

ウィンドシールドディスプレイを用いた道路鏡像提示に於ける 幾何整合性と見易さの関係

川俣 貴也[†] 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 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

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

あらまし 我々は、自動車のフロントガラス上の広範囲に情報を提示するウィンドシールドディスプレイを用いた複合現実型の視覚情報支援として「道路鏡像の空中提示」を提案している。この手法では、運転者に道路形状とナビゲーション用映像オブジェクトを分かり易く提示する為に、走行中の道路の輪郭線を地平線について対称な鏡像として上空に提示する。しかし、実験の結果、鏡像としての幾何整合性を厳密に持たせるよりも、ある種のずれを認めたほうが見易い場合があることが分かった。

キーワード 高度道路交通システム, ウィンドシールドディスプレイ, 複合現実感, カーナビゲーション

Relationship between Geometrical Accuracy and Visibility of Mirrored Road-Map on Wind-Shield Display

Takaya KAWAMATA[†] Itaru KITAHARA[‡] Yoshinari KAMEDA[‡] and Yuichi OHTA[‡]

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

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

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

Abstract We have been developing a new navigation system that shows a mirrored road-map on wind-shield display. Though the original mirrored road-map is given by mirroring road shape on the ground to a virtual horizontal plane in geometrically correct way, we have investigated the performance of pseudo mirrored road-map to users, by losing the geometrical preciseness.

Keyword ITS, Wind-Shield Display, Mixed Reality, Car Navigation

1. はじめに

自動車のフロントガラス上に映像提示するウィンドシールドディスプレイ(WSD)を用いた運転者への視覚情報支援について我々は取り組んでいる[1]。ウィンドシールドディスプレイとはフロントガラス上の広範囲に映像を提示する事が可能なデバイスであり、これを用いることで、提示映像と運転者の視界とを一体化させて理解させる複合現実型の視覚支援が可能になる。この際、提示映像には現実空間と対応する仮想空間を設定し、その中に道路形状や行き先指示標識等のナビゲーション用オブジェクトを配置することが可能である。この技術を用いることで、運転者は走行中の視線を運転中の風景の方向に維持したまま情報を得ることが可能になるため、新しいカーナビゲーションのデバイスとして用いる事が期待されている。その一方で、

自動車運転者に複合現実型の視覚支援を行う場合の問題点として、現実世界に重ねて表示する仮想物体が必ず何らかの形で現実世界の一部を隠してしまうことが挙げられる。例えば、道路面上に矢印等を書き込むような提示は直感的理解に有効であると考えられるが、安全運転のために必要な道路状況の確認がその矢印等の存在によって困難になることがある。このような手法は運転者支援として相応しくない。

そのため、カーナビゲーション用の仮想物体の表示においては、その表示が運転者の視界を実質的に遮らないよう表示位置やタイミングを慎重に定めることが求められている[2][3][4][5]。例えば、胡らの研究[6][7]では、実写風景上へ様々なアイコンを用いたナビ情報を合成し、従来のカーナビゲーションシステムと直接比較を行っている。そして、表示方式の分かり易さや、

見易さや、安全性について良い評価が得られたと報告されている。しかし、フロントガラス上への表示を実際に行う場合には運転者の視界を遮る事が問題となり、風景と映像の位置合わせにも工夫が必要となる事が示されている。運転者映像を作り出す研究[8]でも、走行シーンに違和感無く看板のようなオブジェクトの表示を合わせるための様々な工夫が示されている。また、バーチャルケーブルの研究[9]では、運転者の視界中に目的地まで繋がる一本の線が表示され、その線を辿って道路を運転していくと目的地にたどり着くというナビゲーションシステムが提案されている。

つまり自動車運転者に対する複合現実型の視覚支援における理解しやすいナビゲーションの条件としては、現実空間と提示する情報及びナビ指示の対応付けが容易であることが求められる。一方で、運転者の視界の確保は安全運転のために必須であり、運転にあたって見る必要がある全てのものへの視界は維持されなければならない。この二つのバランスを取ることが WSD でのカーナビゲーションには求められる。

