

研究速報

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

ピョ ユンソク* 辻 徳生* 橋 口 優 香* 倉 爪 亮*

Immersive VR interface for informationally structured environment

Yoonseok Pyo*, Tokuo Tsuji*, Yuuka Hashiguchi* and Ryo Kurazume*

This paper presents a new immersive interface connecting cyber and physical worlds for Cyber Physical System (CPS). Informationally structured environment (ISE) in which environmental information is gathered by embedded sensor networks and stored in a database structurally is one of key technologies for developing a practical service robot. We have been developing a ISE architecture called ROS-TMS. In this paper, we introduce a new cyber-physical interface for ROS-TMS consisting of an immersive wearable display, a stereo camera, a tracking system, and an environmental simulator, Choreonoid.

Key Words: Cyber Physical System, Service robot, Immersive display, Environmental simulator

1. はじめに

CPS (Cyber Physical System) とは、実世界における様々な諸問題を、サイバー空間でのコンピューティング能力を用いて解決し、効率的で豊かな社会を実現する試みである。2006年に米国 NSF (National Science Foundation: 国立科学財団) により国家的な重点課題として選定され、米国を中心に研究が加速された。近年の IoT (Internet of Things) の概念は、日常空間の多くの機器がインターネット空間で相互に結びつくものであるが、CPS は、IoT により得られる膨大なセンサー情報に基づき、世界のあるべき姿を計算機シミュレーションにより予測し、それを実現するための手段を計画、実行するものである。

一方、ロボット分野で従来提唱されている情報構造化、あるいは空間知能化とは、ロボットが作業を行う空間に様々なセンサを配置し、空間内のモノやヒト、ロボットの位置や状態を逐次収集、蓄積、提供することで、ロボットをより導入しやすい日常生活環境を構築するものである。情報構造化は、東京大学のロボティックルームやインテリジェント・スペース、MIT MediaLab のスマートルーム、AILab のインテリジェントルーム、早稲田大学の Wabot House など、多くの研究例があり、現在でも精力的に研究が進められている [1], [2], [3], [4]。この情報構造化と CPS は目的、手段とも関連が多く、情報構造化は CPS をロボット分野で実現したものとも考えることもできる。

著者らも 2005 年より街レベルでの情報構造化環境の構築を目指すロボットタウンプロジェクトを開始し、これまでに様々な実証システムを開発してきた [5], [6]。このプロジェクトでは、

カメラ、レーザ、IC タグリーダなどから収集された環境内の物品、ヒト、ロボットの情報を、環境データベースである Town Management System (TMS) に蓄積し、ロボットからの要求に応じて提供する枠組みを提案し、これを実際に実現する API 群を開発、公開してきた。更に 2012 年からはオープンソースのミドルウェアである Robot Operating System (ROS) を用いることで、様々なセンサや多様なロボットをより柔軟に統合できる ROS-TMS [7] の開発を開始し、センサーシステムや動作プランニングなど、現在までに 95 以上の環境情報構造化モジュールを開発、公開している [8]。ROS は RT-Middleware と同様、ロボットアプリケーション開発のためのソフトウェアフレームワークであり、これまでに ROS に基づく多くのセンサ処理系や制御アルゴリズムが Web 等で公開されている。

本論文では、これまでに ROS-TMS 技術を用いて構築した屋内空間 CPS プラットフォーム、および実空間とシミュレーション空間を直感的に結びつける、没入感ディスプレイを用いたサイバー空間の可視化システムを提案する。これらは、実空間で分散センサにより収集された環境情報を基にシミュレーション空間を構築し、シミュレーションの結果得られた次時刻の状態を Oculus Rift などの没入型 VR 技術を用いて直感的に提示するものである。すなわち使用者は、現実世界の状況に基づき、シミュレータにより予測された数時刻先の未来の状況を、没入感 VR インターフェースにより極めて現実感高く事前に体験できる。換言すれば、本システムは実世界と仮想世界の融合を目指す CPS の一つの実現形態であるとも言える。

