

# タブレット向け描画面共有アプリケーションにおける 無線通信の遅延特性

遠藤 慶一<sup>1</sup> 小野山 紋女<sup>1</sup> 岡野 大<sup>1</sup> 樋上 喜信<sup>1</sup> 小林 真也<sup>1</sup>

概要：本稿では，アドホックネットワークを活用した教育の実現可能性について検討するために，2台のタブレットを用いてタブレット間通信の特性を調査した結果を述べる．調査を行うために，タブレット間で直接通信を行うことができる通信規格である Bluetooth または Wi-Fi Direct を使用して，2台のタブレットの間で描画面を共有するペイントアプリケーションを作成した．そのアプリケーションを用いて往復遅延時間を計測したところ，Bluetooth および Wi-Fi Direct では，ともに 80%以上の確率で 50msec 以内に送受信を完了できることが分かった．また，Wi-Fi Direct と比較して Bluetooth の方が，タブレットを操作する手の動きによる影響を受けにくいことが判明した．

## Delay Characteristics of Wireless Communication in a Tablet-oriented Canvas Sharing Application

KEIICHI ENDO<sup>1</sup> AYAME ONOYAMA<sup>1</sup> DAI OKANO<sup>1</sup> YOSHINOBU HIGAMI<sup>1</sup>  
SHINYA KOBAYASHI<sup>1</sup>

### 1. はじめに

近年，初等中等教育においてタブレットを導入した授業が普及しつつある [1]．グループ学習などのためにタブレット同士で情報を交換する必要がある場合，Wi-Fi によりアクセスポイントを経由して通信を行うのが一般的であるが，アクセスポイントを導入するには設置・管理等のために人的・金銭的コストがかかるという問題があり，全学校・全教室で Wi-Fi が利用できるようになるのは数十年以上先になると考えられる．

そこで，アドホックネットワークを利用することを考える．アドホックネットワークとは，ノート PC，タブレット，スマートフォンなどの無線通信が可能な機器間で直接通信を行うことによりアクセスポイント等のインフラを利用せず構築されるネットワークのことである．スマートフォンを用いたアドホックネットワーク構築は，災害時の避難所などにおいても情報共有が可能になるため近年注目されている．鈴木ら [2]，石橋ら [3] の研究では，タブレッ

トやスマートフォン同士で直接通信が可能な通信規格である Bluetooth や Wi-Fi Direct を利用して，アドホックネットワークの構築を行っている．井上ら [4]，[5] は，初等中等教育において，タブレットを複数台利用したグループワークを想定し，リアルタイム通信の描画面共有アプリケーションを作成した．

本研究では，アドホックネットワークを活用した教育の実現可能性について検討するために，タブレット 2 台を用いた 1 対 1 通信を対象として，タブレット間通信の特性を調査する．具体的には，2台のタブレットの間で描画面を共有するペイントアプリケーションを作成し，往復遅延時間 (Round Trip Time, RTT) を計測する機能も実装して遅延特性の調査を行う．調査は Bluetooth，Wi-Fi Direct，Wi-Fi (PC 上のサーバプログラムとアクセスポイントを経由して通信) の 3 つの規格を用いて行う．

本稿の構成は以下の通りである．まず第 2 節で調査に使用した通信規格について説明する．次に第 3 節で調査に使用した評価指標，調査方法，調査環境について述べる．第 4 節で調査の結果と考察について述べ，最後に第 5 節でまとめと今後の課題を述べる．

<sup>1</sup> 愛媛大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

## 2. 通信規格

本節では、調査に使用した通信規格である Wi-Fi, Wi-Fi Direct, Bluetooth について説明する。

### 2.1 Wi-Fi

Wi-Fi とは、Wi-Fi Alliance によって国際標準規格である IEEE 802.11 規格を使用したデバイス間の相互接続が認められたことを示す名称である [6]。Wi-Fi 接続では通信は WPA2 を使用して暗号化され、セキュリティが確保されている。通信規格は使用する周波数や通信速度によってアルファベットで区別される。主なものに 11a, 11g, 11n などがある。

