

ロボット開発を加速する Robot Operating System (ROS)と

サービスロボットへの応用

九州大学 倉爪 亮

1. 緒 言

ヒトと安全に共生するサービスロボットの実現には、ロボット単体の知能化だけではなく、ロボット周囲の環境も「知能化」することで、システム全体としてより安全性、快適性を高める、いわゆる環境情報構造化（空間知能化）の考え方が重要となる。空間の知能化は、具体的にはロボットが作業を行う空間に様々なセンサを配置し、ロボットとセンサを密に接続することで実現される。例えば、センサから得られるモノの位置や種別の情報、ヒトやロボットの位置、姿勢、動作の情報を、一旦サーバに集約して整理、解析し（構造化）、必要に応じてロボットやユーザに提供することにより、サービスロボットをより導入しやすい日常生活環境が構築できる。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したロボットタウンプロジェクトを開始し⁽¹⁾、そのロボットプラットフォーム基盤として、タウンマネジメントシステム(Town Management System, TMS)を開発した。さらに近年では、汎用ロボットミドルウェアである Robot Operating System (ROS)⁽²⁾をソフトウェア基盤として用いた ROS-TMS Ver.4.0⁽³⁾を発表し、公開している。これらのシステムは、多数のセンサやロボットをネットワークで結合し、相互に大量の情報をやり取りすることで、システム全体としての機能向上を図るものであり、IoT(Internet of Things)の一形態ととらえることができる。また、センサ情報から実世界を反映したシミュレーションを行い、ロボットの行動を計画する点など、仮想化空間と実空間を連携することで実世界の諸問題を解決する CPS (CyberPhysical System)とも関連が深い。本研究の特徴は、モノ（家電や物品）のみならず、ロボットやヒト（ユーザ）をネットワークで結合することにあり、またアプリケーションとしても、サービスロボットを用いた生活支援サービスの実現により重点が置かれている。

一方、近年、特に研究・試作用ロボットの開発では、RT Middleware や ROS (Robot Operating System)などのミドルウェアを採用し、モジュール化された様々な処理プロセスを目的に応じて組み合わせることで、開発スピードの向上やコストの低減を実現する流れが広まっている。そこで本講演では、世界的に最もユーザ数が多いROSについて概説するとともに、ROSを用いたIoTシステム開発事例として、サービスロボットのためのソフトウェア基盤 ROS-TMS Ver.4.0⁽³⁾、およびヒト・ロボット共生空間 Big Sensor Box を紹介する。

2. ROS(Robot Operating System)⁽²⁾とは

ROSとは、ロボット開発で用いられる様々なセンサ、ロボット本体、アルゴリズムを統一的に利用するためのソフトウェアプラットフォーム（メタOS）であり、近年ロボット向けオペレーティングシステムとして欧米を中心に急速に普及が進んでいる。ROSは、ロボットの構成機器をソフトウェアレベルでモジュール化し、モジュール間のインターフェースを統一することで、非常に短時間でロボットシステムが構築できる。具体的には、ノードと呼ばれる処理モジュールを柔軟に組み合わせることで必要な機能を実現する。すなわちノードの再利用性が高く、効率的なアプリケーション開発が可能である。またこれまでに様々なノードが世界中の研究者、開発者により開発され、多くがオープンソースで公開されている。欧米、特に米国とドイツは、ROSを商用ロボットシステムでも使用可能にした ROS-Industrial や、欠点とされたリアルタイム性の改善、シングルボードコンピュータなどの組み込みシステムへの対応を実現した ROS 2.0 など、標準システム化への戦略を着実に進めつつある。

