

全方位視覚センサCOPISを用いた移動物体の発見と衝突回避

八木康史⁺ 川戸慎二郎⁺⁺ 辻 三郎⁺

⁺ 大阪大学基礎工学部

⁺⁺ 三菱電機(株)産業システム研究所

近年、環境を理解し移動することのできる視覚付き知能移動ロボットの研究が盛んに行なわれている。ロボットが建屋内等の人工環境内を移動する場合、前方の障害物との衝突ばかりでなく、移動物体の接近等による側方、後方からの衝突の危険が生じる。そのため移動しながら全方位の情報を獲得することが望ましい。本報告では、全方位視覚センサCOPISを用い、室内等の人工環境内を移動する物体を検出し、衝突回避を行なう一方法について述べる。衝突の危険性がある移動物体や障害物は、ロボット移動による物体の方位角の変化から検出する。さらに衝突回避動作として減速等のロボットの速度変更を行なうことで、それらの物体の運動並びに位置情報を求める。この運動・位置情報は、速度変更前後での時系列画像から得られる物体方位角の移動軌跡から、ロボットと物体間の相対運動の方向を算出することで求める。COPISシステムは、円錐ミラーを用いることで、ロボットの全周囲の視野画像を実時間で獲得することができる。さらに移動物体がある建屋内をロボットが移動した場合の実証実験の結果を示す。

Finding Moving Object and Collision Avoidance with Omnidirectional Image Sensor COPIS

Yasushi YAGI⁺, Shinjiro KAWATO⁺⁺ and Saburo TSUJI⁺⁺

⁺ Faculty of Engineering Science, Osaka University, Toyonaka, 560, JAPAN

⁺⁺ IESD Lab., Mitsubishi Electric Corporation, Amagasaki, 661, JAPAN

This paper describes a conic projection image sensor (COPIS) and its application to guide the navigation of an mobile robot. The COPIS system acquires an omnidirectional view around the robot in real-time by using a conic mirror. Under the assumption of constant linear motion of the robot and moving objects, objects moving along collision paths are found by monitoring their azimuth changes. If such objects are found, the robot changes its velocity to avoid collision against them. Judgment whether each object is static or moving and estimation of its location and velocity are possible by the change of the robot's velocity.

1. まえがき

近年、環境を理解し移動することのできる視覚付き知能移動ロボットの研究が盛んに行われている⁽¹⁻⁶⁾。これらの研究では、前方環境のみの観測で、側方、後方の観測は行なわれていなかった。しかし建屋内や道路等の人工環境では、前方ばかりでなく、移動物体の接近等による側方、後方からの危険が生じる。そのため移動しながら全方位の情報を獲得し衝突回避をすることが望ましい。

全方位の視覚情報を獲得する研究には、水平面内でカメラを回転させる方法⁽⁷⁾、魚眼レンズを鉛直に設置する方法⁽⁸⁾、円錐ミラーを用いる方法⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾などが提案されている。カメラを回転する場合、精度のよい全方位画像を得られるが、1シーンの撮像に時間を要するため、リアルタイムでの応答を必要とする衝突回避の問題には不向きである。魚眼レンズを利用する場合、得られる画像情報は、必ずしも観測する必要のない天井等を多く含むため、本来衝突回避に必要なロボット自身の側方の観測が不十分となりやすい。これらに対し、円錐ミラーの利用は、画像歪は発生するが、移動ロボットの周囲パノラマ状の視野領域を一度に観測できる利点を有する。筆者らも、円錐ミラーを用いる受動方式の全方位視覚センサCOPIS (Conic Projection Image Sensor) を提案した⁽¹⁰⁾。しかしこれらの研究では、いずれも移動物体を含むシーンには適用されていなかった。言うまでもなく、ロボットは移動しながら、環境内の静止・移動物体との衝突を回避する必要がある。

ここではCOPISシステムについての構成概要と、ロボットが移動中に撮像した時系列画像から得られる物体の移動軌跡より、衝突の危険がある障害物や移動物体を検出し、衝突回避を行なう一方法について報告する^(11,12)。さらにここで提案した方法を用いて、移動物体がある建屋内をロボットが移動した場合の実証実験の結果を示す。

2. 前提条件

本報告では、環境並びにロボット・移動物体に対し、以下の前提を置く。

(1) 環境

ロボットの移動空間は、人工の環境、例えば建屋内の廊下や室内とする。壁は平面で構成され床に対して垂直で、床はほぼ平坦である。また机や本棚等の構造物は、一般に床に対して垂直に立つ。

