

ネットワークを使用するRAR遠隔操作ロボットの 環境構築に関する一考察

大久保 英一¹⁾・永沼 充²⁾

1) 帝京短期大学 2) 帝京科学大学

【抄録】

【問題・目的】我々は、動物介在療法（Animal Assisted Therapy）の動物をロボットに置き換えたロボット介在療法（Robot Assisted Therapy）を萌芽させ、特にリハビリテーションに対応したRAR（Robot Assisted Rehabilitation）の研究を実施してきた。リハビリテーションに対応できるロボットは遠隔操作機能を具備することが望ましい。

しかし、施設内のネットワークシステムを使用することはセキュリティの問題やネットワーク回線・施設に対する影響を考慮する必要があることから、使用することに対するハードルが高い。また、ネットワーク回線が敷設されていない施設もある。また、RAR/RATの実施は単一メーカーのロボットを使用するわけではなく、数種類のロボットを使用することから不具合の解決は難しい。その為包括的に環境構築を考えることが必要である。

【方法】ネットワークに接続するロボットは、使用するロボットの開発・使用目的によって、必要とする通信のデータ量・ネットワークの通信経路が異なる。そこで、使用するロボットが必要とする通信について調査し、使用に耐えるネットワーク回線やハードウェアの選定を行い、フィールドデザインの上、フィールドワークを実施した。

【結果】通信の種別ごとに接続する機材・ネットワークのトラフィックの調整を行うことで、数種類のネットワークロボットを同時動作させることが確認できた。

【まとめ】ロボットのハードウェアスペックだけでなく、ネットワークを介する通信の内容についても、調査検討を行うことが必要である。無線LANのネットワーク集中を回避し、安定した接続環境を得ることができた。通信種別や無線LANの機器については技術理解・ノウハウが構築には必要である。インフラストラクチャを構成する機器のスペックを調べ、環境に応じた機材を選定・導入・見直しをしていくことが継続した実施には必要である。

【キーワード】 遠隔操作ロボット, ネットワーク設計, Robot Assisted Rehabilitation,

I. 背景・目的

我々は、動物介在療法（Animal Assisted Therapy）の動物をロボットに置き換えたロボット介在療法（Robot Assisted Therapy）を萌芽させ、特にリハビリテーションに対応したRAR（Robot Assisted Rehabilitation）/ RAA（Robot Assisted Activity）の研究を実施してきた。¹⁾ RAT研究萌芽期からSONY製のAIBO（2017年に販売されたERS-1000型は通称 aibo を使用している。）を使用し、特に遠隔操作を行うロボットはERS-210型、ERS-7型²⁾が無線を使用するロボットの主であった。これらのロボットの使用方法は、ロボットと操作用の端末であるPDA（Personal Data Assistant）デバイスを接続し、必要なコマンドを送信する仕組みである。しかし、このシステムはオペレータが必要であった。³⁾

リハビリテーション現場のニーズから、対象者が自

発的に取り組めるシステムの打診を受け、その後、対象者の体動を検出するデバイスを使用し、動作させるシステムへ派生させた。このシステムは、デバイスをBluetoothでパーソナルコンピュータ（以下、PC）と接続し、体動のデータを送信する。送信されたデータの動作解析をPCで行い、PCからAIBOへ通信指示を送るシステムである。⁴⁾

しかし、対象者毎にデバイスを付け、無線接続されるPCやロボット台数が多くなることや、ロボットのネットワークシステムの制約があり、PCを自動的に接続する仕組み（DHCP）を導入することが出来ず、手動でネットワーク設計が必要な仕組みをとっていたことから、無線接続に関するトラブルが頻発していた。同一メーカーの機種だけを使用するのであれば、メーカーサポートで対応していただけることもあるが、多品種のロボットを使用するRAA/RAT/RARのソフトウェア面（対人）の研究を進める中で、安定

