

# 実環境と移動体モデルを考慮した未来予測画像提示による 操作支援システム

## Pathfinder Vision: Future Prediction Interface for Vehicle Operation

○非 前田 直哉 (慶大) 正 杉本 麻樹 (慶大)

Naoya MAEDA, Keio University, nmaeda@hvrl.ics.keio.ac.jp  
Maki SUGIMOTO, Keio University

**Abstract:** Nowadays, controlling vehicles through video image-based interfaces is becoming more common. Tele-robot operation is one of applications of those interfaces. Thanks to advanced functions of driving assistance systems, it is possible to automatically avoid actually crashing with obstacles. However future prediction in real time route planning during actual operation is a challenging issue for operators. This paper introduces a vehicle operation interface which presents a predicted future. The interface consists of a real time depth image based on modeling technique of real environments and a trajectory prediction of a vehicle. The predicted vehicle interacts with the real world by using a physics engine on Augmented Reality. It assists human ability to control vehicles in unknown real environments.

**Key Words:** Robot Operation, Human Interface, Future Prediction

### 1. はじめに

災害現場などの人間の立ち入れない場所で人間の代わりに作業や情報収集を行う災害支援ロボットが多く活躍している。それに伴い災害支援ロボットの操作インタフェースの研究も多く行われてきている。ロボットの操作において重要なことはロボット自身の位置とロボットを取り巻く実環境の把握であり、現在のロボットの位置と周囲環境をポールカメラや蓄積画像と CG モデルを用いて外部からの客観画像を生成することで操作性の向上を計る研究が行われている。一方で、客観画像を用いることで現在の状況把握は容易になるものの操作を続けた場合にどのような状況が発生するかを予測する場合には、操作者の経験が必要とされ、適切な操作のための判断が行いがたい場合があった。

そこで本研究では現在の操作状態と周囲環境の情報に基づき物理的な干渉を考慮した予測画像を生成・提示することで、操作者の未来予測を支援し、操作性の向上を実現するインタフェースを提案する。

本手法では奥行きカメラによってリアルタイムに実環境内の状況を取得し、障害物の形状モデルを生成する。さらに、現在の操作情報に基づき、数秒後にロボットがどのような位置にいるかを予測し、障害物モデルとロボットの予測モデルの間で物理シミュレーションを行うことにより干渉を考慮した未来予測画像を生成・提示することによって、操作者の経路選択を補助する。

実験を通じて通常のロボットのカメラ映像、CG モデルを用いた現在の状態を表す客観視点映像、提案手法による未来予測画像生成による映像の 3 つを比較し、提案手法を用いた場合に障害物の接触を回避して、安全な経路を選択することができることを明らかにした。

### 2. 関連研究

コンピュータビジョンを用いた移動ロボットの操作支援は多くの研究が行われている。杉本らは撮影された映像の履歴から適切なフレームを選択し、その過去画像内に現在のロボットの位置姿勢を考慮したモデルを重畳することでバーチャルな三人称視点を生成する手法を提案している[1]。Nielsenらはロボット周辺の 3 次元情報を取得し、ロボットとその周辺の環境を含む俯瞰画像を生成し提示する手法を提案している[2]。上田らは実環境内を全方位画像と距離画像センサによ

り得られる三次元点群を用いて自由視点画像生成し操作支援を行う手法を提案した[3]。

しかし、従来研究ではロボットの現在の状態と周囲の環境の関係性の認識は改善されるものの操作を続けた場合にロボットと周囲の環境がどのような相互作用を起こすかは明示されていなかった。そのため、操作者の奥行きや操作対象の身体性に関わる認識と実際のパラメータに差異がある場合、ロボットが通れない場所などでも通れるのではないかと判断してしまうということがあった。