(2) ロボット・移動物体

ロボットと移動物体は、床面上を等速直進運動をする。移動物体は静止環境の構造物と同様に床に対して垂直に立つ。

3. システム構成

試作したCOPISシステムのハードウェア構成を図1に、COPISの外観と寸法を図2に示す。本システムは、円錐ミラー、ITVカメラ、ガラス管からなる移動ロボット上のCOPIS部と、地上側のモニタ、イメージプロセッサ、ワークステーションからなる画像処理部、および移動ロボットで構成される。

COPISでは、鉛直下向きに設置した円錐ミラーにより、水平面下方、鉛直軸回りに360度全周が視野領域となる。図3は、ロボットの移動に伴う入力画像の一例である。

4. 円錐投影

4.1 基本式

図4に示すようにカメラ光軸をZ軸(鉛直方向)とするカメラに固定したO-X Y Z 3次元座標系を考える。座標原点Oは、時刻tにおけるカメラのレ

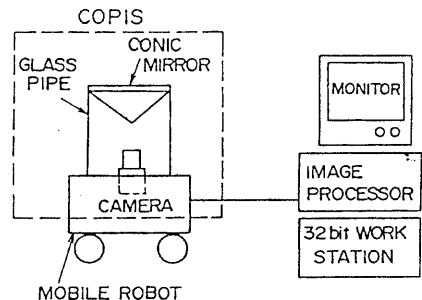


図1 COPISシステムのハードウェア構成

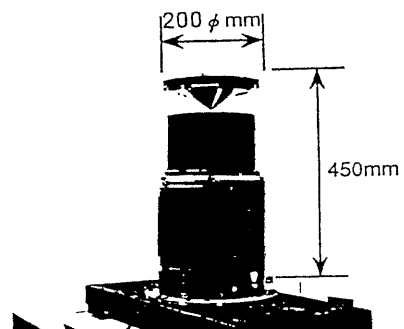


図2 COPISの外観

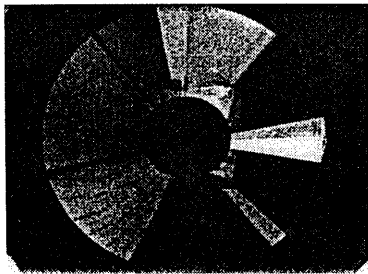


図3 入力画像の一例

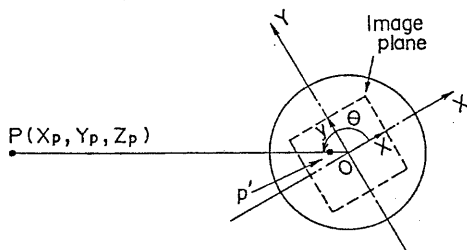
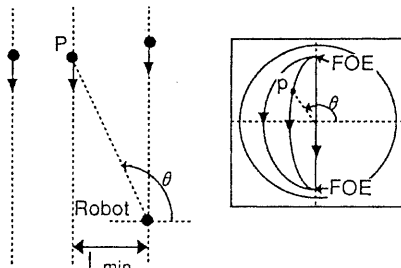


図4 回転角と像位置の関係



(a) Environmental model (b) loci of image points

図5 写像点の移動軌跡

ズ中心とする。画像面 xy は、 XY 平面に平行でカメラ焦点距離 f だけ離れた Z 軸上の点を通る面とする。

この時、距離計測を行なう任意の点 $P(X_p, Y_p, Z_p)$ に対する画像面上の写像点を $p(x_p, y_p)$ とすると、次の関係がある。

$$\tan \theta = Y_p / X_p = y_p / x_p \quad (1)$$

即ち Y_p / X_p で定まる対象物体の方位角は、 y_p / x_p で定まる画像面内の像の方位角を算出することで得られる。この様に 360 度パノラマ状の領域を円錐ミラーを介して、撮像面上に投影する本方式では、対象物体の方位角 θ が、その物体の画像面上の投影の方位として直接現われる。

