

スマートフォンによる情報構造化空間可視化システム

○林 拓真（九州大学）、河村 晃宏（九州大学）、倉爪 亮（九州大学）

Visualization System of Informationally Structured Environment by Smartphone

○Takuma HAYASHI (Kyushu University), Akihiro KAWAMURA (Kyushu University),
and Ryo KURAZUME (Kyushu University)

Abstract : In order to show environmental information collected by multiple sensors in an informationally structured environment in an easy-to-understand manner, we developed a visualization system using a smart phone and ROS-TMS. This system uses Google's AR platform "AR Core" and Google Pixel 3 XL and overlays the information stored in ROS-TMS on real images using AR technology .

1. 緒言

近年、超高齢社会の進行により、介護や医療などの様々な分野で労働力不足が深刻化している。その解決策の一つとしてロボットによる生活支援サービスの実現が期待されている。人間とロボットが共存する生活環境において、ロボットが作業を行うには、人間の動きや作業環境を認識して、ロボットの動作を決定する必要がある。しかし、ロボットに搭載されているセンサのみでは、動的に変化する作業環境に適応して動作することは難しい。

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することでロボットを導入しやすい生活環境を構築する「情報構造化空間」について研究を行っている。これまでに、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]。

また、ROS-TMSを利用してデータ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. 1)。

一方で、B-sen の多数のセンサで収集された環境情報は、ROS-TMS のデータベースに保存されるが、膨大なデータの羅列はユーザにとって理解しにくく、知りたい情報を直観的に得ることは困難である。

そこで本研究では、システムが収集したデータを、直観的に理解できるように表示する可視化システム“AR B-sen”を開発した。開発した可視化システムは、情報構造化空間で収集されたデータを、AR 技術を用いて実空間に重畳表示することで、B-sen 内の環境情報を直観的に理解できる。

2. 情報構造化空間の可視化システム

開発した情報構造化空間の可視化システムは、スマートフォンを通して、収集された環境情報を AR 技術により可視化するものである。本章では情報構造化空間マネジメントシステム“ROS-TMS”と、本システムで使用する AR 技術について説明する。

2.1 情報構造化空間マネジメントシステム“ROS-TMS”

本研究室で開発している ROS-TMS^[1] は、情報構造化空間を実現するためのパッケージソフトウェアであり、オープンソースで提供されている^{※1}。ROS-TMS は、Fig. 2 に示すモジュール構成で開発されている。

情報構造化空間内の多数のセンサで収集されたデータは、Sensor Driver モジュール、Sensor System モジュール、Data Base モジュールを通して、Data Base サーバに蓄積される。



Fig. 1: Big Sensor Box (B-sen) ^[2]

^{※1} https://github.com/irvs/ros_tms

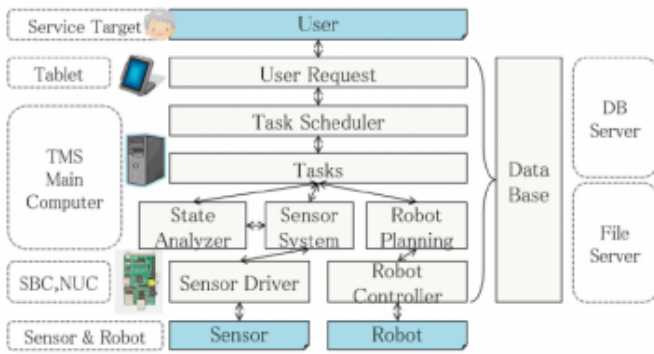


Fig. 2: ROS-TMS module configuration

2.2 AR システム

2.2.1 AR プラットフォーム Google AR Core

Google AR Core^{※1}は、Google が提供する AR（拡張現実）プラットフォームで、主に Android スマートフォンアプリケーション向けの SDK である。

本研究では、AR Core の、マーカーレスで自己位置の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、マーカー画像の位置と姿勢を推定するマーカー画像検知機能を利用する。

