

運転者の危険感受性を考慮した走行環境の階層型危険度推定法

A Hierarchical Risk Estimation Method for Vehicle Safety Systems
in Consideration of Driver's Risk Perception

大濱 吉紘†

國分 三輝†

高橋 新†

内藤 貴志†

Yoshihiro Ohama Mitsuteru Kokubun Arata Takahashi Takashi Naito

1. まえがき

近年、交通事故の発生を抑制するために、衝突発生前に動作する様々な車載の予防安全システムが実用化されている。運転者からみた走行環境の危険要因(ハザード)は、顕在ハザードと潜在ハザードの2つに分類できる。顕在ハザードは運転者が直接認知できる衝突対象物、潜在ハザードは直接認知が困難であるが状況予測により間接認知できる衝突対象物である(例: 駐車車両の陰の歩行者)。一般道では後者の占める割合が前者の数倍に上る[1]。

事故発生を防ぐためには、実用化の進む顕在ハザードの対応だけでなく「何が(What)」「何故(Why)」「どの程度(How)」危険かを推定可能な、潜在ハザードを取り扱うことのできる技術が必要である。例えば駐車車両側方通過場面では、相対位置や他の物標の影響を考慮して、駐車車両の発進や潜在歩行者、さらにドア開閉の可能性を定量評価しなければならない。そのためには事前知識の利用が、1つの有力な手段である。コンピュータ・ビジョンでは環境知識をグラフィカルモデル化し、物体認識率を向上している(What)[2]。自律走行分野では事前知識として運動方程式を利用し、認識結果から確率的危険度を算出した(How)[3]。運転支援分野では、ハザードの構造化による得点化も行われる(Why)[1][4][5]。また、我々は知識表現レベルと状態空間レベルの推論を相互結合した階層型危険度推定法を提案した(What, Why, How)[6]。この方法はエキスパート(運転指導員)の危険認知の確率モデルを用いて潜在ハザードを定量化し、走行環境の危険度を推定する。

一方、現実の事故発生要因の多くは運転者の「思い込み(危険判断の失敗)」である[7]。そのため、運転教育用ドライビングシミュレータ TEDDY (Toyota Educational Driver-Diagnosis System) では、運転操作からリスク知覚を推定し、リファレンスである運転指導員のリスク知覚と比較して、危険場면을危険と知覚する能力(危険感受性)を定量化した[8]。しかし、TEDDYでは危険運転場面の映像とリファレンスデータをあらかじめ収集しなければならない、多様な場면을準備することは困難であった。

本稿では、TEDDYの危険感受性評価方式に階層型危険度推定法を適用し、実車運転時の情報から「走行環境は危険であるにも関わらず、運転者が危険を感じていない場面」を検出する枠組みを提案する。

2. 階層型危険度推定法

階層型危険度推定法は、状態空間レベルの状態行動層と知識表現レベルの状況解釈層から成る(図1)。

状態行動層の処理と構成

状態行動層ではセンサ情報から予測できるハザード下で取り得る状態と行動が、将来の衝突や不確実性に繋がる危険度を評価する(What&Why→How)。危険度の算出方法としては、運動方程式に基づいたランダムサンプリングが利用できる[3]。

状況解釈層の処理と構成

状況解釈層では、センサ情報と危険度からハザードを因果推論する(What&How→Why)。具体的な実装としては、記号化した空間でハザードを演繹推論し、Bayesian Networkによりハザードを定量化する。演繹規則設計と構造学習のために、心理学的面接調査手法である評価グリッド法[9]を用いて、運転指導員の知識構造を抽出した。さらに、実車走行データのデータベースにタグ付を行って頻度テーブルを作成した。

相互結合による効果

階層型危険度推定法では状態行動層と状況解釈層を、危険度とハザードを媒介して相互結合する。状態行動層は、状況解釈層の推論結果である潜在ハザード情報から推定された事前確率を用いて、危険度の推定精度を向上できる。一方、状況解釈層は、物標の位置関係の代わりに危険度を用いることで、状態数爆発を回避できる。これにより、状況依存的な潜在ハザードを考慮した走行環境の危険度を推定することができる。