操作者の近い将来に対する判断を補助するインタフェースとしては、実際の動作を続けた場合の将来の操作対象のモデルを提示する方法が開発されている[4]。一例としては、リアビューカメラによる自動車の駐車支援システムが挙げられる。これらのシステムでは、自動車後方につけられたカメラに自動車移動した場合、将来にどのような位置に移動するかを自動車の車幅に応じた線を重畳することで示すシステムである。また、橋本らはカメラ映像に操作対象の CG をカメラ画像内の実際の操作対象に重畳し、CG に対し将来の位置姿勢を指示することで、操作を行うインタフェースを提案した[5]。これらのシステムでは現在の環境との相互作用を考慮しておらず、どのように操作対象と周囲の環境が干渉するのかを可視化することはできない。

一方で、インタラクティブシステムの研究の中では、将来の状態において物体がどのように干渉するのかを物理シミュレーションを用いる手法がある。古田らは、キネティックアート作品の設計において、剛体物理シミュレーションエンジンを形状設計用のシステムに組み込むことで、形の編集作業の最中に、物理的な挙動を瞬時に予測、提示するインタフェースを開発した[6]。この手法により、時間経過に伴って変化する物体の位置や動きを高速にかつユーザにわかりやすく提示することが可能である。

本研究では、先行研究で提案されている将来の状態を表示して操作を補助する手法に対して、リアルタイムの操作情報に対応する物理シミュレーションを導入して可視化した未来を操作者に提示するインタフェースを構築する。

### 3. 提案システムの概要

#### 3.1. 未来予測画像の概要

ロボットを操作するためにユーザへ提示する画像としては、一般的にロボット自身の眼として搭載した外部を撮像するカメラからの「主観画像」と、環境の映像上に操作対象のモデルを重畳したり、操作対象であるロボット観察用に取り付けたカメラで撮像したりすることで獲得できる「客観画像」が用いられる。

これに対して、本研究においては「未来予測画像」をユーザへ提示することを提案する。「未来予測画像」とは客観視点で描かれたCGの移動ロボットが移動した場合、この環境内で将来どの位置にあるのかを予測し生成された未来予測画像上では実環境内の障害物を再現し、それに物理シミュレーションを入れることで進行方向に対する移動だけでなく、障害物があった場合の移動ロボットと障害物の干渉を表現した画像を指す。各提示画像の概念図が図1である。

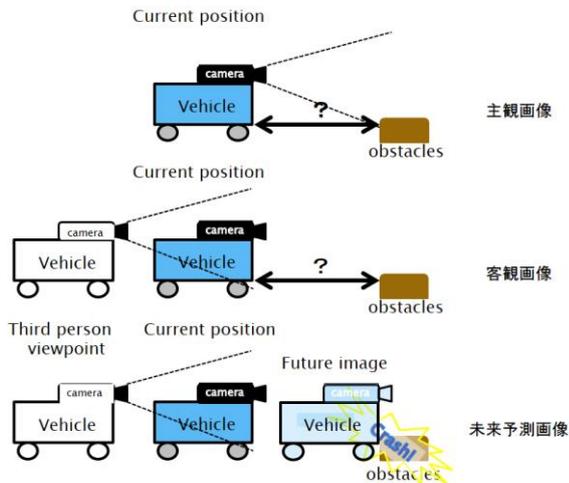


Fig. 1 各提示画像の概念図

これにより、衝突時の移動ロボットの挙動を示すことで、ユーザに対して衝突の回避を促すことが可能となる。本研究においては、客観視点画像内に予測モデルを生成し実環境との干渉を表した画像を未来予測画像と呼称する。提案システムにより生成した未来予測画像を図2に示す。

