

Floating Virtual Mirror: 浮動式仮想鏡による車両背後領域の可視化

宮本 徹[†] 北原 格[‡] 亀田 能成[‡] 大田 友一[‡]

[†] [‡] 筑波大学大学院システム情報工学研究科 〒305-0006 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†] miyamoto@image.esys.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし 走行中の自車両の後方や周辺の状態を運転者に視覚的に提示し、安全運転の支援を行うシステムを提案する。道路監視カメラで撮影された走行車両周辺の映像を、車両前方に提示することにより、運転者は前を向いたまま周囲の安全確認を行うことが可能となる。運転中は周辺の状態を直観的に瞬時に把握できることが重要であるとの観点から、日頃我々が慣れ親しんでいる光学系である、鏡モデルを利用した提示方式を提案する。交差点の信号機柱上に設置した道路監視カメラの映像を用いて、自車両を含めた空間が映り込んでいる仮想的な鏡 (Floating Virtual Mirror) が、車両前方の空中に浮かんでいるように見える提示方式について述べる。

キーワード 高度道路交通システム, 仮想鏡, 鏡の幾何, 2次元射影変換, 道路監視カメラ

Floating Virtual Mirrors: Visualization of the Scene behind a Vehicle

Toru MIYAMOTO[†] Itaru KITAHARA[‡] Yoshinari KAMEDA[‡] and Yuichi OHTA[‡]

[†] [‡] Graduate School of Systems and Information, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-0006 Japan

E-mail: [†] miyamoto@image.esys.tsukuba.ac.jp, [‡] {kitahara, kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a visual assistance system that shows the scene behind an object vehicle to its driver in the form of a virtual mirror by utilizing a surveillance camera. The virtual mirror will be displayed on a windshield display as if it were floating in the air in front of the vehicle. The driver entering an intersection can confirm the safety around their vehicle by checking the image in the virtual mirror while facing forward, because it shows the image of the scene behind the vehicle in an optically correct manner. We utilized a surveillance camera set up on a signal pole and the image in the virtual mirror was formed by applying geometric image transformation to the image taken by the camera so that it can satisfy the optical constraints of a manner.

Keyword ITS, Virtual Mirror, Mirror Conditions, 2D Projective Transformation, Surveillance Camera

1. はじめに

自動車を運転する際には、前方だけでなく、自車両の周囲や後方の安全確認を目視で行うことが非常に重要である。運転者から直接には見えにくい部分について、ミラーを用いて安全確認を支援する方法が古くから用いられてきたが、近年は、ビデオ映像を提示する方式も採用されつつある。ビデオ映像の提示による視覚支援方式では、

1. 提示する映像には死角領域が少なく一覧性がよいこと
2. 運転者が自車両と提示映像間、および、映像中に写りこんでいる物体間の位置関係を瞬時に理解する事ができること

の2項目に対して、十分な検討が行われる必要がある。

自車両周辺の空間理解を視覚的に支援する道具として、ルームミラーやサイドミラーが一般的に用いられる。我々は日常生活で鏡を利用しているため、その

光学系に慣れ親しんでおり、映り込んだ物体の位置関係を瞬時に把握する事ができる。しかし、サイドミラーは、車体の側方に設置されているため、安全確認時には大きな視線移動が伴う。また、個々のミラーで提示できる範囲は限定されており、死角領域が大きいという問題は避けられない。

我々は、高度道路交通システム (ITS) の将来的なインフラ整備を想定し、道路脇に設置した監視カメラの映像を用いて運転者の視覚支援を行うというアプローチを提案してきた[9][12][13]。

本稿では、交差点の信号機などに併設した道路監視カメラの映像を利用して、自車両の周辺が映り込んだ鏡が、車両前方に仮想的に浮かんでいるように見える提示方式 (Floating Virtual Mirror) を提案する。Floating Virtual Mirror に映し出される映像は、自車両とその後方全体を斜め上から撮影した映像に基づいて生成されるため死角が少なく一覧性が高い。また、鏡としての

幾何的制約（光学モデル）を満たすため、自車両と周囲の物体との位置関係が直観的に把握しやすいという、従来からの視覚支援方式であるミラーの利点も併せ持つ方式である。

以降、2節で関連研究について述べる。3節で提案システムの概要について、4節で Floating Virtual Mirror に関する幾何的説明について述べる。5節で提案システムを実際の道路環境に適用した結果について述べ、最後に6節で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

