ドライバの注視行動に基づく視線計測システムの自動較正

山城　賢二† 　高橋友和 (注 1),† 　井手　一郎† 　村瀬　洋† 　樋口　和則††
内藤　貴志††

† 名古屋大学大学院 情報科学研究科 〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
†† (株) 豊田中央研究所 〒 480-1192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41-1
E-mail: †{yamashiro,ttakahashi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

ffKf ff ff　交通事故の原因として脇見運転や安全不確認などがあり，これらを防ぐためにドライバの視線方向を利用する研究が多く報告されている．正しい視線計測を行うには視線計測システムの較正作業が必要である．一般的な較正作業の問題点として，視線計測前に指定された点を注視しなければならないためユーザに負担がかかる点がある．本稿では運転中に視線計測システムの自動較正を行う手法を提案する．ドライバの自然な注視行動に注目し，サイドミラーやバックミラーの位置を較正の際の基準点とする．車線変更時の視線分布を用いて EM アルゴリズムによりミラー注視時の視線方向を推定し，その情報を用いて較正を行う．本研究の特徴は，従来では運転開始前に行う必要があった手間のかかる較正作業を省き，運転中にドライバに意識させることなく自動較正することである．一般道走行時の視線データを用いて実験を行い，提案手法の有効性を確認した．
キーワード　自動キャリブレーション，視線計測システム，ドライバ，注視行動

Automatic Calibration of an In-vehicle Gaze Tracking System Based on the Driver's Gaze Behavior

Kenji YAMASHIRO†, Tomokazu TAKAHASHI†, Ichiro IDE†, Hiroshi MURASE†, Kazunori HIGUCHI††, and Takashi NAITO††

† Graduate School of Information Science, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8601 Japan
†† Toyota Central Research & Development Laboratories, Inc
E-mail: †{yamashiro,ttakahashi,ide,murase}

Y`M¹¢- ›æOtx¹¢- ³µÂÜw±Y^ÀUž ApK"}\w±Y^Àx|³µÂÜU‰Z`h¹¢q|îM w¹¢qw t Ob"c•›.Yb"hŠtæO}c•UC \b"wx| • Ý•%›Ãsrwx)U¹¢- •è¹ ›)Q"hŠpK"}‡h|‰aâ"²p‹°Ì•ŸN!=s rt‘"|¹¢- Ìwhþrg•è¹›)Q"hŠtc•U \a"}°`$s±Y^Àx|¦ ^•hó:w,j:›qÍ «¹`|˜'•h¹¢qîMw«¹•"w T'±Y;Íå Ý"»›‰Zb"\qt‘"îq^•"}`T`|¦ ^•h :›qÍ«¹b"\qxâ"²tqlo‡×t˜c'˜``M^ ÀpK"}‡h|¹¢- ²t±Y^À›æ˜sZ•ys's M}Åå Ìwá8§ tmMoßQhÔù|á8‰•²t¹ ¢- ³µÂÜw±Y^À›–sæOwxqî$pxsM}

f\p|ŠZ€pxÅå Ìw«¹æˆt«è`|á8¤t ¹¢- ³µÂÜ›×^±Yb" O› Šb"}é.$tx| Ì¿«Ûå"qÈ± ÅÛå"›±YwMw,j:q`| ¢ !ËÌwÅå Ìw¹¢üÍT'Ûå"«¹Ìw¹¢M²›* b"\qt‘"±Y›æO} Š Opx|±Y›^Qcæ O\qpá8Ìw°Ì!=•ŸN!=srt‹0 DópK"} ŠZ€w›Ãx|HRpxá8‰•²tæOžAUKIh wTT"±Y^À›²V|á8¤tÅå Ìt™Ý^d"\q sX×^±Yb"\qpK"}

Žñ|H 2 ...pxŠZ€t Èb"Z€tmMo\,"}H 3 ...px Š Ow qtmMo†Ìb"}H 4 ...px°`"›øæ`hMwÅå Ìw¹¢Ã"»›;Moîg›æM|Š Ow ®Q›°Ab"}H 5 ...pxŠZ€w‡qŠq ™w]JtmMo\,"}

2. ¹¢- ³µÂÜw±Y^Àt b"Z€

è×|¹¢- ³µÂÜw±Ytx•"›7Œqb" 3 ™20 :w{ ,j:›qÍ«¹b"^ÀUžApK"}`T`|ó :w,j:›qÍ«¹` Z"\qxâ"²t‡×tÛrUT T"^ÀpK"}fwhŠ|¹¢- ³µÂÜw±Y^Àw t=›è¦bZ€UK"}

fw{qmq`o|±YÌt«¹b",j:w:›n'bZ €UK"}Gú'x • ÝÞÃç›;Mo¹¢- ¡)›4 Yb"\qt‘"|7ÿ 2:w{ ,j:t'"±Y^À›î qb"¹¢ ³µÂÜ FreeGaze›¼^`h [2]}