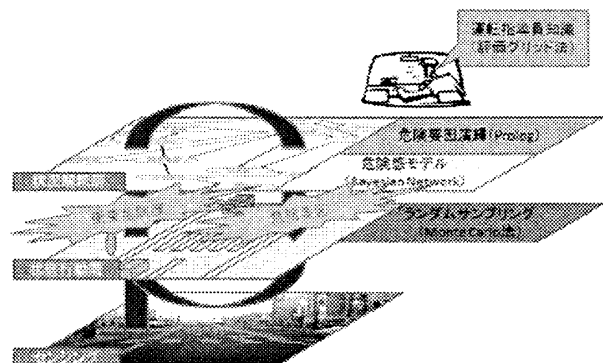


図1 階層型危険度推定法

3. 運転者のリスク知覚推定法

交通事故の主要因である「思い込み」は、心理学的には「交通状況に対して運転者が感じるリスク(リスク知覚)の程度が、客観的リスクの程度よりも低い状態」として定義される[5]。リスク知覚の概念は運転教育分野で発展し、危険感受性テストのような適性検査等に役立てられてきた。さらに工学的応用を志向して我々は、動的な交通状況の中でリスク知覚を定量化する手法 SUPREME(Simple and Useful Perceived Risk Estimation Method)を提案し、運転教育向けドライビングシミュレータ TEDDY を開発した[8]。

SUPREME は、時刻 t における運転者のペダル操作とステアリング操作および交通状況から、減速意図 D_t 、操舵意図 S_t 、補正係数 M_t を決定する。そして、式(1)からリスク知覚 R_t を算出する。 D_t および S_t は、危険を感受しているほど大きな値をとるように設計されているので、 R_t はリスク知覚の強度を表現する。

$$R_t = (D_t + S_t)M_t \quad (1)$$

このように算出された R_t は、走行環境の映像を用いた心理実験による評定値との相関について最大 $r=0.85$ 程度であることが確かめられている[8]。

TEDDY では、あらかじめ運転指導員を被験者としてシミュレータ上で車載カメラの撮影による映像を再生し、運転操作の計測から R_t を算出して客観的リスクとした。しかし、あらかじめ客観的リスクをリファレンスとして収集するコストが高く、多様な場面を TEDDY に組み込むことは困難であった。

4. 危険感受性を考慮した階層型危険度推定法

走行環境において危険度とハザードを推定する階層型危険度推定法と、リスク知覚推定法 SUPREME を用いて、TEDDY 方式の危険感受性評価を行う枠組みを提案する(図2)。つまり、階層型危険度推定法によって、実車運転時の情報から推定した走行環境の危険度を客観的リスクとして、危険感受性評価を行う。

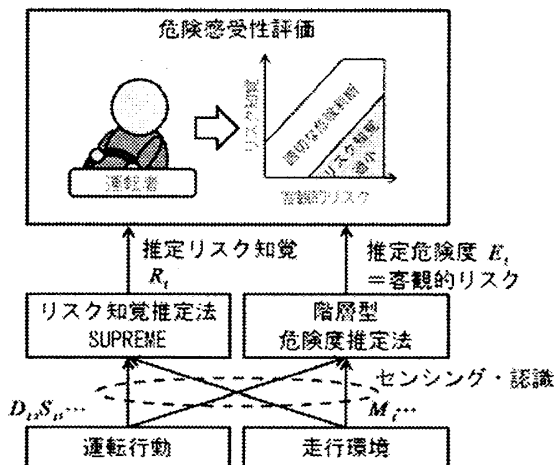


図2 危険感受性を考慮した階層型危険度推定法

客観的リスクの妥当性確認実験の環境

階層型危険度推定法の推定危険度について、客観的リスクとしての妥当性を確かめるために心理実験を行った。車載カメラで撮影した前方映像を PC 上で再生し、ジョイスティックのレバー入力値を映像と同期記録できる環境を準備した(図3)。被験者には映像を観て感受した危険度に応じて、レバー入力力で評定するように依頼し、評定危険度時系列 E_{rt} を得た。なお、被験者は以下の10名とした。

- ・運転指導員 2名 - 運転歴 10年以上(60代)
- ・熟練被験者 3名 - 運転歴 10年以上(20~40代)
指導員監督下で1年以上の
危険予測関連業務経験者
- ・一般被験者 5名 - 運転歴 1~20年(20~50代)

評価用データ

前方のカメラ映像とレーザレーダ情報と、運転者の運転操作および車両状態の計測装置を搭載した実験車により、1時間分の走行環境・運転行動データを収集した(走行地域:愛知県名古屋市中東区藤が丘駅周辺)。このうち、駐車車両の側方通過場面13場面、その他の場面8場面の計21場面(285秒間)を、評価用の場面として抽出した。そして、レーザレーダ情報を鳥瞰映像に変換し、同期して記録されたカメラ映像を参照しながら、オフラインで移動物・静止物・走行車線等の認識結果を手動でタグ付した。

評価結果

提案法の状況解釈層の知識表現は駐車車両に関する危険知識のみで構築したので、駐車車両側方通過場面と全場面について評価した。なお、状況解釈層の構築には、別の走行データ4時間分を用いている。

