

複数台のセミトレーラーにおける並行自動運転手法の提案

中沢 実^{1,a)} 平田 忠明¹

概要:近年の自動駐車技術は目覚ましい成長が見られるが、トラクタ・セミトレーラー構成の車両を対象としたインフラ整備を必要としない自動駐車技術は実用化されていない。本論文ではトラクタ・セミトレーラー構成の車両をセミトレーラーと称して以降説明を行う。本研究ではセミトレーラーの自動駐車技術を確立させ、同時に他の車両との通信により効率的な駐車を行うことを目標としている。これにより駐車場周辺で発生する渋滞の緩和、ドライバーの駐車時間に起因する労働賃金増加の抑制、安全性の向上に繋がると考えられる。本論文では、複数台のセミトレーラーが衝突しない同時自動駐車手法の提案を行い、2台のトレーラ部なし車両が衝突しない自動駐車手法の検証を行った。その結果、先に駐車を開始した1台目の車両の駐車動作に対し、他車両が妨げになることは無いことを確認できた。また、万が一他車両が1台目の車両の妨害を行った場合にも、他車両を障害物として登録し、再経路計画を行うことで衝突しない経路を取ることが確認できた。総駐車時間に関しては、本研究での環境では1台ずつ駐車を行っていくより平均32.7%の時間短縮率を得ることが出来た。

1. はじめに

四輪自動車における先進運転支援システムの発達は目覚ましい成長が見られる。自動駐車技術に関しても同様であり、スマートパーキングと呼ばれることが多い。トヨタ自動車では「インテリジェントパーキングアシスト」[1]、日産自動車では「プロパイロットパーキング」[2]、本田技研工業では「スマートパーキングアシストシステム」[3]等の技術が市場に出ている。これらの技術は駐車場との通信等を行わない。すなわちインフラ整備が不要なくスタンドアロンで動作する。

インフラ整備を必要とする自動駐車技術のメリットとしては、拡張性が高いことである。車両内部に全ての設備を搭載させる制限がないため、駐車場にカメラやセンサを設置して車両を客観的に捉えることができ、位置を把握することや駐車場の空き状況を車両に知らせることも可能である。四輪自動車におけるこうした技術はメルセデス・ベンツとダイムラーの「Automated valet parking」によって実現されている[4]。一方でこれらのデメリットとしては、コストが高くなることやインフラ整備がされていない駐車場で自動駐車が行えない等が挙げられる。そのため、使用者にとって使用の制限を与えないことが自動駐車技術の普及において重要であると考えられる。本研究ではインフラ整

備を必要としない自動駐車に着目する。

現在、セミトレーラーの自動駐車技術において、インフラ整備を必要としない自動駐車技術は実用化されていない。また、セミトレーラーの駐車技術に関しては、高度なスキルが求められる上、内輪差や死角が生じるため周囲への確認に労力がかかる問題がある。その他、セミトレーラーの駐車には時間がかかるため、セミトレーラーが集中する駐車場において、駐車時間に起因する渋滞が発生することがあり、その間の待機時間にも労働賃金が発生してしまう問題もある。

本研究では、これらの問題を解決するために複数台の車両を同時に自動駐車させる手法を提案し、評価および考察を行う。また評価に関しては、車両の自動駐車にかかる時間を評価基準としてシミュレータ上で検討を行なった。

2. 関連技術

2.1 四輪自動車の自動駐車

文献[1]および[2]のインテリジェントパーキングアシスト、プロパイロットパーキングでは、超音波センサーとカメラを用いて、駐車スペースの検出および駐車をこなしている。文献[3]のスマートパーキングアシストシステムでは、カメラとタイヤ回転数を基に駐車スペースの検出と自己位置の推定を行なっている。シミュレーション上での四輪自動車の自動駐車技術として、MathWorks社のMATLABサンプルプロジェクトの「Automated Parking Valet」がある[5]。このサンプルでは駐車場内で四輪自動車があらか

¹ 金沢工業大学
石川県野々市市扇が丘 7-1

^{a)} minoru.nakazawa.jp@ieee.org

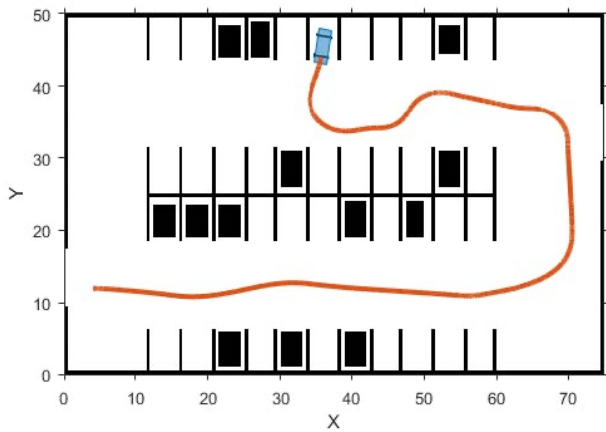


図 1 Automated Parking Valet 実行例 [5]

