

白線認識を利用した無人搬送車における走行監視と 障害物回避の一方式†

チャムノンタイ コーシン†† 石川 繁 樹††† 小 沢 慎 治††

筆者らはこれまでに白線認識による無人搬送車の視覚誘導方式^{14)~16)}を提案してきた。本方式はテレビカメラからの入力画像と、システムが持っている画像上における白線の出現可能なパターン(直線, 2分岐, 3分岐, 合流等)とのマッチングをとりながら走行するものである。正しくないパターンを認識した時には障害物である可能性が高いとして、搬送車を停止させるものである。本論文は、あらかじめMAPから得られた走行経路に基づいてパターンの出現順序を予測し、これらのパターンの遷移から走行状況をモデル化することにより走行監視を行うものである。これによって、画像の出現可能なパターンに誤って一致してしまった異常なパターンを検出し、MAPより決定された経路を正しく走行することができる。また、障害物を検出し搬送車を停止させた後、障害物迂回のアプローチとして、白線が直線である場合の障害物迂回の手法について検討した。本手法では、搬送車が停止している時に迂回経路を決定し、迂回走行する間に入力画像のパターンと予測されたものとを比較することにより周囲の環境を把握する。これによって搬送車は障害物を迂回し、MAPより決定した走行経路に戻るることができる。以上の方法につき行った実験の結果によって本方法の有効性が確認された。

1. ま え が き

近年、工場等での使用を目的とした産業用ロボットが盛んに研究開発されている。このうち、移動ロボットへの関心が高くなってきている。これは、工場内において、移動ロボットによる物品搬送の自動化に伴った、生産能力、生産効率向上への期待や、原子力発電所等、人間にとって危険な場所での作業の代行を目的としたものである。

搬送システムにおいて古くから、実用化された誘導ケーブルによる方式¹⁾のものがある。このほかにケーブルをテープに置き換えた方式^{2)~4)}、三角測量の原理の応用として周波数の異なる3つの光源を利用した光学的なもの^{5)~7)}、および、超音波のもの^{8)~9)}等、様々な研究が発表された。

移動ロボットの研究の目標は、人間と同様に、誘導するものなしで移動できる自律型移動ロボット、あるいは自動搬送システムの作成である。このうち、周囲の環境を把握するために最も有効であると考えられる視覚(画像)情報による誘導方式が従来から注目されている。これについて、様々な研究が発表された。例

として、通路に存在する障害物を検知するためのアプローチとしてのステレオ画像を利用した“Stanford Cart”¹⁰⁾、HerbertとKanade¹¹⁾の野外景色のためのレーザスキャナを利用した動画像システム、Waxmanら¹²⁾のRule-based reasoningを利用した誘導システム、Turk¹³⁾のMartin Marietta ALV上のビデオデータを利用した障害物検知の方法等、がある。

これらの視覚誘導による技術の研究は、自律走行のロボットについてのものであるため、多くのセンサを必要とする。これらのセンサによって高性能のロボットを作成できるが、コストが高い。これらに対して筆者らは安価で、かつ単純な処理で走行誘導できるものを目指して研究してきた。

筆者らは、視覚(画像)による移動ロボットの誘導方式として、工場等での使用を目的とした白線認識による無人搬送車の視覚誘導方式^{14)~16)}を提案してきた。本方式の白線認識による無人搬送車は誘導路として路面に敷設されている白線を搬送車の前方に設置されているテレビカメラで撮像し、白線誘導路に従って走行する。白線パターンとして直線、分岐、合流、交差点等を認識し、これらの結果から経路の選択、障害物との衝突回避等、の処理を行う。搬送車システムはこれらの走行処理を白線パターンの認識結果から行っていた。認識結果として白線パターンが正常でない場合、障害物が搬送車の前方に存在する可能性が高いとして搬送車を停止させることにより衝突を回避した。停止した時、路面上の模様や影等は、高さ情報を用い

† A Method of Monitoring Environment and Avoiding an Obstacle for Autonomous Vehicle Using White Line Recognition by KOSIN CHAMNONGTHAI (Faculty of Science and Technology, Keio University), SHIGEKI ISHIKAWA (Tokyo Research Laboratory, IBM Japan, Ltd.) and SHINJI OZAWA (Faculty of Science and Technology, Keio University).

†† 慶應義塾大学理工学部電気工学科

††† (株)日本アイ・ビー・エム東京基礎研究所

て障害物でないことが判定できる¹⁶⁾。

本論文では、従来の画像処理方法¹⁵⁾で得られる白線パターンの認識結果をさらに積極的に利用し、走行監視を行う方法を提案する。具体的には、従来システムではなかった Path Planner を組み込むことを考え、白線パターンを予測して障害物検出機能を高め、また、予測されるパターンから走行位置を把握する。これらに関して監視手法について論ずる。

また、障害物であることの検出ができた場合に、搬送車を停止させた後、障害物を迂回させる処理のアプローチとして、白線が直線である場合の障害物迂回の一手法を提案する。本手法では、搬送車が障害物を発見して停止した時、障害物を迂回するための道のりが画像情報より決定される。決定された道のりによって、搬送車が障害物を迂回する前に、走行中画像処理を行う度に切るステアリング角度を決定し、実現可能な画像パターンを予測する。搬送車が障害物を迂回する間に従来からの白線パターン認識の手法を用いて画像のパターンを認識する。その時、画像のパターンと予測された画像のパターンとの比較を行うことによって搬送車の位置を検知し、走行監視を行うことができる。

