

運転者の注視領域抽出のための視線に基づく 動的ヒートマップの構築

小田中 淳^{†1} 齋藤 大貴^{†1} 新井 義和^{†1}
菊池 弘信^{†2} 今井 信太郎^{†1} 猪股 俊光^{†1}

道路交通事故件数は減少傾向にあるものの依然として多く、その要因として安全不確認が多数を占める。したがって、安全確認を支援することによって交通事故が減少することが期待できる。これに対して、著者らは、運転者が注視すべき対象を注視しているか否かを判別し、必要に応じて警告する注意喚起システムを開発してきた。本研究では、同システムの要素技術として提案した動的ヒートマップに視線計測システムを導入し、運転者の視線に基づいて注視領域を抽出することを目指す。

Building of Dynamic Heat Map based on Gaze for Driver's Gazing Area Extraction

JUN KOTANAKA,^{†1} DAIKI SAITO,^{†1} YOSHIKAZU ARAI,^{†1}
HIRONOBU KIKUCHI,^{†2} SHINTARO IMAI^{†1}
and TOSHIMITSU INOMATA ^{†1}

Although the number of traffic accidents tends to decrease, there is still much number of them. Inattention to safety check gets a majority as their factor. Therefore, by supporting the safety check, it is expected to decrease them. For this purpose, we have developed a warning system which judges whether a driver gazes objects he/she should gaze and warns him/her as needed. In this study, we introduce a gaze tracking system for the dynamic heat map we have proposed as an elemental technology of the warning system, and aim to extract driver's gazing area based on his/her line of sight.

^{†1} 岩手県立大学

Iwate Prefectural University

^{†2} アイシン・コムクルーズ株式会社

AISIN COMCRUISE Co., Ltd.

1. はじめに

日本国内における道路交通事故件数は、平成 16 年の約 95 万件をピークに減少傾向にあるが、その総数は平成 25 年で約 62 万件と、依然として非常に多い¹⁾。交通事故の原因の内訳としては、安全運転義務違反が 75%と最も多く、その原因としては、安全不確認が 40%以上を占めている²⁾。安全不確認とは、「運転に関わる必要情報を取らなければならない状態でそれを怠り、またはそれを行ったが見落としした状態」である³⁾。すなわち「見ていない」という事象に対してそれを補うことによって交通事故を減少させることが可能と考えられる。

仁科らはドライバーモニター付きプリクラッシュセーフティーシステム⁴⁾を開発している。このシステムでは、ミリ波レーダーとステレオカメラで障害物を検知すると同時に、運転者の顔の向き、瞼の開度を監視する。その結果、よそ見や居眠りが判定され、衝突の危険性がある場合に運転者への注意喚起ならびに事故回避の制御を行う。しかし、このシステムは、運転者の表情と障害物が接近しているという事実から間接的に「見ていない」ことを推定しており、危険な状況が発生した段階ではじめてそれを検出することができる。これに対して、著者らは、危険に至る状況を事前にかつ直接的に検出するために、運転者が注視すべき対象（以下、要注視対象）を注視しているか否かを判別し、必要に応じて警告する注意喚起システムを開発してきた⁵⁾。本研究では、同システムの要素技術の 1 つである動的ヒートマップに視線計測機能を導入し、運転者の視線に基づいて注視領域を抽出することを目指す。

2. 注意喚起システム

運転者の視線に基づく注意喚起システムの概要を図 1 に示す。本システムには 2 つのカメラが搭載されている。

車外映像撮影用カメラ 車両前方の車外映像を撮影する。同時に計算機では、人、車両、信号などの運転者が注視すべきと思われるあらかじめ決められた物体を、この車外映像中から注視対象候補として検出する。

