



# 実環境との干渉を考慮した未来予測モデルの実写履歴画像への重畠による遠隔操作支援システムの提案

Pathfinder Vision: Future Prediction Augmented Reality Interface for Vehicle Operation Using Past Images

前田直哉<sup>1)</sup>, 杉本麻樹<sup>1)</sup>

Naoya MAEDA and Maki SUGIMOTO

1) 慶應義塾大学大学院 理工学研究科  
(〒 223 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1, nmaeda@imlab.ics.keio.ac.jp)

**概要:** 人間の立ち入れない場所で作業や情報収集を行うロボットが多く活躍しており、ロボットの遠隔操作インターフェースの研究も多く行われてきている。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画像を提示することで、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ー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、数秒後にロボットがどの位置にいるかを予測した未来予測画像を実写履歴画像上に生成・提示する。

**キーワード:** ロボット操作, ヒューマンインターフェース, 拡張現実感, 未来予測

## 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ー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ーフェースを提案する。図 1 に本研究で使用する移動ロボットを示す。



図 1: 移動ロボット

## 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畠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]。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 [2]。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。

操作者の近い将来に対する判断を補助するインターフェースとしては、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。一例としては、自動車が移動した場合、将来にどの様な位置に移動するかを自動車の車幅に応じた線を重畠することで示す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 [3]。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畠し、CG に対し将来の位置姿勢を指示することで、操作を行うインターフェースを提案した [4]。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行っていない。

一方で、インタラクティブシステムの研究の中では、将来的な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、提示するインターフェースを開発した[5]。

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ーフェースを構築する。

### 3. 提案システム

#### 3.1 未来予測画像の概要

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畠したり、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。今回は現在の位置情報で客観視点画像をバーチャル空間上に擬似的に客観画像を生成している。本研究において「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2、提示する未来予測画像が図3である。

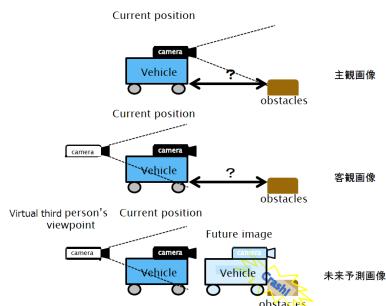


図2: 各提示画像の概念図

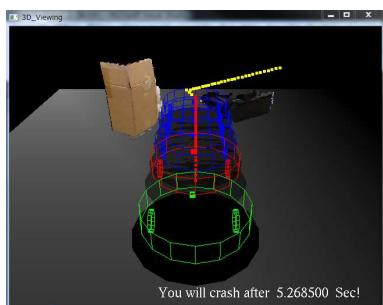


図3: 未来予測画像

#### 3.2 提案システムの流れ

提案システムの流れを図4に示す。システムの中では移動ロボットと画像の処理を行っている。移動ロボットの処理は移動ロボットの速さ、旋回などの命令をロボットに搭載しているPCにUDPを用いて伝送する。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次元情報を取得し、処理を行うPCに2つの画像をUDPによって伝送する。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。

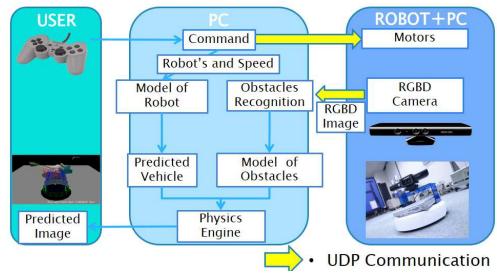


図4: 提案システムの流れ

#### 3.3 実環境内の形状表現

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性上、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。処理のリアルタイム性を考慮して、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5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6に示す。



図5: 実環境画像

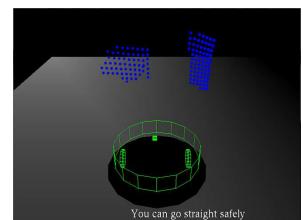


図6: 形状近似画像

#### 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、衝突して軌道が変わって移動方向が変わる場合がある。将来のロボットの位置や動きをユーザ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 7 に示す。

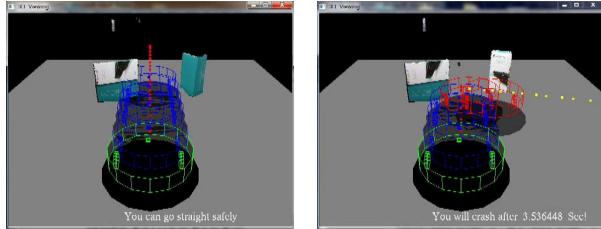


図 7: 物理シミュレーションの導入 (左:適用前, 右:適用後)

#### 4. 実装

##### 4.1 実装環境

本研究の実装環境を表 1 に示す。

表 1: 実装の環境設定

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

##### 4.2 未来予測画像の提示

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. 実験

##### 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予備実験を行った。実環境内で設計した経路は図 8 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。

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

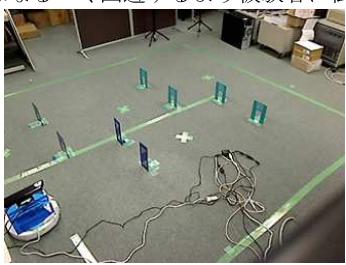


図 8: 実験風景

予備実験では主観画像、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ー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。操作インター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図 9 である。