白線認識を利用した無人搬送車における走行監視の方法、および障害物迂回のアプローチとしての一手法の有効性を確認するために走行実験、および、計算機シミュレーションを行い、それらの結果について検討した。

2. 白線認識を利用した無人搬送車システム

本システムは図1に示すような構成である。光学系より入力された画像よりエッジを検出して、直線・カーブ・分岐・合流等の白線パターンを認識する。また、同時に白線の位置情報も抽出する¹⁵⁾。環境監視系では、これらの情報を用いて、障害物との衝突回避・迂回・分岐判断等の処理を行い、操舵系・駆動系を制御する。Path Planner は経路の MAP を持ち、走行経路を決定して、環境監視系に指示する。

以上の構成に基づいて、無人搬送車の実験システムを作成した¹⁴⁾。光学系として、テレビカメラからのビデオ信号を A/D 変換し、画像を 256×256、8 Bits のフレームメモリに蓄える。認識処理・走行処理・走行監視等のシステムはマイクロコンピュータ (CPU 8086 5 MHz) に構成されている。搬送機台は別に操舵・駆動の制御のための CPU を備えている。本シス

テム上では、画像1枚を入力して、認識・走行監視・操舵制御指令等の一連の処理は、約 300 ms で行われる。また、搬送車の走行速度は約 20 cm/s である。

3. 走行監視処理

監視系における処理には、(1)目的地に正しく到達するための走行誘導処理、そして(2)障害物を正しく

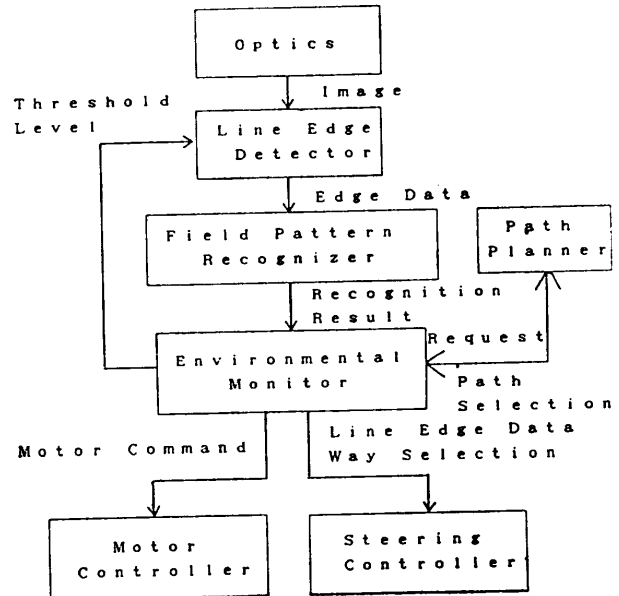


図1 視覚誘導システムの構成

Fig. 1 The construction of visually navigated vehicle system.

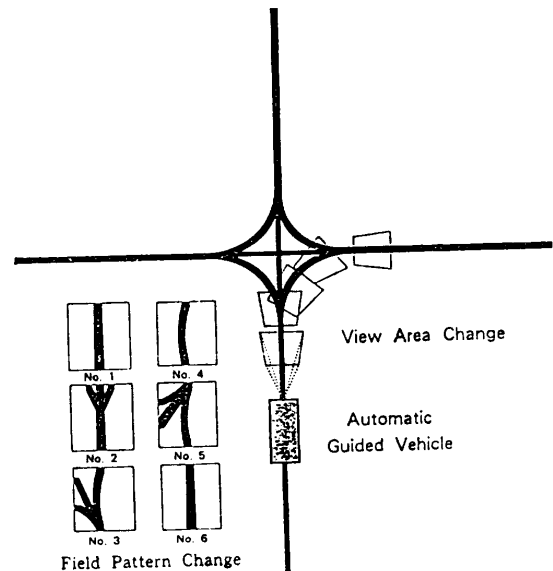


図2 搬送車の動作による視野変化

Fig. 2 Change of view area according to vehicle movement.

検出し、障害物を迂回する処理、がある。

本論文では、走行中の白線パターンの遷移に着目し、走行監視を行う方法について提案する。搬送車が走行する間、白線パターンは常に変化し、正常な状態では、このパターンの変化に一定の規則がある。例として、**図 2** に搬送車が分岐点で右に進む場合の入力画像の遷移を示した。Path Planner より指定された経路より、白線パターンを予測することができ、さらにこれらのパターンの変化を予測することができる。したがってこれらを監視すれば、搬送車の走行状況・位置等を把握することができると思われる。以下にその手法を述べる。

3.1 白線誘導路の構成と Path Planner の経路指示

本システムでは、**図 3** に示すような白線誘導路を想定している。このうち、誘導路において、分岐（合流）点を Node、分岐（合流）点間の誘導路を Path として定義する。出発・目的地は分岐（合流）の間の Path 上に存在するが、これらも Node として定義する。

また、Path Planner の経路指示結果としては、**図 3** に示すような、分岐点とそこでの進行方向を記述するものであり、これを監視系に転送する。

3.2 白線パターンの監視方法と走行管理

白線パターンの変化を監視するため、本システムで想定している白線誘導路を走行する状況を、**図 4(a)** に示すような状態遷移図を用いてモデル化した。この状態遷移図において、基本となる 6 つの状態がある。これらは、搬送車が現在どの Node に向かって走行

