

# 個人用知的移動体による移動障害物回避

尾崎 宏樹<sup>†</sup> 井上 泰佑<sup>††</sup> 安田 知加<sup>†</sup> 森 直史<sup>†</sup> 長尾 確<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>名古屋大学 大学院 情報科学研究科 <sup>††</sup>名古屋大学 工学部 電気電子・情報工学科

<sup>‡</sup>名古屋大学 情報メディア教育センター

## 1 はじめに

近年の情報端末の小型化・高性能化に伴い、我々は常に情報端末を持ち歩くようになった。さらに、小型情報端末は人間の置かれた状況を認識し、それに応じた情報提供をするようになった。しかし小型情報端末では、情報処理結果を直接的に人間の行動に反映させることができない。そこで我々は、乗り物を情報端末化して情報処理と人間の物理的な移動とを連動させるという考え方のもと、AT (Attentive Townvehicle) と呼ばれる個人用知的移動体を開発している [1]。

これまでに AT を用いて、ユーザーの指定する目的地に自動的に移動する仕組みについて研究されてきた [2]。しかし、この仕組みは事前に作成された地図を用いて移動経路を決定しているため、実環境の動的な変化への対応が困難である。また、自動走行中に人間と遭遇した場合、十分離れた距離で回避行動を開始し、人間の進路を妨げることなく、確実に衝突しないようにすることが望ましい。そこで本研究では、レーザレンジセンサを用いてリアルタイムに周囲の障害物地図を作成しながら移動障害物を判別し、移動速度ベクトルを算出することで進路を予測し、安全かつ効率的に回避する手法を提案する。

## 2 個人用知的移動体 AT

AT は、搭乗者や AT 自身を取り巻く環境に適応して移動する個人用の乗り物であり、駆動系に用いたオムニホイールにより全方位移動とその場回転を行う。周囲の情報を取得するため AT は、全方位に最大 30m まで物体を検知可能なレーザレンジセンサと建物内の壁に設置された RFID タグを読み取るための RFID タグリーダ、3 軸角度センサを搭載している。また各種設定にはタッチパネルを、マニュアル操縦にはジョイスティックを用いるなど、AT のユーザインタフェースはわかりやすい直感的なものとなっている。

## 3 移動障害物回避

人間が生活する環境において、移動体が自動走行を行なうためには、自己位置推定問題、環境地図生成問題、ナビゲーション問題を解決する必要があり、近年、さまざまな手法が提案されてきた。これらの多くは、移動体の行動する環境が変化しない静的環境を想定したものである。しかし一般には、人間のようにその位置が時々刻々変化する移動障害物が存在する。本研究では、実環境における人間のような移動障害物の存在

する空間内で自動走行し、安全かつ効率的に目的地まで到達することを目的としている。

移動体の自動走行を実現するにあたり、移動体が正確な自己位置と、正確な走行環境の情報を予め持つと仮定しているモデルベーストなアプローチがあるが、実環境の動的な変化に対応することが困難である。それに対し、移動体の目標位置が正確にわかっていて、走行環境が未知であり、移動体が環境を認識しながら移動をするタスクを考えるセンサベーストなアプローチがある。このアプローチでは、正確な環境地図を予め取得する必要がなく、移動をする直前に環境を認識するため、環境変化に対応することが可能であるという特性を持っている。一方、センサベーストなアプローチに加えて、自己位置推定、環境地図作成、経路計画を動的に行う、つまり、未知環境において移動を開始し、移動直前に環境認識をして、得られただけの情報から最適な経路を計画するアプローチがある [3]。未知環境から獲得した環境情報から即座に経路計画を求める研究はあまり多くなされていない。そこで本研究では、実環境において、環境認識時に静止障害物と移動障害物を判別し、移動障害物の進路を考慮した経路計画を行うことで、安全かつ効率的な移動障害物回避を実現する。

## 4 環境認識

### 4.1 障害物の距離情報の取得と統合

従来の環境認識の手法としては、一般的にレーザレンジセンサ、カメラ、またはその両者を複合する手法が広く用いられている。レーザレンジセンサは 2 次元スキャンであるが、高精度な距離計測が実時間で可能である。一方、カメラは、ステレオ視により空間分解能の高い 3 次元的な距離計測が可能だが、画像処理を行う必要があり、測定精度・分解能・実時間性等の点でレーザレンジセンサに劣る場合もある。本研究では、環境を認識しながら実時間で回避動作を開始する必要があるため、高速かつ安定した距離情報を取得可能なレーザレンジセンサを用いた。

