

# ウィンドシールドディスプレイを用いた交差点における 進入車両提示方法の評価

森田 航平\*<sup>1</sup> 亀田 能成\*<sup>2</sup> 北原 格\*<sup>2</sup> 大田 友一\*<sup>2</sup>

筑波大学 大学院システム情報工学研究科\*<sup>1</sup>

筑波大学 システム情報系\*<sup>2</sup>

本論文では、見通しの悪い交差点において、出会い頭の衝突事故を予防するために、横方向から進入する車両を、ウィンドシールドディスプレイを用いて運転手の視界に複合現実型提示する視覚支援の効果について報告する。この手法では、速度と交差点までの距離が進入車両と等しい車両を、運転者の視界に提示することで、進入車両の交差点に到達するタイミングをリアルタイムに把握させることを狙っている。運転者視点映像に仮想車両等を重畳した映像から、被験者が進入車両の到達するタイミングを把握できるか、CGによる評価実験を行った結果を報告する。

## Evaluation of a Vehicle Visualization on a Windshield Display at Intersection

Kouhei MORITA\*<sup>1</sup> Yoshinari KAMEDA\*<sup>2</sup> Itaru KITAHARA\*<sup>2</sup> Yuichi OHTA\*<sup>2</sup>

Department of Intelligent interaction Technologies,

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba \*<sup>1</sup>

Information and Systems, Faculty of Engineering, University of Tsukuba \*<sup>2</sup>

In this paper, we report an evaluation of the visualization method that displays a hidden vehicle that is approaching from side road based on augmented reality on a Windshield Display in order to prevent collisions at traffic intersections. Our proposed system enables drivers to estimate the time when the approaching vehicle reaches the intersection by superimposing a virtual vehicle whose speed and distance to the intersection is equal to the original vehicle that is approaching at the side road. We report results of evaluation experiment in which subjects estimated arriving time of the side vehicle to the intersection by showing a movie of superimposing a virtual vehicle on a driver view.

**Keyword: Driver Assistance, Augmented Reality, Visualization**

### 1. はじめに

出会い頭による車両同士の衝突事故は交通事故全体の 26%を占め追突事故について二番目に多く、車

両相互事故の中で一番死亡事故件数が多い事故である[1]。出会い頭の交通事故の多くは、信号機の設置されていない交差点のうち、市街地に多く見られる

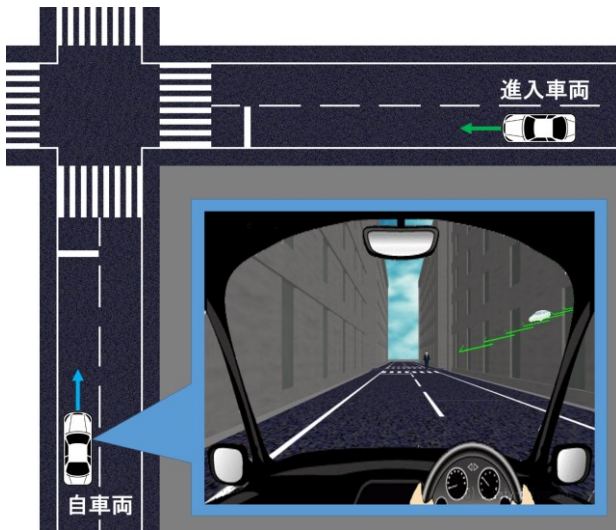


図 1 : 進入車両に応じた仮想的な車両の提示

小規模や中規模の見通しの悪い交差点において発生している[2].

我々は、見通しの悪い交差点において出会い頭の衝突事故の危険がある車両を運転者に視覚的に提示する手法を提案してきている[3]. 建物の陰に隠れている車両の交差点までの距離がリアルタイムで認識できるように視覚化することで、運転者に衝突する危険がある車両の存在を早期に認識させ、その車両が交差点に到達するタイミングを把握できるようにする。運転者は早期に進入車両の存在位置を把握することで、危険を回避するためにどのような操作をすればよいのか適切な判断をすることができると考えられる。