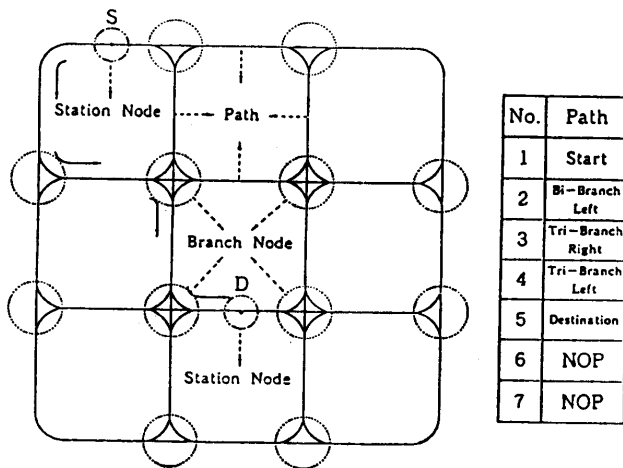


図 3 パスレーアウトと計画されたパスの一例
Fig. 3 An example of path layout and planned path.

しているかを示す状態である。例えば、S は Station Node に向かって進行している状態を示し、BBR は 2 分岐を右の誘導路選択して進行する状態を示す。それぞれの状態は分岐点の種類、および、進行方向によって分類されている。

これらの基本状態は、それぞれに副状態を持ち、副状態は各 Node の中で白線パターンの遷移をモデル化している。**図 4(b)** は例として、3 分岐を右に進む場合の副状態であり、その中で状態の遷移の過程を示している。**図 4(b)** において、TBR 0 の状態は搬送車が 3 分岐に向かっていている状態を表し、**図 2** における No. 1 で示される直線誘導路上を走行していることを示している。次の B 2 の状態は **図 2** における No. 2, 3 で示される分岐を右に進む状態を示している。これらの TBR 0 から B 2 への遷移は、白線認識結果の遷移であり、認識結果の変化によって起こる。最終的に、この Node を通過すると TBR 1 を経て、別の状態に遷移するが、これには Path Planner からの経路指示表の現在位置を示すポイントから参照される次の分岐点の指示によって、どの状態に遷移するかが決定される。分岐点における進路も、この表より参照されるが、進路選択は制御系へそのまま転送される。

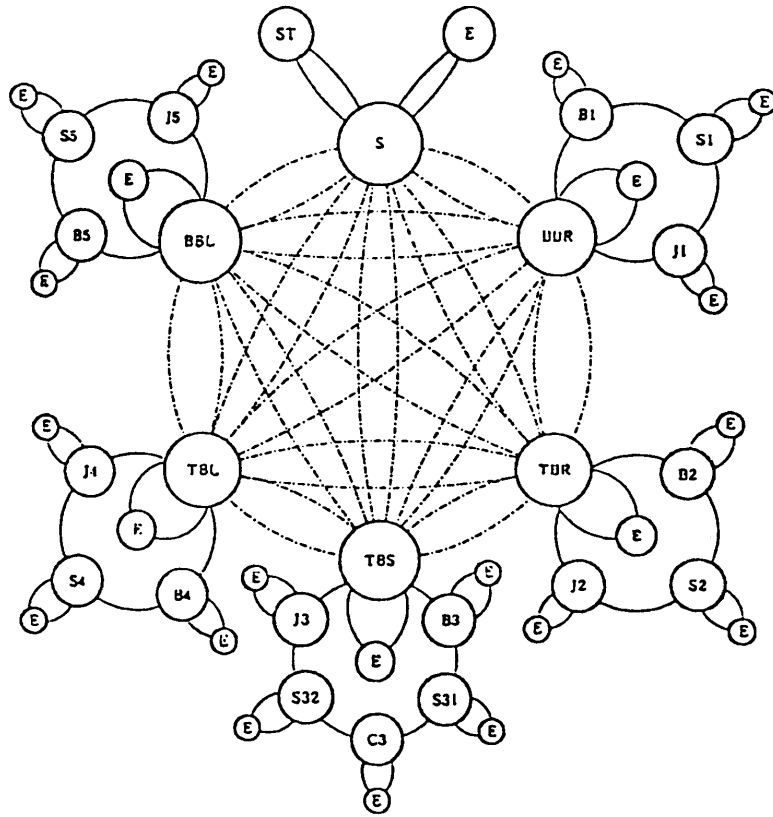
各状態には、E（エラー）という副状態があるが、これらは搬送車の走行に何らかの障害物が生じたことを示す状態で、通常、障害物を検出等の状況がこれに該当する。障害物の検出は、従来システムでは白線認識結果が異常を示した時のみ、障害物が視野内に存在する可能性が高いとして行っていた。ここでは状態遷移図から次に現れるはずの白線パターンを少数に限定できることから、起こり得ない白線パターンが認識された場合にも障害物の可能性が高いとして障害物検出処理を行うことによって信頼性を高めている。

