

無線LAN規格による端末同時接続性能差について

浜元 信州^{1,a)} 井田 寿朗¹ 齋藤 貴英¹ 小田切 貴志¹ 綿貫 明広¹ 横山 重俊¹

概要: 群馬大学では、2020年4月に全学無線LANシステムの更新を行なった。本更新で無線LANアクセスポイントを全学的に増設したが、教室や会議室などの無線LAN導入の際には、アクセスポイント当たりの接続台数を算定することが必要となる。このため、本学の教育用端末を利用し、アクセスポイントに同時接続を行い評価試験を行なった。評価試験の結果、平均速度は、端末数 N の関数として、IEEE802.11n で 2.4GHz の場合には $60.261/N$ [Mbps]、5GHz の場合には $148.26/N$ [Mbps]、IEEE802.11ac の場合 $181.64/N$ [Mbps] となった。また、1アクセスポイントあたりの接続台数は、平均速度分布の歪度が正になることを条件とした結果、IEEE802.11n で 2.4GHz 接続で 12 台程度、5GHz の接続で端末数 30 台程度、IEEE802.11ac の場合は端末数 36 台程度と考えられることがわかった。

Differences in Simultaneous WLAN Client Connection Performance by Wireless LAN Protocols

NOBUKUNI HAMAMOTO^{1,a)} HISAO IDA¹ TAKAHIDE SAITO¹ TAKASHI OTAGIRI¹ AKIHIRO WATANUKI¹
SHIGETOSHI YOKOYAMA¹

Abstract: Gunma University has replaced the university-wide wireless LAN system in April 2020. In this replace, the number of wireless LAN access points were increased throughout the university. At the time of installation, it is necessary to calculate the number of client connections per access point. For this purpose, we carried out a performance test by connecting to the access points simultaneously using the university's educational terminals. The results of the performance tests show that the average speed as a function of the number of terminals N is $60.261/N$ [Mbps] for IEEE802.11n of 2.4GHz, $148.26/N$ [Mbps] for IEEE802.11n of 5GHz, $181.64/N$ [Mbps] for IEEE802.11ac. In addition, the number of concurrent connections per access point is estimated by the conditional on the skewness of the average speed distribution being positive. As a result, it was found that there were about 12 terminals on a IEEE802.11n of 2.4GHz connection and about 30 terminals on a 5 GHz connection, and about 36 terminals on a IEEE802.11ac connection.

1. はじめに

群馬大学は、4学部5研究科からなる国立大学法人であり、学生約6,500人、教職員約2,500人の構成員が在籍している。学部は、教育学部、社会情報学部、医学部、及び、理工学部の4学部、研究科は、教育学研究科、社会情報学研究科、医学系研究科、保健学研究科、及び、理工学部の5研究科から構成されている。また、附置研究所として生体調節研究所、医学部には、医学部附属病院を有している。

全ての学部は、理系分野に関連する教員を有していることを考えると、理系が主体の人員構成の大学である。

近年、大学での無線LANはますます重要となっている。2020年4月に設置した本学の共同教育学部では、群馬大学と宇都宮大学の両大学の教員が共同で授業を実施し、講義も両大学の学生が受講することとなる。このため、講義の遠隔中継や、講義室内からの無線LAN利用が予定されている。また、近年ではPCの性能が上がるとともに価格も下がったため、BYODを採用する大学も増えており、ここでも教室内での無線LAN同時利用が必要となる[1], [2], [3]。また、群馬大学では一部の会議で会議資料をMoodleで共有する取り組みも実施しており、会議室内からの同時アク

¹ 群馬大学 総合情報メディアセンター
Library and Information Technology Center, Gunma University, 4-2 Aramaki-Machi, Maebashi, Gunma, 371-8510, Japan

^{a)} n.hamamoto@gunma-u.ac.jp

セス性能も必要とされている。

このような背景から、多くの大学では大規模な無線 LAN が導入されている [4], [5], [6], [7]. しかしながら、教室や会議室などに無線端末が集中する状況で、実際にどのようにアクセスポイントを配置するべきかということに関しては各大学などでの経験に基づいたものであり、実測値に基づく検証は少ない。武蔵工業大学の彭と諏訪は、IEEE802.11b が主流の時代に、IEEE802.11g 導入を検討し、適切なアクセスポイント数や配置を実測に基づき検証した [8]. 九州工業大学の福田らは、BYOD の導入にあたり、IEEE802.11ac のチャンネルボンディングの効果を IEEE802.3bz 対応の有線 LAN を利用してボトルネックも排除した形で検証を行った貴重な事例を提供している [9], [10], [11]. しかしながら、現状の無線端末を見ると、IEEE802.11ac だけでなく IEEE802.11n もまだ利用されており、これらの規格の違いの影響を考慮した検証が必要である。また、教室や会議室での利用を考えると、アクセスポイント 1 台あたり何台の端末が接続できるのかを定量的に見積もることが設計上極めて重要である。本論文では、群馬大学で無線 LAN の検証環境を構築し、無線 LAN の規格毎にアクセスポイントあたり何台の端末が接続できるかを測定した結果を述べる。

2. 検証試験

検証試験は、群馬大学桐生地区の理工学図書館内にある教育用端末 120 台を利用して行なった。検証試験で利用した教育用端末の配置を図 1 に示す。また、教育用端末のスペックは表 1 の通りである。本端末は、パナソニック社の管理ソフトウェア OSV-VHD boot を利用したネットワークブート方式で管理されている。このソフトウェアを利用して、全端末で共通の Windows 10 環境を準備した。教育用端末は無線ネットワーク I/F を持たないため、本試験では、USB 接続の Wi-Fi アダプタを利用して無線 LAN 接続を実現した。表 2 に今回利用した Wi-Fi アダプタの仕様を示す。