4.2 写像点の移動軌跡

図5に示すように XY 平面内を $COPIS$ と点 P

が移動する場合を考える。この時、点 P の写像点 p は、図5に示すような移動軌跡を描く。これは、ロボットの前方遠くから近づいてきた物体がロボットの横を通り去る時、物体の写像点は、ロボット前方の動きの無限遠点 (FOE) からロボット後方の FOE へと移動する。この移動軌跡の形状は、ロボットと点 P 間の最接近距離 L_{min} とロボットと点 P 間の相対運動方向により決定される。点 P がロボットと衝突する経路 (衝突経路) を移動する場合、写像点 p は、ロボットの前後の FOE を結ぶ直線軌道を描き、写像点 p の方位角は一定となる。従って、物体の方位角の変化を観測することで、衝突の危険性がある物体を発見できる。なお、移動軌跡についての詳細は、著者らの論文を参照されたい⁽¹⁰⁾。

5. 衝突回避アルゴリズム

5.1 衝突危険性の評価

第4.2節で述べた通り、衝突の危険性がある物体の発見は、物体の方位角の変化を観測することで可能となる。しかし、衝突経路上を移動する物体は、移動方向に関わらず、方位角は一定となる。そのため方位角の変化を観測しただけでは、衝突経路上の物体が相対的に近づく場合と遠ざかる場合の区別ができない。しかし、実環境では物体は大きさを持つ。そこで物体の両端には垂直なエッジが現われるとすると、上記の区別が可能となる。

まず初めに図6(a)に示すように、物体が衝突経路に沿って接近する場合を考える。この場合、物体の両端のエッジでの方位角は、ロボットに対し発散する方向に変化する。そして両エッジ間には、方位角不変の点が存在する。それに対し、図6(b)に示すように物体が衝突経路に沿って遠ざかる場合は、方位角不変の点は存在するが、両エッジの方位角は、ロボットに対し、収束する方向に変化する。さらに図6(c)に示すように、物体が衝突経路上を移動しない場合は、方位角不変の点は存在せず、また両エッジでの方位角は、共に同じ方向に収束ないし発散する。したがって、方位角の変化を観測すれば、物体との衝突危険性の評価は可能である。

5.2 相対運動方向の算出

ロボット及び物体がともに移動する場合、本 $COPIS$ は単眼視のためスケールファクタが決定されない。そのため、物体の位置・運動を推定することは困難である。しかし、物体の移動軌跡を利用すれば、ロボットに対する相対的運動の方向は算出できる。またこの相対運動方向から、衝突危険性の評

値を行なうこともできる。

環境内の移動物体を点Pとする。この時、ロボットの移動速度を $(U_R, V_R, 0)$ 、点Pの移動速度を $(U_M, V_M, 0)$ とすれば、点Pの相対速度は次式で表現される。

$$\begin{aligned} & (\partial X_p / \partial t, \partial Y_p / \partial t, \partial Z_p / \partial t) \\ & = (U_M - U_R, V_M - V_R, 0) \quad (2) \end{aligned}$$

時刻 t_1 における点Pの座標位置を $P_1 (X_1, Y_1, Z_1)$ とすれば、 t 秒後の点Pの位置は次式となる。

$$\begin{aligned} X_p &= (U_M - U_R) t + X_1 \\ Y_p &= (V_M - V_R) t + Y_1 \quad (3) \\ & (t > 0) \end{aligned}$$

よって、時系列画像より得られる点Pの方位角 θ の移動軌跡は、式(1),(4)から次式で表現される。

$$\tan \theta = \frac{(V_M - V_R) t + Y_1}{(U_M - U_R) t + X_1} \quad (4)$$

本COPI Sは、単眼視のためスケールファクタは決定できず、例えば $U_M - U_R$ との比が算出できる。式(4)において、ロボットの移動速度 $(U_R, V_R, 0)$ が既知としても、 U_M, V_M, X_1, Y_1 の4つの未知数を含む。そこで3ヶ所での方位角 θ を観測すれば、次式の関係から移動物体の相対運動方向 θ_R が算出できる。

$$\begin{bmatrix} \frac{V_M - V_R}{U_M - U_R} \\ \frac{X_1}{U_M - U_R} \\ \frac{Y_1}{U_M - U_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_2 & -\tan \theta_2 & 1 \\ t_3 & -\tan \theta_3 & 1 \\ t_4 & -\tan \theta_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_2 \tan \theta_2 \\ t_3 \tan \theta_3 \\ t_4 \tan \theta_4 \end{bmatrix}$$

$\theta_2, \theta_3, \theta_4$: t_2, t_3, t_4 秒後の観測方位角 (5)

