

複数台車載カメラの統合による交差点の視覚的な復元

太田 大介^{*1} 小野 晋太郎^{*1} 池内 克史^{*1}
東京大学^{*1}

交通の安全支援のため、複数の車載カメラ画像を統合し仮想鳥瞰図を作成することを提案する。交差点での死角は事故や渋滞の原因となる。交差点に多方向からカメラ積載車両が進入するとき、そこには潜在的に多視点画像が存在する。これらを統合することで死角のないシーンを生成する。各画像は地平面へ投影したうえで一つに統合し、仮想鳥瞰図を生成する。ここで、カメラ内部パラメータ、車体に対するカメラ姿勢は既知とし、統合の際には交差点の幾何情報を利用する。車両の向きは画像内の消失点から、画像中の前景物体は視体積交差法によりその3次元位置を推定する。これらの情報から交差点の視覚的な復元を行い、シミュレーションによる実験を行った。

Visual Reconstruction of an Intersection by Integrating Cameras on Multiple Vehicles

Daisuke Ota^{*1} Shintaro Ono^{*1} Katsuhi Ikeuchi^{*1}
The University of Tokyo^{*1}

We present to generate a bird's-eye view of road traffic scene by integrating multiple images from in-vehicle cameras for supporting traffic safety. There are many blind spots at an intersection. Such blind spots will cause accidents and traffic jams. If it is possible to obtain views from multiple vehicles coming into one intersection from different directions, we can generate a bird's-eye view by integrating the images seen from each vehicle. We integrate these images projected to ground plane and reproduce the intersection virtually. Here we assume that geometry of the scene, camera intrinsic parameters and camera extrinsic parameters relative to car body are known. We estimate the orientation of each vehicle with vanishing points in the image, and the 3D position of the foreground in the image with view volume intersection. We reproduce the intersection with such information.

Keyword: *image mosaicing, graph cuts, view volume intersection, virtual reconstruction of intersection*

1 はじめに

安全性の向上は ITS における最重要テーマの一つにである。特に視覚情報を用いてドライバーの安全運転を支援する手法は様々に提案されている。カメ

ラを車両後方に向けて設置することでバック運転時の死角を除去したり、縦列駐車時の支援は既に実用化されている。また、インフラカメラからの映像を利用することで本来運転席からでは死角にある危険

対象をドライバーに認知させる研究が盛んに行われている[1][2][6].

ドライバーは外界の状況を認知し、適切に判断した後、それに合わせた操作をすることで安全に車の運転をすることができる。交通事故のほとんどはドライバーの認知が間に合わなかった、あるいは足りなかったことに起因する。人間の外界の認知は視覚による情報が大部分であり、カメラ映像による認知の強化は安全運転において非常に大きな意味を持つ。しかしながら、一台のカメラを車の前方を向くように取り付けだけでは根本的にドライバーの視野範囲の強化には繋がらない。[1][2], [6]においては、インフラカメラと車載カメラ画像とで情報を統合し死角となる位置からの車両を擬似的に認知できるような手法が提案されている。

我々はインフラカメラを用いることなくドライバーの死角を除去する手法を提案する。近年車載カメラを搭載する車両が増加しているが、これは交差点のような場所では潜在的に多視点画像が存在することを示す。それら複数の車両に積載されるカメラを統合することで死角のない画像を作成し、ドライバーに提供する。具体的には、各車両カメラからの画像を収集、統合し仮想的鳥瞰図を作成する。他の車両や歩行者などの動物体を視体積交差法の概念を用いて3次元位置を推定し鳥瞰図上に配置する。本稿ではこのようなシステムを想定し提案する。

インフラカメラを利用したシステムを実現するためには、非常に多くのインフラ整備が必要となり、どこでもすぐに行うということは困難である。しかし我々の提案するシステムでは、各ユーザの整備によりその利用範囲を拡大することができ、場所の拘束なくシステムの実現が可能である。さらに、本システムでは都市情報をボトムアップ的に収集できる点にも意義がある。インターネットが普及した現代においては、トップダウン型に作られた情報よりもボトムアップ型の情報の有効性が高まっている。近年の消費者の動向は、出版されているガイドブックに頼るよりも、web 評価サイト (Yahoo! グルメ, 等) をより活用する傾向にある。また、ボトムアップ型の防災力向上は期待されている。地図作成においても、その作業効率化のためにユーザ参加型地図更新は大きな意味を持つ。本システムはその面においても有意義な役割を果たすことができるだろう。

