

近赤外線パルス照明とステレオカメラを用いた運転手の頭部追跡手法

小西 晋平[†] 黒木 修隆[†] 山根 知之[†] 沼 昌宏[†] 山本 啓輔[†]

[†] 神戸大学工学部 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: †kuroki@eedept.kobe-u.ac.jp

あらまし 車内向けカメラによる運転支援システムとして、居眠り検知システムや運転手の顔認識による盗難防止システムなどが期待されている。頭部追跡技術はこれらの前処理として重要である。しかし、車内映像では環境光や背景が刻々と変化するため、安定した頭部追跡を行うことは極めて難しい。そこで、近赤外線パルス照明で車内を照らし、その反射光を用いて画像処理を行うことにより、外乱光の影響を抑えながら頭部を検出する手法を提案する。実験では、対向車のヘッドライトが差し込む夜間走行時でも、平均検出誤差 3.78 cm の精度で頭部追跡できることを確認した。

キーワード 車画像処理, 頭部追跡, ステレオビジョン, 赤外線, パルス照明

Driver's Head Tracking Technique with Near-Infrared Pulse Lighting and Stereo Camera

Shinpei KONISHI[†], Nobutaka KUROKI[†], Tomoyuki YAMANE[†], Masahiro NUMA[†], and Keisuke YAMAMOTO[†]

[†] Faculty of Engineering, Kobe University Rokko-dai 1-1, Nada, Kobe, 657-8501 Japan

E-mail: †kuroki@eedept.kobe-u.ac.jp

Abstract In recent years, image processing technologies to support safe driving are extensively studied. Driver's head tracking is important for such applications as doze monitor, automatic adjustment of headrest, and driver's face recognition. However, it is very difficult to trace the driver's head position due to noisy light condition inside the car. For robust head tracking under such condition, we propose a technique to divide the driver's image from background with a near-infrared pulse lighting. Experimental results for driving in the night, the proposed technique can trace a driver's head position with a mean detection error of 3.78 cm.

Key words automotive image processing, head tracking, stereo vision, infrared, pulse lighting

1. ま え が き

近年、車載カメラと画像処理を用いた運転支援に関する研究が活発に行われている[1]-[6]。車外向けカメラによる運転支援では、自動操舵、歩行者検出、駐車アシストなどが実用化されているが、今後は車内向けカメラによる運転支援として、居眠り監視、運転手の顔認識による盗難防止、ミラー・シート等の自動調整、危険な姿勢の検知などが期待されている。それらの前処理として乗員の頭部位置追跡は重要である。我々は2台のカメラを用いて複数の乗員の頭部位置を追跡するシステムを開発した[6]。

1.1 ステレオ球投影に基づく頭部追跡[6]

画像中に全身が写る程度の人物の頭部を追跡する手法として、フレーム間差分と Hough 変換 (円検出用) による手法が知ら

れている[7],[8]。この手法では人物の頭部をほぼ円形状と見なし、フレーム間差分によって得られた頭部の輪郭を Hough 変換によって検出する。我々はこれを3次元に拡張し、複数のカメラを用いて乗員頭部の3次元座標を求めるシステムを開発した。本手法は図1のように車内空間中の仮想球をカメラ画像上に投影しながら、最も球に近い物体を探索する手法である。2つのカメラ間の対応点探索を必要としないので処理が高速であることと、運転席空間および助手席空間を独立に探索できることが特徴である。

1.2 従来手法の問題点

車載用の画像処理システムでは夜間走行やトンネル走行に対応することが必須であるため、我々は近赤外線照明を利用することでそれらに対応した[6]。しかしながら、このシステムには次の問題点が残されていた。

- 車内の明るさが急激に変化すると誤動作することがある。
- 窓の外の物体の動きによって検出精度が低下する。

これらの問題点を解決するため、本論文では近赤外線パルス照明を用いた乗員と背景の分離手法を提案する。これによって車外から差し込む光の影響を抑えた、精度の高い頭部追跡が可能になる。

