

複数移動体の安全自動走行のための動的な経路生成とその評価

久保田 芙衣[†] 尾崎 宏樹[†] 矢田 幸大[†] 長尾 確[†]

[†]名古屋大学 大学院情報科学研究科

1 はじめに

近年, Segway¹に代表される, 1人用の小型移動機械であるパーソナルモビリティの研究・開発が盛んである. 我々の研究室においても, 個人用知的移動体 AT (Attentive Townvehicle)[1] と呼ばれるパーソナルモビリティの研究・開発を行っている. AT は, 搭乗者や自身を取り巻く環境に適応することによって, 搭乗者の指定した目的地まで自動的, かつ安全に移動することができる知的な移動体である.

将来, 上記のような自動走行可能である知的な移動体が, 複数台同時に稼働している環境が実現されると思われる. ここで重要となるのは, 自由に移動する複数の移動体同士が衝突せず, 安全に走行できることである. この安全走行を実現するためには, 精度の良い衝突予測と衝突回避方法が必要である. 自動走行の際には目的地までの走行経路を生成しているため, 衝突予測などにはこの経路を用いることが考えられる. そのため, 安全性を考慮し, 実際に移動体が走行することのできる緩やかな経路の生成が必要となる. そこで本研究では, 自動車用の道路などで使用されている緩和曲線の一種であるクロソイド曲線を用いて経路を生成する. クロソイド曲線とは, 曲率が連続的に変化する曲線である. クロソイド曲線を用いた経路生成の研究としては, 2次元平面において多角形障害物以外の領域に対して Voronoi グラフの直線部分とクロソイド曲線を用いて, 移動体にとって安全性が高く, 滑らかに走行できる経路を生成する手法 [2] が提案されている. この研究は, 基本的に線分と円弧によって経路を生成し, それらを滑らかに繋ぐためにクロソイド曲線を用いている. 本研究では, この手法を AT にも適用可能な形に拡張することで経路を生成する.

さらに, 移動体が経路通りに走行するための制御手法, および複数台の移動体の経路を基にした衝突予測と, 衝突予測に基づいた衝突回避経路の動的な生成と速度調節による衝突回避手法を提案する.

また, 本手法の安全性を評価するため, 計算機シミュレーションを用いて検証した. シミュレーションでは容易に多くの実験を行うことができ, 衝突事故による被害がない. そのため, 実機で動作させる前にシミュレーションを用いて実験した.

2 個人用知的移動体 AT

AT は情報処理・通信機能を持ち, 情報処理機能と人間の生活における移動を連動させることにより, 人間の活動を支援する移動体である. その機能の一つとして, 搭乗者が指定した目的地まで自動的に走行する機能がある.

AT の外観を図1に示す. AT には, 前後にレーザーレンジセンサーが搭載されており, これは周囲の障害物までの距離を測定することが可能である. AT は, このレーザーレンジセンサーで取得した情報と, あらかじめ生成した周囲の地図の情報を照らし合わせることで, 現在位置の推定を行う.



図 1: AT とレーザーレンジセンサー

3 経路生成と制御方法

3.1 経路生成

まず, 安全性と制御のしやすさを考慮した簡単な経路 (素経路・図 2①) の生成について説明する. これは, クロソイド曲線を用いた経路を生成するための手がかりとして生成する. 素経路は, 事前に生成した地図上の走行可能領域に生成したグラフ構造データを用いて生成する. グラフ構造データは次のように生成される. 地図上の障害物から一定距離内の領域の境界線にノードを一定間隔で追加し, さらに, 障害物から一定距離外の領域の境界線にも同様にノードを追加する. 生成されたそれぞれのノードについて一定距離内にあるノードをつなげることによってグラフ構造データを作る. このグラフ構造を用い, 目的地までの素経路をダイクストラ法により探索する. ダイクストラ法はグラフ構造のノード間の距離をコストの指標とする最短経路を求めるアルゴリズムであるが, これに車幅を考慮した壁までの距離とエッジ間の角度という指標を追加し, それぞれを正規化し足し合わせたものをコストとする. これらの指標の重みは調整可能である. これにより, 壁との衝突を防ぎ, 鋭角のカーブ走行を防ぐことができる.

この素経路は折れ線で構成されているため角が多く, 走行するにはその場回転やカーブ走行が頻発する. これは直進に比べ, 衝突予測が難しくなり, 経路通りに走行することが容易ではなくなると考えられる. そのため次に, 生成した素経路を折れ線の交点を減らした直線に近似 [3] する. この時, 近似直線 (図 2②) の幅は AT の車幅分とし, 素経路の線の幅は AT の車幅の 2 倍とする. これは, 文献 [3] のアルゴリズムが, 任意の範囲内に入っている点群を一つの直線と見なすとするものであり, この任意の範囲を「素経路の線の幅一

Dynamic Path Generation and its Evaluation for Safe and Automatic Driving of Personal Intelligent Vehicles

[†] KUBOTA, Fue (kubota@nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp)

[†] OSAKI, Hiroki (osaki@nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp)

[†] YATA, Yukihiko (yata@nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp)

[†] NAGAO, Katashi (nagao@nuie.nagoya-u.ac.jp)