‡h| ^b",j:›–;`h±Y Ot b"Z€‹K " [3]}{ `h:›«¹^d"'"‹|â"²tqlo'"× µs^Àq`o| ^b":›«¹^d"\qt'lo|â" ²•wÛrw0n›$loM"}\wZ€px|ÃŸµÓè Ít ^b":›¯Ô`|fw:›' $t«¹^d"\qp| :q¹¢w w ›ó:Ê b"}fw ›;Mo±Y ›æM|ó:w{ ,j:›;MhÔù'"‹ô^Ss±Y› îq`h}

`T`sU'|\•'wZ€px¦ ^•h:›_"\qt '"±Y›æOhŠ|â"²t—sT'cÛrUTT"}‡h| á8¤t¦ ^•h:›_"\qx ÉTm)epK"hŠ| á8‰•²t±Y^À›æOžAUK"}`T`|á8‰•² t–s±Y^À›æO\qxqî$pxsM}^'t\•'w OxMc•‹â"²w„æ•"U{ ^•oM"Ôùtwˆ b;Dós OpK"}`T`|Åå Ìw¹¢- ›ßQh Ôù|Åå Ìw¦E•ŸN!=t'lo„æ•"U!=b"} ŽÍwg t'"|HR Š^•oVh°`$s±Y^ÀxÅ å Ìw¹¢- ³µÂÜtx²TsM}

f\pŠZ€pxÅå Ìw×µs«¹æˆt«è`|á8 ¤t¹¢- ³µÂÜw×^±Y›æO}

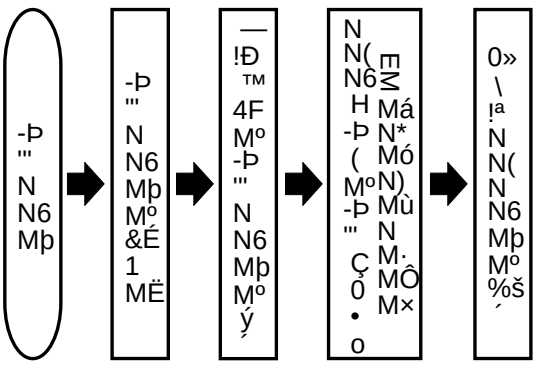
3. Åå Ìw«¹æˆt,nX¹¢- ³µÂÜw×^±Y

3.1 O " A

ŠZ€px|Åå Ìw«¹æˆt«è`|¹¢- ³µÂÜw×^±Y›æO O› Šb"}Ì¿«Ûå"qÈ± ÅÛå"›•"U7ŒpK",j:q`| ¢!ËÌw¹¢Ã" »T'Ì¿«Ûå"|È± ÅÛå"«¹Ìw¹¢M²›* b"\qt'"±Y›æO}

Š OUÝ b"Ý¯|è$tmMo\,"}¹¢›- b"Ôù|HRxá8‰•²tá8- ³µÂÜw±YUæ˜ •oMh} Š Opx|±Y^•oMsM¹¢- ³µÂÜ t'lo˜'•"Åå Ìw¹¢Ã"»›Ö—qb"}˜'• "¹¢Ã"»x+ M²w¹¢¯S|(ÚM²w¹¢¯SpK "}±Y^•oMsM³µÂÜp- ^•h¹¢qîMwY` M¹¢qw txc•U Ob"}fwc•›4Yb"hŠw ±Y;ÍåÝ"»›{Š| ^•h¹¢›4Yb"} Š Opx|á8¤t±Y;ÍåÝ"»w* ›ˆQcæO\qp á8Ìw°Ì!=•ŸN!=srt‹0 DópK"}

