

## 平面投影ステレオ法を用いた道路領域抽出

小野口一則 武田信之 渡辺睦

株式会社 東芝 関西研究所

対象物の高さの情報を用いて道路領域を獲得する「平面投影ステレオ法」を提案する。道路領域は移動車前方に広がる平面の連なりに近似できる。このため、本手法は移動車に搭載されたステレオカメラの位置姿勢から、ステレオカメラの座標系における道路領域の平面式を算出する。次いで、ステレオ画像中の各点をその平面上に投影し、左画像から作成した投影画像と右画像から作成した投影画像との差分画像を求める。投影した点が、道路領域を示す平面上に真に存在する場合には、対応している左右画像の点は平面上の同一点へ投影される。これに対し、道路平面上に存在しない点は、左右画像間の対応点がそれぞれ平面上の異なる点に投影される。このため、投影画像間の差分画像において、輝度値の低い部分が道路と同一な平面上に存在する領域となる。よって、差分画像を予め設定しておいた閾値で2値化した「平面投影記述」を作成し、この記述を移動車の位置から放射状に走査することにより道路領域を抽出する。最後に、実際の道路画像を用いた実験により、本手法の有効性を示す。

## Planar Projection Stereopsis Method for Road Extraction

Kazunori Onoguchi Nobuyuki Takeda Mutsumi Watanabe

Toshiba Kansai Research Laboratory

6-26, Motoyama-Minami-cho, 8-chome, Higashinada-ku, Kobe 658

This paper presents a new road extraction method for an autonomous vehicle which can acquire a road area by using height information of objects. Since a road area can be assumed to be a sequence of a flat plane in front of a vehicle, the road's height information is very effective for extracting a road area. For the purpose, we propose a new approach named the Planar Projection Stereopsis (PPS) method which can easily decide whether each point in stereo images exists on the road plane or not. At first, PPS calculates a planar equation representing a road area by using height and pose of a camera in the vehicle. Next, stereo images are projected to the plane, where corresponding points are projected to the same positions on a certain road area if they really exist on a road plane, while corresponding points with different heights from the road plane are projected to different positions in each stereo image. Planar Projection Description is obtained by a subtraction between projected images from a set of stereo images and a road area can be represented by a set of points with small values. Experimental results for real road scenes have shown the effectiveness of the proposed method.

## 1 はじめに

自律移動車を画像認識により制御する移動視覚技術の研究は、1970年頃から人工知能研究の一環として行われてきたが、近年、TVカメラが小型かつ安価になり、また、計算機パワーが増大し画像処理が高速化するに伴い、より盛んになってきている。移動車を自律走行させるためには、前方の道路等の走行路を認識し、それに沿って誘導する走行路誘導技術が不可欠である。この走行路誘導技術としては、道路端の白線を画像中で抽出・追跡する手法が一般的である。移動車 VaMoRs[1] は、マルチプロセッサ型の画像処理ハードウェアを用いて高速に白線を追跡し、建設途中の高速道路において時速100kmの走行を実現している。また、移動車 PVS[2] も、高速画像処理ハードウェアを搭載し、テストコースにおいて時速60kmの走行に成功している。

しかし、走行路の認識に道路端の白線を用いるこれらの手法は、白線が存在しない道路や、駐車車両等によって白線が隠されている場合には適用できない。白線が存在しない道路を走行するには道路端を抽出する別の手法が必要となる。エッジの方向のヒストグラムを用いて、道路端をエッジ画像から求める手法[4]や、色情報を用いて道路領域を画像中から抽出し、道路端を求める手法[3]があるが、道路脇に道路端と類似なエッジが存在する場合や、道路と似た色を持つ壁や建物が道路脇に存在する場合、道路領域を正確に見つけ出すことは容易ではない。この困難な問題は2次元の画像処理のみで道路を抽出しようとするため生じると考えられる。道路は複数の平面の連なりに近似できるため、高さの情報を用いて移動車前方の平面領域を見つけ、道路領域を抽出する手法が効果的である。シーンに存在する対象物の高さ情報から直接道路領域を抽出すれば、類似色に伴う誤抽出等が回避でき、駐車車両等の障害物により道路脇が見えない場合でも道路上の移動可能な空間を直接得ることができる。

