全方位視覚センサ COPIS を用いた環境マップ生成 —実環境適用のための処理改善—

佐藤 和也* 八木 康史* 谷内田 正彦*

Improvement of Map Generation Method Using Omnidirectional Image Sensor COPIS —Toward Apply to Real World—

Kazuya Sato*, Yasushi Yagi* and Masahiko Yachida*

We designed a new omnidirectional image sensor COPIS (Conic Projection Image Sensor) to guide the navigation of a mobile robot. The feature of COPIS is passive sensing of the omnidirectional image of the environment, in real-time (at the frame rate of a TV camera), using a conic mirror. COPIS is a suitable sensor for visual navigation in a real environment.

Under the assumption of the known motion of the robot (COPIS), an environmental map of an indoor scene is generated by monitoring azimuth change in the image. We did several experiments in the simple indoor environment. The precision of obtained environmental maps was sufficient for robot navigation in such environment. In this previous experiment, to examine the potential of COPIS against effects of observational errors in real-time navigation, we simplified the image processing method and the experimental environment. In this paper, we improve the image processing method for extracting and tracking vertical edges, taking care of reliability, and also evaluate the effectivity of omnidirectional image sensor COPIS in a real indoor and outdoor environment.

Key Words: COPIS, Omnidirectional Image, Vertical Edge

1. はじめに

ロボットの自律移動のためには、外界情報をセンサから獲得し、目標地点まで安全に誘導する必要がある。そのためのセンサとして、視覚センサは有効なものとして挙げられる。一般に視覚センサとしては、通常の TV カメラが用いられる場合が多く、ロボットの移動方向（前方）を中心とした視野領域を観測しながら、ロボットの誘導を行う研究が数多く発表されてきた。しかし一般環境では、側方、後方から接近する移動物体など、前方情報だけでは不十分な場合があり、ロボットの誘導という観点からすると、全方位の情報を一度に観測する方が望ましく、近年、全方位観測に関する研究が盛んとなっている[1]～[5]。

これまで我々は、周囲 360°の視覚情報を一度に観測できるセンサとして、円錐ミラーを用いた全方位視覚センサ COPIS (Conic Projection Image Sensor) を提案し、そのシステムを構築してきた[6][7]。本センサは円錐ミラーを利用するため画像歪みは発生するが、視野領域はロボットを誘導するうえで

最も重要な側方が中心となり、また移動ロボットの周囲パノラマ状の領域を一度に観測することができるので、実時間処理にも対応できる利点を持つ。さらに、本 COPIS により撮像された画像面上では、環境内の垂直エッジが放射状に投影される特徴がある。我々は、この特徴を利用して、ロボットの移動に伴う垂直エッジの時系列間での方位変化と既知の移動量から環境マップの生成[8][9]またマップベースの誘導方法[10]、未知移動物体の発見方法[11][12]などを提案してきた。

しかし、これらの論文では、視覚誘導が実時間で行えることを実証、さらに実移動した場合のロボットの揺れや移動誤差などによる影響を評価することを目的としていた。そのため、画像処理の計算時間を削減するために、エッジ抽出処理を簡便化し、さらに実験は屋内の整備された環境で行っていたため、環境の違いに対するロバスト性に関しては評価していなかった。

そこで、本研究では、より現実的な環境内で本センサを用いた視覚誘導の方法が有効であるかを評価することを目的とする。具体的には、従来の COPIS システムの垂直エッジ抽出法並びに対応付け手法を改良し、屋外並びに屋内実環境に対し改良した方法を用い環境マップ生成実験を行い、COPIS システム並びに環境マップ生成方法の有用性について評価した[13]～[15]。なお評価実験は、屋内環境（廊下、室内）並びに屋外

原稿受付 1995年7月10日

*大阪大学基礎工学部

*Faculty of Engineering, Osaka University

環境で行った。

2. 全方位視覚センサ COPIS を用いた環境マップ生成

2.1 全方位視覚センサ COPIS の構成と特徴

COPIS は、Fig. 1 に示すような円錐ミラーと TV カメラを組み合わせた視覚センサである。Fig. 2 のように鉛直下向きに設置された円錐ミラーにより、水平面下方鉛直軸周り 360° 全方位が視野範囲となる。

