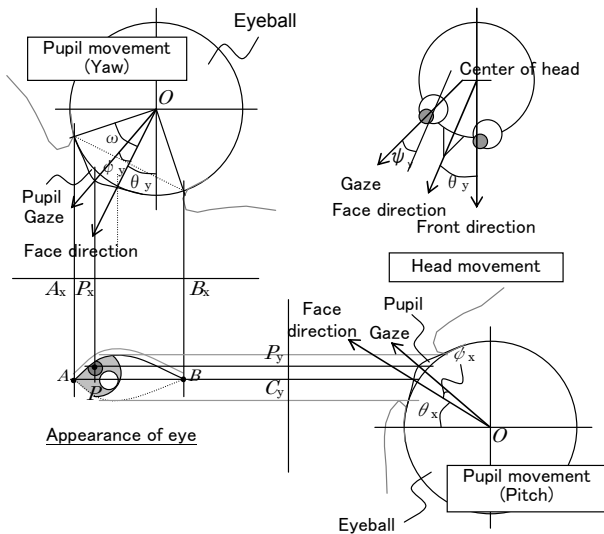


図 9 視線方向推定方法
 Fig. 9 Method of estimating gaze direction

本研究では, 眼球を表すパラメータとして眼裂角 2ω を用いる. 眼裂角とは目頭と目じりの間で露出している眼球の中心角である. 視線方向 $(\theta_y + \phi_y, \theta_x + \phi_x)$ の計算に, 眼裂角を用いると, それ以外の眼球パラメータが不要となり, 以下の式(4)で表される.

$$\begin{aligned} \sin(\theta_y - \phi_y) &= \sin(\theta_y + \omega) \\ -\{\sin(\theta_y + \omega) - \sin(\theta_y - \omega)\} &= \frac{P_x - A_x}{B_x - A_x} \\ \sin(\theta_x - \phi_x) &= \sin \theta_x \\ -\{\sin(\theta_x + \omega) - \sin(\theta_x - \omega)\} &= \frac{P_y - C_y}{B_x - A_x} \end{aligned} \quad (4)$$

2.4 カメラ補正方法

カメラにより物体を撮像した場合, カメラのレンズにより生じる見かけの回転成分を含んでいる. 見かけの回転成分とは, 図 10 に示すように, 同じ正面を向いていても, カメラの向きや画角, 撮像位置によって視線が変化しているように見える現象である. 見かけの回転成分は, カメラ

がピンホールレンズであると仮定した場合, カメラの画角と画角内のどこに顔や顔部位が撮像されているかによって変化するため, これらのパラメータにより補正することができる.

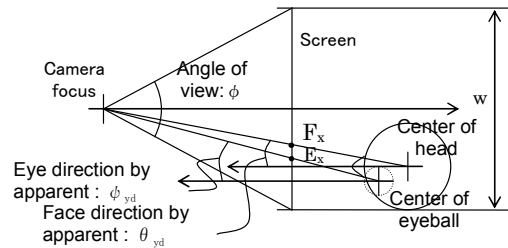


図 10 カメラに起因する視線補正

Fig. 10 camera correction

画像解像度を幅 w , 高さ h としてカメラの画角を (ϕ_y, ϕ_x) とする. 顔の座標 F (例えば右目, 左目, 鼻の中心) を (F_x, F_y) とすると補正角 $(\theta_{yd}, \theta_{xd})$ は次式(5)で表される.

$$\begin{aligned} \theta_{yd} &= \tan^{-1}\left(\frac{2F_x \tan(\phi_y/2)}{w}\right) - \rho_y \\ \theta_{xd} &= \tan^{-1}\left(\frac{2F_y \tan(\phi_x/2)}{h}\right) - \rho_x \end{aligned} \quad (5)$$

角度成分 (ρ_y, ρ_x) の項は, カメラの設置に関するパラメータであり, 車両進行方向を 0 度としたとき, カメラのヨー角 ρ_y とピッチ角 ρ_x を表す.

ここで得た補正角を, 前項で得た顔の回転角 (θ_y, θ_x) から引くことで補正後の顔の回転角 (θ'_y, θ'_x) を得る. 目の回転角 (ϕ_y, ϕ_x) についても顔と同様に補正する.

2.5 視線基準方向推定

車両運転において, 運転者の視線は最も長い時間, 正面を向いている. その他に視線の集中する箇所として, 左右のドアミラー, ルームミラー, メータパネルが上げられる. 図 11 に運転者 1 名による左右のドアミラー, ルームミラーを注視したときの視線の水平方向の分布を示す.