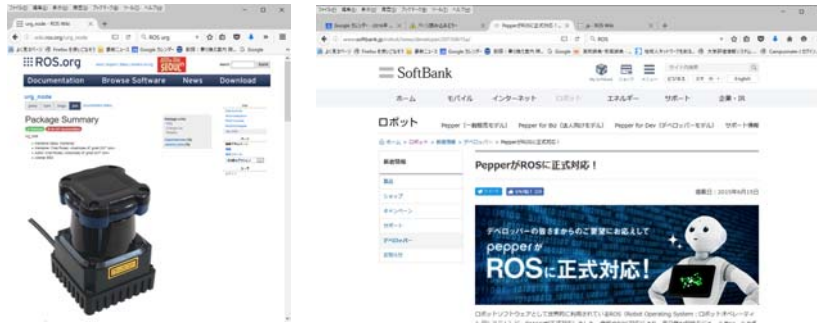


Fig. 1 ROS に対応したセンサやロボット

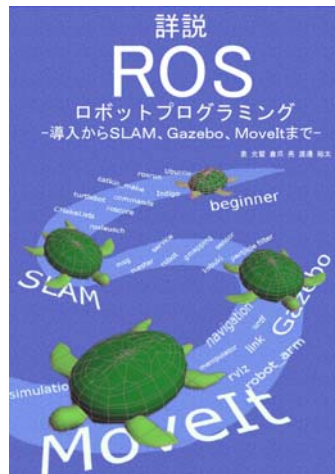


Fig. 2 ROS の日本語解説書 (Web で無料公開 http://irvs.github.io/rosbook_jp/)

2. ROS-TMS の概要

ROS-TMS⁽³⁾は、環境情報構造化空間において様々なセンサや多様なロボットを柔軟に統合し制御するソフトウェアパッケージである。ROS-TMS の前身である「タウンマネジメントシステム (TMS)」は、文部科学省科学技術振興調整費により実施された「ロボットタウンの実証的研究」(研究代表者・長谷川勉九州大学名誉教授・2005年11月～2008年3月)⁽¹⁾において、環境情報構造化空間におけるソフトウェアプラットフォームとして開発が開始され、2006年5月にTMS API ver.1 が公開された。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た⁽⁴⁾。

具体的には、このプロジェクトでは、TMS が取り扱う情報を、分散センサシステムやロボットに搭載したセンサから取得される移動体の情報 (人間やロボットの種類、位置、速度等、「体」と定義)、被操作対象の情報 (種別や位置等、「物」と定義)、および環境構造の情報 (環境地図、IC タグ配置図等、「場」と定義) と整理した。TMS は、この「体」「物」「場」(あるいは「ヒト、モノ、ソコ」)の情報を整理、保持し、ロボットからの問い合わせに応じて情報を受け渡すデータベース、およびこのデータベースにネットワークを介して簡単にアクセスするための API(Application Program Interface)から構成されていた⁽⁵⁾。その後、2011年には、データベースに蓄積できるデータの種類を増やすとともに、セキュリティ機能の追加など、API 群の機能を強化した TMS API v2 を公開した。また、NEDO 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトでは、TMS の RT-Middleware 化を行い、TMS-RTM として Web で公表している⁽⁶⁾。さらに、TMS のスケラビリティを高めるため、TMS をクラウドシステムで動作するように拡張した TMS-Cloud⁽⁷⁾を発表した。

API を用いた初期の TMS は、制御ソフトウェアのコンパイル時に API 関数をリンクすることでデータベースにアクセスする仕組みであった。このため、TMS に新たな機能の追加を行うたびに、すべてのロボットやセンサ

でプログラムを再構築する必要があり，拡張性，柔軟性に問題があった．そこで，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)⁽²⁾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⁽⁶⁾の開発を開始し，2015年9月には最新バージョン ROS-TMS 4.0 を公開した^{(3) (8)}．この ROS-TMS には，レーザや IC カードリーダなどのセンサ処理モジュールや，ロボットの動作プログラミングモジュール，タスクスケジューラ，GUI モジュールなど，150 以上の環境情報構造化モジュールが含まれている．

また，2LDK の室内に数十台の光学式トラッカ (Vicon MX) や RGB-D カメラ (Kinect for Xbox One)，レーザレンジファインダ (URG-04LX-UG01)，RFID タグリーダを埋め込み，ROS-TMS ver.4.0 を用いて，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ができる情報構造化環境 Big Sensor Box (B-sen)^(Fig. 3)を開発した．B-sen 内のロボットやヒトの動きは，光学式トラッカや RGB-D カメラ，レーザレンジファインダで計測され，また物品の位置は冷蔵庫，収納庫内の RFID タグリーダにより物品に添付された RFID タグを読み取ることで計測される Fig. 4 に収納庫内で計測された物品の例を示す．これらの情報を基に，ROS-TMS ver 4.0 では動力学シミュレータ Gazebo や可視化ソフトウェア Rviz，モーションプランナ MoveIt を用いて，ヒトやロボット，物品の実際の状態を反映したシミュレーションが可能であり，適切なロボット動作が計画できる (Fig. 5)．