本節では、道路監視カメラから得られる映像を用いて、車両の周辺や後方全体を運転者に提示することにより運転者の視覚支援を実現する関連研究を紹介し、提案手法との関連について述べる。

これまでに、交差点付近において運転者に標識などを提示するシステムに関する研究開発がいくつか行われている[7][8]。これらの提示システムでは、道路標識などの静的な情報のみを提示対象としているが、運転者が周囲状況を把握する際には、動的に変化する見え方情報が重要であると考えられる。自車両周辺の動的な情報を提示する方式として、道路全体を上空から見たかのように運転者に提示する方式の提案が行われている[13]。しかし、道路監視カメラの視点位置と提示映像を生成する仮想カメラ視点位置が大きく離れているため、視点変換を行う画像処理が複雑になり画質の劣化が避けられないという問題がある。また、交差点における右直衝突事故の防止を目的として、対向車線の道路があたかも交差点から坂道状に立ち上がっているかのように提示し、対向車線の死角を解消する Virtual Slope 提示方式が提案されている[11]。この手法によれば、前方の死角領域は大幅に解消されるが、後方の死角領域の削減については考慮されていない。

本稿で提案する Floating Virtual Mirror 提示方式は、日常生活で見慣れている鏡の幾何条件を満たすように配置した仮想スクリーンを介して、自車両周辺（特に後方）の状況を運転者に提示するため、交差点において動的に変化する車両や人間の位置関係を瞬時に把握することが可能である。

Virtual Mirror を用いた提示手法の研究として、サイドミラーを拡張して死角を削減する研究が行われている[5][6]。小さいミラーで大きなサイドミラーの役目を果たす提示を実現したり、車線の検出を行ったりすることができるが、実際のサイドミラーで見えていない領域への対応は行われていない。また、Virtual Mirror に提示する映像は、車載カメラを用いて撮影しているため、撮影範囲には自ずから限界があり、一覧性の高

い広視野の映像を生成するためには、多数のカメラの映像を統合するなど、複雑な処理が必要になる。一方、我々が提案する提示方式では、交差点の監視のために設置される道路監視カメラで撮影される映像を活用するため、自車両を含めた周囲の状況を俯瞰した提示映像が容易に生成できる。

カーブミラーのない見通しの悪い交差点に Virtual Mirror を設置し、道路監視カメラ映像を提示することにより、運転者の死角を削減する提示方式も提案されている[1]。この方式では、交差点で一時停止した車両に対する提示を目的とし、Virtual Mirror が空間中に固定されるため、本研究で対象とする走行車両の運転者に対する映像提示とは異なる。

運転者前方に視覚情報を提示する手段として HUD (Head up Display) がある[14]。例えば、ウィンドシールドにスピード・ガソリンメーターなどの車両情報を提示する HUD 装置などが既に実用化されている。ビデオプロジェクタを HUD に組み込むことにより、計器情報のような静的な情報だけでなく、自車両の周辺映像などの動的な情報をウィンドシールド上に提示する研究も行われている[10]。本研究で提案する方式でも、ウィンドシールド上に Virtual Mirror を提示することを想定している。

3. 提案方式の概要

本研究で提案する方式の概略図を図1に示す。提示対象となるユーザは、図1左下に示すような景色を見ながら、交差点に進入してくる白色の車両 (Object Vehicle) を運転しているとする。その際、交差点上方 (例えば信号機付近) に設置された道路監視カメラは、図1右上に示すように広範囲を俯瞰した映像を取得している。このような映像があれば、運転車両の後方に赤色の車両 (Other Vehicle) が走行していることを容易に確認することができる。運転者は、サイドミラーなどで後方車両を確認するが、ミラーの死角になって見落としてしまう可能性があるため、道路監視カメラから得られる映像は利用価値が大きい。

道路監視カメラで撮影された映像は、ワイアレスネットワークにより、交差点周辺の車両に伝送される。個々の車両では、搭載されたコンピュータを用いて、道路監視カメラ映像を運転者にとって理解しやすい見え方の映像に変換処理を施し、周囲の状況把握に必要な範囲 (例えば、運転車両と赤色の車両が共に映る領域) を切り出し、運転者に提示する。図1左上に提示する Floating Virtual Mirror の例を示す。この提示画像は、運転者視点と周辺世界の間で鏡の光学的特性 (幾何的制約) を保持するように提示されるため、Floating Virtual Mirror は道路上の空間に浮いたような状態で知

