



安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法(5)

—エッジ強調及び動的透過が与える影響の分析—

Half-DR Expression of Peripheral Vehicles for Supporting Safe Driving, Part 5
- The Analysis of the Effect of Edge Enhancement and Dynamic Transparency -

大内 健太郎, 劉 津佑, 中村 文彦, 木村 朝子, 柴田 史久

Kentaro OUCHI, Jinyou LIU, Fumihiko NAKAMURA, Asako KIMURA, and Fumihisa SHIBATA

立命館大学大学院 情報理工学研究所 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 道路上の死角領域は運転中のストレスや衝突事故発生の原因となる危険がある。我々はこのような問題に対し、死角領域を観測する車両と情報共有することにより死角領域を可視化するシステムについて検討してきた。先行研究では、除去対象を半透過する半隠消表示法の有効性を確認したが、透過による除去対象の視認性低下や周辺環境と自車両の位置関係に応じた表現方法は検討していない。そこで本研究では、除去対象のエッジを残して透過する可視化表現及び除去対象と自車両の位置関係を考慮して透過度を動的に変更する可視化表現を提案し、実験により有効性を確認した。

キーワード: 隠消現実感, 安全運転支援, エッジ強調表現, 動的透過度変更, 高度道路交通システム

1. はじめに

道路上の死角領域は運転中のストレスや衝突事故の原因となる。このような問題に対し我々は、隠消現実感 (Diminished Reality; DR)[1] を ITS 分野に応用し運転者に死角情報を提示するシステムを開発している[2]。本システムでは、車両間で死角領域の情報を共有することにより運転の妨げとなる車両や建物等を視覚的に除去する。これにより、運転者や同乗者のストレス軽減や衝突事故の防止が期待できる。

本システムにおける死角領域の可視化処理の流れを図 1 に示す。具体的には、ユーザが乗っている車両 (自車両) が、死角領域を観測している車両 (他車両) から死角領域のセンサ情報を受信することで可視化する。

先行研究では、システムにユーザの視認性や安全性を考慮した除去対象を半隠消表示する可視化表現を導入した[3]。さらに、無透過/完全透過/半隠消表示を比較した実験

により半隠消表示の有効性を確認した[4]。しかし、除去対象と死角領域の視認性を向上させる半隠消表示の拡張表現は検討されていなかった。

本システムや導入した可視化表現は、運転者の状況認識 (Situation Awareness; SA) に影響を与える。SA は運転者の「周辺状況の認識」を詳細に検討する概念である。Endsley はこの SA を 3 つのレベルで定義した[5]。この定義を自動車の運転に対応させて解釈をしたものは以下のようなになる。

レベル 1 現在の状況知覚 (Perception)

現在の周辺車両や歩行者などの存在, 道路標識などを知覚すること

レベル 2 現在の状況理解 (Comprehension)

知覚した車両や歩行者などの状態, 現在の道路にどの道路標識が適用されているのかを理解すること

レベル 3 将来の状況予測 (Projection)

レベル 2 までに得られた情報に基づいて近い将来, 車両や歩行者などがとる行動を予測すること

SA は運転行動の 3 要素である「認知」「判断」「操作」のうち「認知」に対する指標であり、「認知」は「判断」「操作」の根幹となる重要な要素である。

本稿では、新たに導入した可視化表現の有効性を SA に着目して実験した結果について報告する。シミュレータ

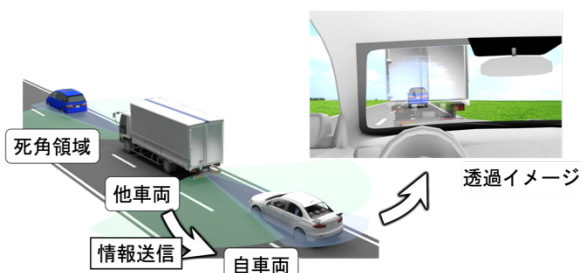


図 1: 可視化システムの利用シーン

上で半隠消表示を拡張した 2 つの可視化表現を実装し、実験を実施した。実験参加者には事前に作成した運転者視点の映像を提示し、状況認識レベルを測ることで、データの収集・分析を行った。