レーザレンジセンサは一定の角度サンプリング間隔の角度毎に距離を測定することで、床面から一定の高さの平面上に扇状の距離情報を最大 30m、角度 240° の範囲で得ることができる。このレーザレンジセンサを AT の前後左右に 1 つずつ計 4 つ装備した。レーザレンジセンサはそれぞれ 180° の範囲の障害物を検出し、死角のないように設置している。

これを環境地図として扱うためには、それぞれのレーザレンジセンサで取得した距離情報を 1 つに統合する必要がある。本研究ではレーザレンジセンサの設置位置を考慮し、AT の中心を原点とした極座標に変換する。角度分解能は 1° とし、360 点の距離情報として扱う。

### 4.2 移動障害物と静止障害物

移動障害物は常に同じ場所に存在するわけではないので、作成された環境地図を時間方向に比較して差分処理を行うことで、静止障害物と移動障害物を判別する。しかし、AT は移動しているため、環境地図は異

Moving Obstacle Avoidance by Personal Intelligent Vehicles

<sup>†</sup> OZAKI, Hiroki (ozaki@nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp)

<sup>††</sup> INOUE, Taisuke (inoue@nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp)

<sup>†</sup> YASUDA, Tomoka (yasuda@nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp)

<sup>†</sup> MORI, Naofumi (mori@nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp)

<sup>‡</sup> NAGAO, Katashi (nagao@nuie.nagoya-u.ac.jp)

Graduate School of Information Science, Nagoya University

(<sup>†</sup>)

Dept. of Information Engineering, School of Engineering, Nagoya University (<sup>††</sup>)

Center for Information Media Studies, Nagoya University (<sup>‡</sup>)

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan

なる位置で作成されたものとなる。異なる位置で作成された環境地図の統合には、各環境地図の位置関係を推定する必要があり、環境地図作成時の移動体の自己位置情報が重要となる。移動体の自己位置推定法として、車輪の回転数から走行距離や回転角度を推定するデッドレコニングがよく使用されるが、これのみでは車輪のスリップなどで誤差が蓄積し正しい自己位置推定はできない。よって本研究では、移動体の自己位置推定に各位置での環境地図の重なった部分を用いて位置合わせを行う ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを使用する [4]。ICP アルゴリズムの収束結果を自己位置推定結果として用い、複数位置で作成された環境地図を統合する。

ICP アルゴリズムは、複数の距離データ間で重複して計測された部分を利用して、繰返し計算により誤差関数を最小化する解を求める手法である。まず 2 つの点群があるとき、一方の点群の各点について、他方の点群で最も近い点を対応点とする。そして、各対応点間の距離の 2 乗和が最小となる移動パラメータを求める。この移動パラメータが環境地図の位置関係であり、環境地図の作成間隔で AT が移動した距離となる。

移動障害物は、統合された環境地図を見ると、移動前後の環境地図において、点群が重ならない。そこで、移動前の環境地図において、点群の重ならない部分を探索する。移動体は時刻 ( $t-1$ ) における計測データと時刻 ( $t$ ) における計測データを比較し差分処理を行う。しかし、この方法では移動障害物は検出できるが、壁などの一部の静止障害物も移動障害物として検出してしまふ。そこで、時刻 ( $t$ ) から ( $t-n$ ) までの合計で  $n$  個の環境地図を用いて差分処理を行い、移動障害物を検出する。これにより移動体は移動障害物のみを正確に検出可能となる。

移動障害物の場合、移動先を予測することで、移動方向と同じ方向へと AT が移動したり、移動障害物の進路を横切り、進行の妨げになるといった移動障害物への干渉を回避することができると考えられる。本研究では、移動障害物の移動ベクトルを計算し、等速直線運動として、移動先を予測する。移動前後の環境地図で点群の重ならない部分で最も近い点群を対応する移動障害物とし、対応点間の位置関係と計測時間差から移動ベクトルを算出する。