以下、第 2 章の没入感 VR インターフェースの関連研究に続き、第 3 章ではこれまでに開発した ROS-TMS および屋内空間 CPS プラットフォームを紹介し、第 4 章で新たに開発した CPS を実現する没入感 VR インターフェースの詳細を示す。

原稿受付

*九州大学

*Kyushu University

2. 関連研究

没入感 VR インターフェースを用いたロボット制御はテレロボティクスの一手法であり、これまでに da Vinci Surgical System (Intuitive Surgical, Inc.) などの手術用ロボットの直感的な操作 [9] や手術シミュレータ [10], 宇宙ロボット [11] やレスキューロボット [12] への応用が提案されている。

没入感 VR システムの実現手法は、大きく 2 つに大別される。CAVE [13] に代表されるスクリーン投影型没入感システムは、部屋の壁や床、天井にプロジェクター等で画像を投影する手法であり、視線方向に関係なく空間全体を生成、提示するものである。一方、Google Glass や Epson Moverio などのウェアラブルデバイスは、視野に VR 画像を重畳表示でき、AR (Augmented reality), MR (Mixed Reality), あるいは First Person Vision などとの親和性が高く、近年注目を集めている。近年では Oculus Rift など、姿勢センサを内蔵し、頭部姿勢と連動して直接、その方向の VR 画像のみを生成、提示することで、大がかりな設備を用いることなく没入感を得ることができるデバイスも開発されている。

Johns Hopkins 大学の Immersive Virtual Robotics Environment (IVRE) では、本論文と同様に ROS と Oculus Rift を使い、ユーザからロボットへの指示やロボットとの協働作業、コミュニケーションを、仮想空間を用いてシミュレーションするシステムの開発を行っている。しかしこのシステムでは、仮想ロボットを用いた安全な作業動作の生成など、単体のロボットとの仮想的なインタラクションに止まっており、本論文のように空間全体の再現やシミュレーション結果の提示には至っていない。

3. 情報構造化プラットフォーム

3.1 ROS-TMS

ROS-TMS [7] は、レーザ、カメラ、RFID タグリーダ、近接センサなど、空間に分散配置された様々なセンサモジュール、多様なロボットモジュール、および環境データベースを ROS を用いて結合することで、環境情報の収集、蓄積、分析と、ロボット動作計画や運動制御を統一的に実現する枠組みである。ROS はセンサやロボット間の差異を吸収し、統一的なインターフェースを提供するオープンソースのミドルウェアであり、ROS-TMS では、構成する各モジュールを ROS のノード (特定の処理を行うプロセス) として実装することにより、複数のモジュール間の通信やモジュールの追加・変更を容易に行うことができる。Figs. 1, 2 に ROS-TMS の概念およびアーキテクチャの全体図を示す。