Fig. 1 Execution example of Automated Parking Valet[5]



図 2 SafeRange 自動駐車支援機能 [6]

Fig. 2 SafeRange:Support function for automated parking[6]

じめ定められた駐車位置まで自動で行き、駐車までを鳥瞰図の 2D アニメーションで表示するものである。経路計画アルゴリズムとしては、RRT*と Dubins/Reeds Shepp が用いられている。車両の制御を行うコントローラをシミュレーションしており、計画された経路を辿り、図 1 のような自動駐車シミュレーションが行われる。

2.2 セミトレーラー自動駐車

四輪自動車の自動駐車に関する技術開発は盛んに行われているが、セミトレーラーにおける自動駐車技術に関しては四輪自動車ほど盛んではない。セミトレーラーにおける自動駐車技術に関しては、図 2 に示すように ZF フリードリヒスハーフェン社の ZF イノベーション・トラックの 1 つである SafeRange 自動駐車支援機能が存在する [6]。この技術では駐車場にカメラを設置し、セミトレーラーには 2 つのマーカーを取り付けている。これによってカメラがセミトレーラーの位置を認識し、セミトレーラーは算出済みの駐車最適経路を取得する。その後自動駐車が実行される。また、セミトレーラーの進行経路上に人が入った場合もそれをカメラが検知して、駐車動作を停止させる機能がある。

シミュレーション上でのセミトレーラーに関する技術

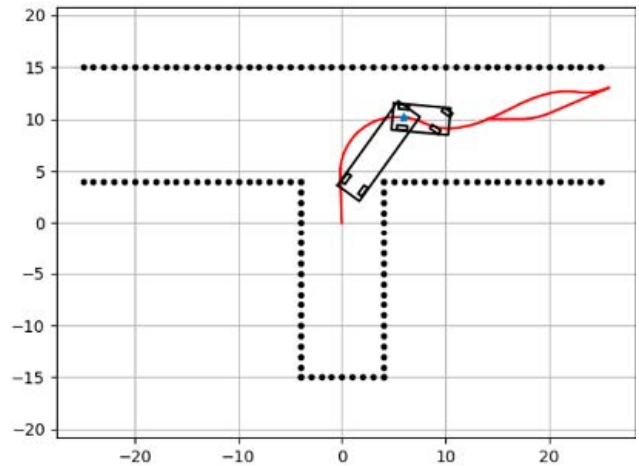


図 3 Hybrid AStar Trailer 実行例 [10]

Fig. 3 Execution example of Hybrid A Star Trailer[10]

として、Hybrid A Star Trailer と呼ばれるプログラムが Github 上に公開されている [10]。このプログラムは Julia 言語で記述されており、経路計画アルゴリズムとして Hybrid A Star[9] をベースとして用いられている。任意の障害物、スタートの位置および姿勢、ゴールの位置および姿勢を入力すると、図 3 に示すように GUI 上に鳥瞰図の 2D アニメーションで表示される。

2.3 経路計画アルゴリズム

経路計画に関するアルゴリズムとして、自動車に適応可能な計算時間の短いものを調査した。それらを以降に示す。

2.3.1 Hybrid A Star

Hybrid A Star は A Star アルゴリズムを拡張したものである。2007 年の DARPA グランドチャレンジでスタンフォード大学のチームが Hybrid A Star を使用し、完走した実績を有している。このスタンフォード大学のチームの実装では、複雑な環境下でも最適な経路計画を算出しており、自動車のようなロボットを走行させることが可能なアルゴリズムである [8]。また、計算時間が短くリアルタイム性を考慮させることも可能であり、車輪を有する屋外ロボットにおいてパスを 100ms で生成することを保証させることも可能である [9]。

2.3.2 RRT

RRT(Rapidly Exploring Random Tree) は高速な経路計画アルゴリズムである。RRT によって得られる経路は鋸歯状になるが、広範囲にも局所的な部分にも適用可能である。車両の運動量や最大回転半径といった非ホロノミック制約を追加して考慮させることも可能である。

この RRT も 2007 年の DARPA グランドチャレンジで MIT のチームがベースアルゴリズムとして使用し完走した実績を有している [10]。MIT のチームの実装では、複数の経路を生成させ、コストが低い経路が選択されて走行されている。しかし経路の最適性はアルゴリズムの性質上、