ただし $\theta_2 = \theta_3 = \theta_4$ の場合は、式(5)の逆行列が存在しないため、相対運動方向 θ_R は、次式の関係となる。

$$\tan \theta_R = \tan \theta_i \quad (i=2,3,4) \quad (6)$$

点Pがロボットと衝突するためには、点Pがロボットに向かって接近し、両者間の相対位置 (X_p, Y_p) が $(0, 0)$ になる必要がある。言い替えば、物体とロボットが等速直線運動する前提では、図7に示す通り、点Pの方位角 θ がロボットと点P間の相対運動の方向 θ_R と 180 度異なる場合に両者が衝突することを意味する。よって次式を満たすとき、点Pはロボットと衝突する。

$$t = -\frac{X_1}{U_M - U_R} = -\frac{Y_1}{V_M - V_R} > 0 \quad (7)$$

式(7)の関係は、次式に示すように点Pの方位角 θ と相対運動の方向 θ_R とを意味する。

$$\tan \theta = \frac{Y_1}{X_1} = \frac{V_M - V_R}{U_M - U_R} = \tan \theta_R \quad (8)$$

$|\theta - \theta_R| = 180(\text{deg})$

この事から、衝突危険性の評価は、物体の方位角 θ と相対運動方向 θ_R とを算出することも可能となる。

ここで、式(6)に示すようにロボット移動により物体の方位角 θ が変化しない場合、相対運動方向 θ_R は一意に決定できない。これは、図6(a),(b)に示したように、衝突経路を移動する物体は、遠ざかる場合も、近づく場合もともに、方位角が変化しない

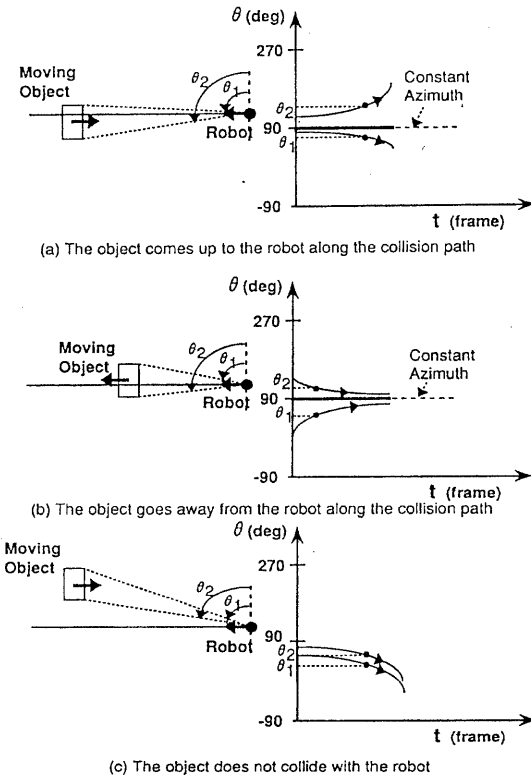


図6 衝突危険性の評価

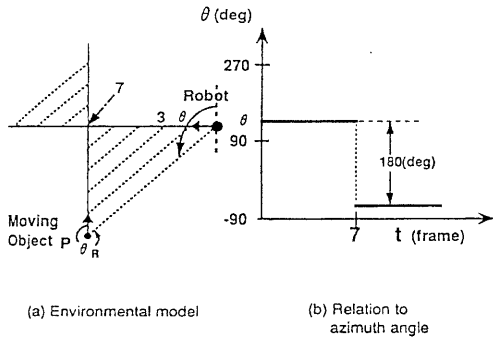


図7 衝突のための条件

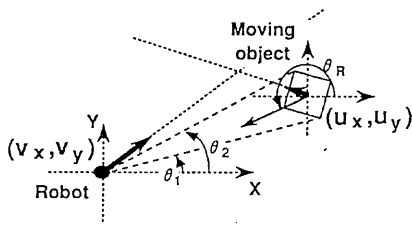


図8 相対運動方向の利用による衝突危険性の評価

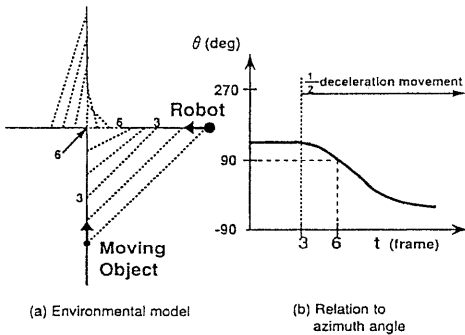


図9 衝突回避動作

ためである。しかし、実際の環境では、物体は大きさを持ち、その両端には垂直なエッジが現われる。従って、少なくとも一方では、方位角は変化する。そこで図8に示す様に両エッジでの方位角を θ_1 、 θ_2 とすれば、次式に示すように $\theta_1 \sim \theta_2$ の範囲内で相対運動方向 θ_R と180度角度が異なる場合、衝突の危険性があると評価できる。