提案手法では、見通しの悪い交差点において出会い頭の衝突の危険がある車両を運転者が遠くからでも確実に交差点に到達するタイミングを把握できることを狙っている。運転視界上に、横方向から進入する他車両の速さ、交差点までの距離、交差点に到達するタイミングが等しい車両を、拡張現実の形で提示する(図1)。この拡張現実型提示は仮想的な物体をリアルタイムに現実世界に重ねる技術である。拡張現実型提示には光学的に仮想物体を重畳する方法とビデオカメラの映像に仮想物体を重畳する方法がある[4]. 自動車の運転者の視界に仮想物体を重畳するため、本研究では光学的に重畳する手法を用いる。

自動車の運転者に拡張現実型提示を行うデバイスとしてウィンドシールドディスプレイ(WSD: Windshield Display)の利用を想定する[5]. このデバイスはプロジェクタからの映像をフロントガラスに映



図 2 : ウィンドシールドディスプレイ [5]

し運転者視界に仮想物体を重畳する、光学シールーディスプレイである(図2).

WSDによって運転者は、ダッシュボード内の車載ディスプレイに視線を移すことなくリアルタイムに視覚的な情報を得ることができる。運転者視界に直接情報を重畳することから、現実と情報の対応関係を把握しやすい。しかし、WSDにより映像を提示できる範囲がAピラーの内側と限られているため、運転者から見て進入車両が存在する方向がAピラーの外側であると仮想的な車両を描画することはできない。また、歩行者や対向車などの視認が必要な物体と重ならないようにしなければならない。

一方で、交差点での出会い頭衝突防止に重要なことは、運転者が他の進入車両の交差点までの距離と速度を認知できることである。そこで、その認知が可能になるように仮想的な車両を配置することに注意し、その位置が現実の車両の位置と異なっても良いであろうとする。本手法は、現実の車両とは異なる位置に進入車両の交差点までの距離がわかるように、かつ歩行者や対向車と重ならないようにWSDの提示範囲内に仮想的な車両を描画する。

本稿では、運転者が進入車両が交差点に到達するタイミングを把握できるのか実験を通じて評価した結果を報告する。

## 2. 関連研究

### 2-1 フロントガラスへの映像提示

視覚支援を行うデバイスとしてダッシュボード上の運転席前面中央付近に設置する車載ディスプレイが広く普及している。しかし、このディスプレイに地図と進入する車両を表示した場合、運転者は前方とディスプレイの双方に視線を配らなければならない危険である。また地図上の進入車両の位置と実空間の進入車両の位置を対応づけるために時間がかかり判断が遅れる問題がある。ユーザはディスプレイを注視するために視点を移動させる必要がある。このため、出会い頭の衝突事故を防ぐため視覚支援を

行うにあたり、車載ディスプレイの使用は、判断の遅れと前方不注意につながり事故を起こす危険性が増すと考えられる。

これに対して WSD はフロントガラスに映像提示し、運転者の視界に情報を複合現実型提示できるデバイスである。フロントガラスに情報を提示するため、少ない視点移動で、実空間との対応関係を理解できる。WSD のデバイスの研究開発と WSD による複合現実感的な運転支援のための知覚に関する研究はすでに[6]で報告されている。

## 2-2 隠れた移動物体の情報提示

運転者からは他の物体によって隠され見ることのできない移動物体の情報を拡張現実型提示により提示する手法が研究されている。運転者が理解しやすいメタファーオブジェクトを重畳し運転者に危険を認識させる手法と、道路カメラの映像を用いて運転者視界に死角を重畳し視覚化する手法が提案されている。

Plavšić らは、隠れた物体の存在を運転者に知らせるための 4 つの手法を評価したところ、レジストレーションされていない交差点周辺の車両の関係を示した鳥瞰図を提示する手法が、レジストレーションされている物体種類のシンボルとその物体の位置を指し示すアノテーションの組み合わせを提示する手法より良い結果となったと報告している[7]。

Kojima らは、見通しの悪い交差点において、道路監視カメラで左右の道路を撮影し、二次元射影変換することで、仮想的な道路ミラーを作成する手法を提案した[8]。道路監視カメラを使用し車両を検出することなく、運転者が幾何学的関係を把握しやすいように画像を射影変換する。この手法は、現実に存在するカーブミラーのメタファーを利用して映像を提示しているため、ユーザに受け入れられやすいと言える。しかし、交差点内に道路ミラーを重畳させるため、現実のカーブミラーと同様に、離れた場所からではミラー内の走行する車両を視認することは困難で他車両の位置を把握することは難しい。

