

# ロボット遠隔操作におけるオノマトペ視覚提示を用いた 衝突回避動作支援システムの提案

安藤舞香（名大），板寺駿輝（名大），中西淳（名城大），青山忠義（名大），長谷川泰久（名大）

## Onomatopoeia-based Visual Feedback for Collision Avoidance in Shared Control Teleoperation

Maika ANDO (Nagoya Univ.), Shunki ITADERA (Nagoya Univ.),  
Jun NAKANISHI (Meijo Univ.), Tadayoshi AOYAMA (Nagoya Univ.)  
and Yasuhisa HASEGAWA (Nagoya Univ.)

**Abstract:** This paper proposes a shared control approach for cognition support in robot teleoperation for the purpose of collision avoidance using onomatopoeia-based visual feedback. In the proposed teleoperation system, while the robot autonomously avoids collision with an environment according to the virtual repulsive force based on the relative distance between the robot and the obstacle, a suitable onomatopoeia is presented in the head-mounted display according to the virtual contact condition of an occluded area to visually provide a haptic sense to the operator. We present a preliminary experiment in order to suggest the feasibility of visually presenting such auxiliary haptic information in shared control teleoperation.

### 1. 緒言

近年の高齢化社会の進展に伴い，一般家庭や介護施設において高齢者や身体障がい者を介助し自立生活を支援する生活支援ロボットが期待されている [1]．生活支援ロボットの一使用形態として，被介助者の家族や被介助者自身により遠隔操作でロボットを操作するケースが想定される．ロボットを遠隔操作する場合，操作者はカメラから得られる視覚に代表される限られた感覚情報に基づいて適切な操作判断を行わなければならない．一般家庭環境などで生活支援ロボットの遠隔操作を行う際には，視野外の接触等に注意を向けながら目的の操作を行うことは困難である．

そこで操作性および安全性を向上させるため，遠隔による手動操作とロボットによる自律動作を統合した Shared Control が提案されている．文献 [2] では，ロボットの遠隔操作に自律的な旋回・倣い・減速動作を統合し，壁に囲まれた狭い通路を移動する際に衝突を回避する制御手法が提案されている．文献 [3] では，自律動作の介入を操作者へ力覚提示する Haptic Shared Control へと拡張することで操作者とロボットが相互に協調し，操作者の入力意図とロボットの動作の差異を低減することが可能であることが報告されている．また，文献 [4] ではマスター・スレーブ方式で遠隔操作を行う際に力を直接操作者へフィードバックしており，Haptic Shared Control により遠隔ロボットの操作性を向上させることが可能であることが示されている．しかしながら，生活支援ロボットの使用が想定される高齢者や被介助者に対して直接力覚提示するデバイスを用いることは操作負担に繋がるとともに，複雑化や大型化に伴うコストなどの面から一般家庭への導入は不向きであると考えられている [5]．

これまでに，筆者らは遠隔操作における力覚情報の提示



Fig. 1: A concept of the proposed onomatopoeia-based visual feedback for shared control in collision avoidance.

を行う手段として，擬音語・擬態語の総称であるオノマトペを用いてスレーブロボットが取得した力覚情報を視覚的に操作者へ提示する手法を提案した [6]．オノマトペは「感覚モダリティから経験的に得た情報を感覚のまま再現した言葉」と定義されており [7]，使用者に対して自身の経験に基づく体性感覚を適当な言葉によって想起させることが可能であると考えられる．文献 [6] では，拘束による操作負担を低減することを目的とし，遠隔操作インターフェースとしては簡易な VR デバイスを用い，力覚をオノマトペとして VR デバイスの視野上に重畳している．本研究では，遠隔操作時において自律的に衝突回避動作を行う際，仮想的な接触状態をオノマトペを用いて視覚提示することで操作負担の少ない操作デバイスを用いた衝突回避支援システムを提案する．Fig. 1 に提案するシステム概念図を示す．これにより，簡便なインターフェースを用いた遠隔操作システムにおいてオノマトペに基づく視覚情報による擬似的な Haptic Shared Control を実現し，ロボットの遠隔操作における操作負担の低減および衝突回避動作における認知