以上のように、今回の試験は、特定機種種の無線 LAN アクセスポイント、PC、Wi-Fi アダプタで実施したものである。本来は無線 LAN アクセスポイント等の機器固有の性能差もあるはずだが、これは今回の検証試験の範囲外とし、機器を固定した範囲内で、無線規格の違いや同時接続数を変化させて検証を行った。

検証試験に利用したネットワーク構成を図 2 に示す。検証に利用した教育用端末 (PC) と同じ教室に無線 LAN アクセスポイントを設置する。無線 LAN アクセスポイントからは、上位 L2 スイッチに対して 1Gbps での接続を行っている。今回利用したアクセスポイントは無線 LAN コントローラ (WLC) で通信を制御することができる。本試験では特に通信制御を行っていないが、無線 LAN 端

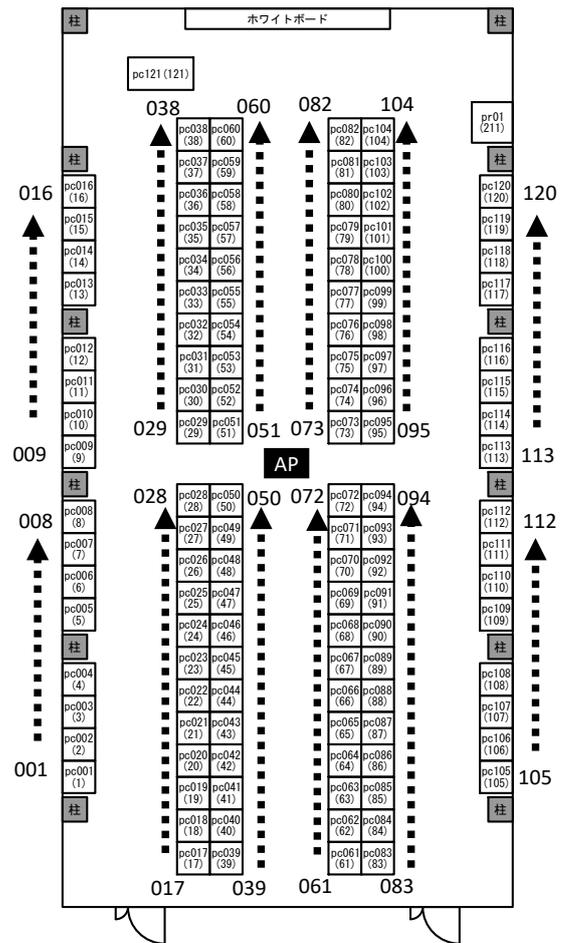


図 1 測定時の配置

機種名	IBM 社製 ThinkCentre M710q Tiny
CPU	Core i5 7400-T 2.4GHz (4 コア, 4 スレッド)
メモリ	8GB
USB	USB3.0 × 6
有線ネットワーク	Gigabit Ethernet 10/100/1000BASE-T
OS	Windows 10 Enterprise 2016 LTSP

表 1 教育用端末のハードウェア仕様

機種名	B 社製品
対応規格	IEEE802.11ac/n/a/g/b 準拠
最大データ転送速度	866Mbps (IEEE802.11ac) 300Mbps (IEEE802.11n) 54Mbps (IEEE802.11g/a) 11Mbps (IEEE802.11b)
接続 I/F	USB3.0/USB2.0

表 2 Wi-Fi アダプタのハードウェア仕様

n	標準			反転		
	規格 1	規格 2	規格 3	規格 1	規格 2	規格 3
40	39	38	39	38	38	39
60	55	58	57	56	56	52
80	75	68	77	25	76	73
100	92	94	88	6	92	87

表 3 試験中に接続できた無線端末数. 端末数 $n = 1, 4, 20$ の場合はすべての端末が接続できたので省略した.

末からの通信は、無線 LAN コントローラを経由して、宛先へと届く経路としている。無線 LAN コントローラは教育用端末のある教室とは異なるデータセンタ内に設置されており、教室のある地区とデータセンタは 10Gbps の専用線で結ばれている。また、SINET5 の仮想大学 LAN を利用して VLAN を収容している構成である。

今回の試験では、スループットの測定に iperf3 を利用した [12]。各 PC を iperf server として動作させ、iperf client をデータセンタにある VMWare 社製 esxi の仮想マシンとして作成した。

検証試験は、接続する無線 LAN 端末の台数、無線 LAN 端末の接続規格を変化させて行なった。無線 LAN 接続端末の台数 N は、1, 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100 と変化させた。無線 LAN 端末の接続規格は、IEEE802.11ac, IEEE802.11n だが、IEEE802.11n は 2.4GHz 帯と 5GHz 帯の両方の場合で測定を行った。以下では、規格 (1) を 2.4GHz 帯を利用した IEEE802.11n, 規格 (2) を 5GHz 帯を利用した IEEE802.11n, 規格 (3) を 5GHz 帯を利用している IEEE802.11ac と呼ぶことにする。

iperf での測定では、1 台の iperf クライアントから無線 LAN 端末 (iperf サーバ) を指定して iperf コマンドを実行し、iperf クライアントから無線 LAN 端末に対して TCP パケットを送信する形で行った。利用した iperf のバージョンはクライアント側は linux 版の 3.1.7 であり、サーバ側は windows 版の 3.1.3 である。測定は TCP モードとし帯域制限は設けていない。測定時間は 30 秒とした。iperf では、通常は、iperf クライアントからサーバに対して通信を行う。しかしながら ADSL のように PC から見てデータのダウンロードとアップロードでの性能差が大きい可能性もあるため、今回は通常モードのほか、-R オプションを追加することにより、iperf サーバ (無線 LAN 端末) から iperf クライアントへ通信する測定 (反転モード) も実施した。

