

令和 4 年 9 月 2 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11933

研究課題名（和文）超低遅延、高信頼ワイヤレスアクセス方式の提案及びその評価

研究課題名（英文）Proposal and Evaluation of Ultra Reliable Low Latency Communication

研究代表者

嶋本 薫（Shimamoto, Shigeru）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：80235639

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：研究では主としてロボット内における無線通信に関してその提案と評価を行った。ロボットアームやロボットレッグ内の電波伝搬が周波数に大きく依存し、非常に伝搬が困難な周波数が存在することが判明した。実際のロボット内を可能な限り模擬した環境を構築し、よりリアルな環境下での伝搬の様子を取得することに成功した。また、通信方式として多数のチャンネルのダイバーシティ構成やNOMA方式を組み合わせたランダムアクセス方式を提案し、優れた特性であることを示した。IEEEの論文誌や国際会議で採択されたほか、国際会議でBest Presentation Awardを受賞するなど、内外で高い評価を受けた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボット技術は革新的な新譜を遂げ、今や様々な応用分野を生み出そうとしている。ロボット内には多くの配線が存在し、重量、動きの制約、信頼性など多くの問題が存在する。研究ではロボット筐体内のハーネスを無線化することで、より柔軟性の高いロボットを構築するもので元々有線接続であったものを無線化することになるので、品質としては無線でありながら有線の品質や遅延、信頼性が求められる。研究では超低遅延、超高信頼を実現する無線通信方式の開発と、ロボット筐体内の伝搬伝搬を合わせて考察することで、実用的な無線化ロボットシステムの実現が可能となった。

研究成果の概要（英文）：The research was mainly concerned with the proposal and evaluation of wireless communication within robots. It was found that the propagation of radio waves in robot arms and legs depends greatly on the frequency, and that there are some frequencies that are very difficult to propagate. We constructed an environment that simulates the actual robot as much as possible and succeeded in acquiring the propagation in a more realistic environment. The research was accepted for publication in IEEE journals and international conferences, received the Best Presentation Award at international conferences, and was highly evaluated both domestically and internationally.

研究分野：無線通信

キーワード：URLLC ALOHA SIC NOMA ロボット通信 ワイヤレスアクセス 無線通信

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

作業支援、監視、案内など様々な役割を担うロボットが今後多方面で活躍することが予想されるが人を中心とした従来の通信とは異なり4K、8Kなどの高画質動画像の発信や、複数ロボット間での協調作業に基づく高速データ通信は遅延要求度、信頼性要求度などが従来の移動通信無線に求められていたものとは異なり高度な要求が行われる可能性が高い。更に、その密度もスポット的には極めて高い状況が想定される。このような課題に対し、ロボット大国の異名をとる日本が世界に先駆けて関連研究を推進することが国益に叶うと思われる。時期としてはロボットの本格稼働が近い将来見込まれ、5Gでの議論がほぼ終了し、ポスト5G技術として次の目標値を必要とする今が最適であり、このタイミングを逃すと日本が他国の後塵を拝することになる。また、2足歩行ロボット等の開が進み具体的なUSE CASEも出てきている状況ではあるが、現状ではその設計には各種の制限があり、本格的な利用には解決すべき課題がいくつか存在する。そのうちの 하나가ハーネスの問題である。ハーネスとはロボットに各種存在するセンサやモータに接続されている配線のことであり、ある二足歩行ロボットでは約70ものセンサやモータ類の間を接続するハーネスが存在し、その重量や動きに基づく断線、設計上の制限、動きの制限としてその存在が問われており、より柔軟な構成を可能とする技術が望まれる。

### 2. 研究の目的

ロボット内には多くのハーネスが存在し、重量、動きの制約、信頼性など多くの問題が存在する。本研究ではロボット筐体内のハーネスを無線化することで、より柔軟性の高いロボットを構築する技術を研究する。元々有線接続であったものを無線化することになるので、品質としては無線でありながら有線の品質や遅延、信頼性が求められる。研究では超低遅延、超高信頼を実現する無線通信方式の開発と、ロボット筐体内の伝搬伝搬を合わせて考察することで、実用的な無線化ロボットシステムの実現を可能とする方式を構築する。研究では主としてロボット内における無線通信に関してその提案と評価を行う。現状有線接続されているものを無線接続化するのは信頼性や、遅延など多くの問題がある一方で軽量化、接続の柔軟化、設計の自由度向上などの利点が多く、今後のロボット設計の根本を変える大きな変革をもたらす。実際、複数のロボットの専門家に尋ねたところ大変画期的であり、ロボット研究者は皆大歓迎であり、これまでのロボット設計の問題点の多くが解決し、ロボットの設計手法が根本から変わると言われている。近年のセンサ系デバイス技術と無線通信技術によって通信容量、所要電力などに大きな改善が見られたが、有線通信と同等の品質を求め