補助の両立といった効果が期待される．本稿では，提案するシステムを用いた衝突回避動作の実現やオノマトペの選択手法について述べる．

## 2. オノマトペの視覚提示を伴う衝突回避支援システム

本提案手法では，まずロボット上の RGB-D センサを用いて取得した物体との距離情報に基づいて仮想的な斥力を生成する．次に，得られた仮想斥力をロボットベース位置に対するアドミッタンス制御への入力とすることで，自律的な回避動作を実現すると同時に，仮想斥力やベース速度といった仮想接触情報に基づいて仮想的な力覚を再現するオノマトペを選択・提示する．

### 2.1 遠隔操作システム

本研究では生活支援ロボット HSR (Human Support Robot, トヨタ自動車 [1]) 及び, VR 用 HMD (Oculus Rift, Oculus), VR 用コントローラ (Oculus Touch, Oculus), および HMD を用いた Augmented Reality (AR) 用ステレオカメラ (Ovrvision Pro, Wizapply) によって構成される遠隔操作システムを用いる [8]．これにより, 没入感のある直感的なロボットの遠隔操作を行うことが可能となる．

### 2.2 ロボットと障害物の相対距離算出

Fig. 2 に示すように, ロボット頭部に搭載されている RGB-D カメラを用いて取得した点群から物体平面の法線ベクトルを算出し, ロボットのベース部中心と物体との距離を計算する．HSR のアーム可動範囲は RGB-D カメラの測定範囲と重複するため, ロボット自身の点群を除去する ROS パッケージ *robot\_self\_filter* を使用する．RGB-D カメラ視野外の環境情報を取得するため, 3 次元環境地図として, 入力点群に対して八分木のデータ構造を持つ OctoMap を導入する [9]．物体とベースの距離は以下の手順で算出する．

- 1) OctoMap による点群情報を用いて, world 座標系から見たロボットのベース中心と各点群の相対距離を計算する．
- 2) ベース中心部に最も近い点から半径  $r$  内に存在する点群  $p_r$  を Point Cloud Library (PCL) を用いて探索・抽出する．
- 3)  $p_r$  に対して法線ベクトル  $n$  を算出する．
- 4) 以下の式 (1) により, 抽出点群平面とベース中心部の距離  $d_b$  を計算する．

$$d_b = \frac{|n \cdot (x_b - p_{min})|}{|n|} \quad (1)$$

ここで,  $p_{min}$  はロボットベース中心部に最も近い距離に存在する点群の位置,  $x_b$  はロボットベース中心の位置で

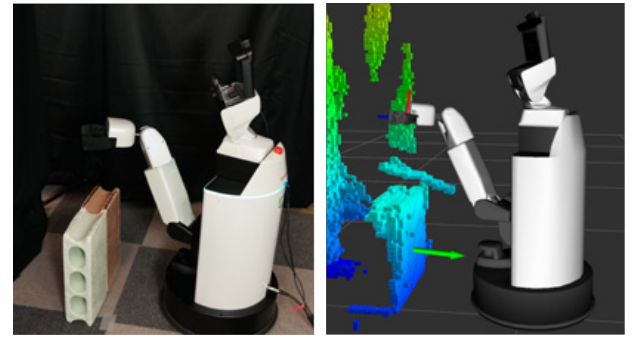


Fig. 2: Left: A test environment. Right: Detected 3D octomap and the normal vector (green arrow).

