画像処理による無人搬送車の位置と方位の測定[†]

広 瀬 武 志*

Measurement of Location and Orientation of Vehicle by Image Processing

Takeshi HIROSE*

An onboard measuring system of the location and orientation of an autonomous vehicle is presented in this paper. This system estimates the location and orientation of the vehicle on the real time basis, and by using this system, the accumulated error of the dead reckoning can be corrected.

The system consists of an onboard TV camera, signposts, a signpost detector and a microcomputer. The signpost are vertical cylinders and are put along the routes of the vehicle. Bar code patterns are printed on them. The signpost detector is composed of hard-wired logic circuits, and it can detect two signpost patterns in the field of view. The distances between the vehicle and two signposts are evaluated from their pattern widths in the image, and the microcomputer calculates the location of the vehicle on the fixed reference frame by the triangulation. The signpost detector also evaluates the relative angle between the signpost and the vehicle from the lateral position of the pattern in the image, and from this angle, the orientation of the vehicle is calculated.

Through the experiment, it was shown that the accurate location and orientation of the vehicle are obtained by this system. The processing time is 50 ms and is enough for navigation of autonomous vehicles.

Key Words: real-time image processing, navigation of autonomous vehicle, locating system, triangulation

1. ま え が き

無人搬送車の経路誘導法としては、ケーブルや光反射テープを走行コースに敷設し、これに沿って誘導す

る方式が主流を占めている。しかし、これらの方式は頻繁なラインのレイアウト変更に対応できないし、床を工事することができない現場や、高荷重の搬送車や油を使用するためにケーブルやテープの破損や汚染の恐れのある現場では使用できない。そこで、超音波燈台¹⁾、レーザー燈台^{2),3)}、スリットパターン⁴⁾、スポットマーク⁵⁾やコーナキューブ⁶⁾などの地上設備を使用して位置や方位を測定したり、コースを指示する方式が開発された。しかし、これらの方式も複雑なコースのレイアウトが実現しにくい、地上設備で管理できる範囲が狭い、地上設備や車載装置への投資が大きいなどの欠点がある。

これらの欠点を解消するために、推測航法によって自分の位置を知り、経路を自分で程度決定することのできる自律走行式の無人搬送車の研究が行われてきた。推測航法自体はすでに確立された技術で、光ファイバジャイロなどの高精度のセンサを使用すれば、精度の良い位置決めが可能である。しかし、無人搬送車には経済性の面から、安価なロータリエンコーダ⁷⁾やガスレートジャイロなどを使用しているものが多い。これらのセンサのみを利用した推測航法では、測定誤差が累積することは避けられず、これを補正する装置と組合せて使用する必要がある。

本論文は、この推測航法による位置と方位の測定誤差を較正する手法に関するものである。これまでに提案されたこの種の手法としては、コース上に適当な間隔で設置された幾何図形、光反射板、磁性体板などのランドマークを利用するものがある。ただし、この種の手法ではランドマークの上とか近くを通過しないと測定できないので、推測航法の精度が悪いとランドマークを捕捉できない。そこで、最近では位置確認のためのランドマークのかわりに、既存の環境物を利用する手法が数多く研究されている。たとえば、画像処理によって外部環境の特徴ある情景や物体を認識する手法⁸⁾⁻¹¹⁾、超音波を発射して環境からの反射波を利用す

[†] 第30回自動制御連合講演会で発表 (1987・10)

* 機械技術研究所 つくば市並木 1-2

* Mechanical Engineering Laboratory, Tsukuba
(Received November 21, 1989)
(Revised January 21, 1991)

る手法^{12),13)}、センサによって天井の蛍光灯を検出する手法¹⁴⁾などがある。これらの手法と推測航法を組合せれば比較的柔軟な自律走行が実現できるが、計算機による認識を前提としているため、使用環境がさまざまな仮定を満たす必要がある。さらに、環境の状態によっては位置決めの信頼性が低い、レイアウト変更による計算機の照合パターン変更に手間を要する、車載の測定装置が高価であるなどの問題点が多く、まだ研究段階を脱していない。