我々はナビゲーションの為の提示オブジェクトの配置の工夫として、道路鏡像の空中提示手法を提案している[1]。これは、画面上部の領域に走行中の道路の輪郭線を、地面と平行な平面に描いた仮想空間を提示し、その平面上に提示オブジェクトを書き込むことでナビゲーションと周囲の道路状況の提示とを実現する。運転者の視界中の道路面よりも上部の領域を提示領域とすることで、提示オブジェクトを運転風景中の車両や人と重複させないことが可能である。同時に、道路の輪郭線を運転者から見た現実の道路と上下対称の図形として見えるように描画することで、地平線を境とした鏡像を提示することになり、現実空間と仮想空間の対応付けを容易にしている。

提案手法では、見通しの悪い道路の形状を先の方まで知ることが可能であり、提示映像中の提示オブジェクトである矢印と道路線の位置関係はどちらも提示オブジェクトのある仮想空間中で決定されることになるため一致させるのが容易であるという特徴がある。現実の道路面上への矢印の重畳では描画したい道路の車線からの僅かな提示位置のずれが問題となるのに対し、提案手法は現実空間の道路と道路鏡像の対応が直感的に分かりさえすれば、後は仮想空間中の道路輪郭線とその中の矢印の関係だけでナビゲーション情報を理解可能となる。

我々は道路鏡像提示手法について、様々な実験による評価を行ってきた。その中で、運転者に対しては必ずしも厳密に地平線に対称な道路鏡像が最もよい評価を得られるわけではないという事が分かってきた。こ

れには道路鏡像が表示される高さとその範囲が強く関わっている。本稿では、シチュエーションに依るものの、道路鏡像提示に於いては概ねある程度以上の高さにそれを提示し、かつ近傍が十分見えるように像を水平にスライドさせると良いという傾向が見られたので、それについて報告する。

2. 道路鏡像提示の特徴と検討項目

道路鏡像提示手法[1]では、現実の道路と鏡像とが地平線について対称であることから、運転者は現実空間と提示映像中の仮想空間との対応を瞬時に理解する。ここで、仮想空間と現実空間を運転者に対して鏡のような関係として完全に整合させる必要があるのか、或いは若干のずれは許容されるのか、或いはむしろある程度のバイアスがあった方が理解し易くなり得るのかを調べる事が本稿の主旨である。従って、走行中にどのような位置に映像の道路鏡像を提示すれば良いかを調べる。また、道路鏡像の理想的な位置は走行シチュエーションによって異なる可能性があるため、複数のシチュエーションを用意してそれを調査する。

2.1. 鏡像平面と平行スライド量

三次元空間中の高さ $y=0$ の平面を地面と一致する平面として定義する。運転者の視点 D の高さ y_d は $1.3[m]$ の固定値として設定し、地面平面と平行に移動する点と定義する。さらに道路鏡像平面を地面と平行な平面として定義し、その高さ y_m を変動させることが出来るものとする。以後この高さ y_m を鏡像面高と呼ぶ(図 1)。この時、運転者視点から見える道路鏡像はウィンドシールドディスプレイ上の虚像スクリーンの大きさや位置によって変化する。虚像スクリーンの最上部の辺の中心を y_t とし、視点 D と y_t を結ぶ直線が道路鏡像平面と交わる点を R_v と定義する。さらに、視点 D を通り地面と垂直な直線が道路鏡像平面と交わる点を R_d とし、 R_d と R_v の距離を r とする。道路鏡像が描画される範囲内で視点から最遠の点を R_f とする。図 1 において、厳密な道路鏡像面高は $y_m = 2y_d$ である。 y_m を大きくして鏡像面を上昇させるにつれて、道路鏡像の見える広さは R_1R_f から R_2R_f へと狭くなる事が分かる。そこで、この問題への対応として平行スライド量 s を導入する。この平行スライド量は視線方向に沿って定められる。仮に $s = r(R_dR_v)$ とすれば、運転者は自分の居る位置の鏡像を WSD の上端に見ることができるようになる(図 2)。