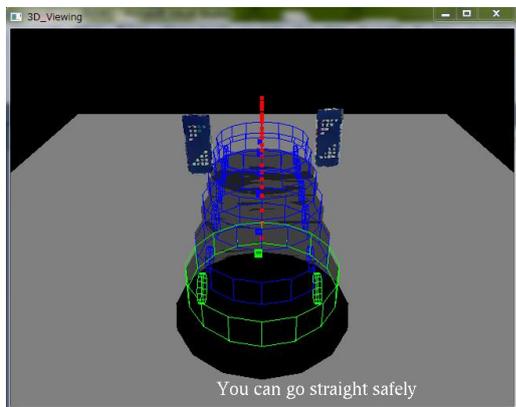


Fig. 2 未来予測画像

#### 3.2. 提案システムの流れ

提案システムの流れを図3に示す。システムの中では移動ロボットと画像の処理を同時に行っている。移動ロボットの

処理においては移動ロボットの速さ、旋回速度などの命令を与え、それに伴いロボットは移動が可能となる。画像処理のシステムにおいてはRGBのカラー画像とデプス画像の2種類を用いる。デプスカメラの画像より各カラー画像上の画素の3次元情報を取得する。3次元情報をもとに、障害物の検出を行う。ロボットに対して動作命令が行われた場合、障害物として抽出された3次元情報の点群を生成する。また、それと同時に入力された速さを元に予測モデルとなる移動ロボットを生成しておく。生成された予測モデルと障害物がインタラクションを行う、未来予測画像と客観画像を提示することで、操作支援を行う。

動作命令がなかった場合にはロボットは停止の状態であり、障害物との接触は行わないため、客観画像のみを提示する。

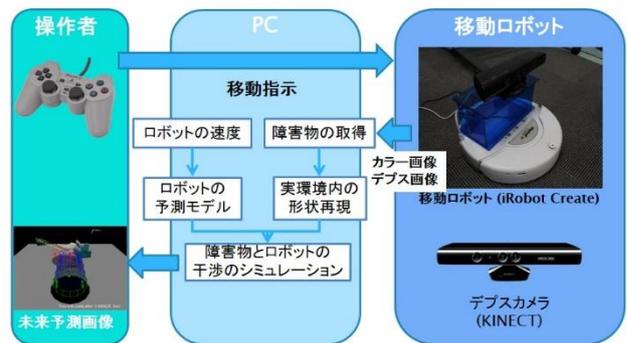


Fig. 3 提案システムの流れ

#### 3.3. 実環境内の形状再現

障害物とロボットの干渉を提示するためには障害物とロボットの3次元的な形状を把握しなければならない。移動ロボットは今回使用したロボットの特長上、直径34cm、高さ30cmの円柱として近似を行った。

一方、実環境内の障害物は障害物全体の形状を把握するにはカメラに映っている背面の情報が必要であるが、今回は障害物のカメラで映る部分の表面情報のみで障害物の形状を考慮した。障害物は点群の集合として描画されており、その点群1つ1つに対してあたり判定を行おうとした場合、処理に時間がかかりリアルタイム性を失う恐れがある。したがって今回は形状を直径2cmの球体として3次元形状を近似した。距離画像カメラから取得した環境の画像を図4に示す。また、この画像内の障害物を抽出し、形状近似したモデルを図5に示す。

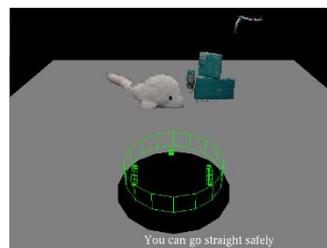


Fig. 4 実環境画像

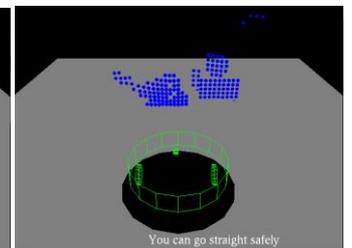


Fig. 5 障害物の形状近似

#### 3.4. ロボットと障害物の干渉のシミュレーション

実環境内で移動した場合、障害物に当たった移動ロボットは進行方向を妨げられ、衝突後にその場で動かなくなる場合、衝突して軌道が変わって移動方向が変わる場合などがある。時間経過に伴って変化するロボットの位置や動きをユー