上記のような試験を行ったが、端末数が増加するに従い、正常に通信できなくなる無線端末が発生した。表 3 に通信要求を行った端末数 N と、実際の通信できた端末数を示す。通信要求を行った端末数 N が 40 までは、すべての端末と正常に通信が可能であったが、40 以上では、表 3 に示すように一部の端末との通信ができなかった。特に反転モードで規格 (1) 場合には、通信ができない端末数が極端に多くなることわかった。

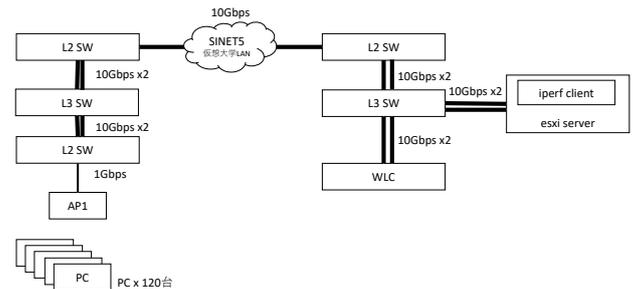


図 2 検証に利用したネットワーク概略

3. 測定結果

iperf の測定では 30 秒の測定期間中、1 秒毎に通信速度が測定される。通信速度は、iperf サーバ側とクライアント側で各々測定し記録される。クライアントは複数のサーバと接続しているため、通信速度の記録はサーバ毎となる。

以下では、iperf サーバとなる無線 LAN 端末番号を m とする。端末番号 m の端末に対する試験開始 n 秒から $n+1$ 秒間に測定した通信速度の特定時間区間の平均値 (区間平均速度) を $c_a^b(t_n, m)$ とする。ここで a はクライアントの場合に c 、サーバの場合に s とする。また、 b は、通常モードの場合 n 、反転モードの場合を r とする。 t_n は n 秒から $n+1$ 秒の間の区間に対する代表値として、開始時刻と終了時刻の平均を取り $t_n = n + 1/2$ とする。

3.1 標準モード

3.1.1 総トラフィック

初めに通常モードでの測定結果について述べる。端末の通信速度の合計の時間変化 ($\sum_m c_c^a(t_n, m)$, $\sum_m c_s^a(t_n, m)$) を図 3,4,5 に示す。上図がサーバ側での測定結果、下図がクライアント側での測定結果である。端末数は $N = 1, 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100$ の場合をプロットした。図 3 は、規格 (1):IEEE802.11n で 2.4GHz 帯を利用した場合、図 4 は、規格 (2):IEEE802.11n で 5GHz 帯を利用した場合、図 5 は規格 (3):IEEE802.11ac の場合を示す。

これらの図から、端末数に依らず、総トラフィックの傾向に大きな違いはないことがわかる。通信速度は規格毎にほぼ一定であり、サーバ側もクライアント側も変わらず、規格 (1) では 60Mbps 前後、規格 (2) では、140Mbps 前後、規格 (3) では、200Mbps 前後となる。試験開始直後の通信速度は、サーバ側とクライアント側で差が大きく、クライアント側での測定値がサーバ側での測定値に対して大きい。通常モードでは、クライアントからサーバに対して通信を行うため、測定開始直後にクライアントから通信を一斉に開始するものの、実際には、アクセス集中のためサーバ側に到達することがないことが原因ではないかと考えて

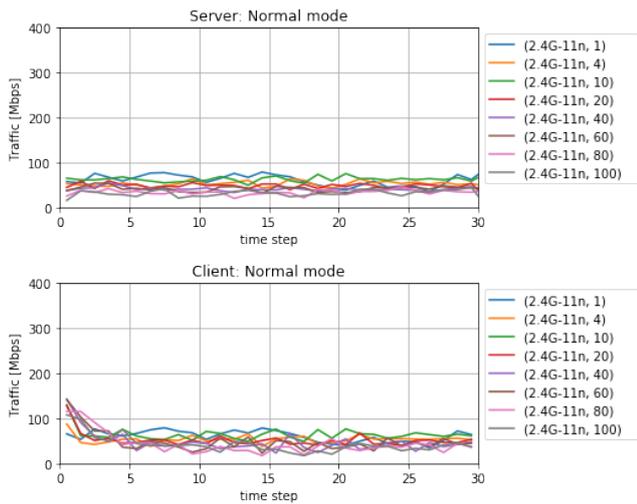


図 3 2.4G-11n での総トラフィック

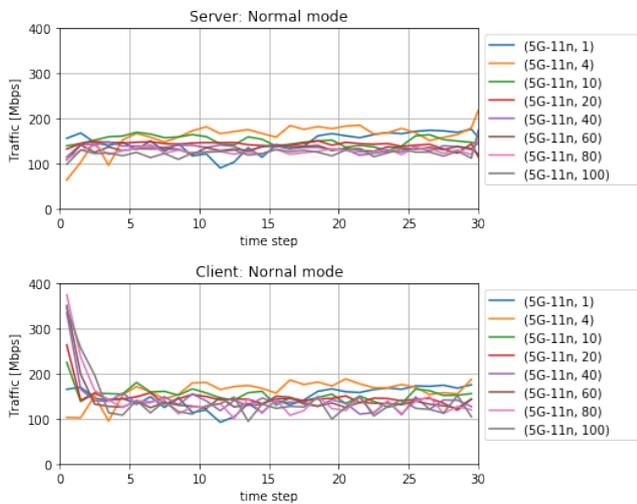


図 4 5G-11n での総トラフィック

いる。また、試験終了時には、クライアント側では通信が止むが、サーバ側では通信が観測されている。これは、クライアント側から送信した通信がサーバ側に届くまでの時間差があるためである。サーバ側で通信速度が上がっているのは、試験終了（30 秒）直後については、測定期間が 1 秒ではないため、1 秒平均に比べて通信速度が上がってしまったためと考えている。なお、規格 (3) の場合に、端末数 60 台の 23 秒と 24 秒の場合で総トラフィックが突然上昇している。この原因は何らかの偶発的な事情であると思うが、詳細は分からない。