このとき、Fig. 3 のように環境内の垂直エッジは、画像中で

Fig. 1 Omnidirectional image sensor COPIS

Fig. 2 Visual field of COPIS

Fig. 3 Conic projection

画像中心から放射状に延びた線分として現れる。この性質を利用することで、入力画像中で放射エッジを検出、そのエッジの角度を計算することで対象物体の方位角 θ を推定することができる。

例えば、垂直エッジ上の任意の点 $P(X_P, Y_P, Z_P)$ に対する画像面上の写像点を $p(x_p, y_p)$ とすると、次式の関係が成り立つことからわかる。

$$\tan \theta = Y_P / X_P = y_p / x_p \quad (1)$$

2.2 従来の環境マップの生成方法

Fig. 4 に環境マップ推定のための従来の処理の流れを示す。

2.2.1 エッジ方位角の推定

まず、ロボットによって撮像された画像に対して微分処理を施しエッジ画像を生成する。得られたエッジ画像を 2 値化し、方位角を求めるため各画素に対し画像中心からの距離 r と回転角 θ の (r, θ) 座標系に極座標変換を行い、各回転角 θ ごとに画素数を計数することで回転角方向の投影変換を行う。Fig. 5, 6, 7, 8 に、入力画像から (r, θ) 、極座標変換方位角方向への

Fig. 4 Process sequence

Fig. 5 Input image

Fig. 6 Polar coordinate transformation

Fig. 7 Edge picture of Fig. 6

Fig. 8 Projection of edge points

Fig. 9 Prediction of azimuth angle

Fig. 10 Matching by evaluating the conformation of neighboring relation

微分画像並びに投影データ生成結果の一例を示す。この投影データが、あるしきい値以上になる方向を検出し方位角とする。以上により得られた方位角を時系列間に対応付ける。これは、時系列間での連続性、整合性と、対応候補の投影データの相関を評価することで行う。ロボットが滑らかに動き、移動速度に対し撮像サンプリング周期が十分密な場合、観測されるエッジの方位角もなめらかに変化する。このことを利用し、隣接5フレーム間でのエッジ方位角の変化率を一定とし、5フレーム間の変化を一次回帰直線で近似、次フレームでの方位を予想した (Fig. 9)。また予測した方位に対し、対応位置の探索範囲を制限することで対応付けの効率化を図った。また Fig. 10 に示す

ように複数のエッジが対応候補としてあげられる場合は、隣接エッジ間での整合性 (対応の順番) を評価することで1対1の対応が得られる解を求める。例えば、現フレームと次フレーム間での対応位置を探索したとき、ある範囲内に同じ本数のエッジが存在したら対応付けの順番を考慮し、方位角順に対応付ける。以上の処理によりえられた対応エッジに対し投影データ間での相関を計算し、相関が高い対応関係については対応を確定する。以上の処理に関する詳細に関しては、誌面の都合により参考文献に譲る [8][9]。

2.2.2 物体位置の算出

環境マップ生成は、対応付いた各垂直エッジの方位角の軌跡とロボットの移動量 (エンコードから得られるロボットの移動量) から垂直エッジの位置を推定することで行う。2.1節で述べたように環境内の垂直エッジの方位角は放射状のエッジの角度を計測することで、撮像面から算出することができる。このことを利用しロボット移動に伴う異なった観測点での物体方位角を計測することで、三角測量の原理から対象物体の相対位置が求められる。

求める対象物体の座標位置を $P_0(X_0, Y_0)$ とする。今、移動ロボットが時刻 t における撮像位置において移動ベクトル $(V_x(t), V_y(t))$ で移動したとすると、点 P_0 のロボットから見た相対位置 (X_{P0}, Y_{P0}) は次式となる。

$$\begin{aligned} X_{P0} &= \int_0^t (-V_x(t))dt + X_0 \\ Y_{P0} &= \int_0^t (-V_y(t))dt + Y_0 \end{aligned} \quad (2)$$