覚される．そのため，運転者は大きな視線移動を必要とすることなく，自車両周囲の確認を行うことができる．鏡の特性を満たすために，自車両の位置に応じて Floating Virtual Mirror の 3 次元空間中での位置・姿勢は変化させる．例えば，運転車両が交差点に近づくにつれ，Floating Virtual Mirror は次第に上空に移動し，常に運転者と正対するように回転する．また，自車両との距離に応じ適切な大きさに設定される．

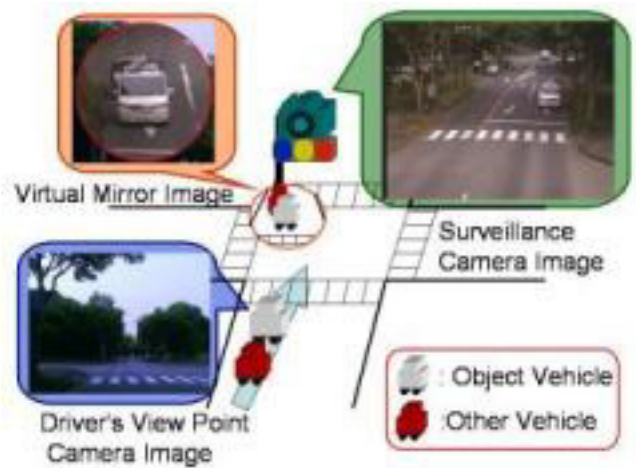


図 1. Floating Virtual Mirror の概要

4. Floating Virtual Mirror

Floating Virtual Mirror を実現するためには，道路監視カメラ映像に幾何学的変換を施し，運転者から見て周辺世界を鏡越しに観察しているような見え方映像を生成する必要がある．本節では，鏡の性質について概説した後，Floating Virtual Mirror に表示する画像の生成方法と提示位置について述べる．

4.1. 鏡の光学的特性

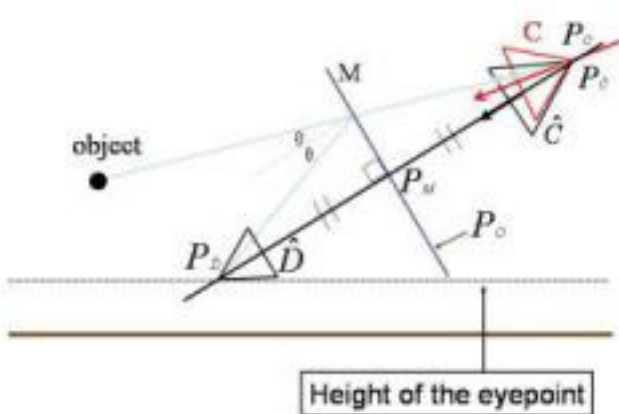


図 2. 鏡の光学的特性．

本節では，図 2 に示す鏡の光学的特性図を持って説明を進める．ここで，図中，C は道路監視カメラ，C' は鏡の光学的特性を満たすように変換された道路監視

カメラ，D は提示対象となる運転者からの見え方映像，M は Floating Virtual Mirror とする．変換前後の道路監視カメラの 3 次元位置は各々 PC，PC' とし，運転者の視点位置を PD とする．Floating Virtual Mirror の中心位置を PM，それ以外のミラー上の任意の位置を PO とする．なお，以下で説明する幾何変換では，監視カメラの回転移動のみで実現されるため，PC=PC' となる．

Floating Virtual Mirror 提示において鏡の光学的特性を実現するためには，運転者視点と道路監視カメラの間で以下に述べる三つの幾何的条件が満たされる必要がある．

1. 運転者視点 PD と道路監視カメラ PC で結ばれる線分 PC-PD の中点に Floating Virtual Mirror の中心が存在する．
2. Floating Virtual Mirror は，線分 PC-PD と直交するように設置される．
3. 運転者視線 PD-PM と道路監視カメラの光軸 PC-PM が同一直線上に存在している．

