

夜間の安心・安全な運転のための 歩行者見落とし検知技術

住吉悠希*
Yuki Sumiyoshi
西川歩未†
Ayumi Nishikawa
山本晃史†
Akifumi Yamamoto

Pedestrian Overlook Detection Technology for Safe and Secure Night Driving

*三菱電機モビリティ㈱
†三菱電機㈱ 先進応用開発センター

要 旨

夜間の安心・安全な運転環境の実現のためには、車対歩行者の事故の抑制が重要な課題である。ドライバーが事前に回避行動を取ることができれば、ヒヤリハットの軽減と安全性の確保を両立できる。そこで三菱電機モビリティ㈱(MELMB)と三菱電機は、ドライバーが見落としした歩行者を早期に知らせる機能を開発している。この機能は、見落とし検知アルゴリズムによって、ドライバーに知らせる対象を限定することで、知らせる頻度が多いことによるドライバーの煩わしさ軽減の効果が期待できる。このアルゴリズムの開発に必要な、歩行者を見落とししたときのデータは、実車での収集が困難であるため、CG(Computer Graphics)映像を用いた評価実験によって収集した。これによって、安全かつ効果的なパラメーター最適化及び性能評価を行った。

1. ま え が き

MELMBと三菱電機では、安心・安全な運転環境の実現を目指している。完全自動運転技術の進展によって、将来的にはドライバーが運転から解放されることが期待されている。しかし、ドライバーが運転の主体になる自動運転レベル2以下の割合は、2035年でも約75%と予想されており⁽¹⁾、ドライバーの負担は残る。特に夜間の運転は視界が悪くなるため、事故のリスクが高まる。交通事故のうち、歩行者との事故は全体の約35%を占めており、その中でも夜間の車対歩行者の死亡事故の発生率は、昼間の約1.8倍に増加する⁽²⁾。したがって、安心・安全な運転環境の実現のためには、夜間の車対歩行者の事故の抑制が課題である。

歩行者との事故を抑制するためには、自動ブレーキ機能(Autonomous Emergency Braking : AEB)が効果的であることが示されており⁽³⁾、各社が性能改善に取り組んでいる。しかし、自動ブレーキのタイミングはドライバーの過信を防ぐために緊急時だけに限定されており⁽⁴⁾、自動ブレーキが作動した際に“怖い”と感じるドライバーも少なくない。三菱電機のアンケート調査でも、自動ブレーキを体験したドライバーのうち約半数が、作動時に“怖い”と感じたという結果になった。MELMBと三菱電機が目指す安心・安全な運転環境の実現のためには、このような“怖さ”につながるヒヤリハットの軽減に取り組むことも重要な課題と考えている。そこでMELMBと三菱電機は、自動ブレーキが作動する前に、ドライバーに歩行者の存在を知らせる機能の開発を進めている。

本稿では、この機能の実現のために必要な技術の開発と、その評価結果について述べる。

2. ドライバーが見落としした歩行者を知らせる機能

2.1 機能概要

ドライバーが見落としした歩行者を知らせる機能のシステム構成図と動作のイメージを図1に示す。安心・安全な運転環境を実現するためには、ドライバー自身が歩行者を認識し、早期に回避行動を取ることが重要である。この機能では、ドライバーが余裕を持って回避行動を取れるタイミングで、ヘッドライトやインテリアライトなどの光で歩行者の存在を知らせる。これによって、ドライバーは早期に歩行者に気付き、安全な回避行動を取ることができるため、事故やヒヤリハットの軽減が期待される。