本稿は、6章からなる。2章では我々の想定する

システムの概要について触れる。3章では仮想的鳥瞰図の作成について、4章では前景物体の3次元位置推定について述べる。5章ではこれまでに説明した手法をCGで作成したシミュレーション画像に対して適応した実験を行い、その結果を示す。最後に6章でまとめとする。

2 提案システムの概要

我々の想定するシステムは図1のような流れをとる。複数対の車両が様々な方向から交差点に進入するとき、各車両に搭載されるカメラからの画像を車間で伝達し合い、それらを統合することで仮想的に鳥瞰図を作成する。その統合結果を再度、各車両に配信し、交差点交通状況を死角なく把握することができるようにする。本稿ではこのシステムにおいて中心となる画像処理の部分について扱う。

本システムにおいて、車両の大まかな位置、すなわち車両がどの交差点に対してどの方角から進入しようとしているかは外部装置を用いて取得できることとする。車載カメラの内部パラメータは予め測定済みとし、車両に対する外部パラメータはカメラ設置時に計測しておくこととする。また、交差点の幾何情報は地図をもとに既知であることとする。まず各車両からの画像から消失点を検出し、その消失点から車両の向きを推定する。次に各車両からの画像を地平平面へ投影し、交差点の地図情報との間でマッチングをとる。このようにして、それぞれの画像の統合を行い、それとともにカメラ搭載車両の位置推定を行う。各画像中に映りこむ他車両などの物体は抽出し、視体積交差法の手法を用いてその3次元位置を推定する。こうして得られた情報をもとに、仮想的鳥瞰図を作成する。

3 仮想鳥瞰図の作成

本章では仮想的鳥瞰図の作成法について説明する。本稿で提案する想定システムでは全体を通して以下のものは既知とする。

- 車両の大まかな位置 (どの交差点にどの方角から進入しているか)
- 車載カメラの内部パラメータ
- 車載カメラの車両に対する外部パラメータ
- 交差点の地図情報