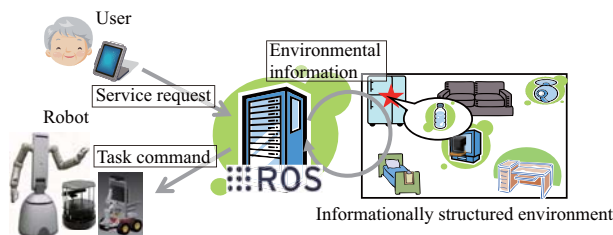


Fig. 1 ROS-TMS

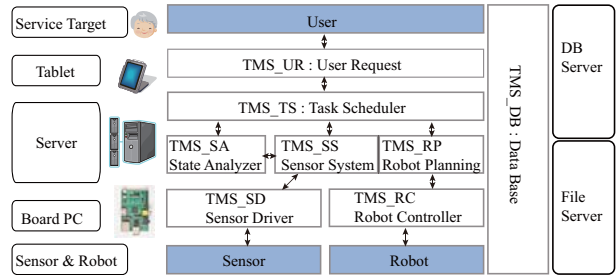
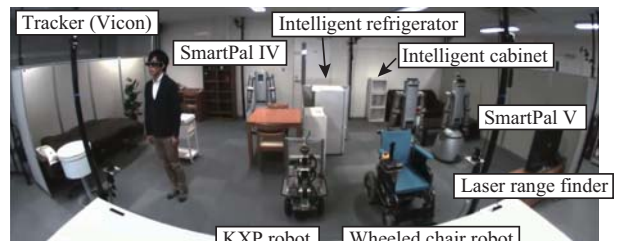


Fig. 2 ROS-TMS architecture

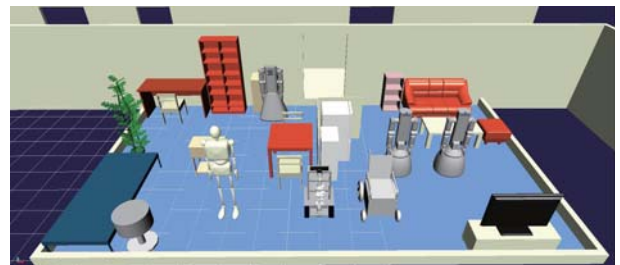
著者らはこれまでの ROS-TMS のノード群として、MySQL を用いたデータベース (TMS_DB), 携帯端末やウェアラブル端末 (Moverio, EPSON) などを経たユーザインターフェース (TMS_UR), ロボットの動作を計画するノード群 (TMS_RP) と ROS の SMACH をベースに開発されたタスクスケジューラ (TMS_TS), SmartPal (安川電機) や Kobuki (Yujin Robot), 知的車いすなどのロボットコントローラ (TMS_RC), センサドライバ (TMS_SD) と統合処理ノード群 (TMS_SS), および物品やヒトの状態推定モジュール (TMS_SA) 等を開発、公開している [7], [8] .

3.2 屋内空間 CPS プラットフォーム

Fig. 3 に構築した屋内空間 CPS プラットフォーム (Physical system), および環境シミュレータ (Choreonoid [14], [15]) で構築した仮想環境 (Cyber system) を示す。屋内の物品やヒトの動きは、レーザレンジファインダ (UTM-30LX-EW, 北陽電機) や光学式トラッカ (Bonita, Vicon), ステレオカメラ (Xtion, ASUS), 知的収納庫, 知的冷蔵庫内の RFID タグリーダなどの TMS_SS, TMS_SD により計測され、リアルタイムで TMS_DB に送られる。



(a) Informationally structured room



(b) Simulation environment (Choreonoid)

Fig. 3 Information structured room (physical system) and simulation environment (cyber system)

環境シミュレータ (Choreonoid) ではその情報をリアルタイムで反映し、ROS-TMS の TMS_UR から入力されるユーザリクエ

ストをトリガーとして, Choreonoid の Grasp プラグイン [16] を用いて, 環境に接触しない安全なロボットのサービス行動を計画する.

計画された行動は, TMS_RP や TMS_TS などのノードに伝達され, 実際に SmartPal と知的冷蔵庫が連動した物品取り寄せや, 知的車いすによる移動などのサービスが実行される. Fig. 4 にタスクスケジューラ SMACH を用いて TMS_TS により計画された物品取り寄せタスクの実行例を示す. この例では, ユーザから ROS-TMS にある物品の取り寄せ要求(タスク)が発行されると, まず TMS_TS がタスクの遂行に必要なサブタスク(移動, 把持, 移動)に分解する. 次に, TMS_RP はその物品の場所(本棚)を検索し, 家具や他のロボット, ヒトの位置情報などを考慮して, 安全な移動経路を計画し, ロボットに送信する. ロボットは指定された経路を辿って本棚に移動し, 再び TMS_RP から物品の正確な位置を得て物品を把持する. 最後に, ロボットは TMS_RP から指示された経路を辿ってユーザへ移動し, 物品を手渡す.