た場合、その信頼性、遅延には大きな隔たりがある。研究ではロボット筐体内という制限の中で、極限まで品質向上を目指すことで従来にはない新たな方式の展開が可能となる。

### 3. 研究の方法

#### a) ロボットハーネス用超低遅延、超高信頼通信の実現

現在 5 G では U R L L C (Ultra Reliable Low Latency Communication) の議論が盛んになってきているが、具体的なアプリケーションの設定や、転送速度などのモデルが十分見えていない。本研究ではロボットのハーネスに特化した要求度合いを設定し、最適なシステムを提供することでより実際的で実用的なシステム構築が可能となる。具体的には目標信頼度 99.999%、遅延特性 0.1msec を目標に検討を行う。低遅延の場合、通信手順等があった場合には低い遅延が達成できないため、無手順とし即時送信を前提とする。その場合、衝突の可能性があるので、多数のチャンネルに分かれてアクセスを行う Massive Channel Access 方式を提案し、低遅延、高信頼性を実現させる。具体的には複数の周波数帯 (920MHz, 2.4GHz, 50GHz 等) の使用可能周波数帯を更に細かく分割し、総計で数 1 0 0 チャンネルを作り別々にランダムアクセスを行う。その際、周波数利用効率を向上させるため、O F D M A (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) のコンセプトで各チャンネルをサブキャリアとして復調できるように制御を行う。

## Massive Channel Access



上図に提案する Massive Channel Access 方式の時間軸と周波数軸で示されたアクセスの概

電力軸での補足効果と SIC (successive interference canceller) による多重化を行うことでより高い信頼性と高いスループットを保持する手法を構築する。その際、シミュレーション及び、理論計算。更には、一部機器の試作を行い、ロボット筐体内の伝搬伝搬及び、複数ロボット環境における干渉問題等を具体的な環境で検証する。

#### b) ロボット筐体内における電波伝搬

ロボット内における電波の伝搬は当初閉じた導波管のように伝搬が容易とおもわれていたが、実際シミュレーションを行うとロボットアームやロボットレッグ内の電波伝搬が周波数に大きく依存し、非常に伝搬が困難な周波数が存在することが分かってきた。研究としては、ロボット内の伝搬の更なる周波数特性の取得と、実際のロボット内を可能な限り模擬した環境を構築し、よりリアルな環境下での伝搬の様子を取得することに成功した。また、ロボット内における伝搬を助けるためにどのような形状のものを設置すればよいかなど多角的に検討した。結果として 900MHz, 1.5GHz, 2.4GHz, 5.5GHz, 15GHz, 4GHz のミリ波、マイクロ波での検証を行った結果、2.4GHz が最も優れた伝搬が得られることなどが判明した。また、通信方式として多数のチャンネルのダイバーシチ構成や NOMA 方式を組み合わせたランダムアクセス方式を提案し、提案方式が優れた特性であることを示した

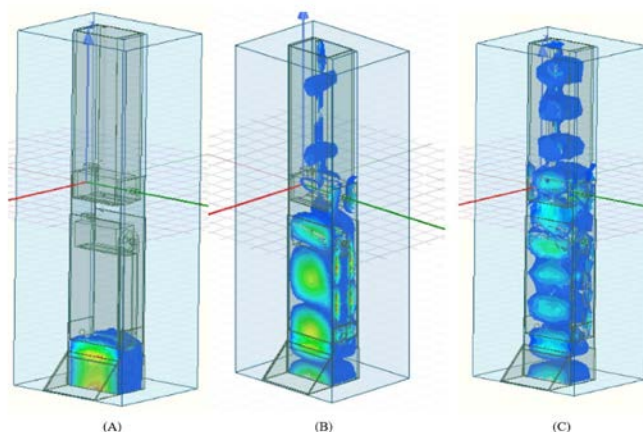
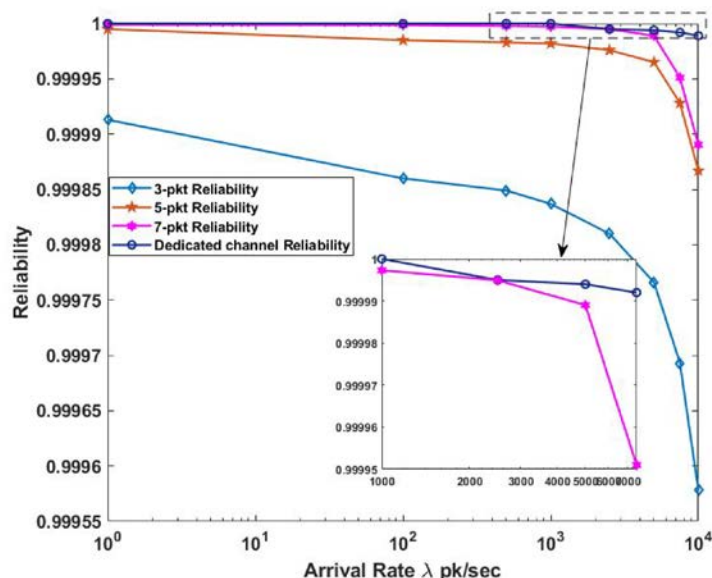