以上の条件から，Floating Virtual Mirror の提示位置は，道路監視カメラ位置 PC と運転者の視点位置 PD によって変化することがわかる．式 (1) (2) により，Floating Virtual Mirror の 3 次元空間中での位置 PM，PO を算出することができる．

$$P_M = \frac{P_C + P_D}{2} \quad (1)$$

$$(P_D - P_M) \cdot (P_C - P_M) = 0 \quad (2)$$

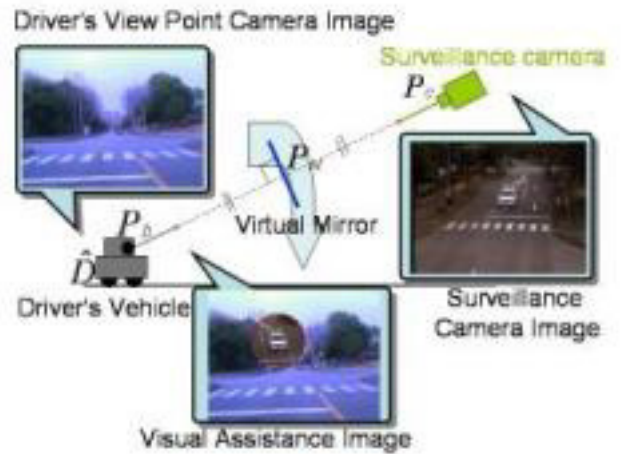


図 3. 車両と道路監視カメラの位置関係：監視カメラと車両間で鏡の特性を満たす場合．

図 3 は，運転者視点と道路監視カメラ間で，Floating Virtual Mirror が鏡の光学的特性を満たしている状態を図示したものである．このときの運転者視点を \hat{D} とし，その 3 次元位置を \hat{PD} とする．図 3 に示す状態では，鏡の光学的特性が満たされているため，空間中の適切な

位置に適切な姿勢で仮想的な平面を配置し、そこに左右反転した道路監視カメラ映像をマッピングすることにより、運転者には周囲の世界を鏡越しに観察しているような見え方が提示されることになる。

しかし、道路監視カメラは、環境に固定されているため、上記鏡の特性を満たす運転者の視点位置は、唯1点 (\hat{D}) しか存在しない。その他の視点位置 PD に対しては、図4に示すように、運転者視点 PD と道路監視カメラ PC 間の midpoint PM に、線分 $PC-PM$ に直交するように Floating Virtual Mirror を設置することができるものの、運転者の視線 $PD-PM$ と道路監視カメラ光軸 $PC-PM$ が同一直線上に重ならず、鏡の光学的特性を満たすことができない。交差点に進入する走行中の車両を対象とした提示を実現するためには、あらゆる運転者視点位置 D に対して、鏡の光学的特性を満たした Floating Virtual Mirror を生成する必要がある。

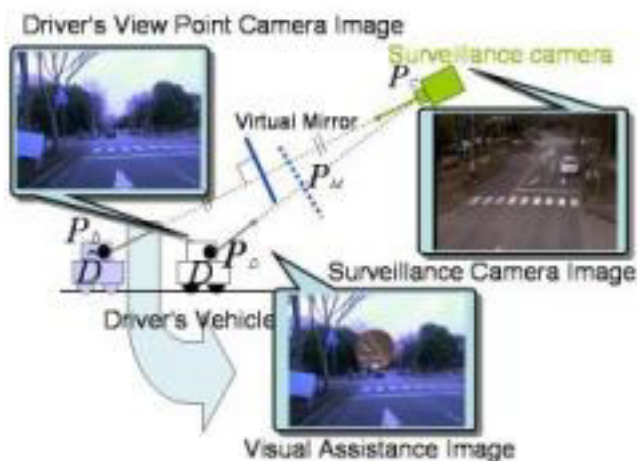


図4. 車両と道路監視カメラの位置関係:監視カメラと車両間で鏡の特性を満たさない場合.

4.2. Floating Virtual Mirror 画像の生成

あらゆる運転者視点位置 D に対して、鏡の光学的特性を満たした Floating Virtual Mirror 提示を実現するためには、道路監視カメラ映像の姿勢を回転させ、運転者視点位置 PD が画像の中心に写りこむような画像を仮想的に生成する必要がある。このような変換処理は、2次元射影変換によって実現することができる [3]。2次元射影変換とは、ある平面 $u = (u, v)$ 上の像を別の平面 $u' = (u', v')$ 上に投影する際の変換であり、次式で表すことができる。ここで、 \tilde{u}' , \tilde{u} は平面上の点 u , u' , の斉次座標である。また、 λ は定数倍項で、 H は2次元射影行列を表す。