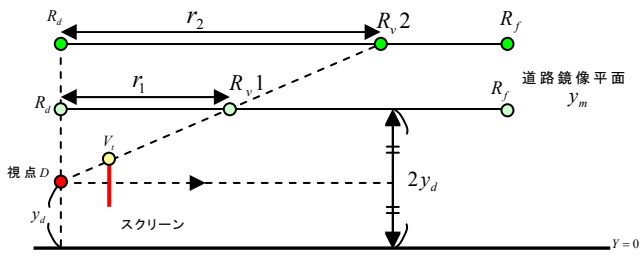


図 1：道路鏡像と視点との関係

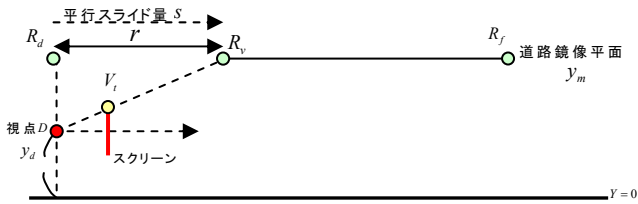


図 2：道路鏡像の平行スライド

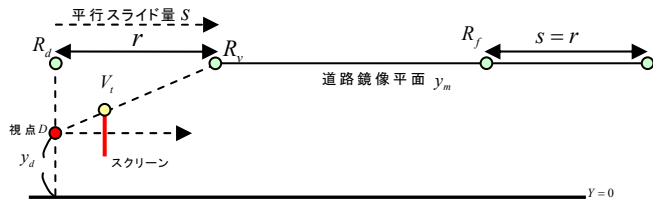


図 3：道路鏡像の遠端の処理

2.2. 検討手順

我々が行う実験は道路鏡像を描画する際の幾何パラメータを変更することにより、道路鏡像の見た目がナビゲーションの目的に適ったより見易いものとなる可能性を調査するものである。そのため、主に y_m と s に注目する。 y_m の変化は $2y_d$ の値よりも大きくすることを検討し、 s もこれに合わせて前方への平行移動を増やすものとする。 y_m を小さくすると、道路鏡像平面に対する視線の角度が浅くなりすぎてしまい、実用性が低いと考えられるので検討の対象外とする。

検討の手順としては、まず y_m と s について、広い範囲で評価実験を行い、厳密な道路鏡像 $y_m = 2y_d$, $s = 0$ に対して被験者らがどのような印象を持つかを調べる。続いて、その実験結果から良い評価を与える y_m と s についての傾向を推定し、様々なシチュエーションに対する、より実環境に近い状況での評価実験を行う。

3. 実験

3.1. 鏡像面高と平行スライド量との関係を調べる実験

道路鏡像の空中提示法は道路鏡像平面の高さを $y_m = 2y_d$ とすることで、視点の高さ y_d 地面と道路鏡像

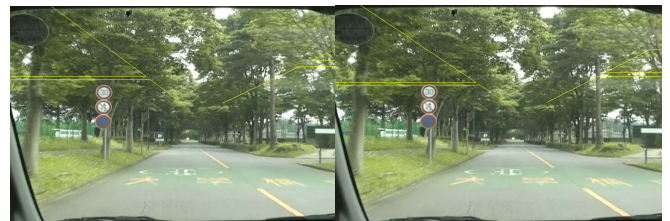
平面の中間の高さとなり、現実の道路と道路鏡像が対称に見えることを利用している。しかし、 y_m を変化させることで道路鏡像の見え方が変化しても表示の効果はあると考えられる。そこで、 $y_d = 1.3[m]$ の時に $y_m = 2.6[m]$, $3.8[m]$, $5.0[m]$ の 3 種類を比較することを考えた。その際、 y_m を大きくすると道路鏡像として運転者から見えなくなる領域 ($r = R_d R_v$) が增大することから、平行スライド量 s もそれに伴い大きくした方が良いのではないかと推測した。そこで、3 種類の y_m にそれぞれ $s = 0[m]$, $10[m]$, $20[m]$, $30[m]$ の 4 種類、計 12 種類の映像を用意した(図 4)。実験は、シエツフェの対比較法を用い、12 種類から 2 つを選んだ 66 組のペアの全てについて、被験者に一方の映像を見せた後、3 秒の間隔でもう一方の映像を見せ、5 段階評価によって両者を比較してもらった。なお、シチュエーションは交差点進入から右折し終わるまでを含んだ 10 秒のシーンである。被験者数は学生 6 名である。表 1 に結果を示す。数値は回帰分析により求めた相対的な評価値であり、正方向に大きいほど高評価であることを意味する。なお、その表現上、絶対値に意味はない(表 1)。



