事例紹介

サービスロボットのためのIoTプラットフォーム

IoT Platform for a Service Robot

倉 爪 亮* *九州大学

Ryo Kurazume* *Kyushu University

1. は じ め に

近年, IoT やビッグデータ, AI が新たな産業革命(蒸気, 電気, 情報に次ぐ第四次産業革命)の主役になると期待されている. 我が国の第5期科学技術基本計画[1]においても, 「超スマート社会」[†]を構成する11分野(エネルギー, ものづくり, ...)において, IoTはそれらの共通基盤技術と位置付けられている(Society 5.0). 一方, ICT技術を活用した次世代の社会基盤としてCPS(Cyber Physical System)が注目されている. CPSでは, ①様々なセンサや機器がネットワークに接続され, ②Physical world(実世界)で収集された情報がサーバ, クラウドなどのデータベースに蓄えられ, ③AI技術やシミュレーションを活用してCyber world(仮想世界)で分析, 予測され, ④計画に基づきPhysical worldが最適に制御される. ここでIoTは, ②の環境情報の収集のためのキーテクノロジーであり, ロボット技術(Robot Technology, RT)は④のヒトやロボット, 機器を通して実環境でのサービス提供を実現するためには必須の技術である. したがって, CPSを駆動するには, IoTとRTが融合したIoRT(Internet of Robots and Things)が重要であると考えられる.

一方, ロボット分野からIoTを再考すると, IoT(あるいはIntenet of Control/Remote Control)は, ネットワークロボットや環境情報構造化, 空間知能化などロボット分野で以前から研究されてきた概念とも関連が深い. すなわち, ロボットを単体の主体であると考えず, 作業空間も含めてすべてがロボットシステムであると考え, (狭義の)ロボットを構成する4大要素(アクチュエータ, センサ, コンピュータ, 制御技術)をロボット内部から作業空間に拡張し, それらと(狭義の)ロボット, ユーザをネットワークで繋ぎ, 一体運用するものである. これは, ロボットから見れば, 自身のセンシング能力や運動能力の拡張であるが, ユーザからみれば, ロボット内外のセンサやアクチュ

エータを区別なく利用し, 情報を収集, サービスを提供することであり, あらゆるセンサや機器をネットワークで結合するIoTの概念と一致する.

我々も, これまでサービスロボットのための環境情報構造化の研究を継続して行っており, 環境情報構造化のためのソフトウェアプラットフォームTMS(Town Management System)と, その発展形であるROS-TMS(Robot Operating System-TMS), さらにハードウェアプラットフォーム・レンガ住宅, あるいはB-Sen(Big Sensor Box)を開発してきた.

IoTでは, 家電や什器の相互接続(M2M), 様々な便利なIoTガジェットやスマートメータ, HEMS/BEMS, 航空機エンジンなどの産業機器や建設機械のリモート監視, FA現場での故障予知や消耗品検知, 工作機器の連携による生産性向上などで, まずは市場が立ち上がりつつあるが, 今後接続するデバイスが増え, 応用分野がさらに広がることで,

- (1) センサや機器間の接続管理(リソース割り当て, 通信量, 電力等)
- (2) 収集した情報の管理(分析, 統合・融合・補間, 予測等)
- (3) セキュリティ, 安全性, 信頼性, 回復性の管理に加えて,
- (4) 多くの機器間での相互運用性(interoperability), 動作の管理(連携, 協調, 安全, 効率等)

などが課題になると考えられる. 特に相互運用性はIoT企業の囲い込みや標準化活動と密接に絡み合っており[2], 例えばGoogle(Project Brillo)やApple(HomeKit), IIC(Industrial Internet Consortium)(IIRA(Industrial Internet Reference Architecture)), OCF(Open Connectivity Foundation)(IoTivity), AllSeen Alliance(AllJoyn), oneM2M(oneM2M)など企業や団体の活動が活発である.

本稿では, サービスロボットを対象に構築したIoTプラッ

原稿受付 2016年11月30日

キーワード: Sensor Network, Network Robotics, IoT, ROS
*〒819-0395 福岡市西区元岡744

*Nishi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka

[†]必要なもの・サービスを, 必要な人に, 必要なときに, 必要なだけ提供し, 社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき, あらゆる人が質の高いサービスを受けられ, 年齢, 性別, 地域, 言語といった様々な違いを乗り越え, 生き活きと快適に暮らすことのできる社会.