2.2.2 3D アプリケーション開発環境 Unity

Unity^{※2}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。本研究ではデータベースの情報をもとに 3D の仮想空間を作り、AR デバイスを用いてその仮想空間を可視化するアプリケーションを開発するため、3D 情報を扱いやすい Unity を利用する。

2.2.3 スマートフォン Google Pixel 3 XL

AR Core は全ての Android スマートフォンで利用できるわけではなく、対応の端末が限られている^{※3}。本研究で導入した Pixel 3 XL は、Google が開発したスマートフォンであり、AR Core 対応端末である。

3. 情報構造化空間可視化システム

AR B-sen の開発

本研究で開発したシステムは、情報構造化環境である B-sen 内の様々なセンサがデータベースに蓄積したデータを、AR を用いてユーザに分かりやすく提示する可視化システムである。この情報構造化空間可視化システムを“AR B-sen”と名付けた。

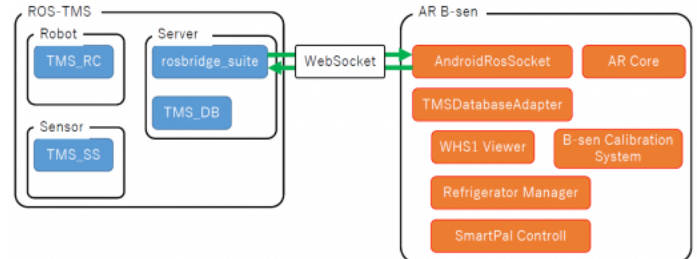


Fig. 3: AR B-sen module configuration

3.1 AR アプリケーションと ROS-TMS の通信

AR B-sen は、B-sen で稼働する ROS-TMS のデータベースにアクセスする。ROS では、rosbridge_suite^{※4} パッケージを利用することで、WebSocket 通信により、外部のプログラムとデータ通信が可能である (Fig. 3)。

Unity で作成した Android アプリケーション（以下 Unity アプリ）と ROS-TMS をブリッジし、通信を行うために WebSocketSharp^{※5} ライブラリを利用して AndroidRosSocket パッケージを開発した。

これにより、ROS 上で動作する rosbridge_suite パッケージに JSON 形式のメッセージを送信することで、サービスを呼び出すことが可能となる。

AR B-sen では、TMS-DB のサービスである、データベースから指定されたデータを取り出すサービス呼び出し、その結果を仮想空間に反映させる。これまでに開発した AR B-sen では、自己位置推定のための平面マーカー (Fig. 4) の位置/姿勢、ロボットの位置/姿勢/バッテリー残量、知的冷蔵庫^[2]内の物品の種類/位置/消費期限、ウェアラブル心拍センサ (My Beat, WHS-1, ユニオンツール) 装着者の心拍波形/心拍数/体表温度を取得し、仮想空間に反映、表示している。

※1<https://developers.google.com/ar>

※2<https://unity.com/ja>

※3<https://developers.google.com/ar/discover/supported-devices>

※4http://wiki.ros.org/rosbridge_suite

※5<https://github.com/sta/websocket-sharp>

3.2 視点推定

AR Core は、カメラで取得した画像をもとに特徴点を検出し、視点推定や追跡を行うことができる。これを利用し、移動するスマートフォンの視点推定を行う。AR Core を利用した Unity アプリは、アプリ起動時の位置を仮想空間のワールド座標の原点とするため、B-sen 内に平面マーカを設置し、実世界の座標系との位置合わせを行う B-sen Calibration System パッケージを開発した。あらかじめマーカとして設定しておいた画像に光学式トラッキングシステム (Bonita, Vicon) で位置や姿勢を取得するため反射マーカを貼り付け、B-sen 内の壁に設置する (Fig. 4)。その画像がカメラで取得する画像に入ると、平面マーカの位置と姿勢を取得し、仮想空間と実世界のずれを計算し、自己位置を合わせる。

