

JAUS準拠移動ロボット開発事例とIGVC IOP チャレンジ

伊東, 一輝 / IT0, Kazuki

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

56

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2015-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00011288>

JAUS 準拠移動ロボット開発事例と IGVC IOP チャレンジ

Development of JAUS compliant mobile robot based on IGVC IOP challenge rule

伊東一輝

Kazuki Ito

指導教員 小林一行

法政大学大学院理工学研究科システム工学（システム制御系）専攻博士前期課程

Robot module standardization and interoperability are one of important framework for advanced robot rapid prototyping. To achieve robot module standardization and to enhance interoperability, several frameworks can be presented and known such as STANAG4586, JAUS(Joint Architecture for Unmanned System), Rt-middleware. Because of detailed documentation and various implementations, the JAUS robot system that may be one of the dominant architecture for unmanned system. In this paper, we describe our implementation of JAUS compliant mobile robot based on IGVC IOP challenge rule. Implemented JAUS compliant robot modules are examined and confirmed by IGVC IOP challenge organizer.

Key Words : JAUS, Python, unmanned system, IGVC, IOP Challenge, Interoperability

1. はじめに

少子高齢化社会を迎え労働力が不足する我が国日本において人と共存できる安全な自律移動ロボット（災害時におけるレスキューロボット、移動支援ロボット、危険地域などへの偵察ロボット、パーソナルモビリティロボットなど）の開発は喫緊の課題である。

日本は産業用ロボット市場において世界の出荷台数の過半数を占めており、「ロボット先進国」と言われるほどの高い技術力を持っている。しかし、日本のロボットに関する、サブシステムを統合するインターオペラビリティ（相互接続）についてはあまり考慮されていない。そのため、未曾有の大規模災害となった東日本大震災においても、ロボットの実用的な運用ができないなど日本のロボット技術の問題点も指摘された。[1][2]

サブシステムの相互接続に関する技術は、情報機器のコモディティ化に代表されるように、サブシステムの低コスト化と開発期間の短縮など、一般への普及に重要な働きを持つ。このような発想から、ロボットをサブシステムの集まりと考え、コモディティ化を推進するための規格の策定が各地で行われている。

例えば、NATOでは1999年からSTANAG4586として無人ロボットのサブシステムのインターフェース標準化規格を策定している。

日本ではサブシステム間にCORBAを採用したソフトウェアプラットフォームであるRTミドルウェア(openRTM-aist)の活用実績がある。RTミドルウェアで定義されるサブシステムはRTコンポーネントと呼び、いくつかのRTコンポーネントは、インターネット上にも公開され使われている。

米国では1995年からJAUSとして、無人ロボットのサブシステムのインターフェースの統一規格を策定してい

る。JAUSは、国防総省が主導し開発された規格であり、2004年には飛行用ロボットのサブシステムに規格を拡張し、実機に実装している。

米国国防総省の出資で開発されたインターネット、GPSは民生用として広く普及し世界のデファクトスタンダードとなったようにJAUSは、ロボットのインターオペラビリティ化の観点から、無人ロボットのサブシステム化のためのデファクトスタンダードとして普及していく可能性は十分高いであろうと想定される。大学生を中心とした無人ロボットの競技会であるIGVC (Intelligent Ground Vehicle Competition)では、JAUSの普及のため2006年からJAUSチャレンジが追加された。

本論文では、今後のロボット開発の上で重要な役割を果たすであろう、JAUSのサブシステムインターフェースの観点から、本研究室で実装したJAUS準拠移動ロボットの開発について述べる。また、実証実験としてIGVC2014のIOPチャレンジに参加し、その有用性を検証する。

2. インターオペラビリティに関する規格

ロボットの相互接続に関するサブシステムのインターオペラビリティ化の取り組みは、重要であり、JAUSをはじめ、各地域で独自の規格の策定が行われている。NATOではSTANAG4586、日本においても独立行政法人産業技術総合研究所が主体となって推進するRTミドルウェア(openRTM-aist)がある。