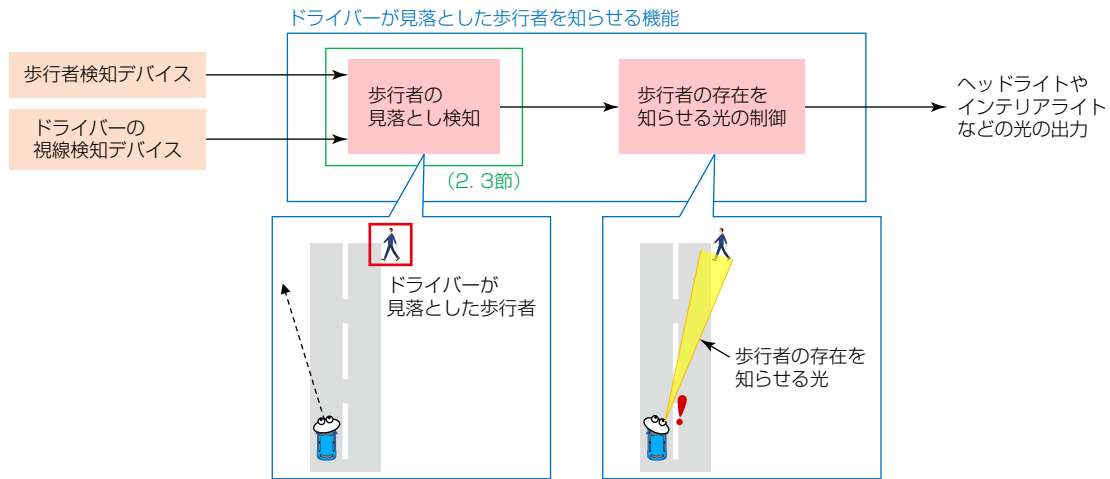


図1-機能のシステム構成図と動作のイメージ

2.2 歩行者を知らせる機能の課題と対策

走行中の道路に存在する全ての歩行者について知らせることは、ドライバーに煩わしさを与えるという問題がある。その対策として、次の二つが考えられる。

- (1) 知らせる対象を限定する
- (2) 知らせ方を工夫する(例：弱い光で知らせる)

(2)は、歩行者を知らせる効果が弱くなってしまう懸念があるため、まずは(1)に取り組むべきと考える。(1)の案として、自動ブレーキのように、センサーで得た歩行者の情報(自車両と歩行者の位置関係、歩行者の動きなど)に基づいて、リスクの低い歩行者はドライバーに知らせる対象から除く方法が考えられる。しかしこの方法では、リスクが高くなった場合にだけドライバーに知らされるため、ドライバーのヒヤリハット軽減の効果は弱くなる。また、リスクの程度に関わらず、ドライバーが歩行者を認知できている場合は、知らされるのが煩わしいと感じる可能性がある。

そこでMELMBと三菱電機は、周辺の状況だけでなく、ドライバーの状態も考慮することで、より効果的にドライバーに知らせる方法を提案する。具体的には、ドライバーが見落としした歩行者だけを知らせることで、ヒヤリハット軽減とドライバーの煩わしさを軽減の両立が可能と考えている。ドライバーに知らせるタイミングは、ドライバーが余裕を持って回避行動を取れるタイミングにすべきであるため、先行文献⁽⁵⁾に倣(なら)い、自車両から歩行者までのTTC(Time To Collision)を4秒に設定した。

本稿では、ドライバーが見落としした歩行者を検知する“見落とし検知アルゴリズム”について述べる。

2.3 見落とし検知アルゴリズム

見落とし検知アルゴリズムは、ドライバーが歩行者を見落としているかどうかを判定する。人間が物体を認知するためには、一定の視認時間(以降“必要視認時間”)以上、物体を有効視野内にとどめる必要があることが示されている⁽⁶⁾。また、人間が視認可能な物体までの距離は、物体の大きさ、周辺の明るさ、ヘッドライトの届く距離などによって限度がある。このアルゴリズムでは、これらの考え方に基づいて、ドライバーが歩行者を見落とししたか否かを判定する。具体的には、ドライバーが歩行者を“有効視野”内にとどめた視認時間が“必要視認時間”以上になった場合に“発見”と判定し、“必要視認時間”に満たなかった場合は“見落とし”と判定する。視認時間のカウントは、ドライバーが歩行者を視認可能な距離である“視認可能距離”内の場合だけとする。このアルゴリズムで用いる三つのパラメーター“必要視認時間”“有効視野”“視認可能距離”のイメージを図2に示す。