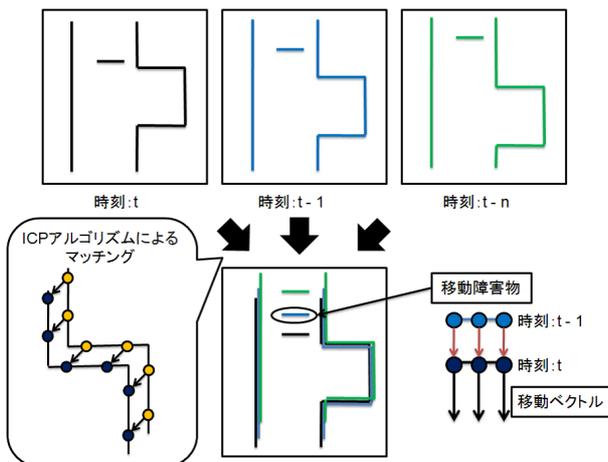


図 1: 移動障害物の判別と移動ベクトル

## 5 回避経路の生成

環境地図と目的地を取得したら、次に現在位置から目的地までの回避経路を計算する。回避経路生成の流れを図 2 に示す。本研究では障害物と移動体との接触を避けるために、次のようなコンフィギュレーション

空間を用いる。移動体の形状を長方形とし、移動体の性能による許容誤差分を拡張した領域を衝突危険領域とする。この衝突危険領域を静止障害物に対して拡張することで、移動体を点として扱う。移動障害物に対しては移動ベクトル方向に長方形領域をずらした形状の衝突危険領域を設定する。この空間に対して、グラフ構造のパス探索手法に基づいて経路計算を行う。

まず、移動障害物を考えず、静止障害物のみでグラフを生成する。グラフのノードは障害物の衝突危険領域の頂点とし、エッジは頂点同士を結んだ線分が衝突危険領域に遮られないものを選択し、コストとして距離を与える。このグラフに対して、初期地点から目的地に Dijkstra 法を適用して最短経路を求める。最短経路に対して移動障害物との衝突判定を行い、相対移動ベクトルから衝突回避点を算出し、新たなノードとエッジに変更する。変更したグラフに対して最短経路を再計算する。これを繰り返すことで移動障害物に衝突しない経路を生成する。生成した回避経路に基づき移動体は移動方向を変更する。

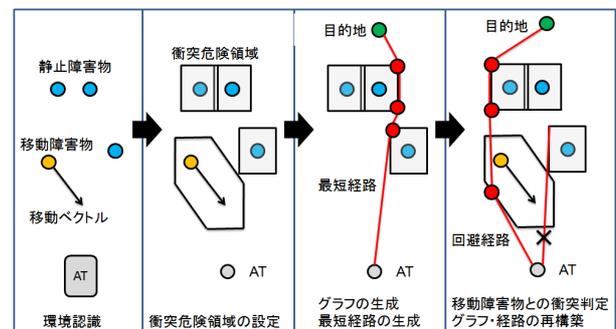


図 2: 回避経路の生成

## 6 今後の課題

本研究ではレーザレンジセンサのみを用いた移動障害物回避であるが、レーザレンジセンサでは交差点のような死角となる領域は検知できない。今後は、環境設置型のセンサや他の移動体からの情報を利用して、死角から接近する障害物に対応する必要がある。また、地図情報や他の移動体との連携により大域的な回避経路を生成することが考えられる。

## 参考文献

- [1] 長尾 確, 山根 隼人, 山本 大介, 鬼頭 信貴, 田中和也, “Attentive Townvehicle: Communicating Personal Intelligent Vehicles”, Proceeding of the Second Symposium on Intelligent Media Integration for Social Information Infrastructure, 2003.
- [2] 安田 知加, 成田 一生, 尾崎 宏樹, 長尾 確, “個人用知的移動体による屋内自動トランスポーション”, 情報処理学会第 70 回全国大会論文集, 2008.
- [3] 竹澤 聡, Tauseef Gulrez, Damith C. Herath, Gamini Dissanayake, “同時自己位置地図獲得手法を用いた自律移動ロボットの環境認識 (ダイナミカル局所ボロノイ分割による逐次経路計画)”, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol.71, No.703, pp.1522-1526, 2005.
- [4] 中本 琢実, 山下 淳, 金子 透, “レーザレンジファインダ搭載移動ロボットによる動的環境の 3 次元地図生成”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.144, pp.25-30, 2006.