2. 近赤外線パルス照明を用いた乗員と背景の分離

2.1 原理

近赤外線照明を一定の周期で点滅させると照明の届く運転手、助手からはこれと同じ周期の光が反射されるが、車外景色からはランダムな自然光しか入射しないことを利用して、乗員を背景から分離する。

赤外光の照射領域は一般的なインタレース方式の CMOS カメラで撮影する。この際、トップフィールドとボトムフィールドの撮影のタイミングには、図 2 のように 1/60 秒の時間差がある。このタイミング（垂直同期信号）と点滅のタイミングを完全に同期させることにより、トップフィールドは照明の当たった明画像、ボトムフィールドは照明の当たらない暗画像となる。これらのフィールド間の差分から反射光を抽出する。

2.2 フィールド間差分を用いた反射光の抽出

インタレース方式の CMOS カメラ（640 × 480 画素）から得られた n フレーム目の画像を $A_n(x, y)$ とする。これを偶数行目からなるトップフィールド $T_n(x, y)$ と奇数行目からなるボトムフィールド $B_n(x, y)$ に

$$\begin{aligned} T_n(x, y) &= A_n(x, 2y), \\ B_n(x, y) &= A_n(x, 2y + 1) \end{aligned} \quad (1)$$

のように分離する。ただし、 $0 \leq y < 240$ であること、および $T_n(x, y)$ と $B_n(x, y)$ の撮影時間には 1/60 秒の時間差があることに注意する。したがって $T_n(x, y)$ および $B_n(x, y)$ の時空間中の配置は図 3 のようになる。図中では簡単のため、

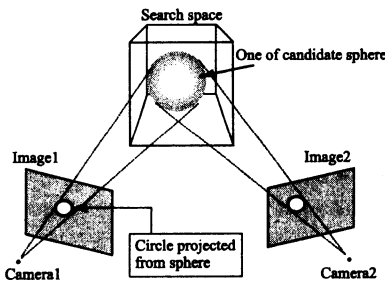


図 1 空間中の球の投影
Fig.1 Projection of sphere in space.

$$\begin{aligned} L_1 &= T_n(x, y), \\ L_2 &= T_{n+1}(x, y), \\ L_3 &= T_n(x, y + 1), \\ L_4 &= T_{n+1}(x, y + 1), \\ D_1 &= B_n(x, y), \\ D_2 &= B_{n+1}(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

としている。

単純に 2 つのフィールド $T_n(x, y)$ および $B_n(x, y)$ の差分を求めると、30 Hz の反射光だけではなく、1/60 秒の間に大きく変化する物体を検出する可能性がある。そこで 4 フィールド分のデータから周期的に 30 Hz で変化している部分を抽出する。赤外線の照射領域を表す 2 値画像 $I(x, y)$ を、 L_1, L_2, D_1, D_2 、および明暗差の閾値 Th_1 より、

$$I(x, y) = \begin{cases} 1 : L_1 - D_1 > Th_1 \text{ かつ } L_2 - D_2 > Th_1 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

のように求める。車内映像の例を図 4 に、また式 (3) によって得られる画像を図 5 に示す。図より、窓の外の景色が消え、運転手および助手が抽出されていることが分かる。しかし、トップフィールドとボトムフィールドは空間的に 1 画素ずれているため、水平方向のエッジも同時に抽出することがわかる。そこで、水平エッジ除去処理を行う。

2.3 水平エッジの除去

水平方向のエッジについては、エッジのない領域 $J(x, y)$ によって $I(x, y)$ をマスクすることで除去する。 $J(x, y)$ は L_1, L_2, L_3, L_4 、および閾値 Th_2 より、

$$J(x, y) = \begin{cases} 1 : |L_1 - L_3| < Th_2 \text{ かつ } |L_2 - L_4| < Th_2 \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

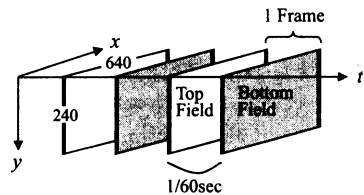


図 2 トップフィールドとボトムフィールド
Fig.2 Top field and bottom field.