### 2.2 Wi-Fi Direct

Wi-Fi Direct とは、Wi-Fi デバイス同士を直接無線接続可能とする規格の名称である [7]。Wi-Fi Alliance が 2010 年にこの規格を策定し、Wi-Fi Direct 対応機器の認証を行っている。Wi-Fi Direct 対応機器は Wi-Fi 対応機器と接続が可能であり、その接続は Wi-Fi 同様 WPA2 によって保護される。通信速度は最大 250Mbps 程度で、数十 m 程度の距離でも接続が可能である。Wi-Fi Direct は、Android 4.0 以降では標準サポートされている。

### 2.3 Bluetooth

Bluetooth は、Bluetooth SIG が認証した IEEE 802.15.1 規格を利用した短距離無線通信技術である [8]。2.4GHz 帯を 79 の周波数チャンネルに分け、利用する周波数をランダムに変える周波数ホッピングを行う。通信速度は最大 24Mbps で、最大通信可能距離が 10m 程度の Class 2, 10m 以上の距離でも通信が可能な Class 1 などに分類される。暗号化は 128bit AES で行われる。Wi-Fi に比べて消費電力が少ない [9]。1 台の Bluetooth 対応機器に対して 7 台まで直接接続することが可能である。

## 3. 調査の概要

調査には Android 搭載タブレットである Nexus 9 を 2 台使用する。Android 上で動作する描画画面共有アプリケーションを作成し、2 台のタブレットで実行する。タブレットがデータを受信した際に応答を返すようにすることによって、往復遅延時間の調査を行う。

本研究では、一方のタブレット（タブレット A とする）においてタッチしている座標等のデータ（最大 28 バイト）を秒間 60 回の頻度で他方のタブレット（タブレット B）に送信してから、タブレット B が受信後すぐに返した応答をタブレット A が受け取るまでの時間を RTT とする。タブレット B が受信したすべてのデータに対して応答を返す場合の RTT（以下では all-RTT と呼ぶ）と、タッチしている



図 1 Wave と Spiral の描画例

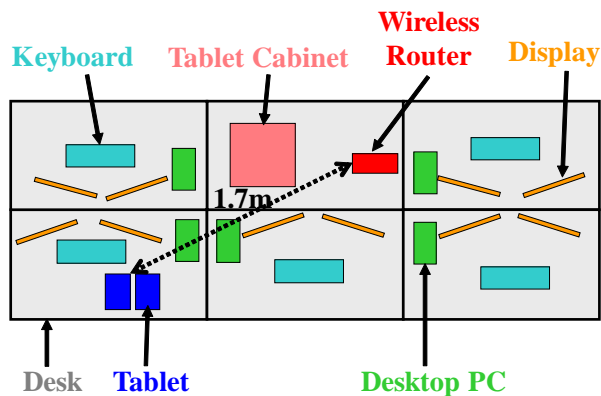


図 2 調査環境

指が離されたときのみ応答を返す場合の RTT（以下では last-RTT と呼ぶ）で調査を行う。

all-RTT の調査で描画する線は、Hold（同一座標で静止）、Wave（波線）、Spiral（螺旋）の 3 種類とした。Wave と Spiral の描画を行った状態のスクリーンショットを図 1 に示す。線は 1 本につき 5 秒間描画（座標データを 300 回送信）し、各種類の線を 5 回ずつ描画した。last-RTT の調査では、2~3cm ほどの短い線を 100 回描画した。

タブレット同士の Bluetooth または Wi-Fi Direct による接続時に、接続要求を出す側を Master (M)、要求を受ける側を Slave (S) と表す。調査は愛媛大学の工学部 5 号