Fig. 3 Big Sensor Box (B-sen)



Fig. 4 RFID tags を用いた ROS-TMS への物品登録



Fig. 5 動力学シミュレータ Gazebo と動作プランナー MoveIt を用いた物品把持シミュレーション

3. ROS-TMS を用いたサービス実験

日常生活で頻繁に起こり得る軽作業である「物品取り寄せタスク」と，介護施設への導入を念頭に「車いす型ロボットによる自動搬送」に対して，ROS-TMS の機能を検証した．物品取り寄せでは，ユーザは物品の位置を指示するのではなく，物品の名前のみを ROS-TMS に知らせ，ROS-TMS はデータベースを参照して物品の位置を特定し，現在位置，物品の位置，およびユーザの位置を結ぶ安全な経路を計画する．その後，タスク実行マシンにより，移動，把持，移動の順に，ロボットが指令された動作を実行する．

3.1 複数種類のロボットによる物品取り寄せサービス実験

開発した ROS-TMS を用いたサービス実験として、人から要求された物品を、別の場所まで取りに行き、把持して手渡す「物品取り寄せタスク」を行った。想定するサービスシナリオは、室内の任意の場所にいるロボットに、室内の別の場所にある物品の取り寄せを指示することにより、ROS-TMS が必要な行動を計画し、実行するものである。

物品取り寄せタスクを Big Senser Box で行った結果を Fig. 6 に示す。ただしここでは、ユーザインタフェースには $\forall \text{ref}\{\text{TMSUR}\}$ 項で示した音声入力を用いており、「スマートパル、お菓子持ってきて」という指示に基づいて検索された物品を、サービスロボット SmartPAL V が把持し、ユーザの位置へお菓子を運ぶシナリオを想定して実験を行った。Fig. 6 右は RViz を用いた安全確認のためのシミュレーションの様子であり、Fig. 6 左が安全確認後に実行された実機によるサービス動作の様子である。なお、サービスロボット、ユーザ（眼鏡）の位置は、それぞれに取り付けたマーカを光学式モーショントラッキングシステムで追跡することで計測され、物品や什器の位置はあらかじめデータベースに登録されている。光学式モーショントラッキングシステムによるマーカの 3 次元位置計測精度は 1mm 以下であり、サービスロボットは環境に接触することなく、把持動作、移動動作が実行できている。また、サービスロボットは無線 LAN により、光学式モーショントラッキングシステムは有線 LAN により ROS-TMS に接続されており、光学式モーショントラッキングシステムからは周期 100Hz で全てのマーカの 3 次元位置データが TMS に送信されている。

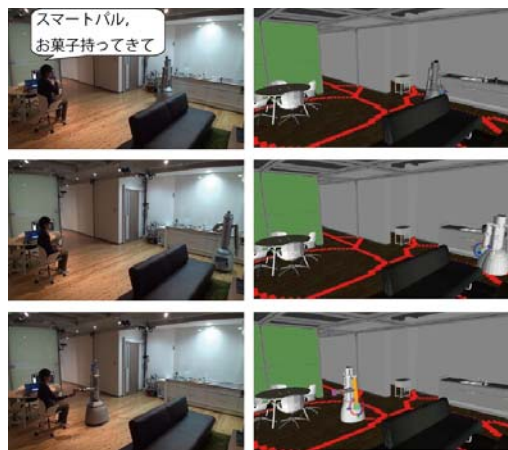


Fig. 6 物品取り寄せタスク（シミュレーションと実機実験）

3.2 車いす型ロボットを用いた要介護者の自動搬送サービス実験

開発した情報構造化環境のためのソフトウェアプラットフォーム ROS-TMS 4.0 の介護施設での利用を想定し、車いす型ロボットが安全に自動操縦により移動できるかを検証した。想定したシナリオは、居住者がソファから円卓まで移動し、ペットボトルを取り、ベッドへ移動するものである。