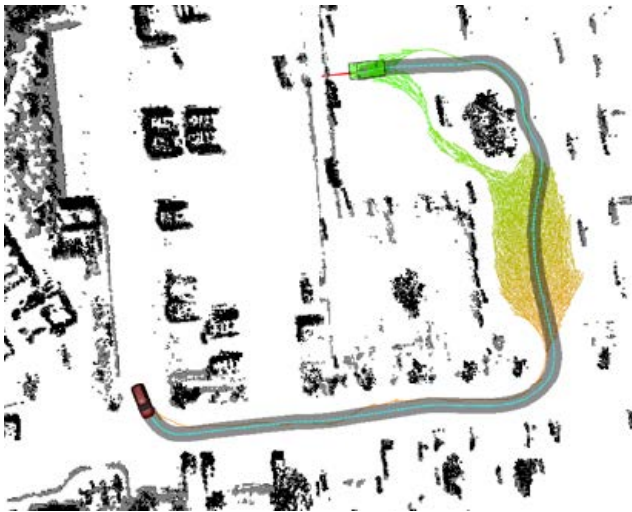


図 4 Hybrid AStar 経路制御例 [8]

Fig. 4 Execution example of Hybrid A Star Path Control [8]

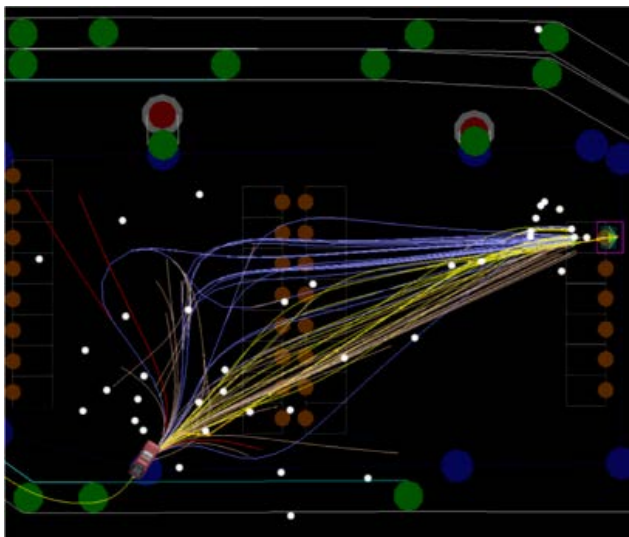


図 5 RRT ベースの経路制御例 [11]

Fig. 5 Execution example of RRT based Path Planning [11]

時間に強く依存する [11].

2.3.3 Reeds Shepp

このアルゴリズムは、Dubins パスを拡張したものである。Dubins パスとは、障害物のない環境下で旋回半径とスタートおよびゴールの座標、姿勢を入力すると最短曲率パスを算出するアルゴリズムである。Reeds Shepp パスの特徴として、前方および後方の両方へ移動できるパスを生成することができる。既知のウェイポイントの補間を行うものであるため、前節の RRT アルゴリズム等と組み合わせて使用できる [12].

3. 提案手法

3.1 前提条件

車両のシミュレーションには Mathworks 社の MATLAB2020a を使用し、2.1 節で紹介した MathWorks 社の

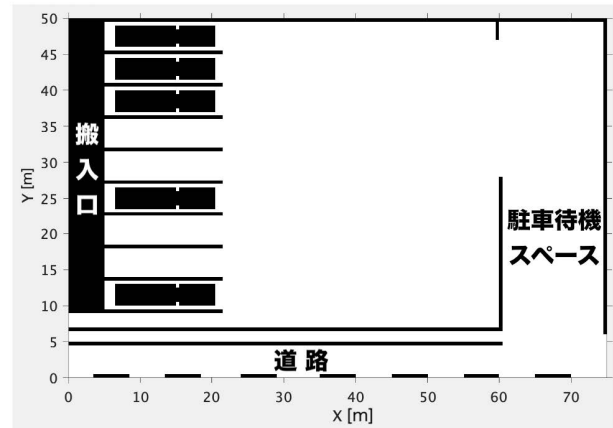


図 6 環境マップ

Fig. 6 Environment map

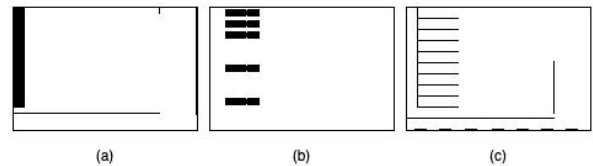


図 7 検証用マップの各レイヤー

Fig. 7 Each layers for verification map

AutomatedParking Valet をベースとして実装を行った。経路計画アルゴリズムは 2.3.2 項で説明した通り、RRT の最適性は時間に強く依存するため、本研究では Hybrid A Star を採用した。マップは図 6 のような荷物の搬入出を行うための道路に面した施設を想定し作成した。図 6 のマップは図 7 の 3 つのレイヤーに分かれており、これらのマップを 1 つに集約し、全て障害物として捉え経路計画を行った。

(a) 建物や塀を表す StationaryObstacles

(b) 駐車済み車両を表す ParkedCars

(c) 白線を表す RoadMarkings

想定している車両の空間認識には、LiDER(Light Detection and Ranging) を使用してマップ作成を行い、周辺の障害物検知のためのミリ波レーダー、車車間通信のための無線モジュールおよび位置情報を把握するための GNSS モジュール、白線等の前述以外の物体を認識するためのカメラを死角がないよう複数台搭載しているものとする。