運転者撮影用カメラ 運転者の顔を撮影する。同時に計算機では、運転者の顔画像から視線を検出するとともに、車外映像上の運転者の視点座標を算出する。

計算機 注視領域を抽出するために算出された視点座標に基づいて車外映像上に後述する動的ヒートマップを構築する。

知識ベース 運転シーンとその場面における要注視対象の組み合わせが知識として登録されている。

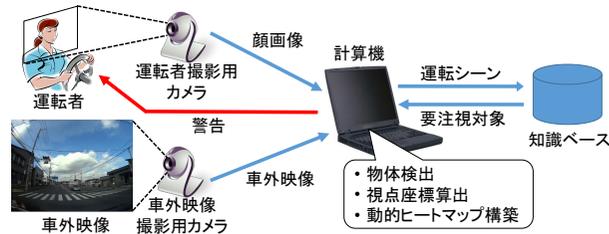


図 1 運転者の視線に基づく注意喚起システムの概要
 Fig. 1 Overview of warning system based on driver's line of sight

本システムは、現在運転者が直面している運転シーンを判別するとともに、それをキーとして知識ベースを検索し、適切な要注視対象を取得する。車外映像から検出された注視対象候補と、知識ベースから得られた要注視対象が一致したとき、注視対象候補の座標と注視領域が重なっていない場合は運転者が要注視対象を「見ていない」と判断し、運転者に警告する。

3. 動的ヒートマップ

例えば、画像に表示されたホームページなどに対してどの領域にどの程度の注目が集まっているかを可視化する技術としてヒートマップが広く用いられている。ヒートマップはサーモグラフィーの画像のように、注目度が周囲より低い領域を青、高い領域を赤、その間を中間色で段階的に表示する。そこで、本研究では、ユーザの視線を画像上に投影した視点座標を中心とした一定の半径の円内に分布する注目度を表すヒートを視線の移動に応じて累積し、その度合いを段階的に色付けして対象画像上にマッピングすることにした。このヒートマップを運転者目線の車外映像に適用する場合、走行中は映像中の物体は常に車両後方に向かって流れていく。したがって、図 2(a) に示すように、車外の物体に対して累積されたヒートは時間とともに位置が変わる移動物体に追従することができない。そのため、移動物体に対して安定してヒートを累積することが困難である。この問題を解決するために、図 2(b) に示すように、累積されたヒートが物体の移動に追従する動的ヒートマップを構築する。

図 3 に動的ヒートマップの構築の流れを示す。移動物体に追従してヒートを安定して移動するためには、画像全体にわたる速度場を求めて、ヒートの移動先を明らかにする必要がある。したがって、画像をグリッド状に分割し、個々のグリッドの交点に対してオプティカルフローの演算を行う。また、算出した速度場に応じてヒートを適切に移動するために射

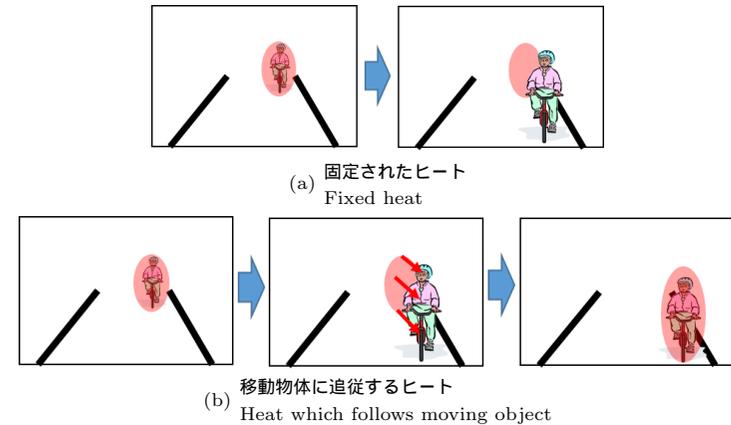


図 2 動的ヒートマップの概念
 Fig. 2 Concept of dynamic heat map

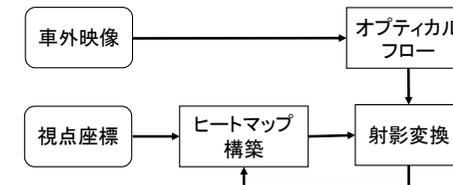


図 3 動的ヒートマップの構築の流れ
 Fig. 3 Flow of the building of dynamic heat map

影変換を行う。車外映像のほとんどの領域が消失点を中心にして放射状に移動するように、画像中の速度場は一樣ではない。したがって、前述のグリッドの隣接する 4 交点を頂点とする矩形ブロックに注目する。個々の矩形ブロックの各頂点から算出された速度ベクトルの終点を結び、これを移動後ブロックとし、注目している矩形ブロック内の画素を移動後ブロック内に射影変換する。この処理を画像中のすべての矩形ブロックに施すことによって、ヒートを移動する。