Figure 4.1.2: Signal propagation in realistic rectangular robot leg model with different frequency. (A)900MHz, (B)1.5GHz, (C)2.4GHz

#### 4. 研究成果

提案する方式のシミュレーション評価として高い信頼性を得るためのチャンネル構成、送信プロトコルが明らかになった。



上図のようにパケット発生率に応じた各方式の信頼性評価では 3 paket ダイバーシチ方式が一番信頼が高く、チャンネル数との関係性も明らかになった。

研究成果として以下の研究発表がある。

Abir Hossain, Zhenni Pan, Megumi Saito, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto, “Multiband Massive Channel Random Access in Ultra-Reliable Low-Latency Communication”, IEEE Access, Volume: 8, pp. 81492 – 81505, April, 2020

A. Hossain; Z. Pan; M. Saito; J. Liu; S. Shimamoto, “Robotic Inner Signal Propagation and Random Access over Hybrid Access Scheme”, International Journal of Computer Networks and Communications, vol. 12, no. 4, pp. 71-89, July, 2020

Dhaka Dhruba Raj, Zhenni Pan, Megumi Saito, and Shigeru Shimamoto. “Dynamic Resource Allocation in Non-orthogonal Multiple Access Using Weighted Maximin Fairness Strategy for a UAV Network.” Journal of Signal Processing Systems 92, no. 12 (2020): 1397-1406.

Dhruba Raj Dhaka, Z. Pan and S. Shimamoto, “Resource Allocation for Weighted Max-min Fairness in NOMA with Imperfect SIC,” 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2022, pp. 957-962

Yuta Tsuzuki, Shigeru Shimamoto, Zhenni Pan, “Evaluations of SIC by Power Difference in IM-NOMA,” 2021 Wireless Days (WD), 2021, pp. 1-5

Md. A. Hossain, M. Saito, Z. Pan, J. Liu, S. Shimamoto, “Orthogonal Frequency Subcarrier-based Multiple Random Access in Ultra Reliability and Low Latency Communication”, 2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) workshop, Las Vegas, USA, Jan. 2020

Chihyeh Chen, Megumi Saito, Shigeru Shimamoto, “Signal Propagation Through the Inside of Robot Leg for Non-wired Robot System,” 2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2022, pp. 517-518

Chihyeh Chen, Megumi Saito, Shigeru Shimamoto, “Evaluation of Signal Propagation Through the Inside of Robot Leg for Non-wired Robot System ” AI- Based Future IoT Technologies and Services (BEST PRESENTATION AWARD)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Md. Abir Hossain, Zhenni Pan, Megumi Saito, Jiang Liu, and Shigeru Shimamoto,	4. 巻 8
2. 論文標題 Multiband Massive Channel Random Access in Ultra-Reliable Low-Latency Communication, ”	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 81492-81505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/access.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Md. Abir Hossain, Zhenni Pan, Megumi Saito, Jiang Liu, and Shigeru Shimamoto,	4. 巻 Vol.12 No.4
2. 論文標題 Robotic Inner Signal Propagation and Random Access over Hybrid Access Scheme	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Computer Networks & Communications	6. 最初と最後の頁 19 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5121/ijcnc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Md. Abir Hossain, Megumi Saitou, Zhenni Pan, Jiang Liu, and Shigeru Shimamoto	
2. 発表標題 Orthogonal Frequency Subcarrier-based Multiple Random Access in Ultra Reliability and Low Latency Communication	
3. 学会等名 IEEE Consumer Communications Networking Conference (CCNC) (国際学会)	
4. 発表年 2020年	

1. 発表者名 Shigeru SHIMAMOTO	
2. 発表標題 Wireless Access Technology for IOT	
3. 学会等名 上海交通大学 (招待講演)	
4. 発表年 2019年	

1. 発表者名 嶋本 薫
2. 発表標題 ワイヤレスアクセス方式の応用
3. 学会等名 電子情報通信学会 RCS研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 SHigeru SHIMAMOTO
2. 発表標題 IOT Systems employing WIreless Access Schemes
3. 学会等名 Northeast Asio Symposium on IOT with Intelligence(日中韓政府主催合同シンポジウム) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shigeru SHIMAMOTO
2. 発表標題 Future IOT Systems by Wireless Access Technologies
3. 学会等名 International Accademic Workshop 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	齋藤 恵 (SAITO MEGUMI)  (20779649)	早稲田大学・グローバルエデュケーションセンター・講師 (任期付)  (32689)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	PAN ZHENNI  (PAN ZHENNI)  (40713368)	早稲田大学・理工学術院・講師（任期待）    (32689)	
研究分担者	劉 江  (LIU JIANG)  (50546851)	早稲田大学・理工学術院・准教授    (32689)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関