トフォームとして、近年ロボット用ミドルウェアとして利用が広がっている ROS [8] を用いたソフトウェアプラットフォーム ROS-TMS, および ROS-TMS の実証実験施設であるハードウェアプラットフォーム B-Sen を紹介する。なお、ここでは誌面の都合上、概要のみにとどめ、詳細については文献 [3] を参照されたい。

2. ソフトウェアプラットフォーム ROS-TMS

2.1 TMS (Town Management System)

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) [4] 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。TMS では、ロボットは自身に搭載したセンサからの情報に加えて、環境に設置されたカメラ、レーザ、IC タグリーダなどで得られた環境内の物品、ヒト、ロボットの情報を、必要な時に環境データベースから SOAP (Simple Object Access Protocol) を用いた Web サービスとして取り出す枠組みを提供している [5]。これは多くのセンサをインターネットに繋ぎ、同様にインターネットに接続されたロボットから、それらに自由にアクセスできるシステムであり、IoT (あるいは IoRT) の先駆的研究と位置付けられる。

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 のスケー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。

2.2 ROS-TMS

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コンパイルしなおす必要があり、拡張性、柔軟性に問題があった。また TMS 内部の処理プログラムはそれぞれ独立に開発され、同様な処理を行うプログラムが複数存在し、プログラムの再利用性が低かった。さらに、この TMS では、センサから出力された情報の解析を、そのセンサが接続されている計算機上で単一プロセスで実行していた。そのため解析処理が重くなると、リアルタイム性や計測データが失われる場合があった。

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 ROS [8] [9] を用い、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 [10] の開発を開始し、2015 年 9 月には、最新バージョン ROS-TMS 4.0 [11] を公開した。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、ロボットの動作プランニングモジュール、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。

ROS を使用して多種多様なセンサや処理プロセスをモジュール化することにより、処理モジュールの再利用性が高まり、効率的なシステム開発が実現できるようになった。また処理の分散化により、センサドライバなどの低レベル処理には Raspberry Pi などのシングルボードコンピュータや NUC (Next Unit of Computing) を、認識や計画には高性能パソコンを使うなど、適切な計算機リソースの配置が実現できた。

また、一連の処理をステップごとに細かく分割し、モジュール化することにより、センサ情報の取得から加工、利用、保存などの処理の組み合わせを柔軟に変更できるようになった。新しいセンサや処理プロセスも、ROS のノードとして追加すればよいため、一部の処理の追加、変更によるシステム全体への影響も少なくてすむ。加えて、世界中で公開されている多くの処理パッケージをそのまま利用することができ、必要な機能に絞った効率的なアプリケーション開発が可能となった。

2.3 ROS-TMS の構成

ROS-TMS は、図 1 に示す階層構造を有するアーキテクチャである。最下層は、ロボットやセンサとのインターフェース機能を提供する TMS_SD (Sensor Driver) TMS_RC (Robot Controller) であり、その上位にセンサ情報を解釈する TMS_SS (Sensor System), TMS_SA (State Analyzer) や、ロボット動作を計画する TMS_RP (Robot Planning) がある。それらの情報から TMS_TS (Task Scheduler) によりロボットの動作が調整される。TMS_UR (User Request) はユーザとのやり取りをするためのノードである、それぞれのノードは、データベースである TMS_DB を通して、データベースサーバやファイルサーバにアクセスする。ノード間は ROS のトピック通信を用いて情報をやり取りしている。

図 1 ROS-TMS architecture

ROS-TMS は、ロボット用アプリケーション開発フレームワークである ROS に基づき、様々なセンサからの情報をデータベースへ記録、分析し、必要に応じてロボットやヒトへ提示するためのアーキテクチャである。ROS-TMS を用いることで、ロボットは周囲環境に埋め込まれた様々なセンサ情報を、あたかも自身に取り付けられたセンサのように利用でき、搭載したセンサの少ない低価格、性能の低いロボットでも、複雑な日常生活環境下でも介護や家事作業などの知的なサービスが提供できる。

3. ハードウェアプラットフォーム B-Sen

ROS-TMS の実証実験施設として、日常生活空間を模擬した環境情報構造化プラットフォーム B-Sen (Big Sensor Box) を構築した。B-Sen は、図 2 に示すように、寝室や居間を備えた 2LDK のマンションタイプの居住空間である。

B-Sen には多種多様なセンサ群およびアクチュエータ群を組み込み、ヒト／モノ／ロボットの動きを複数の方法で計測し、同時に複数のロボットや知能化家電でサービスを提供できる。さらに、収集したセンサ情報を表示、ビッグデータ分析するためのバックオフィスも併設している。B-Sen を構成する主なセンサ、ロボット、家電や家具を示す。

センサ

- 光学式モーショントラッキングシステム (Vicon Bonita)
- レーザスキャナ (FARO Focus 3D, Velodyne HDL-32E)
- 光学式トラッキングシステム (POLARIS, NDI)
- 磁気式トラッキングシステム (AURORA, NDI)
- 分散 RGB-D カメラシステム
- スマート電源タップ
- 小型複合センサ端末 (ポータブル)
- RFID タグリーダ、ロードセル、見守りセンサ (感圧センサ)

- 知能化家電・ロボットベッド

サービスロボット

- ヒューマノイド型サービスロボット (SmartPal V)
- 移動ロボット (KXP, Kobuki)
- 車いす型見守りロボット (Mimamoru-kun)
- ドローン (AR.Drone2, Parrot)

知能化家電・家具

- 知的冷蔵庫・知的収納庫
- ロボットベッド (パラマウントベッド, 楽匠 z)
- キッチン, ソファ, 机等の什器

サービス実験を行った例を二つ示す。まず、音声指示によりサービスロボットが物品を取りに行き、ユーザに手渡す実験を行った。音声入力には Google speech recognition を用い、得られた文字列に形態素解析を施して指示が特定