$$|\theta - \theta_R| = 180 \text{ (deg)} \quad (9)$$

$$\theta_1 < \theta < \theta_2$$

実際には、ロボットの走行時の揺れなどで方位角 θ

に観測誤差がある。そのため、ロボットの移動に伴う方位角 θ の移動軌跡から、最小自乗法により θ_R を求める。また式(9)の評価は、 θ 、 θ_R の計測誤差を考慮し、次式に示すように $\Delta\theta$ が所定のしきい値 θ_{LMT} 以下となると、衝突危険性があると評価する。

$$\Delta\theta = |\theta - \theta_R| - 180 < \theta_{LMT} \quad (10)$$

5.3 衝突回避動作

COPISが衝突経路に沿って接近する物体を検出したとする。この時衝突回避のためには、ロボットの運動を変更すればよい。運動を変更する動作には、速度の変更と経路の変更がある。物体がロボットの進行方向と一致する時は、速度変更を行っても衝突を回避することができず、経路を変更する必要がある。ロボットの進行経路と衝突経路が異なる場合は、速度変更により衝突回避を行なうことが可能である。

図9は、前方を横切る移動物体を減速動作により回避する一例である。この例では、3フレーム目までの観測では、方位角と相対運動方向が変わらないため、衝突の危険性ありと評価し、4フレーム以後は1/2の速度で、衝突の回避を行なっている。

5.4 位置・運動の推定

速度を変える動作を行なえば、衝突回避を行えるばかりでなく、静止物体と移動物体を識別し、さらに物体の移動速度ならびに位置が算出可能となる。速度変更前後のロボットの移動速度及び相対運動方向を各々 $(U_{RB}, V_{RB}, 0)$ 、 $(U_{RA}, V_{RA}, 0)$ 、相対運動方向を θ_{RB} 、 θ_{RA} とする。この時、 $\tan \theta_{RB} \neq \tan \theta_{RA}$ の場合と $\tan \theta_{RB} = \tan \theta_{RA}$ の場合とに分けて、位置・運動の推定方法について以下に述べる。

5.4.1 $\tan \theta_{RB} \neq \tan \theta_{RA}$ の場合

速度変更前後のロボットの相対運動方向 θ_{RB} 、 θ_{RA} には、次式の関係がある。

$$\tan \theta_{RB} = \frac{V_M - V_{RB}}{U_M - U_{RB}} \quad (11)$$

$$\tan \theta_{RA} = \frac{V_M - V_{RA}}{U_M - U_{RA}} \quad (12)$$

よって、式(11) (12)より次式のように点Pの移動速度は算出できる。

$$\begin{bmatrix} U_M \\ V_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\tan \theta_{RB} & 1 \\ -\tan \theta_{RA} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{RB} - U_{RB} \tan \theta_{RB} \\ V_{RA} - U_{RA} \tan \theta_{RA} \end{bmatrix} \quad (13)$$

さらに物体の移動速度が算出できれば、式(5)より位置も算出できる。

5.4.2 $\tan \theta_{RB} = \tan \theta_{RA}$ の場合

相対運動方向がロボットの速度変更の前後で変化しないのは、物体がロボットの進行方向と平行に移動する場合である。この場合は、以下の方法により物体の運動・位置情報を得る。

速度変更前において t_{B1} , t_{B2} 秒後の物体の方位角を θ_{B1} , θ_{B2} とすると、式 (6) より次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_B \begin{bmatrix} U_M - U_{RB} \\ V_M - V_{RB} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$(\tan \theta_{B1} \neq \tan \theta_{B2})$

$$\mathbf{M}_B = \begin{bmatrix} -\tan \theta_{B1} & 1 \\ -\tan \theta_{B2} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -t_{B1} \tan \theta_{B1} & t_{B1} \\ -t_{B2} \tan \theta_{B2} & t_{B2} \end{bmatrix}$$

