

# Smart Previewed Reality の開発

## —スマートフォンを用いた近未来可視化システム—

Development of Smart Previewed Reality  
-Near Future Perception System using Smartphone-

○学 林 拓真 (九大) 学 井塚 智也 (九大)  
正 河村 晃宏 (九大) 正 倉爪 亮 (九大)

Takuma HAYASHI, Kyushu University, t.hayashi@irvs.ait.kyushu-u.ac.jp

Tomoya ITSUKA, Kyushu University

Akihiro KAWAMURA, Kyushu University

Ryo KURAZUME, Kyushu University

In this research, we develop a near-future perception system named “Smart Previewed Reality” for humans and robots to coexist safely. This system consists of a smartphone and the management system of informationally structured environment “ROS-TMS”. Informationally structured environment is so-called a smart environment, in which various sensors are placed in the space where the robot works, and the information of humans and objects and current and planned robot motion are stored structurally in a database. Therefore, by showing planned robot motion in the database by a smartphone beforehand (Previewed Reality), the user can perceive the near-future robot motion and avoid dangerous situation such as collisions. We develop smartphone applications for Previewed Reality including visualization of robot motion using AR, UI indicators of robot position, and push notification of dangerous situation.

**Key Words:** Augmented Reality, ROS, Informationally Structured Environment

### 1 はじめに

人手不足などの社会問題の解決に向け、ロボットの活躍は産業分野にとどまらず、家事や見守りなどのサービス分野へと拡大しつつある。近い将来、人とのコミュニケーションや協調作業等を通して、ロボットと人がより近くで共生する社会が実現されようとしている。人とロボットが共生する生活環境において、ロボットが人やものに危害や損害を与えないよう、安全性の確保は極めて重要である。

一方、人とロボットが共生する生活環境において、ロボットが作業を行うためには、人の動きや作業環境を正確に認識して、ロボットの行動を決定する必要がある。しかし、ロボットに搭載されたセンサのみでは動的に変化する生活環境全てを把握・予測することは困難である。

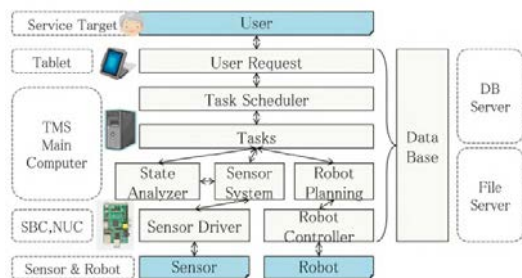


Fig.1 ROS-TMS module configuration

そこで我々は、ロボットが作業を行う空間に多様なセンサを配置し、空間内の物や人の位置情報などを逐次収集、蓄積し、ロボットに提供することでロボットを動作させる、「情報構造化空間」について研究を行っている。これまでに、この情報構造化空間の構築に必要な情報処理機能を集約し、パッケージとして提供可能な情報構造化空間マネジメントシステム “ROS-TMS” を開発した [1]。ROS-TMS は Fig.1 のようなモジュール構造で構成される。

さらに我々は、居住空間を模した部屋に様々なセンサを配置し、ROS-TMS を利用して、センサ情報の取得からロボットの行動計画までを一括して行うことのできる、情報構造化環境 “Big Sensor Box (B-sen)” を開発した [2](Fig.2)。B-sen には光学式トラック VICON が配置されており、反射マーカを貼った物品の位置や姿勢情報はデータベースに記録される。



Fig.2 Big Sensor Box (B-sen)

一方、実際にロボットを生活環境に導入した場合、ロボットが作業を行う空間にいるユーザは、ロボットがこれからどう動くのかを予測できないため、ユーザがロボットに衝突したり、ロボットが差し出したものをユーザが気付かずにとり落としてしまうなど、ロボットが人や物に危害や損害を与えてしまう可能性がある。

このようなリスクは、ユーザがロボットの動きやそれに伴う物品の移動を事前に知ることができれば回避できるものが多い。そこで我々は近未来に起こりうる出来事をユーザに視覚的に提示する、近未来可視化システム “Previewed Reality” を開発している [3, 4](Fig.3, Fig.4)。ROS-TMS により計画されたロボットの動作と物理シミュレータにより予測された近未来の仮想空間を、AR 技術と、HMD を用いて実風景に重畳表示する。本システムを利用することで、ユーザは実空間のロボットが移動する数秒前にその移動経路を確認し、危険を感じた場合にはロボットを停止させたりその場から離れたたりできる。