また全ての車両はそれぞれの車両の座標および姿勢を既知とし、セミトレーラーを含む車両の大きさは全て同一のものとする。

3.2 自動駐車手法

3.2.1 全体のステップ

本研究における全体のステップを次に示す。

(1) 図 6 において駐車待機スペースに車両が 3 台以上が存

在している状態を想定する。

- (2) 車両が3台以上(車両A, 車両B, 車両C,...)になった時点で、先頭にいる車両Aが自動駐車シーケンスを始める。
- (3) 自動駐車シーケンスを始めた車両Aが周辺車両B,C,...に対して自動駐車を行うかを問う信号をブロードキャストを送信する。
- (4) 自動駐車を行う場合、車両B,C...のドライバーらは自動駐車を行うレスポンスを車両Aに対して送信する。
- (5) 車両Aは、レスポンスの受信を行うため、一定時間待機する。この時点で車両B, 車両C,...のドライバーらは降車する。
- (6) 車両Aは待機後、自動駐車に必要なマップを手動で生成する。
- (7) マップの作成が完了後、車両Aのドライバーは降車し、自動駐車を開始する。
- (8) 車両Aの自動駐車が完了後は、車両B, 車両C,...の複数車両の同時駐車を開始を行う。
- (9) 車両Aに対してレスポンスを返した車両全てが駐車完了した時点で一連の自動駐車シーケンスを終了とする。

3.2.2 複数車両の同時自動駐車

3.2.1 項の全体ステップにおけるステップ8からの処理である、複数車両の同時自動駐車の詳細について説明する。同時自動駐車において、要件定義を次の項目で行った。

- 壁に衝突しないこと
- 車両同士が衝突しないこと
- デッドロックしないこと
- 他車両の駐車妨害を行わないこと

これらを満たすようプログラムの実装を行った。説明のため、車両は2台(車両A, 車両B)に限定して行う。

プログラムのフローを次の図8に示す。

- (1) マップの読み込みを行う。3.1節で述べた図6の構成をまとめて障害物とする。
- (2) マップ上の障害物を膨張させて、障害物を回避する空間の作成を行う。
- (3) 車両の最小回転半径等を考慮した膨張済みのマップ内で経路計画を行うことにより、衝突しない経路が生成される。この手法で車両A, 車両Bの経路計画を行う。
- (4) 生成した車両A, 車両Bの経路に対して時系列データを追加する。時系列データの算出には経路のデータとその経路で取るべき速度のデータから算出する。
- (5) 上記手順で算出された配列を時間軸に従って車両のプロットを行う。
- (6) 車両Aの中心座標から半径20m以内に他車両が存在するかの確認を行う。
- (7) 車両Aの中心座標から半径20m以内に他車両が存在する場合、6m以内かの確認を行う。この6mとは車両と車両が衝突する直前の距離であるため、衝突しそ

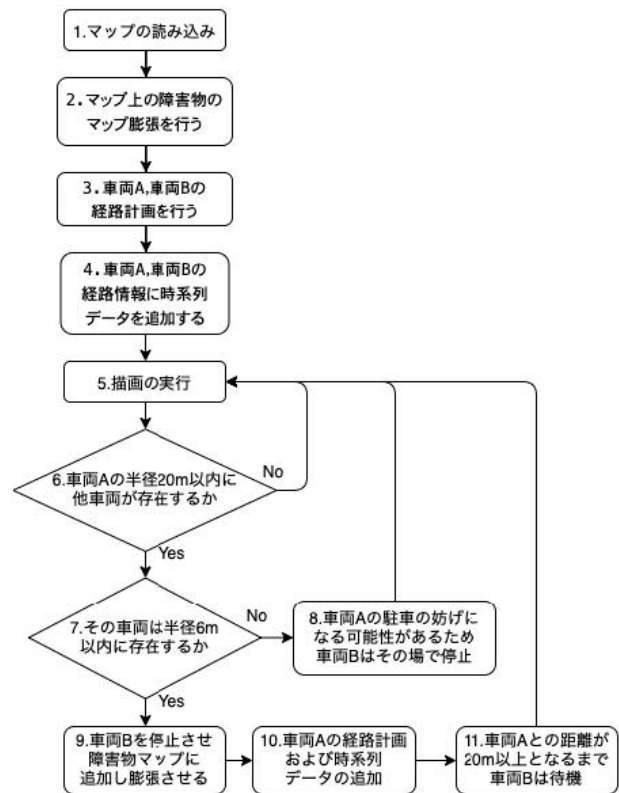


図8 プログラムの流れ

Fig. 8 Program flow

うか否かを判断する。

- (8) 車両Aの中心座標から6m以内に存在しない場合で、20m以内に車両Bが存在すると車両Aの駐車の影響となる可能性があるため車両Bは停止を続ける。
- (9) 車両Aの中心座標から6m以内に車両Bが存在する場合、衝突する可能性が非常に高いため車両A, 車両Bを停止させる。その後、車両Bを障害物マップに追加し、その障害物マップを膨張させる。
- (10) 車両Aは車両Bを含めた障害物と衝突しない経路を算出し、時系列データの追加を行う。
- (11) 車両Aとの距離が20m以上となるまで、車両Bは待機を続ける。