2. 提案システム

2.1 概要

本システムは、隠消現実感の技術を高度道路交通システム (Intelligent Transportation Systems; ITS) 分野に応用することで、死角領域内の移動物体を運転者に提示する。本稿では、死角領域の新たな可視化表現を提案する。

2.2 使用機器とソフトウェア

本稿で使用するシステムにおいても、先行研究で提案されたシステムと同様に LiDAR と RGB カメラを車両に搭載する。運転支援モジュールには Autoware[6]が提供する、センシングモジュール、自己位置推定と 3 次元地図作成を行う SLAM モジュール、物体検出モジュールを使用している。これに加えて我々が独自に実装した、点群を抽出する点群抽出モジュール、抽出した点群を自車両画像に投影する点群投影モジュール、死角領域の可視化を行う死角可視化モジュール、可視化表現を適用する可視化表現モジュールなどを組み合わせてシステム全体を構成する。

2.3 死角領域の可視化方法

本システムにおける可視化処理は以下の手順で行う。

- (1) 事前に作成された 3 次元地図と LiDAR のスキャンデータから、各車両の位置姿勢を推定する。
- (2) 他車両 LiDAR で取得した死角領域の 3 次元点群を他車両カメラ画像に投影する。
- (3) (2)の投影点を自車両カメラ画像に投影する。
- (4) 他車両画像に投影した点の周辺画素を探索し、画像パッチを生成する。
- (5) 画像パッチを自車両カメラ画像の除去対象領域に重

畳描画する。

- (6) (2)~(5)を繰り返す。

2.4 可視化表現モジュール

本システムでは、死角領域を可視化する際の表現方法として、除去対象のエッジ部分を強調表示する表現法 (エッジ強調) および自車両と除去対象との距離に応じて透過度を 0%~100%に変更する表現法 (動的透過) を導入した。

3. 実験

3.1 概要

本実験では、4 つの可視化モジュール (図 2) を導入したシステムを適用することで運転者の SA が向上するのを確認した。SA の評価手法としては、Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT)[7]を用いた。

3.2 実験準備

本実験は、安全の確保と実験統一のために運転シミュレータを用いて実施した[8]。実験は、先行研究で藤重ら[4]が用いた追い越しや追い抜きのシーンに着目した 2 種類の運転シナリオを使用し、同様の手順で運転者の SA 評価の実験を行った。本実験で SA テストに使用した設問と SA レベルとの対応は表 1 の通りである。

3.3 実験 1

実験 1 では、以下に示す 2 種類の表現方式を適用したシステムを比較した。

- 表現方式(A): 青枠の点滅表示, 除去対象の半隠消表示
 表現方式(B): 青枠の点滅表示, 除去対象の半隠消表示, エッジ強調

ここで、青枠点滅表示は運転者にシステム適用を明示的に提示するための処理で、両方式で共通である。

本実験ではこれらの表現方式を用いて、除去対象のエッジのみ透過しないことで SA に与える影響を分析した。



(A) 半隠消表示



(B) エッジ強調



(C) 動的透過



(D) 動的透過とエッジ強調

図 2: 実験に用いた可視化モジュール(A)~(D)

表 1: SA テストに使用した設問

設問番号	SA レベル	設問内容
1	-	目の前の信号機は何色ですか。
2	1	自車両から半径 30m 以内に車両/歩行者は存在しますか。
3	2	自車両と最も近い車両までの距離は何 m ですか。
4	2	最も注意すべき対象は何ですか。またその理由は何ですか。
5	-	現在の周辺状況を説明してください。
6	3	この後あなたはどのような行動を取りますか。またその理由は何ですか。
7	3	この後、3 秒以内に事故が起こる可能性はありますか。「起こる」を選択した場合、どのような事故が起こるのかについて回答してください。