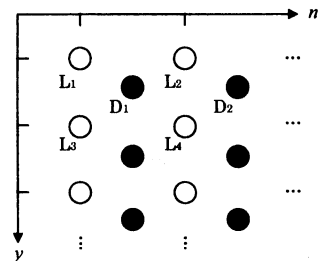


図 3 $n-y$ 断面での画素配置
Fig.3 Pixel location in $n-y$ section.

のように求める。これによって $I(x, y)$ をマスクし、

$$I'(x, y) = I(x, y) \cdot J(x, y) \quad (5)$$

を得る。式 (5) によって得られる画像の例を図 6 に示す。図 5 に見られた窓枠のエッジなどが除去されていることがわかる。

2.4 乗員の動き検出

近赤外線パルス照射領域 $I'(x, y)$ において、さらにフレーム間差分を求めることにより、乗員の動きを検出する。まず、単純なフレーム間差分 $F(x, y)$ を、

$$F(x, y) = \begin{cases} 1 : |T_n(x, y) - T_{n-1}(x, y)| > Th_3 \\ 0 : & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

によって求める。 $F(x, y)$ の例を図 7 に示す。これを前節で作成した $I'(x, y)$ でマスクすることにより、

$$Q(x, y) = F(x, y) \cdot I'(x, y) \quad (7)$$

を得る。 $Q(x, y)$ の例を図 8 に示す。フレーム間差分がほぼ人物の動きによるものに限定されていることが確認できる。

以上が本論文で提案する近赤外線パルス照明を用いた乗員の抽出方法である。次章では提案手法をステレオカメラによる頭部追跡システムに組み込み、その改善効果を確認する。

3. 評価実験と考察

提案する近赤外線パルス照明を、従来のステレオ球投影に基づく頭部追跡システム [6] に組み込むことにより、頭部検出精度の改善効果を確認する。



図 4 赤外線カメラによる車内映像
Fig.4 Infrared camera image.



図 5 式 (3) により得られる画像 $I(x, y)$
Fig.5 Image $I(x, y)$ obtained by Eq. 3.

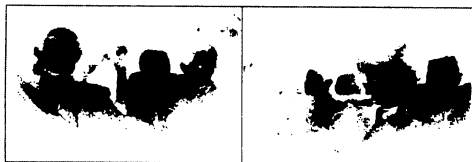


図 6 式 (5) により得られる画像 $I'(x, y)$
Fig.6 Image $I'(x, y)$ obtained by Eq. 5.

表 1 赤外線 CMOS カメラの仕様

Table 1 Specification of infrared CMOS camera.

画素数	640 x 480
画角	90 度 (対角)
受光波長範囲	900nm ~ 1100nm
出力信号形式	アナログ (NTSC)

3.1 システムの構成と車内への設置

赤外線 CMOS カメラと近赤外線 LED 照明を図 9 に示すようにフロントガラス両側のピラーに取り付ける。左右のカメラがどちらも運転手・助手の 2 名を同時に捉えるように角度調整を行う。カメラの仕様を表 1 に示す。これは NTSC 出力をもつ一般的なモノクロカメラであるが、レンズの前に赤外線透過フィルムを付けることによって受光波長範囲を 900nm ~ 1100nm に制限している。近赤外線 LED 照明はカメラの垂直同期信号に合わせて ON/OFF を繰り返すのみである。

3.2 実験方法

照明が並ぶトンネル内や対向車のヘッドライトを浴びる市街地を計 40 分間走行し、車内に設置した赤外線カメラの映像を録画する。次に録画した映像を再生して PC に入力し、PC 上で運転手の頭部追跡を行う。このとき、1 フレームあたりの処理時間を測定する。その後、頭部追跡を行った映像からランダ

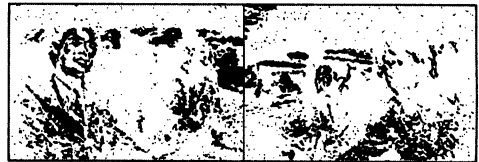


図 7 フレーム間差分画像 $F(x, y)$
Fig.7 Frame difference image $F(x, y)$.