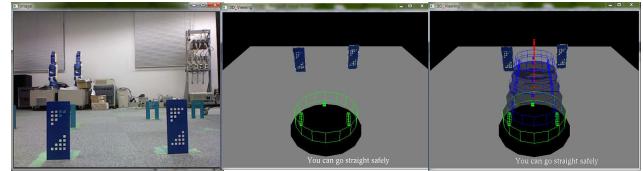


図 9: 各提示画像 (左:主観, 中:客観, 右 :予測)

#### 5.2 実験結果

##### 5.2.1 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 10 である。実験結果より提案

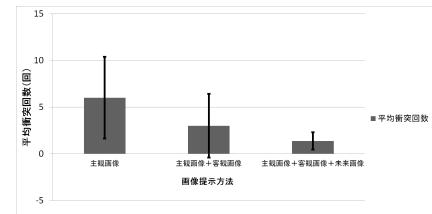


図 10: 3 種類の提示方法による平均衝突回数

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、提案手法は標準偏差が最も小さく、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 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 11 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 12 に示す。

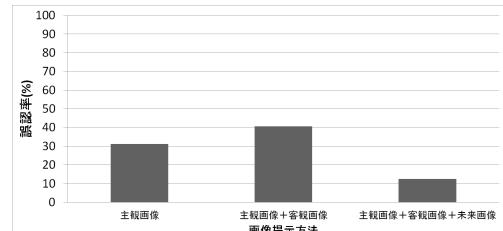


図 11: 3 種類の提示方法における誤認識率

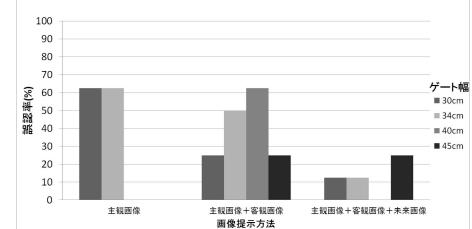


図 12: 3 種類の提示方法におけるゲート別誤認識率

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. 考察

操作者の衝突回避に対して有効であるという結果であったが、実験経路のゲートを通過した直後に操作者が曲がろうとした場合に衝突していることが多数見受けられた。これは、カメラがロボット前方のみであり、かつ今回用いたデプスカメラの特性上、カメラ視線方向手前 50cm は距離のセンシングができないため、実環境の構築ができないためである。

## 7. 実写履歴画像への未来予測画像の重畠

実環境の把握を行ううえで、デプスカメラによって 3 次元形状の取得できない部分を補完する必要がある。センシングできない部分を補うために従来手法である、実写履歴画像に現在のロボットの位置を CG で重畠する手法 [1] を取り入れた。実写履歴画像の中に未来予測モデルを出力する場合の概念図が図 13 である。この手法では、現在の位置情報のみで客観視点画像をバーチャル空間上に擬似的に生成するのではなく、ロボットの移動中に取得してきた過去数秒間の画像か操作者に対して、最適に見えるように客観視点画像を生成する手法である。

実写履歴画像とは移動中に取得してきた履歴画像のことである。実写履歴画像に現在の場所を重畠することにより、バーチャル空間では表現できなかった、カメラ前方の取得できなかった障害物の情報を客観視点画像に追加し、現在のロボット自身の位置を容易に把握することが可能となる。この手法を取り入れたインターフェースが図 14 となっている。

一方で、実写履歴画像を用いた場合、操作中にロボットの履歴画像上から現在のロボットが重畠できない位置にある場合やロボットの予測モデルが画面外に出力される場合がある。これに関しては、過去数秒間の実写履歴画像を保存し、実環境の 3 次元情報とロボットの相関関係からその中から現在のロボットの位置や未来予測モデルが操作者に対して最適な提示が可能となるように実装を行う予定である。

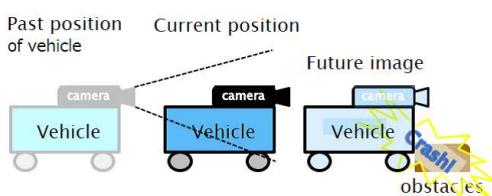


図 13: 履歴画像への重畠



図 14: 履歴画像への未来予測画像の適用

## 8. 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、それに伴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、予備実験を行った。3種類の画像提示手法による操作インターフェースを衝突回数、判断の誤認率により評価した。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した一方で、形状取得の問題点を見つけ改善する手法を適用した。今後は予測画像提示方法の最適化を行い、操作性の評価の実験を行う予定である。

## 参考文献

- [1] Maki Sugimoto, et al: Time Follower's Vision: a teleoperation interface with past images, Computer Graphics and Applications, IEEE 25.1, pp.54-63, 2005.
- [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ーフェース, 電子情報通信学会 技術研究報告, MVE2012-73, Jan. 2013.
- [3] 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/>
- [4] 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.
- [5] Yohsuke Furuta, et al. Kinetic art design system comprising rigid body simulation. Computer-Aided Design and Applications, CAD in the Arts Special7 : 4, 2010.