

スマートフォンアプリに起因するトラフィックの分析と Zigbee を利用した IoT 機器の通信に対する影響調査

平部 裕子^{†1,a)} 荒川 周造^{†1,b)} 荒川 豊^{†1,c)} 安本 慶一^{†1,d)}

概要：将来のスマートホームでは，Zigbee や Bluetooth を利用したセンサが多数設置されることが予想される．これらの無線通信は，無線 LAN (WiFi) や電子レンジなどでも利用されている 2.4G 帯を利用しており，無線 LAN 機器の増加とも相まって，異なる無線通信方式間での干渉が問題となっている．また，スマートフォンの高性能化により，スマートフォン向けコンテンツもマルチメディア化が進み，ビデオストリーミングや音楽ストリーミング，ファイル共有などパースト性の高いトラフィック発生源となるサービスが普及している．そこで我々は，スマートフォンアプリケーションから生成されるトラフィックのパースト性を分析するとともに，そのような無線 LAN トラフィックが複数発生した場合に Zigbee 通信に与える影響に通て調査した．

Traffic Analysis of Smartphone apps and Investigation of the interference between Zigbee-based IoT devices

YUKO HIRABE^{†1,a)} SHUZO ARAKAWA^{†1,b)} YUTAKA ARAKAWA^{†1,c)} KEIICHI YASUMOTO^{†1,d)}

1. はじめに

ユビキタス社会の実現を目指し，IoT(Internet of Things) や CPS(Cyber Physical System) と呼ばれる様々なシステムや機器が開発，実用化されてきている．IoT とは，その名の通り，身の回りにある全ての“モノ”がインターネットに繋がることであり，CPS とは，こうしたモノから集まったセンサデータを分析したり，分析した結果に基づいて何らかの制御を行うことの総称である．IoT 機器は，さまざまなセンサや通信モジュールから構成されているが，Arduino^{*1} や Raspberry Pi^{*2} といった低価格なプロトタイプ用マイコンボードや 3D プリンタの普及により，さまざまな機器が登場している．例えば，テニスラケット^{*3} や釣

具，歯ブラシといったものまでがセンサと通信モジュールを備えるようになってきている．筆者らは，あらゆるセンサと通信モジュールを備えた超小型センサモジュール [1] を開発しており，今後より一層さまざまなモノにセンサが埋め込まれていくと考えている．

このような IoT が最初に普及する適応領域の 1 つがスマートホームである．スマートホームは，電力，人感，開閉，位置，湿度，温度，照度などの様々な情報を数々のセンサが散りばめられた未来の住宅のことであり，筆者らも 2013 年 3 月に 1LDK サイズのスマートホーム環境を建設し，日々実験を行っている．筆者らのスマートホームにおける代表的なセンサは，位置測位センサ，モーションセンサ，環境(温湿度と光)センサ，開閉センサ，電力センサであり，多くのセンサは IEEE802.15.4 通信規格の一つである ZigBee で接続されている．それらの個数は，電力センサ 16 個，開閉センサ 10 個，モーションセンサと環境センサ 5 個程度あり，わずか 1LDK の室内に数十個の ZigBee 機器が設置されている状態である．こうしたセンサの通信頻度は，最大のもので毎秒，最小で毎分である．筆者らは，

^{†1} 現在，奈良先端科学技術大学院大学
Presently with NARA Institute of Science and Technology
a) hirabe.yuko.ho2@is.naist.jp
b) arakawa.shuzo.aj4@is.naist.jp
c) ara@is.naist.jp
d) yasumoto@is.naist.jp
^{*1} <https://www.arduino.cc/>
^{*2} <https://www.raspberrypi.org/>
^{*3} <http://smartsports.sony.net/tennis/JP/ja/>

これら多数のセンサから収集したデータを機械学習によって分析し、家の中でのユーザ行動・状態（コンテキスト）認識 [2] や、高齢者見守りシステム [3]、直感的なりモコンシステム [4] などの研究を行っている。