TVカメラで3次元の高さ情報を求める手法として、ステレオ視が良く用いられる。これは、通常の照明下で比較的広範囲な距離情報が得られるためであるが、2枚の画像間の対応付けという困難な問題が存在する。屋外には樹木等複雑な形状の対象物が多数存在するため、対応付けはとりわけ難しく、シーン全体の3次元形状を復元することにより道路面を抽出することは困難である。しかし、道路領域を検出することが目的であるので、シーン全体の3次元形状を獲得する必要はなく、移動車の前方に広がる空間を道路領域と非道路領域に分離することができれば良い。このため、本論文では、ステレオ画像を予想される道路平面上に投影することにより、左右画像の対応付けを行なうことなく移動車前方の空間を道路領域と非道路領域に分ける「平面投影ステレオ法」を提案する。

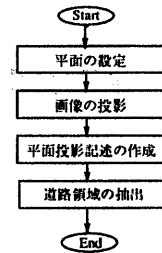


図1: 処理の流れ

## 2 平面投影ステレオ法

図1に、平面投影ステレオ法を用いた道路抽出手順を示す。まず、移動車に搭載されたステレオカメラの位置姿勢から、ステレオカメラの座標系における道路領域の平面式を算出する。次いで、ステレオ画像中の各点をその平面上に投影し、左画像から作成した投影画像と右画像から作成した投影画像との間の差分画像を求める。投影した点が、道路領域を示す平面上に真に存在する場合には、対応している左右画像の点が平面上の同一点へ投影される。これに対し、道路平面上に存在しない点は、左右画像間の対応点がそれぞれ平面上の異なる点に投影される。このため、投影画像間の差分画像において、輝度値の低い部分が道路と同一な平面上に存在する領域となる。よって、差分画像を予め設定しておいた閾値で2値化した「平面投影記述」を作成し、この記述を移動車の位置から放射状に走査することにより道路領域を抽出する。本手法には次のような特徴がある。

- (1) 移動車前方の道路領域と障害物領域（道路面上に存在しない領域）の位置が同時に直接求まる。また、駐車車両等により道路端が隠蔽されていても、移動車に対する道路領域の位置が算出できる。
- (2) 左右画像の画像情報の差を用いて道路領域を検出しており、道路色等の絶対値情報は用いていない。輝度が同一となるよう左右カメラを設定しておけば、天候の変化等により道路の輝度が変化しても、左右画像間における道路の輝度の差は変化しない。このため、天候の変化等による画像情報の変化に対してロバストである。
- (3) 道路面と異なる高さを持つ領域のみを非道路領域として検出する。このため、道路面上にさしている影や、道路面の汚れ、標識等のペイントが存在しても道路領域が検出できる。また、道路脇にある同色の塀や建物を誤抽出することがない。

以下で、平面投影ステレオ法の詳細を述べる。

## 2.1 平面の設定

道路は平面の連なりに近似できるため、カメラの傾き及び高さからステレオカメラの座標系における道路領域の平面式を算出する。現在、カメラの傾きは固定値を用いているが、移動に伴う振動が大きい場合には、傾斜計、またはジャイロ等によりカメラの傾きを常に計測し、道路平面式を更新する。