しかし、これまでに開発したシステムは、Oculus Rift や Microsoft HoloLens を使用するなど、導入コストが高い、ユーザが常に HMD を装着してアプリケーションを起動していることが前提で、必要なときに少しだけ使いたいというユースケースに対応できない、HMD の操作性が低い、などの問題があった。

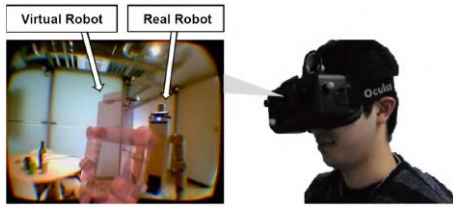


Fig.3 Previewed Reality using Oculus Rift[3]

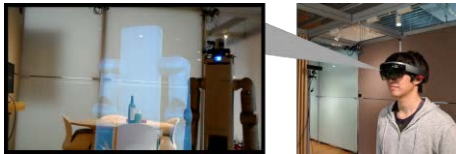


Fig.4 Previewed Reality 2.0 using Microsoft HoloLens[4]

そこで本研究では、これまでに開発した Previewed Reality を改良し、HMD の代わりにスマートフォンを用いた新たなシステムを構築する (Fig.5).

一般に広く普及しているスマートフォンを使うことで、導入コストを抑えて手軽に使うことができる。また、HMD に搭載されるものより高性能な CPU を使って高い処理速度を実現できる。さらに、タッチパネルを用いることで操作性の向上も期待できる。



Fig.5 Smart Previewed Reality

## 2 Smart Previewed Reality

本研究では、物理シミュレーションにより予測された近未来の生活環境を、スマートフォンの AR アプリケーションで表示する “Smart Previewed Reality” を開発した。

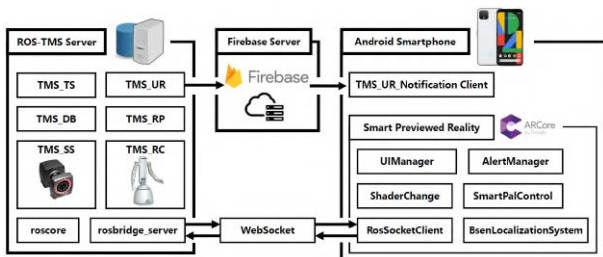


Fig.6 Smart Previewed Reality module configuration

Smart Previewed Reality のシステム構成を Fig.6 に示す。このうち、ROS-TMS とスマートフォンの通信 (RosSocketClient), ARCore を用いたユーザの視点推定 (BsenLocalizationSystem), 実風景と仮想空間の重畳表示 (ShaderChange), 仮想空間への動作

計画の反映 (SmartPalControl), ユーザへの警告 (AlertManager, TMS\_UR\_Notification) の 5 つに分けて、以下で詳細を説明する。

### 2.1 Unity アプリケーションと ROS の通信

#### 2.1.1 Unity

Unity はゲーム機、PC、モバイル端末など複数のプラットフォームに対応するゲームエンジンであり、主に 3D ゲームの開発ツールとして使用される。Smart Previewed Reality はスマートフォンで動作する 3D の仮想空間を扱う AR アプリケーションであるため、Unity を用いて開発した。

#### 2.1.2 ROS との通信パッケージ “RosSocketClient”

ROS では rosbridge\_suite の rosbridge\_server パッケージを用いて、JSON 形式のデータを WebSocket 通信で外部のプログラムと送受信することで ROS の機能を使用することができる。これを利用し、Unity アプリケーションから ROS のトピック通信やサービス通信を使用する。

Unity アプリケーション側では WebSocket 通信のライブラリには WebSocketSharp ライブラリを使用し、JSON 形式メッセージの生成と解析には Unity 標準の JsonUtility クラスを用いた。

Unity と ROS の組み合わせでは、一般的には ROS# が利用される。しかし、Previewed Reality 2.0 で使用した HoloLens のアプリケーションでは、ROS# が利用できない。そこで、WebSocketSharp ライブラリと JsonUtility クラスを用いることで、Android 以外のプラットフォーム向けの Previewed Reality の開発にも使用できる、再使用性の高い通信パッケージを実現した。

