

NaviView: 見通しの悪い交差点での仮想ミラー提示による 運転者への視覚支援

小島 和浩[†] 亀田 能成[†] 大田 友一[†]

[†] 筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] {kojima, kameda, ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

あらまし 我々は、人間の視覚による運転の安全確保支援技術として、拡張現実感を用いた視覚支援システム「NaviView」を提案している。「NaviView」は、道路監視カメラの映像を適切に加工して運転者の視覚に提示し、自車周囲の状況を視覚的に伝えるシステムである。本稿では、見通しの悪い交差点において、運転者から見えない部分の映像を、仮想的なカーブミラー（仮想ミラー）という形で生成・提示する手法を提案する。CG で再現した交差点において、カーブミラーと仮想ミラーを比較することで、提案手法の有効性を確認した。

キーワード ITS, AHS, NaviView, 視覚支援, 映像変換, 複合現実感, 拡張現実感

NaviView: Visual Assistance for Drivers by Virtual Mirrors at Blind Intersection

Kazuhiro KOJIMA[†] Yoshinari KAMEDA[†] and Yuichi OHTA[†]

[†] University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [†] {kojima, kameda, ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose an Augmented-Reality based vision support system “NaviView” as visual assistance for safe driving. “NaviView” is a system to realize the visual assistance for drivers by utilizing videos obtained from roadside surveillance cameras. In this paper, we propose virtual mirrors that display geometrically reshaped videos taken from the surveillance cameras to support safe driving at blind intersection. We proved the effectiveness of the proposed method by comparing virtual mirrors with a simulated curve mirror in a blind intersection simulated by computer graphics.

Keyword ITS, AHS, NaviView, Visual assistance, Video conversion, Mixed Reality, Augmented Reality

1. はじめに

自動車は、19世紀後半に開発され、現在では経済社会においても日常生活においてもなくてはならないものとなっている。しかし、交通事故の発生件数は毎年増加しており、交通事故を低減することが現代社会の大きな使命となっている。こうした車社会の問題を解決するため、高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)の研究開発が国内外で盛んに行われている。特に走行支援システム (AHS: Advanced cruise-assist Highway Systems) 技術は、ここ数年で研究段階から実用段階に移り、活発的に研究が行われている。

AHS とは、道路インフラと車両の連携により、リアルタイムで運転者を支援するシステムである。交通事故・事故要因の削減や道路交通の円滑化のため、道路インフラについては路車間無線通信システムや様々な種類で且つ膨大な数のセンサを道路脇に設置すること、車両側には車車間無線通信システムや GPS・車載カメ

ラなどのセンサを設置することが検討されている。その中でも可視光画像センサは、道路インフラ・車両側の両方で利用でき運用範囲が最も広く、その有効利用が期待されている。

可視光画像センサを使用した研究として、車両後方画像からの危険車両検出[5]や道路標識・交通信号灯器の自動認識[6]などが行われている。どちらの研究もパターン認識技術を用いて正認識率 90%以上という結果を出している。しかしながら、一度の認識失敗が交通事故に直結する ITS 特有の事情を考えると、認識に失敗した場合への対処が問題となる。認識に失敗した時点でその事実を利用者に伝えることも考えられるが、この場合、利用者は常に認識失敗の可能性を意識せざるを得ず、結果として利用者への負担はかえって大きくなる恐れがある。これらの問題を解決するために、認識過程を伴わない視覚支援手法である NaviView [1][2][3]や HIR システム[4]が提案されている。NaviView や HIR システムは、運転者の死角となる領域の映像を、

画像処理技術を用いて加工し、運転者に対して自車周囲の状況把握を視覚的に支援するシステムである。死角領域の情報獲得には、ITS 環境下において設置されている道路監視カメラ（可視光画像センサ）や車載カメラを利用する。また運転者に対する情報提示には、車載された映像提示デバイスを用いる。

道路監視カメラの映像を利用者に提示する際に問題となるのが、利用者に対していかに負担のない形でその映像を提示するかという点である。本研究では、カーブミラーという視覚補助設備に注目し、道路監視カメラの映像を仮想的なカーブミラーという形態で提示することを提案する。カーブミラーは見通しの悪い交差点などこれまでの交通環境でも最も一般的に用いられてきた視覚補助設備であり、その形態を模倣することは利用者の心理的負担を削減することにつながると考えられる。その結果、利用者は、道路監視カメラによってのみ観察できる物体が死角から出てくる様な状況で、いち早くその接近を認識できるようになる。