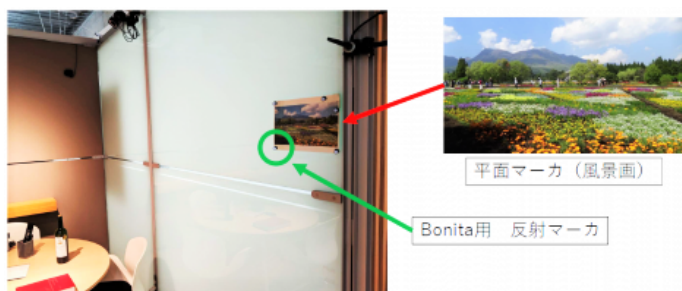


Fig. 4: Planar marker for calibration

また、AR Core のマーカ検知機能で得られるマーカ位置情報や姿勢情報だけでは 2LDK の広さがある B-sen に対して数 cm 程度ずれが生じる。このずれを修正する機能として、画面上のボタン操作で 3 次元の平行移動とヨー軸 (鉛直方向) まわりの回転をできるようにした (Fig. 5)。



Fig. 5: User interface for manual calibration

3.3 仮想空間の表示

画面上にそのまま仮想空間を表示すると、仮想空間が最前面に表示されるため、実世界のロボットや物品が隠れてしまったり、実世界と仮想空間のモデルを混合して認識してしまう。そこで、仮想空間の 3D モデルを透過させて表

示する機能を実装した。この際、単純に透明度を小さく設定するだけでは、3D モデルの内部構造や実世界では見えない範囲、すなわち表示しなくてもよい部分が表示され、ユーザに違和感を与えてしまう。

そこで仮想空間での 3D モデルの奥行きを考慮したシェーダを実装し、仮想空間の 3D モデルのシェーダや透明度を変更できる Shader Change パッケージを開発した。今回実装したシェーダ (AR Transparent) では、カメラから見える表面部分のみを描画したのちにモデル全体を透過させることで、違和感のない仮想空間を表示しつつカメラから取得した画像にうまく重畳表示できるようにした。Fig. 6~8 に 3 つのシェーダの比較を示す。