## 3. ウィンドシールドディスプレイへの提示

### 3-1 走行中の運転者への映像提示

本研究では、見通しの悪い交差点に向かって走行する運転者車両に出会い頭に衝突しそうな車両の仮想提示を行う。他の物体で隠された物体の情報を、隠している側の物体の上に重ねて描画すると、空間的な関係の把握が困難となる。

本研究では、交差点から離れた場所からでも視認できるように、横方向から進入する他車両の速さ、交差点までの距離、交差点に到達するタイミングが等しい仮想的な車両を、運転視界上に拡張現実型提示する視覚支援を行う。運転者は、交差点に進入してくる他車両の交差点までの距離と速度を把握できるようになる。

### 3-2 想定環境

出合い頭の事故が起こりやすい交差点として、交差点の手前から建築物などにより左右からの移動物体を視認できない見通しの悪い交差点を想定する。統計的に大通りでの出合い頭の交通事故は比較的少ないため[1]、交差する道路は片側 1 車線の十字路を想定している。

本研究では、交差点の付近の道路は直線で交差点で直行すること、および交差点とその周辺の道路の形状はあらかじめ取得していること、自車両と他車両の位置は GPS(Global Positioning System)や車々間通信・路車間通信によってリアルタイムに得られることを想定する。

### 3-3 WSD の提示範囲

現実に存在する進入車両に対応する WSD 上の位置に仮想的な車両を提示しようとする時、その位置が WSD の範囲外になってしまうことがある。さらに、提示車両が運転者の動体視野の外であると、認識されにくい。時速 40km で視野角 30°より遠い点では見落としが発生する確率が高いと言及されている[9]。そのため、WSD はこの視野内にのみ映像を提示するように設定してある。

これらの問題点を解決するために、我々は運転者が進入車両の交差点までの距離と速度を認知できるようにしつつ、仮想的な車両を運転者の正面に近づくように配置を変更する。

図 3 のように自車両と進入車両の進路が交わる地点に向かって、その交差点と進入車両までの距離  $l$  と交差点と提示車両までの距離が等しくなるようにしつつ、提示車両の位置姿勢を変化させる。このように、WSD の提示範囲に車両を提示することで、運転者は車両の接近とその車両の速度と交差点までの距離をリアルタイムに理解できるようになる。

## 4. 進入車両の位置に応じた車両提示

我々は、WSD の提示範囲に交差点横方向から進入する車両に対応した仮想車両を描画する方法を[3]

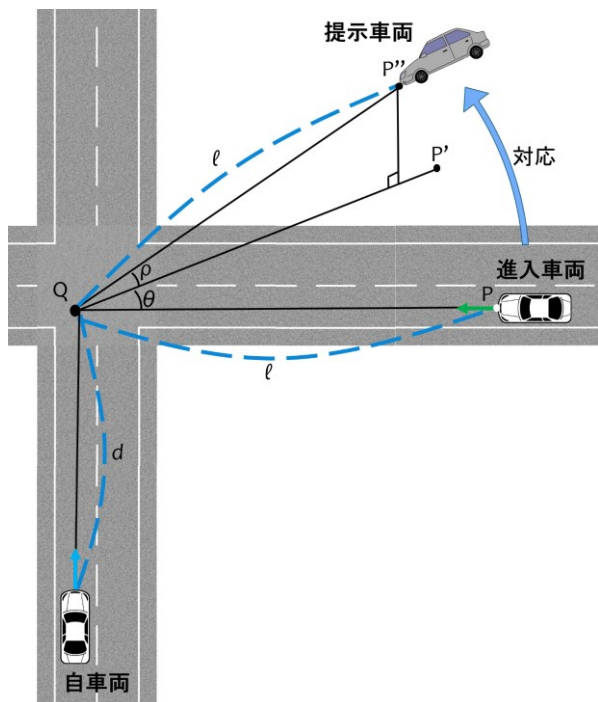


図3：仮想車両の拡張現実型提示位置

で提案している。ここではその方法の概要について再掲する。

図3のように車両の提示位置を実際の進入車両の位置  $P$  から、交差点  $Q$  の鉛直方向を回転軸として交差点奥方向へ自車両の位置に応じて回転させ、仮想的な坂道を付けたところに仮想車両を描画する。仮想車両は水平方向に回転し仮想的な坂道を下るように動いて見えるように描画されることになる。見かけ上、仮想車両は常に動き続けることになる。