$$\lambda \tilde{u}' = H \tilde{u} \quad (3)$$

図5に示されている C から C' への回転角 θ が求めれば、2次元射影行列 H を決定することができる。この

回転角 θ は、運転者視点 PD から算出することができる。運転者視点位置 PD は RTK-GPS¹ を用いて正確に得られるものとする [15]。

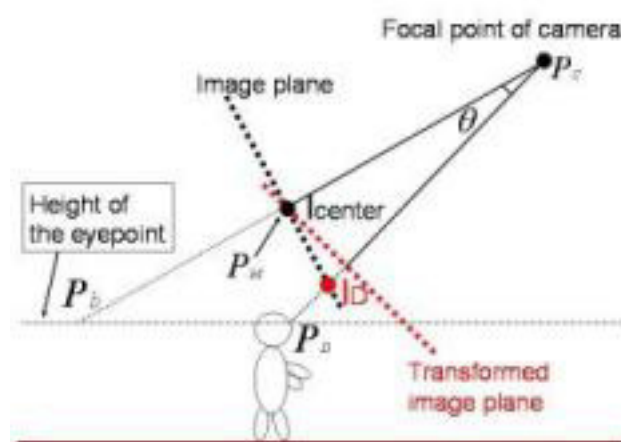


図5. 2次元射影行列 H の導出.

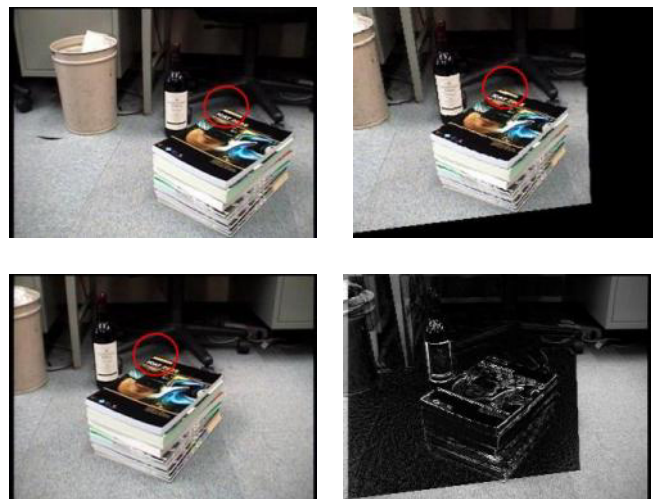


図6. 2次元射影行列を用いた画像処理変換. 左上:入力画像 右上:仮想的にカメラを動かした出力画像(画像1). 左下:実際にカメラを動かして撮影した出力画像(画像2). 右下:画像1と画像2間の差分画像.

まず、RTK-GPS で測定される3次元位置 PD と道路監視カメラのキャリブレーションデータを用いて、撮影画像上における PD の観測位置 ID を算出する。図5に示されているように、カメラ中心 PC から撮像面の画像中心 $Icenter$ に向かうベクトルを $sv0=(Icenter-PC)$ 、カメラ中心 PC から運転者視点の観測 ID に向かうベクトルを $sv1=(ID-PC)$ とする。鏡の光学的特性を満たすためには、運転者視点 ID が画像中心に写っている画像を

¹ RTK-GPS とは、3次元位置が既知である基準局から、車載に搭載した移動局へ補正データを送り、移動局での3次元位置の測定精度を高める方法である。理想的には、RTK-GPS による測定の標準偏差は 10cm 未満である。

仮想的に生成すれば良い。そのための2次元射影行列 H は図5で示される $\theta = \text{atan}(\text{sv}_0 / \text{sv}_1)$ を用いて算出できる。なお、道路監視カメラの焦点距離 f は、キャリブレーションにより事前に求めてあるものとする。

図6に2次元射影変換を用いた画像変換の例を示す。図6左上の入力画像に対して、図中の赤い円で囲った本の角が画像中心に写りこむように2次元射影変換を施した結果が図6右上(画像1)である。実際にカメラを回転させて赤い円で囲った本の角が画像中心に写りこむように撮影した結果が図6左下(画像2)であり、図6右下は画像1, 画像2の差分画像である。図6右下から、2次元射影変換により、見え方の変化が正しく再現されていることがわかる。