3.3.1 実験参加者

実験参加者は、著者が所属する大学内で募集し、運転免許証を取得している 20～23 歳の男女 15 件のデータを分析した。

3.3.2 実験結果

SA の評価には実験参加者に回答させた 7 つの設問のうち設問 1 と 5 を除いた 5 つの設問を用いた。SA スコアは各設問において、基本的には正解で 1 点、不正解で 0 点としたが、部分的に正しい回答ならば 0.5 点とした。また、設問 3 は真値から ± 0.5 以内であれば正解とした。

各 SA レベルのスコアと全 SA レベルの平均 (以下、SA レベル全体) のスコアを図 3 に示す。棒グラフは各表現方式における参加者の SA スコア平均値、エラーバーは標準誤差を表す。以降の図において注釈がない限り、棒グラフは平均値、エラーバーは標準誤差を表す。得られた結果について有意水準 5% で両側検定の t 検定を行ったところ、各 SA レベルと SA レベル全体において、表現方式間に有意な差は見られなかった (SA レベル 1 : $t(8) = -0.38, p = .71$, SA レベル 2 : $t(18) = -1.68, p = .11$, SA レベル 3 : $t(18) = 0.29, p = .77$, SA レベル全体 : $t(8) = -0.93, p = .38$)。

次に、参加者が認識した物体に着目し、分析を行った結果を図 4 に示す。これはそれぞれ、死角領域内に存在する車両と歩行者、除去対象、処理領域以外の物体に対するスコアである。ここで、処理領域とは、透過処理を行っている領域を指す。得られた結果について有意水準 5% で両側検定の t 検定を行ったところ、除去対象のスコアで表現方式間に有意な差が見られた ($t(8) = -3.17, p = .01$)。一方で、死角領域内に存在する車両と歩行者、処理領域以外の物体に対するスコアにおいては、表現方式間に有意な差は見られなかった (車両 : $t(8) = -1.63, p = .14$, 歩行者 : $t(8) = 1.92, p = .09$, 処理領域以外 : $t(8) = -1.77, p = .12$)。

以上のことから、除去対象のエッジ強調は除去対象の視認性を向上させることがわかった。

3.4 実験 2

実験 2 では、以下に示す 3 種類の表現方式を適用したシステムを比較した。

表現方式(A)： 青枠の点滅表示，除去対象の半隠消表示

表現方式(C)： 青枠の点滅表示，除去対象の動的透過

表現方式(D)： 青枠の点滅表示，除去対象の動的透過，エッジ強調

ここで、動的透過は除去対象を完全透過する際にシステムの安全性が著しく低下する恐れがある。そこで、実験 1 の結果を踏まえ、エッジ強調と組み合わせることによる除去対象の視認性向上を目的として表現方式(D)を加えて実験を実施した。

3.4.1 実験参加者

実験参加者は、著者が所属する大学内で募集し、運転免許証を取得している 20～23 歳の男女 30 件のデータを分析した。

3.4.2 実験結果

実験参加者に回答させた 7 つの設問は実験 1 と同様の基準で採点した。

各 SA レベルのスコアと SA レベル全体のスコアを図 5 に示す。得られた結果について参加者間分散分析を行ったところ、SA レベル 1, 3 において、透過要因の主効果が有意であった (SA レベル 1 : $F(2,27) = 6.16, p < .01$, SA レベル 3 : $F(2,57) = 4.22, p < .05$)。下位検定として Ryan 法による多重比較を行ったところ、SA レベル 1, 3 共に表現方式(C)で表現方式(A)より有意に高いスコアを得られた ($ps < .01$)。一方で、SA レベル 2 と SA レベル全体においては、主効果が有意でなかった (SA レベル 2 : $F(2,57) = 0.22, p = .80$, SA レベル全体 : $F(2,27) = 1.28, p = .34$)。