ここでは、推測航法による位置と方位の測定誤差を較正する手法として、ランドマークとしてコース上に設置した一対のサインポストを画像計測し、三角測量で位置と方位を測定する手法を提案する。サインポストを置き、画像処理によって各種ロボットの位置決めを行うという手法は従来から数多く研究⁴⁾されているが、計算機のソフトウェア処理を行うものが多く、画像処理専用の計算機を必要とし、処理時間も長い。これに対してこの手法は、30数種類のサインポストを使用しているにもかかわらず、特殊なパターンを用いることでサインポストの種類の認識や大きさなどの計測を専用のハードウェアで高速に処理することができる。したがって、車載の計算機は三角測量の計算だけをすればよい。そのため、処理時間が非常に短いため、障害物認識や誘導制御、運行管理などに車載計算機を集中させることができる。また、サインポストを捕捉できる範囲が広い、較正を希望する場所で精度の良い測定ができる、地上設備、車載設備ともに簡単で安価である、ラインのレイアウト変更柔軟に対応できるという特長をもっている。

本論文は以下のように構成される。第2章では測定原理を述べる。つぎの第3章ではこれに基づいて製作した測定装置を説明する。最後に第4章で製作した装置を用いて行った実験の結果を示す。

2. 測定原理

測定は三角測量の原理による。すなわち、既知の2点と車両の間の距離を測定すれば、車両の位置を知ることができる。さらに、車両から見たそれらの点の方位から、車両の絶対座標上の方位がわかる。以下、これを順を追って説明する。Fig. 1に示すように搬送車の現在位置である点Aからコース上に設置した目標の2点LとRまでの距離 L_L , L_R 、点AとLおよびRを結ぶ線と搬送車の縦方向中心線 C・V とのなす角度 θ_L , θ_R が測定できる。このとき、2点の絶対座標上の位置 $L(X_L, Y_L)$, $R(X_R, Y_R)$ が既知ならば、搬送車の絶対座標上の位置と方位 (C・V と X 軸とがなす角

Fig. 1 Measuring method of location and orientation

度) が求められる。同図において、Lを原点としてLRの延長線をx軸、これに直交する軸をy軸と仮定すると、点Aのxy座標上の位置 (x_A, y_A) は、Lを中心とする半径 L_L の円である(1)式と、Rを中心とする半径 L_R の円である(2)式との交点として求められる。すなわち、

$$x^2 + y^2 = L_L^2 \quad (1)$$

$$(x - L_D)^2 + y^2 = L_R^2 \quad (2)$$

ここで、 L_D はLとRとの間隔で

$$L_D = \sqrt{(x_L - x_R)^2 + (y_L - y_R)^2} \quad (3)$$

(1)、(2)式から交点 x_A を求めると

$$x_A = \frac{L_L^2 - L_R^2 + L_D^2}{2L_D} \quad (4)$$

(4)式を(1)式に代入して求めた y_A は正、負の値となるが、座標軸の設定方向から負の値となるので

$$y_A = -\sqrt{L_L^2 - x_A^2} \quad (5)$$

x軸とC・Vとの間の角度 ϕ_A は x_A , y_A , θ_L から $x_A \geq 0$ のとき

$$\phi_A = \pi - \arctan\left(\frac{-y_A}{x_A}\right) - \theta_L \quad (6)$$

$x_A < 0$ のとき

$$\phi_A = -\arctan\left(\frac{-y_A}{x_A}\right) - \theta_L \quad (7)$$

A点の絶対座標上の位置 X_A , Y_A , X軸とC・Vとの間の角 Φ_A は、それぞれ座標変換の公式から、

$$X_A = x_A \cos \alpha - y_A \sin \alpha + X_L \quad (8)$$

$$Y_A = y_A \cos \alpha + x_A \sin \alpha + Y_L \quad (9)$$

$$\Phi_A = \alpha + \phi_A \quad (10)$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{X_L - X_R}{Y_L - Y_R}\right) \quad (11)$$