これらの仮定のもとで複数台車両からの画像を地平平面上で統合する。

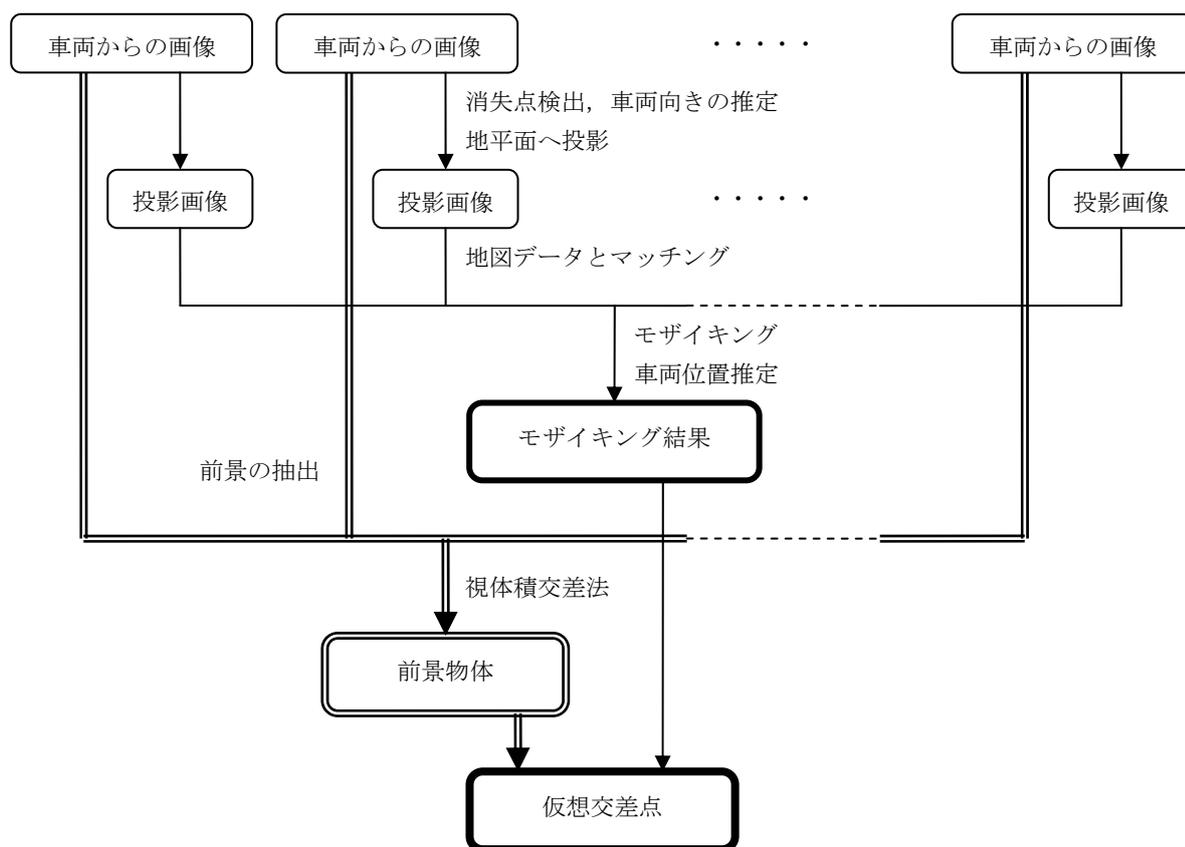


図 1 提案システム概要

3-1 消失点による車両向き推定

基本的に交差点に進入しようとする車両は道路の上を走行しているはずなので、画像中の消失点から道路に対する車両の向きを推定することができる。画像中のエッジ点を検出し、ハフ変換により直線を検出する。その直線の交点が消失点となる。ここで、道路の進行方向と画像内の消失点の向きのずれにより車両の向き推定をするので、水平方向に近い傾きを持つ直線は除去する。また、道路の右端と左端に当たる直線を検出したいのでその条件に適さない消失点も除去する。具体的には、

1. 消失点が、画像の水平方向で中心付近、垂直方向で画像上方に存在する
2. 消失点を作る直線が、画像の左半分と右半分に属するエッジをほぼ同等に持つ

を条件とする。結果として、道路の端に相当する直線とそれら交点となる消失点を検出することができる。地平面に投影したとき、視線方向と道路の進行方向のずれを計算できる。

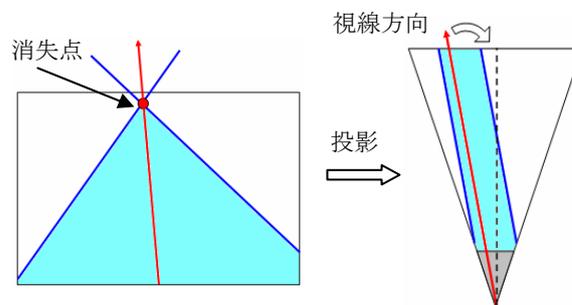


図 2 画像中消失点から車体向き推定 右：原画像内消失点，左：投影画像での視線方向

3-2 投影画像生成

各方向からの画像は地平面に投影した上で統合を行う。2次元画像を3次元空間に投影するには射影カメラを考えた場合、3次元中の点 \mathbf{X} は2次元上の点 m に式(1)によって投影される。

$$\tilde{m} \cong P\tilde{X} = A[R \quad t]\tilde{X} \quad (1)$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha_u & -\alpha_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & \alpha_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[\mathbf{R} \quad \mathbf{t}] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix}$$

ここで、座標ベクトル $\mathbf{x} = (x, y, \dots)^T$ に対して、

要素 1 を加えたもの $(x, y, \dots, 1)^T$ を \mathbf{x} の同次座標といい、 $\tilde{\mathbf{x}}$ で表す。また、 \mathbf{P} は射影行列、 \mathbf{A} は内部パラメータ、 \mathbf{R} はカメラの姿勢、 \mathbf{t} はカメラの平行移動をそれぞれ表す。

カメラの内部パラメータは計測済みなので行列 \mathbf{A} は既知である。また、車体に対するカメラの姿勢は既知であり、消失点より車両の向きも与えられるため、行列 \mathbf{R} も既知といえる。したがって、射影行列 \mathbf{P} を用いてカメラ画像を地平面に投影した画像を得ることができる。