したがって、ロボットが移動したとき時刻 t における対象物体の方位角は次式となる。

$$\tan \theta(t) = \frac{Y_{P0}}{X_{P0}} = \frac{-Y(t) + Y_0}{-X(t) + X_0} \quad (3)$$

ただし

$$\left[X(t) = \int_0^t V_x(t)dt, \quad Y(t) = \int_0^t V_y(t)dt \right]$$

ここで、ある時刻 t_1, t_2 での方位角が観測できれば、両時刻での式 (3) の関係から得られる連立方程式を解くことで対象物体の座標位置 (X_0, Y_0) は計算できる。すなわち、二ヶ所で垂直エッジの方位角を観測することで、垂直エッジまでの位置情報が獲得できる。

実際には、観測された方位角にはロボットの移動に伴う誤差が含まれているので、時系列観測方位角 (観測方位角の軌跡) から最小二乗法を使い、垂直エッジ位置を算出している。そして、観測されたすべての垂直エッジの位置情報から、最終的な環境マップを生成する。

2.3 従来法の問題点

実環境では観測距離に対し、垂直エッジが密に存在する場所や高さの異なる対象が存在する。また移動環境の違い、また屋外では時間天候の違いにより環境光の強さが異なる。そのため従来の処理方法では、エッジの検出並びに対応付けが不安定になりやすかった。例えば、エッジが混在するような環境ではエッジが観測されたとしても、正確な方位角が算出できず、対応付けにおけるミスマッチングの原因となった。

したがって、実環境に適応するためには、特に垂直エッジ抽

出において精度良くエッジ方位を決定し、さらに多くのエッジが安定して検出できる必要がある。本手法では、垂直エッジの抽出方法並びに表現方法を工夫することで、エッジ検出並びに追跡の安定性の向上を図る。

これまで垂直エッジの抽出は、入力画像を極座標変換し、投影データを作成、投影データで固定しきい値以上の領域をエッジとし、方位角を決定してきた。この方法の問題点としては、特にエッジが混在する場所では、複数のエッジが投影データでは1つの固まりとなり、固定しきい値でエッジの存在領域を決定しようとした場合、エッジの本数、エッジの方位角共に誤ったものとなる点が挙げられる。またダイナミックレンジの広い屋外環境では、天候の変動によりエッジ強度が一定ではないため、固定しきい値によるエッジ検出は不適切と言える。そこで、改善方法では、投影データの表現方法並びに投影データからエッジ方位角を決定する際のしきい値決定方法を改良した。以下次章で、改善方法について具体的な内容について述べる。

3. 方位角推定方法の改善点

3.1 投影データ生成方法の改善

Fig. 11(a)のように一般に細い線状の場合やエッジが密な領域の場合、微分処理を施し得られたエッジは隣接して現れ、微分強度画像だけを用い投影データをとると、これらのエッジが同一の投影データの要素となる。また、同一方位に2つのエッジが上下に存在する場合も、1つの投影データとなる (Fig. 11(b))。

(a) Example of input image and edge image

(b) 1D Projection data (Distinguish edge sign)

(c) 1D Projection data (Use edge sign)

Fig. 11

この問題に対し本方法では、エッジの方向性を考慮し、さらに投影データを作成する際の方位角度分解能を上げることでエッジの検出能力を改善する。

COPISの入力画像における方位分解能は、入力画像外周にて約0.25度の角度分解能がある。しかし従来の投影データ生成では、1度ごとの分解能で微分画像を投影していた。そのため、入力画像では識別されるエッジでも、エッジが密な領域では全てのエッジを分離することが出来ず、また抽出されたエッジ位置も誤差を含むものであった。そこで改善方法では、この角度の分解能を1度(360分割)から約0.35度(1024分割)に向上することで、より正確な方位角が得られるようにする。角度分解能に関しては、ハードウェア上の制約により0.35度とした。