本論文では、仮想ミラーによる視覚支援システムを提案し、それを実現するための映像生成手法について述べ、提案手法の評価実験結果を示す。第2章では見通しの悪い交差点での視覚支援について、第3章では提案手法について、第4章では評価実験について述べる。第5章でまとめと考察を行う。

2. 見通しの悪い交差点での視覚支援

2.1. カーブミラーの死角

一般的に見通しの悪い交差点には、家や壁などの遮蔽物によって発生した死角を間接的に補う交通安全設備として、カーブミラーが設置されている。カーブミラーによって、運転者は交差点進入前に交差点内の状況を把握でき、衝突する可能性のある物体に気付くのが遅れる（発見の遅れ）を解消することができる。この発見の遅れは交通事故が発生する主要な原因であるので、カーブミラーの存在意義は大きい。

しかしカーブミラーは交通事故を未然に防ぐための有効な交通安全設備であるが、カーブミラーにも死角は存在し、その死角のために発生してしまう交通事故もある。

2.2. 映像提示における幾何変換の検討

交通事故を未然に防ぐためには、運転者の死角領域に存在する注目すべき物体を速やかに発見・認知させる必要がある。運転者による速やかな発見を促す方法として本研究では、道路監視カメラの映像の加工・提示を用い、カーブミラーに替わる新しい視覚支援システムを提案する。

運転者に提示される映像は、情報源である道路監視カメラの映像を幾何変換したものである。そこで本節

では考える幾何変換の形態をとりあげ、その長短所について考察する。幾何変換の形態は、大きく3つに分類できる。

- 1) 未変換（道路監視カメラ映像をそのまま使用）
- 2) 運転者の視点位置に応じた映像に変換
- 3) 常に同一視点位置から見た映像に変換

形態1)は、道路監視カメラ映像をそのまま使用するため、最も単純で且つ撮影範囲を全て視認できるという利点を持っている。ただし一般的に、交差点ごとに道路監視カメラの設置位置は異なるので、映像をそのまま提示すると、運転者にとって自車の位置と映像内の物体の位置とを関連付けて状況把握を行うことが難しい場合がある。つまり、認知時間が長くなってしまいう可能性がある。

形態2)は、道路監視カメラ映像を変換して、運転者の視点位置に合致する幾何整合のとれた映像を提示する手法である。この手法は、運転者にとって映像と自分との位置関係を把握しやすいので、状況把握が速やかになると考えられる。つまり、どんな道路監視カメラの設置状況に対しても、認知時間を短くできる手法だと考えられる。但しこの手法を実現するためには、車載センサを用いて運転者の視点位置を正確に計測し、それに合わせた表示をしなくてはならない。

形態3)は、当該交差点の道路監視カメラの実際の位置に関係なく、常に適切な視点からの映像を提示する手法である。このために、まず交差点内を見渡すのに適切なカメラの位置を考え、その視点からあたかも撮影しているかのような映像を獲得するために、近傍の道路監視カメラ映像を幾何変換する。例えば、交差点に進入する場合を考えると、左右の道路がすべて見渡せる位置の仮想道路監視カメラを考え、近傍の道路監視カメラの映像を幾何変換することで、あたかもその位置に実際カメラがあるかのような映像を生成する。

2.3. 映像提示デバイスの検討

映像提示デバイスの検討で重要なことは、運転者にとって映像確認が安全で且つ短い認知時間ですむことである。そのためには、以下のような条件を満たす必要がある。

- a) 視線移動が少ない
- b) 運転者に装置装着による負担を強くない
- c) 運転者が見るどの位置・方向にも提示可能である

HUD(Head Up Display)方式は、HUDを用いて提示映像をフロントガラスに投影するため、条件 a)・c)を満たす。また、運転者に装着を要求しないため、条件 b)

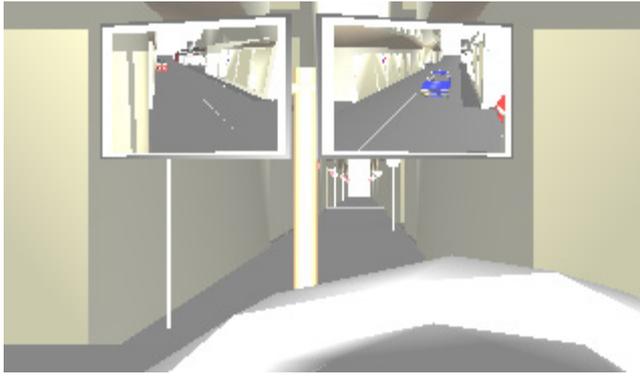


図1 モニタミラー提示 (VM1)