3-3 道路構造と投影画像とのマッチング

交差点における地図情報は既知であるので、この地図情報とそれぞれの投影画像とでマッチングをとる。このマッチングの処理により車両位置（カメラ位置）を推定する。地図データは、図 3 に示すように道路部分、建物部分が判別できる 2 次元の情報とする。地平面投影画像内でのエッジを検出し地図データ上の道路部分との一致度が最も高くなるような重なり方を探索する。マッチング結果は図 4 に示す通りである。この際、地図データ上の建物部分から投影画像の建物部分を決定する。全ての視点について同様にマッチングによるカメラ位置の推定を行うことで複数視点の地平面投影画像をモザイクすることができる（図 5）。

4 仮想鳥瞰図の作成

前章で述べたように、投影画像と地図データとのマッチングにより、重なりを持つ投影画像同士でモザイクを行うことができる。しかし、実際の画像内には他車両や歩行者など地図データとは一致しない物体も移りこむ。また、安全性の向上のために

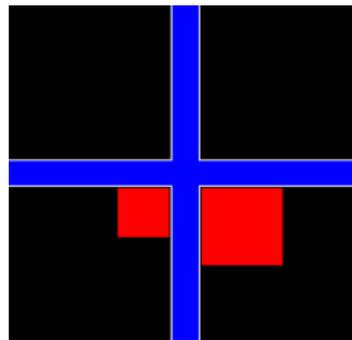


図 3 地図データ（白：道路の縁、青：道路内部、赤：建物等）

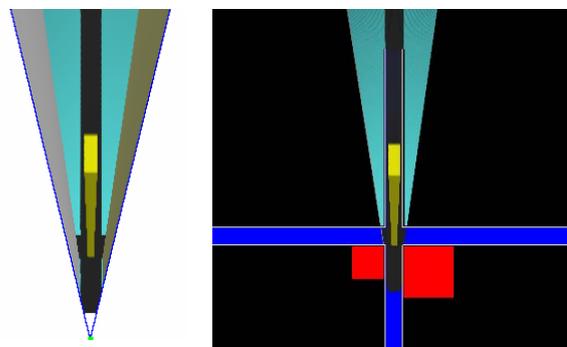


図 4 左：地平面投影画像，右：マッチング結果（地図データをもとに建物部分は除去）

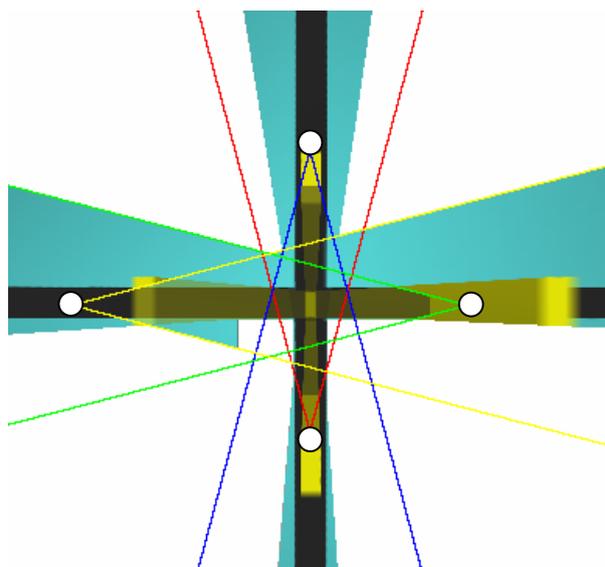


図 5 モザイク結果（白色円：カメラ推定位置、各色の垂体内に原画像が投影）

はこれらの物体の位置を求めることも必要である。本章では、地図データと一致しない前景物体の抽出とその3次元位置推定について説明する。

4-1 前景抽出

- エッジ位置による車両抽出

前章のとおり、マッチングは地図データの道路部分と投影画像のエッジ部分とで重なり方が最適となるようにすることで実現する。これは画像内に背景しか含まれていないときには問題ないが、画像内に車両などの物体が含まれたとき本来エッジとなる部分が前景によって隠されてしまう。

このように、地図データと投影画像とでマッチングをとったとき本来エッジがあるべき箇所にエッジが無い部分には前景物体があると考えられる(図6)。前景物体は、その候補となる箇所に関してグラフカットの手法[3][4]を利用することで抽出できる。

- 他画像との差分による車両抽出

投影画像において前景物体が道路部分に被らない場合、エッジによる抽出を行うことができない。ある視点からの画像の前景物体が投影される箇所は、他視点からの画像の背景部分が投影されるはずである。このことから、他の投影画像との差分により前景物体の候補となる箇所を推定することができ、同様に抽出が可能となる(図7)。