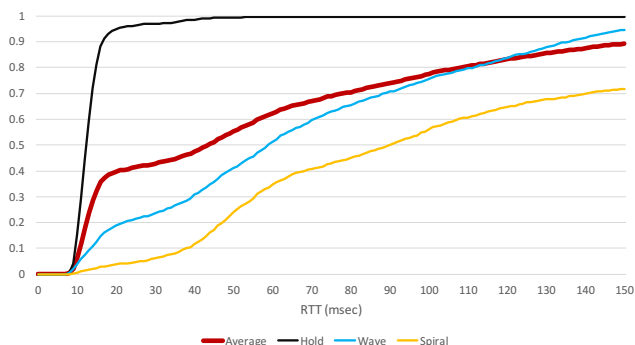


図 3 Wi-Fi における all-RTT 調査結果 (描画動作による比較)

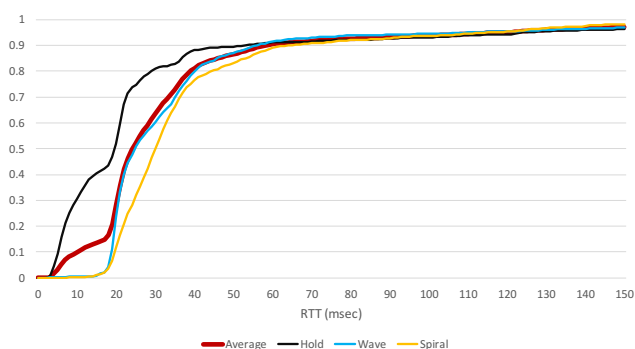


図 4 Wi-Fi Direct における all-RTT 調査結果 (描画動作による比較)

館 9-7 号室で行った。2 台のタブレットを左右に隣接させて机の上に設置した。このとき、Master のタブレットは右側、Slave のタブレットは左側に設置した。Wi-Fi を使用した調査では、無線 LAN ルータに 802.11a (5GHz 帯) で接続した。タブレットと無線 LAN ルータの位置関係を図 2 に示す。

Wi-Fi Direct, Bluetooth を使用した調査は、無線 LAN ルータに接続せずに行った。

Wi-Fi Direct を使用した調査においては、2.4GHz 帯でタブレット間を接続した。

Bluetooth には High Speed (HS), Low Energy (LE) などの種類が存在するが、本研究では初期から存在する Basic Rate (BR) を使用した。調査に使用した Nexus 9 は、Bluetooth Class 1 対応 (出力 4.05mW) である。

いずれの規格においても、再送制御を行うプロトコルを使用した (Wi-Fi および Wi-Fi Direct では TCP, Bluetooth では RFCOMM)。

#### 4. 結果と考察

本節では、実環境で調査を行った結果を RTT の累積確率分布で表し、考察を行う。

Wi-Fi, Wi-Fi Direct, Bluetooth における all-RTT の累積確率分布を、それぞれ図 3, 図 4, 図 5 に示す。

Wi-Fi (図 3) では、描画動作による RTT の差異が顕著に見られた。手を動かさない場合 (Hold) は、20msec 以内

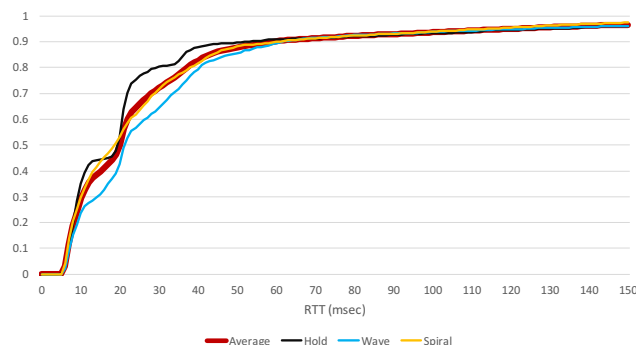


図 5 Bluetooth における all-RTT 調査結果 (描画動作による比較)

