

道路監視カメラを用いた交差点における

短縮法を適用した空瞰映像の生成

大津 寛之 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: otsu@image.iit.tsukuba.ac.jp, {kitahara,kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし：道路交差点の中心から遠方までの状況を一望することが可能な映像の生成手法を提案する。道路監視カメラで撮影した交差点の映像に幾何変換処理を施し、交差点と周辺道路を空瞰するような映像を生成する。その際、透視投影カメラが有する短縮法の性質を空瞰映像の奥行き方向にのみ適用することにより、近くから遠くまでを一望できるという透視投影の特長と、世界を単一カメラ座標系で観察することができる地図表現方式の特長を併せ持つ映像表現方式を実現する。大学構内道路の交差点に実際にカメラを設営して撮影・空瞰映像生成実験を行い、提案手法の有効性を示す。

キーワード：空瞰映像，道路監視カメラ，視覚支援，交通管理，ITS

Synthesis of Foreshortened Air-View Video at an Intersection Using Road Surveillance Cameras

Hiroyuki OTSU Itaru KITAHARA Yoshinari KAMEDA Yuichi OHTA

Graduate School of Systems and Information Technologies, University of Tsukuba

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

E-mail: otsu@image.esys.tsukuba.ac.jp, {kitahara,kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract: This paper proposes a novel visualization method for monitoring traffic condition at an intersection. The intersection area including connecting roads is displayed as a bird's-eye view image that shows both of near and far road regions at a same time. We call this display method as "Air-View". The display images are generated by multiple images captured by road surveillance cameras installed on the poles of traffic signals in the intersection. Geometric conversion and mosaicing techniques are applied to the captured images to synthesize the air-view. The effectiveness of our proposed method is examined by our experimental investigation that uses four environmental road surveillance cameras.

Keywords: Air-View, Road Surveillance Camera, Visual Assistance, Monitoring Traffic Condition, ITS

1. はじめに

現代社会において、道路交通は、移動や物流の手段として欠かせないものとなっている。しかし一方で、交通事故や渋滞といった様々な問題を生み出している。このような道路交通の問題を解決する手段として、高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) に注目が集まっている。その中でも、運転者への視覚支援に関しては、これまで多

くの研究開発が進められている。例えば、車両外部の死角領域を車内モニタに表示するシステムや、遠赤外線カメラを用いて歩行者を検出し、夜間の運転者の視覚支援を行うシステムなどが実用化されている。しかし、これらのシステムは、車両に設置されたセンサ装置を用いるため、車両付近の限られた領域の情報しか検出・提示できない。我々は、運転席から死角となる領域の提示を目的として、提示道路監視カメラで撮影した映像に対して、画像処理やコ

ンピュータグラフィックス技術を適用し、運転者を視覚的に支援する手法に関する研究開発に取り組んでいる。市原らは、高速道路に取り付けた監視カメラの映像から、鳥瞰映像を生成するという運転者の視覚支援法を提案している[1]。矢野らは、交差点における対向車線を仮想的に坂道状に提示することにより、右折時における視認性を大幅に向上させる手法を提案している[2]。宮本らは、自転車周辺が映りこんだ鏡を、CG技術により仮想的に車両前方に設置することで、自転車付近の死角の提示を行う仮想浮動ミラーを提案している[7]。

一方で、正確な道路交通情報を運転者に提供することも、道路交通の問題削減に有効であると考えられる。本研究では、道路監視カメラ映像を用いて、道路交通情報を送出する交通管理者を視覚的に支援する手法を提案する。道路の中でも特に事故発生率が高い交差点の情報を、“わかりやすく・見やすい”映像として提示する手法を紹介する。以降本稿では、交差点の中心と遠方領域を同時に観察が可能で、かつ、地図が持つ直下的な位置関係の把握が簡易な、新たな映像提示方式を“空瞰映像”と呼ぶ。