3.2.3 システム実装詳細

3.2.2 項におけるシステム実装の詳細について以下に述べる。システム実装には2.1節で紹介したMATLABサンプルプロジェクトの「Automated Parking Pavet」をベースとして、実装を行った。初めに3.1節で述べた図7の各レイヤーの読み込みを行う。そのレイヤーを図6のように障害物か否かを示す1つのコストマップにする。コストマップを障害物回避空間の確保のため、車両の車幅、車両の長さ、ホイールベース、フロントオーバーハング、リアオーバーハング、車両の表現に円をいくつ使用するかをAutomated Driving Toolboxで提供されているinflation-CollisionCheckerと呼ばれる関数に入力し、膨張させる。

その後、MATLAB 公式ライブラリの Navigation Toolbox の Motion Planning 内にある Hybrid A Star を使用し、パスプランナーの定義に最小回転半径、モーション長さを設定する。

各車両のスタート位置・角度、駐車位置・角度をパスプランナーを用いて経路計画を行う。その経路に対し、スプライン補間を行い 1000 個のデータにする。Automated Parking Valet 内の HelperSpeedProfileGenerator と呼ばれる参照速度を算出する関数の設定を行う。HelperSpeedProfileGenerator で使用する速度としては、StartSpeed が 0(m/s), EndSpeed も 0(m/s), MaxSpeed が 2.8(m/s), すなわち 10(km/h) とした。1000 個のデータ内にある経路長さから参照速度の算出を行い、その速度、経路長さから時間の算出を行う。アニメーションを行うため 1000 個のデータを時間軸ベースにデータ整形を行う。

データ整形の内容としては、時間軸のサンプリング周波数を 100(Hz) として整形した。

例えば、23.51 秒時の車両の位置・角度を参照する場合は、2351 番目のデータを取得する。そのため、アニメーションは時間軸ベースで該当するデータを配列から取得し現在位置を更新して車両のプロットを行っている。車両 B の待機を行う際は時間軸ベースの配列を待機時間分だけ後方へシフトさせている。再計画を行う場合は、コストマップに車両 B を追加した上で、現在位置をスタート位置に設定して再経路計画を行っている。再計画後は車両 A と車両 B の距離が 20m 以上離れるまで車両 B を待機させ、時間軸ベースの経路データを配列後方へシフトさせている。

4. 検証と評価

4.1 検証条件

検証に使用したマップは 3 章で説明した図 6 を用いた。本研究ではセミトレーラーの手動駐車に起因する渋滞を緩和させるため、自動駐車を行う。しかし、自動駐車であっても 1 台ずつ駐車を行なっている渋滞の緩和は見込まれない。そのため評価する対象としては、複数台の車両を同時に駐車する場合と 1 台ずつ駐車する場合の駐車にかかる時間とした。

3.2.1 項で述べた通り、自動駐車シーケンスを始めた車両が既にマップを作成した後に複数台の車両の自動駐車を行うため、マップ情報は既知とする。駐車にかかる時間は、車両が動き始めた時点から最後の車両が駐車完了するまでの時間とする。そのため、経路の計算時間は含まないものとする。また、車両のシミュレーションはトラクタ部のみで行い台数は 2 台とする。

4.2 検証方法

検証を行う項目を次に示す。

(1) 1 台ずつ駐車を行った際に衝突せずに走行するかの確

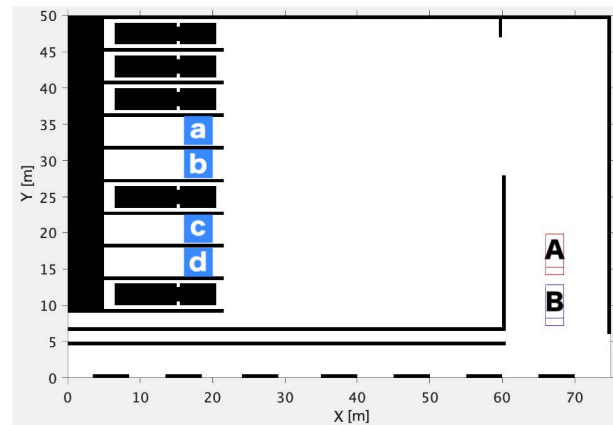


図 9 駐車位置

Fig. 9 Position for parking

認および総駐車時間の確認

- (2) 2 台同時に駐車を行った際に衝突せずに走行するかの確認および総駐車時間の確認
- (3) 車両 A の 20m 以内に車両 B が存在する場合に、停止するかの確認
- (4) 車両 A の 6m 以内に車両 B が存在する場合に、再経路計画を行い車両 B と衝突せずに走行すること、車両 B との距離が 20m 以上となった時点で車両 B が動き出すことの確認

