

# ロボット制御に WiFi6 を用いた命令遅延時間測定

原田恒迪<sup>1,a)</sup> 伊藤順治<sup>2</sup>

**概要:** 筆者らは Wi-Fi を使用して Hexapod robot を制御する研究をしている。本発表では、低遅延を実現した Wi-Fi 6 を適用した場合における実際の遅延時間測定結果について報告する。遅延時間の測定には Chat System[1]を使用する。また、Wi-Fi 6 の遅延時間低減効果を比較するため、Wi-Fi 5 と Wi-Fi 6 の切換え可能なルータを使用する。さらに、通信網に負荷が加わった際の遅延時間比較のため、トラフィックジェネレータを用いて 0~100Mbps のトラフィックを段階的に加えた。測定の結果、トラフィック量 98Mbps の場合、Wi-Fi 5 の最大遅延時間は 13566ms、中央値は 560ms であった。一方、Wi-Fi 6 の最大遅延時間は 109ms、中央値は 11ms であり、Wi-Fi 6 における低遅延性が示された。

**キーワード:** 無線 LAN, センサーネットワーク, ネットワーク性能解析, ロボットシステム

## Measurement of Command Latency for Robot Control using Wi-Fi 6

HISAMICHI HARADA<sup>1,a)</sup> JUNJI ITO<sup>2</sup>

**Abstract:** We are researching how to control a Hexapod robot using Wi-Fi. In this paper, we report on the actual measured delay times when using Wi-Fi 6, which achieves low latency. We used the Chat System [1] to measure the delay times. To compare the latency reduction effects of Wi-Fi 6, we used a switchable router between Wi-Fi 5 and Wi-Fi 6. Furthermore, we used a traffic generator to gradually add traffic from 0 to 100 Mbps to compare delay times under different traffic loads. As a result, when the traffic volume was 98 Mbps, the maximum delay time for Wi-Fi 5 was 13566 ms and the median was 560 ms. On the other hand, the maximum delay time for Wi-Fi 6 was 109 ms, and the median was 11 ms. These results demonstrate the low latency of Wi-Fi 6.

**Keywords:** Wireless LAN, Sensor network, Network performance analysis, Robot system

### 1. 背景及び目的

#### 1.1 背景

Hexapod robot などの多脚式ロボットは変化の激しい地形においても高い機動性を発揮する。例えば、被災者探索作業等で作業員の二次被害軽減のため、瓦礫上で行動可能なロボットによる代替が期待されている。また、山岳地帯が多い日本において、法面検査などで多脚式ロボットが活躍できると考えている。しかし、変化の激しい地形での制

御は難しく、産業用ロボットなどの制御方法では困難であると考えられる。一方、半導体技術の発展により無線通信 IC が内蔵された MCU や SBC が開発され、家電や車、家や工場などの IoT 化が進んでいる。また、多様な IoT 機器を制御するため IoT プラットフォームが進歩している。

#### 1.2 目的・方法

著者らは現在、Wi-Fi を使用して Hexapod robot (図 1) を制御する研究を行っている。これは、多数のセンサを統合することにより、安価に複雑な機構を持つロボットを制御するためである。しかし、Wi-Fi において発生する遅延時間

やそのばらつきが不明である。そこで、著者らが過去に行った遅延時間測定方法[1]を用いて、低遅延を実現した Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) を適用した場合における実際の遅延時間を測定した。



図 1 Hexapod robot

## 2. 実験の詳細

### 2.1 Chat System を適用した測定システムの構築

本システムの構成を図 2 に示す。NETGEAR 製の WAX202 を 2 台用いて、片方をルータモード、もう一方をブリッジモードにし、Wi-Fi による相互通信をおこなう。本ルータは設定により Wi-Fi 5、Wi-Fi 6 の切り換えが可能である。また、通信周波数を 2.4GHz 帯域のみに制限することにより、高トラフィック時の影響をあらわれやすくした。また、トラフィックジェネレータとしてソフトウェアジェネレータである Nana を使用した。WAX202 と各端末機器は有線により接続している。

本実験では遅延時間の測定方法として、Chat System[1]を適用する。Chat server は Node.js インタプリタを用いた JavaScript 言語により記述されており、Windows PC 上に実装している。Client もまた Windows PC 上において HTML/JavaScript を用いた Web application として実装している。双方の処理能力、処理速度は十分に早いため、測定に影響を及ぼすことはないと考えられる。