一方、パソコンに加えて、スマートフォンやタブレットが普及したことや、パケ放題を廃止しモバイルデータ通信容量に制限がかかるようになったことから、家庭内の無線 LAN (WiFi) もますます重要な通信インフラとなっている。特に近年では、Hulu^{*4} や Netflix^{*5}、dTV^{*6}、U-NEXT^{*7}、Amazon プライムビデオなどの定額制ビデオストリーミングサービス、Google Play Music^{*8} や Apple Music^{*9}、LINE Music^{*10}、AWA^{*11} などの定額制音楽ストリーミングサービスなどが普及し、無線 LAN の通信トラフィックも日々増大している。

このような背景のもと、本論文では、ZigBee (IEEE 802.15.4) と WiFi (IEEE 802.11) の干渉問題について取り扱う。この 2 つの通信方式は、ともに 2.4GHz 帯の周波数を用いており、特に WiFi の 11CH (2462MHz) と ZigBee の 22CH (2460MHz) は非常に近い周波数となっており干渉が懸念される。この干渉問題に関して多くの研究がある [5] が、これらの研究では近年普及しているスマートフォンアプリ特有のトラフィックについては考慮されていない。例えば、Facebook や Twitter、Instagram などは、動画や写真のコンテンツアップロード、ダウンロードが頻繁に起こる。ダウンロードのトリガーはユーザのスクロール操作と連動しており、再生ボタンを押さなくてもそのコンテンツが画面の中心に来ると再生されるようになっている。その結果、こうしたマルチメディアスマホアプリは、短い時間に大量のデータを送受信するバースト性の高い通信トラフィックになっていると考えられる。そして、これらのトラフィックは、上述したように多数のセンサ機器が設置された場合に、通信エラーやセンサデータの欠損を招く要因となりうる。

そこで本論文では、これらのスマートフォンアプリからどのようなトラフィックが発生するかを分析した上で、このようなバースト性の高いトラフィックが宅内にある場合に、他の通信方式、つまり ZigBee、に対してどのような影響を与えるのかについて調査した。まず、1 つ目の実験として、スマートホームを想定し、擬似的に WiFi アクセスポイント 1 つに関して複数端末が動画コンテンツへ接続する環境を作成することで、ZigBee がどれだけ干渉されるか計測を行った。干渉の度合いを見やすくするため、ZigBee

の CH を 22 (2560MHz) WiFi アクセスポイントを 11CH (2462MHz) に固定して、ZigBee 間のデータ伝送時間、および、リトライ回数の計測を行った。またこの時、ZigBee 間での干渉や、送信データの量、コーディネータと WiFi アクセスポイントの位置も考慮するために、同時に観測を行った。結果として、WiFi により多数のデバイス接続した場合、伝送時間にそこまで差はみられなかったものの、リトライ回数がデバイスの数とともに 1 次関数的に増加することを確認した。

実験 2 では、ユーザが頻繁に使う SNS アプリケーションの 1 つである Facebook を操作した際に、どのように WiFi の通信トラフィックが起こるのかを観測した。結果として、写真や動画コンテンツをユーザが選択した際に、バースト的にトラフィックが発生していることを確認した。