4.3. Floating Virtual Mirror の位置

道路監視カメラ C は環境に固定されているため、Floating Virtual Mirror の位置 PM , PO は、自車両の進行に合わせて移動する。式(1)(2)より、 PM , PO を算出する。道路監視カメラ C は信号機付近などの比較的高い場所に設置されていることを考えると、Floating Virtual Mirror は運転者からは前方の上空に浮いているように見える。ここで注意すべきことは、どの地点においても Floating Virtual Mirror は鏡としての光学特徴を保持しているため、運転者は映りこんでいる周囲の幾何的な位置関係を把握しやすいということである。

5. 実験

5.1. 実験環境



図7. 交差点上での実験環境

図7に示すように、大学構内を通過する道路の交差点に、交差点に進入してくる車両を正面から撮影する道路監視カメラを設置し、撮影・提示実験を行った。道路平面からカメラまでの高さは、道路監視カメラの設置の際に信号機の支柱を利用することを想定して約5mとした。道路監視カメラの3次元空間中での位置・姿勢などの外部パラメータや、焦点距離などの内部パラメ

ータは、予め3次元測量器を用いた精密な計測とキャリブレーション処理により求めておく。撮影した映像は信号機柱に設置したPCでデジタル化して、光ファイバで実験室のサーバに伝送される。また、PCから走行車両へのデータ伝送は、無線LANを用いて行う。運転者視点位置 PD は、RTK-GPSを用いて3次元位置を得る。

5.2. 画像取得と視覚支援画像



図8. 道路監視カメラ



図9. 運転者視点カメラ



図10. パーチャルミラー



図11. 運転者視覚支援

Floating Virtual Mirror を実現する画像変換処理の実験について紹介する。図8は道路監視カメラで撮影された画像、図9は交差点に進入してくる自車両(図8内に映っている白色の車両)に搭載している運転者視点カメラによって撮影された画像である。図8を見ればわかるように、監視カメラ画像中では、運転者視点で中央に観測されていないため、この映像をそのまま Floating Virtual Mirror にマッピングしても、鏡の特性を満たさない。4.2節で述べた手法により道路監視カメラ画像に2次元射影変換を施した結果を図10に示す。対象となる車両が道路監視カメラの画像中心に移動しており、鏡の光学的特性を満たす画像が生成されていることがわかる。この画像を左右反転した後、空間中に配置した平面にマッピングした運転者視覚支援画像が図11である。運転者は実際の鏡を見るように、前方を向いたまま自車両周辺や後方全体の確認をすることができる。移動する車両に対して生成した提示画像の例を図12に示す。

6. おわりに

本稿では、交差点付近に設置された道路監視カメラを用いて、運転者の周囲や後方全体の様子をフロントガラス上に表示する視覚支援システムについて述べた。

鏡の特性を利用した提示方式 Floating Virtual Mirror を実現することにより，運転者が一覽性よく容易に周囲の物体との位置関係を把握できる方法を提案した。

今後の課題としては，撮影から提示までの処理をリアルタイムで実行するシステムの構築や，主観評価実験による視覚支援の有効性の評価実験などがある。

Floating Virtual Mirror の問題点は，Virtual Mirror 自体が，運転者視点映像中の重要な領域を覆い隠してしまうことである。例えば，今回の実験結果では，信号機上に Virtual Mirror が重疊されているため，運転に支障をきたすことが考えられる。信号機など，運転をする上で重要な情報については，Virtual Mirror の透明度を制御するなどして，併せて合成・提示するなどの工夫が必要であろう。

本研究の一部は，科学技術振興調整費「状況・意図理解によるリスクの発見と回避（研究項目：動的環境センシングによる視覚増強技術の開発）」によるものである。

文 献

- [1] Kazuhiro KOJIMA, Akihiko SATO, Fumihiko TAYA, Yoshinari KAMEDA and Yuichi OHTA, "NaviView: Visual Assistance by Virtual Mirror at Blind Intersection", Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Vienna, Austria, September 13-16, 2005.
- [2] Reinhard Koch and Jan-Michael Frahm, "Visual-Geometric Scene Reconstruction from Image Streams", Proceedings of the Vision Modeling and Visualization Conference 2001.
- [3] Richard Szeliski, Microsoft Corporation, "Video Mosaics for Virtual Environments", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 16, No. 2, pp. 22-30, March 1996.
- [4] Surendra Gupte, Osama Masoud., Robert F. K. Martin, and Nikolaos P. Papanikolopoulos, Member, IEEE, "Detection and Classification of Vehicles", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 3, No. 1, March 2002.
- [5] Sammer Pardhy, Craig Shankwitz, Max Donath, "A Virtual Mirror For Assisting Drivers", Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000, Dearborn (MI), USA, October 3-5, 2000.
- [6] Michael Sergi, Craig Shankwitz, and Max Donath "LIDAR-based Vehicle Tracking for a Virtual Mirror", Proceedings of IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2003, June 9-11, 2003.
- [7] Xi SHI, Jianming HU, Yangsheng XU and Jingyan SONG, "A Simulation Study on Agent-network Based Route Guidance System", Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Vienna, Austria, September 13-16, 2005.
- [8] Kay Ch. Fuerstenberg, IBEO Automobile Sensor GmbH, "A New European Approach for Intersection Safety", Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems Vienna, Austria, September 13-16, 2005.