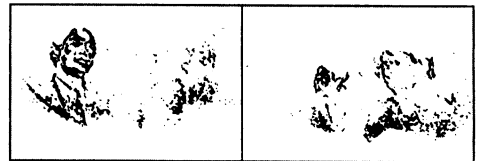


図 8 背景を除去したフレーム間差分画像 $Q(x, y)$
Fig.8 Frame difference image $Q(x, y)$ without background.

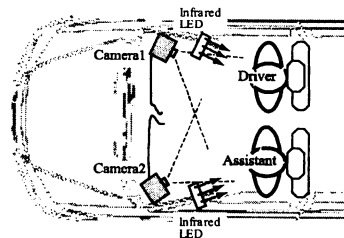


図 9 赤外線カメラおよび LED の配置
Fig.9 Arrangement of infrared cameras and LEDs.

表 2 実験で用いたパラメータ

Table 2 Parameters used in the experiment.

パラメータ	Th_1	Th_2	Th_3
値	6	6	6

表 3 頭部検出結果

Table 3 Results of head detection.

評価項目	平均検出誤差 [cm]	処理時間 [ms/frame]
提案手法	3.78	42
従来手法	8.62	36

ムに 300 フレームを選び出して検出座標を確かめると共に、図 10 のような 3 次元 CAD ソフトウェアを用いて手作業で正解座標を指示する。検出座標と正解座標との空間中のずれを検出誤差とする。同様の実験を従来手法 [6] についても行い、検出精度および処理時間を比較する。なお、本実験では Intel Pentium4 2.2 GHz の PC を用い、提案手法の内部パラメータを経験的判断から表 2 のように設定した。

3.3 結果と考察

提案手法、従来手法における頭部検出誤差の結果をそれぞれ図 11、図 12 に示し、平均の検出誤差および処理時間を表 3 にまとめる。図 11 および図 12 の横軸はランダムに選ばれた 300 枚のフレーム、縦軸は検出誤差を表し、また検出誤差の平均値を破線で示している。また、検出精度の目安を表すため、検出誤差が平均値に等しいフレームを図 13 および図 14 に示す。従来手法では助手席側のカメラに写る運転席側の窓の外の動きに反応するため、本来の頭部位置よりも前よりの座標を出力する傾向があり、平均で 8.62 cm の検出誤差が生じた。これに対して提案手法では窓の外の動きが除去されるため、平均検出誤差が 3.78 cm まで大きく改善されていることがわかる。ただし、提案手法は赤外光照射領域の抽出処理を行っているため、1 フレームあたりの処理時間は 6 ms 程度増加する結果となった。

以上のように、提案手法は 42 ms/frame の処理時間、平均検出誤差 3.78 cm の精度で頭部追跡を行った。検出された頭部座標から運転手の危険な姿勢に対する警告を出したり、顔認識の前処理として顔領域の限定に用いるなどの用途が考えられる。

4. む す び

本研究では、車内環境における乗員の頭部追跡を目的とし、近赤外線パルス照明とステレオカメラを用いた頭部追跡手法を

提案した。実験では照明が並ぶトンネル内や対向車のヘッドライトを浴びる市街地において走行実験を行ったが、平均検出誤差 3.78 cm の精度で頭部追跡できることを確認した。

今後は居眠り検知システム、運転姿勢の検知システム、ミラー・シートの自動調整システムなどの実現に向けて研究を行う予定である。

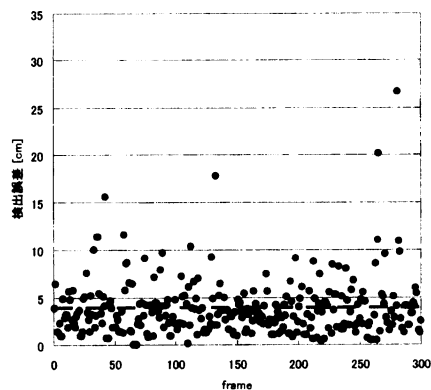


図 11 提案手法における頭部検出誤差

Fig. 11 Head detection error with proposed technique.