のように求められる。

実際にはこの目標点として、数十種類のバーコードを描いた円柱（以後、これをサインポストと称する）を用いた。これらの異なる種類の 2 本を一对として組合せて走行コースの各所に設置する。このとき、そのサインポスト対の種類の組合せと絶対座標位置をあらかじめ計算機に入力しておく。搬送車上に固定した TV カメラで進路前方の情景を撮像する。その映像信号を直接時間微分し、正極性のエッジを実時間で抽出する。このエッジの時間間隔を測定し、サインポストを描いたバーコードから生じる正極性エッジの間隔のパターンに一致するものをサインポストとして認識し、その種類を判別する。1 画面中に 2 個の異なる種類のサインポストを認識したとき、それぞれの垂直方向の画像幅および認識したときの走査線の番号を測定する。これらの測定値を計算機に入力し、画像幅から距離 L_L , L_R , 走査線番号から角度 θ_L , θ_R を求める。また、検出されたバーコードの組合せから設置場所 (X_L, Y_L) , (X_R, Y_R) を検索し、前述の計算式にこれらの値を代入して、位置と方位を計算する。

3. 測定装置

位置と方位の測定装置は地上設備としてサインポスト、車載装置として TV カメラ、ワイヤード・ロジックで組んだサインポスト検出装置および計算機で構成される。以下に各装置の詳細を説明する。

3.1 サインポスト

Fig. 2 に示すような直径 60 mm, 高さ 60 cm の円柱に、白黒の縞模様を描いたものをサインポストとして使用する。この縞模様は下から上に見て黒から白に変化する点が 6 か所で、その変化点の間隔の比が 1 と 2 の組合せになっている。また、その全間隔長 W は

Fig. 2 Signpost

Table 1 Signpost type

No.	A	B	C	D	E	A/B	B/C	C/D	D/E
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	1	1	1	1/2
3	1	1	1	2	1	1	1	1/2	2
4	1	1	1	2	2	1	1	1/2	1
5	1	1	2	1	1	1	1/2	2	1
6	1	1	2	1	2	1	1/2	2	1/2
7	1	1	2	2	1	1	1/2	1	2
8	1	1	2	2	2	1	1/2	1	1
9	1	2	1	1	1	1/2	2	1	1
10	1	2	1	1	2	1/2	2	1	1/2
11	1	2	1	2	1	1/2	2	1/2	2
12	1	2	1	2	2	1/2	2	1/2	1
13	1	2	2	1	1	1/2	1	2	1
14	1	2	2	1	2	1/2	1	2	1/2
15	1	2	2	2	1	1/2	1	1	2
16	1	2	2	2	2	1/2	1	1	1
17	2	1	1	1	1	2	1	1	1
18	2	1	1	1	2	2	1	1	1/2
19	2	1	1	2	1	2	1	1/2	2
20	2	1	1	2	2	2	1	1/2	1
21	2	1	2	1	1	2	1/2	2	1
22	2	1	2	1	2	2	1/2	2	1/2
23	2	1	2	2	1	2	1/2	1	2
24	2	1	2	2	2	2	1/2	1	1
25	2	2	1	1	1	1	2	1	1
26	2	2	1	1	2	1	2	1	1/2
27	2	2	1	2	1	1	2	1/2	2
28	2	2	1	2	2	1	2	1/2	1
29	2	2	2	1	1	1	1	2	1
30	2	2	2	1	2	1	1	2	1/2
31	2	2	2	2	1	1	1	1	2

50 cm に統一されている。5 個の縞の間隔の比が 1 と 2 で構成されるバーコードは 31 種類あり、その種類番号を Table 1 に示す。これらの 2 本のサインポストを一对として組合せ、コース上の位置と方位を校正したい場所に設置する。設置したサインポストの組合せおよび絶対座標位置を前もって車載の計算機に入力しておく。