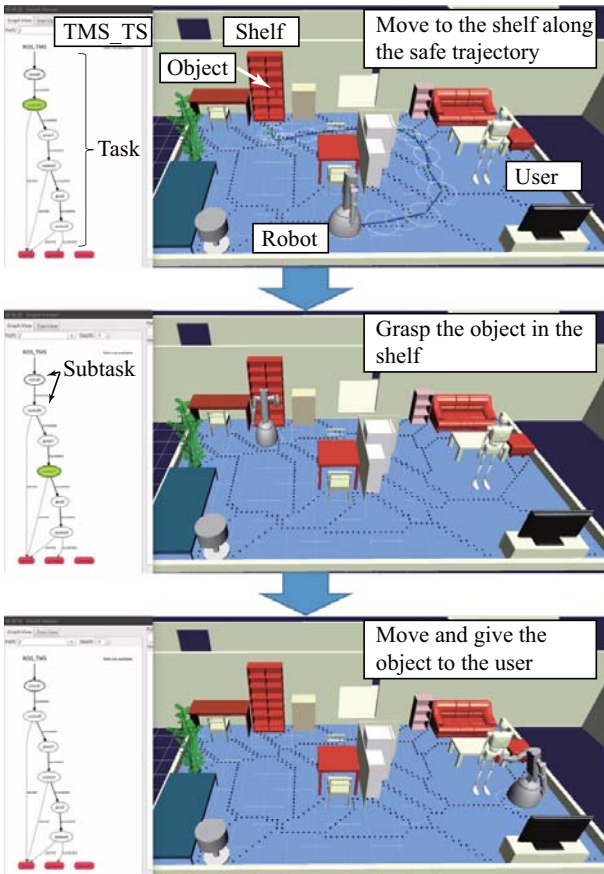


Fig. 4 Fetch and carry task by service robot

4. 実空間とサイバー空間を繋ぐ CPS のための没入感 VR インターフェース

本章では, CPS を具体的に実現するために, 新たに開発した実空間とサイバー空間を繋ぐ VR インターフェースを紹介する.

本システムは没入感ディスプレイ (Oculus Rift DK2, Oculus VR, Fig. 5), ステレオカメラ (Ovrvision, Wizapply, Fig. 5) と光学式トラッキングシステム (Bonita, Vicon, Fig. 6) および環境シミュレータ (Choreonoid, Fig. 7) からなる.

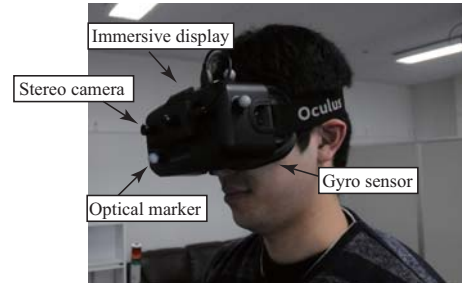


Fig. 5 Immersive display device consisting of Oculus Rift DK2, Ovrvision, and position tracker



Fig. 6 Position tracking system (Bonita, Vicon)