がにわかりやすく提示するために今回は物理シミュレーションのライブラリである **Bullet Physics** を用いて、物理シミュレーションを行った。物理シミュレーション適用前、適用後の未来予測画像をそれぞれ図 6, 図 7 に示す。

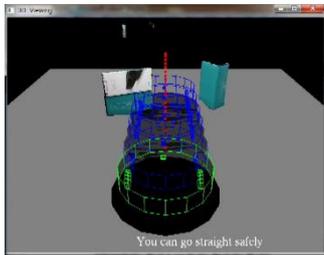


Fig. 6 適用前

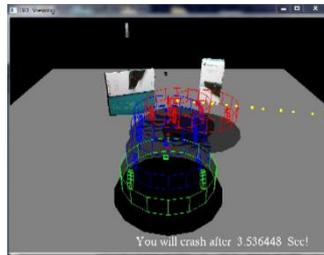


Fig. 7 適用後

## 4. 実装

### 4.1. 実装環境

本研究の実装環境を表 1 に示す。

Table 1 実験の環境設定

|          |  |
|----------|--|
| 画像解像度    | 640×480 pixel                              |
| RGBD-カメラ | Kinect for Xbox360                         |
| CPU      | AMD Athlon(tm) II X4 640 Processor 3.00GHz |
| メモリ      | 4GB  |
| GPU      | ATI Radeon HD 4250                         |
| OS       | Windows 7 Professional 64bit               |
| 移動ロボット   | iRobot iRobot Create                       |

今回使用するロボットは **iRobot Create** に RGBD-カメラを上部に固定し、図 8 のような移動ロボットを作成した。



Fig. 8 移動ロボット

### 4.2. インタフェース

客観視点画像では視点の位置を RGBD-カメラの視点の位置を原点とした場合、移動ロボット後方 700mm 高さ 450mm の位置から原点を見るように設定し、移動ロボット自身を客観的に見ることが可能にした。

今回使用した RGBD-カメラではカメラの特性上、視点の距離から 500mm の 3 次元情報は取得できない。したがって、今回の実装では 500mm よりも手前にある障害物は認識されず、障害物がないものとして扱われる。しかし、今回のロボットの 1 秒間に進む距離は 3 次元形状の取得外の範囲よりも小さい。したがって今回の実装では、ロボットの予測モデルを初期位置の 1 秒後の位置に設置した。

また、ユーザに対して未来予測画像を提示するタイミングは、ユーザの移動の入力があった場合の 1 秒後であり、未来

予測画像として提示する画像は 1 秒後から約 8 秒後までの移動ロボットの中心位置の座標と、1 秒後から 5 秒後までの移動ロボットの移動した場合の 1 秒間隔での予測位置を 3 秒間提示する。

## 5. 提案システムの評価

### 5.1. 実験設定

提案システムの有用性を調べるために実環境内で実験を行った。実環境内で設計した経路は図 9 である。経路内を移動していくうえでの条件は以下のとおりである。

- ・ スタートしたのちに、チェックポイント 3 点を必ず通り、ゴール地点で停止する。
- ・ ゲートは 4 つあり、それぞれ通過の有無を必ず判断する。
- ・ 通過可能の判断の場合、通過、通過不可の判断の場合、迂回する。
- ・ ゲート通過時に通過不可能と判断した場合、後退し迂回する。
- ・ 衝突はなるべく回避するよう被験者に伝える。