推定危険度 E_t の性能が良いということは、心理実験で得た運転指導員の評定危険度 E_{rt} との相関が強いと考える。そこで、推定危険度の性能を、以下の相関係数 r ($-1.0 < r < 1.0$) で評価する。

$$r = \frac{\sum_i (E_{rt} - \bar{E}_{rt})(E_t - \bar{E}_t)}{\sqrt{\sum_i (E_{rt} - \bar{E}_{rt})^2 \sum_i (E_t - \bar{E}_t)^2}} \quad (2)$$

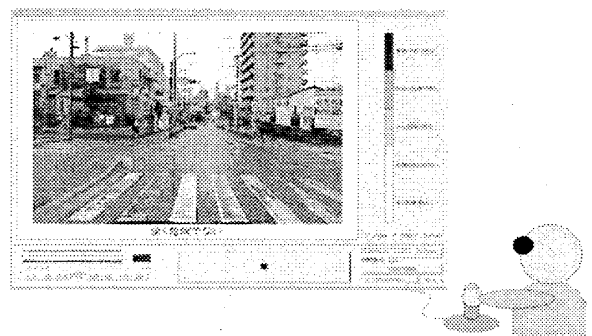


図3 実験環境

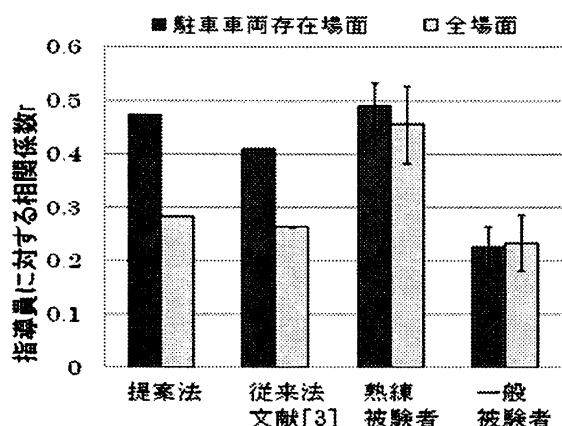


図4 運転指導員に対する相関係数

E_t が E_{r_t} に近い時系列であるほど、 r は 1.0 に近い値をとるが、個人に過剰な適合をしている恐れもある。一般的な危険に関する評価としては、運転指導員間の個人差レベルで、危険度が推定できるかどうかが重要である。そこで、運転指導員 2 名により得られた E_{r_t} により相関係数を算出した結果 $r=0.61$ であった。

階層型危険度推定法による推定危険度 E_{p_t} と、従来技術(文献[3])で算出された衝突危険度 $E_{p_t}^*$ とで、運転指導員 1 名に対する r を算出した。また、熟練被験者および一般被験者の評定危険度 E_{s_t} 、 E_{n_t} についても同様に r を算出した(図4)。

駐車車両側方通過場面については、運転指導員-提案法 $r=0.48$ に対して、運転指導員-従来法 $r=0.41$ であり、 r は約 17% 向上した。また、運転指導員-熟練被験者 3 名では $r=0.49 \pm 0.042$ 、運転指導員-一般被験者 5 名では $r=0.23 \pm 0.087$ であった。指導員間の相関係数 $r=0.61$ に対して提案法と熟練被験者は十分に良い相関値であるため、一般運転者の「思い込み」を推定するためには妥当な能力を持つと考えられる。

一方、全場面については運転指導員-提案法 $r=0.29$ に対して、運転指導員-従来法 $r=0.26$ であった。これは、駐車車両側方通過場面のみが提案法のアドバンテージであることを反映している。運転指導員-熟練被験者 3 名では $r=0.46 \pm 0.083$ 、運転指導員-一般被験者 5 名では $r=0.23 \pm 0.108$ であった。

提案法と従来技術では駐車車両側方通過場面と全場面では r 値に大きな差がみられる一方、熟練被験者および一般被験者では、 r 値はほとんど差がみられなかった。提案法も従来技術も、あらゆる可動物は運動方程式に従って移動するかもしれない、という潜在ハザードに関する知識を持つ。しかしながら、走行環境の潜在ハザードは、交差点右左折時の行く先に歩行者が存在する可能性や、横断歩道や店舗に向かって歩行者が誘引される可能性など多種多様である。これらの常識的な危険知識を、機械的な推定技術は取り扱うことができていない。一方、被験者は危険に対する感受性の差はあるが、これらの常識的な危険知識を取り扱うことができ、駐車車両の側方通過場面に限らず、全場面で同程度の r 値となったと考えられる。