図 9 に示すように、車両の開始位置は駐車待機スペースから行き、駐車位置は空き駐車スペース (a,b,c,d) を全ての組み合わせを設定した。

検証 1,2 では、図 9 の車両 A および車両 B の位置から開始し、a,b,c,d を車両 A および車両 B が駐車する 12 通りを 2 条件で計 24 通り行った。この検証を行う目的としては、この検証用環境においてどの駐車位置に設定しても衝突なく駐車が可能であるかの確認および 2 台同時に駐車することで総駐車時間が短縮されることを確かめることである。

検証 3 の車両 A の 20m 以内に車両 B が存在する場合に停止するかの確認は、検証 2,4 を行う際に常時確認を行う。検証を行う目的としては、車両 B の停止をする閾値が 20m に設定しているが、その閾値で車両 A の駐車妨げにならないことと、デッドロックしないことを確認することである。

検証 4 では、次の図 9 の車両 A と車両 B の開始位置を逆にして、車両 A の駐車開始位置の前方に車両 B が存在するシーンを作成した。前方に車両 B が存在するため、再経路計画を行い、衝突しないことを確認する。この検証を行う目的としては、車両 A が車両 B と衝突しそうになった場合に車両 B を正しく障害物として認識して、衝突しない経路計画を作成するか確認することである。

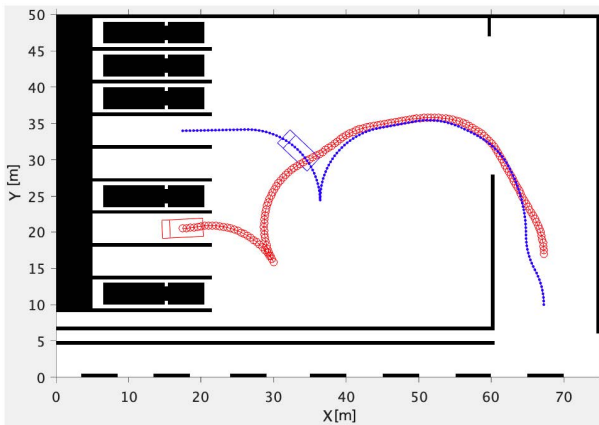


図 10 1 台ずつの自動駐車例

Fig. 10 Example: one by one for automated parking

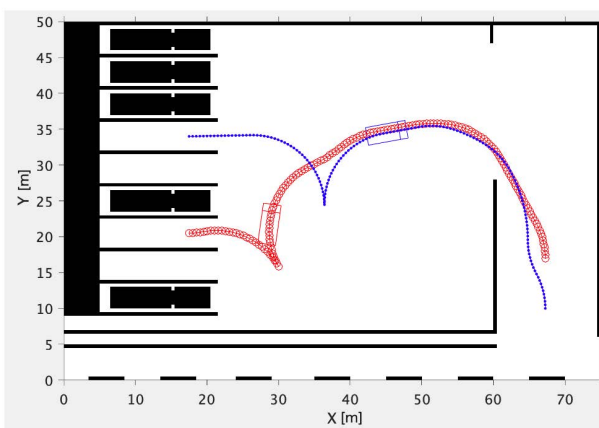


図 11 2 台同時の駐車例

Fig. 11 Example: two vehicles automated parking

表 1 2 条件の自動駐車時間の比較
Table 1 Comparison two conditions of automated parking time

| 目標駐車位置 (車両 A, 車両 B) | 1 台ずつの 駐車時間 [s] | 2 台同時の 駐車時間 [s] | 時間 短縮率 [%] |
|------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| (a,b) | 56.4 | 38.9 | 31.0 |
| (a,c) | 57.2 | 39.6 | 30.8 |
| (a,d) | 58.1 | 40.7 | 29.9 |
| (b,a) | 55.4 | 37.7 | 31.9 |
| (b,c) | 56.3 | 38.8 | 31.3 |
| (b,d) | 57.2 | 39.9 | 30.2 |
| (c,a) | 56.5 | 37.6 | 33.6 |
| (c,b) | 56.6 | 34.9 | 38.3 |
| (c,d) | 58.3 | 40.2 | 31.0 |
| (d,a) | 57.1 | 37.3 | 34.7 |
| (d,b) | 57.2 | 35.4 | 38.1 |
| (d,c) | 58.0 | 39.2 | 32.4 |
| 平均 | - | - | 32.7 |