### 2.2 Google ARCore

Google ARCore は、Google が提供する AR プラットフォームであり、複数の開発環境向けの SDK を提供している。本研究では、マーカーレスでの自己位置推定と追跡を自動で行うモーショントラッキング機能と、あらかじめ指定したマーカ画像の位置と姿勢を推定する画像マーカー検知機能を使用する。

### 2.3 Pixel 4 XL

Google ARCore はカメラからの情報のみでモーショントラッキングを行うため、特別なハードウェアがなくとも Android スマートフォンで AR アプリケーションを実現できる。しかし、ARCore はすべての端末で利用できるわけではなく、対応の端末に限られている。本研究では、ARCore 対応機種の一つである Google Pixel 4 XL を利用する。

### 2.4 実空間と仮想空間の位置合わせ “BsenLocalizationSystem”

AR アプリケーションは、起動時の端末の位置が仮想空間内の原点であるため、実空間と仮想空間の自己位置を合わせる必要がある。そこで、ARCore の画像マーカー検知機能と B-sen に設置された VICON を利用した、実空間と仮想空間の位置合わせ機能を開発した。具体的な手順を以下に示す。

まず、B-sen 内の壁に画像マーカーとして利用する写真に VICON の反射マーカーをつけたものを貼り、画像マーカーの位置と姿勢を計測し、ROS-TMS のデータベースに記録する。

次に、アプリケーション起動時に画像マーカーの位置と姿勢をデータベースから取得する。その後、ARCore の画像マーカー検知機能により画像マーカーを検知し、ARCore のモーショントラッキング機能により画像マーカーとユーザの起動地点からの相対的な位置と姿勢を取得する。実空間と仮想空間の画像マーカーの位置と姿勢の差異から、実空間でのユーザの位置を計算し、仮想空間内のユーザを移動させることで位置合わせを行う。ここまででユーザが行う操作はアプリケーションを起動し、画像マーカーを画面内に捉えるだけである (Fig.7).



Fig.7 Initial localization using image marker



これにより画像マーカの認識によって仮想空間と実空間の位置合わせができたが、実際は ARCore の画像マーカ検知の位置と回転角度には計測誤差が含まれる。小さなずれでも、広さのある B-sen 空間ではマーカから距離が離れるほどずれが大きく表れ、ユーザに違和感を与えてしまう。そこで、このずれを修正するために、Fig.8 のような UI を作成し、視点の平行移動と回転の微調整を行う。



Fig.8 UI for precise initial localization

## 2.5 実風景と仮想空間の重畳表示 “ShaderChange”

Unity の 3D モデル描画プログラムの Shader の改良を行った。デフォルトの Shader を用いて仮想空間を描画すると、3D モデルは透過されずに描画されるため、実風景が仮想空間のオブジェクトに隠れてしまう (Fig.9, Fig.10)。実世界のすべての物体の位置が仮想空間に反映されるわけではないため、ユーザがこの画面を見ながら歩き回るのは危険である。



Fig.9 Real scene



Fig.10 Hidden objects

そこで、仮想空間のオブジェクトを透過して描画し、実風景も見えるようにする。しかし、ただ 3D モデルを全て透過するだけ (Fig.11) だと、本来見えるはずのない 3D モデルの内部構造やオブジェクトと重なっている奥にあるオブジェクトまで見えてしまう。(Fig.12)

そこで、見えない位置にあるオブジェクトの描画を省略できるようにデプスバッファを利用し、手前にあるオブジェクトから順番に描画する ARTransparentShader を開発した。これにより、オブジェクトの内部構造や本来見えない位置にあるオブジェクトを描画せず、仮想空間全体を適切に透過して描画できる。(Fig.13, Fig.14)。



Fig.11 Simple transparent



Fig.12 Internal structures are displayed



Fig.13 ARTransparent-Shader



Fig.14 Front surfaces are displayed

また、このシェーダをオブジェクトに適用し、色と透過率を変更できる ShaderChange スクリプトを作成した。

## 2.6 仮想空間への動作計画の反映 “SmartPalControl”

本論文では、サービスロボットとして SmartPalV (安川電機) を用いる。ROS-TMS では、ロボットやロボットアームの動作前に移動経路やアーム動作が計画される。Previewed Reality では、ROS-TMS で計画されたロボットの移動経路やアーム動作を実際の動作の前に取得し、仮想空間のロボットへ反映する。Smart Previewed Reality ではこれを SmartPalControl スクリプトで行う。