3.2 TV カメラ

TV カメラは Fig. 3 に示すように、搬送車の縦方向中心 C・V とカメラの光軸が重なるように設置する。機種は池上通信機製 CTC-2600 A 型白黒カメラ、順次走査方式で、走査の方向は主走査を下から上の方に、副走査を左から右の方向に行う。縦横比は縦 1 : 横 2 として横方向の視野を広げてあるので、12.5 mm の広角レンズを使用すると、距離 3 m での横方向の視野は 3.4 m、縦方向は 1.7 m となる。

3.3 サインポスト検出装置

Fig. 4 に回路構成を示し、以下に各部を説明する。

Fig. 3 Onboard TV camera

(1) 前処理部

映像信号をCR回路で直接時間微分する。この微分信号を増幅した後、コンパレータによって適当な電圧レベルでスライスし、走査の方向に輝度が暗から明へ変化する点（正極性エッジ）を抽出する。抽出された変化点はエッジ間隔測定部に使用されている 20 MHz

発振器に同期させ、なおかつその 1 周期の幅 (50 ns) をもつパルスに波形整形する。Fig. 5 の (a), (b), (c) は前処理過程の映像で, Fig. 4 にその観測部分を (a), (b), (c) で示してあるが, (a) はビデオ信号, (b) は微分信号, (c) はエッジ信号である。(d) はこのエッジ画像中の計測対象を示したものである。

(2) エッジ間隔測定部

エッジ部分でカウンタ A を 1 にプリセットし、つぎのエッジまでの時間間隔を 20 MHz 発振器の出力パルスを計数して測定する。このカウンタ A の計数値はつぎのエッジ信号でプリセットされる直前にシフトレジスタ A に転送される。このとき、シフトレジスタ A, B, C, D の元の値も、つぎのシフトレジスタに順次に転送される。すなわち、シフトレジスタ A, B, C, D, E には連続する 6 個のエッジ列の時間間隔が記憶される。

(3) サインポスト種類抽出部

連続する 6 個のエッジの時間間隔を調べ、サインポストに設定したエッジ列の時間間隔のパターンを抽出する。まず、シフトレジスタ A, B の値から、 $k=1$

Fig. 4 Block diagram of the signpost detector

(a) Video image

(b) Differentiated image

(c) Edged image

(d) Measuring dimensions

Fig. 5 Image preprocess for the signpost detection

または $1/2$ または 2 のとき, つぎの不等式が成立するか否かを調べる.

$$|A - kB| \leq \Delta A \quad (12)$$

比較の許容値 ΔA は $(1/8)A$ に設定した. エッジ列信号で値がシフトされるごとに (12) 式を満たす k の値を調べる. (12) 式を満たす k の値がないときには, $k = \times$ とする. 5 個の連続するエッジ間隔を比較したときに得られる 4 個の k の数列と, Table 1 のバーコードの種類による k の数列とのパターンマッチングを行う. 1 画面上で最初に一致した k の数列を左のサインポスト L, つぎに一致した L と種類の異なるものを

右のサインポスト R として認識し, その種類番号を出力する.

(4) 画像幅測定部

認識されたサインポストの画像幅は, サインポストが検出された瞬間のシフトレジスタ A, B, C, D, E の値を加算 (加算値 s) することで求められる. ただし, サインポストの横幅の分だけ, 同じサインポストが数本の走査線に連続して抽出される. これらの平均値を用いたほうが精度よい測定ができると考えられるので, 同じ種類のサインポストが検出されている間は画像幅 s を積算し, その検出された回数をカウンタで計数する. この計数値を左右のサインポストについてそれぞれ C_L, C_R , 積算値を S_L, S_R とする.

(5) 位置測定部

認識されたサインポストの画像上の水平位置を測定するために, 走査線の番号をカウントする. H. D カウンタを垂直同期パルスでリセットし, それ以外のときには水平同期パルスを計数させ, サインポストが認識されたときの計数値を記憶する. ただし, 前述のようにサインポストは数本の走査線に連続して抽出されるので, サインポストの中心位置を測定するために, サインポストの左端 N_S と右端 N_E の走査線番号を検出してその和を求める. この値を左右のサインポストについてそれぞれ N_L, N_R とする.