してロボットを使用できる環境構築も考える必要があった。使用するロボットも世代交代・機能向上が図られ、必要とするインフラストラクチャも変化している。

そこで、本稿ではネットワーク環境構築を振り返り、今後の展開へ向けて考察を行ったので報告する。

II. 使用機材の解析

1. 使用ロボットと無線LANの対応

RARでは遠隔操作ロボットを使用する。使用するロボットでネットワーク接続が必要となるものはすべてデファクトスタンダードとなっているIEEE802.11規格であるIEEE802.11b/g, IEEE802.11a,上位互換であるIEEE802.11n/ac形式で市販されているタイプの無線LANを使用している。本研究で使用しているロボットの機種と対応する無線LAN方式をTable 1に示す。

2. 操作端末と無線LANの対応

これまで使用してきた操作端末には、ロボットによるPDAデバイス、ノートパソコン、iPadがある。各機種と無線LANの対応をTable 2に示す。

3. ロボットの運用による通信種別の分析

動画・音声通信を必要とするエージェントロボット OriHime⁵⁾ は、運用中の映像・音声のリアルタイム通信が必要であり、通信帯域と接続の安定性が要求される。

一方で、リモコンの様に単方向制御するタイプのロボット（本研究で使用するロボットでは、PALRO⁶⁾、aibo⁷⁾が該当する）の場合、機器とロボット間は、通信データ量が少ないため、多少不安定であっても接続が可能である。ロボットと必要な通信及び制御用アプリケーションについてTable 3に示す。

Table 1. 使用ロボットの機種別無線LAN方式

	使用する無線 LAN 規格
AIBO ERS-210/ERS-7	IEEE 802.11b 使用周波数帯域 2.4GHz
aibo ERS-1000	IEEE 802.11b/g/n 使用周波数帯域 2.4GHz / 5GHz
PALRO	IEEE 802.11b/g/n 使用周波数帯域 2.4GHz / 5GHz
OriHime	(制御 PC に依存) IEEE 802.11a/b/g/n/ac 等 使用周波数帯域 2.4GHz / 5GHz

Table 2. 使用操作端末の機種別無線LAN方式

	使用する無線 LAN 規格
PDA HP 社製 iPAQ Windows mobile	IEEE 802.11b/g 使用周波数帯域 2.4GHz
ノート PC Windows OS	IEEE 802.11a/b/g/n/ac 等 使用周波数帯域 2.4GHz / 5GHz
タブレット端末 Apple iPad iOS / iPad	IEEE 802.11a/b/g/n 世代により IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 使用周波数帯域 2.4GHz / 5GHz

4. 無線LAN運用上の問題

精密に通信エリアを設計するためには、現地計測が必要である。無線LANのアクセスポイントの電波伝搬方向性は無指向性のものが多い。直線距離であれば100m程度伝搬できる出力を持つものもある。

しかし、実際に使用すると階数のある建物で1階にアンテナを設置し、直線距離では到達できる見込みである3階で受信が不十分である事例が見受けられる。また、住宅密集地や集合住宅であれば、近隣住宅で設置されている無線LANアクセスポイントの電波を受信する可能性がある。これは、施設の建物躯体に影響することが大きい。パーティクルボードのような木材であれば電波は通過するが、鉄筋や防火壁があると電波は通過しない。最近のアクセスポイントではアンテナを複数装備させ、電波の通りにくいスポットを少なくする技術が開発され、市販機器であっても実装されている。⁸⁾

また、無線LAN機器間で他機の通信用電波を受信すると、干渉を防止するため出力を自動調整する装置もある。そこで、出力できるアクセスポイントであれば電波出力を調整することや、アクセスポイント・ルーターを近隣に複数台設置しないなどの対応が必要となる。アクセスポイントは誤接続や無権限利用を防止す

るため、アクセスポイント名（ESS-ID）やパスワードによる接続確認をしているが、そもそもESS-IDを検索するために発出されているアクセスポイントが多くなれば、端末からアクセスポイントを検索・接続することにも困難が伴う。