具体的には以下のシーケンスからなる。

1. 手元のタブレット PC を用いて自動操縦でソファまでロボットを呼ぶ
2. 車いすに移乗
3. ジョイスティックを用いた手動操縦で円卓まで移動
4. ペットボトルを取った後、タブレット PC を用いて自動操縦でベッドへ移動

Fig. 7 に車椅子ロボットの動作を示す。また Fig. 8 に搭乗者に取り付けた生体センサにより計測された心拍(hr)、脳波センサから取得した瞑想度(med)、集中度(att)を Choreonoid に表示している様子を示す。

このように、移動中に搭乗者の生体情報を計測し、ROS-TMS に逐次格納しながら、自動、手動による搬送サービスが実行できている。

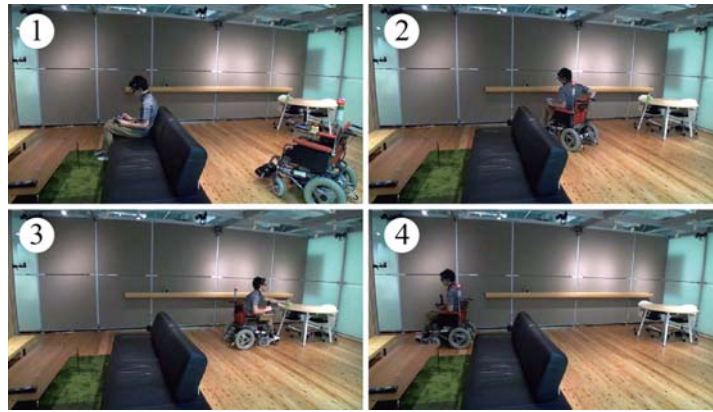


Fig. 7 車椅子ロボットによる自動搬送実験

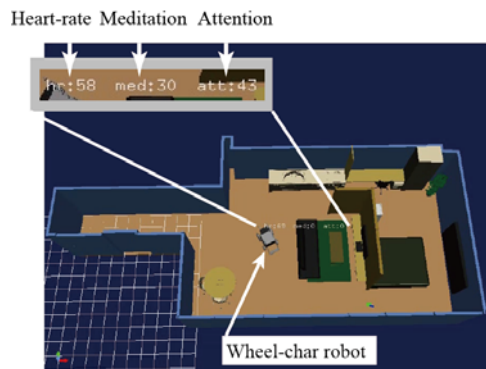


Fig. 8 生体データの計測と表示

4. まとめ

本稿では我々が開発している IoT-ロボットプラットフォーム基盤 ROS-TMS ver. 4.0 について紹介した。現在、介護施設への導入を念頭に ROS-TMS の改良を行っており、ロボットや物のみならず、呼吸や血圧などの要介護者のバイタルデータもネットワーク化し、ロボットや介護者で共有する、Internet of Human (Patients, Doctors, Caregiver), Robots, and Things の実現を目指している。

なお、ROS-TMS のすべてのソースコードは、ROS-TMS の GitHub⁽⁸⁾ から入手可能である。

謝辞

本研究は、国立研究開発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)プログラムにより、助成を受けたものである。

文 献

- (1) 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 (2008), pp. 411-414
- (2) <http://www.ros.org/>
- (3) ピョ ユンソク, 渡邊 裕太, 重兼 聡夫, 稲田 大亮, 辻 徳生, 河村 晃宏, 倉爪 亮, “ROS-TMS ver.4.0 - 情報構造化環境のためのオペレーティングシステム - ”, 第 21 回ロボティクスシンポジウム, (2016), pp. 242-249
- (4) 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 (2008), pp. 415-419
- (5) 村上剛司, 長谷川勉, 木室義彦, 千田陽介, 家永貴史, 有田大作, 倉爪亮, “情報構造化環境における情報管理の一手法”, 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 2 (2008), pp. 192-199
- (6) http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID121.

- (7) 辻徳生, 表允哲, 曾昀, 永田晃洋, 長谷川勉, 倉爪亮, 諸岡健一, 村上剛司, “Tms クラウド: ロボットタウンマネジメントのためのスケーラブルな分散処理システム”, 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, (2012), pp. 1H4-7
- (8) https://github.com/irvs/ros_tms/wiki/.