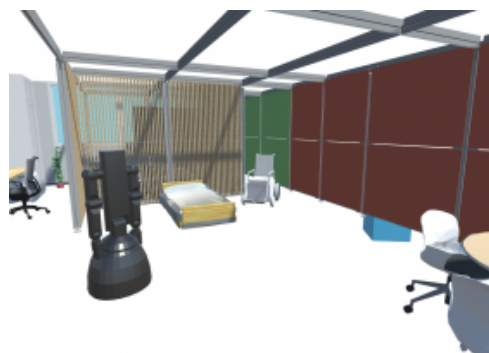


Fig. 6: Normal shader

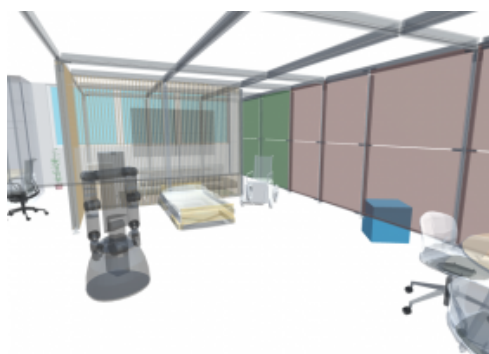


Fig. 7: Transparent shader

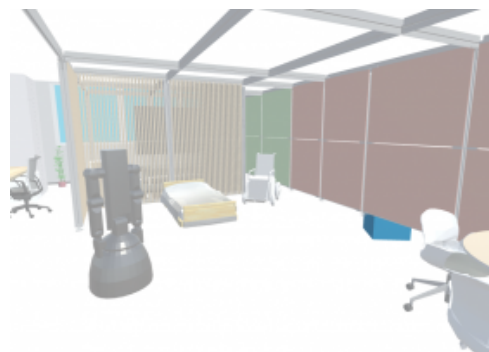


Fig. 8: AR transparent shader

しかし、例えば冷蔵庫の中の物品の情報を表示するとき、常にこのシェーダが適用されていると、冷蔵庫を正面から見た時のみにしか庫内を見ることができなかったり、物品が重なり合っているときに奥に何が入っているかを確認することが困難となる。そこで、庫内の表示/非表示を切り替えるタイミングで冷蔵庫と中の物品のシェーダを AR Transparent と Transparent シェーダとを変更することで、この問題を解決した (Fig. 9)。

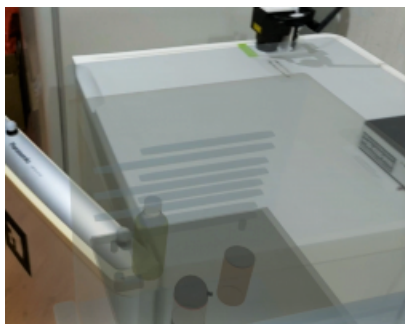


Fig. 9: A transparent refrigerator looking from upper position

また、ロボットの位置をデータベースから取得し、仮想空間内のロボットを移動させて重畳表示させる。その上部にデータベースから取得したバッテリー残量を、仮想空間にテキストで表示する。これには Unity の Text Mesh Pro^{※1}パッケージを使用した (Fig. 10)。

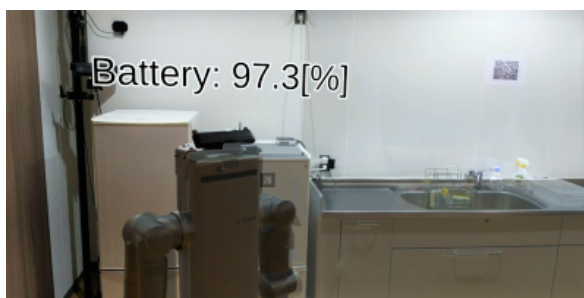


Fig. 10: Battery level of a robot displayed by AR

さらに、心拍センサから取得した心拍波形の情報はデータベース上には整数の配列の状態で格納されているため、これをグラフにするスクリプトを Line Renderer^{※2}コンポーネントを利用して作成した (Fig. 11)。

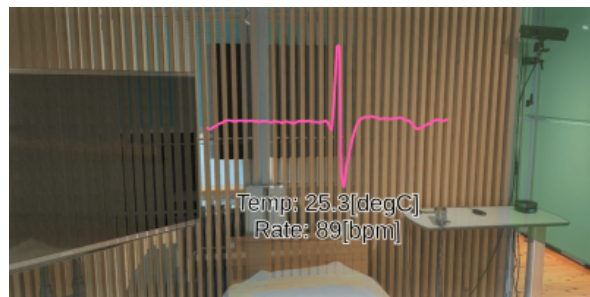


Fig. 11: Heart rate information displayed by AR

データベースに蓄積されているデータは多種多様であり、多様なデータを仮想空間に配置して表示すると文字やグラフが大量に表示され、ユーザが混乱する可能性がある。そこで、知りたいデータが表示される場所に近づいたときのみ表示し、離れると非表示にするようにした。これにより、必要な情報を必要なタイミングで提示することができる。

4. 実験

4.1 視点再現

AR B-sen では、実世界と仮想空間の正確な重畳表示、すなわち視点推定の精度が重要である。もしも実世界と仮想空間の視点が大きくずれている場合、3D モデルの物品やロボットが実世界のそれらとずれて表示されてしまい、ユーザに違和感を与えてしまう。そこで、視点再現精度の確認のため、スマートフォンの画面を注視した状態でユーザに B-sen 環境内を自由に移動してもらった。