以上のように、搬送車の走行状況をモデル化した状態遷移図を用いることにより白線パターンの監視と走行管理を行わせる。

4. 障害物の迂回¹⁷⁾

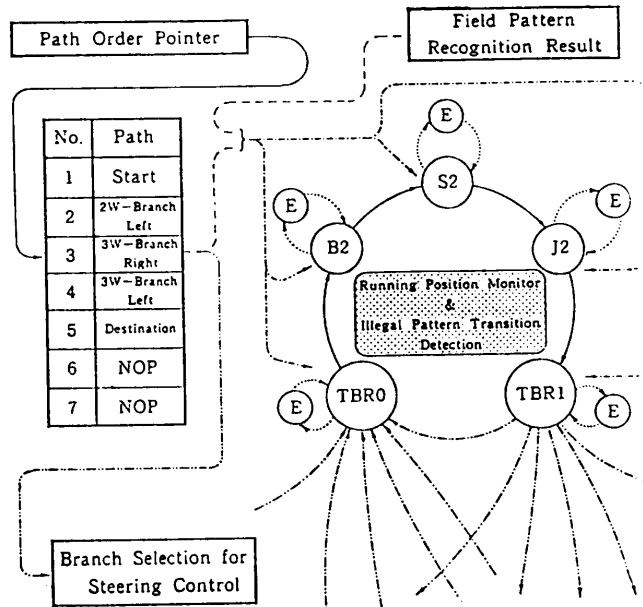
本章では、走行監視処理の状態遷移図におけるエラー状態のうち、直線誘導路上に障害物が存在して搬送車が停止した時の処理として、これを迂回する処理について述べる。

搬送車が障害物を迂回する処理は、(1)は搬送車



BBR: Running state of 2-way branch right. BBL: Running state of 2-way branch left.
 TBR: Running state of 3-way branch right. TBL: Running state of 3-way branch left.
 TBS: Running state of 3-way branch straight. S : Running state towards station node.
 E : Error state.

(a) 基本状態
 (a) Basic states.



(b) 部分状態
 (b) Substates.

図 4 視野パターンをモニタするための状態遷移図
 Fig. 4 State transition diagram for monitoring field pattern.

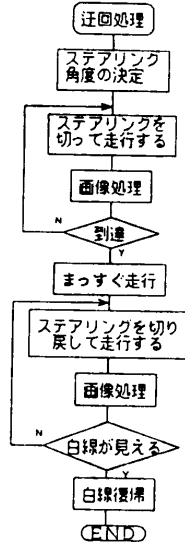


図5 迂回処理のフローチャート
Fig. 5 Flowchart of avoiding an obstacle.

が白線から離れて図6に示すような障害物の点0まで到達する処理、(2)白線復帰の処理、と分けて行われる。

図5のフローチャートに示すように、まず搬送車が障害物を迂回する前に、白線から離れるためのステアリング角度を決定する。本手法では、障害物の点0に接する円弧を、搬送車が障害物の点0に到達するまでの道のりとしてステアリング角度を決定する。決定されたステアリング角度で搬送車が障害物の点0まで走行する間に、従来の画像処理方式¹⁵⁾によって得られる画像のパターンとパターンの変化を利用して搬送車の走行を監視し、また搬送車の点0への到達を検知する。搬送車が点0に到達すると、ステアリングを直進状態に切り、ホイールベースと図6に示す of 間の距離だけ走行する。

次に搬送車が白線復帰の処理を行うが、画面に白線の画像が表れていないこと、および搬送車の向きが白線に向いていないことから、搬送車が白線に向くようにステアリングを切り戻して走行する。白線の画像が見えてきたら、白線復帰の処理を行う。本手法では図8に示すように白線に接する円弧を道のりとして搬送車のステアリング角度を決定する。搬送車は白線に復帰する間に、搬送車が白線から離れる時と同様に走行監視を行う。

4.1 白線から離れる時のステアリング角度の決定

白線から離れる時のステアリング角度を計算するには、まず、図6に示した画像上の点0を射影変換[付

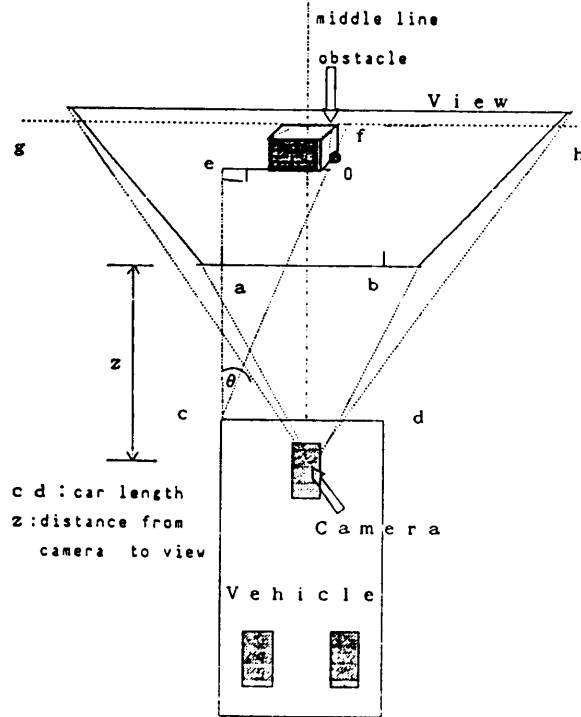


図6 障害物を迂回するための搬送車のステアリング角度
Fig. 6 Steering's angle for going around obstacle.