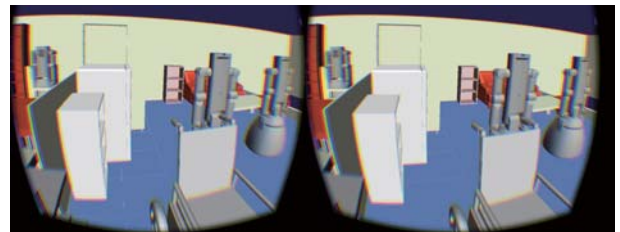


Fig. 7 Simulated stereo images by Choreonoid

没入感ディスプレイ (Fig. 5) はウェアラブル型ディスプレイであり, 左右独立に画像を提示することで両眼立体視が可能である. また内部に 3 軸姿勢センサを搭載しており, 得られた姿勢に応じて環境シミュレータで画面を生成し, Fig. 7 のように没入感ディスプレイの左右の画面にステレオ表示することで, 視線方向に対する没入感が得られる. 一方, 没入感ディスプレイの位置は, 光学式トラッキングシステム (Fig. 6) により計測され, 姿勢と同様に位置に応じて画像を変更することで, 視点位置に対しても没入感が得られる. 画面の生成には OculusSDK 0.4.4 を使い, Choreonoid の OpenGL 画像生成パイプラインに直接組み込むことで実現している. ステレオカメラ (Ovrvision) は, 左右の視点の位置に 2 台のカメラを配置したものであり, 没入感ディスプレイの左右の画面にそれぞれの画像を表示することで, 没入感ディスプレイを装着しながら周囲の様子を確認で

きる。

本システムの最大の特徴は、現時刻の環境内の物品、ロボット、ヒトの情報に基づき、環境シミュレータにより予測された未来の状況を、臨場感高く提示できることである。Fig. 8 に、Fig. 4 で示したサービスロボットによる物品取り寄せタスクを、事前にそのタスクを依頼した人物の目線で提示した CG 画面を、また Fig. 9 に没入感ディスプレイに装着したステレオカメラで撮影された実際の画像を示す。VR 画像は没入感ディスプレイにより 3 次元で表示されており、頭部の位置や姿勢に応じて実時間で視野を変更している。すなわち、屋内のどの位置、姿勢に装着者が移動しても、頭部の位置姿勢を自動で検出し、実画像と変わらない VR 画像を提示できる。また Fig. 8 の床面上に見られる破線は、ロボットが移動する予定の軌道を示しており、没入感ディスプレイ装着者は予めロボットの移動軌道を知ることができる。さらに、ヒトに物品を手渡しする際も、実際にユーザに対して動作を行う前に没入感 VR インターフェイスで全く同じ視点から動作を提示でき、接触の有無や妥当性、動作の印象などを確認できる。すなわち、作業を依頼した人物は、実際にその作業が行われる前に、作業の実行を臨場感高く体感でき、それに基づき作業内容の修正や実行や停止の指示が可能となる。

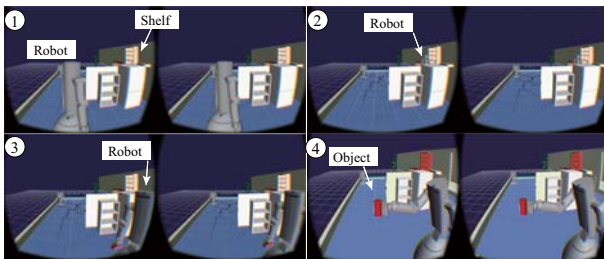


Fig. 8 VR images for fetch and carry task

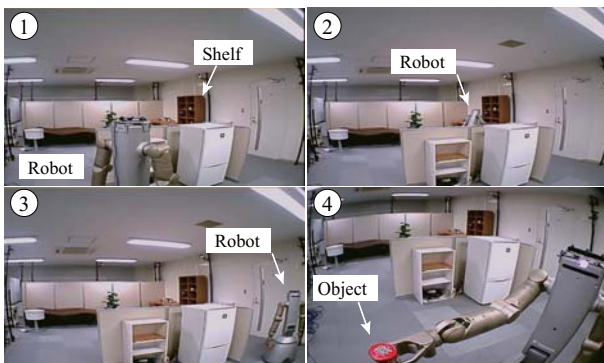


Fig. 9 Actual images from human for fetch and carry task

5. ま と め

本論文では、これまで著者らが開発した情報構造化プラットフォームと ROS-TMS を紹介し、CPS (Cyber Physical System) を具体化した例として、没入型ディスプレイを用いたサイバー空間の可視化システムを提案した。従来の TMS は、構造化された環境情報のロボットへの提供に主眼が置かれていたが、提案する VR インターフェイスにより、ユーザも構造化された環境情