## 2.2 画像の投影

設定された平面の方程式を  $P: ax + by + cz + d = 0$  とする。ステレオの左右画像を平面  $P$  上に投影する手法を図2を用いて説明する。ステレオカメラの座標系を  $O-XYZ$ 、左右画像中心を  $O_l, O_r$ 、左右カメラの焦点位置を  $C_l, C_r$ 、左右画像面上の点  $q_l, q_r$  を平面  $P$  上へ投影した点を  $Q_l, Q_r$ 、左右画像上の画像中心を原点とする座標系をそれぞれ、 $x_l - y_l, x_r - y_r$ 、 $O_l, O_r$  をそれぞれ起点として  $x_l, x_r$  軸上で長さが画像面の  $x$  軸方向の画素サイズに相当するベクトルをそれぞれ  $n_{lx}, n_{rx}$ 、 $O_l, O_r$  をそれぞれ起点として  $y_l, y_r$  軸上で長さが画像面の  $y$  軸方向の画素サイズに相当するベクトルを  $n_{ly}, n_{ry}$  とする。また、 $q_l, q_r$  の画像面上の位置をそれぞれ  $(k_{lx}, k_{ly}), (k_{rx}, k_{ry})$  とする。点  $q_l, q_r$  を平面  $P$  上へ投影した点  $Q_l, Q_r$  のステレオカメラ座標系での位置を以下の式より求める。まず、 $q_l$  に対しては次の関係が成り立つ。

$$O\vec{Q}_l = O\vec{q}_l + t(O\vec{C}_l - O\vec{q}_l)$$

$$O\vec{q}_l = O\vec{O}_l + k_{lx}n_{lx} + k_{ly}n_{ly}$$

ステレオカメラのキャリブレーション [5] により

$$O\vec{O}_l = (x_{ol}, y_{ol}, z_{ol})$$

$$O\vec{C}_l = (x_{cl}, y_{cl}, z_{cl})$$

$$n_{lx} = (x_{nlx}, y_{nlx}, z_{nlx})$$

$$n_{ly} = (x_{nly}, y_{nly}, z_{nly})$$

は既知であるとする、 $Q_l$  と  $q_l$  を結ぶ直線の方程式は

$$x = x_{ol} + k_{lx}x_{nlx} + k_{ly}x_{nly} + t(x_{cl} - x_{ol} - k_{lx}x_{nlx} - k_{ly}x_{nly})$$

$$y = y_{ol} + k_{lx}y_{nlx} + k_{ly}y_{nly} + t(y_{cl} - y_{ol} - k_{lx}y_{nlx} - k_{ly}y_{nly})$$

$$z = z_{ol} + k_{lx}z_{nlx} + k_{ly}z_{nly} + t(z_{cl} - z_{ol} - k_{lx}z_{nlx} - k_{ly}z_{nly})$$

として表される。この  $x, y, z$  を平面式  $P: ax + by + cz + d = 0$  に代入し、 $t$  を求めることにより、 $q_l$  の  $P$  上の投影点  $Q_l$  の位置  $(Q_{lx}, Q_{ly}, Q_{lz})$  を算出する。

$q_r$  に対しても同様に次の関係が成り立つ。

$$O\vec{Q}_r = O\vec{q}_r + t(O\vec{C}_r - O\vec{q}_r)$$

$$O\vec{q}_r = O\vec{O}_r + k_{rx}n_{rx} + k_{ry}n_{ry}$$

ステレオカメラのキャリブレーションにより

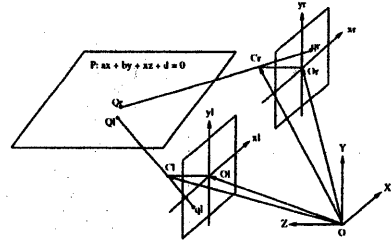


図2: 投影手法

$$O\vec{O}_r = (x_{or}, y_{or}, z_{or})$$

$$O\vec{C}_r = (x_{cr}, y_{cr}, z_{cr})$$

$$n_{rx} = (x_{nrx}, y_{nrx}, z_{nrx})$$

$$n_{ry} = (x_{nry}, y_{nry}, z_{nry})$$

は既知であるとする、 $Q_r$  と  $q_r$  を結ぶ直線の方程式は

$$x = x_{or} + k_{rx}x_{nrx} + k_{ry}x_{nry} + t(x_{cr} - x_{or} - k_{rx}x_{nrx} - k_{ry}x_{nry})$$

$$y = y_{or} + k_{rx}y_{nrx} + k_{ry}y_{nry} + t(y_{cr} - y_{or} - k_{rx}y_{nrx} - k_{ry}y_{nry})$$

$$z = z_{or} + k_{rx}z_{nrx} + k_{ry}z_{nry} + t(z_{cr} - z_{or} - k_{rx}z_{nrx} - k_{ry}z_{nry})$$