STANAG4586はNATO関係諸国の主に軍事技術を共通化する規格であるSTANAG(Standardization Agreement)のひとつで、3つのサブシステム間のインターフェースの統一化を図る規格である。Fig.1にその概要を示す。STANAG4586では、3つのサブシステムとして、Core Unmanned Control System(CUCS)、Vehicle Specific

Module(VSM), Data Link Interface(DLI) のインターフェースを規定している. STANAG4586は, TAI社(トルコエアロスペースインダストリーズ社) のMedium Altitude Long Endurance UAV(MALE UAV)であるANKAのシステムに採用されており, 実用化されている.

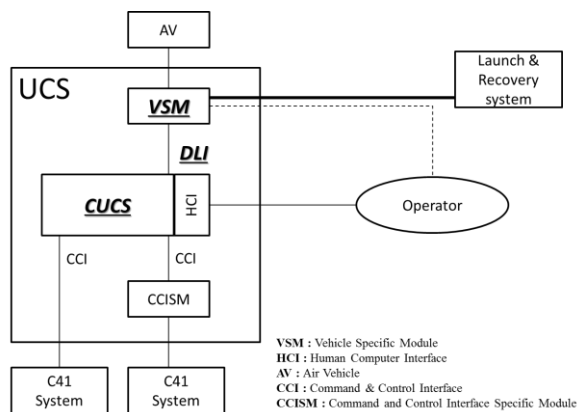


Fig.1 STANAG4586 の構造

Fig.2にRTミドルウェアの構造を示す。RTミドルウェアは, 様々なロボット要素 (RTコンポーネント) 間で通信を介した分散制御システムを構成する規格である. 日本ではRTミドルウェア実装の一つとして独立行政法人産業技術総合研究所がCORBAをベースとしたOpenRTM-aistを開発している. RTミドルウェアは日本のロボット技術の基盤として期待されており, 経産省の技術戦略ロードマップでも, ロボット分野の中核的な位置づけとなっている. 2007年度には, RTミドルウェアの様々なモジュール (RTコンポーネント) を開発する「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト(知能化プロ)」がスタートし, 約60の企業や大学・公的研究機関が参加し開発を行っている.[3]

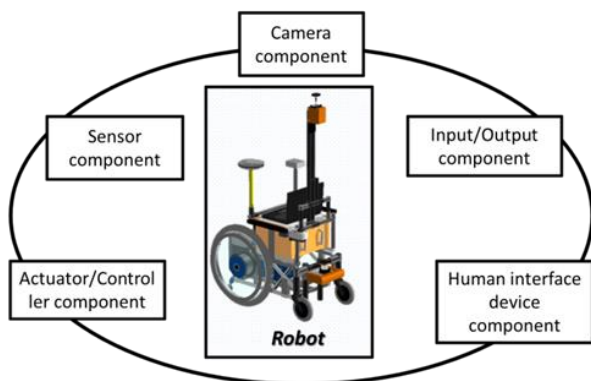


Fig.2 RT ミドルウェアの構造

3. JAUS の概要

JAUS (Joint Architecture for Unmanned System) は米国国防総省が推進する無人システムのサブシステムにおけるインターフェース共通化のための通信規格である. 様々なミッションを遂行するための無人システムの(1)開発期間の短縮(2)ライフサイクルコストの低減(3)相互運用性の向上などを目的に開発された.Table.1にJAUSリファレンスを示す. JAUSメッセージは, AS5684Aで規定

されているJSIDL (The JAUS Service Interface Definition Language) を用いて, 書かれており, それぞれの目的の詳細定義がある.