ここで、これら三つのパラメーターは、最適な値が明らかになっていない。先行文献では様々な調査によって値が取得されているが、どれも基礎実験による結果であり、この機能のターゲットである夜間の走行環境でも適用可能かどうかは不明である。また、それぞれ自車両及び歩行者の周辺の状況によって変動することが考えられる⁽⁷⁾⁽⁸⁾。そこでこのアルゴリズムでは、この機能のターゲットである夜間での、ドライバーが歩行者を発見したとき、及び見落とししたときのデータに基づいて、これら三つのパラメーターを最適化した値を用いる。

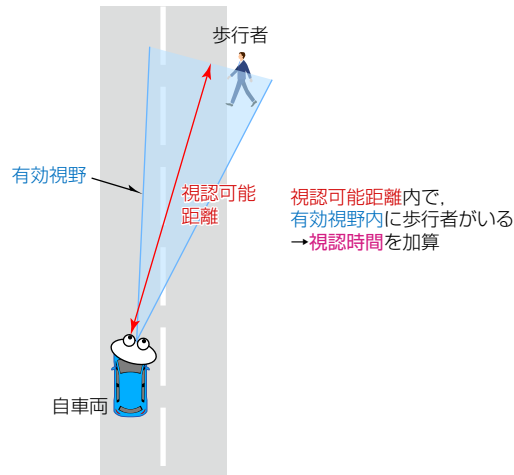


図2-見落とし検知アルゴリズムのパラメーターのイメージ

3. データ収集

3.1 データ収集の課題

パラメーターの最適化のためには、ドライバーが歩行者を発見したとき、及び見落とししたときの両方のデータが必要である。しかし、実車試験でドライバーが歩行者を見落とす状況を再現することは危険性が高く、実現が困難である。そこで、CG映像を用いて運転状況を再現し、ドライバーが歩行者を発見したか否か、及びアルゴリズムに必要なドライバーの視線情報を同時に取得することで、パラメーターの最適化に必要なデータを収集した。

また、2.3節で述べたように、このアルゴリズムで用いる三つのパラメーターは自車両及び歩行者の周辺状況によって変動することが考えられる。そこで、本稿では、この機能のターゲットである夜間を対象としてデータ収集を行った。

3.2 データ収集の方法

このデータ収集は、夜間の街中を走行中の、ドライバー視点のCG映像を用いて行った。CG映像内には歩行者が一人だけ配置されており、CG映像を実験参加者へ呈示すると同時に、ドライバーの視線情報及びCG映像内での自車両と歩行者の位置関係を取得した。視線情報は、赤外線カメラで撮像した顔画像から視線方向を計測する視線計測システムを用いて取得し、CG映像の各フレームと同期して取得した。

CG映像は、2.2節で述べた、ドライバーに知らせるタイミングで中断して黒画面になり、その時点で実験参加者が歩行者を発見したか否かを回答させた。この方法によって、パラメーターの最適化で用いる正解データになる、ドライバーに知らせるタイミングでの歩行者の発見又は見落としのデータを収集した。

このデータ収集は、屋内に簡易的に設置した暗室内で行った。このデータ収集を行った環境を図3に示す。



図3-データ収集環境

3.3 実験参加者へ呈示したCG映像

CG映像は、3面ディスプレイを用いて実験参加者へ呈示した。CG映像内の歩行者は、横断待ちをしているシーンを想定し、車道方向を向いて静止した状態で配置した。また、実験参加者が自然と前方の道路を見るようにするために、自車両の前方を先行車両が走行しているシーンとした。CG映像の一例を図4に示す。実験参加者がCG映像を見る際は、実際の夜間の運転をイメージしやすいように、ハンドルコントローラーを用いてハンドル及びアクセルの操作を行った。ただし、走行速度などの実験条件を統一するために、操作はCG映像とは連動しないものとした。

CG映像は、街灯の明るさ(3パターン)、歩行者の配置場所(2パターン)、歩行者の左右位置(2パターン)のそれぞれが異なる組合せ(合計12パターン)に加えて、実験参加者による歩行者の位置の推測を防ぐために、歩行者の位置が異なるパターンを複数呈示した。



図4-CG映像の一例

4. 性能評価

4.1 評価概要

本稿では、3章のデータ収集で収集した、12名の実験参加者の合計144件のデータ(歩行者を発見したデータが125件、歩行者を見落としたデータが19件)での性能評価の結果を述べる。