$y_m = 2.6[m]$ 左上から $s = 0[m]$, $10[m]$, $20[m]$, $30[m]$



$y_m = 3.8[m]$ 左上から $s = 0[m]$, $10[m]$, $20[m]$, $30[m]$





$y_m = 5.0[m]$ 左上から $s = 0[m], 10[m], 20[m], 30[m]$

図 4：鏡像面高と平行スライド量との関係を調べる実験の映像

表 1：鏡像面高 y_m と平行スライド量 s との関係

$y_m \backslash s$	0[m]	10[m]	20[m]	30[m]
5.0[m]	-1.78	-0.37	1.95	3.85
3.8[m]	-2.47	1.60	3.00	2.15
2.6[m]	0.42	2.49	2.39	0.79

y_m と s を変化させた組み合わせの映像を比較評価したところ、 y_m を大きくした場合には合わせて s を大きくすると高い評価を得られる傾向があり、両値のバランスが崩れると評価が下がることが判明した。これは、当初の予測通り WSD スクリーンの視野の限界により、 $r = R_d R_v$ の部分の道路鏡像が描画範囲に含まれないことが大きな原因であると考えられる。 y_m を大きくすると R_d 付近の道路鏡像がより多く描画範囲の外に出てしまう。その描画範囲の外に出てしまった道路鏡像を描画範囲の内に戻すための s が望まれていると考えられる。このことから、これ以降は $s = r(R_d R_v)$ とすることを考えていく。

3.2. 最適な平行スライド量の下での鏡像面高の評価実験

$s = r$ とすることを考えると、一定範囲の道路鏡像をスクリーン内に表示し続けるには、鏡像の描画範囲の遠方端 R_f もその分だけ遠くするのが妥当である(図 3)。さらに道路鏡像提示のテストを行っていく上で、道路鏡像線を見易く、且つ進行方向と直行方向の道路鏡像線が異なって見える方が良いとの意見があったため、本実験からは進行方向に沿う道路鏡像線を白色、進行方向と交わる道路鏡像線を黄色に塗り分けるようにし

て道路の区別がつき易いようにした。

もう一点の意見としては、直行道路に関しては y_m が小さいと鏡像面が低く、結果として直行道路の幅を表す 2 本の線が潰れて 1 本の線に見えてしまうことがあり、その道路を認識出来ないというものがあつた。これに対応するため、 y_m が小さい時の直行道路幅は y_m が大きい時の幅と見かけ上同じになるように調整してある。

また、シミュレーション実験にあたって、鏡像スクリーンの位置をより正確に求め、それに伴って V_f や R_d 等の位置が変更されている。

なお、ここでは実験結果をより明確にするため背景の輝度を落として、道路鏡像線がはっきりと見えるように調整も加えてある。

実験の内容は前述の実験と同様にシェッフェの 1 対比較を用いて、5 つの映像から 2 つを選んだ全 10 ペアについて、5 段階評価で比較するものとした。被験者には前者を映像 A、後者を映像 B とする 2 つの映像が 3 秒の間隔で流れる映像シークエンスを提示する。8 秒程度の記入時間を空けて 10 シークエンスを被験者に提示した。以上の実験を交差点に近づくまで直進し続ける 10 秒間のシーンと、交差点進入から右折し終わるまでを含む 10 秒間のシーンの両方について実施した。被験者は学生 19 人である。