として表される。この  $x, y, z$  を平面式  $P: ax + by + cz + d = 0$  に代入し、 $t$  を求めることにより、 $q_r$  の  $P$  上の投影点  $Q_r$  の位置  $(Q_{rx}, Q_{ry}, Q_{rz})$  を算出する。

## 2.3 平面投影記述の作成

$Y$  座標値が画像中心位置よりも下に位置する左画像及び右画像中のすべての点  $q_l, q_r$  を平面  $P$  上の点  $Q_l, Q_r$  へ投影し、平面投影記述を作成する。左右画像の投影データは、 $m \times n$  の2次元配列  $A_l(i, j)$ 、及び  $A_r(i, j)$  に蓄積される。道路領域の探索範囲を  $X_{min} < X < X_{max}$ 、 $Y_{min} < Y < Y_{max}$  とすると、 $X_{min}$  から  $X_{max}$  までを  $m$  等分に、また  $Y_{min}$  から  $Y_{max}$  までを  $n$  等分にサンプリングする。つまり、投影点  $Q_l, Q_r$  の  $X$  座標値、 $Y$  座標値が

$$X_{min} + \frac{X_{max} - X_{min}}{m} \left(i - \frac{1}{2}\right) < X < X_{min} + \frac{X_{max} - X_{min}}{m} \left(i + \frac{1}{2}\right)$$

$$Y_{min} + \frac{Y_{max} - Y_{min}}{n} \left(j - \frac{1}{2}\right) < Y < Y_{min} + \frac{Y_{max} - Y_{min}}{n} \left(j + \frac{1}{2}\right)$$

の範囲内にある左右画像中の点  $q_l, q_r$  の輝度値  $I(q_l), I(q_r)$  を、 $A_l(i, j), A_r(i, j)$  にそれぞれ書き込み、次いで、2次元配列  $A_l, A_r$  をそれぞれ走査し、データが書き込まれていない要素を周囲の輝度値を用いて線形補間する。

道路平面上に存在する点の場合(図3)、 $A_l(i, j)$  と  $A_r(i, j)$  に蓄積される輝度値はそれぞれ類似の値を持つが、図4に示すように、道路平面上に存在しない点  $V$  の場合、 $V$  の撮像点  $q_l, q_r$  はそれぞれ道路平面上の異なる点  $Q_l, Q_r$  に投

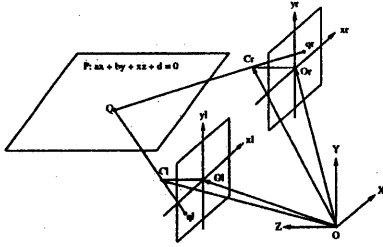


図 3: 道路平面上の点

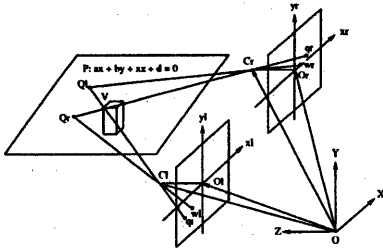


図 4: 道路平面上に存在しない点

影されてしまう。このため、 $Q_l$ には、右画像から $V$ とは異なる撮像点 $w_l$ が投影され、 $Q_r$ には、左画像から $V$ とは異なる撮像点 $w_r$ が投影されることになり、 $Q_l$ に対応する $A_l(i_r, j_l)$ ,  $A_r(i_l, j_l)$ 、及び $Q_r$ に対応する $A_l(i_r, j_r)$ ,  $A_r(i_r, j_r)$ にはそれぞれ異なる輝度値が格納される。よって、補間後の2次元配列 $A_l, A_r$ の各要素において、輝度値で正規化した差分 $SA(i, j)$ 、