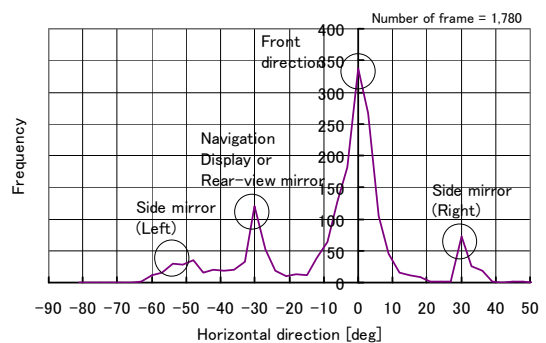


図 11 水平方向の視線と視対象物

Fig. 11 Gaze for visual object in horizontal direction

このようにミラーやナビの画面はカメラに対し一意に位置を決定できるため、これらの視線方向を視線基準方向とする方法を以下に示す。

2.5.1 正面方向の推定

正面方向の推定のため、一定回数分の視線データ ($\theta'_y + \phi'_y$, $\theta'_x + \phi'_x$) を逐次記憶する。記憶したデータを基に、横方向の視線成分 ($\theta'_y + \phi'_y$) 及び縦方向への視線成分 ($\theta'_x + \phi'_x$) それぞれについて度数分布 H_x , H_y を作成する。度数が最大となる方向を正面 (ξ_y , ξ_x) とし、第一の視線基準方向とする。

2.5.2 ミラー方向の推定

視線の最も集中する正面方向 (ξ_y , ξ_x) を原点とし、次に視線が集中する方向を推定する。左右ドアミラー及びルームミラーが候補となりうる。本研究では、右ハンドルの車両にて、左ドアミラーとルームミラーは同方向の視線移動となるため右ドアミラーを推定の対象とする。

度数分布 H_y , H_x から度数最大値 ξ_y , ξ_x と分散 σ_y , σ_x をパラメータとするガウス関数 $G_y(\xi_y, \sigma_y)$, $G_x(\xi_x, \sigma_x)$ を減じた度数分布 H'_y , H'_x を得て、第一の視線基準方向から左側に位置する度数最大値の方向 (τ_y , τ_x) を第二の視線基準方向とする。

2.6 視線のキャリブレーション

視線の最も集中する第一の視線基準方向 (ξ_y , ξ_x) を s 正面とするため原点 (0, 0) とし、第二の視線基準方向 (τ_y , τ_x) との位置関係から視線を補正することができる。左右ドアミラー、ルームミラーと運転者の視線の関係はおよそ表 1 に示す通りである。

表 1 ミラーと視線の関係

Table. 1 Relation between gaze and mirrors

Parts name	Yaw [deg]	Pitch [deg]
Driver-side mirror	30	0
Passenger-side mirror	-50 to -60	0
Rear view mirror	-30	-20 to 0 (*1)

(*1) ... it's depend on the driver's eye points

視線 ($\theta'_y + \phi'_x$, $\theta'_x + \phi'_y$) から基準正面 (ξ_y , ξ_x) を減じ、 $\xi_y - \tau_y$, $\xi_x - \tau_x$ が左ドアミラーと同じになるように視線を補正する。なお、本研究では、視線を安定して得るため、更に移動平均を適応している。

3. 実験

3.1 実験室における視線推定

図 12 に示すように、実験参加者の正面より 1,000mm の位置の壁面に設置された注視点を実験参加者が注視する様子を、実験参加者より 700mm の位置で下方 15 度に設置した

カメラにて撮影した。

なお、これ以降、第 3 節の実験参加者の方々には、あらかじめ各実験内容を書面にて説明し同意をいただいた。

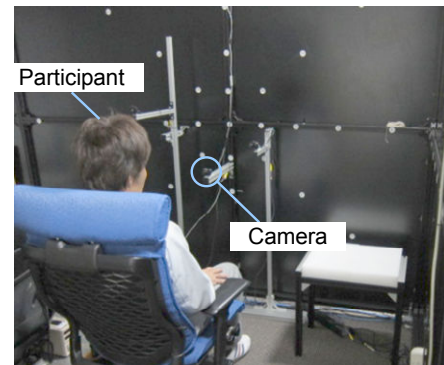


図 12 視線計測実験

Fig. 12 The experiment of gaze measurement

図 13 に実験参加者が 0 度から 50 度まで 10 度ごとに注視方向を横に移動したときの瞳の検出結果例を示す。瞳が横に動いても瞳の位置を検出できていることがわかる。