ある．

### 2.3 仮想斥力の算出

式 (1) で定義されるロボットベース中心部と障害物の距離  $d_b$  に基づき, 以下の式 (2), (3) により仮想斥力を算出する．式 (3) で与えられるように仮想斥力は物体表面に対して法線方向の力となる．式 (2) において,  $s, t, u$  は仮想斥力の応答性を調整する係数である． $s > 0$  により仮想斥力の勾配,  $t < 0$  により仮想斥力が発散する相対距離,  $u < 0$  により仮想斥力が発生する相対距離, すなわち仮想壁の位置を調整可能となる．本稿では, これらの値は実験的に定める．ただし  $f_n$  が負となった場合,  $f_n = 0$  となるよう制限を設けた．

$$f_n = \frac{s}{(d_b + t)^2} + u \quad (2)$$

$$f = \max(f_n, 0) \frac{n}{|n|} \quad (3)$$

### 2.4 衝突回避動作の生成

衝突回避動作は, ロボットベース速度  $v$  に対して以下の式 (4) で表されるアドミッタンス制御を適用し, VR コントローラの入力  $v_d$  を補正することで生成する．具体的には式 (4) のアドミッタンスモデルに式 (3) で与えられる仮想斥力  $f$  を入力とし, 式 (5) の数値積分により  $v$  を算出することで, 仮想斥力に基づいて回避動作を取る新たなロボットベースの目標速度が得られる．

$$M\dot{v} + D(v - v_d) = f \quad (4)$$

$$v_{i+1} = v_i + \dot{v}_i \Delta t \quad (5)$$

ここで,  $M, D \in R^{2 \times 2}$  はそれぞれ仮想慣性, 仮想粘性の係数を成分とする対角行列である． $\Delta t$  はサンプリング周期,  $i$  は離散時間ステップである．

### 2.5 仮想接触情報に基づいたオノマトペ提示

本研究では, 力覚を直接力によって提示するのではなく, オノマトペを用いて力覚を視覚化し操作者へ提示する．文献 [6] において, 筆者らは生活支援ロボットを用いて力覚

提示を行う際、オノマトペを視覚提示することで力覚を操作者へフィードバックする手法を提案した。オノマトペはロボットの力覚を視覚で表現でき、操作者の自身の過去の経験により取得した体性感覚を想起することができる。ロボット手先の接触状態および速度に基づく3つのパラメータを用いて力覚をオノマトペとして提示している。本研究では、ロボットベース部について仮想斥力が生成された状態を仮想的な物体との接触とし、文献[6]の手法を用いて仮想接触をオノマトペとして操作者へ視覚提示する。

### 3. 遠隔操作実験

Fig. 3 に示すように、机の上に置かれたペットボトルを遠隔操作により把持するタスクを考える。ここで、ペットボトルは机の端から遠くに置かれているため、ロボット手先がペットボトルに到達する際に、操作者の視野外においてロボットベースと机の接触が生じる。このような状況下において、提案する仮想接触情報に基づいた自律的な衝突回避動作が実現され、さらに Fig. 4 に示すように仮想接触情報に応じた「コン」「ゴン」「ゲー」の3種のオノマトペが表示されることを確認した。「コン」は机に対し緩やかに接近した際に表示され、「ゴン」は急激に接近した際に表示された。「ゲー」は回避動作生成後も衝突方向にVRコントローラの並進入力を持続した場合に表示された。

オノマトペ提示がない場合、操作者に衝突危険のある方向への進行意図があると回避動作生成後もVRコントローラの並進入力を継続してしまう。一方、仮想接触をオノマトペにより提示することで、視野外下方における仮想的な接触を容易に理解することができ、VRコントローラの並進入力を速やかに中止することが可能であった。また、吹き出しにより衝突危険がある方向が明確であるため、オノマトペ提示により視野外の環境認知を行うことができることを確認した。

### 4. 結言

本稿では、ロボットの遠隔操作に自律的な衝突回避を導入し、その介入量を仮想力覚としてオノマトペによる視覚提示する Shared Control システムを提案した。RGB-D センサを用いて算出したロボットベース部と物体との相対距離に基づいて仮想的な斥力を算出し、それに基づいた衝突回避動作の生成およびオノマトペの表示を行った。今後は障害物との衝突危険を含む日常生活を想定したタスクを実施し、本システムの有効性を検証する。また、操作者個人の体性感覚に合わせたオノマトペの提示パラメータを検討する必要がある。

### 参考文献

[1] T. Yamamoto, K. Terada, A. Ochiai, F. Saito, Y. Asahara and K. Murase, “Development of Human Support Robot as the research platform of a domestic mobile manipulator,” ROBOMECH Journal, vol. 6, no. 4, 2019.