3.4 計算機

画像処理装置の測定データから, 位置と方位角を計算する. 計算機は NEC 製 PC-9801 VX (数値演算コプロセッサ付き) で, 画像処理装置の測定データをダイレクト・メモリー・アクセス方式で直接取り込む. 位置と方位の計算プログラムは BASIC 言語で記述し, 中間言語にコンパイルした.

まず, N_L, N_R の値から θ_L, θ_R を計算する. 走査線 481 本分の横方向視角を β とすると

$$\theta_L = \arctan\left(\frac{482 - N_L}{2} \Delta D\right) \quad (13)$$

$$\theta_R = \arctan\left(\frac{N_R - 482}{2} \Delta D\right) \quad (14)$$

$$\Delta D = \frac{1}{240} \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (15)$$

である. つぎに, S_L, S_R, C_L, C_R からサインポストまでの距離 L_L, L_R を次式で計算する. K は TV カメラからサインポストまでの距離と画像幅との変換係数である.

$$L_L = K \frac{C_L}{S_L} \quad (16)$$

$$L_R = K \frac{C_R}{S_R} \quad (17)$$

つぎに、 L と R から、前もって計算機に入力しておいたサインポストの絶対座標上の位置データ (X_L, Y_L) , (X_R, Y_R) を検索する。これらの値を(3)式から(11)式に代入して X_A, Y_A, ϕ_A を求める。

なお、TV カメラの画像歪を補正するため、測定範囲内の光軸方向を 25 cm きざみ、光軸に垂直方向を 2.5 cm きざみにサインポストを移動させ、各点で走査線番号と画像幅を測定する。この測定値と、幾何学的に計算した各点の走査線番号と画像幅の値とを比較して、画像歪による測定誤差補正関数を求め、計算機にプログラムしておく。そして、測定された N_L, N_R, L_L, L_R を計算機上で誤差補正する。

4. 実験結果

製作した装置を使用した実験において、走行路面に天井の蛍光灯などが映ることによって生じたエッジ列を、サインポストとして頻繁に誤認識した。誤認識が生じると、間違った位置と方位を出力することもあるので、その影響を防ぐために、(3)式の L_D と測定データから計算したサインポストの間隔 L_G

$$L_G = \sqrt{L_L^2 + L_R^2 - 2L_L \cdot L_R \cos(\theta_L + \theta_R)} \quad (18)$$

を比較し、それぞれの値が大きく異なるときには誤認識として、その測定データを廃棄する。

サインポストからの距離と方位をいろいろに変えて、位置と方位角を測定した。サインポスト対を絶対座標上の $L(0, 0.6)$, $R(0, -0.6)$ に固定し、原点から一定の距離 ($r=2.0$ m, 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m) で、 X 軸に対して角度 θ が $0^\circ, \pm 15^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ, \pm 75^\circ$ である各点を前もって測っておき、その点に TV カメラから下ろした重錘を合せ、TV カメラの光軸を原点に合せて設置する。その各点で 30 回ずつ測定を行い、 X, Y 位置と方位角 ϕ の平均値 m と標準

偏差 σ を求め、真値 t (TV カメラの設定位置および設定角度) からの誤差 $e=t-m$ を計算した。これを Table 2 に示す。さらに、 $r=3.5$ m で、角度 θ が $0^\circ, \pm 15^\circ, \pm 30^\circ, \pm 45^\circ, \pm 60^\circ, \pm 75^\circ$ である 11 地点を出発点を選び、原点に向かって搬送車をほぼまっすぐ移動させながら測定した位置データを、Fig. 6 に示す。

これらの測定データから、 r が大きくなるほど、また θ が大きくなるほど測定値のばらつきや測定誤差は大きくなること、また θ が 60° 以上での測定値は信頼性が低いことがわかる。このことから、サインポストをコースの路側にコースと平行に設置するよりは、コースの両側に直角に設置するほうがよいことがわかる。搬送車は推測航法によって、コースをはずれないようにある程度は制御されているので、サインポストをコースの両側に設置すれば、 θ は $0^\circ \pm 10^\circ$ の範囲内に収まると考えてよい。また、搬送車がサインポスト対の中間を通るように制御されるとすると、サインポスト対に近づくほど θ は 0° に近づくので、精度の良い範囲のデータのみを使用することができる。