3.1.2 区間平均速度分布

総トラフィックの結果から、クライアント側は、サーバ側と比べ、通信の変動が激しいことから、以下ではサーバ側の通信速度を議論する。図 6 に、サーバ側での無線 LAN 端末の区間平均速度 $c_s^n(t_n, m)$ の度数分布を示す。図は下から、端末数 $N = 20, 40, 60, 80, 100$ の場合に分けてプロットしている。緑色が規格 (1) の場合、青が規格 (2)、オレンジが規格 (3) に対応している。総トラフィックの結果が

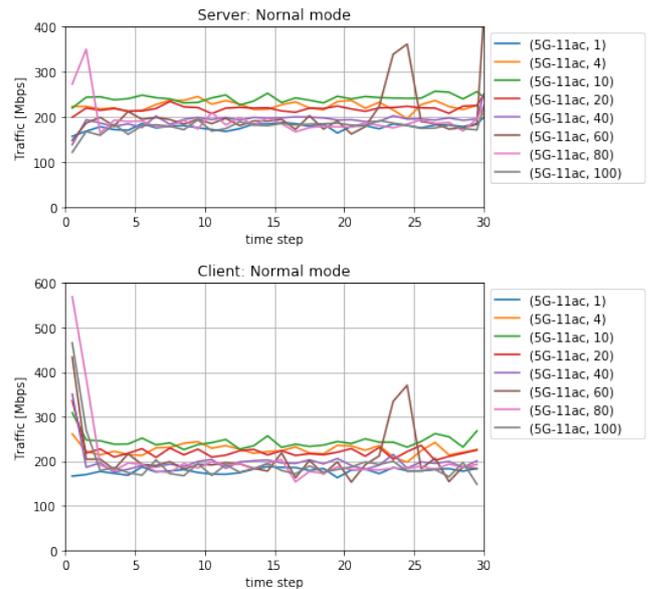


図 5 5G-11ac での総トラフィック

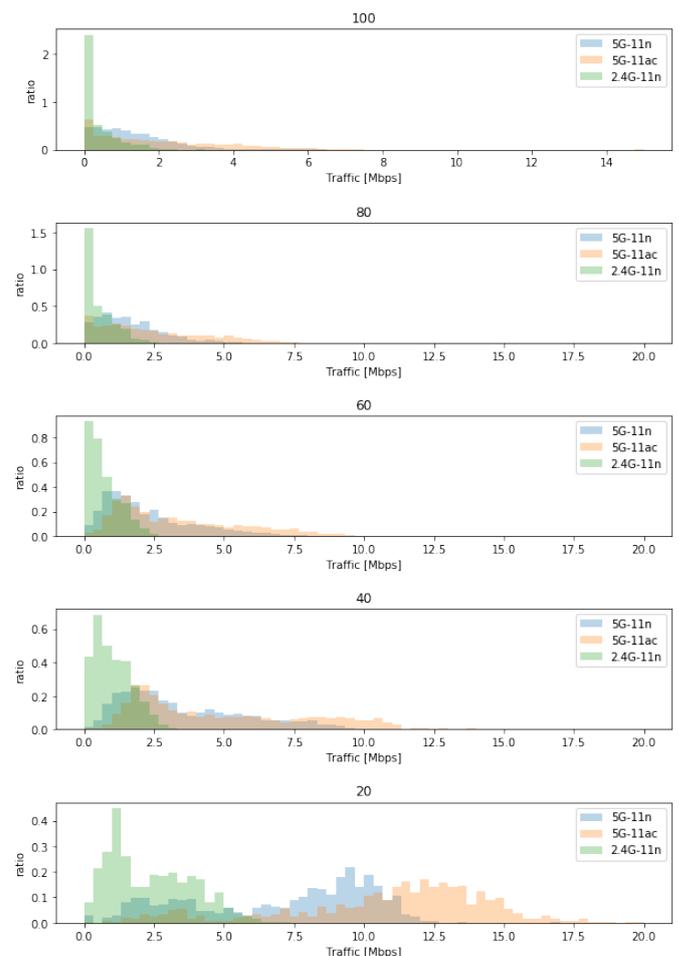


図 6 区間平均通信速度 $c_s^n(t_n, m)$ の分布

ら、比較的通信速度が一定となるサーバ側の通信速度を利用した。

総トラフィックでの結果、規格(1)の場合が最も通信速度が遅く、規格(3)の場合の通信速度が速いことが分かっている。この結果を反映して、度数分布でも、規格(1)の場合が、左方に偏った分布となっていることがわかる。特に $N = 100$ の場合で極端であるが、0近傍にピークが現れる。これは、ほとんどの時間で、ほとんどの端末が通信できていないことを意味している。一方で、 $N = 20$ の場合には、0近傍には分布は少なく、規格(3)の場合は0である。つまり、すべての端末がいつでも何らかの通信ができていて、通信は途切れることがない状態と言える。

全体として、端末数 100, 80 の場合には、規格(1)から(3)のどの場合でも、0近くにピークがあり、多くの端末が通信できない状態にあることがわかる。端末数 60 以下の場合に、規格(2),(3)の場合では、0付近のピークは無くなるが、規格(1)の場合は依然としてピークは0近傍にある。以上の振る舞いから、規格(2),(3)の場合には、端末数 60 以下の場合でないと、通信が途切れ、満足に接続できないと考えられる。また規格(1)の場合には、端末数 40 でも通信は途切れ、20 程度でないと厳しいと考えられる。