同様に、速度変更前の移動時間を t_B とし、速度変更後において、 t_{A1} , t_{A2} 秒後の物体の方位角を θ_{A1} , θ_{A2} とすると、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_A \begin{bmatrix} U_M - U_{RA} \\ V_M - V_{RA} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_B & 0 \\ 0 & t_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_M - U_{RB} \\ V_M - V_{RB} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$(\tan \theta_{A1} \neq \tan \theta_{A2})$

$$\mathbf{M}_A = \begin{bmatrix} -\tan \theta_{A1} & 1 \\ -\tan \theta_{A2} & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -t_{A1} \tan \theta_{A1} & t_{A1} \\ -t_{A2} \tan \theta_{A2} & t_{A2} \end{bmatrix}$$

よって式 (14) (15) より (X_1, Y_1) を消去すると、次式のように移動物体の速度は計算できる。

$$\begin{bmatrix} U_M \\ V_M \end{bmatrix} = (\mathbf{M}_B - \mathbf{M}_A - \begin{bmatrix} t_B & 0 \\ 0 & t_B \end{bmatrix})^{-1} \left((\mathbf{M}_B - \begin{bmatrix} t_B & 0 \\ 0 & t_B \end{bmatrix}) \begin{bmatrix} U_{RB} \\ V_{RB} \end{bmatrix} - \mathbf{M}_A \begin{bmatrix} U_{RA} \\ V_{RA} \end{bmatrix} \right) \quad (16)$$

$(\tan \theta_{B1} \neq \tan \theta_{B2}, \tan \theta_{A1} \neq \tan \theta_{A2})$

式 (16) より移動物体の移動速度 (U_M, V_M) が求まれば、式 (14) (15) より位置情報も算出可能となる。ここで式 (16) では、 $\tan \theta_{B1} \neq \tan \theta_{B2}$, $\tan \theta_{A1} \neq \tan \theta_{A2}$ の拘束条件がある。この拘束条件を満たさないのは、ロボットの進行方向と同軸上を対象物体が移動する場合である。このような場合、移動物体の位置・運動情報は算出不可能である。しかし一般に物体は大きさを持ち、進行軸上に物体上のすべての点が乗ることは稀である。従って、位置・運動情報は算出可能であり、実用上問題ないと考えられる。

6. 実験結果とその検討

以下に約 $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ の広さの室内を移動物体が 1 m 程度離れた側方から接近してくる場合について実シーンへの適用例を示す。画像撮像は、ロボット及び移動物体が各々 4 cm , 5 cm ずつ移動しながら行った。この適用例では、 40 フレーム目で衝突する。

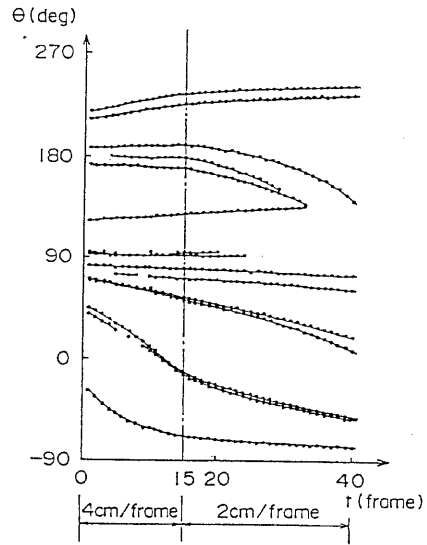


図 10 カメラ移動による垂直エッジの移動軌跡

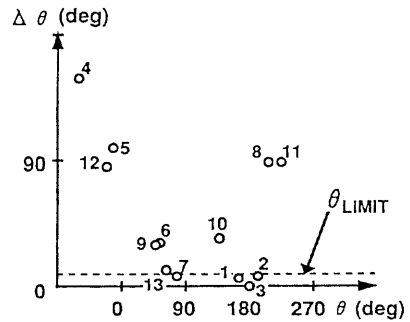


図 11 衝突危険領域の抽出

観測点は一般に環境内の物体で見られる垂直エッジを利用した。垂直エッジの抽出方法については、著者らの論文を参照されたい⁽¹⁰⁾。

衝突危険物体の検出は 15 フレームの時点 (5.6 cm 移動後) に行なう。図 10 はカメラ移動に伴い検出した垂直エッジ方位を表わす回転角をプロットした移動軌跡である。 15 フレームまでの観測で、方位角 90 度及び 180 度近傍の垂直エッジはその方位角が殆ど変化せず、衝突危険領域と判断された。また図 11 に示す $\Delta \theta$ の関係でも、方位角 θ が 90 度と 180 度の近傍にて、 $\Delta \theta$ がしきい値以下となり、衝突危険領域と評価された。図 12 は検出された衝突危険領域で、 90 度近傍の進行方向前方の障害物と 180 度近傍の移動物体とが検出された。