ただし、実際に搬送車を誘導する場合、最も精度が要求されるのは作業ステーションでの停止位置精度であって、走行中の位置精度は ± 5 cm 程度ならば何も問題はないのが普通である。したがって、走行中でも θ が 60° ぐらいまでは使用できる。

この装置によって測定可能な距離の範囲は、サインポストの種類によって多少異なるが、上限が約 4 m、下限が約 1.5 m である。測定範囲の下限はエッジの間隔を測定するカウンタがオーバーフローするか、サインポストが視野内に入りきれない距離で決まる。サインポスト検出装置は画像を実時間で処理できるが、計算機によるデータ処理に 16 ms を要する。1 画面の走

Fig. 6 Plot of measured positions

Table 2 The observation errors of X , Y and ϕ X, Y : cm ϕ : degree

r	200 cm						250 cm					
	Y		X		ϕ		Y		X		ϕ	
	m t	σ e	m t	σ e	m t	σ e	m t	σ e	m t	σ e	m t	σ e
0°	0.4 0	0.6 -0.4	-200.2 -200	0.2 +0.2	0.3 0	0.3 -0.3	0.7 0	1.2 -0.7	-250.3 -250	0.3 +0.3	-0.3 0	0.3 +0.3
15°	-53.7 -51.8	0.8 +1.9	-192.8 -193.2	0.2 -0.4	15.3 15	0.3 -0.3	-66.9 -64.7	0.9 +2.2	-241.1 -241.5	0.3 +0.4	15.6 15	0.2 -0.6
-15°	52.6 51.8	0.6 -0.8	-193.0 -193.2	0.3 -0.2	-15.5 -15	0.3 +0.5	65.6 64.7	0.9 -0.9	-241.6 -241.5	0.3 +0.1	-15.1 -15	0.3 -0.1
30°	-101.2 -100.0	0.9 +1.2	-172.7 -173.2	0.2 +0.5	30.1 30	0.3 -0.1	-123.1 -125.0	0.8 -1.9	-217.0 -216.5	0.3 +0.5	29.7 30	0.2 +0.3
-30°	101.1 100.0	0.5 -0.1	-172.9 -173.2	0.4 -0.3	-30.8 -30	0.2 +0.8	124.5 125.0	1.3 +0.5	-216.7 -216.5	0.5 +0.2	-29.9 -30	0.4 -0.1
45°	-141.0 -141.4	0.6 -0.4	-141.7 -141.4	0.4 +0.3	44.6 45	0.2 +0.4	-174.0 -176.8	0.6 -2.8	-178.5 -176.8	0.5 +1.7	44.5 45	0.2 +0.5
-45°	143.7 141.4	0.4 -2.3	-139.7 -141.4	0.4 -1.7	-46.6 -45	0.2 +1.6	177.5 176.8	0.8 +0.7	-175.5 -176.8	0.8 -1.3	-45.5 -45	0.3 +0.5
60°	-174.2 -173.2	0.8 +1.0	-98.2 -100.0	1.0 -1.8	60.4 60	0.3 -0.4	-215.2 -216.5	2.2 -1.3	-126.5 -125.0	2.6 +1.5	59.9 60	0.7 +0.1
-60°	175.5 173.2	0.5 -2.3	-97.3 -100.0	0.9 -2.7	-61.9 -60	0.6 +1.9	217.6 216.5	1.4 -1.1	-123.1 -125.0	1.7 -1.9	-60.7 -60	0.7 +0.7
75°	-195.6 -193.2	0.8 +2.4	-42.2 -51.8	2.7 -9.6	77.1 75	0.6 -2.1	-240.4 -241.5	1.7 -1.1	-66.7 -64.7	4.6 -2.0	74.8 75	1.0 +0.2
-75°	196.2 193.2	0.5 -3.0	-42.3 -51.8	1.7 -9.5	-79.8 -75	0.7 +4.8	242.6 241.5	0.9 -1.1	-60.8 -64.7	3.2 -3.9	-76.2 -75	1.1 +1.2