Graduate School of Information Science, Nagoya University

¹<http://www.segway.com/>

近似直線の幅」とするためである。これにより、近似直線が素経路からはみ出すことがなく、素経路生成の際に考慮した安全性を無視することがない。その後、折れ線の角を円弧(図2③)にし、近似直線と円弧をクロソイド曲線(図2④)で接続する。円弧の最小半径は、U字走行を行うATに乗った搭乗者が安心感を覚えた回転半径1mにした。円弧の半径は基本的に最小半径とするが、クロソイド曲線同士が交差する場合、最小半径より拡大する必要がある。次に、クロソイド曲線の生成について簡単に述べる。まず、接続する円弧の曲率と等しい曲率から始まるクロソイド曲線を計算し、近似直線に接続されるように拡大・縮小を行い、近似直線と円弧につながる曲線にする。クロソイド曲線と円弧との接続については、円弧の中心角の大きさに従いクロソイド曲線の長さ制限を入れた。また、円弧の半径が一定でない場合に対応するため、クロソイド曲線の長さを変化させることにした。最後に、クロソイド曲線を除いた円弧と線分(図2③⑤)、クロソイド曲線を統合することにより、経路生成が完成する。

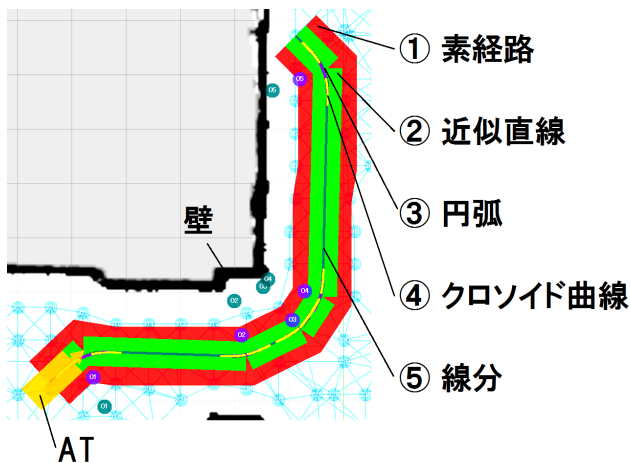


図2: 提案手法によって生成した経路

3.2 制御方法

最初に大まかな制御の流れを説明し、次に詳細を説明する。

まず、経路を走行する際に目標とする角速度を求める。次に、タイヤ間の距離を用いて、求めた角速度を左右のタイヤの速度に分解し、その速度に従って左右のタイヤを回転させることでATを制御する。

速度は線分、クロソイド曲線、円弧によって異なる。線分上では基本的に直進するだけなので、定められたATの速度を左右のタイヤの速度とする。クロソイド曲線と円弧は、左にカーブするか、右にカーブするかで左右のタイヤの速度が異なる。クロソイド曲線の曲率半径は ∞ から任意の値(もしくは任意の値から ∞)に変化するため、クロソイド曲線の始点から任意の点までの長さを変数とする一次式で表すことができる。そして、曲率半径が任意の長さの時の運動はその曲率半径の円弧上での運動と同一と見なすことができ、このことから角速度と左右のタイヤの速度を求める。円弧では、その前に走行したクロソイド曲線での最後の角速度で走行する。

4 衝突回避手法と安全性の評価

4.1 衝突予測と衝突回避手法

衝突予測は、環境内に存在する全ATの情報を把握している位置情報サーバが、複数のATの経路を基に行う。衝突予測を行うためには、各ATの現在地、経路、速度などの情報を一括して把握している必要がある。そのため、位置情報サーバはそれらの情報を一括して管理し、ATを制御するために開発した。衝突予測は経路生成時のみではなく、走行中においてもリアルタイムに行う。衝突の可能性が発生した場合には、位置情報サーバが各ATを次に述べるように制御する。位置情報サーバは、ATの速度を調節したり、速度を調節しても衝突を回避できない場合において動的に経路を変更することで、衝突回避を行う。たとえば、複数のATが同一の交差点に進入しようとしている際、先に交差点に進入するATに優先権を与え、それ以外のATの速度を落とすことで衝突を回避する。

4.2 シミュレーションを用いた安全性の評価

以上の手法の安全性を評価するために、計算機シミュレーションを用いた評価実験を行った。シミュレータ上のATには仮想的なレーザーレンジセンサーの機能を持たせており、自己位置推定を行いながら自動走行を行うことができる。そのため、実機を用いることなく、自己位置推定の誤差を考慮することが可能である。

本手法の経路生成では、線分と円弧のみで構成された経路と異なり、曲率変化が緩やかになるため、左右のタイヤの速度差の変化は緩やかなものになると考えられる。そのため、経路をトレースすることが容易になり、衝突予測および回避の精度が向上するという仮説を立てることができる。また、本手法の衝突予測や衝突回避により、AT同士の衝突回数は少なくなり、安全性が向上すると考えられる。そこで、シミュレータ上で複数のATを同時に自動走行させ、左右のタイヤの速度差の変化や、壁や他のATなどの障害物との衝突回数を調べることで、本手法の安全性の評価を行う。

5 おわりに

本研究では、知的な移動体が、複数台同時に自動走行する環境を想定し、移動体同士が衝突することなく安全に走行するための手法を検討した。シミュレーションによる大規模な実験とその詳細な分析および実機を用いたより本格的な実験は今後の課題である。

参考文献

- [1] 長尾 確, 成田 一生, 尾崎 宏樹, 安田 知加 全方位に移動可能な個人用知的移動体とその応用, 情報処理学会第70回全国大会, Vol.70, No.3, pp.43~44, 2008.
- [2] 松本 雄介, 鈴木 一平, 今井 桂子 多角形障害物のある領域における車両型ロボットの安全で滑らかな経路生成, 日本応用数理学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.631~649, 2006.
- [3] D. H. Douglas, T. K. Peucker, Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature, Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, Vol.10, No.2, pp.112~122, 1973.