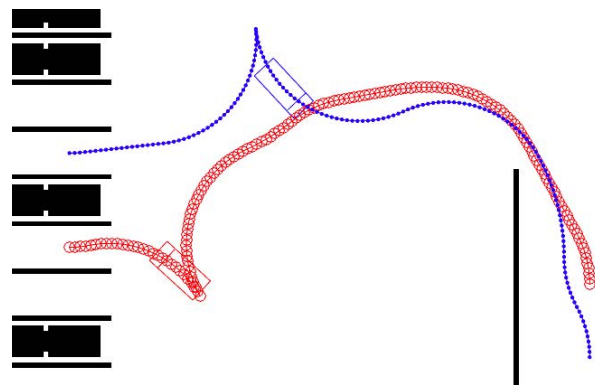


図 12 車両 A:c, 車両 B:b の 2 台同時自動駐車

Fig. 12 Two vehicles automated parking when CarA:c, CarB:b

5. 検証結果

5.1 検証 1 および検証 2 の結果

1 台ずつ駐車を行った際に衝突せずに走行するかの確認を行った。シミュレーションした際の画面を次の図 10 に示す。

検証を行った結果、衝突する経路を取ることはなく、周辺の障害物を避けながら動作したことを確認した。次に 2 台同時に駐車を行った際に衝突せずに走行するかの確認の確認を行った。シミュレーションした際の画面を次の図 11 に示す。検証を行った結果、こちらも衝突する経路を取ることはなく周辺の障害物を避けながら動作し、車両 B が車両 A の駐車妨げにならない 20m を開けながら動作していることを確認した。

検証 1 および検証 2 における総駐車時間の確認を行った。各駐車場所に対して、1 台ずつ自動駐車させた場合と 2 台同時に自動駐車させた場合の総駐車時間の結果を表 1 に示す。

表 1 より、本検証環境において 1 台ずつ自動駐車させた

場合と 2 台同時に自動駐車させた場合を比較した際、平均で 32.7[%] の時間短縮を行うことができた。最も時間短縮率の大きかったものは車両 A が c、車両 B が b に駐車するパターンであった。最も時間短縮率が大きくなった主な要因としては、図 12 のように駐車する際に車両 A と車両 B との距離が 20m 以上を維持している時間が長かったため、総駐車時間が短くなった。次に時間短縮率が大きかった車両 A が d、車両 B が b に駐車するパターンも同様であった。

5.2 検証 3 の結果

車両 A の 20m 以内に車両 B が存在する場合に、停止するかの確認を検証 2,4 において常時行った。結果としては、車両 B が車両 A の駐車妨げとなる状況は一度も見受けられず、図 11、図 12 のように正常に 20m 付近で停止を続けていた。また、停止する位置に関しても車両 A より前方へ行くシーンがなかったため、進路を妨害することも確認できなかった。

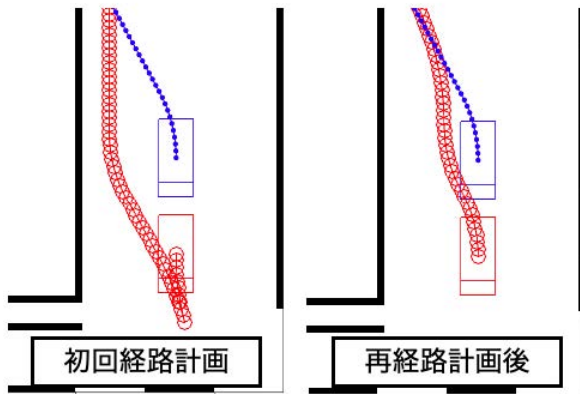


図 13 再経路計画検証

Fig. 13 Verify path replanning

5.3 検証 4 の結果

次に車両 A の 6m 以内に車両 B が存在する場合に、再経路計画を行うことを確認した。再経路計画をした際の様子を次の図 13 に示す。車両 B を障害物として認識して再経路計画によって算出された経路を辿ることで、車両 B と衝突しない経路を生成、衝突が無いことを確認した。また、衝突しない経路を辿り、車両 B から 20m 離れるまで再経路計画を行わないことを確認した。

5.4 考察

これらの検証結果から同時自動駐車において車両の台数の増やした場合に駐車時間の考察を以下に示す。同時自動駐車において生成される経路は、再計画が行われな限り変化しない。そのため主として総駐車時間が短くなる要素は、全ての車両が同時に走行している時間が長い状況である。逆に本環境において、車両が停止している時間が長くなる場面としては、2つ考えられる。1つ目は初めの走行開始までの待機中の時間である。2つ目は駐車する際に 20m 以上を保たずに同時に駐車を行おうとして停止する場合である。

1つ目の待機時間に関しては駐車待機スペースから車両同士が 20m 以上離れるまで動き出せないため、大幅な時間の短縮が見込めない。これは台数が増えた場合にも同様であると考えられる。

2つ目の 20m 以上を保たずに同時に駐車を行おうとする場合に関しては、本環境における全ての空き駐車スペースが比較的距離が近い場合、大幅な時間の短縮が見込めない。従って、これも台数が増えた場合にも、時間の短縮は見込めないと考えられる。