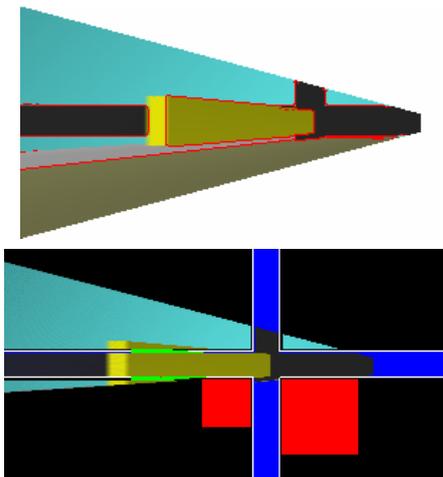


図 6 上：地平面投影画像中のエッジ，下：地図データ道路部分とエッジの合わない箇所を緑色で表示

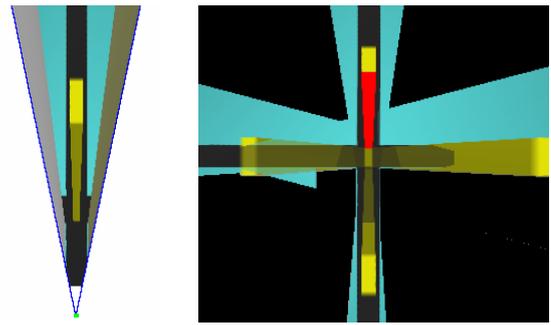


図 7 左：前景が道路部分と被らないケース，右：他視点画像のモザイク結果との差分で検出される箇所

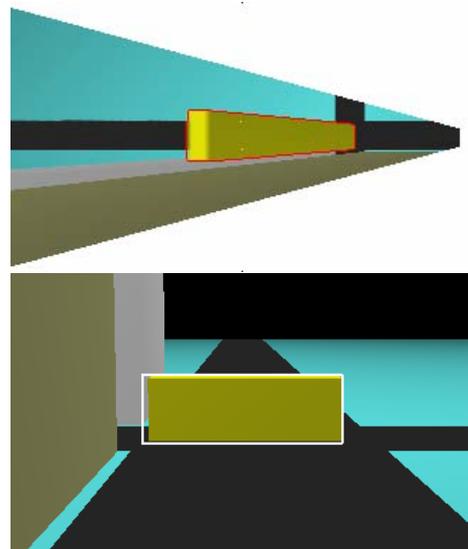


図 8 前景物体の領域（上：投影画像中から，下：原画像から）

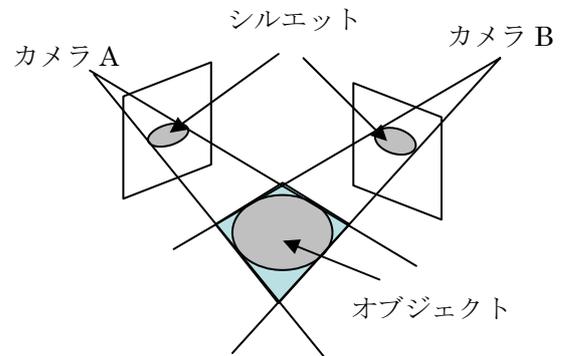


図 9. 視体積交差法の概念

4-2 視体積交差法による3次元位置推定

本研究では、前景物体の3次元位置を視体積交差法[5]の理論に基づいて推定する。視体積とは、視点を頂点とし、2次元シルエットを断面とする錐体のことである。視体積交差法の基本概念は、複数視点に対応する視体積の共通部分に対象物体が存在する、ということである(図9)。具体的なアルゴリズムは以下の通りである。

- 3次元空間中の点を各2次元画像平面へ投影したとき、全ての画像においてシルエット内に投影される点は対象物体の内部の点である。
- それ以外は対象物体の外部の点である。

5 実験

提案手法の実現性を試すため、CGにより作成したシミュレーション環境において実験を行った。

5-1 実験環境

CGにより仮想的に交差点を再現しシミュレーションによる実験を行う。CG交差点には、図10のように道路と2つの建物を配置する。複数台の車両が交差点に進入し、それぞれの車体はお互いのカメラで捕捉しない。交差点内に車両(黄色直方体)を配置し、それは各車両から捉えることができる。