r	300 cm						350 cm					
	Y		X		ϕ		Y		X		ϕ	
	m t	σ e	m t	σ e	m t	σ e	m t	σ e	m t	σ e	m t	σ e
0°	-0.1 0	1.7 +0.1	-300.4 -300	3.9 +0.4	-0.0 0	0.4 0	0.4 0	3.5 -0.4	-349.5 -350	0.7 -0.5	-0.2 0	0.6 +0.2
15°	-81.1 -77.6	2.6 +3.4	-289.7 -289.8	0.4 -0.1	15.7 15	0.5 -0.7	-93.7 -90.6	2.7 +3.1	-336.8 -338.1	0.6 -1.3	15.6 15	0.4 -0.6
-15°	78.9 77.6	1.5 -1.3	-289.7 -289.8	0.3 -0.1	-15.3 -15	0.3 +0.3	91.3 90.6	3.9 -0.7	-337.2 -338.1	1.5 -0.9	-15.1 -15	0.8 +0.1
30°	-146.8 -150.0	2.1 -3.2	-262.6 -259.8	0.9 +2.8	29.3 30	0.4 +0.7	-175.7 -175.0	2.7 +0.7	-302.4 -303.1	1.3 -0.7	30.2 30	0.5 -0.2
-30°	149.8 150.0	1.7 +0.2	-261.6 -259.8	0.7 +1.8	-30.0 -30	0.4 0	176.9 175.0	3.2 -1.9	-302.4 -303.1	2.0 -0.7	-30.3 -30	0.7 +0.3
45°	-208.5 -212.1	1.9 -3.6	-216.8 -212.1	1.3 +4.7	44.0 45	0.3 +1.0	-244.0 -247.5	3.3 -3.5	-249.8 -247.5	2.5 +2.2	44.5 45	0.6 +0.5
-45°	214.8 212.1	1.3 -2.7	-211.6 -212.1	1.3 -0.5	-45.7 -45	0.5 +0.7	250.7 247.5	3.1 -3.2	-244.4 -247.5	2.7 -3.1	-45.8 -45	0.7 +0.8
60°	-259.1 -259.8	3.2 -0.7	-154.1 -150.0	4.3 +4.1	59.5 60	0.9 +0.5	-306.2 -303.1	3.5 +3.1	-169.7 -175.0	5.1 -5.3	61.0 60	0.9 -1.0
-60°	262.2 259.8	2.1 -2.4	-149.1 -150.0	3.2 -0.9	-60.5 -60	0.9 +0.5	303.4 303.1	3.0 -0.3	-173.7 -175.0	4.2 -1.3	-60.3 -60	1.0 +0.3
75°	-289.9 -289.8	2.2 +0.1	-80.8 -77.6	7.3 +3.2	74.7 75	1.2 +0.3	-338.5 -338.1	4.2 -0.4	-87.2 -90.6	13.5 -3.4	75.6 75	2.0 -0.6
-75°	292.8 289.8	1.9 -3.0	-73.1 -77.6	7.7 -4.5	-76.3 -75	2.0 +1.3	340.8 338.1	2.4 -2.7	-78.7 -90.6	7.6 -11.9	-77.6 -75	1.6 +2.6

 $t: X=r\cos\theta, Y=r\sin\theta, \phi=\theta, m$: mean value, σ : standard deviation, $e: t-m$ (error).