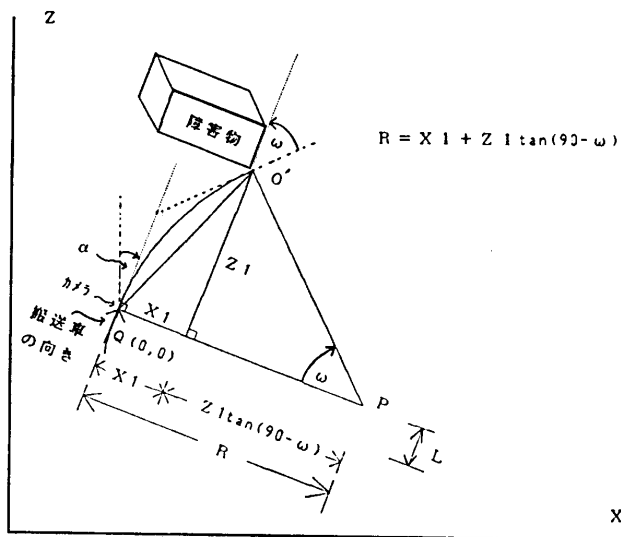


図7 障害物迂回のための道のりの決定
Fig. 7 The way for vehicle to avoid obstacle.

録1]してワールド座標における点0の空間座標(図7に示された点o')を求める。図7に示すように、搬送車を2輪車にモデル化して考える。搬送車と接し、カメラの位置と点o'を通る円弧を道のりとして考えると、ステアリング角度(theta)は

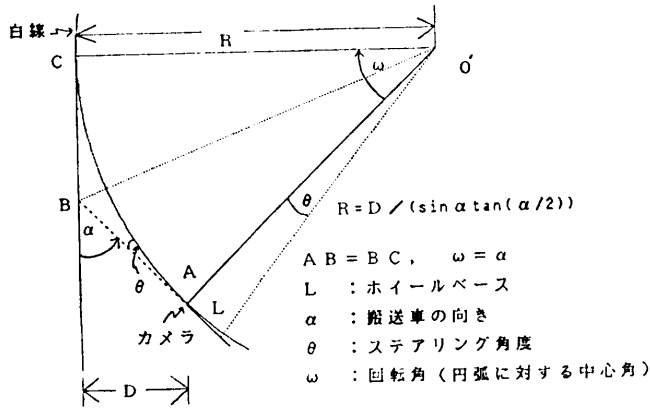


図 8 搬送車が白線に近づく道のり
 Fig. 8 The way for the vehicle moving to white line.

$$\theta_1 = \sin^{-1}((L\alpha) / (R\omega)) \quad (4.1.1)$$

である[付録 2].

ただし, L: ホイールベース

α : 搬送車の向き

R: 円弧の半径

ω : 円弧に対する中心角

4.2 白線復帰の時のステアリング角度の決定¹⁹⁾

搬送車が白線に復帰するためのステアリング角度を決定するには, まず, 白線エッジに対して射影変換を行い, ワールド座標における白線に対する搬送車の向き, および, 搬送車(カメラの位置)から白線までの距離を求める.

搬送車の向き α , および, カメラから白線までの距離 D は以下のように与えられる.

$$\alpha = \sin^{-1}(((b \cos \theta + aF \sin \theta) / F)) \quad (4.2.1)$$

$$D = (bY \cos \alpha - YF \cos \theta \sin \alpha) / (F \sin \theta) \quad (4.2.2)$$

ただし, θ : カメラの仰角

F: レンズの焦点距離

Y: カメラの高さ

a: イメージ座標における白線エッジの傾き

b: イメージ座標における白線エッジの x 軸接点

次に 4.1 節と同様に搬送車を 2 輪車にモデル化して, 図 8 に示すように白線と接し, カメラ位置を通る円弧を白線復帰の道のりとしてステアリング角度を計算する. 白線復帰のためのステアリング角度 (θ_2) は

$$\theta_2 = \sin^{-1}(L/R) \quad (4.2.3)$$

であると考えられる [付録 2].

ただし L: ホイールベース

No.	予測結果
1	ERROR RIGHT(LEFT)
2	NONE STRAIGHT
3	NONE LEFT(RIGHT)
4	NONE LEFT(RIGHT)
5	R(L) RIGHT(LEFT)

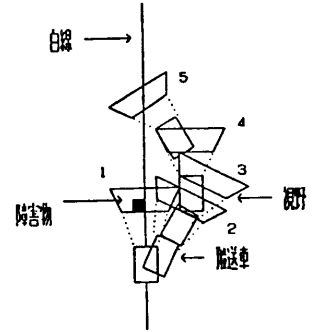


図 9 迂回経路と予測の画像のパターン
 Fig. 9 The path for avoiding an obstacle and vision's pattern.



図 10 (a) 走行監視の実験
 Fig. 10 (a) Navigation experiments.

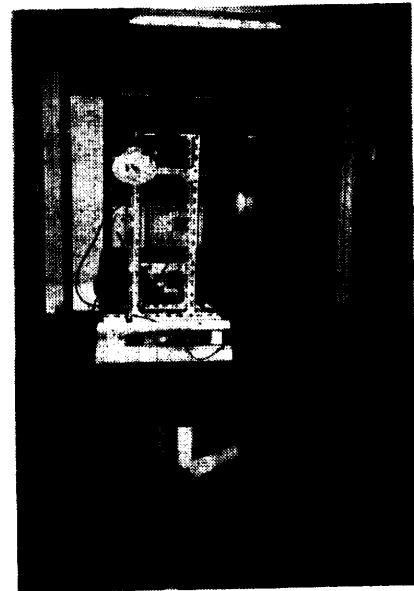


図 10 (b) 障害物回避走行の実験
 Fig. 10 (b) Avoiding obstacle experiments.