2. 道路管理者の視覚支援

道路渋滞や交通事故などの情報は、道路管理者が交通状況を把握するために重要である。レーダや超音波などを用いて交通量の計測を行い、電光掲示板やカーナビモニタなどを介して、道路管理者や運転者に情報を伝える方式が普及しつつある。しかし、それらの手法では、計測した数値情報だけが提示されるため、事故などの状況を確認するためには、道路監視カメラ映像などを通して確認する必要がある。交通事故件数の増加とセンサ機器の発展により、道路監視カメラの設置台数は急激な勢いで増加している。その結果、道路管理者がその全てに目を配るのが不可能になることが予想される。例えば、図1に示すたった一つの交差点の場合でも、4方向を撮影した映像から、瞬時に交差点の状況を把握するためには、修練と集中力が必要であろう。我々は、道路監視カメラで獲得された映像を、道路管理者が理解しやすい形に変換し、提示することにより、道路監視作業を視覚的に支援することを目的としている。

本稿では、道路の中でも交通事故、渋滞が発生しやすい交差点に焦点を当て、その空瞰映像の生成について述べる。

はじめに、道路監視カメラの映像と道路平面間の幾何関係を利用し、複数のカメラ映像を組み合わせ、

交差点全体を表す一枚の地図状空瞰映像を生成する手法について述べる。地図上俯瞰映像は、交差点の地図を見るように、実世界を概観できるため、全体の状況を把握する場合に有効であるが、管理者が注視範囲（監視スコープ）を変更するためには、提示領域の調整が必要である。例えば、管理者が交差点を横断する歩行者を注視する場合は、中心部を拡大した空瞰映像を提示する必要がある。交通量を計測するなど道路状況を把握する場合は、週変動を含む交差点全体を提示する必要がある。このように、地図状空瞰映像では、交差点中央と遠方領域を同時に注視することは難しく、切り替え操作による監視業務の複雑化が懸念される。一方で、監視カメラで撮影（透視投影）した映像では、図1に示すように、交差点付近から遠方領域までの見え方情報が獲得されている。この透視投影カメラが持つ短縮法の性質を空瞰映像に適用することにより、地図のように世界を単一カメラ座標系で観測することができ、かつ、透視投影カメラのように、近くから遠くまでを一望することが可能な、空瞰映像を生成することができる。

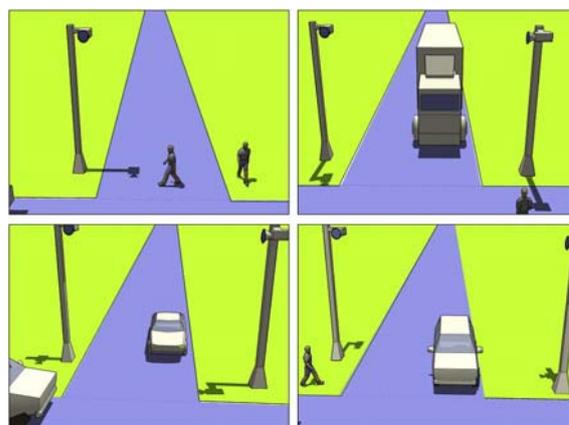


図1：複数の道路監視カメラ映像の例

3. 交差点の地図状空瞰映像の生成

交差点を複数の道路監視カメラを用いて撮影する。各カメラは、交差点に進入する道路に向けて設置する。本稿では、十字路の交差点を例に、4方向を向いた4台のカメラで撮影した映像について、説明を行う。本節では、交差点を真上から見下ろした地図状の空瞰映像を生成する手法について述べる。

交差点の空瞰映像を獲得する最も直感的な方法は、交差点の上空に実際にカメラを設置し撮影を行うことである。しかし現実世界のそのような場所にカメ

ラを設置することは困難である．そこで，道路監視カメラの映像に対して幾何変換を施し，仮想的に交差点を真上から撮影したような映像を生成する．

3.2 仮想カメラによる撮影映像の幾何変換

透視投影カメラでは，式(1)に示すように，世界座標系の3次元点 (X, Y, Z) は，撮影された画像中の点 (u, v) に射影される．ここで， λ はスケール係数， \mathbf{P} は3行4列の射影行列である．なお，この射影行列は，カメラキャリブレーションによって，事前に算出されているものとし，説明の簡略化のため，世界座標系の Z 軸は，道路平面に対して垂直であると仮定する．

$$\lambda[u \ v \ 1]^T = \mathbf{P}[X \ Y \ Z \ 1]^T \quad (1)$$

図2に示すように，カメラを仮想的に移動させて交差点を空撮する仮想カメラの射影変換行列を \mathbf{P}' とすると，3次元座標中の点 (X, Y, Z) は，式(2)に示すように点 (u', v') に射影される．