実験の結果、直進シーンについて(図 6) のような結果となり、 y_m が 2.6[m] の場合と比べて、他の値ではすべて評価が高くなっているが 3.8[m] 以上同士の差はあまり大きくない。右折シーンについて(図 7) のような結果となり、 y_m が 2.6[m] の場合と比べて、3.8[m] 以上の時で評価が高くなっており、直進シーンに比べて y_m の大きい方に評価のピークが若干ずれている。両シーン共に y_m が大きいものについては評価の差が小さくなっているが、これは y_m が大きい時の方が y_m の変動が描画に対して与える見た目の変化が小さかった為と考えられる。

道路鏡像の見える範囲などを一定にしてもパラメータ y_m の変動による道路鏡像と道路の対応関係の分かり易さの変化は発生することが判明した。被験者毎の傾向はある程度一貫しており、高さ y_m の変化については下限の閾値は 2.6[m] と 3.8[m] の間に表れているが、上限については許容範囲が広いことが読み取れる。

地平線対称の描画としたことにより、消失線近くの遠くの道路鏡像線が道路平面付近の実環境物体と重複し易くなっており、評価に影響を与えたと考えられる。また、シーン毎に異なる最適描画パラメータがあるという意見が被験者の自由記述からも得られており、見る場所や背景との関わりによって道路鏡像と道路の対応関係の分かり易さを決定する要因は複数あると考え

られる．具体的には，交差点までの距離や，道路の交わる角の部分が見えるかどうか等が，対応関係の分かり易さに影響しているという意見が挙げられていた．



図 5：最適な平行スライド量の下での鏡像面高の評価実験映像(左：直進シーン，右：右折シーン)

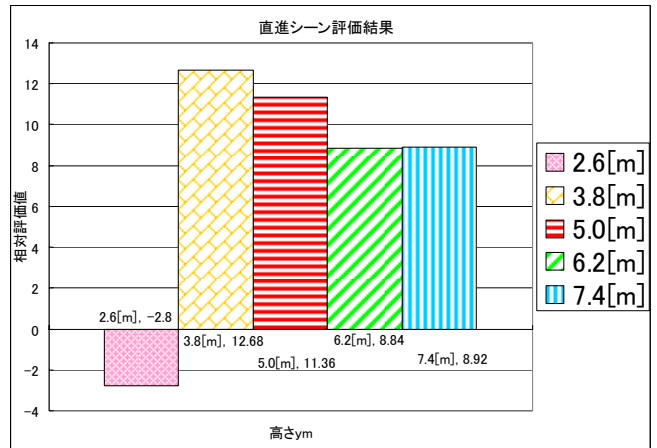


図 6：最適な平行スライド量の下での鏡像面高の評価実験の結果(直進シーン)

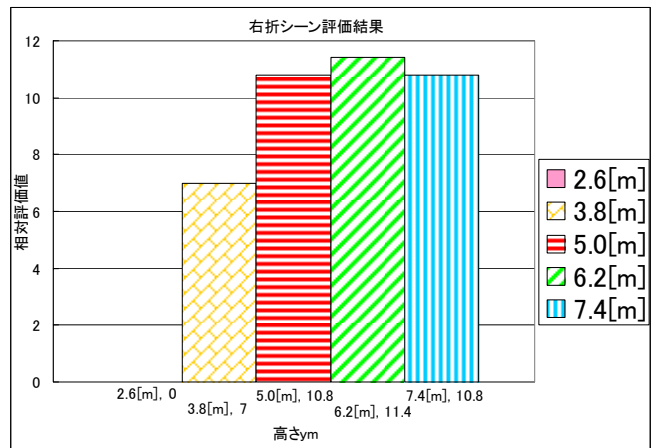


図 7：最適な平行スライド量の下での鏡像面高の評価実験の結果(右折シーン)