エッジの方向性(微分方向画像)を考慮すれば、Fig. 11(c)に示すように、例えば黒から白に変化するエッジ成分(正符号)と白から黒に変化するエッジ成分(負符号)は別のエッジとして検出される。このことを利用し本方法では、微分処理の際微分の符号を考慮に入れ、正方向の微分エッジと負方向の微分エッジの区別を行い、エッジの方向(正・負符号)ごとに投影データを生成することで、安定した投影データの生成を行う。

Fig. 12に符号を考慮した投影データ生成結果の一例を示す。

このように投影データを作成することで、細い線状物体だけでなく同一方位に2つのエッジが観測される場合でも、それらを区別することができ、対応付け処理における誤対応を軽減することができると言える。

また、同一のエッジを連続して観測した場合、一般にそのエッジの投影データの形状並びに符号は時系列間でも一致する。そこで対応付けに当たっては、これまでの方位変化量の連続性などの条件に加え、時系列間で符号が一致するもの同士を時系列間での対応付け候補とする。

3.2 投影データ評価方法の改善

3.1節で述べた処理により得られた投影データから垂直エッジ方位角を決定する。今までは、この投影データ上である固定しきい値以上の方位角の領域をエッジの存在領域とし、その区間の中央値を方位角としてきたが、しきい値が低いとノイズに対して敏感となったり、一方ではしきい値が高すぎるとエッジが見つからないという問題があった。特に屋外環境では、対象

(a) 1D Projection (Plus edge sign)

(b) 1D Projection (Minus edge sign)

Fig. 12

までの距離、対象自身の高さも様々な場合があるため、画像中でのエッジの長さ（見かけの長さ）も幅が広がった。

そこで本方法では、投影データのしきい値を方位角ごとに設定し、さらに時系列間で動的に変化させることで、低いエッジなど固定しきい値では検出困難なエッジの検出も行うことができる。さらに、投影データのピーク値も合わせて評価することで、エッジ領域内が一つのエッジなのか複数のエッジなのかを判断し、より多くのエッジを精度良く算出する。以下、具体的な処理方法について述べる。

(1) しきい値の評価

固定であったしきい値を角度ごとに持たせる。各しきい値は

Fig. 13

Fig. 14 Detection of azimuth angle

前フレームの投影データから算出する。Fig. 13 に示すように、求めたいしきい値 thrs の角度を θ とし、その角度の前フレームの投影データを $\text{prj}(\theta)$ 、平均化範囲 r 、重み w を設定して式(4)で定義する。

$$\text{thrs}(\theta) = \frac{1}{r} \sum_{n=-\frac{r}{2}}^{\frac{r}{2}} (\text{prj}(\theta+n) \times w) \quad (4)$$

このしきい値以上の投影データをエッジ存在範囲とし、エッジ方位角を推定する。Fig. 13 のように一般に一つのエッジの場合、投影データは単峰形状となる。そこで、投影データの方位角は、存在範囲での投影データの重心位置を方位角とすることで、角度分解能 (0.35 度) 以上の精度でエッジ位置を推定する。ただし、このエッジ存在範囲には、複数のエッジが存在する場合がある。そこで、次章のピーク値の評価を行うことでエッジの存在本数に関する評価を行う。

(2) ピーク値の評価

複数のエッジがエッジ存在範囲に存在しない場合でも、投影データの形状が多峰となる場合がある。すなわち、一つの範囲の中にピーク値が複数ある場合、つぎの2種類の場合が考えられる。

- [1] 複数のエッジが存在する場合
- [2] ノイズによって一つのエッジが複数に分かれている場合

本処理では、2つのピーク値間の高さを基準に上記の識別を行う。すなわち、それぞれのピークの間はいちばん投影データが小さい部分を参照し、大きく落ちこんでいれば前者、あまり落ちこんでいなければ後者という区別をつける (Fig. 14 参照)。現在この判断基準は、実験的に谷の高さが、ピーク値の70%以下となった場合、異なるエッジと判断としている。