R: 円弧の半径

4.3 走行監視

搬送車は、障害物を迂回する前に決定されたステアリング角度で走行する。その間に行う画像処理の結果は図9に示すように認識不正のパターンから、視野内に何も存在しないことを示すパターンに変化する。この時、搬送車は図6に示された点oに到達したと判断する。これによって走行状態は図6の of 間の走行モードに変化し、この間は、何も存在しないパターンが続く。最後に白線が画面に現れると白線復帰処理を行う。

このように予想した画像のパターンと監視の結果としての画像のパターンと対応することによって、搬送車の位置の検出、および新たな障害物の検出ができる。

5. 実験

図10に示すように白線認識を利用した無人搬送車の走行監視、および、障害物回避手法の有効性、安全性について検討するために障害物が存在する環境を設定し実験を行った。白線として4cmの幅を持つ白色テープ、障害物としてエッジの抽出の容易な物体を使用した。

また、白線は直線である場合に限ることとしたため、対象画像は図11に示すような直線画像となる。白線の走行監視、および、障害物回避の実験は、実験基

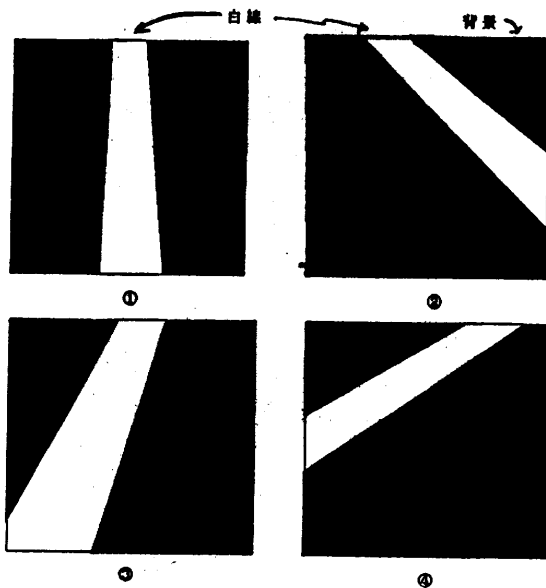


図11 直線画像の例
Fig. 11 Examples of straight lines.

台で行い、白線への復帰処理の有効性の確認のためには計算機シミュレーションを用いた。

5.1 走行監視の実験

3章で述べた搬送車の走行監視の方法の有効性を調べるため、実験システムによる走行実験を行った。実験は、図3に示すような白線誘導路をアスファルト路面上に設定し、

出発地点-3分岐左進-3分岐右進-目的地点といった経路を指示どおりに正しく走行するかどうかを調べた。

この結果、図3に示すとおり、各分岐点において正しく進路を選択し、目的地点に到達するとこれを検出して停止した。

また、障害物の検出・衝突回避処理についても実験

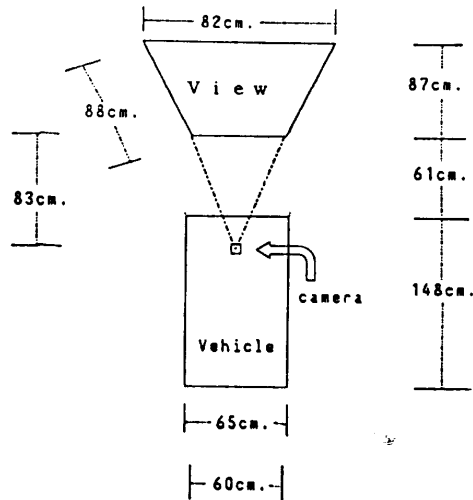
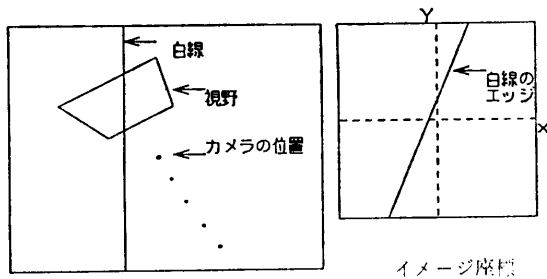


図12 実験用搬送車のサイズ
Fig. 12 Size of experimental vehicle.

表1 諸設定値
Table 1 Parameters for simulation.

通路の幅	200 [cm]	通路
白線と搬送車間の距離	5 [cm]	
搬送車の幅	40 [cm]	搬送車
ホイールベース	60 [cm]	
搬送車の速度	20 [cm/sec], 10 [cm/sec]	
カメラの高さ	77 [cm]	画像処理
カメラの仰角	45°	
焦点距離	600 [pixels]	
画像	256×256	
画像処理時間	1.0 [sec]	



ワールド座標

図 13 シミュレーションによる搬送車の軌跡と白線のエッジの例

Fig. 13 An example of locus of vehicle and white line's edge by simulation.