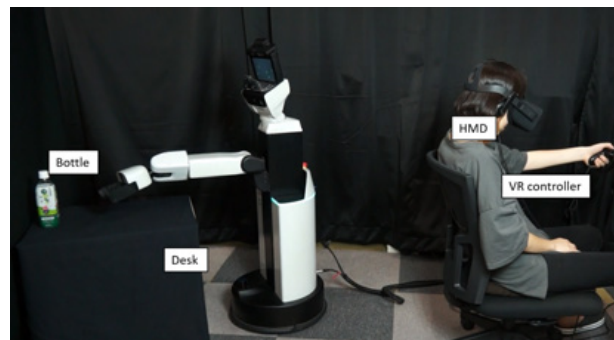


Fig. 3: A snapshot of the pilot experiment.

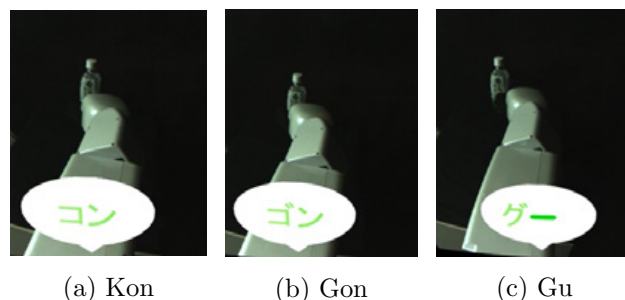


Fig. 4: Resultant onomatopoeia-based visual feedback in the pilot experiment. (a) “Kon,” (b) “Gon” or (c) “Gu” is selected according to the virtual contact information.

[2] 松丸隆文, 萩原潔, 伊藤友孝, “移動ロボットの遠隔操作における手動操作と自律動作の融合制御手法のシミュレーションによる検討,” 計測自動制御学会論文集, vol. 41, no. 2, pp. 157–166, 2005.

[3] D. A. Abbink, M. Mulder and E. R. Boer, “Haptic shared control: smoothly shifting control authority?,” Cognition, Technology & Work, vol. 14, issue 1, pp. 19–28, 2012.

[4] J. van Oosterhout, D. A. Abbink, J. F. Konig, H. Boessenkool, J. G. W. Wildenbeest, C. J. M. Heemskerk, “Haptic shared control improves hot cell remote handling despite controller inaccuracies,” Fusion Engineering and Design, vol. 88, issues 9–10, pp. 2119–2122, 2013.

[5] 蔵見武裕, 三浦弘樹, 長谷川清泰, 中山淳, 大日方五郎, 宮脇和人, 柳原好孝, “機能的電気刺激により反力提示する新しいバイラテラル遠隔制御システムの開発,” 日本ロボット学会誌, vol. 20, no. 8, pp. 844–851, 2002.

[6] 千葉丈太郎, 板寺駿輝, 中西淳, 青山忠義, 長谷川泰久, “ロボットの遠隔操作におけるオノマトペを利用した力覚視覚化インターフェース,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P1-B15, 2018.

[7] 青木三枝, 村松慶一, 松居辰則, “視覚的イメージの伝達コミュニケーションにおけるオノマトペと感覚モダリティの関連構造分析,” 日本感性工学会論文誌, vol. 14, no. 1, pp. 145–153, 2015.

[8] 中西淳, 板寺駿輝, 青山忠義, 長谷川泰久, “VR デバイスを用いた生活支援ロボット HSR の遠隔操作システムの構築,” 第 37 回日本ロボット学会学術講演会, 3K2-08, 2019.

[9] A. Hornung, K. M. Wurm, M. Bennewitz, C. Stachniss and W. Burgard, “OctoMap: an efficient probabilistic 3D mapping framework based on octrees,” Autonomous Robots, vol. 34, issue 3, pp. 189–206, 2013.