Table.1 JAUS Document

Document	Release Date	Title
SAE AIR5645A	2014.09.05	JAUS Transport Considerations
SAE ARP6012A	2014.09.05	JAUS Compliance and Interoperability Policy
SAE AS5669A	2014.08.05	JAUS / SDP Transport Specification
SAE AS6057A	2014.06.03	JAUS Manipulator Service Set
SAE AIR5664A	2012.08.16	JAUS History and Domain Model
SAE AS6040	2010.11.16	JAUS HMI Service Set
SAE AS6060	2010.11.03	JAUS Environment Sensing Service Set
SAE AS5710A	2010.08.26	JAUS Core Service Set
SAE AS6062	2010.07.14	JAUS Mission Spooling Service Set
SAE AS5684A	2010.07.01	JAUS Service Interface Definition Language
SAE AS6009	2009.04.15	JAUS Mobility Service Set

2008年には, JAUSの一部が航空分野における規格SAE-AS4として採用されている.2011年には, JAUSを採用した移動ロボットが, DARPA Ground Challengeに出場・参加している. [4]

4. 移動ロボットの JAUS トポロジー

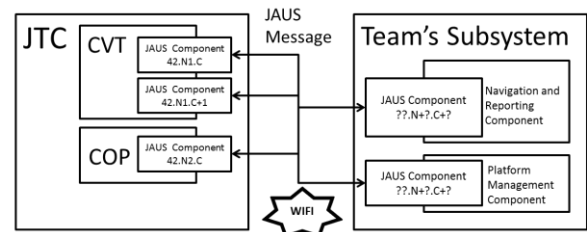


Fig.3 The System Topology

Fig.3に移動ロボットのJAUSトポロジーを示す. JAUSでは, JTC(The Judges Testing Computer)と呼ぶコントローラを使用する. JAUSメッセージは, ポート番号3794でWiFi UDP通信によりTeam's Subsystemである移動ロボットに送受信する.それぞれの機能を司るJAUSコンポーネントには, ノードID, コンポーネントIDが割り振られ, 目的に応じたコンポーネントが適切に応答する必要がある. JTCはCVT(the Conformance Verification Tool), COP(the Common Operational Picture)の2つの機能から構成される.

CVTは主にインターオペラビリティに関するJAUSメッセージを送信するためのコンポーネントで, コンポーネントIDが異なる二つのJAUSコンポーネントが割り振られている. COPは主にモニタリングを行うJAUSコンポーネントから構成される.

Team's Subsystemとなる移動ロボットはNavigation and Reportingを行うJAUSコンポーネントとPlatform Managementを行うJAUSコンポーネントから構成される.

5. IGVC と IOP チャレンジ



Fig.4 IGVCの競技風景

Fig.4にIGVCの競技風景を示す.IGVCはAUVSI(Association for Unmanned Vehicle Systems International)の開催する屋外環境下における自律移動ロボットの競技大会であり、1993年から毎年開催されている。

JAUSに関する競技は、2006年からJAUSチャレンジとしてスタートしたが、2014年には、ルールが大幅に変更されIOPチャレンジと名称変更された。

6. 実装する JAUS サービス

Table.2に実装するJAUSサービスを示す。本論文ではJAUSサービス(1)-(9)を実装したJAUS準拠移動ロボットを開発する。JAUSサービス(1)-(5)は、AS5710を元に、(6)-(9)は、AS6009を元にしたサービスである。

Table.2 実装するJAUSサービス

AS5710	
Service Name	Service Detail
(1)Events Service	allows clients to subscribe to changes in the information provided by report messages supported by services that derive from this service
(2)Access Control Service	offers a basic interface for acquiring preemptable exclusive control to one or more related services that utilize this function.
(3)Management Service	provides a state machine for component life-cycle management to help clients understand how the component will react to commands and queries
(4)Liveness Service	provides a means to maintain connection liveness between communicating components.
(5)Discovery Service	supports the discovery of both legacy components defined in the JAUS Reference Architecture versions 3.2+, and new components
AS6009	
Service Name	Service Detail
(6)Local Pose Sensor Service	report the local position and orientation of the platform
(7)Local Waypoint Driver Service	move the platform given a single target waypoint, desired travel speed,current platform pose and current velocity state.
(8)Local Waypoint List Service	move the platform given a series of target waypoints, desired travelspeed, current platform pose and current velocity state.
(9)Velocity State Sensor Service	reporting the instantaneous velocity of the platform.