上記の考察を前提に、本環境において台数を増やした場合は時間短縮率はおおそ線形的に増加すると考えられる。

6. まとめ

本研究では、複数台のセミトレーラが衝突しない同時自

動駐車手法の提案を行い、2 台のトレーラ部なしの車両が衝突しない自動駐車手法の検証を行った。その結果、先に駐車を開始した 1 台目の車両の駐車動作に対し、他車両が妨げになることは無いことを確認できた。また、万が一他車両が 1 台目の車両の妨害を行った場合にも、他車両を障害物として登録し、再経路計画を行うことで衝突しない経路を取ることを確認できた。総駐車時間に関しては、本研究での環境では 1 台ずつ駐車を行っていくより平均 32.7% の時間短縮率を得ることが出来た。

今後の課題としては、今回の実装では行わなかったトレーラ部の追加が挙げられる。トレーラ部の追加としては、Hybrid A Star のコストにトレーラ部のキネマティクスを追加して計算させる必要がある。その実装の次に、本検証で行った処理をデッドロックなしに実行できることの検証を行う必要がある。また、今回は 2 台の車両で検証を行ったが、3 台、4 台と増やした際に本環境で総駐車時間がどう変化するかを確認することが挙げられる。台数を増やすに伴い、再経路計画を行うと経路計算で解が算出できない場合が発生しデッドロックする可能性が出てくる。その際に、再計画の妨げとなっている車両および周辺車両が妨げにならない位置まで移動する処理を追加する必要がある。そのため 1 台ずつ自動駐車を行う場合と複数台を同時に自動駐車する場合には、複数台の自動駐車の方が総駐車時間が長くなる可能性があることから、同時自動駐車台数と総駐車時間の関係性を示す検証を行う必要がある。上記の検証を行い、これらの実装をトレーラ部を追加して、動作することの確認を行うことで複数台のセミトレーラの自動駐車が可能になると考えられる。また、より自動駐車にかかる総駐車時間の短縮化を図るためには、駐車をを行う際に車両を近くに寄せない駐車先を自動で選定するアルゴリズムを実装することが挙げられる。

参考文献

- [1] TOYOTA MOTOR CORPORATION : トヨタ安全安心機能サイト, <https://toyota.jp/safety/scene/parking/>, 参照日 (Nov. 13,2018)
- [2] NISSAN : 日産:リーフ [LEAF] — 先進技術, https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf/advanced_technology.html, 参照日 (Nov. 13,2018)
- [3] Honda Motor : スマートパーキングアシスト, <https://www.honda.co.jp/tech/auto/hondasmart-parking/>, 参照日 (Nov. 13,2018)
- [4] Mercedes-Benz : Automated valet parking., <https://www.mercedes-benz.com/en/innovation/daimler-bosch-automated-valet-parking/>, 参照日 (Jan. 10,2020)
- [5] MathWorks : Automated Parking Valet, <https://jp.mathworks.com/help/driving/examples/automated-parking-valet.html>, 参照日 (Jan. 10,2020)
- [6] ZF Friedrichshafen : ZF イノベーション・トラック, https://www.zf.com/japan/ja_jp/corporate/products_services_corporate/technology_trends_folder/zf_innovation_truck/zf_innovation_

- `truck_index.html`, 参照日 (Nov. 13,2018)
- [7] GitHub[AtsushiSskai] : HybridAStarTrailer,<https://github.com/AtsushiSakai/HybridAStarTrailer>, 参照日 (Jan. 10,2020)
 - [8] Micheal Montemerlo, et al., Junior: The Stanford Entry in the Urban Challenge, pp. 1-21, Stanford University, California, 2008.
 - [9] Janko Peterleit, Thomas Emter, Christian W. Frey, Thomas Kopfstedt, Andreas Beutel, “Application of Hybrid A* to an Autonomous Mobile Robot for Path Planning in Unstructured Outdoor Environments,” IEEE 7th German Conference on Robotics, pp. 1-2, Munich, Germany, May 2012.
 - [10] Yoshiaki Kuwata, Gaston Fiore, Emilio Frazzoli:Real-time Motion Planning with Applications to Autonomous Urban Driving, IEEE Trans. Control System Technology, Vol. 17, No. 5 pp.1105-1118, 2009.
 - [11] David Gonzalez, Joshua P. Perez, Vicente Milanés, Fwzi Nashashibi: A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles, IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, Vol. 17, No.4 pp.1135-1145, 2015.
 - [12] Brian Paden, Michal Cap, Sze Zheng Yong, Dmitry Yershov, Emilio Frazzoli: A Survey of Motion Planning and Control Techniques for Self-Driving Urban Vehicles,” , IEEE Trans. Intelligent Vehicles, Vol. 1, No.1 pp.35-55, 2016.