#### 4-1 水平方向の回転による WSD への描画

図3のように、現実の車両の位置  $P$  を、車両の予想交差点  $Q$  の鉛直方向を軸に水平方向の奥方向へ  $\theta$  回転させた場所  $P'$  を求め、そこを仮想車両の提示位置とする。この位置が見かけ上 WSD の提示範囲内になるようにパラメータを調整する。

この配置方法によって運転者は仮想車両を WSD 内で視認することができ、交差点までの距離と速度を見積もることで衝突の危険性を予測できるようになる。提示した車両が進入車両を表していることを理解しやすいように、交差点に近づくにつれて仮想車両の向きは実際の進入車両の向きと同じになるように、距離  $d$  に応じて  $\theta$  を単調減少させる。このとき、車両の提示位置が自車両の運転者から見て常に同じ角度に存在してしまうと、提示した車両が停止

しているかのような錯覚に陥る恐れがあるため、見かけの方向が変化しているように提示する。

#### 4-2 仮想的な坂道による重なり回避

次に、歩行者や対向車など運転する際に視認する必要のある物体と、仮想車両とを重なりにくくするため、仮想的な坂道を付けて、車両が坂道を下っているように見せる。  $QP'$  を含む鉛直な平面に垂直で  $Q$  を通る直線を回転軸として、  $P'$  を上空方向に  $\rho$  回転させた場所  $P''$  を求める。この  $P''$  に仮想車両を提示することにより、運転に必要な物体と重なりにくくする。一方で、最終的に実際の進入車両と仮想車両の位置とが一致するように、交差点に近づくにつれて  $\rho$  を単調減少させる。このように、WSD の提示範囲内で上空に提示することにより、運転者の必要な視界を妨げないようにしつつ、死角領域の進入車両の速度と交差点までの距離を理解させる。

#### 4-3 仮想車両の位置と速度の把握支援

進入車両の距離と速度を認識させるためには、提示する仮想車両の大きさは現実の車両の大きさと同じ見えであるべきである。しかし、車両が遠くに存在する場合 WSD 上では小さく表示されるため、その様子がわかりにくく奥行きが把握しづらい可能性がある。そこで、仮想車両の位置姿勢に応じて提示車両の交差点までの距離を強調する効果線を仮想車両の周囲に描画する。運転者は運転視界上に匂う下線付きの仮想車両を見ることになる。

### 5. 実験

本手法の目的は横方向から走行して来る進入車両の交差点に到達するタイミングをリアルタイムに把握させることである。そこで、実験では、被験者が予測したタイミングが正しいか判断するために、正解データが容易に取得できる仮想的な環境を用いて実験を行う。

#### 5-1 実験内容

あらかじめ、コンピュータグラフィックスを用いて運転者視点の映像を作成する。背の高いビルにより左右を見通すことのできない交差点に向かって走行し、ビルによって隠されている横方向からの侵入車両に対応した仮想車両を重畳提示する。被験者は、仮想車両の動きから、隠れている進入車両が交差点前の停止線を通るタイミングを予測し、そのときにキーを押下する。正解のタイミングとの時間差を指

標とする。交差する道路の停止線は運転者視点からは死角になっている。

### 5-2 実験に用いる映像

1シーンあたり10秒程度の映像を10本用意する。各映像では、左右どちらか一方から車両が走行してくる。自車両のほかに車両はこの1台のみである。道端には歩行者を配し、対向車線側を自車両に対抗する形で歩いてくるようにする。自車両と進入車両はともに時速40km程度で、進入車両は一定速度で交差点を通過するが、自車両は停止線で停車する。自車両と進入車両の位置関係は、自車両が減速しない場合に進入車両と衝突またはニアミスする関係にある。