### 2.2 信号の往復時間測定

一般的にネットワークにおける遅延時間は、アプリケーション遅延 (Processing Delay)、キューイング遅延 (Queueing Delay)、伝送遅延 (Serialization Delay)、伝搬遅延 (Propagation Delay) を合計したものである。

本測定では、Wi-Fi 5、Wi-Fi 6 においてトラフィック量を 0Mbps ~ 100Mbps まで一定間隔で変化させ、Client から発せ

られた信号が Server を介して戻ってくるまでの往復時間を各 1000 回記録した。また、往復時間の算出には UTC (協定世界時) を用いており、最小時間単位は 1ms である。一方、今回の測定環境においては伝送遅延時間及び伝搬遅延時間は 1ms に対して無視できると考え、アプリケーション遅延時間とキューイング遅延時間のみを考慮した。

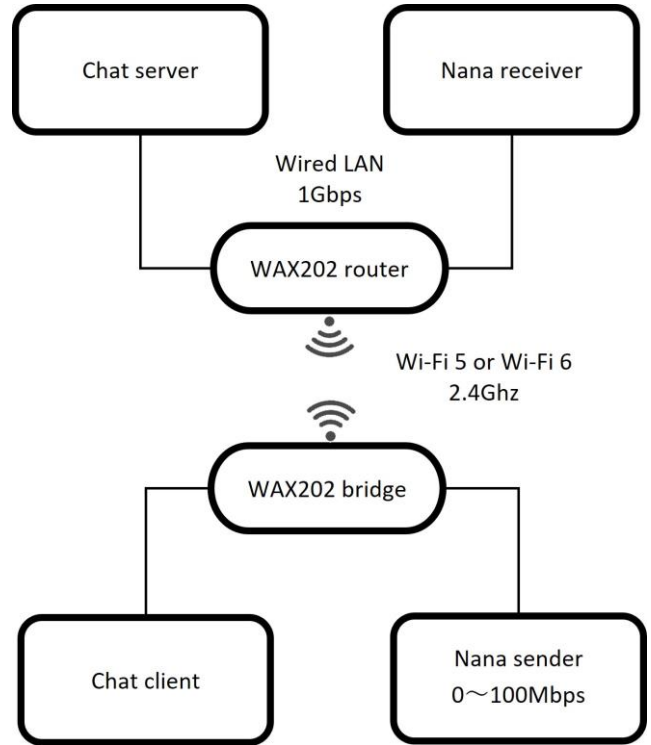


図 2 Chat System を適用した測定システム

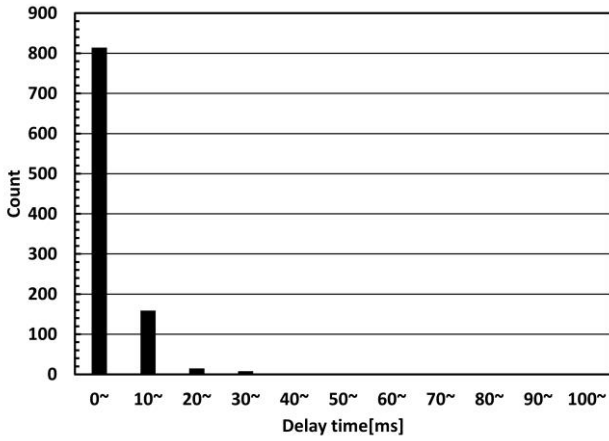
## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 信号往復時間の測定結果