Ⅲ. 運用結果

1. フィールドワークでの運用結果

システムを構成するハードウェア及び通信種別について解析し、特別養護老人ホームでのフィールドワークを定期的実施している。フィールドワークにおける配置例をFigure 1に示す。

使用するロボットにより、機器配置も変えている。通信種別とロボット、通信機器の組み合わせについてTable 4に示す。

現用の環境で、比較的安定してフィールドワークの運用を行っており、無線LANの接続性に起因するトラブルはほぼ発生していない。

Table 3. 使用ロボットの制御用アプリケーション

	制御用アプリケーション	アプリケーションが動作する環境
AIBO ERS-210/ERS-7	Java 言語による独自開発アプレット	Java 仮想マシンが動作する端末 Windows PC/ Windows mobile
aibo ERS-1000	メーカー提供アプリケーション My aibo	Apple iOS (iPhone / iPad) Android OS Windows (Internet 用ブラウザ使用)
PALRO	メーカー提供アプリケーション PALRO What's up (コマンド指示) PALRO ちょっとコマンダー (モーションバッチ処理)	Apple iOS (iPhone / iPad) Android OS Windows (アプリケーションインストールが必要)
OriHime	メーカー提供アプリケーション OriHime / OriHime Biz	Apple iOS (iPhone / iPad) Android OS ※上記操作端末と別に 本体制御用 WindowsPC が必要

Table 4. 使用ロボット・通信種別・通信機器の組み合わせ

	主な通信の方向	通信内容	使用機器
AIBO ERS-210/ERS-7	単方向	コマンド送信	IEEE 802.11b/g 対応 アクセスポイント インターネットアクセスなし
aibo ERS-1000	単方向	コマンド送信 (一部画像取得)	IEEE802.11a/b/g/n 対応 SIM 内蔵 LTE モバイルルータ インターネットアクセスあり
PALRO	単方向	コマンド送信	IEEE802.11a/b/g/n 対応 SIM 内蔵 LTE モバイルルータ インターネットアクセスあり
OriHime	双方向	動画・音声通信	IEEE802.11a/b/g/n 対応 SIM 内蔵 LTE モバイルルータ インターネットアクセスあり