次に、参加者が認識した物体に着目し、分析を行った結果を図 6 に示す。得られた結果について参加者間分散分析を行ったところ、除去対象のスコアにおいて主効果が有意であった ($F(2,27) = 4.04, p < .05$)。多重比較を行ったところ、表現方式(C), (D)で表現方式(A)より有意に高いスコアを得られた ($ps < .05$)。一方で、死角領域内の車両、死角領域内の歩行者、処理領域以外の物体に対するスコアで主効果は有意でなかった (車両 : $F(2,27) = 1.96, p = .16$, 歩行者 : $F(2,27) = 2.26, p = .12$, 処理領域以外 : $F(2,27) = 0.07, p = .15$)。しかし、死角領域内の歩行者に対する SA スコアにおいて、除去対象と死角領域内の歩行者の着ている服の色が近似色であるシーンでは、表現方式(C)が有効であることを確認した ($ps < .05$)。

以上より、動的透過手法を適用することで SA や死角領域内の歩行者、除去対象の視認性が向上することや死角領

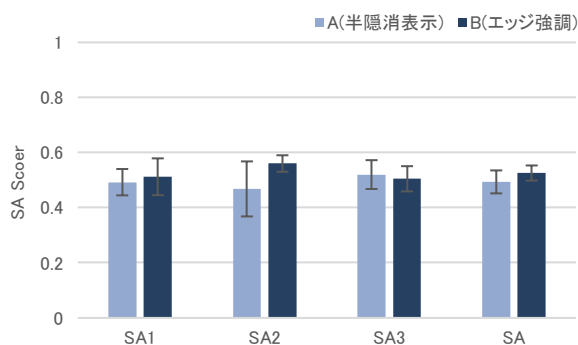


図 3: SA スコア比較 (実験 1)

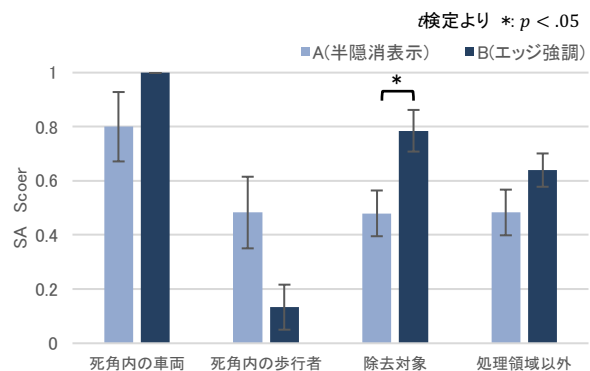


図 4: 各物体に対する SA スコア比較 (実験 1)

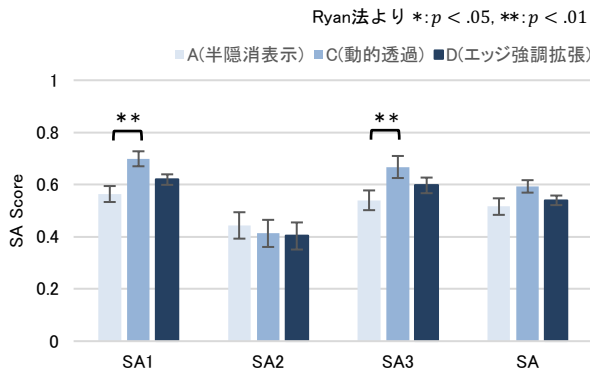


図 5: SA スコア比較 (実験 2)

域内の車両や処理領域以外の物体についても視認性が保持されることが確認できた。一方で、動的透過手法にエッジ強調を加えると、SA スコアや各物体の視認性が低下することがわかった。

3.5 考察

除去対象のエッジ強調表現を適用することで、除去対象の視認性が向上することを確認した。また SA レベルの低下は見られなかった。しかし、死角領域内に存在する歩行者に対する SA が低下することがわかった。これについては藤重らが提案した歩行者に人型アイコンを投影する表現方法[4]を用いることで解決できると考える。