提案法の典型的な動作例

駐車車両側方通過場面について、リスク知覚過小と検出された場面の例を図5に、適正な危険判断と検出された場面の例を図6に示す。図中左上が前方映像に状況解釈層の推論結果を重ね合わせたもの、図中右半分がレーザレーダを鳥瞰映像に変換したものである(自車は下端中央)。図中左下の3本の棒グラフは、左からそれぞれ「運転指導員評定危険度(ref.)」「推定危険度(calc.)」「推定リスク知覚(perc.)」を表している。このグラフに対応して、図中央の“calc.” “perc.”の2軸のプロットが危険感受性評価を可視化したものに相当する。

図5は走行車線に大型車が駐車して運転者が乗り込もうとしているだけでなく、対向車線に中型車が停車している場面であり、推定危険度はかなり高い。一方、推定リスク知覚は相対的に低く、危険運転場面であると検出された。図6では走行車線に普通車が駐車しているのみで推定危険度とリスク知覚のバランスがとれており、危険運転場面としては検出されなかった。このように、定性的には納得できる危険場面の検出がなされている。



図5 「リスク知覚過小」と判定した場面の例

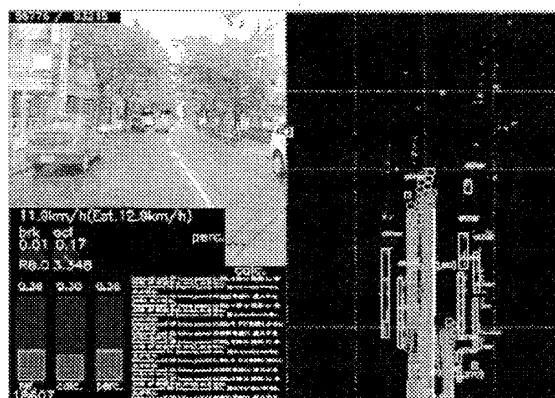


図6 「適正な危険判断」と判定した場面の例

5. おわりに

本稿では、走行環境の危険度とハザードを推定する階層型危険度推定法とリスク知覚を推定するSUPREMEを用いて、TEDDY方式の危険感受性評価を行う枠組みを提案した。この枠組みを実際に適用して、危険運転場面を検出できることを確かめた。

TEDDYではあらかじめ客観的リスクのリファレンスとしての運転指導員の運転操作データを蓄積する必要があったが、本稿で提案した枠組みでは実車走行時の情報からリファレンスを生成する。その精度は、運転指導員レベルには及ばないものの、熟練者レベルのものと考えられる。TEDDYでの利用を考えると、教育効果を狙う場合には厳選した危険運転場面を用いた従来の方式を使用し、熟練度の向上を狙う場合には多数の場面に対して本枠組みを適用することが妥当であると考えられる。

また、従来のTEDDYでは、被験者に対して「何が(What)」「何故(Why)」「どの程度(How)」危険であるかの教示内容を、あらかじめ作成しておく必要があった。本枠組みでは簡素ではあるものの、自動的に危険状況の説明を生成することもできる。ただし本稿では推定危険度(How)のみについて評価しており、他の要素については評価していない。潜在ハザードを「駐車車両」といった具体的事例ではなく、意味論的に危険の本質を表す知識表現で記述して、偏りなく危険度を推定する枠組みを構築することは、今後の課題である。

参考文献

- [1] 梅村ら, 運転教本知識を利用した交通環境リスクの分析法, 自動車技術会春季学術講演会論文集, 20075320(2007).
- [2] Hoiem, D. et. al., Putting Objects in Perspective, CVPR2006, Vol. 2, pp. 2137-2144 (2006).
- [3] Broadhurst, A. E. et. al., Monte Carlo Road Safety Reasoning, IV2005, pp. 319 - 324 (2005).
- [4] Vacek, S. et. al., Situation classification for cognitive automobiles using case-based reasoning, IV2007, pp. 704-709 (2007).
- [5] 國分ら, ドライバーのリスク感受特性分析, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol. 5, pp. 27-36 (2003)
- [6] 大濱ら, 予防安全技術のための走行環境の階層型危険度推定法, 電子情報通信学会 2008年総合大会講演論文集, p. 141 (2008)
- [7] 交通事故総合分析センター, 人はどんなミスをして事故を起こすのか, イタルダ・インフォメーション, No. 33 (2001)
- [8] 國分, ITS時代のヒューマンファクター, 国際交通安全学会誌, Vol. 30, No. 3, pp. 14-22 (2005)
- [9] 讚井純一郎, 乾正雄, “レパトリートリーグリッド発展手法による住環境評価構造の抽出: 認知心理学に基づく住環境評価に関する研究(1)”, 日本建築学会論文報告集, pp. 307-308 (1986)