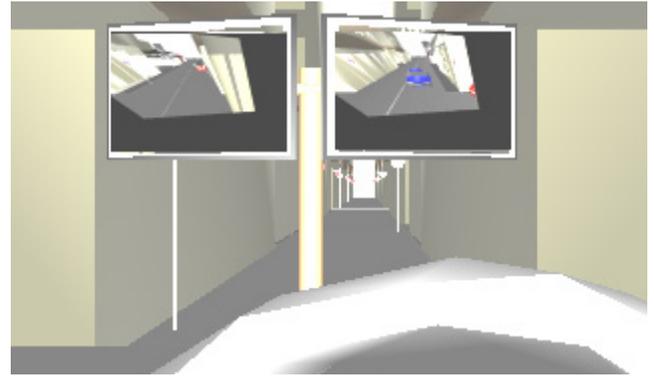


図2 交差点正対式ミラー提示 (VM2)

も満たす。よって本研究では、HUD方式を使用する。

3. 提案手法

我々は映像提示における幾何変換の形態1)に基づいて、仮想ミラー提示手法VM1を、形態3)に基づいてVM2とVM3を提案する。なお、運転者の視点位置測定を必要とする形態2)に基づく手法については研究では採用しない。

3.1. 仮想ミラー提示手法

VM1 モニタミラー提示手法

これは、形態1)に基づく提示手法である。この手法では、仮想的に設置した鏡の部分に道路監視カメラの映像を提示する。この手法は最も単純で撮影範囲を全て提供できるという利点を持っている。運転者にとっては、道路監視カメラのモニタが現実空間にあるように見えると考えることもできる。その実現のために、ここでは以下の仮定を設ける。

- I) 提示デバイス上に仮想物体を表示するとき、運転者視点を焦点とし、提示デバイス平面を写像面とする。透視投影変換 P_d を行えば、運転者から見て現実世界と提示デバイス上の仮想物体とが一致して見えるものとする。
- II) 道路監視カメラ i は透視投影変換 P_i に従う。
- III) 現実世界中の対象は、単一平面内に存在する。

I)~III)を満たすとき、現実世界中の点 A に対して、提示デバイス面上の点 a は次のようにして対応付けられる。まず点 A は道路監視カメラ i によって、道路監視カメラ映像中の点 a_i に写像される。

$$a_i = P_i A$$

A が平面内にあるので、 a と a_i とは一つのホモグラフィ行列 H_{VM1} を用いて

$$a = H_{VM1} a_i$$

と表せる。ここで、 H_{VM1} は P_i 、 P_d 及び実世界中で A がその上に存在する平面で定められる。この H_{VM1} はVM1

を表している。

P_i 、 P_d は運転車両と道路監視カメラと交差点との関係から一意に与えられるので、実際には H_{VM1} の決定には、 a_i を提示デバイス上のどこに提示するかを4点与えるだけでよい。

本手法の制約として問題になるのは、対象 A が或る平面内に存在する必要があることである。

図1は、VM1を実装し生成した結果例である。

VM1の特徴は、図1からもわかるように、道路監視カメラの画像情報を全て伝えられることにある。カーブミラーの死角がVM1により解決されるかどうかは、道路監視カメラの設置位置に依存する。

VM2 交差点正対式ミラー提示手法

これは、形態3)に基づく提示手法である。この手法では、道路監視カメラの設置位置に生成結果が依存しない映像を提示する。運転者から見れば、常に交差点内の同じ位置に道路監視カメラが設置されているように見える提示手法ということが出来る。VM2の実現にあたってはVM1と同じくI)~III)を仮定し、更に次の仮定を加える。

- IV) 仮想道路監視カメラ v は透視射影変換 P_v に従う。

I)~IV)を満たすとき、対象 A の運転者に対する提示位置 a は

$$a = H_{VM2} a_i$$

で表される。但し、 H_{VM2} は $P_i \cdot P_d \cdot P_v$ および実世界中で A が存在する平面から定まるホモグラフィ行列である。言い換えれば、 H_{VM2} はVM2を表している。