見落とし検知アルゴリズムの性能指標は、次の二つとした。

- (1) 正検出率：ドライバーが見落とした歩行者を“見落とし”と判定した割合
- (2) 過検出率：ドライバーが発見した歩行者を“見落とし”と判定した割合

2.3節で述べた三つのパラメーター“必要視認時間”“有効視野”“視認可能距離”は、1名を除いた残り11名のデータから最適化した値を、除いた1名のデータに対して適用した。これを12回繰り返すことで、交差検証での評価を行った。

4.2 評価結果

評価の結果、正検出率が84.2%(19件中16件)、過検出率が10.4%(125件中13件)という結果が得られた。これによって、この機能を搭載しない場合に見落としてしまう歩行者のうち、84.2%の歩行者を早期に知らせることができる。一方で、ドライバーが見落としていない歩行者のうち、ドライバーに知らせる歩行者は10.4%であり、見落とし検知アルゴリズムを適用しない場合よりも知らせる対象を限定できる。このことから、このアルゴリズムによって、煩わしさを軽減しつつ、ドライバーが歩行者を早期に発見する効果が期待できる。

4.3 今後の課題

今後の課題は、このアルゴリズムの性能向上及び適用範囲の拡大である。このアルゴリズムの性能向上のためには、自車両及び歩行者の周辺状況に応じたパラメーターの調整が必要であると考えられる。本稿では夜間のデータを用いて行った評

価について述べたが、夜間でも自車両周辺の明るさや交通状況によって最適なパラメーターが異なる可能性がある。また、このアルゴリズムの適用範囲を拡大するためには、より多様な状況で収集したデータを用いた評価が必要である。これらの課題を解決するためには、3章のデータ収集で収集したデータセットだけでは不十分であるため、まずは様々な状況下でのデータを収集することが必要である。

5. む す び

ドライバーが見落としした歩行者を知らせる機能の開発と、この機能を実現するための見落とし検知アルゴリズムの概要及びアルゴリズム開発に用いるデータ収集と性能評価結果について述べた。CG映像を用いたデータ収集によって、安全かつ効率的なアルゴリズムの開発と評価を進めることができた。

今後は、より多様なデータを用いたアルゴリズムの性能向上及び適用範囲拡大を目指す。さらに、この機能をシステム全体で動作させ、ヘッドライトやインテリアライトなどの光で知らせる部分までを含めた効果の確認及び見落とし検知アルゴリズムの性能目標の策定を行う。さらに、実環境でもこのアルゴリズムが適用可能かどうかの検証を行う。

参 考 文 献

- (1) ㈱富士キメラ総研：2022 自動運転・AIカー市場の将来展望 (2022)
<https://www.fcr.co.jp/report/221q15.htm>
- (2) 内閣府：令和5年度交通事故の状況及び交通安全施策の現況 第1編 陸上交通 第1部 道路交通 第1章 道路交通事故の動向 第2節 令和5年中の道路交通事故の状況
https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r06kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html
- (3) 公益財団法人 交通事故総合分析センター：衝突被害軽減ブレーキ(AEB)の世代別効果分析, 第22回 交通事故・調査分析研究発表会 (2019)
https://www.itarda.or.jp/presentation/22/show_lecture_file.pdf?lecture_id=125&type=file_jp
- (4) 波多野 忠, ほか：先進緊急ブレーキシステム(AEBS: Advanced Emergency Braking System)に係る国際調和基準について-続報-, 交通安全環境研究所フォーラム講演概要, 2011, 135~136 (2011)
- (5) 辻 孝之, ほか：夜間の歩行者認知支援システムの開発, 自動車技術会論文集, 37, No.1, 185~190 (2006)
- (6) 一般社団法人 照明学会：道路照明のビジビリティレベルに関する研究調査委員会報告書, JIER-072 (2002)
- (7) 岩崎電気(株)：IWASAKI LIGHTING HANDBOOK 1.3 明るさと物の見え方
<https://www.iwasaki.co.jp/documents/jp/lighting/support/tech-data/knowledge/unblinking.pdf>
- (8) 公益社団法人 自動車技術会：自動車技術ハンドブック <人間工学編> 第7章 ドライバ行動, 537~601 (2016)