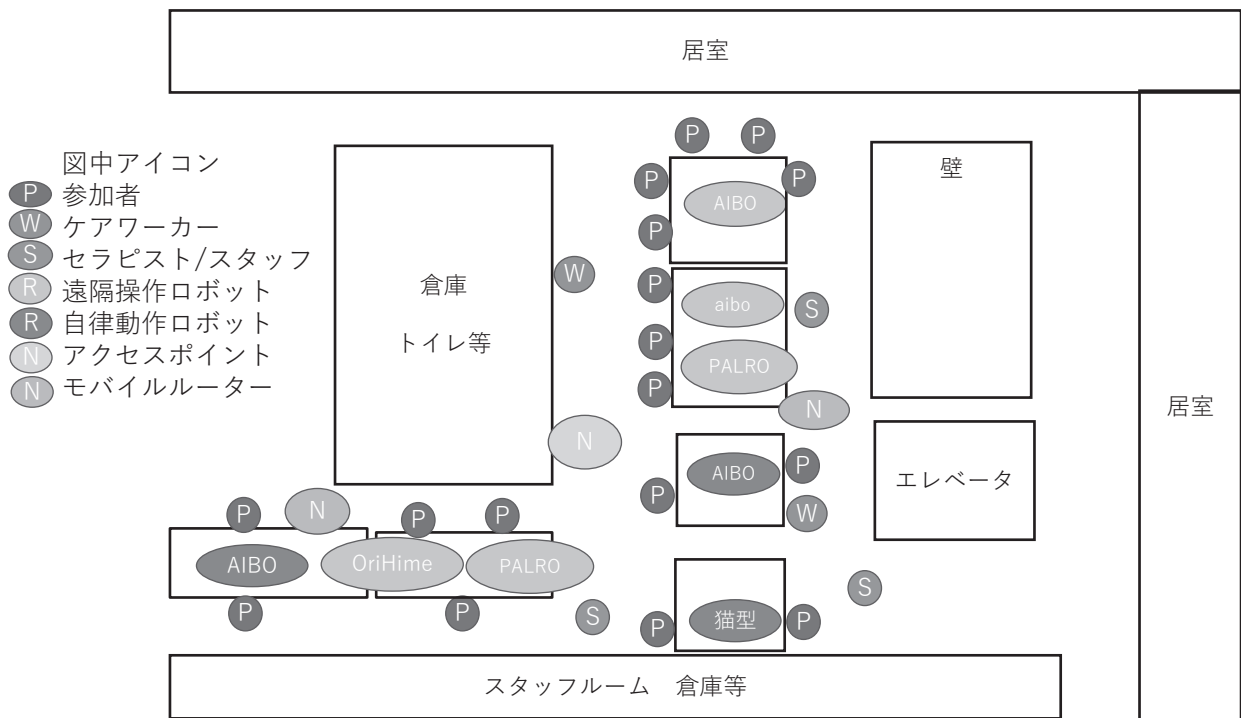


Figure 1. フィールドワークにおけるロボットとネットワーク機器の配置例

IV. 考察

OriHimeは使用中、音声・動画を制御用PCからインターネットを経由して操作用PC（もしくはiPad）に転送する。制御用PCと操作用PCの端末間通信の確立ができるまではインターネット経由の通信となり、端

末間通信が可能になれば現地ルーター内通信となるため、インターネットを経由するデータ量（パケット）の消費量は極めて少ないが安定した高速通信が必要である。

PALROはネットワークにつながらないスタンバイ状態でも動作することは可能である。しかし、

ニュースや天気といった時事情報を必要とする場合やiPadに入れている操作アプリを使用するときにはネットワーク接続が必要である。OriHimeと比較すると、動画・音声を通信することがないためデータ量が極めて少ない。

aibo (ERS-1000) は購入時にSIMカードの契約がセットされる。スマートフォンの通信と同じLTE (Long Term Evolution 通称 4G) 通信機能を内蔵している。ネットワーク接続はロボットの動作に対し必須ではないが、操作アプリをiPad経由で使用するにはネットワーク接続が必要である。LTE通信経路も可能であるが、無線LANのインターフェイスも持ち合わせているため、無線LAN接続環境下であればより高速に通信することが可能である。操作アプリでもユーザーに対し説明があり、バージョンアップで搭載された機能のひとつである「おまわりさん」はaiboで取得した画像をiPadに動画として転送する機能である。このアプリの使用時は安定性、予期せぬユーザーのパケット消費を防止するため無線LAN接続を勧めるメッセージが表示される。

数種類のロボットを併用した環境を作るためには、ブラックボックステストの状態であってもロボットが使用する通信の内容についても調査検討を行うことが必要である。ノウハウの蓄積によって、現在は無線LANのネットワーク集中を回避し、安定した接続環境を得ることができた。

電子デバイスの低価格化・高機能化が進み、ロボットに搭載されるセンサデバイスも高性能化が図られている。また、ネットワーク環境は常に高速かつ低価格化が進んでいる。オリンピックを控え、スマートフォンの普及も伴い、無線LANは身近なものになっている。人の集まる施設だけでなく、電車・航空機でも使用できるようになった。

今後、ネットワークに接続できるロボットは普及する無線LANを使用したものになることは想像に容易である。そして、動作・音声通信はほぼ必須となるであろう。しかし、通信種別や無線LANの機器については技術理解・ノウハウが構築には必要である。無線LAN規格は従来も上位互換の形式が採用されてきた。今後登場する規格を調査し、インフラストラクチャを構成する機器のスペックを調べ、環境に応じた機材を選定・導入・見直しをしていくことが継続した実施には必要である。これからも継続して研究を進めていきたい。