$$\lambda'[u' \ v' \ 1]^T = \mathbf{P}'[X \ Y \ Z \ 1]^T \quad (2)$$

ここで，射影行列 \mathbf{P}' は，式(3)に示すように，射影行列 \mathbf{P} に，カメラの移動情報（回転 \mathbf{R} ，平行移動 \mathbf{T} ）からなる剛体変換行列 \mathbf{D} をかけあわせたものである．

$$\mathbf{P}' = \mathbf{PD} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} R_{00} & R_{01} & R_{02} & T_1 \\ R_{10} & R_{11} & R_{12} & T_2 \\ R_{20} & R_{21} & R_{22} & T_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

撮影対象の3次元形状 (X, Y, Z) が既知ならば，式(2)により任意視点からの見え方映像を生成することが可能である．しかし，我々が撮影対象としている交差点では，撮影対象の3次元情報は未知であるため，このままでは，視点移動後の見え方を生成することは困難である．

そこで我々は，対象とする3次元世界を平面と仮定することにより¹，この問題を解決する．撮影世界が全ての高さ 0 ($Z=0$)の平面上に存在すると仮定すると，式(1)は式(4)のように，式(2)は式(5)のように変換される． \mathbf{P}_{2D} ， \mathbf{P}'_{2D} は，それぞれ \mathbf{P}, \mathbf{P}' の3列目を

除去した3行3列の部分行列である．

$$\lambda[u \ v \ 1]^T = \mathbf{P}[X \ Y \ 0 \ 1]^T = \mathbf{P}_{2D}[X \ Y \ 1] \quad (4)$$

$$\lambda'[u' \ v' \ 1]^T = \mathbf{P}'[X \ Y \ 0 \ 1]^T = \mathbf{P}'_{2D}[X \ Y \ 1] \quad (5)$$

式(4)を式(5)に代入し，式(6)を得る．

$$\lambda''[u' \ v' \ 1]^T = \mathbf{H}[u \ v \ 1]^T \quad (6)$$

この式(6)を用いることにより，3次元世界を経由することなく，道路監視カメラで撮影した映像から，任意の視点から見た仮想映像を生成することが可能となる．

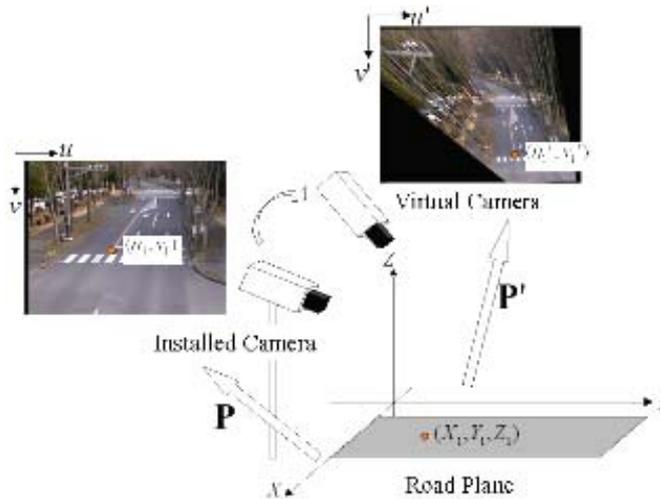


図2：仮想カメラによる道路平面の撮影

4台の道路監視カメラについて，同様の処理を行った結果をはり合わせるにより，実写マッピングした地図を真上から見下ろしたような映像を生成することができる．図3，4に，生成した交差点の地図状空撮映像の例を示す．図3は，交差点全体を閲覧できる位置に仮想カメラを設置した例，図4は，交差点内部の状況を詳細に把握できる位置に仮想カメラを設置した例である．

図3に示す映像では，交差点全体を俯瞰することができ，混雑状態の把握や流量計測には適しているが，走行車両や歩行者が写りこむ大きさが小さく，個々の状態を把握することは困難である．一方，図4に示す映像では，車両や歩行者を視認することはできるが，交差点に近づいてくる車両の有無やその台数を確認することは困難である．