衝突危険物体を検出した後は、ロボットは $1/2$

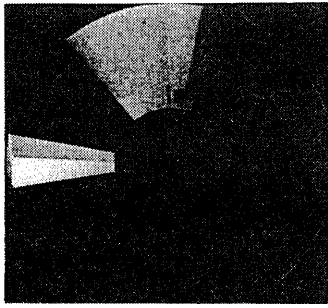


図 1 2 衝突危険領域検出結果

減速動作により衝突回避を行なう。図 1 0 に示すように 1 5 フレーム以降 1 8 0 度近傍の移動物体上のエッジの方位角は、9 0 度方向（ロボットの前方）に変化し、衝突危険状態を回避している。

位置・運動情報は 1 5 フレーム以降、1/2 減速動作で 5 0 cm 移動後、4 0 フレームで算出した。図 1 3 は観測された垂直エッジの位置を計算し、室内のレイアウト図に重ねて表示したものである。図中、静止物体については■印、移動物体については□印で記した。移動速度の大きさが 1 cm 未満の物体は、静止した物体とした。さらに表 1 に位置・運動の計測結果を示す。位置情報は平均誤差約 4. 6 cm で計測できた。さらに移動物体の運動情報は、1 回の移動量が 5 cm のところ 5. 1 3 cm、移動方位にして 1. 8 度の平均誤差で計測できた。また静止した物体の運動情報は、最大でも 0. 6 cm 程度の誤差で計測できた。ただしロボットの前方面では、他の方位に比べ、位置の計測精度が悪く 1 0 cm 程度であった。これは、観測された方位角の時系列間での変化が小さいことで、移動軌跡の計測精度が悪かったため

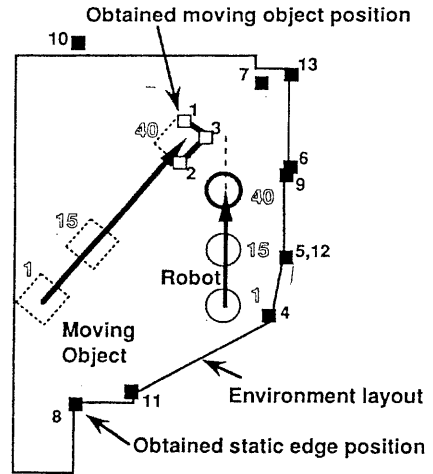


図 1 3 位置情報算出結果

ある。しかしロボットが衝突回避する上においては、問題ない精度と考えることができる。

処理速度については、現在のところ処理のほとんどをワークステーション上でソフトウェア処理により行なっている。しかしこの方法で用いる処理は、2 値化処理、座標変換処理、投影処理など汎用的な処理のため、ルックアップテーブルや論理演算機能などをもつ汎用画像処理装置上で構築すれば、100ms 程度で高速処理可能となり、実環境での自動走行も可能と考える。

検出されたエッジ間が壁なのか、それとも同じ幅を持つ間隙なのかと言う面の判定の問題がある。同じ物体を構成するエッジは同じ運動成分を持つ。またひとつの物体面の両側のエッジは、画像中でも隣接

表 1 運動および位置の算出結果

		真 値				実 験 値				位置誤差 (cm)	運動誤差 (cm)
		X (cm)	Y (cm)	U _x (cm)	U _y (cm)	X (cm)	Y (cm)	U _x (cm)	U _y (cm)		
移動 物体	1	37	-178	-3.13	3.9	36	-172	3.27	3.8	6.1	0.04
	2	35	-136	-3.13	3.9	39	-142	3.35	4.0	7.2	0.18
	3	15	-160	-3.13	3.9	16	-159	3.4	3.9	1.4	0.17
静 止 物 体	4	-35	10	0.0	0.0	-31	7	0.07	0.36	5.0	0.37
	5	-48	-51	0.0	0.0	-51	-52	0.0	-0.53	3.2	0.53
	6	-48	-122	0.0	0.0	-49	-125	0.06	0.59	3.2	0.59
	7	-27	-216	0.0	0.0	-31	-205	0.04	0.55	11.7	0.55
	8	140	79	0.0	0.0	140	79	-0.06	0.50	0.0	0.50
	9	-48	-121	0.0	0.0	-49	-119	-0.15	-0.25	2.2	0.21
	10	140	-230	0.0	0.0	140	-236	0.07	0.18	6.0	0.19
	11	90	70	0.0	0.0	94	68	-0.19	0.12	4.5	0.22
	12	-48	-50	0.0	0.0	-51	-49	0.06	0.17	3.2	0.18
	13	-54	-216	0.0	0.0	-57	-210	0.04	-0.55	6.7	0.55