以上の処理を行いエッジ方位角を算出する。投影データは符号により2種類に分けられているので、それぞれ独立してこの処理を行う。それによってエッジの混在が少なくなり、次章で述べる対応付けのミスマッチングも少なくなると考えられる。得られた方位角データには正方向、負方向、またはどちらの可能性もあるという3つの状態に分類する。

4. 実験結果とその評価

前章で述べた手法を用いて、屋内・屋外実環境において環境マップの生成を行い、有用性の評価を行った。屋内環境に関しては、ごく一般的な複雑さの実験室と廊下で実験を行い、凹凸を含む環境並びにパイプなど円筒形状の物体を含む環境での本手法の有用性、及び時系列間での対応付けの精度、従来法との観測精度に関して評価した。屋外環境に関しては、樹木など自然物が存在する環境に対する適用性の評価を行った。以下、各実験結果の詳細について述べる。

4.1 屋外環境での実験

Fig. 15 に示す屋外シーンで環境マップの生成を行った。

入力シーン中央の車にCOPISを搭載、秒速約20センチで直進走行し、時系列全方位画像を撮像した。シーン中左手には建築物の壁に沿って自動車が駐車している。右手は駐車場で道路に沿って木が立っている。

Fig. 15 Outside scene

Fig. 16 Generation of environmental map

Fig. 17 Aerial view of the scene in the computer room

環境マップの生成は、撮像した時系列画像のうち 100 フレームを用いた。Fig. 16 は、本手法で得られた環境マップである。図中●印は、垂直エッジの推定位置である。従来の方法では検出されにくかった自動車の垂直エッジ部分（図中左手）も検出することができた。また図中右側は駐車場内となり、元々特徴となる物体が少なかったため、検出された垂直エッジの本数は少ないが、マップ右側の木などの自然物は検出された。複雑な屋外環境において、COPIS 搭載の自動車が走行する上では十分な精度で環境マップが得られた原因としては、エッジの検出が安定して行えたことが挙げられる。屋外環境の場合、屋内環境に比べコントラストがはっきりし、投影データのピーク値が高く、ノイズの影響を受けにくかったため、エッジの検出を安定して行うことができた。このことから本センサは屋外環境で利用する上で適していると思われる。ただし、実際には屋外の場合天候により見え方が大きく変わる。今回は、晴れない曇りの日中でしか実験していない。雨天また夜間など異なる天候に関しては、今後評価する予定である。

4.2 屋内環境での実験

4.2.1 実験室

Fig. 17 に示す屋内実環境においてロボットを等速直線運動させて実験を行った。この実験では、時系列間での対応付け結果の従来法との比較と凹凸を含む環境に対する適用に関する評価を行った。

Fig. 18 および Fig. 19 は、従来法と本手法の時系列間の垂直エッジの対応付けの結果である。80 フレームの撮像に対し、従来手法と比較するとエッジ抽出数が 16 本から 45 本に増え、誤対応は 9 ヶ所から 5 ヶ所に減っていた。このことから、エッジの抽出数は増えたにも関わらず、対応付けの精度は向上

Fig. 18 Locus map of vertical edge (Previous method)

したと言える。したがって、より正確な環境マップを生成するのに本手法は有効であると考えられる。

Fig. 20 はロボット移動に伴い得られた環境マップの結果である。図はロボットの位置を◎印、観測された垂直エッジの位置を●印で示したものである。●印同士を結んだ折れ線は、同定されたフリースペースである。ロボットは 1 フレーム 1 センチの割合で直進運動を行った。合計で 80 フレームの撮像を行い、そのうち、15 フレーム以上対応づいた垂直エッジについ

Fig. 19 Locus map of vertical edge (Proposed method)

て位置を計算した。(a)は20フレーム時点、(b)は40フレーム時点、(c)は60フレーム時点、(d)は最終80フレーム時点での環境マップ生成の結果である。フレーム数が多くなるにつれ、垂直エッジの位置が正確になっていくのがわかる。ロボットの高さに対し、机の下部は凹状の形状をしている。2つの机が並ぶ部分 (Fig. 17, 矢印部分) の形状も推定することができた (Fig. 20(d) 矢印部分)。したがって、本手法では凹凸を含む環境に対しても適用できると思われる。