仮想道路監視カメラ v が交差点に対して正対するようにその設置位置を定めると、 P_v は一意に定まる。ゆえに、 H_{VM2} の決定には、VM1と同様に、 a_i を提示デバイス上のどこに提示すべきかを4点与えるだけでよい。

本手法の制約として問題になるのは、 A が或る平面内に存在する必要があることに加えて、 $P_i \cdot P_v$ の関係によっては映像合成できる範囲が狭くなることで

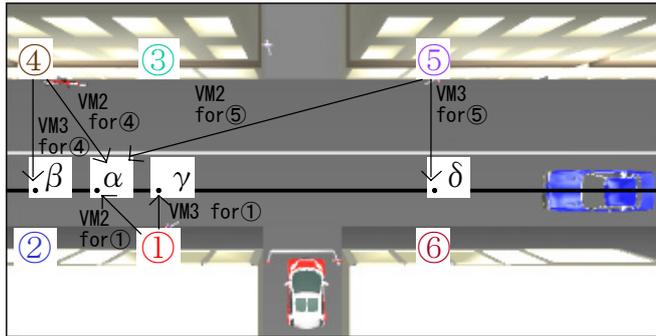


図3 交差点・車線正対提示における
仮想道路監視カメラの設置位置

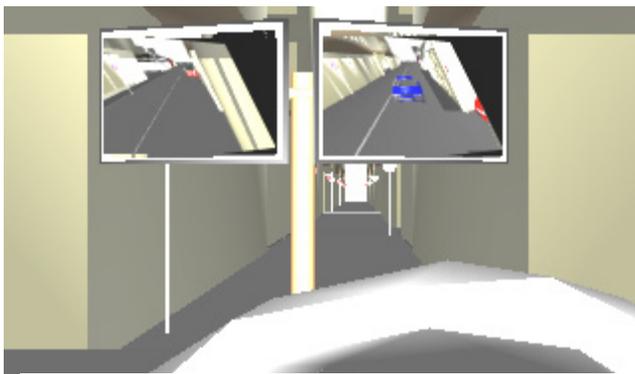


図4 車線正対式ミラー提示 (VM3)

ある。

図2は、VM2を実装し生成した結果例である。ここで、運転者に対して右側を撮影している仮想道路監視カメラ v_R の設置位置(図3中の α)は、道路の手前端と中央線との間にあり、車線に対して正対し、且つ交差点領域とそれに続く進入路が全て撮影可能範囲に入るよう交差点から一定の距離だけ離れたところに設定されている。

VM2の特徴は、ミラー内の車線の見え方が道路監視カメラの設置位置に依存しないことである。図2からもわかるように、道路監視カメラが道路脇に設置されているにもかかわらず、ミラーの中では直進車両が見やすいように中央に映るように設定している。しかし、この手法は道路監視カメラの位置・向き・画角によっては、運転者が交差点の状況の一部を視認できない状態になることがある。図2の例では、道路監視カメラの設置位置(図3中の①)を仮想道路監視カメラの設置位置(図3中の α)に変更した映像の生成した場合であり、ミラー内の一部の映像欠損部分は黒く塗りつぶされている。

VM3 車線正対式ミラー提示手法

これは、形態3)の定義を拡張した手法である。この手法では、VM2の問題点、すなわち生成できる映像範囲が道路監視カメラの設置位置によっては狭められてしまうという問題点を解決する。車線正対式ミラー提示では、道路監視カメラの映像を車線中央から撮影さ