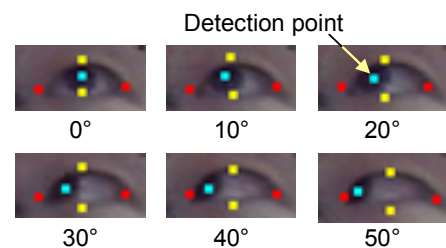


図 13 目の向きと瞳の検出

Fig. 13 Eye direction and eye detection

横方向 $\pm 0, 20, 40$ 度、上方向 $+10, 20$ 度の注視行動について 0 節までに述べた視線の推定により得た実験参加者 1 名分のデータを図 14 に示す。図中の円は指示した視方向を示している。

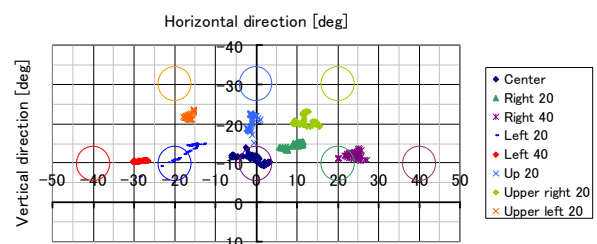


図 14 注視点と視線推定 (補正前)

Fig. 14 Attention points and gaze estimation (before correction)

正面方向に対して視線推定 ($\theta'_y + \phi'_y$, $\theta'_x + \phi'_x$) = (0, 0) となり、他の視線推定方向と各注視点との誤差が最小になるように 1 次の線形式の係数とオフセット値を決定する。図 14 のデータの場合、次式が求められ、これによ

り補正した結果を図 15 に示す.

$$\begin{aligned} (\theta'_y + \phi'_y)' &= 1.5(\theta'_y + \phi'_y) + 3.0 \\ (\theta'_x + \phi'_x)' &= 2.0(\theta'_x + \phi'_x) + 15.0 \end{aligned} \quad (6)$$

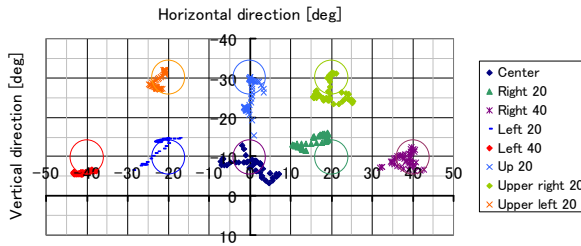


図 15 注視点と視線推定 (補正後)

Fig. 15 Attention points and gaze estimation (after correction)

この結果から、注視点と視線推定結果には、±10 度程度の誤差が生じるがおよそ一致できることを確認できた。

3.2 実車での視線推定

3.2.1 実車走行中の瞳の検出

延べ実験参加者 89 名の、昼・裸眼(24 名)、昼・眼鏡(29 名)、夜(近赤外照明)・裸眼(17 名)、夜・眼鏡(19 名)の 4 条件において、直線単路を走行中の正面を向いていると人手により判断された 890 枚(10 枚/人)を用いて顔画像から瞳の検出率を調べた。

図 16 に、瞳の検出率を示す。全体で検出率 85.0%であり、条件別では、眼鏡ありの場合に誤検出が増加する傾向が見られた。眼鏡ありの場合には眼鏡のレンズへの外の風景の写りこみや、眼鏡のフレームが目の一部を隠蔽することによって、検出率の低下が生じたと考えられる。

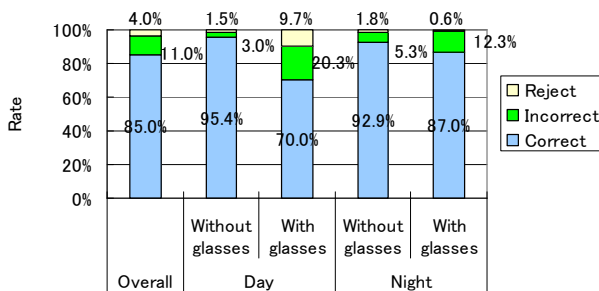


図 16 瞳の検出精度

Fig. 16 Accuracy of pupil detection

3.2.2 実車走行中の視線の自動キャリブレーション

直線区間を走行中の運転者の視線の水平方向分布 H_y より、2.5 節にて述べたように正面を第一の基準方向 ξ_y とし、第一の基準方向 ξ_y 及び分散 σ_y により得たガウス関数 G_y を減ずることにより正面方向の成分を除去した視線の分布 H'_y を生成し、ミラーの注視行動と考えられる方向を第二の基準方向 τ として抽出する一例を図 17 に示す。