査には 1/30 s かかるので、測定時間は約 50 ms である。ただし、サインポスト検出と計算機の処理は並列に行うので、ほぼリアルタイムで位置と方位の測定が可能である。

5. あとがき

この処理装置は 1 画面中に 2 種類以上のサインポストのエッジ間隔パターンがあっても、左から順に 2 種類だけしか認識しないので、設定したサインポスト対を見逃すこともある。これを防ぐ方法として、1 画面中のすべてのサインポストのデータを取り込み、サインポスト設置位置を記録したマップと推測航法による現在位置と方位から、見える可能性のあるサインポストの組合せを検索し、それと同じ組合せの測定データだけを使用する方法が考えられる。

走行コースは平坦であることを前提としている。もし、走行路の凹凸や傾きによって搬送車がローリング運動をすると、バーコードを走査線が斜めに切るので、画像幅の測定精度に影響を及ぼす。さらにロール角が大きくなると、バーコードが走査線からはみ出し、測定不能になる。

光を用いた測定法では逆光とか影などが、また画像のエッジを利用する場合にはエッジ抽出のスライスレベルの設定が常に問題となる。一般に、搬送車は屋内で使用されることが多いので、照明によって逆光とか影は防げるし、照度を一定にすればスライスレベルは固定したままでよい。別の方法として、蛍光灯を使用した自照式のサインポストを試みたが、バーコードのコントラストが強まり、スライスレベルを高く設定できるので、誤認識の減少、測定精度の向上に役立つことが確認できた。

本論文で述べた手法は画像処理手法による車間距離の測定方法¹⁵⁾を応用したもので、搬送車の位置と方位の精度の高い測定を実現することができた。装置としては、地上設備として簡単なサインポストを設置するだけであり、車載装置も TV カメラ、論理 IC を組

合せたサインポスト検出装置およびマイコンのみであるので、安価なシステムが構成できる。また、処理時間も 50 ms と高速である。さらに、サインポストの設置が簡便なために、コース変更にも柔軟に対応できる。したがって、本手法は無人搬送車の位置と方位の校正手法として十分実用的である。

参考文献

- 1) 新井, ほか: 移動車搭載型位置方向計測装置の開発と性能評価, 計測自動制御学会論文集, **18-10**, 1013/1020 (1982)
- 2) 越智達之: 線対称な旋回 レーザ光を用いた移動ロボットの位置検出システム, 日本ロボット学会誌, **5-5**, 339/341 (1987)
- 3) 津村, ほか: レーザ燈台を用いた移動体の位置・方位測定法, 日本ロボット学会誌, **2-6**, 557/565 (1984)
- 4) 中村達也: 移動ロボット位置測定のためのスリット符号検出法, 計測自動制御学会論文集, **17-4**, 492/498 (1981)
- 5) 鈴木, ほか: スポットマーク式走行ロボット, 第 3 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 123/124 (1985)
- 6) 津村, ほか: レーザとコーナキューブを利用した 3 次元移動体の能動位置計測法, 日本ロボット学会誌, **6-1**, 26/34 (1988)
- 7) S. Tsugawa: Traveling Path Measurement for Navigation of Robot Rover by Precise Counting of Wheel Revolutions, ACTA IMEKO 1985, **5**, 41/48 (1986)
- 8) 八木, ほか: 動画画像処理を用いた移動ロボットの環境認識, 電子通信学会論文誌, **J69-D-6**, 967/974 (1986)
- 9) 亀島, ほか: 再帰型画像処理機構を用いた移動ロボットの視覚誘導, 日本ロボット学会誌, **5-5**, 343/350 (1987)
- 10) 坪内, ほか: 移動ロボットのための地図を用いる視覚システムによる現在位置の推定法, 第 4 回知能移動ロボットシンポジウム講演論文集, 229/234 (1988)
- 11) 森, ほか: 構内道路を走行する自律移動ロボット, 日本ロボット学会誌, **5-5**, 361/373 (1987)
- 12) 小森谷, ほか: 移動ロボットの自律誘導の一方法, 日本ロボット学会誌, **2-3**, 222/231 (1984)
- 13) 松本, ほか: 経路地図に従った移動ロボットの自律走行システム, 日本ロボット学会誌, **5-5**, 351/360 (1987)
- 14) 橋野, ほか: 蛍光灯センサと全方向移動車への応用, 第 3 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 119/120 (1985)
- 15) 広瀬, ほか: パターン認識手法を用いた車間距離の測定, 計測自動制御学会論文集, **14-5**, 572/578 (1978)