【謝辞】

フィールドワークの実施においてご協力いただきました、所沢ロイヤル病院訪問リハビリテーション

室の加藤範子室長、他理学療法士の皆様、特別養護老人ホームロイヤルの園の入居者・スタッフの皆様にお礼申し上げます。また、本研究はJSPS科研費26350676、17K01591の助成を受けたものです。

なお、今回の論文に関連して開示すべき利益相反状態はありません。

【文献】

- 1) Ryuhei Kimura, Naoko Abe, Noriko Matsumura, Akiyo Horiguchi, Takamichi Sasaki, Takashi Negishi, Eiichi Ohkubo, & Mitsuru Naganuma., (2004), Trial of Robot Assisted Activity Using Robotic Pets in Children Hospital, *Proceedings of SICE Annual Conference 2004*, 112
- 2) ソニー株式会社 先代AIBO Webサイト <https://www.sony.jp/products/Consumer/aibo/index2.html> (2019年11月7日)
- 3) 鉄井俊宏・村田秀和・大久保英一・加藤範子・木村龍平・永沼充, (2009), PDA/UMPCおよびゲーム機端末を操作端末とするロボット介在活動・療法の試行, *リハビリテーションネットワーク研究*, 7 (1), 47-51
- 4) 宇津木亮祐, 大久保英一, 鉄井俊宏, 加藤範子, 木村龍平, 永沼充, (2010), バランスボードを用いた高齢者自身によるロボット操作システムの提案, *リハビリテーションネットワーク研究*, 8 (1), 49-55
- 5) オリイ研究所 OriHime プロダクト紹介 <https://orihime.orylab.com/> (2019年11月7日)
- 6) 富士ソフト株式会社 PALRO Webサイト <https://PALRO.jp/> (2019年11月7日)
- 7) ソニー株式会社 aibo Webサイト <http://aibo.sony.jp/> (2019年11月7日)
- 8) エレコム株式会社 Wi-Fi製品購入ガイド 無線LANの基礎知識Vol.8 “無線LANの電波の届く範囲・距離について” https://www2.elecom.co.jp/network/wireless-lan/column/wifi_column/vol08/ (2019年11月7日)

A study of Robot Assisted Rehabilitation field design using remote control robot

Eiichi OHKUBO¹⁾ • Mitsuru NAGANUMA²⁾

1) Teikyo Junior College 2) Teikyo University of Science

【Abstract】

【Purpose】 We have been engaged in research on Robot Assisted Therapy in which animals used in Animal Assisted Therapy are replaced with robots. Proposed a RAR (Robot Assisted Rehabilitation) corresponding to the rehabilitation among the RAT (Robot Assisted Rehabilitation). The robot used in RAR should have a remote-control function. However, it is difficult to use the network system of the implementation facility due to security problems. Some facilities do not have network lines. In addition, RAT / RAT does not use a single manufacturer's robot, and several types of robots are used.

【Methods】 Network robots require different network connection methods and network communication paths depending on the robot development purpose and usage. We investigated the communication required by the robot used, and selected network lines and hardware that can support RAR. Based on the selection results, the field was designed and field work was conducted.

【Results】 As a result of the investigation, the robot connection and the network route were adjusted according to the type of communication required. The fieldwork results confirmed that several types of network-connected robots can be operated simultaneously without any trouble.

【Discussion/Conclusion】 From the implementation results, it is necessary to investigate not only the hardware specifications of the robot but also the contents of the network traffic to be performed. A stable connection environment could be realized by dividing the network according to the type of traffic. Technical verification is necessary to realize a stable environment.

Check the specifications of the equipment that makes up the network infrastructure and select equipment that can handle the equipment and traffic. And it is necessary for RAR to continue to review regularly after introduction.

【Key words】 Remote-control robot, Network design, Robot Assisted Rehabilitation