$$SA(i, j) = \frac{|A_l(i, j) - A_r(i, j)|}{\frac{A_l(i, j) + A_r(i, j)}{2}}$$

を求め、予め設定しておいた固定閾値で2値化することにより、移動車前方の非道路領域を示す「平面投影記述」を作成する。

図9に示すステレオ画像を道路平面へ投影することにより作成した2次元配列 $A_l, A_r$ から、平面投影記述を作成した結果を図11に示す。図中の白色領域が非道路領域である。 $A_l, A_r$ をそれぞれ画像として表示した結果を図10に示す。ここで、図10、及び図11はステレオカメラ座標系の原点を中心として、左右方向に±8m、前方方向に50mの平面領域を500×500画素に正規化し表示している。真に道路領域に含まれる領域は、図10において、同位置に真上から見下ろす形状で投影されるが、塀や樹木等道路平面とは高さの異なる障害物は、図10の左右画像において投影位置が異なり、かつ障害物が道路面と接する位置から後方に放射状に倒れ込んだ形で投影される。このため、平面投影記述の非道路領域も、障害物が道路面と接する位置から後方に放射状に広がる形で求まる。

## 2.4 道路領域の抽出

平面投影記述から、移動車前方の道路領域を抽出する手法を述べる。平面投影記述上で障害物は、道路平面と接している位置から後方に放射状に伸びる形で記述される。このため、ステレオカメラの中心位置（左カメラの焦点位置と右カメラの焦点位置を結んだ線分の中点位置）から放射状に走査して、非道路領域が放射状に伸び始める位置を求める。キャリブレーションにより設定したステレオカメラの座標系におけるステレオカメラの中心位置を $(xc, yc, zc)$ とすると、平面投影記述上でのステレオカメラの中心位置 $(Vpx, Vpy)$ は

$$Vpx = \frac{xc * m}{X_{max} - X_{min}} + \frac{m}{2}$$

$$Vpy = n - \frac{yc * n}{Y_{max} - Y_{min}}$$

として求めることができる。図5に示すように、平面投影記述上をステレオカメラの中心位置 $(Vpx, Vpy)$ から時計回りに放射状に走査することにより、非道路領域（網状領域）が後方に伸び始める位置を求める。左右カメラの特性の違い、路面の微妙な凹凸、及び設定した平面やカメラパラメータの持つ誤差等により、平面投影記述上には障害物領域以外にも非道路領域が現れる。図13においては、汚れや再舗装等により色が変化している道路領域の輪郭部分が非道路領域となっている。しかし、道路面に対して高さを持つ真の障害物領域は、カメラの中心位置から放射状に走査した場合、道路面と接する部分から連続的に非道路領域が続くが、これら誤抽出された非道路領域は、図6の $E1, E2$ のように断片的であり、後方に非道路領域が連続して広がっていない。このため、以下の手法により誤抽出された非道路領域をスキップし、道路領域と非道路領域の間の正しい境界を求める（図7）。

- (1) A点から始めて、 $B \rightarrow C \rightarrow D$ の順に平面投影記述の外周を辿りながら、ステレオカメラの中心点 $V$ と外周上の各点 $K$ との間の直線 $L$ を求める。そして、各直線 $L$ に対して以下の(2)(3)の処理を行なう。
- (2) 直線 $L$ の長さを持つ1次元配列 $LINE[i]$ を用意し、各要素を0に初期化した後、 $V$ から $K$ に向かって $L$ 上を走査する。この時、 $V$ から $i$ 番目の点 $i$ が平面投影記述上で非道路領域ならば、 $LINE[i] = LINE[i - 1] + 1$ とする。
- (3)  $L$ 上を $K$ 点まで走査したならば、 $0 < i < |L|$ における $LINE[i]$ の分布を調べる。図8の $L$ の場合、 $LINE[i]$ は図8に示す分布を示す。後方に非道路領域が続く点の場合、図8の $H$ 点以降のように $LINE[i]$ は単調に増加する。誤抽出された領域の影響で、 $G$ 点の直後にも部分的に $LINE[i]$ が単調に増加する部分は現れるが、障害物とは異なるため、単調増加する部分は通常短い。このため、 $LINE[i]$ の分布を調べ、予め