ラで捕捉しない。交差点内に車両(黄色直方体)を配置し、それは各車両から捉えることができる。

5-2 実験結果

本実験ではCGで作成した仮想環境での実験なのでカメラの位置や姿勢、前景物体の位置に関して真値が用意されている。今回の実験では視覚的に結果を評価した。

- 画像中消失点による車両の向き推定

提案手法により、車載カメラから得られた画像中の消失点を求め車両の向き(ヨー角)を推定した。画像中のエッジを検出し、ハフ変換により道路の端に当たる直線を検出する(図11)。実験に用いた4つの視点からの画像における結果は表1に示す。各視点において推定結果と真値との誤差は極めて少なく、道路上の車両の向きを正確に推定できる。

- モザイクキングによるカメラの位置推定

各視点の画像を地平面に投影し、地図データとのマッチングによりカメラ位置を推定した。図12に示すとおり、推定されたカメラ位置は真値とほぼ等しく、また推定誤差は5ピクセル程度に収まっている。

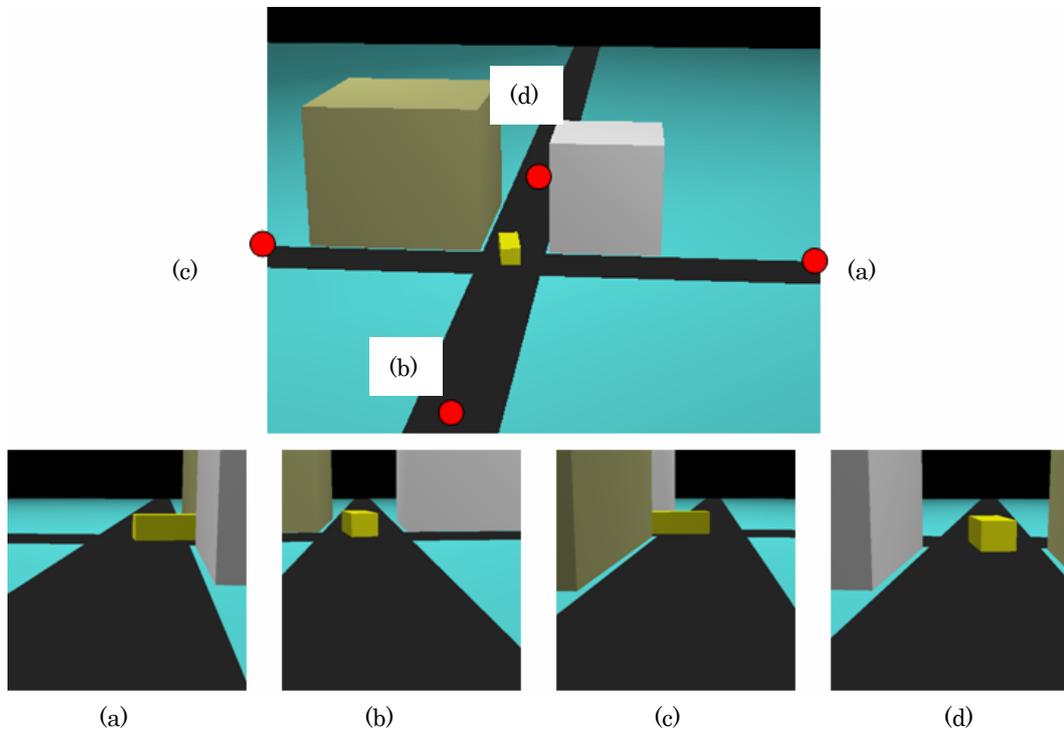


図 10. 実験環境 (赤丸: カメラ位置)

● 前景抽出

前景物体の抽出は、前述の通りエッジの不对応部分、他画像間の差分の大きい部分について候補を選定し、グラフカットの手法により行う。まず地平面への投影画像について前景領域を抽出し、次に原画像についてもそれに対応する領域を前景領域としてみなす。

● 視体積交差法による前景物体の3次元位置推定

提案手法により各画像における物体のシルエットを求めることができた。視体積交差法により対象物体の3次元空間中の位置を推定できる。

以上の通りに行うことで、図14のような仮想鳥瞰図を作成することができた。

5-3 考察

以上の通り、CGによるシミュレーション環境において本システムの有効性を示すことが出来た。しかし、今回のシミュレーション実験は非常に固定された条件下での実験であり、より複雑な状況下への対応を考慮する必要がある。具体的には、