を行った結果、誘導路上にある障害物を正しく検出し、障害物を取り除くと再び走行を開始した。

5.2 障害物迂回の実験

図 12 に示した実験基台で直線誘導路に障害物が存在する場合の走行実験を行った。今回の実験では、4 章で述べた走行方法のうち、図 6 における of 間の直進走行時の走行距離を、走行時間から算出した。結果は、搬送車が障害物を検出して停止した後、障害物を迂回し、元の白線に戻った。

また、搬送車が白線への復帰処理の有効性を確認するために計算機シミュレーションを行った。このシミュレーションでは、実験基台を想定して表 1 で示した条件下でテレビカメラから得られる白線画像を入力する。この画像情報を処理して搬送車の位置（カメラから白線までの距離、および、搬送車の向き）、およびステアリング角度を計算する。その結果を図 13 に示すようにディスプレイに表示させる。これによって、搬送車が白線に近づく軌跡としては白線に接する円弧であることが確認された。

6. 検 討

6.1 白線パターン遷移の監視と障害物検出について

走行中、常に変化する白線パターンを予測監視することによって、搬送車の走行位置を確認し、目的地まで正しく誘導でき、また、信頼性高く障害物を検出できる。

障害物の検出は、従来は、実際に障害物が存在しているにもかかわらず、エッジ検出の誤りなどによってシステムに登録されている白線パターンと一致してしまう場合には、障害物を検出することができなかった。これを搬送車の走行状況を状態遷移図でモデル化

して、次に現れる白線パターンを予測することによって、白線パターンを限定できるため、こうした誤りを減らすことができると考えられる。

6.2 迂回走行について

本論文では、走行監視処理の結果がエラー状態を示せば、障害物が存在する可能性が高いとして障害物の迂回処理を行う。しかし床の模様、紙等、のような高さのない物体によって走行監視処理の結果がエラー状態を示すことがある。このような場合に障害物の迂回処理を行うこととなるが、障害物の誤認識による障害物との衝突が起こらない。今後、障害物の高さ情報を検出するシステムを取り込む必要がある。

搬送車が障害物を検出して停止した時に決定されるステアリング角度によって、搬送車が障害物を迂回する処理が安全に行われることが確認された。

また、搬送車が障害物を迂回走行する間に従来の画像処理方法を利用して認識される画像のパターンの変化を監視することによって搬送車のおおよその位置を把握すること、および新たな障害物を検出することができる。本論文では、搬送車が障害物を迂回するための手法として白線が直線の場合について検討したが、白線が円弧の場合でも本論文で述べたと同様に道のりを決定すれば、本手法により十分に対応できると考えられる。しかし交差点、分岐等の場合の障害物迂回、および誘導路復帰に関してはまだ検討の余地があるので、今後の課題とする。

7. ま と め

本論文では、白線認識を利用した無人搬送車の視覚誘導において、常に変化する白線パターンを監視することによって走行管理を行う方法を提案し、その有効性を確認した。これは、状態遷移図により走行状況をモデル化することによって実現している。

本論文ではさらに、このモデルの中のエラー処理の 1 つとして、直線誘導路上に障害物が存在する時に、これを迂回して進行する方法について検討した。

参 考 文 献

- 1) Oshima, Y. et al.: Control for Automatic Driving, *Proc. IFAC Tokyo Symposium*, p. 347 (1965).
- 2) Ando, S.: Unattended Travelling Vehicle Guided by Optical Means, *Proc. 4th ISIR*, p. 385 (1974).
- 3) 小森谷ほか: 移動ロボットのランドマークトラッキングのシミュレーション, 第 5 回バイオメカ

ニズムシンポジウム, p. 401(1977).

- 4) Arai, T. et al.: The Control and Application of Omni-Directional Vehicle (ODV), *Proc. IFAC 8th Congr.*, 4, p.1855 (1971).
- 5) Anbe, Y. et al.: A Computer Controlled Robot Cart, *Proc. 1st ISIR*, p. 115 (1971).
- 6) 津村ほか: 移動体の現在位置および進行方位の同時測定の一方法, 第23回自動制御連合講演会, p. 347 (1980).
- 7) 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, Vol. 17, No. 4, p. 492 (1981).
- 8) 油田ほか: 自立ロボット山彦の開発, ロボット, 30, p. 68 (1981).
- 9) 新井ほか: 移動車搭載形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, Vol. 18, No. 10, p. 59 (1982).
- 10) Moravec, H. P.: The Stanford Cart and the CMU Rover, *Proc. IEEE*, Vol. 71, No. 7, pp. 872-884 (July 1983).
- 11) Herbert, M. and Kanade, T.: Outdoor Scene Analysis Using Range Data, *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 1426-1432, San Francisco, CA (Apr. 1986).
- 12) Waxman, A. et al.: A Visual Navigation System, *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 1600-1606, San Francisco, CA (Apr. 1986).
- 13) McVey, E. S., Drake, K. C. and Inigo, R.M.: Range Measurements by a Mobile Robot Using a Navigation Line, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, Vol. PAMI-8, No. 1, pp.105-109 (Jan. 1986).
- 14) 石川, 龍波, 小沢: 白線認識を利用した無人搬送車における視覚誘導の一方式, 信学論 (D), Vol. J69-D, No. 4, pp. 580-590 (1986).
- 15) 龍波, 石川, 宮内, 小沢: 無人搬送車の視覚誘導のための障害物検出の一手法, 信学論 (D), Vol. J68-D, No. 10, pp. 1789-1791 (1986).
- 16) 石川, 桑本, 小沢: 白線認識を利用した無人搬送車の視覚誘導における走行監視, 信学全大会, p. 6-240 (1987).
- 17) チャムノンタイ, 石川, 小沢: 白線認識を利用した無人搬送車における障害物回避の一方式, 第35回情報処理学会全国大会論文集, p. 2059 (1987.9).
- 18) チャムノンタイ, 石川, 小沢: 工場内で走行するための無人搬送車, 第37回情報処理学会全国大会論文集, p. 1623 (1988.9).
- 19) 津川: 知能自動車の制御手法とコンピ

ュータシミュレーション, 機械技術研究所所報, Vol. 34, No. 4, pp.153-164 (1980).