設定した閾値以上に平坦部分が点*i*の直前に続き、かつ、単調増加する部分が*i*の直後に続く場合、点*i*を直線*L*上の道路領域と非道路領域の境界とする。図8の場合、*i*が点*H*の時に以上の条件を満たすため、点*H*が境界点として得られる。

上記手法により求めた境界点とステレオカメラの中心位置との間の領域を移動可能な道路領域とする。図12に図11の平面投影記述から道路領域を求めた例を示す。

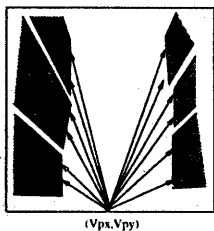


図5: 平面投影記述上の走査

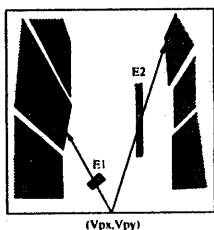


図6: ノイズ領域のスキップ

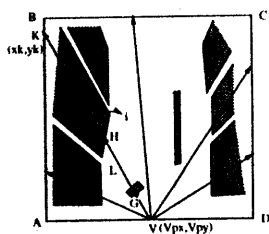


図7: 道路境界の検出

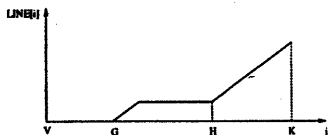


図8: 直線上の分布

### 3 実験結果

4つの道路シーンに対して本手法を適用し、道路領域を抽出した結果を示す。カメラレンズの焦点は12.5mmであり、カメラ間隔は200mmである。また、処理はエンジニアリングワークステーション(Sparc Station 20)上でソフトウェアにより行なった。

図9、15、21、27に道路シーン1、2、3、4のステレオ画像を示す。また、各道路シーンのステレオ画像を道路平面上に投影した結果を、図10、16、22、28に示す。ステレオカメラ座標系の原点を中心として、左右方向に±8m、前方方向に50mの平面領域を500×500に正規化し、画像として表示している。ステレオカメラ座標系の原点位置は画像下端の中央であり、画像の上に行くほど移動車から遠くなっている。道路領域部分は左右の投影画像において同じ位置に、真上から見下ろす形状で投影されているが、塀、木、電柱、段差、及び駐車車両等、道路平面と高さの違う障害物は、左右の投影画像において投影位置が異なり、かつ道路面と接する位置から後方に放射状に倒れ込んだ形状で投影されている。図11、17、23、29に道路シーン1~4の平面投影記述を示す。障害物が道路面と接する位置から後方に、放射状に広がる形で、非道路領域(白色領域)が得られている。平面投影記述(図11、17、23、29)を、ステレオカメラの中心位置を軸として放射状に走査し、道路領域を求めた結果を図12、18、24、30に示す。移動車に対する3次元空間中の道路領域の位置が求まっている。抽出された道路領域において、移動車の前方30mまでの領域(図12、18、24、30においては、縦方向が200画素より下の領域)を左画像中に逆投影した結果を図13、19、25、31に示す。白色領域が、道路と判定された領域である。図14、20、26、32に、左画像中の道路境界を対話的にトレースして求めた道路領域の真値を示す。共通視野から外れている左画像の左端部分は除外している。

道路シーン1、3は、電線等の影、再舗装部分、マンホール、及び標識等のペイントが道路面に存在するため、エッジ抽出により道路端を求めたり、色により道路領域を求める従来手法では道路領域を正しく抽出することが難しいが、高さの情報を用いる本手法では、図13、25に示すように真値に近い道路領域が抽出できている。道路シーン1、4は、道路色と類似な色の塀や舗道が道路脇に存在するため、色を用いる手法では道路領域だけを正しく抽出することは困難であるが、図13、31に示すように、本手法ではこれらの領域を誤抽出することがない。また、道路シーン3では、駐車車両が道路左端を隠しているが、図31に示すように駐車車両を除く道路領域が抽出できている。