4.2.2 廊下

Fig. 21 に示すような廊下で実験を行い、観測精度についての評価を行った。従来法と本手法によって生成された環境マップを Fig. 24 および Fig. 25 に示す。Fig. 23 は、本手法の場合の時系列間での方位角変化の結果である。

ロボットの側方における垂直エッジ位置の平均誤差は従来法で約7.8センチ、本手法で約6.6センチであった。またロボットの前後においては、移動視の方法 (三角測量) により位置推定を行っているため、計測誤差が大きくなる。しかし、従来法

Fig. 20 Results of generation of environmental map

Fig. 21 Layout of corridor

Fig. 22 Swaying motion of robot

Fig. 23 Locus map of vertical edges

では約 49 センチであったのに対し、本手法を用いることで約 25 センチに誤差を減らすことができた。故に、側方、前後方向ともに観測精度の向上を行うことができた。

この実験において、実際には床面のわずかな凹凸並びに車輪のスリップによりロボットは揺れながら直進している。Fig. 22 は、ロボットの進行方向に対する揺れの変化をグラフにし

Fig. 24 Generation of environmental map (Previous method)

Fig. 25 Generation of environmental map (Proposed method)

た結果である。ロボットが大きく揺れているところでは、一部対応の間違いが見られるが、 ± 7.5 度程度の揺れに対しては、安定して対応付けが行えている。また観測精度の点でも、視覚誘導を行う上では十分といえ、 ± 7.5 度程度の揺れまでは、本手法の許容範囲と言える。

以上、今回の実験で多種多様な物体の存在する実環境においても、ロボットの移動に十分なフリースペースの同定が行うことができ、実環境に十分対応できるものと考えられる。

5. おわりに

本報告では、全方位視覚センサ COPIS の画像処理部および対応付け部を改良し安定したエッジ抽出を行い、精度よく環境マップを生成する手法を示した。

垂直エッジ抽出においては、投影データからの方位角推定のためのしきい値処理を動的しきい値処理とピーク値の評価という 2 段階処理にすることで多くのエッジを抽出できるように改善した。さらに、方位の角度分解能向上と方向微分の利用により密にエッジが存在する場所でも安定して精度よくエッジ抽出できる改善をした。対応付けに関しては、エッジの符号を評価基準に入れることで時系列間での対応付けの信頼性を向上した。

屋内屋外実環境において環境マップ生成実験を行い、実験結果から本手法は複雑な実環境下においても十分対応できた。また、照明条件の不安定な屋外においても画像に微分処理を施す本手法は有効であった。雨天また夜間など異なる天候に関しては、今後評価する予定である。今後は垂直エッジ以外の情報も含めることでより正確な環境マップを安定に生成できる方法を検討する。なお本研究の一部は、文部省科学研究費一般研究 (B) 06452255 (代表 谷内田) 並びに奨励研究 (A) (代表 八木) の補助を受けた。