Unity アプリケーションでは、PhysX を利用した物理シミュレーションができる。Smart Previewed Reality では、この機能を使い、例えば物品取り寄せタスクを実行した際に、ユーザが物品を受け取らないために物品が落下するなど、近未来の出来事を物理シミュレーションによりユーザに提示する。

## 2.7 ユーザへの警告

Smart Previewed Reality ではスマートフォンを用いるため、HMD を用いた従来システムとは異なり、ユーザが常にアプリケーションを起動して端末をロボットに向けているとは限らない。つまり、上述の機能のみではユーザとロボットの接触を常に回避することやロボットの動作意思を伝えるには不十分である。

そこで、アプリケーション内の UI や Android スマートフォンにプッシュ通知を送信することでユーザへ警告を行うこととした。

### 2.7.1 アプリケーション上の表示での警告 “AlertManager”

アプリケーション起動中に、画面上の表示を用いてユーザへのロボットの接近警告を行う AlertManager スクリプトを開発した。仮想空間中のロボットの色を変化させ、ロボット接近の危険度をユーザに直観的に提示する機能と、ロボットが接近してくる方向を示す UI を表示する機能を実装した。

仮想空間中のロボットの色の変化は、上述の ShaderChange スクリプトを用いる。ロボットがタスクを実行していないときは黒色、タスク実行中は青色、仮想空間中のロボットとユーザの距離が 1.5m 以内になったときに赤色で表示し、ユーザに接触の危険があることを示す (Fig.15)。



Fig.15 Change colors for warning

一方、アプリケーションを起動しており、ユーザが見ていない方向からロボットが接近してくる場合には、以下の方法で警告を行う。

仮想空間内のロボットが移動する際、仮想空間内のロボットの現在位置と ROS-TMS から取得した目標位置を結ぶ線分を計算し、それとユーザの最短距離が現在のロボットとユーザ間の距離より小さく、かつ 2m 以内であるときに警告 UI を点滅表示 (Fig.16-6,8 右図の黄色の三角形) する。警告 UI が示す方向は、ユーザが向いている方向に対しての現在のロボットの位置で決定する。

### 2.7.2 スマートフォンの通知による警告 “TMS\_UR\_Notification”

アプリケーションを起動していない場合のユーザへのロボットの接近警告の手法として、Google のアプリ開発プラットフォーム “Firebase” を利用し、ROSTMS からスマートフォンへプッシュ通知を送信するパッケージを開発した。Firebase は、スマートフォンアプリへプッシュ通知を発行する機能を有している。

この機能を使い、ROS-TMS によるロボットの移動タスク実行時に、どのロボットがどこに移動するかを表示し、通知をタップした際に Smart Previewed Reality を起動するように指定した通知を発行する仕組みを ROS-TMS に実装した。

発行された通知を受け取るアプリケーションとして、“TMS\_UR\_Notification Client” アプリケーションを作成した。

先述の Firebase プロジェクトと連携し、受信するトピックを指定することで ROS-TMS からのプッシュ通知を受け取ることができる。通知のタイトル、内容はそのまま通知一覧に表示する。通知をタップすることで TMS.UR.Notification Client アプリケーションが起動し、起動直後にプッシュ通知に含まれるその他のデータを解析する。その中の、起動するアプリケーション名に合致するものが端末にある場合は、そのアプリケーションを起動する。これにより、Smart Previewed Reality を起動させる。

### 3 実験

Smart Previewed Reality による近未来提示とロボットの接近警告が正しく行えることを確認する実験を行った。実験では、ROS-TMS からスマートフォンへのプッシュ通知、ロボットの接近方向を示す警告 UI、仮想空間のロボットの色の変化の 3 つを使って、ユーザにロボットが接近してくることを警告できることを確認する。Fig.16, Fig.17 に実験の様子を示す。左がロボットとユーザの全体の様子、右がユーザのしている画面である。

実験は以下のシナリオで行った。まず、ユーザが物品取り寄せ要求を ROS-TMS に発行するが (Fig.16-1)、その後アプリケーションを起動せず、他の作業に集中している (Fig.16-2,3)。そこに、ロボットが接近してくることを警告がスマートフォンへの通知で届き (Fig.16-4)、ロボットの接近に気づいたユーザがアプリケーションを起動すると (Fig.16-5)、ロボットが接近してくる方向を示す UI が点滅していることに気づく (Fig.16-6)。UI が示す方向を見て (Fig.16-7)、ロボットの接近を確認し (Fig.16-8)、ロボットが差し出した物品を受け取らないと物品が落下する近未来 (Fig.17-9~11) を見たユーザがロボットから物品を受け取る (Fig.17-12)。