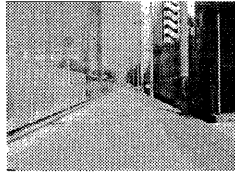
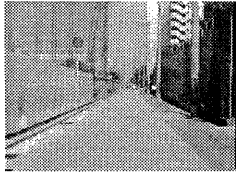


図 9: ステレオ画像 (シーン 1)

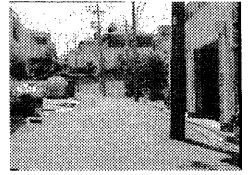


図 15: ステレオ画像 (シーン 2)

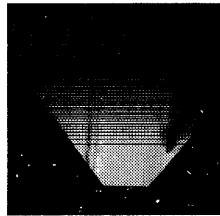
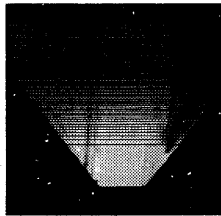


図 10: 投影画像 (シーン 1)

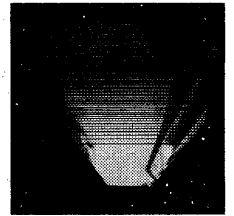
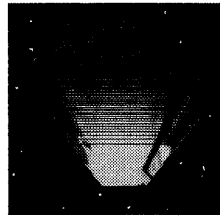


図 16: 投影画像 (シーン 2)

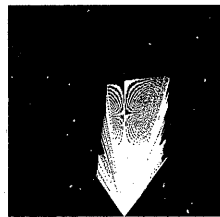
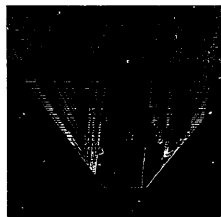


図 11: 平面投影記述 (シーン 1)

図 12: 道路抽出結果 (シーン 1)

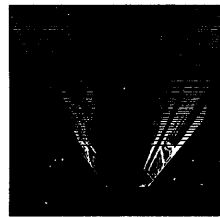


図 17: 平面投影記述 (シーン 2)

図 18: 道路抽出結果 (シーン 2)

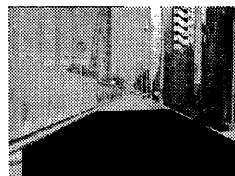
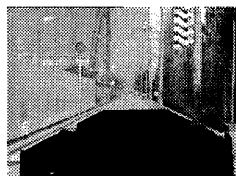


図 13: 左画像への逆投影画像 (シーン 1)

図 14: 道路領域 (シーン 1)



図 19: 左画像への逆投影画像 (シーン 2)

図 20: 道路領域 (シーン 2)

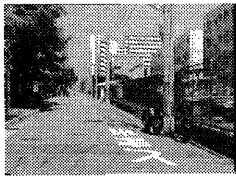


図 21: ステレオ画像 (シーン 3)

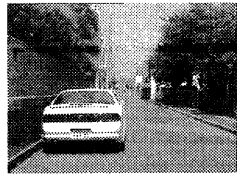
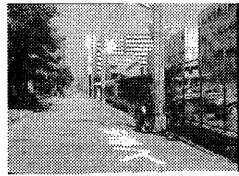


図 27: ステレオ画像 (シーン 4)

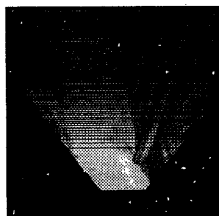
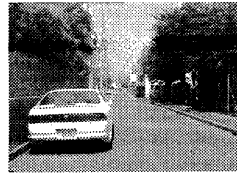


図 22: 投影画像 (シーン 3)

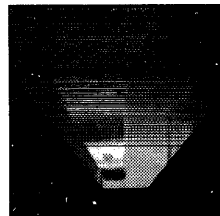
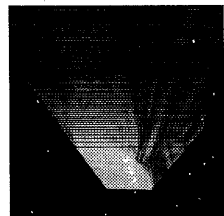


図 28: 投影画像 (シーン 4)

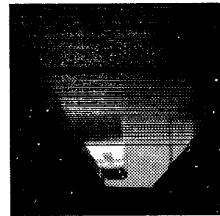


図 23: 平面投影記述 (シーン 3)