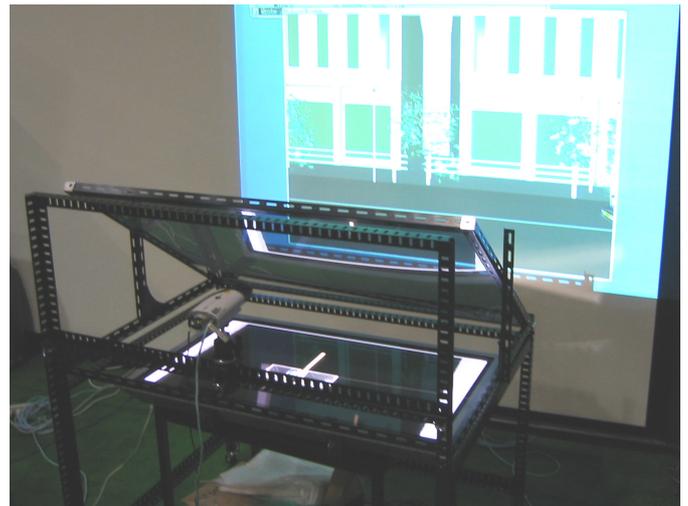


図5 HUD型提示システム

れたかのように見えるように変換するという方法を取る。この新しい設置位置の仮想道路監視カメラのカメラパラメータを P_m とする。

図4は、VM3を実装し生成した結果例である。ここでVM2と同様に運転者から見て右側を撮影している仮想道路監視カメラ(図3中の β 、 γ 、 δ)は、道路の手前端と中央線との間にあって車線に正対し、その位置については使用する道路監視カメラ(図3中の②・④は β 、①・③は γ 、⑤・⑥は δ)と同じ位置とする。

VM3の特徴は、図4からもわかるように、VM2と同様のミラー内の見やすさを保ったまま、より広い範囲の映像が提示できることである。

4. 評価実験

提案する提示手法の有用性と道路監視カメラの設置位置による影響を調べるため、実験を行った。

実験を行うため、図5のようなHUD型提示システムを構築した。HUD型提示システムは、運転者に対して仮想ミラーを提示するHUD部、交差点環境を再現するシミュレーション部から構成される。

想定状況

本実験では、「見通しが悪い交差点で、こちらにはまったく気付いていない直進車両が右側から走ってくる状況」を想定した。また、右から走ってくる直進車両が交差点に進入するまでの時間を、被験者である運転者には知らせていない。

被験者のタスク

自車は一旦停止線まで自動的に減速・停止を行う。被験者に課せられるタスクは、自車が一旦停止したあと安全に交差点へ進入できることを、できるだけ早く目視によって確認・判断することである。目視確認の合図は、PC用のキーボードを押すことで行う。

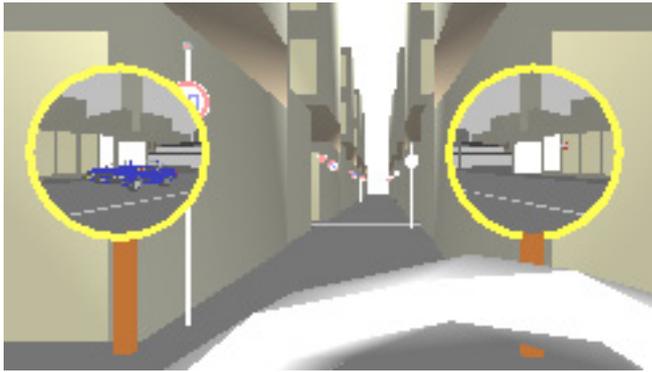


図 6 カーブミラー

実験概要

実験には、普通自動車免許を有する 22 歳から 26 歳の男性 10 名が参加した。まず最初に HUD 型提示システムの動作とそれに対する操作についての説明をトレーニングしながら行い、その後データの収集を行った。

評価指標

本実験では、運転車両が交差点で一旦停止した瞬間を開始時間とし、被験者が目視確認を終了するまでの時間を測定した。この時間を被験者数で平均した値を反応時間と呼ぶ。

4.1. 仮想ミラー提示の有用性の検証

仮想ミラーを使用することによる認知時間の変化を計測した。

実験手順

この実験は、直進車両が交差点に進入するまでの時間（以下、交差点進入時間と呼ぶ）を変化させて実験を行った。トレーニングでは、0~5.5 s の間でランダムに設定した。トレーニングは、被験者が十分にトレーニングを行ったと思い、そのことを実験者に伝えることで終了する。データ収集では、交差点進入毎に決まった交差点進入時間で直進車両が進入するよう設定している。データ収集時に交差点進入時間を予見できないように、被験者にはデータ収集もトレーニングと同じくランダムに設定してあると伝えてある。

実験では、“視覚支援なし”・“カーブミラー”・“仮想ミラー提示 VM1”の 3 種類について評価を行った。“視覚支援なし”は、交差点に交通安全設備が設置されていない場合であり、見通しの悪い交差点に一切の視覚支援なしで進入することとなる。“カーブミラー”は、図 6 に示すように現実のカーブミラーを CG 上で模倣したもので、カーブミラーのある見通しの悪い交差点に進入することとなる。“仮想ミラー提示 VM1”は、図 3 の道路監視カメラ①を使用して見通しの悪い交差点に進入することとなる。