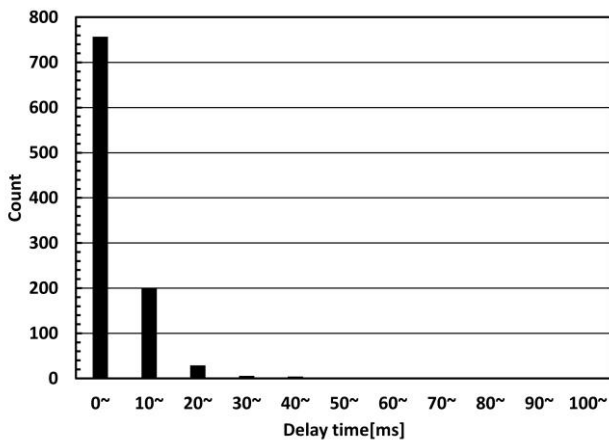
図 3-1、3-2 にトラフィック量 0Mbps、100Mbps 時の測定結果について、縦軸に 10ms ごとの出現数、横軸に遅延時間で表した遅延時間分布を示す。0Mbps 時 (図 3-1) では Wi-Fi 5、Wi-Fi 6 共に 9ms 以下の遅延が最も多く、おおよそ 50ms 以下に分布している。次に、Wi-Fi 5 における 100Mbps 時の遅延時間分布を図 3-2(a)に示す。この時の最大遅延時間は 9800ms に達しており、最小遅延時間においても 300ms を超えている。これは、トラフィック増加によりキューイング遅延が悪化したためであると考えられる。また、遅延時間分布に 3 つのピークが表れている (図 3-2(a))。これは、Chat System が TCP/IP で通信していることが原因であると考えられる。TCP/IP ではデータ送信の際に確認応答 (ACK) を行い、ACK が一定時間で確認できなければ再度データを送信する。この ACK 待機時間は回数を重ねるごとに延長される。そのため、遅延時間が悪化した際に複数回 ACK が行われたため、遅延時間分布に図 3-2(a)のピークが表れた。一方、Wi-Fi 6 では 10ms~99ms にかけて分布が広がったものの、

大きな遅延時間悪化はみられなかった。最小遅延時間が 9ms 以下であり、最大遅延時間についても 100ms 以下に収まった。これは、OFDMA により 1 チャンネルあたりの送信効率が向上し、トラフィック量 100Mbps 時においてもキューイング遅延の悪化が低減されたためであると考えられる。

次に、トラフィック量別に測定結果をソートし、両端から 500 番目の平均値 (中央値) を比較した (図 4)。Wi-Fi 5、Wi-Fi 6 共に 60Mbps までは同様の遅延増加傾向であったが、以降は顕著な差がみられた。Wi-Fi 5 では 60Mbps 以降急激に遅延時間が悪化し、最大 560ms に達した。一方、Wi-Fi 6 においては 60Mbps 以降も遅延が悪化することなく、10ms ~15ms を維持し、最大でも 13ms であった。また、98Mbps 時には Wi-Fi 5 が 560ms、Wi-Fi 6 が 11ms となり、遅延時間に最大 51 倍の差がみられた。



(a)Wi-Fi 5



(b)Wi-Fi6

図 3-1 トラフィック量 0Mbps 時の遅延時間分布図

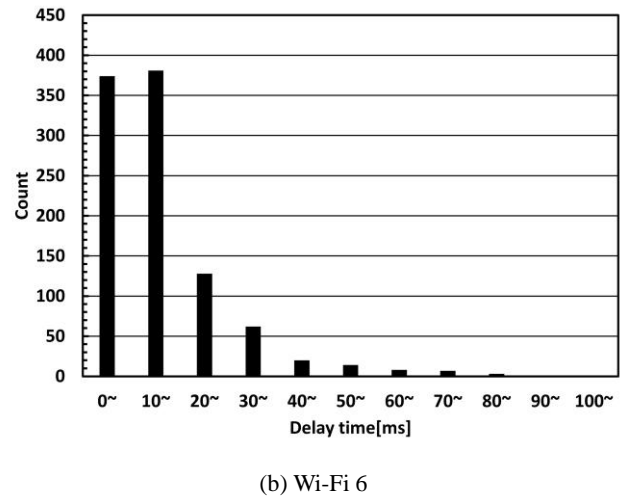
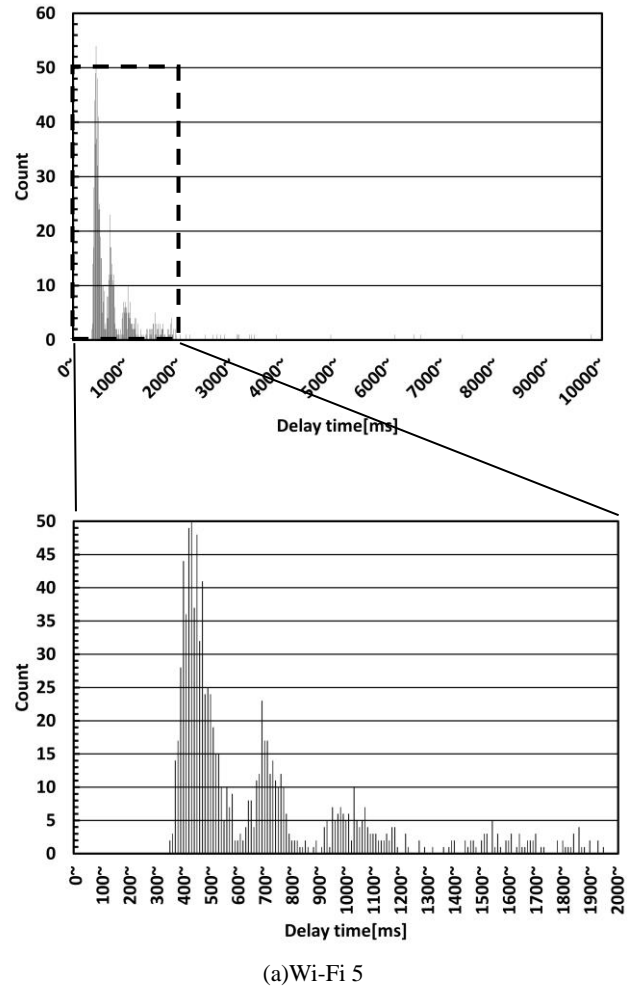