- ・ 交差点内の車両数が著しく多い、あるいは少ない
- ・ 建物や標識、街路樹の存在とそれによる遮蔽
- ・ 様々な体系の交差点が存在する

などが考えられる。

表 1. 車体の向き の真値, 推定値, 誤差

| | 真値(°) | 推定値(°) | 誤差(°) |
|------|--------|--------|-------|
| カメラ1 | 5.00 | 4.80 | 0.02 |
| カメラ2 | 175.00 | 175.00 | 0.00 |
| カメラ3 | 95.00 | 94.98 | 0.02 |
| カメラ4 | 275.00 | 274.85 | 0.15 |

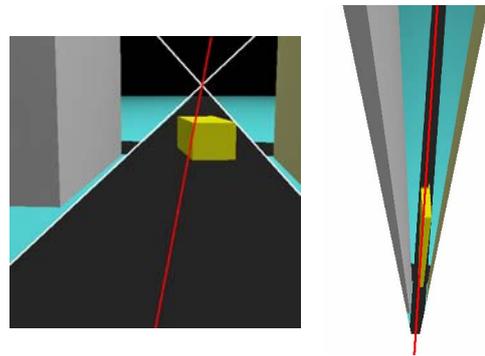


図 11. 道路方向と視線方向のずれ

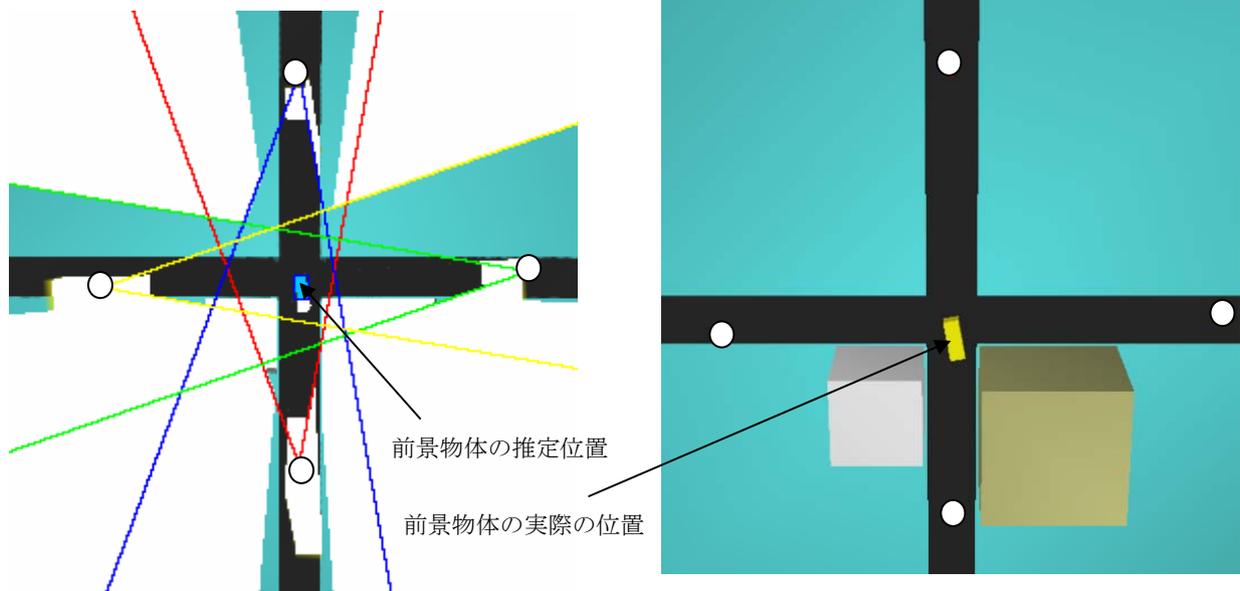


図 12. 左: モザイク結果 (白円はカメラ位置, 各色の錐体は各カメラの画角, 白色領域はカメラがとらえていない領域), 右: CG シミュレーションでの実際のカメラ配置