3.1.3 平均速度分布

区間平均速度の分布では、端末毎に通信は途切れているが、通信できているか、端末の通信が全く通信できていないかを見分けることができないため、測定期間内での端末毎の平均通信速度を計算し、分布を作成した。端末 m の平均通信速度 $\bar{c}_a^b(m)$ を以下の式で定義する。

$$\bar{c}_a^b(m) = \frac{1}{n_{\max}} \sum_{n=1}^{n_{\max}} c_a^b(t_n, m) \quad (1)$$

ここで、 n_{\max} は、測定した区間の数であり、今回は 0 から 30 秒間の測定であるため 30 である。図 7 に、サーバ側での無線 LAN 端末毎の平均通信速度 $\bar{c}_a^b(m)$ の度数分布を示す。図は下から、端末数 $N = 20, 40, 60, 80, 100$ の場合に分けてプロットしている。緑色が規格(1)の場合、青が規格(2)、オレンジが規格(3)に対応している。総トラフィックの結果から、比較的通信速度が一定となるサーバ側の通信速度を利用した。

ここでも、総トラフィックの時の傾向と同様に、規格(1)が最も通信速度が遅く、規格(3)が速い傾向となっている。また、規格(1)の場合には、端末数 60 までは平均通信速度が 0 近傍の端末があるが、40 以下では無くなっている。通信規格(2),(3)の 5GHz 帯の場合、端末数 60 以下で平均通信速度が 0 の端末がなくなることがわかる。

以上のように、特定の端末が通信できないという状況ではないことがわかる。また、区間平均通信速度の際の解析と同様に、規格(1)の場合には、端末数 20 程度、規格(2),(3)の場合には、60 以下程度でないと通信が難しいこと

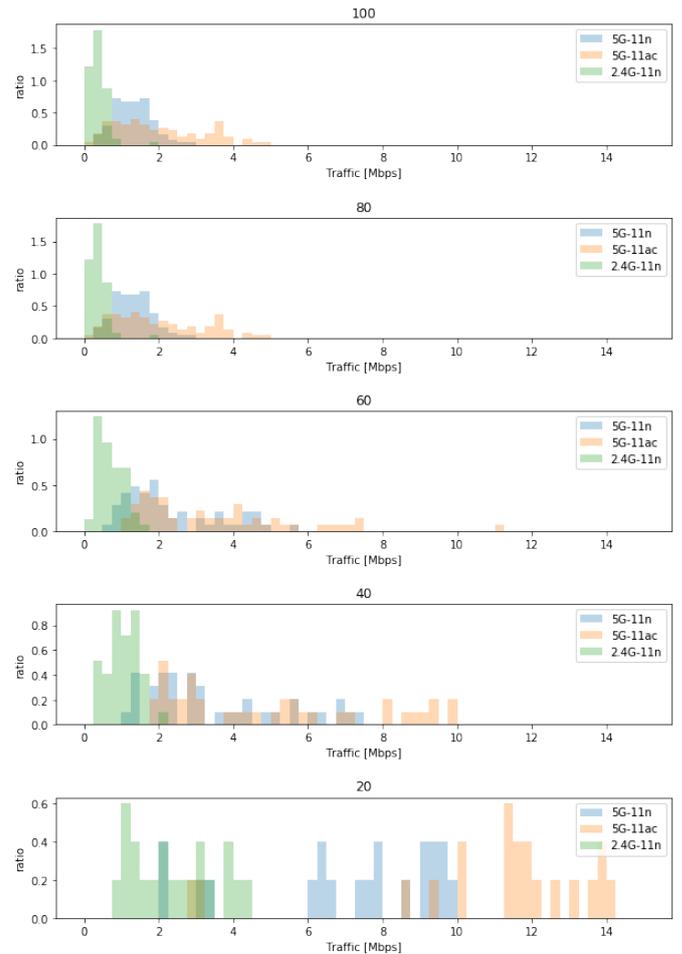


図 7 端末毎の平均通信速度 $\bar{c}_a^b(m)$ の分布

がわかった。

3.1.4 区間平均速度分布の代表値

試験端末数を増やしたときの分布の傾向を定量的に評価するため、前節で議論した区間平均速度分布の代表値を計算し、試験端末数依存性を検討する。ここでは以下で定義される平均 \bar{c}_a^b 、標準偏差 σ_a^b 、歪度 g_a^b を選んで表示する。

$$\bar{c}_a^b = \frac{1}{N n_{\max}} \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^{n_{\max}} c_a^b(t_n, m). \quad (2)$$

$$\sigma_a^b = \sqrt{\frac{1}{N n_{\max}} \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^{n_{\max}} (c_a^b(t_n, m) - \bar{c}_a^b)^2}. \quad (3)$$

$$g_a^b = E_3 / (\sigma_a^b)^3, \quad (4)$$

$$E_3 = \frac{1}{N n_{\max}} \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^{n_{\max}} (c_a^b(t_n, m) - \bar{c}_a^b)^3. \quad (5)$$

ここでは、iperf を標準モードで動作させた場合のサーバ側での測定値について述べる。図 8 には、全体の平均 \bar{c}_s^b を、図 9 には、分布の標準偏差 σ_s^b を、図 10 には分布の歪度 g_s^b を示す。

全体の平均(図 8)は、端末数の増加とともに減少していることがわかる。総トラフィックがほぼ一定になることを仮定し、端末数を N として $\bar{c}_a^b = \frac{\alpha}{N}$ を仮定してフィッティ