評価実験は各被験者について以下の順序で行った。
・視覚支援なしのトレーニング後、データ収集を実施

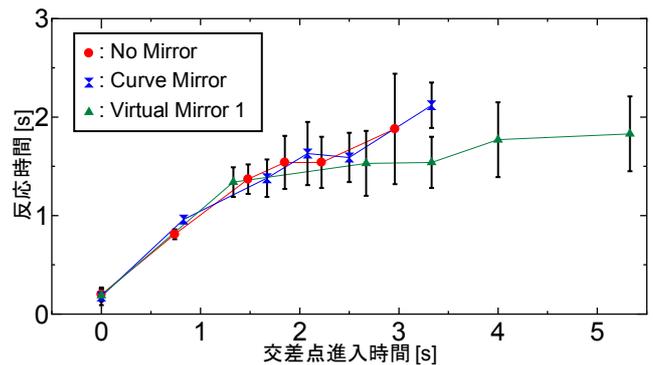


図 7 提示手法による反応時間の変化

- ・カーブミラーのトレーニング後、データ収集を実施
- ・VM1 のトレーニング後、データ収集を実施

実験結果

図 7 は、各手法についての反応時間を測定した実験結果である。横軸は交差点進入時間、縦軸は反応時間を示す。グラフの要素は、“視覚支援なし”(No Mirror)・“カーブミラー”(Curve Mirror)・“仮想ミラー提示 VM1”(Virtual Mirror 1)でありエラーバーはそれぞれの標準偏差を表している。

考察

図 7 から、交差点進入時間が長くなっても、VM1 の反応時間はそれほど長くないということがわかる。これは、交差点進入直後から遠方にある直進車両を認識できているからであり、VM1 によって通常では見えない遠方まで提示できていることを意味する。つまり遠方に存在する死角が削減されたといえる。

4.2. 道路監視カメラの設置位置による影響の検証

一般に、交差点ごとに道路監視カメラの設置位置は異なる。映像をそのまま提示すると、運転者が自車の位置と関連付けて状況把握を行うことが難しい場合もある。道路監視カメラの設置位置が交差点ごとに変化することで、反応時間がどのように変化するかについて検証を行った。

実験手順

道路監視カメラの設置位置を変化させて実験を行った。トレーニングでは、図 3 の①~⑥の位置の道路監視カメラのいずれかがランダムに使用されるよう設定している。データ収集では、①,②,③,④,⑤,⑥,①の順になるよう設定してある。被験者には、データ収集もトレーニング同様、ランダムに設定してあると伝えてある。