実験では、被験者は画面に表示されたカメラからの画像と仮想空間を重畳表示させたものを見ながら違和感なく空間内を歩き回ることができた。さらに、3D モデルのペットボトルを触ろうと手を伸ばすと実際のペットボトルが同じ位置にあり、触れることができた (Fig. 12)。このことから、仮想空間は実世界に高精度で重畳表示されており、実世界の情報と同様に知覚できていることがわかる。



Fig. 12: Grasp a bottle while watching AR images

※ ¹<https://assetstore.unity.com/packages/essentials/beta-projects/textmesh-pro-84126>

※ ²<https://docs.unity3d.com/ja/current/ScriptReference/LineRenderer.html>

4.2 データの可視化

AR B-sen では、ロボットのバッテリー残量や、開けていない冷蔵庫の庫内の物品の情報、ウェアラブル心拍センサ装着者の心拍の情報など、実世界では見えない、もしくは数値として見れない情報を AR で表示する。これらの情報は刻一刻と変化していくため、変化に合わせて更新される必要がある。そこで、これらの情報がリアルタイムに更新されているかを確認した。

データの更新頻度とデータアクセスの負荷を考慮し、冷蔵庫内の物品の情報は 1 秒に 1 回、心拍データは 0.2 秒に 1 回、ロボットの位置情報とバッテリー残量は 1 秒に 1 回更新するように設定した。

物品の情報を変更すると 1 秒以内に仮想空間の表示が切り替わり、ロボットが移動するとそれに追従して仮想空間のロボットも移動し、心拍波形は高頻度で流れている。これより、複数のデータをデータベースから取得して仮想空間に反映することができていることが分かる (Fig. 13)。

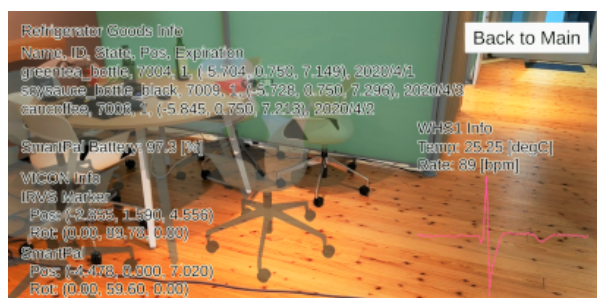


Fig. 13: List of data obtained from database

5. 結言

本研究では、情報構造化空間におけるデータベースに蓄積されたデータをユーザへ分かりやすく提示する、スマートフォン向け AR プラットフォーム “AR Core” を利用した可視化システム AR B-sen を提案、開発した。

AR B-sen によってスマートフォン AR を用いて実世界にデータベースをもとに構築した仮想空間を重畳表示することで、情報構造化空間におけるデータベースに蓄積された膨大なデータをユーザに分かりやすく提示することができた。

ROS-TMS ではロボットの行動計画をシミュレートすることができ、その結果を実際にロボットが動き出す前にユーザに提示する近未来可視化システム Previewed Reality^{[3][4][5][6]}を開発している。これまでの Previewed Reality の問題としてヘッドマウント型のデバイスは CPU や GPU の性能が限られているため遅延が大きく、ユーザに違和感を与えることがあったり、ディスプレイの視野角が狭いことから仮想空間の見える範囲が限られていた。

この問題点を、スマートフォンを用いることで、広い画角のカメラと高性能 CPU を使って処理することで解決でき、ユーザに、より現実味のある近未来を提示することができるようにと考え、今後はこの Previewed Reality を AR B-sen に組み込む予定である。

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)
- [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] ピョコンソク, 辻徳生, 橋口優香, 倉爪亮: “没入感インターフェース Oculus Rift を用いた ROS-TMS ビューアの開発”, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, pp.1A1-N07 (2015)
- [4] ピョコンソク, 辻徳生, 橋口優香, 倉爪亮: “情報構造化環境における没入感 VR インターフェースの開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.8, pp.651-654 (2015)
- [5] 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)
- [6] 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)