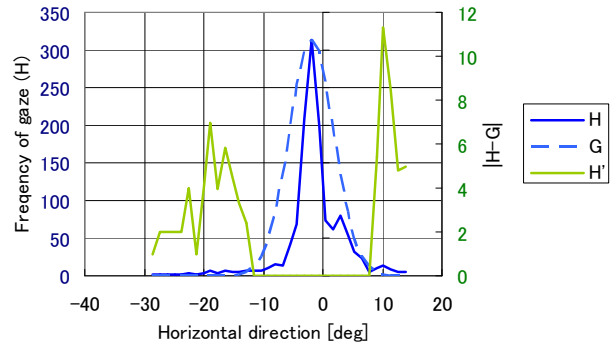


図 17 運転中の視線分布から正面方向成分の除去

Fig. 17 Removing element of front direction from gaze distribution by driving

この運転者の場合、水平方向の視線 $(\theta'_y + \phi'_y)$ の補正式(7)が得られた。この式によって、視線を補正する前と後を図 18 に示す。この図では横軸は時間、縦軸は視線のヨ一角度を示している。

$$(\theta'_y + \phi'_y)' = 2.49(\theta'_y + \phi'_y) + 1.91 \quad (7)$$

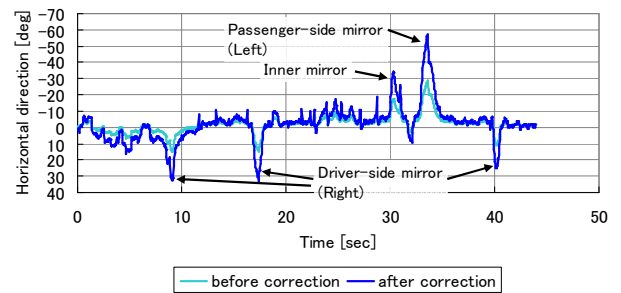


図 18 水平方向の視線(補正の前後)

Fig. 18 Horizontal gaze before and after correction

補正前は左右のドアミラーやルームミラー相当の角度への視線移動を推定できていなかったが、補正後は推定できていることがわかる。しかし、運転者によって、直線区間を走行中にミラーによる安全確認を行わないこともある。この場合でも、正面方向の推定は可能であるため、左右方向の視線移動があったときに角度の正確さでは劣るが正面、左右の区別は可能である。

3.2.3 実車走行環境下での視線の識別

次に、テストコースにて運転者 1 名の運転行動を撮影した 9,000 フレームの動画を使用し、図 19 のイラストに示すように、正面方向からどの程度の範囲に閾値をとることによって正面と右、左の視線変化を識別できるか調べるため、人手で顔画像を 1 フレームずつ目視にて判定したデータを正解データとして評価を行った。

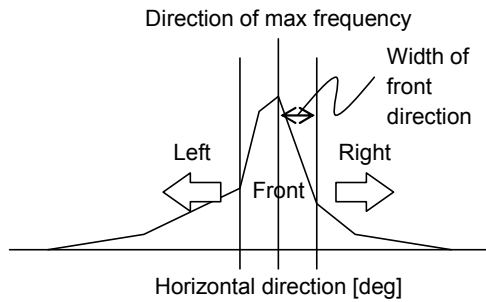


図 19 視線による正面, 左右の分割方法

Fig. 19 Classifying into front, left and right by gaze movement

正面と左右の視線変化の識別率を図 20 に示す. 正面方向とする幅を 10 度近辺に設定することで, 正面・右・左の識別率が 80%以上となる. また, 右を左(R-L), 又は左を右(L-R)に誤識別する確率は, 10 度近辺でほぼ 0%となる.

このときの視線推定結果と, 人手による視線の解析結果を合わせてプロットしたグラフを図 21 に示す. このグラフは, 人手による視線の解析結果を, Front ◆, Right ■, Left ▲のマークで, 視線推定結果をグラフの縦軸で表している.