¹ 道路は通常平面であるため，この仮定は妥当であるといえよう．

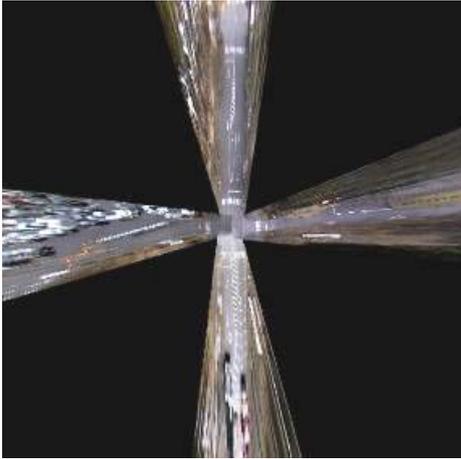


図 3 : 交差点全体が見える視点位置からの映像

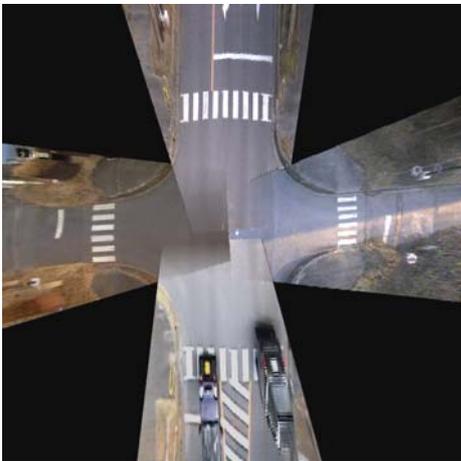


図 4 : 交差点中心に仮想カメラを近づけた映像

4. 短縮空瞰映像の生成

本節では、交差点の中心と遠方領域の両方を、同時に提示することにより、前節で述べた地図状空瞰映像の問題を解決する手法について述べる。

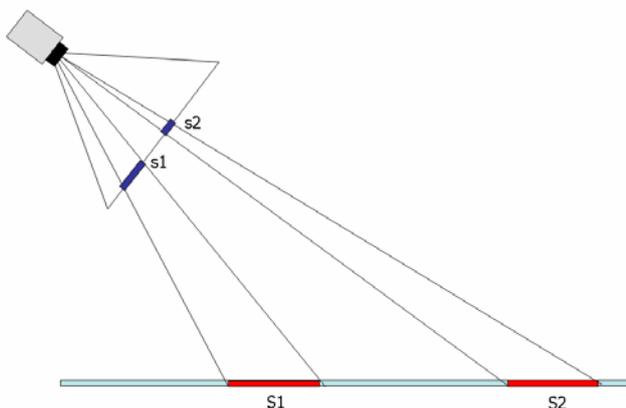


図 5 : 道路平面がら画像面への写像 (短縮法)

4.1 透視投影カメラの特性

透視投影の特性として遠近法と短縮法がある。透視投影カメラでは、3次元中の物体が画像平面に投影される際、カメラからの距離に反比例した大きさで観測され、カメラから離れている物体は小さく、近くにある物体は大きく画像に写りこむ。この特性が遠近法である。

3次元空間中の平面が、画像面に投影される様子を図5に示す。3次元空間中ではS1とS2は同じ長さであるが、カメラまでの距離の違いにより、写像s2の方がs1よりも短く観測される。このように、画像面と平行ではない平面上の見え方が、奥に行くほど縮まって見える現象を短縮法という。この特性により、透視投影カメラで撮影した画像では、近景と遠景が一望することができる。

我々人間の目も一種の透視投影カメラであるため、遠近法や短縮法によって生成された映像は、直感的に理解しやすいと考えられる。我々は、短縮法の性質を空瞰画像へ適用することにより、交差点の中心領域と遠方領域を一度に俯瞰可能な映像の生成を行う。

4.2 短縮法を適用した空瞰映像の生成

図6に示す映像は、道路監視カメラの俯角を変えずに、向かい合う道路と正対するようにカメラの位置・姿勢を変化させた場合の見え方映像である。カメラと道路平面が平行ではないため、短縮法による圧縮が生じている。図7に示す映像は、図6の映像から生成した地図状空瞰映像である。この図6と図7の映像の関係を元に、道路平面を真上から見た映像に対して、短縮法を適用した映像を生成する。