一方、動的透過手法は SA レベル 1, 3 において有効であることを確認した。これは動的透過手法では自車両と除去対象が近づくことで必ず透過度が半隠消表示法より低くなることが要因と推測する。また、死角内の物体に関する SA スコアも有意でなかったものの比較的高い結果を得られた。死角内の歩行者に対する SA スコアは、シーン全体では有意ではなかったが除去対象と歩行者の服の色が近似色であるシーンにおいては、有効性を示した。これは動的透過により完全透過されることで、参加者は認識が困難であっても歩行者と車両と見分けることができたためと考えられる。

実験 1, 2 を通して処理領域以外の物体に対する SA スコアにおいては、向上が確認できなかった。事後アンケートにおいて青枠の点滅表示により除去対象に注視してしまうという意見が得られたことから、システムが除去対象を認識した際の運転者への伝達方法が原因と考えられる。

以上のことから、本実験では、提案手法である動的透過手法が有効であることが示唆された。

4. むすび

本研究では、道路上の死角領域を可視化するシステムにおいて視認性を向上させるエッジ強調表現と動的透過手法、および動的透過手法のエッジ強調拡張を提案した。ま

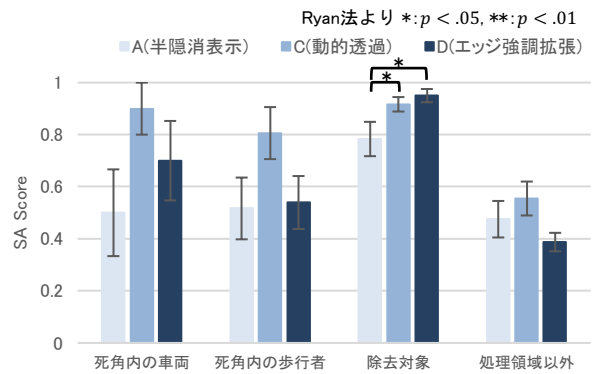


図 6: 各物体に対する SA スコア比較 (実験 2)

た運転者の SA に注目した実験を行うことで有効性を確認した。実験結果より、動的透過手法を適用することで半隠消表示と比較して SA スコアの向上や死角領域内の物体の視認性向上が確認された。しかし、動的透過の完全透過による安全性に関する問題を解決する必要がある。

今後の展望として、動的透過手法の完全透過による問題を死角領域の視認性を保持したまま防ぐ拡張を行いその評価を進めていきたい。

参考文献

- [1] 森尚平, 他: 隠消現実感の技術的枠組と諸問題～現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について～, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 239 - 250, 2011.
- [2] 竹村岩朗, 他: 自動運転ソフトウェアを活用した死角領域の半隠消表示, 第 23 回日本 VR 学会大会論文集, 14D-1, 2018.
- [3] 若林優, 他: 安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法 (2) – 移動物体を含む死角領域の可視化 –, 第 25 回日本 VR 学会大会論文集, 3B1-4, 2020.
- [4] 藤重秀斗, 他: 安全運転支援のための周辺車両の半隠消表示法 (4) – 半隠消表示法の拡張と評価 –, 信学技法, Vol. 121, No. 436, ITS2021-63, pp. 1-6, 2022.
- [5] M. R. Endsley: Situation awareness global assessment technique (SAGAT), Proc. IEEE NAECON, Vol. 3, pp. 789 - 795, 1988.
- [6] S. Kato, et al.: An open approach to autonomous vehicles, IEEE Micro, Vol. 35, No. 6, pp. 60-69, 2015.
- [7] M. R. Endsley, et al.: Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Situation awareness analysis and measurement, pp. 147 - 173, 2000.
- [8] G. Rong, et al.: LGSVL Simulator: A high fidelity simulator for autonomous driving, IEEE 23rd International Conf. on ITSC, pp. 1-6, 2020.