ングを行った結果、規格(1):IEEE802.11n, 2.4GHz の場合には $60.261/N$, 規格(2):IEEE802.11n, 5GHz の場合には $148.26/N$, 規格(3): IEEE802.11ac の場合は $181.64/N$ となった。この結果も合わせて図8に点線で示す。一方で、総トラフィックを一定と仮定せず $c_a^b = \frac{\alpha}{N^\beta}$ を仮定してフィッティングを行った結果は、規格(1)の場合には $61.834/N^{1.0830}$, 規格(2)の場合には $150.24/N^{0.95162}$, 規格(3)の場合 $179.69/N^{0.89049}$ となった。どの場合でも概ね $1/N$ に近くなっており、総トラフィック一定となっていると言える。

標準偏差(図9)については、端末数とともに変化する定性的な傾向を見つけることができなかった。標準偏差の値は、平均速度を反映して規格(1), (2), (3)の順で大きくなる傾向にある。また、規格(1),(2)で端末数が10以上の場合には、概ね変化することなく一定になる傾向が見られる。規格(3)の場合は、端末数40までで一定に収束しつつある様に見えたが、60, 80の場合には極端に大きくなることが確認できた。

歪度(図10)は、正規分布からのズレのうち、非対称性を示す量で、正の場合は、分布が左に偏っており、一部の時刻で高速な通信が発生するが、その後は概ね平均を下回っていることを示す。負の場合は、分布は右に偏っており、一部の時刻で低速な通信が発生するが、その後は概ね平均を上回っていることを示す。歪度を計算した結果、規格(1)の場合には端末数20以上で正となる傾向がある。規格(2),(3)の場合は端末数40以上で正となる傾向がある様に見える。また、歪度が異常に大きくなることもあり、規格(3)では端末数60, 80の場合、規格(1)では端末数100の場合が該当する。規格(3)の場合は、同じ端末数で標準偏差も極端に大きくなっており、分布が、他の端末数の場合と比べて著しく変化していると考えられる。歪度に関しても標準偏差と同様に、端末数に対しての適当にフィッティングを行うことはできなかった。歪度が正の場合は平均に比べて速度が遅い瞬間が多いことから、実際の体感速度は遅いとみなされる傾向がある可能性が高く、その意味では、規格(1)では端末数15程度、規格(2), (3)では端末数30程度が同時接続の限界であると考えられる。

3.1.5 端末毎の区間平均速度

図11には、IEEE802.11acで端末数 $N = 100$ の場合での端末ごとの区間平均通信速度 $c_s^a(t_n, m)$ の分布を示す。分布は、箱ひげ図でプロットしており、外れ値は設定していない。横軸は端末IDを示しており、端末ID毎の端末設置場所は、図1に示している。

通信速度の速い端末と遅い端末は、概ね、アクセスポイントからの距離に関係している。アクセスポイント近くの端末番号50番, 72番, 28番, 94番, 9番, 113番の近くではアクセスポイントの近くでは速度が速く、そこから離れるにつれて、速度が遅くなる傾向が見える。

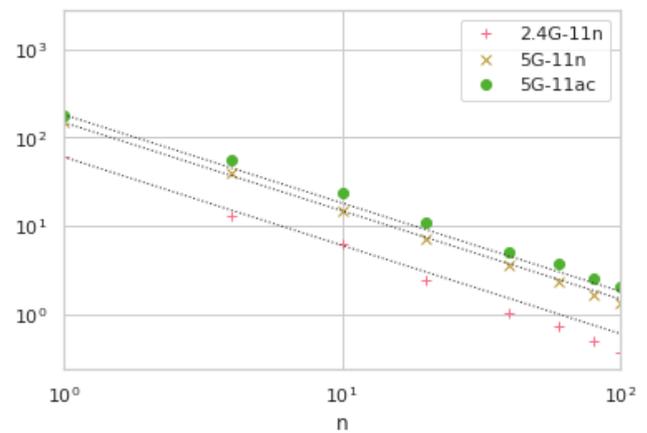


図8 端末の平均速度 [Mbps]

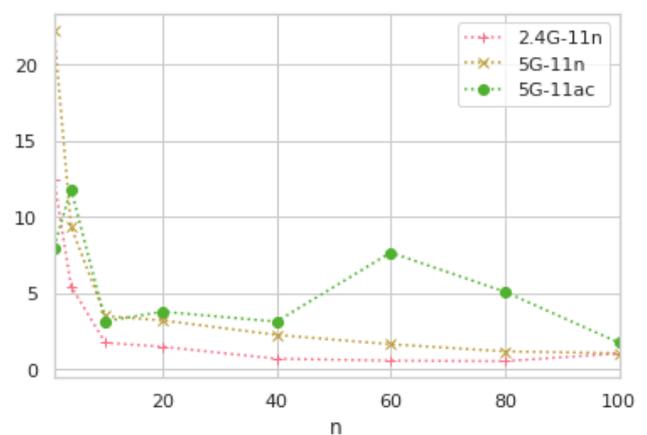


図9 端末の区間平均速度分布の標準偏差

3.2 反転モード

3.2.1 総トラフィック

反転モードでの測定結果について述べる。端末の通信速度の合計の時間変化 ($\sum_m c_c^t(t_n, m)$, $\sum_m c_s^t(t_n, m)$) を図12,13,14に示す。上図がサーバ側での測定結果、下図がクライアント側での測定結果である。端末数は $N = 1, 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100$ の場合をプロットした。図12は、規格(1):IEEE802.11nで2.4GHz帯を利用した場