に 90%以上の確率で送受信が完了している。一方で、手を動かして描画する場合 (Wave および Spiral) は、150msec 以内に送受信が完了しない場合がある。よって、Wi-Fi では手の動きが通信に大きく影響するといえる。

Wi-Fi Direct (図 4) では、Wi-Fi と比較して描画動作による RTT の差異が小さかった。Wi-Fi Direct では、無線 LAN ルータではなく、隣接しているタブレットとの間で通信を行うため、手の動きによる影響を受けにくかったことが、このような結果となった原因の一つであると考えられる。また、Wi-Fi Direct では 2.4GHz 帯を使用して通信を行うため、5GHz 帯を使用した Wi-Fi 通信に比べて障害物の影響を受けにくかったことも一因になっていると考えられる。

Bluetooth (図 5) では、Wi-Fi Direct と比較してさらに描画動作による RTT の差異が小さく、本研究で調査を行った 3 つの規格の中で、最も手の動きによる影響が少なかった。Bluetooth では、周波数ホッピング方式のスペクトラム拡散 (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) を使用し、2400~2483.5MHz の間で周波数を切り替えながら通信を行うため、マルチパスフェージングが起りにくい。Wi-Fi および Wi-Fi Direct で使用されている直交周波数分割多重方式 (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, OFDM) もマルチパスフェージングへの耐性があると言われているが、チャンネル幅が狭いため、Bluetooth に比べてマルチパスフェージングの影響を受けやすいと考えられる。また、Wi-Fi Direct と Bluetooth では、データに付随するヘッダやトレーラの大きさ、誤り訂正方式、再送プロトコルなどが異なるために、上記のような RTT の差異が生じた可能性もある。

図 6 は、Bluetooth において Master から送信した場合 (Bluetooth-M), Slave から送信した場合 (Bluetooth-S), Wi-Fi Direct において Master から送信した場合 (Wi-Fi Direct-M), Slave から送信した場合 (Wi-Fi Direct-S), Wi-Fi を使用した場合 (Wi-Fi) における all-RTT の累積確率分布を示したものである。Bluetooth および Wi-Fi Direct では、80%以上の確率で 50msec 以内に送受信を完了している。Wi-Fi では、前述の手の動きによる影響で、50msec 以

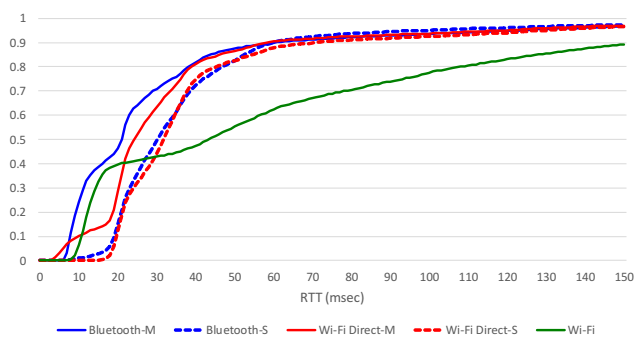


図 6 all-RTT 調査結果 (規格による比較)

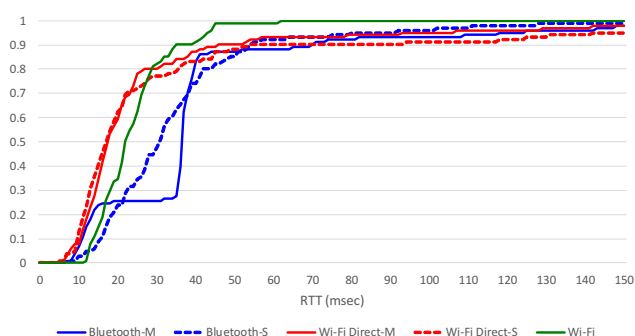


図 7 last-RTT 調査結果 (規格による比較)