- [9] T. Yano, E. Ichihara and Y. Ohta, "NaviView: Visual Assistance of Drivers by Using Roadside Cameras Visualization of Occluded Cars at an Intersection", World Multiconference on Systems, Cybernetics and Informatics, X3, Part 2, pp. 175-180, USA, July 2001.
- [10] A. Sato, Y. Kameda and Y. Ohta, "Adaptive Positioning on Windshield for Information Display", 12th World Congress on ITS, San Francisco, USA, November 2005.
- [11] F. Taya, Y. Kameda and Y. Ohta, "NaviView: Virtual Slope Visualization of Blind Area at an Intersection", 12th World Congress on ITS, San Francisco, USA, November 2005.
- [12] 市原栄太郎, 高尾広行, 大田友一, "NviView: 仮想車載カメラ映像による運転者の視覚支援", 信学論 (D-II), Vol. J82-D-II, No. 10, pp. 1816-1825, October, 1999.
- [13] 市原栄太郎, 高尾広行, 大田友一, "道路監視カメラ画像を用いた運転者の視点からの3次元鳥瞰映像の生成と提示", 信学技法 PRMU98-99, pp.45-52, October, 1998.
- [14] K.Nakamura, J.Inada, M.Kakizaki, S.Kasiwada, H.Ando, N.Kawahara, "Windshield Display for Intelligent Transport System", Proceedings of the 11th World Congress on Intelligent Transportation Systems, Nagoya, Japan, TP85-3058, 8 pages, 2004.
- [15] 近津博文, 熊谷樹一郎, 佐田達典, 鹿田正昭, 淵本正隆, "空間情報工学概論", 社団法人日本測量協会, 2005

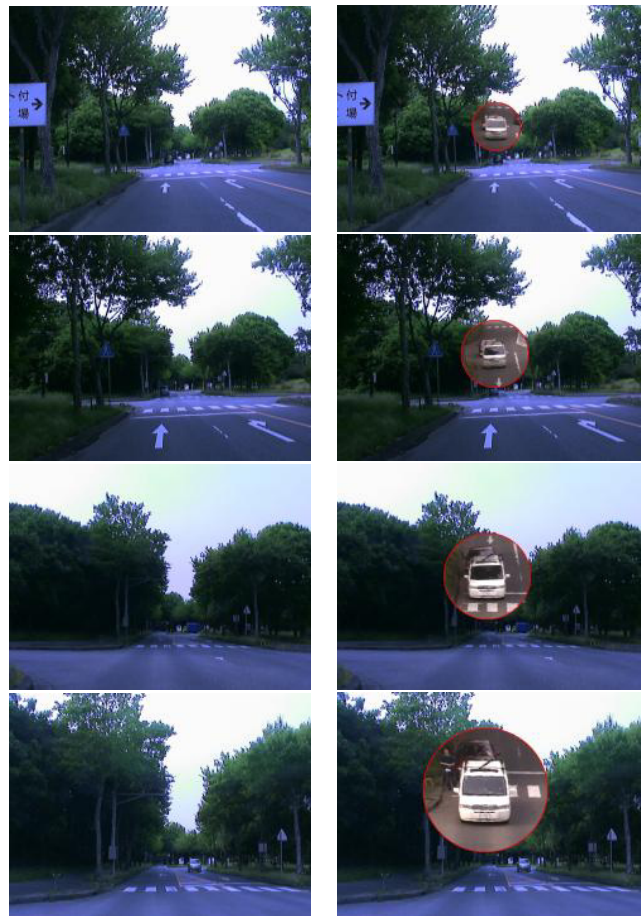


図 12. 運転者視覚支援の例. 左の画像が運転者視点カメラ画像で, 右の画像が運転者視覚支援画像.