10本の映像では、進入車両が交差点に到達するタイミングと走行してくる方向が異なる。進入車両が交差点に到達するタイミングは、自車両が減速せずに交差点に到達するタイミング(0)とそれより1秒速い(-1)、2秒速い(-2)、1秒遅い(+1)、2秒遅い(+2)の5種類を用意する。進入車両が走行してくる方向は左右の2種類である。この組み合わせにより10種類各1本の映像となる。映像を見せる順序はラテン方格法により、被験者ごとに均等に割り当てを行う。

### 5-3 実験の手順

まず被験者に本手法の概要を説明する。そして横方向から走行してくる車両が1台のみで一定の速度で走行することを知らせる。実験に用いる映像では交差する道路の停止線は常に見えていないため、被験者にあらかじめ画像と映像により停止線の位置を把握させる。

交差点の鳥瞰図と俯瞰図(図4)を見てもらい、その後で歩行者と横方向からの進入車両のいない運転者視点映像を、建物がある場合と無い場合それぞれ3回ずつ見せる。それから一対比較実験を実施する。その後、質問に5段階のリッカート尺度により回答してもらう。

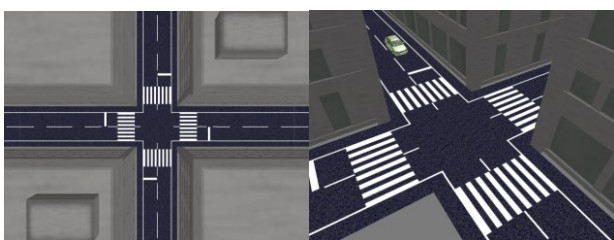
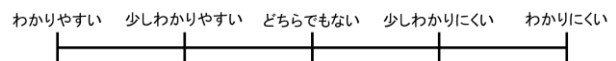
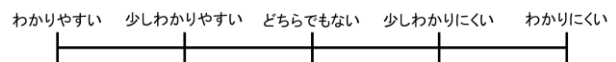


図4：被験者へ提示する画像

Q1 進入車両の交差点までの距離がわかりやすいか



Q2 進入車両の速度がわかりやすいか



### 5-4 実験結果

まず、被験者が予測したタイミングと正解のタイミングの差を左方向からの結果を図5、右方向からの結果を図6に示す。進入車両が自車両に対して交差点に到達する時間の差が、正であれば(+2)(+1)自車両は進入車両より早く到達し、負であれば(-1)(-2)自車両は進入車両より遅く到達している。解答において差が正であれば実際より遅く予測し、差が負であれば実際より早く予測している。

左右合わせて正解との遅延の絶対値が0.5秒以内の解答が39%、1.0秒以内の解答が84%を占めることから一定の効果が得られているといえる。

進入車両の交差点到達時刻が自車両に比べて遅ければ遅いほど正解との差は大きくなる傾向がある(+2)(+1)。本手法では、交差点内には運転者が視認しなければならぬ物体が多くあり、交差点の中で車両の提示を行うことが、かえって危険になると考えている。図3において、交差点に近づくにつれて水平方向奥への回転θは小さくなる。そのため交差点付近に自車両が到達してからしばらくの間は仮想車両が表示されない。このことが正解のタイミングと予測したタイミングの差が大きい原因と考えられる。