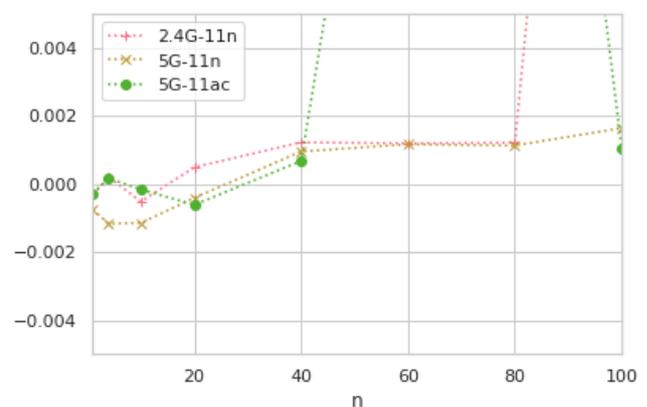


図10 端末の区間平均速度分布の歪度

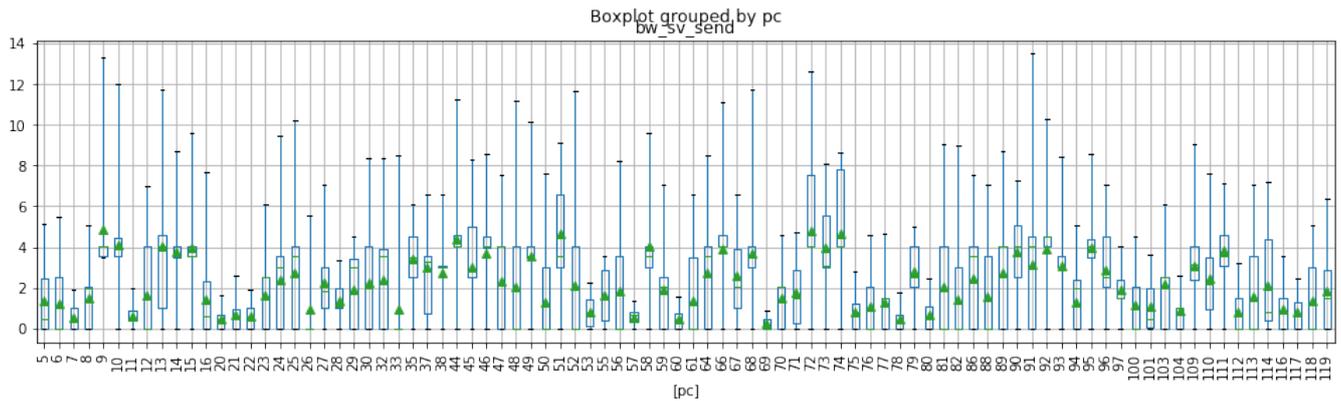


図 11 端末毎の通信速度の分布

合, 図 13 は, 規格 (2):IEEE802.11n で 5GHz 帯を利用した場合, 図 14 は規格 (3):IEEE802.11ac の場合を示す。

図 12,13,14 から, 通常モードの場合と異なり, 反転モードの場合には, 総トラフィックが一定になっていないことがわかる。全体の速度の傾向は, 通常モードの場合と同じで, 規格 (3) が最も早く, 規格 (1) が最も遅いと言える。また, 測定開始直後には, サーバ側のトラフィックが高く, クライアント側のトラフィックが小さい傾向がある。反転モードでは, サーバ側からクライアント側への通信が行われることを反映しているものと言える。測定開始直後を除くと, 概ねサーバ側とクライアント側で通信速度は変わらない。

図 13,14 を端末数別に見ると, 端末数 1 の場合は通信速度はほぼ一定となっている。端末数 4 や 10 の場合も, 振れ幅は端末数 1 の場合に比べると大きい, 一定に近い。図 13 の端末数 20 では, 20 秒くらいから総トラフィックが増加し, 25 秒程度で飽和して一定値になる場合がある。端末数が多い場合にはこのような変化をする場合が多い。この原因は, 20 秒くらいまで, ほとんど通信が発生しないが, 20 秒を超えたあたりから, 少数の端末の通信速度が上がるためである。つまり, 20 台の同時接続試験とはならず, 少数の接続試験になってしまっている。この原因は不明だが, 結果として, 反転モードでは同時接続性能を見る試験ができなかったと言える。

4. おわりに

本論文では, 教室や会議室など大量の無線 LAN 端末が接続する状況を想定し, 1 アクセスポイントあたり接続可能な無線 LAN 端末数の見積もりを, 検証試験の実測値をもとにして行った。検証試験は 100 台の無線 LAN 端末と iperf サーバ利用して行い, 規格 (1): IEEE802.11n, 2.4GHz, 規格 (2): IEEE802.11n, 5GHz, 規格 (3):IEEE802.11ac での接続を行なった。

検証は iperf3 の標準モードと反転モードの両方を利用したが, 反転モードの場合は, 端末数 $N = 20$ くらいか

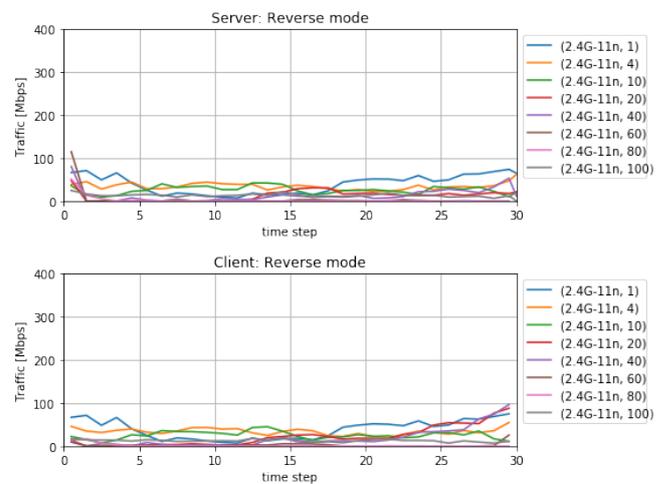


図 12 2.4G-11n での総トラフィック

ら動作が不安定となり, 十分な測定ができない状況だった。標準モードでの結果, 総トラフィックは規格によって決まる一定値となり, 平均速度は規格 (1) の場合には $60.261/N$ [Mbps], 規格 (2) の場合には $148.26/N$ [Mbps], 規格 (3) の場合 $181.64/N$ [Mbps] となった。帯域幅としては, 例えば典型的な Web 会議ツールとして zoom のシステム