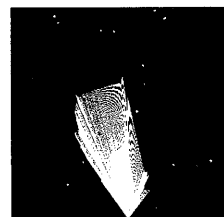


図 24: 道路抽出結果 (シーン 3)

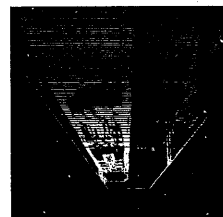


図 29: 平面投影記述 (シーン 4)



図 30: 道路抽出結果 (シーン 4)



図 25: 左画像への逆投影画像 (シーン 3)



図 26: 道路領域 (シーン 3)



図 31: 左画像への逆投影画像 (シーン 4)



図 32: 道路領域 (シーン 4)

表 1: 道路抽出結果の定量評価

道路シーン	1	2	3	4
道路領域の総画素数 A	90551	82720	80203	68049
抽出された道路領域の画素数 B	87815	76958	73659	63382
正しく抽出された道路領域の画素数 C	86939	73385	72753	60188
誤って抽出された道路領域の画素数 D	876	3573	906	3194
抽出率 $E = C/A * 100$ (%)	96.0	88.7	90.7	88.5
誤り率 $F = D/B * 100$ (%)	1.0	4.6	1.2	5.0

定量評価のために、図13と図14、図19と図20、図25と図26、図31と図32をそれぞれ比較し、道路抽出結果がどれだけ真の道路領域と一致するかを調べた。表1にその結果を示す。道路領域の総画素数(図14、20、26、32の黒色領域の画素数)がA、抽出された道路領域の画素数(図13、19、25、31の黒色領域の画素数)がB、正しく抽出された道路領域の画素数(図13と図14、図19と図20、図25と図26、図31と図32の両方で抽出された画素数)がC、誤って抽出された道路領域の画素数(図14、20、26、32の黒色領域以外で抽出された図13、19、25、31の黒色領域の画素数)がDである。また、抽出率  $E = \frac{C}{A} * 100$  は正しく抽出された道路領域の割合を示し、誤り率  $F = \frac{D}{B} * 100$  は抽出された道路領域の中で誤抽出された領域の割合を示す。この4シーンを含む30の道路シーンに対し、道路抽出実験を行った結果、抽出率の平均は87%、誤り率の平均は3%であった。ただし、図13、19、25、31においても示されるように、未抽出領域や誤抽出領域は道路の周辺部分に集中しており、移動車に近い領域は確実に抽出されている。

#### 4 むすび

自律移動車の道路抽出手法として、平面投影ステレオ法を提案し、道路画像を用いた抽出実験を行なった。この結果、高さの情報を使って道路領域と非道路領域を分けるため、色等の画像情報を用いた従来の単眼視手法では困難であった同色領域の誤抽出や路面のテクスチャーによる影響が回避でき、駐車車両等により道路端が隠蔽されていても道路領域の位置が求まることを確認した。今後は、様々な気象条件下での画像を用いた評価実験を行なうとともに、処理の高速化及び抽出精度の向上を目指していく。

#### 参考文献

- [1] V.Graefe: "Dynamic Vision Systems for Autonomous Mobile Robots", in Proceedings of the IROS'89, pp 12-23, 1989.
- [2] M.Ohzoza, T.Ozaki, S.Sasaki, M.Yoshida, and Y.Hiratsuka: "Video-Rate Image Processing System for an Autonomous Personal Vehicle System", in Proceedings of MVA'90, pp.389-392, 1990.
- [3] C. Thorpe, M.H.Herbert, and T.Kanade: "Vision and Navigation for the Carnegie-Mellon Navlab", IEEE Trans on PAMI, 10(3), pp. 362-373, 1988.
- [4] A.Waxman, et.al.: "A Visual Navigation System for Autonomous Land Vehicles", IEEE Journal on Robotics and Automation, 1987.
- [5] Y. Yakimovsky, "A Stereo for Extracting Three-dimensional Measurement from Stereo Pair of TV Cameras," Computer Graphics and Image Processing, no.7, pp.195-210, 1978.