内に送受信を完了できる確率は約 55%にとどまっている。

Bluetooth においては、Master から送信した場合 (Bluetooth-M) の方が、Slave から送信した場合 (Bluetooth-S) に比べて、RTT が 10msec 程度小さくなっている。これは、Master からは任意のタイミングでデータを送信できるのに対し、Slave から送信するには Master からポーリングされるまで待機しなければならないことに起因すると考えられる。

Wi-Fi Direct と Bluetooth を比較すると、Master から送信した場合においては Bluetooth の方が RTT が小さい場合が多く、Slave から送信した場合はほぼ同じ分布となっている。

図 7 は、last-RTT の累積確率分布を示したものである。いずれの規格においても、80%以上の確率で 50msec 以内に送受信を完了している。

Bluetooth では、Master から送信した場合 (Bluetooth-M) と Slave から送信した場合 (Bluetooth-S) で、last-RTT の累積確率分布に顕著な差異が見られた。これは、Bluetooth では、Slave から送信したいデータがない場合、Slave が Sniff モードと呼ばれる低消費電力モードに移行するため、Master から Slave に即座にデータを送信することができない場合があるためであると考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、初等中等教育におけるグループワークを想定した描画画面共有アプリケーションの作成と、それ

を利用した RTT 計測による通信特性の調査および評価を行った。調査の結果、Bluetooth および Wi-Fi Direct では、80%以上の確率で 50msec 以内に送受信を完了できることが分かった。秒間 20 回程度の送受信を行うことが可能であるため、連続的にリアルタイムで情報を送受信するアプリケーションを作成することも可能であると考えられる。

また、タブレットを操作する手の動きによる影響を最も受けにくい通信規格は、Bluetooth であることが判明した。Bluetooth では間欠的な通信を行う場合、低消費電力モードが原因でデータの伝達が遅れることがある点に注意する必要があるが、80%以上の確率で 50msec 以内に送受信を完了できるため、ほとんどの場合は支障がないと考えられる。

今後の課題としては、遅延特性だけでなく、スループット特性などについても調査することが挙げられる。また、数十台のタブレットで構成されるアドホックネットワークの上で動作する教育用アプリケーションを作成し、実用性を検証することも有益である。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K16105 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 辰嶋 裕美: “教育現場における ICT 化の現状と今後の情報教育,” 第 10 回情報プロフェッショナルシンポジウム予稿集, pp. 151–156, 2013.
- [2] 鈴木 規之, ジェーンルイ フレスコ ザモラ, 樫原 茂, 山口 英: “通信被害地域における Wi-Fi Direct と Bluetooth を用いた要救助者に関する情報収集手段の一検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 308, pp. 39–44, 2012.
- [3] 石橋 直哉, 坪川 宏: “Bluetooth と Wi-Fi 環境におけるスマートフォンを用いたアドホックネットワークの検討,” 情報処理学会第 77 回全国大会講演論文集, pp. 99–100, 2015.
- [4] 井上 太介, 長濱 翔, 田邊 昭彦, 大谷 真: “複数の iPad による協調型ペイントソフト,” 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, pp. 283–284, 2012.
- [5] 井上 太介, 大谷 真: “マルチタブレットを用いたアドホックな協働作業支援システム,” 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, pp. 209–210, 2014.
- [6] Wi-Fi Alliance: “Wi-Fi Alliance,” <https://www.wi-fi.org/> (参照 2016-05-02).
- [7] Wi-Fi Alliance: “Wi-Fi Direct,” <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-direct> (参照 2016-05-02).
- [8] Bluetooth SIG: “Bluetooth Technology Website,” <https://www.bluetooth.com/> (参照 2016-05-02).
- [9] Nan Xu, Fan Zhang, Yisha Luo, Weijia Jia, Dong Xuan, and Jin Teng: “Stealthy Video Capturer: a New Video-based Spyware in 3G Smartphones,” Proceedings of the Second ACM Conference on Wireless Network Security (WiSec '09), pp. 69–78, 2009.