図 13 5G-11n での総トラフィック



図 14 5G-11ac での総トラフィック

要件 [13] では、グループビデオ通話で 1.5Mbps を要求要件としている。この条件だと、規格 (1) の場合には 40 台、規格 (2) の場合には 98 台、規格 (3) の場合には 121 台が接続できることがわかる。

しかしながら、実際に検証試験を行った結果では、端末数 40 以上では、試験期間中全く接続できない端末が発生することがわかった。「接続できない端末がないこと」という基準を設定すると、少なくとも端末数 40 未満となり、平均速度から見積もった結果とは矛盾するものとなった。

平均速度以外の指標として、速度分布を考慮し、標準偏差および歪度から接続端末数を見積もった。歪度が正の場合は平均に比べて速度が遅い瞬間が多いことから、実際の体感速度は遅いとみなされる傾向がある可能性が高い。このため、歪度が正になる台数を見積もった結果、規格 (1) では端末数 15 程度 (4.0Mbps)、規格 (2),(3) では端末数 30 程度 (4.9Mbps, 6.1Mbps) が同時接続の限界であると考えることができた。対応する平均速度はおよそ 5Mbps 程度であるため、5Mbps を基準にすると、規格 (1) では端末数 12 程度、規格 (2) では端末数 30 程度、規格 (3) では端末数 36 程度が同時接続の限界であると考えられる。なお、この値は筆者の主観では実際の接続数に近いほか、接続できない端末がないことという条件とも合致する。

以上のように、実感とあう接続台数の算出法としては平均速度分布の歪度が重要であった。しかしながら、歪度を予測する適切な関数を見つけることができなかったため、測定値間での補完ができず、歪度が正という条件での接続端末数を算出することはできなかった。このため、本論文では、対応する平均速度に換算し、5Mbps 程度を基準としてアクセスポイントあたりの端末数を算出することを代替案とすることで同時接続数を算出する方法を提案した。

5. 謝辞

本検証試験実施に多大なご協力を賜りましたネットワン

システムズ株式会社に感謝の意を申し上げます。

参考文献

- [1] Fujimura, N.: Bring your own computers project in Kyushu University, Proceedings of the 41st annual ACM SIGUCCS conference on User services, ACM, pp. 43-50 (2013).
- [2] 森 祥寛, 佐藤正英, 大野浩之, 笠原禎也, 井町智彦, 高田良宏, 東 昭孝, 二木 恵, NAKASAN CHAWANAT: 金沢大学における携帯型パソコン必携化に関する 12 年間の取組, 学重情報処理研究, Vol 23, No 1, pp29-42 (2019).
- [3] 大学 ICT 推進協議会:2016 年度調査「BYOD を活用した教育改善に関する調査研究」, <https://axies.jp/ja/ict/2016survey> (access 2020-06-07).
- [4] 福田豊, 中村豊, 佐藤彰洋, 和田数字郎:九州工業大学における無線 LAN 利用動向調査 2014 年から 2018 年, 情報処理学会研究報告, Vol 2019-IOT-47, No 1, pp 1-8 (2019).
- [5] 福田 豊, 中村 豊:九州工業大学・全学セキュアネットワークにおける無線 LAN 利用について, 情報処理学会研究会報告 Vol. 2016-IOT-32, No. 1, pp. 1-8, 2016.03.03.
- [6] 鳩野 逸生: 全学無線 LAN 利用ログ情報の解析と応用, デジタルプラクティス, Vol. 9, No. 2, ipsj2018.04.
- [7] 宮下 健輔: 京都女子大学における学内無線 LAN 利用動向, 現代社会研究科論集:京都女子大学大学院現代社会研究科紀要, Vol. 9, pp. 1-12, 2015.03.15.
- [8] 彭 皓, 諏訪 敬祐: 大学構内における複数高速無線 LAN の基地局設置法の研究, 武蔵工業大学情報メディアセンタージャーナル, Vol. 6, pp 54-60 (2005) (<http://www.comm.tcu.ac.jp/cisj/06/06.08.pdf>)
- [9] 福田 豊, 畑瀬 卓司, 富重 秀樹, 林 豊洋: BYOD 環境整備に向けた無線 LAN 通信実験, 情報処理学会研究会報告 Vol. 2018-IOT-40, No. 10, pp. 1-6, 2018.02.26.
- [10] 福田 豊, 畑瀬 卓司, 富重 秀樹, 林 豊洋: BYOD 環境整備に向けた無線 LAN 通信実験, 情報処理学会論文誌,60(3),758-767 (2019-03-15) , 1882-7764
- [11] 福田 豊, 中村 豊, 畑瀬 卓司, 富重 秀樹, 林 豊洋: IEEE 802.3bz Switch を用いた無線 LAN 通信実験, インターネットと運用技術シンポジウム論文集, Vol 2018, pp48-53 (2018-11-29) .
- [12] iperf3 : iperf3 (online), available from (<https://software.es.net/iperf/>) (accessed 2020-05-06).
- [13] zoom : PC, Mac, Linux のシステム要件 (online), available from (<https://support.zoom.us/hc/ja/articles/201362023-System-Requirements-for-PC-Mac-and-Linux>) (accessed 2020-06-08).