4. 考察

3.1 節の鏡像面高と平行スライド量との関係性を調べる実験では y_m が大きくなると同時に s も大きくなる場合に，評価が高まるという傾向が読み取れた．これにより， $s=r$ が有効であると推測した．4.2 節の最適な平行スライド量の下での鏡像面高の評価実験の結果では，どちらのシーンについても y_m の値が 2.6[m] と 3.8[m] の間に閾値がある事が読み取れる． y_m が大きくなるにつれ，描画の見え目上の変化が少なくなる傾向については，道路鏡像に対する視線の角度の変化が小さくなる為であり， y_m の変化を一定間隔にした事が原因であると考えられる．

4.2 節から， y_m の値は $2y_d$ よりも大きい方が望ましいが，描画位置のみを画面上方にずらす様な特殊な処理を加えると大きくする必要が無い場合も存在すると考えられる．また， y_m や s の変化という条件だけでは，最適な描画方法を見つけるには不十分であるということも判明した．

5. おわりに

本稿では、WSDを用いた道路鏡像提示に於ける描画の見易さを追及するため、視点に対する道路鏡像の位置に注目した。道路鏡像の描画空間中での位置を変化させたシミュレーション映像を用いて、比較評価実験を行った。

実験の結果、ナビゲーションのために見た目の優れた描画となる条件は幾何整合性を満たすことではなく、最適値は状況により異なる可能性があることが判明した。具体的には、平行スライド量 s は鏡像平面高 y_m の変化に伴って変化する r と一致させる事が見易さへとつながるパラメータである。また、鏡像平面高 y_m については運転者視点の高さの2倍である $y_m = 2y_d$ と比べて、より大きな y_m の方が良い評価となったので、一定以上の大きさにする事が望ましいパラメータであるということが判明した。

今後の課題は、多様な走行環境に応じて変化する事が予想される適切な描画のパラメータをどのように分類し、条件を体系化する事が可能であるかを調べることである。そのためには、より多くの環境設定における描画の比較を行う必要がある。

文 献

- [1] 川俣貴也, 北原格, 亀田能成, 大田友一 “ウインドシールドディスプレイを用いた道路鏡像の空中提示”, 第4回デジタルコンテンツシンポジウム, 2008.
- [2] Akihiko Sato, Yoshinari Kameda, and Yuichi Ohta : “Adaptive Positioning on Windshield for Information Display”, CDROM Proceedings of 12th World Congress on Intelligent Transport Systems, 12 pages, 2005.
- [3] 宮本 徹, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一 : “Floating Virtual Mirror: 浮動式仮想鏡による車両背後領域の可視化”, 電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, vol.106, no.234, pp.13-18, 2006.
- [4] Fumihiro Taya, Yoshinari Kameda, and Yuichi Ohta “Naviview: Virtual Slope Visualization of Blind Area at an Intersection”, CDROM Proceedings of 12th World Congress on Intelligent Transport Systems, 8 pages, 2005.
- [5] Fumihiro Taya, Kazuhiro Kojima, Akihiko Sato, Yoshinari Kameda, and Yuichi Ohta “Naviview: Virtual Mirrors for Visual Assistance at Blind Intersection”, International Journal of ITS Research, vol.3, no.1, pp.23-38, 2005.
- [6] Zhencheng Hu, Keiichi Uchimura : “Fusion of Vision, GPS and 3D Gyro Data in Solving Camera Registration Problem for Direct Visual Navigation”, International Journal of ITS Research, vol.4, no.1, pp.3-12, 2006.
- [7] 胡振程、内村圭一 : “運転者を支援する次世代ナビゲーション技術”, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No. 12, pp.1705-1709 (2007)
- [8] Shintaro Ono, Koichi Ogawara, Masataka Kagesawa, Hiroshi Kawasaki, Masaaki Onuki, Ken Honda, Katsushi Ikeuchi : “Driving View Simulation

Synthesizing Virtual Geometry and Real Images in an Experimental Mixed-Reality Traffic Space”, IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.214-215, 2005.

- [9] Making Virtual Solid (MVS 社), バーチャルケーブル, PCT application, International Publication Number WO 2005/121707 A2. (<http://www.mvs.net>)