して現われ、その関係はロボットが移動したとしても変わらない。それに対し、通路の様な場合、当初隣接したエッジもロボットが移動すれば、それらのエッジ間にいままで観測されなかったエッジが観測できるようになり、エッジの隣接性がくずれる。そこで隣接したエッジ間は、壁(面)であると仮定することで、ロボットが移動するためには十分な結果が得られるのではないかと考える。

7. むすび

本研究では、全方位視覚センサCOPIS (Conic Projection Image Sensor) を用い、移動物体を含む環境下で衝突回避を行なう一処理方法を提案した。

この処理方法では、COPISにより移動中に撮像した時系列画像から得られる特徴エッジの移動軌跡をもとに相対運動方向を求め、衝突危険性の評価を行なった。また減速等の回避動作によりロボットの移動速度が異なる移動軌跡を生成し、両者の移動軌跡から環境内の位置情報と移動物体の位置・運動情報を求めた。位置・運動の計測精度は、視覚誘導を行なう上で十分な精度と考えることができ、ロボット移動用の視覚センサとして本方法が有効であることを確認した。

今後の課題として、回転運動を含む移動物体に対して検討する予定である。なお物体面の同定については、別報にて詳細に述べる。

文 献

- (1) A.M.Waxman, J.J.LeMoigne and B.Scinvasan: "A visual navigation system for autonomous land vehicles", IEEE J.Robotics & Automation, vol.RA-3, No.2, pp.124-141 (1987)
- (2) M.Tunk, K.D.Morgenthaler, K.D.Gremban and M.Marra: "VITS-A vision system for autonomous land vehicle navigation", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.PAMI-10, No.3, pp.342-360 (1988)
- (3) C.Thrope, M.H.Hcber, T.Kanade and S.A. Shafer: "Vision and navigation for the Carnegie-Mellon Navilab", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.PAMI-10, No.3, pp.362-373 (1988)
- (4) 八木康史, 浅田稔, 谷内田正彦, 辻三郎: "動画像処理を用いた移動ロボットの環境認識", 信学論(D), J 69-D, 6, pp. 967-974 (昭61-06)
- (5) 森英雄, 小谷信司, 石黒浩, 安富敏, 茅野之雄: "構内道路を走行する自律移動ロボット(移動ロボットの一戦略—晴信4号機)", 日本ロボッ

ト学会誌, 5, 5, pp. 361-374, (1987-10)

(6) 久保田孝, 橋本秀紀, 原島文雄: "視覚センサとレンジセンサとの協調による移動ロボットのナビゲーション", 日本ロボット学会誌, 7, 4, pp. 275-282, (1989-8)

(7) 石黒浩, 山本雅史, 辻三郎: "全方位視野像の解析", 情処学コンピュータビジョン研資, 89, 62 (1989-7)

(8) 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)

(9) R.A.Jarvis and J.C.Byrne: "An Automated Guided Vehicle with Map Building and Path Finding Capabilities", Proc.4th Int. Symp. Robotics Research, pp.497-504 (1988)

(10) 八木康史, 川戸慎二郎: "円錐投影による全方位環境認識", 信学技報, P R U 89-46, pp.47-53, (1989-7)

(11) Y.Yagi, S. Kawato and S. Tsuji, "Collision Avoidance for Mobile Robot with Omnidirectional Image Sensor (COPIS)", Proceedings IEEE the International Conference on Robotics and Automation, pp.910-915, Sacramento, (April 1991).

(12) 八木康史, 川戸慎二郎, 辻三郎: "全方位視覚センサ COPIS を用いた衝突回避", 電子情報通信学会論文誌, vol.J74-D-II, no.7, pp.926-932, (1991).