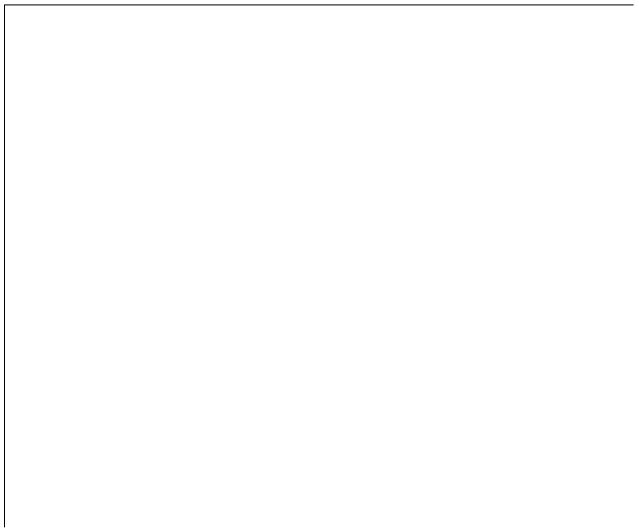
Š Ow¶.wv•›$ 1tÔb} Š Opx|á8¤ wÅå Ìw¹¢Ã"»wOj|°`$tÌ¿«Ûå"|È± ÅÛå"›«¹b"ÃSUÿCb"(è"ïT'È è"ï• w ¢!Ë²S'| ¢!Ë¤w¹¢Ã"»›;M"}‡c| ¹¢w ˆ ST'Ì¿«Ûå"|È± ÅÛå"|YØM² wMc•T›«¹`oM"q* ^•"¹¢Ã"»›¨Zb"} Ít|¹¢üÍUÌ¿«Ûå"|È± ÅÛå"|YØM²w 3mw ùüÍpK"q> `| EM žç°æ¶Ü›;MoÛ å"«¹Ìw¹¢M²›* b"}˜'•h¹¢M²qîMw ¹¢M²›;Mo±Y;ÍåÝ"»›{Š|±Y›æO}Žñ| ¤rgtmMoÄI›†Ìb"}



$1 Š O¶.wv•

3.2

提案手法では，運転中のドライバの視線データのうち，左レーンから右レーンへの車線変更前および車線変更中のドライバの視線データを用いる．車線変更時には，ミラーを注視する頻度が増加するためである [4]．例として，約 1 時間走行した際の全視線データの分布を図 2 に示し，そのうち車線変更 14 回分の視線データの分布を図 3 に示す．車線変更時の視線データのみに絞ることでミラー注視時の視線方向の推定精度が向上すると考えられる．車線変更の自動検出については，ウインカ操作と GPS を用いた研究 [5] などがあるため，提案手法では車線変更は何らかの手段により検出されているものとする．



視線方向の関係から較正用パラメータを算出する．具体的には行列 H の 4 つの未知数 w_1,...,w_4 ををを求める．その際に基準点としてバックミラー，右サイドミラー注視時の視線方向の 2 点を用いる場合とそれに正面注視時の視線方向を加えた 3 点を用いる場合を考える．2 点を用いる場合に推定された視線方向と実際の視線方向の関係を式 3 に示す．ただし，推定されたバックミラー，右サイドミラー注視時の視線方向を $(x_{\mathrm{b}}, y_{\mathrm{b}})$，$(x_{\mathrm{r}}, y_{\mathrm{r}})$，実際のバックミラー，右サイドミラー注視時の視線方向を $(x'_{\mathrm{b}}, y'_{\mathrm{b}})$，$(x'_{\mathrm{r}}, y'_{\mathrm{r}})$ とする．式 3 から較正用パラメータを算出する．3 点を用いる場合には，最小 2 乗法を用いて較正用パラメータを算出する．

$$\begin{pmatrix} x'_{\mathrm{b}} & x'_{\mathrm{r}} \\ y'_{\mathrm{b}} & y'_{\mathrm{r}} \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} x_{\mathrm{b}} & x_{\mathrm{r}} \\ y_{\mathrm{b}} & y_{\mathrm{r}} \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

求められた較正用パラメータを用いて視線を補正するには，式 4 を用いる．ただし，計測された視線を (x, y)，較正後の視線を $(\hat{x}, \hat{y})$ とする．

$$\begin{pmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ 1 \end{pmatrix} = H \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \tag{4}$$

4. g

実際に一般道を走行するドライバの視線データを用いて提案手法の有効性を評価する．まず，実験に使用するデータについて述べ，次にそれぞれの実験の概要と手順，結果を示し，個別に考察を行う．

4.1 î gÚE

本実験では，実際に一般道を自由に走行した際のドライバの視線データを使用した．被験者には，普通乗用車で一般道路を約 1 時間走行してもらった．ドライバの視線は SeeingMachines 製の視線計測装置 FaceLAB [6] を用いて計測レート 60 スキャン毎秒で計測した．視線データは，水平方向の視線角度と垂直方向の視線角度である．FaceLAB の視線計測用カメラはダッシュボードの上に設置した．図 5 にドライバ，視線計測用カメラ，ミラーの位置関係を示す．