図 3-2 トラフィック量 100Mbps 時の遅延時間分布図

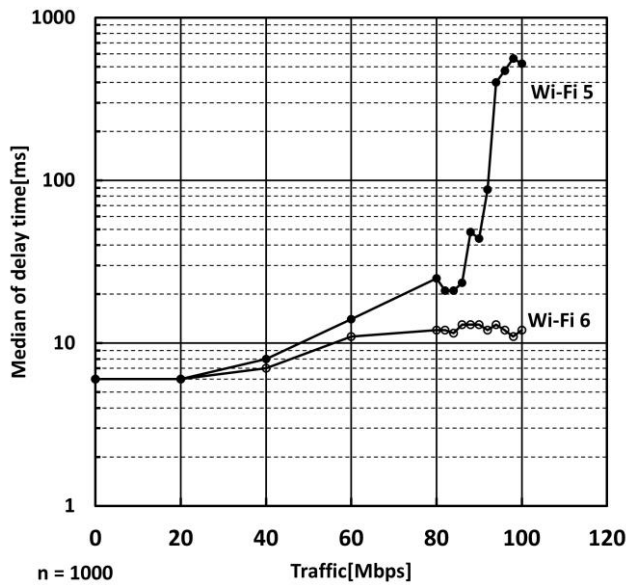


図4 トラフィック量別遅延時間中央値比較

#### 4. まとめ

今回は、ロボット制御に Wi-Fi 6 を適用した場合における実際の遅延時間を測定した。測定には Chat System[1]を用いて、0~100Mbps までトラフィックジェネレータを使用して負荷を加え、Wi-Fi 5、Wi-Fi 6 の遅延時間を測定した。

トラフィック量 0Mbps 時には、双方の遅延時間に大きな差はみられなかったが、100Mbps 時には明確に差が確認された。また、図 3-2(a)では遅延時間分布に TCP/IP によるものと思われる複数のピークが確認された。

測定結果を各トラフィック量の中央値で比較した図 4 では、Wi-Fi 6 が Wi-Fi 5 より最大 1/51 の遅延時間となった。

このように、本測定の結果では Wi-Fi 6 の低遅延性が示された。

**謝辞** 本研究の遂行にあたり、北陸先端科学技術大学院大学人間情報学研究領域の宮浦啓太氏には多大なご助言、ご協力頂いた。謹んで感謝の意を表す。

#### 参考文献

- [1] 伊藤順治, 宮浦啓太, 打越修造, 原田恒迪, “IoT を用いたロボット制御における遅延時間の測定”, 日本文理大学紀要, Vol.50, No.1(2022), pp.1-8
- [2] “Wi-Fi 6 OFDMA の効果を実証してみる”  
<https://www.mki.co.jp/knowledge/column131.html> (参照 2023-02-16).