この実験で学習効果があるのか調べるため順番ごとに正解との差の絶対値の平均値を確認したところ、

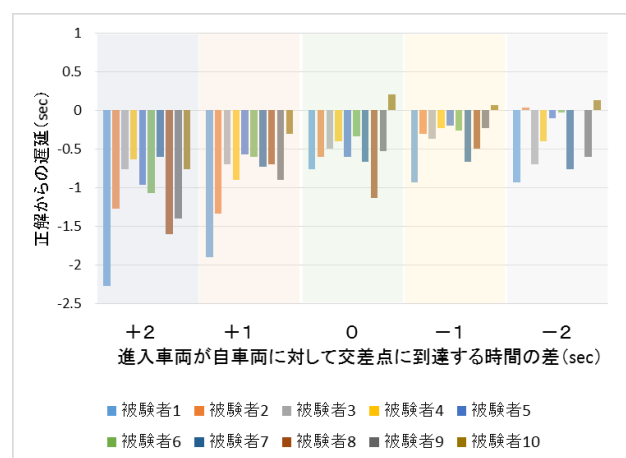


図5：進入車両が左から走行してくるときの予測時刻の遅れ

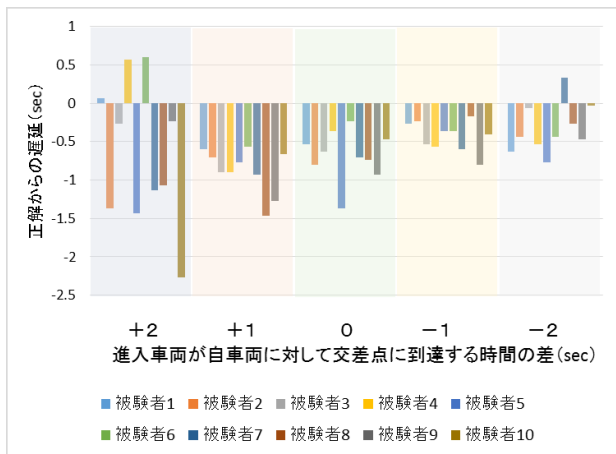


図 6：進入車両が右から走行してくるときの予測時刻の遅れ

その効果は見られなかった。

次に被験者の主観評価の結果を表 1 に示す。質問項目は

Q1 進入車両の交差点までの距離がわかりやすいか

Q2 進入車両の速度がわかりやすいか

である。どちらの質問も「少しわかりやすい」が最も多いが、「少しわかりにくい」を選択した被験者もいた。

拡張現実型提示による提示物体の位置を把握することにおいて奥行きを把握することは難しい。仮想車両の奥方向の位置と速度を正確に認識することができず、仮想車両の距離や速度を大まかにしか把握できなかったことがこの評価の一因と考えられる。

## 6. おわりに

見通しの悪い交差点において、出会い頭の衝突事故を予防するために、横方向から進入する車両を、ウィンドシールドディスプレイを用いて運転手の視界に複合現実型提示する視覚支援の評価を報告した。

今後は大きな差が生まれないように工夫する予定である。また、他車両や歩行者の数を増やしたときの違いや、天候の違いによる効果を調査する。

表 1：主観評価の結果

選択肢	Q1	Q2
わかりやすい	1	2
少しわかりやすい	8	5
どちらでもない	0	1
少しわかりにくい	1	2
わかりにくい	0	0

## 参考文献

- [1] 財団法人 交通事故総合分析センター イタルデザインインフォメーション, No.56, 2005.
- [2] 財団法人 交通事故総合分析センター イタルデザインインフォメーション, No.69, 2007.
- [3] 森田航平, 亀田能成, 北原格, 大田友一, “ウィンドシールドディスプレイを用いた交差点における進入車両提示法”, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp.295-298, 2013.
- [4] R. AZUMA, “A Survey of Augmented Reality”, Presence: Teleoperators and Virtual Environments. Vol.6, No.4, pp. 355-385, 1997.
- [5] A. Sato, Y. Kameda, and Y. Ohta, “Adaptive Positioning on Windshield for Information Display”, 12th World Congress on Intelligent Transport Systems, Custom number 3476, 12pages, 2005.
- [6] 中村耕治, 安藤浩, 川原伸章, “「ウィンドシールドディスプレイ」による安全で快適な画像情報呈示”, デンソーテクニカルレビュー Vol.10, No.2, pp.117-123, 2005.
- [7] M. Plavšić, M. Duschl, M. Tönnis, H.Bubb, and G. Klinker, “Ergonomic Design and Evaluation of Augmented Reality Based Cautionary Warnings for Driving Assistance in Urban Environments”, 17th Congress of the International Ergonomics Association, CD-ROM Proceedings, 10pages, 2009.
- [8] K. Kojima, A. Sato, F. Taya, Y. Kameda, and Y. Ohta, “NaviView: Visual Assistance by Virtual Mirrors at Blind Intersection”, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.592-597, 2005.
- [9] 津留直彦, 伊佐治和美, 金子弘, 土居俊一, “運転者の視覚認知機能の解明とモデル化の研究”, デンソーテクニカルレビュー Vol.12, No.1, pp.130-135, 2007.