この実験は、“仮想ミラー提示 VM1”・“仮想ミラー提示 VM3”の 2 種類に加えて、“仮想ミラー提示 VM3”の計 3 種類について評価を行った。

“仮想ミラー提示 VM3”は、VM3 で設定した仮想道路監視カメラ m が実際に設置できると仮定した場合に相当し、その仮想道路監視カメラ m を利用して、

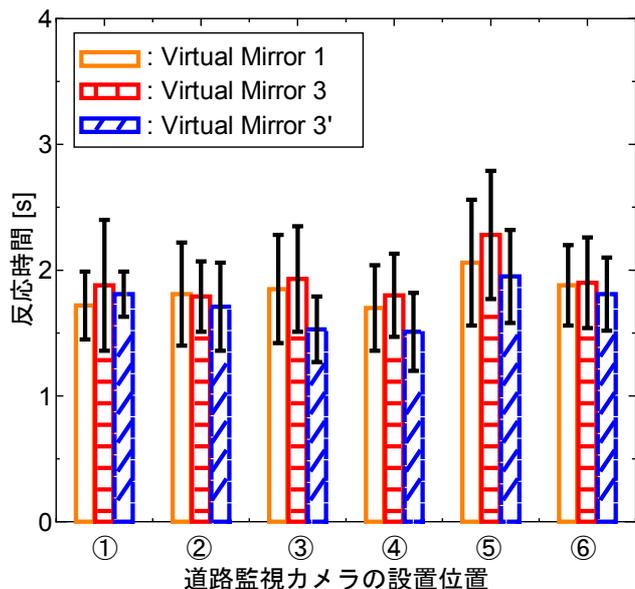


図 8 道路監視カメラの設置位置による影響

VM1 を用いて見通しの悪い交差点に進入することとなる。

評価実験は以下の順序に行った。

- ・ VM1 のトレーニング後、データ収集を実施
- ・ VM3 のトレーニング後、データ収集を実施
- ・ VM3' のトレーニング後、データ収集を実施

実験結果

図 8 は、各手法について反応時間を測定した結果である。縦軸は反応時間、横軸は道路監視カメラの設置位置である。道路監視カメラの設置位置①～⑥は、図 3 内の①～⑥に対応している。左から“仮想ミラー提示 VM1” (Virtual Mirror 1) ・ “仮想ミラー提示 VM3” (Virtual Mirror 3) ・ “仮想ミラー提示 VM3'” (Virtual Mirror 3') の順であり、エラーバーはそれぞれの標準偏差を意味している。

考察

図 8 から以下のことがわかる。

- 1) VM3 は、常に VM3' より、反応時間が長い
- 2) VM1 ・ VM3 ・ VM3' の反応時間は、道路監視カメラの設置位置に依存しない。

1) は、二つの要因によると考えられる。一つは、映像に欠損のない VM3' と異なり、VM3 には映像欠損部分がある点である。もう一つは、或る平面上（道路平面上）でしか幾何整合が保たれないという仮定 III があるため、図 9 のように道路監視カメラの位置と物体との位置関係によっては車線領域以外の歪みが大きくなり、現実の物体への空間知覚がしにくくなると思

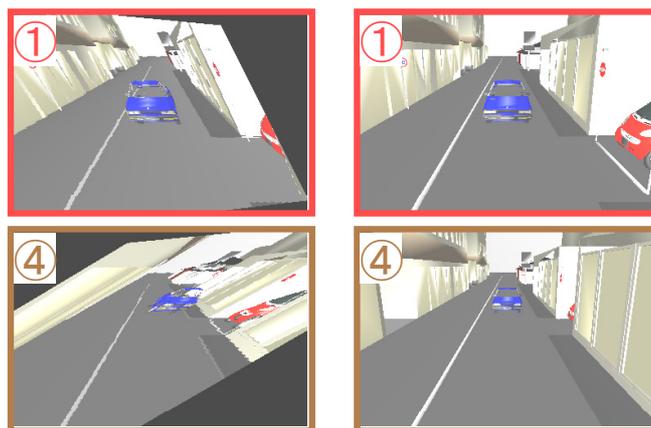


図 9 仮想ミラー提示 VM3 ・ VM3' の生成例

われるからである。

2) については、道路監視カメラの設置位置によって反応時間は多少変動するが、その変動は標準偏差によりも小さく、道路監視カメラの設置位置に依存するとはいえなかった。

5. おわりに

本論文では、道路監視カメラを利用し、見通しの悪い交差点に進入する運転者に対して仮想ミラー形式で視覚支援するシステムを提案した。提案手法の有用性を検証するために、HUD 型提示システムを構築し、CG で再現した交差点で仮想ミラーとカーブミラーとを比較した。実験結果から仮想ミラー提示手法が、遠方の死角を削減でき、見通しの悪い交差点による交通事故防止に対して有効であることが確かめられた。

文 献

- [1] 小島和浩, 大田友一, “NaviView:道路監視カメラ映像を用いた運転者への視覚支援 ～見通しの悪い交差点での仮想ミラー提示～,” FIT2003, vol.2, no.4, O-046, pp.563-564, Sep.2003.
- [2] 矢野孝明, 大田友一, “NaviView:道路監視カメラ映像を用いた運転者への視覚支援 —交差点における死角削減—,” ITS シンポジウム 2002, vol.1, pp.65-70, Dec.2002.
- [3] 市原栄太郎, 高尾広行, 大田友一, “NaviView : 仮想車載カメラ映像による運転者への視覚支援,” 信学論 (D-II), vol.J82-D-II, no.10, pp.1816-1825, Oct.1999.
- [4] 小山石正人, 酒井裕史, 藤井俊彰, 谷本正幸, “ITS における車載カメラの位置・方位情報取得に関する検討 HIR システムへの応用,” 信学技報, vol.103, no.514, pp.13-18, Dec.2003
- [5] 安増拓見, 小沢慎治, “車両後方面像からの危険車両検出,” 信学技報, vol.103, no.295, pp.103-108, Sep.2003.
- [6] 小橋雄一郎, 石川直人, 中島真人, “道路標識、交通信号灯器の自動認識,” ITS シンポジウム 2002, vol.1, pp.321-326, Dec.2002.