式(7)に示す2次元射影変換により、図6の画像中の点(u, v)を図7の画像中の点(u', v')に変換することができる。

$$\lambda \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1 & H_2 & H_3 \\ H_4 & H_5 & H_6 \\ H_7 & H_8 & H_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$u' = \frac{H_1 u + H_2 v + H_3}{H_7 u + H_8 v + H_9} \quad (8)$$

$$v' = \frac{H_4 u + H_5 v + H_6}{H_7 u + H_8 v + H_9} \quad (9)$$

生成された映像に対して、横(u)方向の状態は保持したまま、縦(v)方向にのみ式(7)の逆変換を行うことにより、短縮法を適用する。

$$u'' = u' \quad (10)$$

$$v'' = \frac{H^{-1}_4 u' + H^{-1}_5 v' + H^{-1}_6}{H^{-1}_7 u' + H^{-1}_8 v' + H^{-1}_9} \quad (11)$$

その結果、図8に示すように、3次元空間中で平行な直線道路の両端は画像面上でも平行であり、かつ、縦方向に対しては、短縮法による圧縮が適用され、近景と遠景が一望可能な映像が生成される。式(11)からわかるように、本手法で実現される短縮法の圧縮率は、道路監視カメラのそれと等しいため、撮影映像の歪みが少なく、自然な見栄えの映像を生成されている。



図8：短縮法を適用した空俯瞰映像



図6：道路正面映像（短縮あり）

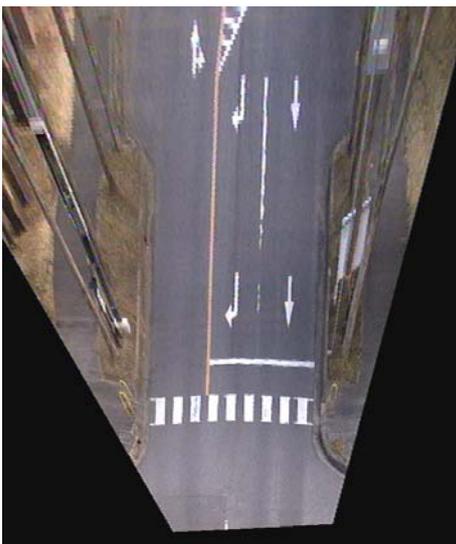


図7：地図状空俯瞰映像（短縮なし）

5. 実験

5.1 実験環境

図9に示すように、大学構内を走る道路の交差点に4台の道路監視カメラを設置して撮影実験を行った。撮影カメラは、SONY製のプログレッシブスキャン3CCDカメラ（DXC9000）を使用し、信号機とほぼ同じ道路平面から約5メートルの高さに取り付けられた。各カメラは映像取り込み用PCに接続され、ネットワークを通じて映像データのやりとりをする。道路監視多視点映像の例を図10に示す。