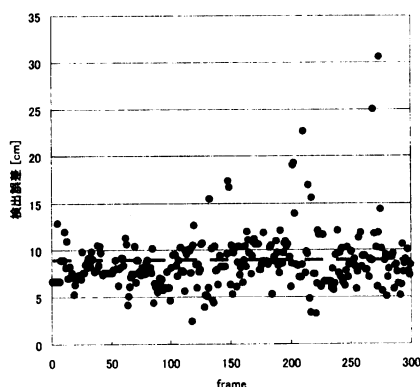


図 12 従来手法における頭部検出誤差

Fig. 12 Head detection error with conventional technique.

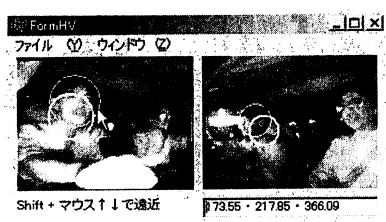


図 10 手作業による検出誤差の修正

Fig. 10 Modification of detection error by manual operation.



図 13 提案手法の検出例 (検出誤差 : 3.78cm)

Fig. 13 Example of head detection with proposed method. (Detection error: 3.78cm)

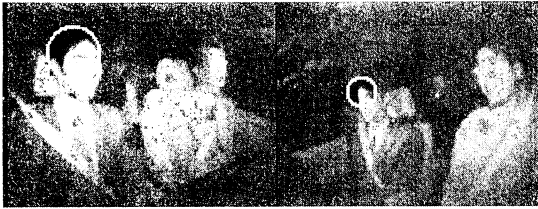


図 14 従来手法の検出例 (検出誤差 : 8.62cm)

Fig. 14 Example of head detection with conventional method.
(Detection error: 8.62cm)

文 献

- [1] 長谷川広明, “昼夜の道路画像における前方車両検出,” 第 1 回 ITS シンポジウム 2002, P2-28, 2002.
- [2] 望月大介, “CCD カメラとジャイロセンサを用いた走行中車両からの歩行者検出,” 第 1 回 ITS シンポジウム 2002, 06-3, 2002.
- [3] T. D. Schoenmackers and M. M. Trivedi, “Real-Time Stereo-Based Vehicle Occupant Posture Determination for Intelligent Airbag Deployment,” Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, no. 105, pp. 570-574, June 2003.
- [4] 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,” 信学論 (D-II), vol. J87-D-II, no. 5, pp. 1094-1103, May 2004.
- [5] M. Fritzsche, C. Prestele, G. Becker, M. Castillo-Franco and B. Mirbach, “Vehicle Occupancy Monitoring With Optical Range-Sensors,” Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, no. 16, pp. 90-94, June 2004.
- [6] 黒木修隆, 山根知之, 小西晋平, 沼昌宏, 山本啓輔, “車内環境における頭部追跡を目的とした赤外線マルチカメラ・システムの開発,” 信学論 (A), vol. J88-A, no. 2, pp. 142-151, 2005.
- [7] 馬場功淳, 大橋 健, 乃万 司, 松尾英明, 江島俊明, “HeadFinder : フレーム間差分をベースにした人物追跡,” 画像センシングシンポジウム 2000, pp. 329-334, 2000.
- [8] S. Ghidary, Y. Nakata, T. Takamori, and M. Hattori, “Head and face detection at indoor environment by home robot,” Proc. of ICCE 2000, Iran, May 2000.