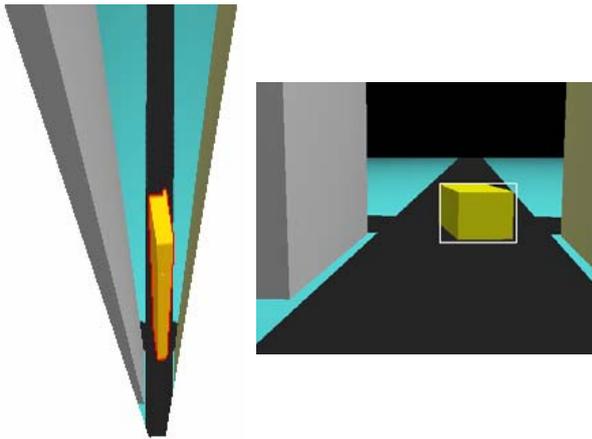


図 13. 前景抽出結果（左：投影画像，右：原画像）

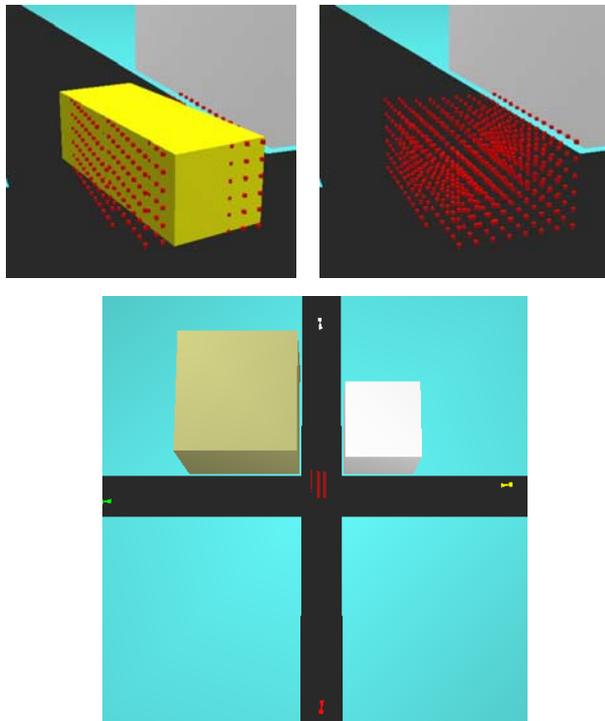


図 14. 前景の3次元位置推定結果

6 まとめ

本論分では、交差点に進入するカメラ搭載車両の画像を統合することにより死角のない鳥瞰図を作成するシステムを提案した。

画像中から道路の進行方向を消失点として検出し、車両の向きを計算した。また、画像を地平面へ投影し、その投影画像と既知の地図データとの間でマッチングを取りカメラ位置を推定した。各画像中の前

景物体は地図データとの不適合部分として、ある視点で検出できる前景物体は視体積交差法によりその3次元位置を推定できた。このようにして得られた情報をまとめることで仮想的な鳥瞰図を得ることに成功した。また、CGで作成した仮想的な環境で実験を行い、その実現性を確かめた。

今後は、実環境下での実験を行いCGのシミュレーション環境との違いを克服する。さらに、本システムの定量的な評価を行う。また、本システムで求められる通信システムについて吟味する必要がある。

謝辞

本研究の一部は国土交通省国土技術政策総合研究所の支援により行われた。

参考文献

- [1] 田谷文宏, 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”, ITSシンポジウム 2004
- [2] 田谷文宏, 北原格, 亀田能成, 大田友一: “NaviView:動体環境センシングによる運転者への視覚支援の取り組み”, 計測自動制御学会, 2005
- [3] Yin Li, Jian Sun, Chi-Keung Tang, Heung-Yeung Shum: “Lazy Snapping”, SIGGRAPH. 2004
- [4] C. Rother, V. Kolmogorov, A. Blake: “Interactive Foreground Extraction using Iterated Graph Cuts”, SIGGRAPH’ 04, 2004.
- [5] ウ小軍, 和田俊和, 東海彰吾, 松山隆司: “平面間透視投影を用いた並列視体積交差法”, 情報処理学会 CVIM 研究会論文誌, Vol. 42, No. SIG 6 (CVIM 2), pp. 33-43, 2001
- [6] Takeshi Nakanishi, Tomohiro Yendo, Tohiaki Fujii, Masayuki Tanimoto: “Right Turn Assistance System at Intersections by Vehicle-Infrastructure Cooperation”, IV 2006
- [7] Michihiro Murao, Yasuyuki Matsushita, Katsushi Ikeuchi, Masao Sakauchi: “Visualization of Traffic Conditions for Drivers”, UM3’ 2000