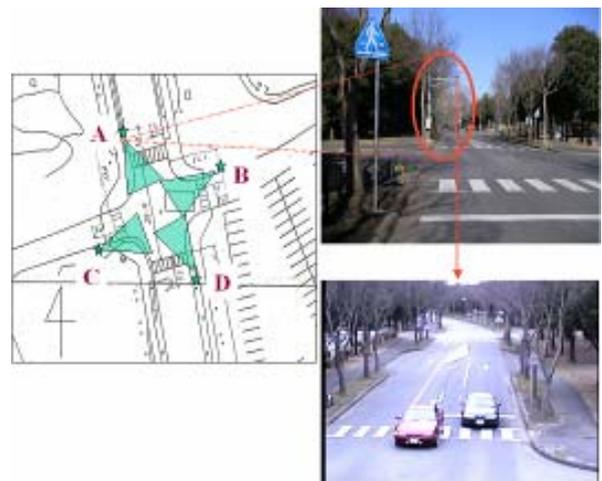


図9：実験環境

4.2 短縮空俯瞰映像の生成

撮影した道路監視映像に対して、提案手法を適用した結果を図11に示す。近くから遠くまでを一望で

きるという透視投影の特長と、世界を単一カメラ座標系で観察することができる地図表現方式の特長を併せ持つ映像が生成されていることが確認できる。

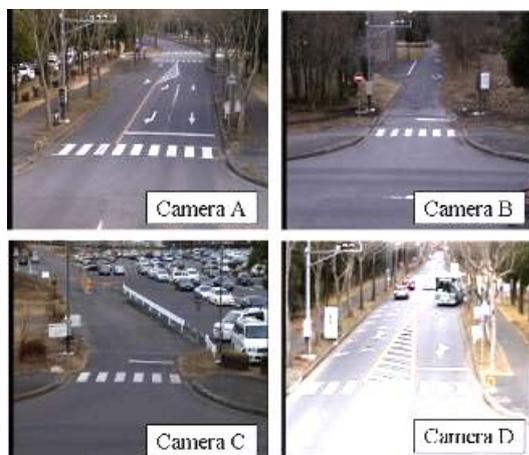


図 10：交差点多視点監視カメラ映像

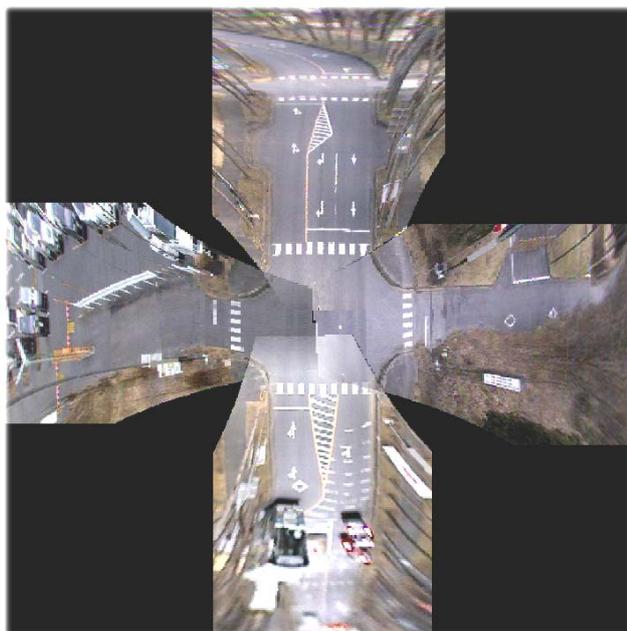


図 11：交差点における短縮空瞰映像

6. まとめ

交通管理者の視覚支援を目的として、交差点近辺の交通状況を一覧しやすい、短縮空瞰映像の生成手法を提案した。複数の道路監視カメラで撮影した映像から短縮空瞰映像を生成する手法について述べた。近くから遠くまでを一望できるという透視投影の特長と、世界を単一カメラ座標系で観察することがで

きる地図表現方式の特長を併せ持つ映像が生成することにより、交差点の危険予測、流量計測など、様々な応用が考えられる。短縮空瞰映像全体や歩道の見えやすさ、交差点中心部の見え方の改善、よりよい提示方法を見出すための評価実験などが、今度の課題である。

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。

参考文献

- [1] 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.
- [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—交差点における視覚削減—”, Proc. ITSシンポジウム2002, Vol.1, pp.65-70, 2002.
- [3] 小島和浩, 亀田能成, 大田友一, “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～提示タイミングと位置による運転者への効果～”, The 3rd ITS Symposium, (ISBN 4-9901438-2-5), O1-2, pp.9-14, 2005.
- [4] 田谷文宏, 北原格, 亀田能成, 大田友一, NaviView: “動的環境センシングによる運転者への視覚支援の取り組み” Proceedings of Systems and Information of SICE (SSI2005), 28B3-6, pp.168-173, 2005.
- [5] Fumihiro TAYA, Kazuhiro KOJIMA, Akihiko SATO, Yoshinari KAMEDA, Yuichi OHTA "NaviView: Virtual Mirrors for Visual Assistance at Blind Intersection" International Journal of ITS Research, Vol.3, No.1, pp.29-38, November, 2005.
- [6] N.T. Siebel, S.J. Maybank “Real-Time Tracking of Pedestrians and Vehicles” In 2nd IEEE Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance (PETS'2001), Hawaii, December 2001. CD-ROM proceedings, 8 pages (pages unnumbered).
- [7] Toru MIYAMOTO, Itaru KITAHARA, Yoshinari KAMEDA, Yuichi OHTA “Floating Virtual Mirrors: Visualization of the Scene behind a Vehicle”, 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2006), LNCS4282, pp.302-313, 2006. 2006/11/29 -12/01, Hangzhou, P. R.China.