4. 運転者の視線に基づく動的ヒートマップの構築

動的ヒートマップに視線計測機能を追加するために、視線計測システム⁶⁾を導入する。こ

のシステムは、2つのカメラで運転者の顔と車両前方の車外映像を撮影し、運転者の視線を車外映像上に投影して得られた視点座標を出力する。ここでは、視線計測システムを導入するとともに追加した機能について以下に詳細を示す。

(1) ヒートの忘却

一般に、人間の眼球は、サッケードと呼ばれる小刻みな運動をしており、本視線計測システムで得られる視点座標もその影響を受ける。したがって、運転者の視線の導入によって、視線移動の過程やサッケードによって発生した累積頻度が少ないノイズ状のヒートが散見されるようになった。これらを削減するために、一定時間間隔毎に画像中の全ヒートが減衰するヒートの忘却の概念を導入する。適切な忘却の速度は別途検証が必要があるが、ここでは1.6秒毎に全画像中のヒートの強さを1段階ずつ下げることによって忘却を実現した。結果として、視線情報に基づいてヒートが累積される一方で、ノイズ状のヒートが削減されることが期待される。

(2) 処理領域の効率化

動的ヒートマップを構築するための一連の処理の中では、特に射影変換の処理コストが大きく、画像中の全ブロックに対してヒートを移動すると、1サイクルあたりの処理時間が膨大になり、現実的でない。しかし、運転者の視線は車両前方の車外映像中の全域に渡る可能性があるため、画像全域を本手法の適用範囲とすることが不可欠である。これに対して、本研究では、射影変換を行う領域を画像中のヒートが存在する矩形ブロックのみに限定することで、処理の効率化をはかる。

5. 評価実験

運転者の視線に基づいて車外映像中の注視領域を抽出するために動的にヒートマップが構築できることを確認する評価実験を行った。最初に、車両が停止した状態で視点座標に基づいてヒートが累積されることを確認した。図4に実験結果を示す。同図(a)~(d)は時刻 $t = 0$ を初期状態とし、1サイクル毎のヒートマップの変化の様子を示している。画像中の信号機に1サイクル毎にヒートが1つずつ累積し、過去のヒートと重なる領域はその度合いが高くなっている。このとき、停止状態であるため信号機およびヒートは移動せずその場に留まっており、ヒートが安定して累積し、信号機をとらえていることが確認できる。

次に、同じく停止した状態で累積されたヒートが忘却によって減衰されることを確認した。図5に実験結果を示す。同図(a)~(d)は $t = 0$ を初期状態として、5サイクル毎のヒートマップの変化の様子を示している。(a)の時点で累積された全ヒートに対して、(b)、(c)