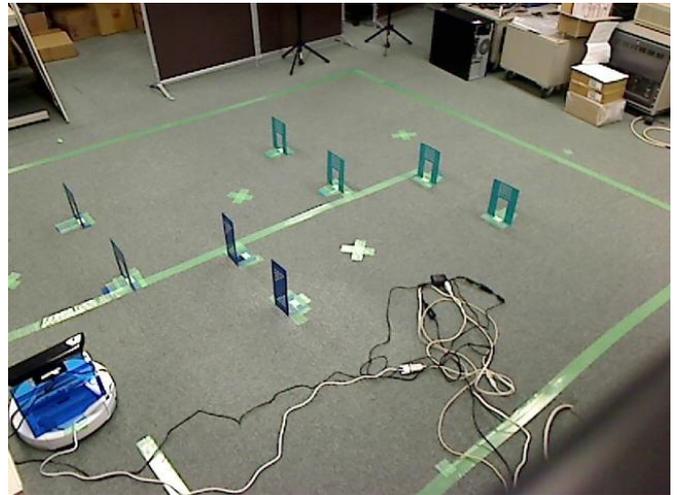


Fig. 9 実験環境の経路

本実験では主観画像、主観画像と客観視点画像、主観画像と客観視点画像と未来画像の 3 種類の画像提示手法による操作インタフェースを比較した。提示の違いによる比較は実験経路の衝突回数、判断の誤認率において行った。ゲートは 4 種類の大きさがあり、それぞれ 30cm, 34cm, 40cm, 45cm で移動ロボットの最大幅は 34cm である。つまり、通過不可能なゲートは 30cm, 34cm であり、通過可能なゲートは 40cm, 45cm である。操作インタフェースとしてはジョイパッドを用いた。被験者は 8 名 (20 代 7 名, 30 代 1 名) であった。ユーザには実験経路を走行する前に実験経路、ロボットの操作方法の説明を行った。3 種類の提示する画像はそれぞれ図 10, 図 11, 図 12 である。

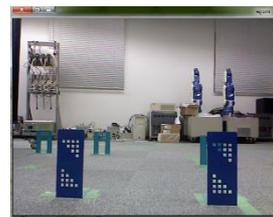


Fig.10 主観画像

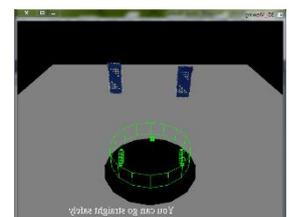


Fig.11 客観画像

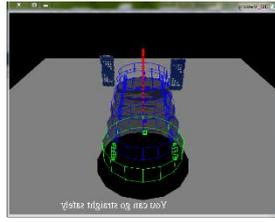


Fig.12 未来予測画像

## 5.2. 実験結果

### 5.2.1. 提示方法別による衝突回数の比較

3種類の画像提示方法による全被験者の平均衝突回数、標準偏差を表したグラフが図13である。

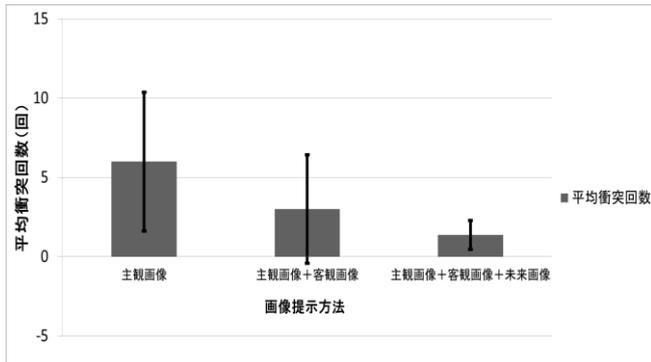


Fig.13 3種類の提示方法による平均衝突回数

実験結果より提案手法は主観画像、主観画像+客観画像の手法よりも平均衝突回数が少なく、操縦の性格を向上するのに有効である。また、標準偏差で比較した場合、主観画像、主観画像+客観画像の手法よりも提案手法は標準偏差が小さく、今回の実験の操作者の個人差に関係なく有効であると考えられる。

### 5.2.2. 提示方法別の誤認識率の比較

3種類の画像提示方法別のユーザ全体の誤認識率を図14に示す。また、4種類のゲート別の通過、迂回の認識において操作者の誤認識の割合を3種類の画像提示方法で比較した結果を図15に示す。