7. 開発した JAUS 準拠ロボット

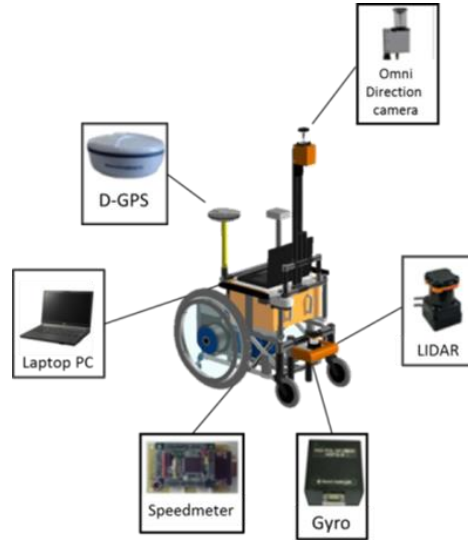


Fig.5 Orange2014

Fig.5 に我々研究グループが開発した移動ロボット”Orange2014”を示す。開発した移動ロボットは自律移動機能を実現するため、D-GPS、LIDAR、全方位カメラ、Gyro、速度計を搭載している。この移動ロボットをベースにJAUSコンポーネントを開発した。

Fig.6に開発したJAUS準拠移動ロボットの実際の構成を示す。開発時間の短縮のため、シェアードメモリを採用することで、移動ロボットのJAUSコンポーネント部分と障害物回避などを含む自律移動機能に分ける方式とした。Table.3にシェアードメモリに読み書きする主な情報を示す。シェアードメモリには、主に移動ロボットの状態に関する情報と、センサから得られた情報を書き込む。受信したJAUSメッセージに応じシェアードメモリから必要な情報を読み込み応答するように実装した。JAUSメッセージ通信に関わる場所は、スクリプト言語であるPythonを用いた。このような構成にすることで、各々のデバックが容易になった。

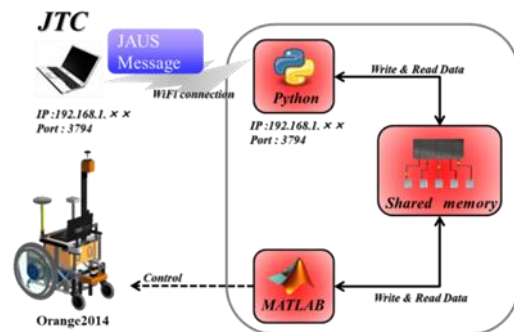


Fig.6 JAUS メッセージ通信と移動ロボットの制御

Table.3 シェアドメモリに読み書きする主な情報

Information	Size[bytes]
Local x-coordinate[m]	4
Local y-coordinate[m]	4
Yaw angle[degree]	2
Velocity of x-way[m]	4
Yaw angle of robot[degree]	2
Waypoints[m]	2
Speed[m/s]	2

8. IGVC2014 の IOP Challenge の結果

Fig.7に IOP チャレンジのスコアを示す。IOP チャレンジではドキュメントの解釈に下記の想定外の点があり、いくつかの JAUS サービスの実装の不備が発覚した。

- Discovery Service の一部のメッセージは、ブロードキャスト通信を実装する必要があった
- 予想外のサービス名 (URN) の文字列をチェックされた

また、マルチスレッドで UDP 通信を行う際、JAUS メッセージの送受信が重なり適切な応答ができない不備が起きた。トラブルを見つけ、その場でスクリプトプログラムを修正することで対応した。Fig.8 に大会での Wireshark による JAUS 通信 log データを示す。平均的なデータ長は、25 バイト程度であり、反応時間は、15.5msec オーダーで反応を返しており、Python でも十分に応答できている。結果、満点は得られなかったが参加した 50 大学の中で最も多くのタスクに対しの確な JAUS メッセージを応答させることができた。