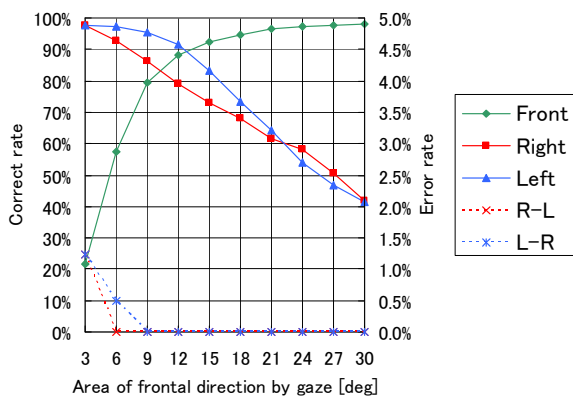


図 20 視線を正面, 左右に分割したときの識別率

Fig. 20 Classification results for front, left, right by gaze direction

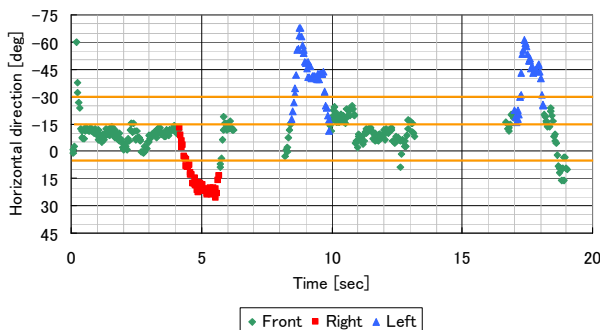


図 21 運転中の水平方向の視線の動き

Fig. 21 Gaze movement in horizontal direction

おおよそ正面と右, 左の視線を分離できているが, 人手

による解析の場合, 正面から左右への視線の移動開始から, 左右から正面に視線が戻るまでを正面と左右とを分けることが出来ている. このため, 正面方向に対して幅を持たせ単純閾値にて正面と左右を分割する手法では人手ほどの精度は期待できない.

4. おわりに

本研究は, 単眼カメラと IR ランプを車載するだけで, 運転者に負担をかけずに, 運転者の視線を簡便に計測するため, 運転者の注視行動の特性を利用し, キャリブレーション無しで, 運転者の視線を完全自動計測する装置の可能性を示した.

今後は, 瞳の検出性能を含めた視線計測全体の精度向上と, 首振りも含めた視線移動時の追跡性能の向上を図り, 車載カメラによる運転者の視線計測を利用した運転支援システムに応用していく予定である.

謝辞 本稿を作成するにあたり, 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 視覚情報メディア講座 横矢直和教授にご指導いただいたことをここに感謝いたします.

参考文献

- 1) L. Fletcher, N. Apostoloff, L. Pettersson, A. Zelinsky: Vision in and out of Vehicles, Intelligent Systems IEEE, Vol 18, Issue 3, pp.12-17 (2003)
- 2) 松本吉央, 開一夫: ヒューマンモデリングおよびヒューマンインタフェースのための顔情報計測ソフトウェアの開発, 情報処理推進機構 2002 年度 未踏本体開発成果, (2002), <http://www.ipa.go.jp/jinzai/esp/mitoipedia/seika/year/2002seika.html>
- 3) 山城 賢二, 高橋 友和, 井手 一郎, 村瀬 洋, 樋口 和則, 内藤 貴志: ドライバの注視行動を利用した視線計測システムの自動校正, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J92-D(8), pp. 1308-1316 (2009)
- 4) 大野 健彦, 武川 直樹, 吉川 厚: 眼球形状モデルに基づく視線測定システム -視線入力デバイスの実現に向けて-, 情報処理学会研究報告. HI, ヒューマンインタフェース研究会報告 2001(38), pp.47-54 (2001)
- 5) 山添 大丈, 内海 章, 米澤 朋子, 安部 伸治: 単眼カメラによる視線検出のための眼球モデルパラメータの推定, 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学 107(40), pp. 1-6 (2007)
- 6) nac Eye Mark Recorder, <http://www.eyemark.jp/>
- 7) 三浦利章, 篠原一光: 注意の心理学から見たカーナビゲーションの問題点, 国際交通安全学会誌, IATSS Review, Vol. 26, No. 4, pp. 259-267 (2001)
- 8) 古市久子, 遠藤晶, 松山由美子: ビデオ観察研究におけるデータ抽出時の問題点について, 大阪教育大学紀要 第 IV 部門 教育学, 45 巻, 2 号, pp. 263-277 (1997)
- 9) 松尾 治夫: 単眼カメラによる実車走行環境下における顔画像処理, 動的画像処理実用化ワークショップ DIA2007 講演論文集, pp.145-150 (2007)
- 10) 松尾 治夫: 単眼カメラによる実車走行環境における開閉眼判定と視線推定, 自動車技術会論文集 39(3), pp. 257-262 (2008)
- 11) Hiroshi Ueno, Masayuki Kaneda, Masataka Tsukino: Development of Drowsiness Detection System, Vehicle Navigation and Information Systems Conference, pp. 15-20 (1994)