参 考 文 献

- [1] Z. L. Cao, S. J. Oh and E. L. Hall: "Dynamic omnidirectional vision for mobile robots," J. Robotic Systems, vol. 3, no. 1, pp. 5-17, 1986.
- [2] S. J. Oh and E. L. Hall: "Guidance of a mobile robot using an omnidirectional vision navigation system," Proc. SPIE 852 Mobile Robots II, pp. 288-300, 1987.
- [3] J. Hong, X. Tan, B. Pinette, R. Weiss and E. M. Riseman: "Image-based homing," Proc. Int. conf. Robotics and Automation, pp. 620-625, 1991.
- [4] K. Yamazawa, Y. Yagi and M. Yachida: "Omnidirectional Imaging with Hyperboloidal Projection," Proceedings IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pp. 1029-1034, 1993.
- [5] E. Bideaux and P. Baptiste: "Omnidirectional Vision System: Image Processing and Data Extraction," Proc. 2nd Japan-France Congress on Mechatronics, vol. 2, pp. 697-700, 1994.
- [6] 八木康史, 川戸慎二郎: "円錐投影による全方位環境認識," 信学技法, PRU 89-46, pp. 47-53, 1989.
- [7] 八木康史, 川戸慎二郎: "円錐ミラーを用いた全方位視覚センサによる位置情報の獲得," 信学論, vol. J 74-D-II, no. 1, pp. 19-26, 1991.
- [8] Y. Yagi and M. Yachida: "Real-time generation of environmental map and obstacle avoidance using omni-directional image sensor with conic mirror," Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recog, 1991.
- [9] 西澤慶満, 八木康史, 谷内田正彦: "全方位視覚センサ COPIS を搭載した移動ロボットのための環境マップの生成と移動自由空間の推定", pp. 868-874, 日本ロボット学会誌, vol. 11, no. 6, 1993.
- [10] Yasushi Yagi, Yoshimitsu Nishizawa and Masahiko Yachida: "Guidance of a Mobile Robot with Environmental Map using Omnidirectional Image Sensor COPIS," IEICE Trans. Information and Systems, vol. E 76-D, no. 4, pp. 486-493, 1993.
- [11] Y. Yagi, S. Kawato and S. Tsuji: "Collision avoidance using omnidirectional image sensor (COPIS)," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Auto., pp. 910-915, 1991.
- [12] Y. Yagi, S. Kawato and S. Tsuji: "Real-Time Omnidirectional Image Sensor (COPIS) for Vision-Guided Navigation", Trans. IEEE Robotics and Auto., vol. 10, no. 1, pp. 1-12, 1994.
- [13] Ryota Hiura, Yasushi Yagi and Masahiko Yachida: "Evaluation of Effectivity of Omnidirectional Image Sensor COPIS in A Real Environment," Proc. IAPR workshop on Machine Vision Applications, pp. 356-359, Kawasaki, 1994.
- [14] 佐藤和也, 八木康史, 谷内田正彦: "時系列全方位画像からの垂直エッジの抽出並びに追跡", 日本ロボット学会学術講演会予稿集, vol. 2, 2194, pp. 693-694, 1994.
- [15] Yasushi Yagi, Kazuya Sato and Masahiko Yachida: "Evaluating Effectivity of Map Generation by Tracking Vertical Edges in Omnidirectional Image Sequence," IEEE the International Conference on Robotics and Automation, Nagoya, vol. 3, pp. 2334-2339, 1995.

佐藤和也 (Kazuya Sato)

1971 年 4 月 21 日生。1994 年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。現在同大学大学院基礎工学研究科物理系専攻制御工学分野修士課程在学中。自律移動ロボットのための視覚センサの研究に従事。

(日本ロボット学会学生会員)

谷内田正彦 (Masahiko Yachida)

1945 年 9 月 4 日生。1971 年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。同年同大基礎工学部制御工学科助手。同助教授を経て同学部情報工学科教授。平成 6 年同学部システム工学科教授。1967~1968 年デンマーク原子力研究所留学。1972~1973 年米イリノイ大学にて Research Associate。1980~1981 年西独ハンブルグ大学 Research Fellow。1982 年米ミネソタ大学 CDC Professor。著書ロボットビジョン (昭晃堂), コンピュータビジョン (丸善, 編著) 等。コンピュータ・ビジョン, 画像処理, 人工知能, 移動ロボットなどの研究を行っている。工学博士。情報処理学会, 人工知能学会等会員。

(日本ロボット学会正会員)

八木康史 (Yasushi Yagi)

1959 年 9 月 27 日生。1983 年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1985 年同大大学院修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。同社産業システム研究所にてロボットビジョンの研究に従事。1990 年大阪大学基礎工学部情報工学科助手。1993 年同学部システム工学科講師。現在同学科助教授。工学

博士。IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会, システム制御情報学会等各会員。

(日本ロボット学会正会員)