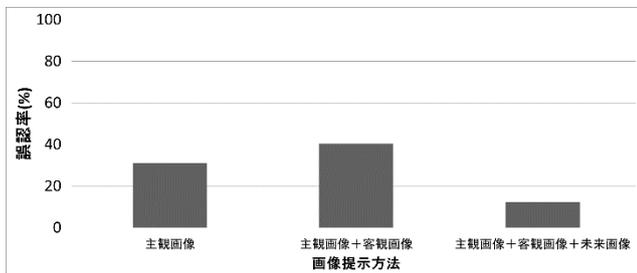


Fig.14 3種類の提示方法における全体の誤認識率

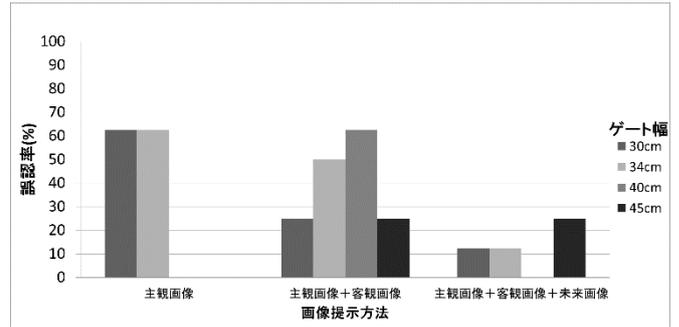


Fig.15 3種類の提示方法におけるゲート別誤認識率

実験結果より、提案手法は主観画像、主観画像+客観画像の手法よりもゲートの幅の誤認識率が下がっていた。したがって、提案手法が安全な経路選択に有効である。また、ゲートの幅別の誤認識率を見た場合、主観画像、主観画像+客観画像の画像提示の場合、通過できないゲートを通過できると認識したときの誤認する人に比べ、通過不可能時の提案手法の誤認識率が小さい。したがって、提案手法は操作者の環境と操作対象の干渉の予測に貢献し、効率的な経路設計に有効であることを確認できたと考える。

## 6. まとめ

本論文では実環境と移動ロボットの予測モデルを考慮した未来画像を生成し移動ロボットの操作支援を行った。実環境はリアルタイムで取得し、それにともない障害物の検出を行った。予測モデルには実環境を再現したバーチャル空間内にCGで移動ロボットを描画し、物理シミュレーションを適用することで未来画像を生成した。

提案システムの有用性を確認するため、被験者実験を行った。まず、未来画像の提示のリアルタイム性の評価を行った。次に3種類の画像提示手法による操作インタフェースを衝突回数、判断の誤認識率により評価した。提案システムにより衝突回数、誤認の判断率に向上が見られ、提案システムの有用性を証明することができた。

今後は、移動ロボットと実環境内の位置の相対関係の認識性を高めるために客観画像において過去画像を用いた実環境内のカラー画像に未来画像を生成することを実現していく。

## 文 献

- [1] Maki, Sugimoto, et al. "Time Follower's Vision: a teleoperation interface with past images." *Computer Graphics and Applications, IEEE* 25.1 (2005): 54-63.
- [2] 上田 優子, 大倉 史生, 佐藤 智和, 横矢 直和: "拡張自由視点画像生成を用いた遠隔移動ロボット操縦インタフェース", 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE2012-73, Jan. 2013.
- [3] Nielsen, Curtis W., Michael A. Goodrich, and Robert W. Ricks. "Ecological interfaces for improving mobile robot teleoperation." *Robotics, IEEE Transactions on* 23.5 (2007): 927-941.
- [4] インテリジェントパーキングアシストシステム, トヨタ <http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/parking/>
- [5] Sunao Hashimoto, Akihiko Ishida, Masahiko Inami, Takeo Igarashi, "TouchMe: An Augmented Reality Based Remote Robot Manipulation", The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Proceedings of ICAT2011, Osaka, Nov. 28-30, 2011.
- [6] Yohsuke, Furuta, et al. "Kinetic art design system comprising rigid body simulation." *Computer-Aided Design and Applications, CAD in the Arts Special7* (2010): 4.