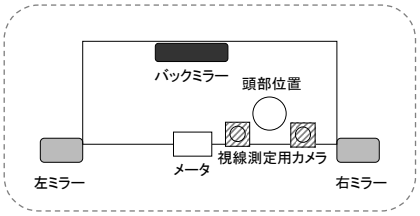
また，被験者にはバックミラー，右サイドミラー，スピードメータを見る際，直前に発話によって提示してもらった．これはミラー注視時の視線方向の正解データを作成するためである．

4.2

提案手法では，較正を行うための基準点としてミラー注視時の視線方向を使用する．そのため，ミラー注視時の視線方向の推定精度評価実験を行った．

4.2.1 実 験 手 順

この実験では，左レーンから右レーンへの車線変更時の視線データ 14 回分を使用した．ただし，対象とする車線変更区間はウインカ点灯開始 5 秒前からウインカ点灯終了までとし，人手で抽出した．このデータに対して，提案手法を用いて停留区間を抽出し，EM アルゴリズムを用いてミラー注視時の視線方向を推定した．EM アルゴリズムで用いた各初期値を表 1 に示す．式 1 を用いて停留区間を抽出する際は，10 個のサンプル（N = 10）に対して 2 つのサンプル間の最大ユークリッド距離が 0.15 rad 以下（C = 0.15）の場合を停留区間として抽出した．



(a) ドライバ後方から見た位置関係

(b) ドライバ上方から見た位置関係

図 5　ドライバ，視線計測用カメラ，ミラーの位置関係

表 1　EM アルゴリズムの初期値

	平均ベクトル	分散共分散行列	混合比
バックミラー	$(-0.34,\ 0.14)$	$\begin{pmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 0.01 \end{pmatrix}$	0.80
右サイドミラー	$(0.65,\ -0.40)$	$\begin{pmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 0.01 \end{pmatrix}$	0.10
正面	$(0.00,\ 0.00)$	$\begin{pmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 0.01 \end{pmatrix}$	0.10

また，停留区間の抽出を行わない場合，つまり車線変更時の全データを用いる場合についても，同様の手順でミラー注視時の視線方向を推定した．

推定された視線方向が正しいかを評価するためにバックミラー，右サイドミラー注視時の正解視線方向を作成する必要がある．被験者に各ミラーを見る際に発話により提示してもらった際の視線データをバックミラー 54 回，右サイドミラー 32 回分抽出し，1 回ごとの平均を計算し，それらを平均したものを各ミラー注視時の正解視線方向とした．

4.2.2 実 験 結 果

ミラー注視時の視線方向の推定精度を評価するために，推定視線方向と正解視線方向の間のユークリッド距離を計算した．推定されたバックミラー，右サイドミラー注視時の視線方向と各正解視線方向の間のユークリッド距離を表 2 に示す．

4.2.3 考　　察

車線変更時の全データを用いた場合よりも停留区間のデータを用いた場合の方がミラー注視時の視線方向を精度よく推定で

表 2　推定視線方向と正解視線方向の間のユークリッド距離［rad］

使用データ	バックミラー	右サイドミラー
全データ	0.105	0.105
停留区間データ（提案手法）	0.009	0.041

きることが分かった．全データを用いた場合，バックミラー，右サイドミラー注視時の視線方向ともに正解視線方向よりも中央寄りに推定された．これは停留区間以外の視線データ，特にミラーと正面の間を移動する視線の影響によるものであると考えられる．停留区間のみを用いた場合に精度が向上したことから，提案手法により視線データから停留区間を抽出することの有効性が確認できた．

推定誤差の大きさについて考える．バックミラーの視線方向推定誤差 0.009 rad は，バックミラーと頭部の間の距離が 50 cm であると仮定した場合，約 0.5 cm の誤差に換算される．また，右サイドミラーの視線方向推定誤差 0.041 rad は，右サイドミラーと頭部の間の距離が 70 cm であると仮定した場合，約 2.8 cm の誤差に換算される．ドライバがミラーを見る際にミラーのどの部分を見るかは状況によって異なるため，上記の誤差はミラーの大きさの範囲内であることから，良好にミラー注視時の視線方向を推定できたと考える．

4.3

運転中に自動較正をするにあたり，なるべく少ない回数の車線変更でミラー注視時の視線方向を推定できることが望まれる．そこで使用する車線変更のデータの回数を変化させた場合に，推定されるミラー注視時の視線方向の精度がどのように変化す