報に直接的に接することができるようになった。本可視化システムは、現実の屋内環境の物品やロボット、ヒトの状態を基に、環境シミュレータにより未来の姿をシミュレーションし、その結果を没入感 VR 技術により直感的に提示するものであり、CPS の一つの実現形態であると考えられる。

謝辞 本研究は、独立行政法人科学技術振興機構の研究成果展開事業センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム、および文部科学省科学研究費補助金基盤研究 A (課題番号 26249029) により、助成を受けたものである。

参 考 文 献

- [1] H. Noguchi, T. Mori, and T. Sato. Automatic generation and connection of program components based on rdf sensor description in network middleware. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2008–2014, 2006.
- [2] Y. Kato, T. Izui, Y. Tsuchiya, M. Narita, M. Ueki, Y. Murakawa, and K. Okabayashi. Rsi-cloud for integrating robot services with internet services. In *IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 2158–2163, 2011.
- [3] H. Gross, Ch. Schroeter, S. Mueller, M. Volkhardt, E. Einhorn, A. Bley, Ch. Martin, T. Langner, and M. Merten. I'll keep an eye on you: Home robot companion for elderly people with cognitive impairment. In *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 2481–2488, 2011.
- [4] M. Tenorth, A.C. Perzylo, R. Lafrenz, and M. Beetz. The roboearth language: Representing and exchanging knowledge about actions, objects, and environments. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1284–1289, 2012.
- [5] 長谷川勉. 環境プラットフォーム「ロボットタウン」. 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 5, pp. 411–414, 2008.
- [6] 倉爪亮, 村上剛司, 木室義彦, 家永貴史, 馬場伸一, 殷中翔. ロボットタウンの共通プラットフォーム技術のメカニズム. 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 5, pp. 415–419, 2008.
- [7] ビョコンソク, 辻徳生, 橋口優香, 永田晃洋, 中島洸平, 倉爪亮, 長谷川勉, 諸岡健一. 情報構造化アーキテクチャの提案とサービスロボットのオンライン動作計画の実現. 第 19 回ロボティクスシンポジウム, pp. 624–630, 2014.
- [8] https://github.com/irvs/ros_tms/wiki/.
- [9] John F. Boggess. Robotic surgery in gynecologic oncology: evolution of a new surgical paradigm. *Journal of Robotic Surgery*, Vol. 1, pp. 31–37, 3 2007.
- [10] Morten Bro-Nielsen, Joseph L. Tasto, Richard Cunningham, and Gregory L. Merrill. Preop endoscopic simulator: a pc-based immersive training system for bronchoscopy. *Stud Health Technol Inform*, Vol. 62, pp. 76–82, 1999.
- [11] <http://www.engadget.com/2013/12/23/nasa-jpl-control-robotic-arm-kinect-2/>.
- [12] Henrique Martins, Ian Oakley, and Rodrigo Ventura. Design and evaluation of a head-mounted display for immersive 3d teleoperation of field robots. *Robotica*, Vol. FirstView, pp. 1–20, 1 2015.
- [13] Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, and Thomas A. DeFanti. Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the cave. In *Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, SIGGRAPH '93, pp. 135–142, New York, NY, USA, 1993. ACM.
- [14] 中岡慎一郎. 拡張可能なロボット用統合 gui 環境 choreonoid. 日本ロボット学会誌, Vol. 31, No. 3, pp. 226–231, 2013.
- [15] Shin'ichiro Nakaoka. Choreonoid: Extensible virtual robot environment built on an integrated gui framework. In *Proc. of the 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SI2012)*, pp. 79–85, 2012.
- [16] 辻徳生, 原田研介. graspplugin for choreonoid. 日本ロボット学会誌, Vol. 31, No. 3, pp. 232–235, 2013.