Team	IOP	Yaw	X	Y	Score
Hosei	10	4	8	10	34
Trinity College	11	7	0	10	33
Cal Poly Pomona	10	10	0	10	32
Clarkland	10	9	0	10	32
Louisiana Tech	7	3	0	10	10
The Citadel	10	4	0	10	18
UBC	0	1	0	0	1

Other Qualifiers
Winterland

Fig.7 IOP チャレンジのスコア

Fig.8 Wireshark による JAUS 通信 log データ

9. おわりに

Fig.9 に IOP チャレンジの表彰式の様子を示す。本論文では、ロボット開発の上で重要な役割を果たすであろう、JAUS 準拠移動ロボットの開発例について述べた。開発した移動ロボットは、スクリプト言語である、Python とシェアドメモリを採用することで、JAUS メッセージ応答送受信機能と障害物回避などを行う自律移動機能を分けて開発することができ、各々のデバックを容易にし、開発期間を短縮できた。実証実験として IGVC2014 に参加し、開発した JAUS 準拠移動ロボット” Orange2014”で IOP チャレンジで優勝することができた。



Fig.9 IOP チャレンジの表彰式

参考文献

- 1) Hajime Asama, Utilization of Robot Technology for the Great Eastern Japan Earthquake and the Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant and Its Future Issues (1), The Robotics Society of Japan, Vol.29 No.7, pp.658-659, 2011.
- 2) Hajime Asama, Utilization of Robot Technology for the Great Eastern Japan Earthquake and the Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant and Its Future Issues (2), The Robotics Society of Japan, Vol.29 No.9, pp.796-798, 2011
- 3) .Shinobu Kawaguchi, Hiroyuki Nakamoto, Akihiro Ikezoe, Miho Sato, Takahiro Hamachiyo, Masayuki Nagase, Development of RTMiddleware for Android Platform (RTM on Android), Transactions of the Society of

Instrument and Control Enginners, Vol.49(2013)
No.1, pp.73-77, 2013.

- 4) Bob Touchton, Tom Galluzzo, Danny Kent, Carl Crane, Perception and Planning Architecture for Autonomous Ground Vehicles, IEEE Journals of Computer Society, Vol. 39, Issue 12, pp. 40-47, 2006.
- 5) Kayayurt.B, Yayla.I, Application of STANAG 4586 standard for Turkish Aerospace Industrial UAV systems, Digital Avionics Systems Conference(DASC), 2013 IEEE/AIA 32nd, 4B4-1 - 4B4- 7, 2013.
- 6) Nakada.T, Ohkubo.T, Kobayashi.K, Watanabe.K, Kurihara.Y, A study of visual odometry for mobile robots using omnidirectional camera, SICE Annual Conference 2010, pp.2957- 2959, 2010.
- 7) As-4JAUS Joint Architecture For Unmanned Systems Committee, AS5669A - JAUS/SDP Transport Specification, 2009.
- 8) As-4JAUS Joint Architecture For Unmanned Systems Committee, AS5684 - JAUS Service Interface Definition Language, 2008.
- 9) As-4JAUS Joint Architecture For Unmanned Systems Committee, AS5710 - JAUS Core Service Set, 2008.
- 10) As-4JAUS Joint Architecture For Unmanned Systems Committee, AS6009 - JAUS Mobility Service Set, 2009.
- 11) As-4JAUS Joint Architecture For Unmanned Systems Committee, AS6060 - JAUS Environment Sensing Service Set, 2010.
- 12) Robotic Systems, Joint Project Office (RS JPO), UGV Interoperability Profile(IOP), 2011.
- 13) Takumi Cho, Kazuyuki Kobayashi, Kajiro Watanabe, Tomoyuki Ohkubo, Yosuke Kurihara, Development of JAUS-Compliant Controller Using Python, Sice Annual Conference 2011, pp.2186- 2189, 2011.
- 14) Sawada K, Kobayashi K, Watanabe K, Ohkubo T, Kurihara, Development of cellular phone based JAUS-compliant unmanned system controller, Sice Annual Conference 2010, pp.3520- 3522, 2010.