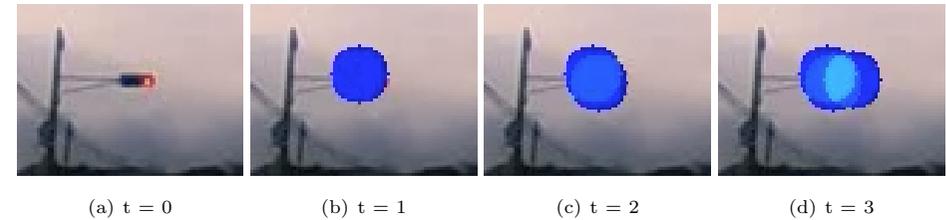


図4 停止状態におけるヒートの累積
Fig.4 Accumulation of heat while stopping

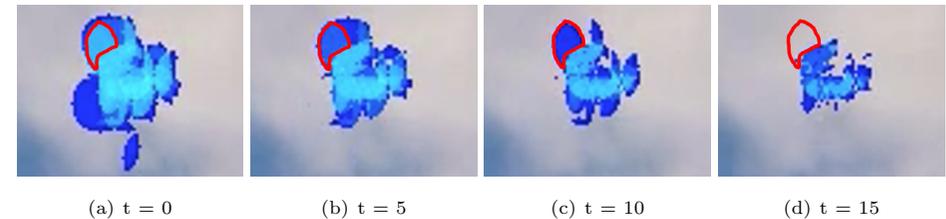


図5 停止状態におけるヒートの忘却
Fig.5 Oblivion of heat while stopping

の時点でそれぞれ度合いが1段階下がり、(d)の時点ではふちを線で囲んだ領域内のヒートが消滅していることが確認できる。

最後に、50 [km/h] で実際に一般道を走行した状態で動的ヒートマップを構築する実験を行った。図6に実験結果を示す。同図(a)~(d)は $t = 0$ を初期状態として、1サイクル毎のヒートマップの変化の様子を示している。(a)の時点で画像中の標識の右下に累積されたヒートは、(b)の時点では標識の移動に合わせてヒートが拡大するとともに、移動している。また、新たなヒートが累積され、ヒートが重なる領域においては度合いが1段階上がっている。(c)、(d)の時点においても同様に、標識の移動および標識の後を追いかける運転者の視線移動に合わせて、動的にヒートが累積していることが確認できる。

処理時間については、処理開始後10分間における1サイクルあたりの平均処理時間が、従来のシステムで808.26[ms]であるのに対し、処理領域の効率化を施した改良システムでは95.30[ms]となった。さらに、従来システムでは、画面の一部のみヒートを移動できたが、改良システムでは画面全域に渡ってヒートを移動できることを確認した。ただし、従来のシ

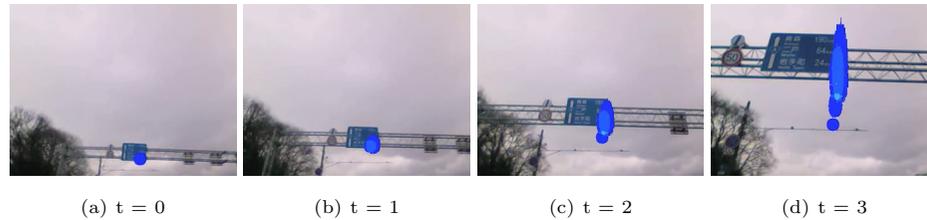


図 6 走行状態におけるヒートの移動
Fig. 6 Movement of heat while running

システムにおける計測結果は、 640×480 ピクセルの解像度の車外映像を 30×30 ピクセルのブロックに分割して行った。改良システムにおける計測結果は、 640×480 ピクセルの解像度の車外映像を 40×40 ピクセルのブロックに分割し、射影変換を常にヒートが存在する 1 個のブロックに行ったものである。

6. おわりに

本研究では、安全不確認を検出して運転者に注意喚起するシステムにおける動的ヒートマップに視線計測システムを導入し、運転者の視線に基づいて注視領域を抽出するシステムへと拡張した。今後の課題として、車速の取得と車外映像中の消失点を考慮した実装などが挙げられる。

謝辞 視線検出システムを提供して下さった岩手県立大学ソフトウェア情報学部 Prima Oky Dicky Ardiansyah 准教授に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 警視庁交通局: 平成 25 年中の交通事故の発生状況 (2013) .
- 2) 交通事故総合分析センター: 交通事故統計年報平成 21 年度版 (2009) .
- 3) 長山泰久: 交通事故防止に必要なヒューマンファクターの視点, JAMAGAZINE, 4 月号 (2001) .
- 4) 仁科多美子, 宇佐美祐之, 森泉清貴, 大上健一, 魚住重康: ドライバーモニター付きブリクラッシュセーフティシステム トヨタ自動車 (株)(クラウン), 自動車工学, Vol. 58, No. 6, pp. 108-115 (2009).
- 5) 西銘大貴: 運転時の注視領域抽出のための動的ヒートマップ, 電子情報通信学会 2014 年総合大会, ZSS-P-105 (2014) .
- 6) 八重樫大貴: 運転者の視線, 頭部姿勢, 車の走行情報を利用した安全運転支援システム,

岩手県立大学ソフトウェア情報学部平成 25 年度卒業論文要旨集, pp. 172-173 (2014).