付 録

1. イメージ座標とワールド座標の関係

図付 1 に示されたようにイメージ座標の各点 (x, y) はワールド座標 (X, Y, Z) に投影する。

よって,

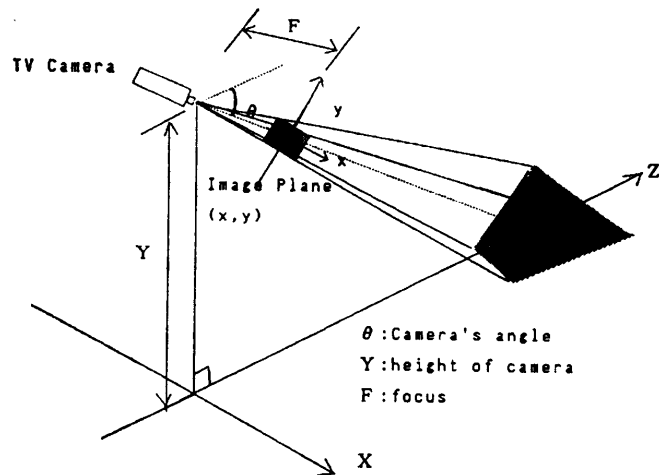
$$x = FX / (Z \cos \theta - Y \sin \theta) \tag{1}$$

$$y = F(Y \cos \theta + Z \sin \theta) / (Z \cos \theta - Y \sin \theta) \tag{2}$$

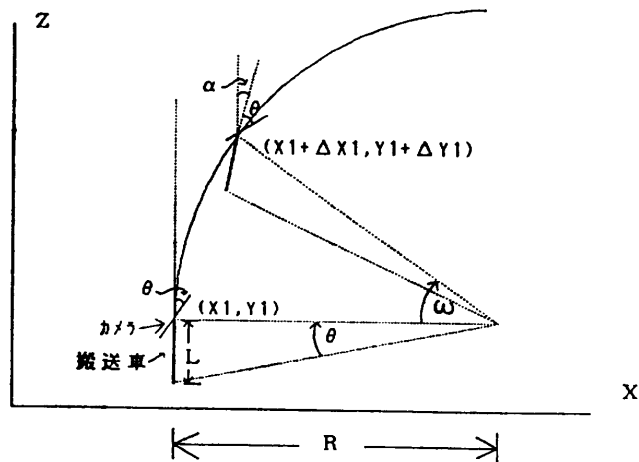
ただし, θ : カメラの傾斜角度

Y : カメラの高さ

F : レンズの焦点距離



図付 1 イメージ座標とワールド座標の変換
Fig. appendix-1 The relation of image plane and real plane.



図付 2 道のりが円弧の場合のステアリング角度
Fig. appendix-2 Steering's angle in case of arc-way.

2. 搬送車のステアリング角度の計算¹⁹⁾

図付2に示されたように、搬送車を2輪車にモデル化して考える。前輪の座標（本研究の実験基台は3輪車であり、カメラは前輪の上に設置されている。）が $(x1, y1)$ 、ステアリング角度が θ 、速度が v 、姿勢角が α であるとする。搬送車は円弧を道のりとして移動するため、回転半径を R 、回転角を ω [radian] とする。

$$R \sin \theta = L \quad (3)$$

$$v \Delta t = R \Delta \alpha \quad (4)$$

が成立するため、

$$\Delta \alpha / \Delta t = v / R = v \cdot \sin \theta / L \quad (5)$$

$$\Delta t \rightarrow 0 \text{ ならば, } \alpha = v \sin \theta / L$$

$$\theta = \sin^{-1}(\alpha L / vt)$$

$$\text{ゆえに } \theta = \sin^{-1}(\alpha L / R\omega) \quad (6)$$

ただし、 L : ホイールベース

(平成元年2月14日受付)

(平成元年6月13日採録)



チャムノンタイ コーシン

(正会員)

昭和60年電気通信大学応用電子工学科卒業。昭和62年日本工業大学大学院修士課程修了。現在、慶應義塾大学大学院博士課程在学中。画像処理に関する研究に従事。IEEE 会員。



石川 繁樹 (正会員)

昭和58年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。昭和60年同大学院修士課程修了。同年日本IBM(株)入社。現在、同社東京基礎研究所勤務。これまで画像処理・パターン認識、文書処理などの研究に従事。電子情報通信学会、IEEE 各会員。



小沢 慎治 (正会員)

昭和42年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。昭和47年同大学院博士課程修了。昭和45年同大学工学部電気工学科助手、専任講師、助教授を経て現在教授。その間、昭和59年米国メリーランド大学訪問助教授。デジタル通信および音声・画像のデジタル信号処理の研究に従事。著書「デジタル信号処理」、「基礎通信工学」(実教出版)。工学博士。電気学会、電子情報通信学会、テレビジョン学会、日本ME学会、IEEE 各会員。