図 2 B-Sen (Big Sensor Box)

図 3 Fetch and give task by service robot

図 4 Wheel chair robot with vital sensors

される。図 3 に実験の様子を示す。ユーザの「お菓子もってきて」という呼びかけに対し、ROS-TMS がデータベースに登録された情報を基に、お菓子の特定、位置取得、把持計画、経路計画などを自動で行い、サービスロボットが実際にサービスを実行している。

さらに、介護が必要な居住者を想定し、要介護者の QOL (Quality of Life) を向上させるシステムとして、図 4 に示す要介護者の移動支援と生体情報モニタリングが可能な車いす型見守りロボットを試作した。搭乗者は脳波センサ (MindWave Mobile, NeuroSky)、心拍センサ (T31C ト

図5 Service experiment using wheel-chair robot

図6 Vital data displayed in Rviz

ランスミッター, POLAR) などの生体センサを装着し, 得られた生体情報(脳波, 心拍)は無線で ROS-TMS に送信され, 蓄積される. 介護者は ROS-TMS に接続し, 手元の端末を用いて遠隔地から生体データを確認できる. このシステムは, 従来の TMS がロボットやモノの管理を行っていたのに加え, その範囲をヒトの健康把握にも拡張したものとも考えられる.

また車いす型見守りロボットの位置は, 前述の光学式トラッキングシステムにより逐次計測され, ROS-TMS による自律移動モードと, ジョイスティックによる手動制御モードが可能である. 自動操縦モードでは, 搭乗者はタブレット PC をタッチして, 呼び寄せや目的地などの要求を ROS-TMS に送信する. B-Sen 内では, 光学式トラッキングシステムやレーザレンジファインダにより, 什器やヒト, ロボットなどの位置はすべてリアルタイムで計測されている. ROS-TMS はタスクスケジューラ内の経路計画ノードを起動して, 障害物を回避した安全な移動経路を計画し, 車いす型見守りロボットに送信する. 車いす型見守りロボットは, 光学式トラッキングシステムから得られた位置情報とデッドレコニングから得られる相対移動をカルマンフィルタで統合し, 指示された移動経路に従って移動する. 一方, 手動操縦モードでは, 右手の肘掛けに搭載したジョイスティックを用いてユーザが操縦する.

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, ベッドへ移動するシナリオに対して実験を行った. 具体的には, 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 タブレット PC を用いて自動操縦で円卓まで移動, ④ ペットボトルを取った後, 手動操縦でベッドへ移動からなる. 図5に実験の様子を示す. また, 図6に, 搭乗者の心拍 (hr), 脳波セ

ンサから取得した瞑想度 (med), 集中度 (att) が, ROS 標準可視化ツール Rviz 上の管理画面に表示されている様子を示す. これより, 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ることが確認された.

4. お わ り に

本稿では IoT を用いたサービスロボットの構成について, 我々がこれまでに構築したソフトウェアプラットフォーム ROS-TMS とハードウェアプラットフォーム B-Sen を例に紹介した.

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.

参 考 文 献

- [1] <http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>
- [2] 総務省情報通信審議会: iot/m2m の技術標準化, 業界アライアンス最新動向, 2016.4.7. http://www.soumu.go.jp/main_content/000415663.pdf
- [3] Y. Pyo, K. Nakashima, S. Kuwahata, R. Kurazume, T. Tsuji, K. Morooka and T. Hasegawa: "Service robot system with an informationally structured environment," *Robotics and Autonomous Systems*, vol.74, no.Part A, pp.148-165, 2015.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] http://openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID121
- [7] 辻徳生, ピョユンソク, ユンチェン, 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, pp.1H4-7, 2012.
- [8] <http://www.ros.org>
- [9] http://irvs.github.io/rosbook_jp/
- [10] ピョユンソク, 辻徳生, 橋口優香, 永田晃洋, 中島洗平, 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予稿集, pp.624-630, 2014.
- [11] https://github.com/irvs/ros_tms/wiki/

倉爪 亮 (Ryo Kurazume)

1991 年東京工業大学機械物理工学専攻修士課程修了. 同年 (株) 富士通研究所入社, 1995 年東京工業大学機械宇宙学科助手, 2000 年スタンフォード大客員研究員, 同年東京大学生産技術研究所博士研究員, 2002 年九州大学システム情報科学研究院助教授, 2007 年より同教授, 2016 年より同副研究院長, 現在に至る. 日本ロボット学会理事 (2009, 2013), 計測自動制御学会理事 (2013), 第32回日本ロボット学会学術講演会実行委員長 (2014), 日本ロボット学会論文賞 (1993, 2014), 日本ロボット学会功労賞 (2008), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門学術業績賞 (2012) 等受賞. 群ロボット, 歩行機械, レーザ計測, 生活支援ロボットの研究に従事. 博士 (工学).

(日本ロボット学会正会員・フェロー)