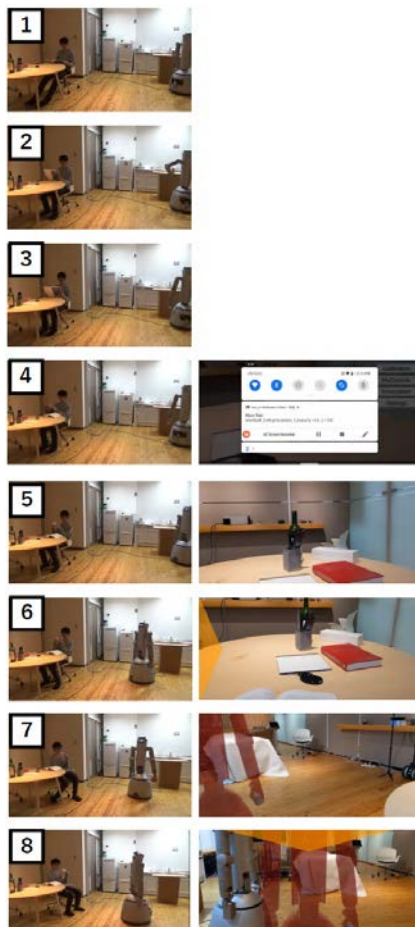


Fig.16 The user receives a notification for alert and holds a smartphone to watch the robot.

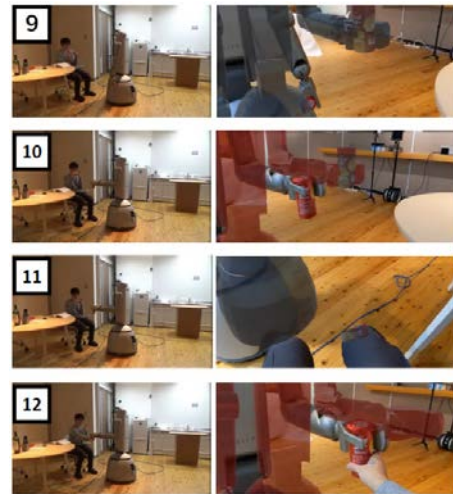


Fig.17 The user watches robot motions in near future.

### 4 まとめと今後の課題

人とロボットが共生する生活環境において、人とロボットの接触リスクの低減、安全性の確保、ロボットの行動意思のユーザへの提示などの実現を目指した、スマートフォンを用いた近未来可視化システム Smart Previewed Reality を提案した。本システムは HMD に比べて導入コストが低く、必要なときにユーザの意思で使用が可能で、かつ画面のタップ操作など操作性も高い。

今後は、複数の端末で同時に近未来提示を見ることができシステムへの改良、光学式トラッカを使わずに画像マーカを認識しなくても位置合わせを行えるようにする機能の追加を行う予定である。

#### 謝辞

本研究の一部は、内閣府が進める「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期/フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」(管理法人: NEDO) によって実施されています。

#### 参考文献

- [1] Junya Sakamoto, Kouhei Kiyoyama, Kohei Matsumoto, Yoonseok Pyo, Akihiro Kawamura, Ryo Kurazume, "Development of ROS-TMS 5.0 for Informationally Structured Environment", ROBOMECH Journal, Vol.5, No.24, 2018, DOI: 10.1186/s40648-018-0123-9
- [2] Ryo Kurazume, Yoonseok Pyo, Kazuto Nakashima, Akihiro Kawamura, Tokuo Tsuji, "Feasibility study of IoRT platform "Big Sensor Box"", In Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp.3664-3671, 2017
- [3] Yuta Horikawa, Asuka Egashira, Kazuto Nakashima, Akihiro Kawamura, Ryo Kurazume, "Previewed reality: Near-future perception system", In Proceedings of 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.370-375, 2017
- [4] 江頭飛鳥, 今井将人, 河村晃宏, 倉爪亮, "Previewed Reality 2.0: 近未来可視化システム -透過型ディスプレイ HoloLens を用いたシステム構築と衝突回避実験-", 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2019, pp.2P2-D10, 2019