2. 関連研究

2.1 IEEE802.15.4 と IEEE802.11 規格について

IEEE802.15.4 (ZigBee) は、ワイアレスセンサネットワークの構築に適した無線通信規格のことである。IEEE802.15.4 は ZigBee の基本部分として定められ、ZigBee Alliance によって標準化が進められている。双方向データ通信が可能でセンサからデータを収集したり、端末デバイスのリモートコントロールに使用することが可能である。特徴としては、使用帯域を小さくすることで多数のノードがあっても輻輳を抑えることが可能である点、また 16CH を使って同時に通信することができ、ノイズに強い点があげられる。周波数帯域は 2.4GHz であり、WiFi (IEEE802.11) と異なり、伝送速度を 250kbps と抑制している分、低消費電力であり、多数の端末間でデータを送受信することに長けている。ZigBee ネットワークは、1 台のコーディネータと複数のルータ及びエンドデバイスによって構成されている。コーディネータはネットワーク全体を管理するために存在しており、ルータ・エンドデバイスにアドレスの配布を行ったり、セキュリティの管理を行う役割を持っている。ルータはフル機能を持ったノードであり、コーディネータが構築したネットワークに参加し、別のルータやエンドデバイスに対してデータの送受信やルーティングが可能である。したがって、他のデバイスと常に通信を行える状況を保つため、常時電源供給されている必要がある。エンドデバイスはネットワークの末端に位置し、親ノードに対しデータの送受信を行う。ルータとは異なり、常に通信状態を行うことはないため、スリープ機能を用いて消費電力を節約可能である。スリープ期間中のエンドデバイス宛てのメッセージ等は、親ノードが保持しており、データの喪失がないように工夫されている。本稿においては、ZigBee のトラフィックを測定することから、コーディネータとルータを使用している。

一方で IEEE802.11 (WiFi) は、無線 LAN の規格であ

*4 <http://www.hulu.jp/>

*5 <https://www.netflix.com/jp/>

*6 <http://pc.video.dmkt-sp.jp/>

*7 <http://video.unext.jp/>

*8 <https://play.google.com/store/music?hl=ja>

*9 <http://www.apple.com/jp/music/>

*10 <https://music.line.me/trend>

*11 <https://awa.fm/>

り、現在もっとも広く普及している無線通信規格といえる。IEEE802.11 は伝送規格として定義されており、中でも IEEE802.11b/g は 2.4GHz 帯を利用する物理層規格である。変調方式は 11b が直接拡散方式 (DSSS) をベースに CCK 形式を用いており、最大伝送速度は 11Mbps である。また、11g においては変調方式に直行周波数分割多重方式 (OFDM) を用いることで最大伝送速度を 54Mbps としている。ここで WiFi は、標準化団体である WiFi Alliance によって推進されており、近年では干渉の少ない 5GHz 帯への移行が盛んである。

2.2 チャンネル間の干渉問題

本節では、前述した ZigBee, WiFi に加え、同じく 2.4GHz 帯を使用する bluetooth も含めて検討を行う。ZigBee の基本規格である IEEE802.15.4 の帯域幅は、中心周波数から 2MHz であり、中心周波数が 5MHz ごとに設定されているため、隣接チャンネル同士の影響を受けない仕組みとなっている。一方で、802.11b では中心周波数から 22MHz の帯域幅を持つため、隣接チャンネル間の干渉が発生する。こうした基本的に一つのチャンネル上で動作する ZigBee や WiFi では、利用チャンネルが重なると干渉が発生するのに対し、bluetooth では周波数ホッピング方式 (FHSS) を用いていることから、干渉を起こしにくい特長がある。一度干渉が生じて、ランダムで他のチャンネルに移る仕組みであるため、自他共に影響を与えることはほぼないといえる。

3. 実験内容

ここでは本研究で行った実験について報告する。まず最初に、WiFi トラフィックが ZigBee に与える影響について調査するための実験として、1つの WiFi アクセスポイントに対して複数台の端末が接続した状態を作り、その上での ZigBee 通信について評価した。次に、スマートフォンアプリ特有のトラフィックがセンサトラフィックに与える影響を調査する実験として、Wireshark を搭載したパソコンをルータとして使い、スマートフォンを操作しながら発生するデータ数を計測した。それぞれの詳細を下記に示す。

3.1 WiFi アクセスポイント 1 つに対して複数端末が接続する環境での ZigBee に対する干渉度の調査

近い将来、普及していくであろうスマートホームでは、ZigBee などの 2.4GHz 帯で通信を行なう機器が搭載された家電が数多く存在する中で、家庭内にある 1つの WiFi アクセスポイント (2.4GHz 帯) に対して、複数の端末が接続するといった、ZigBee や WiFi が共存する状況が当たり前になると想定される。このような状況において、WiFi が ZigBee に対してどのように干渉するかを明らかにするべく、実験を行う。

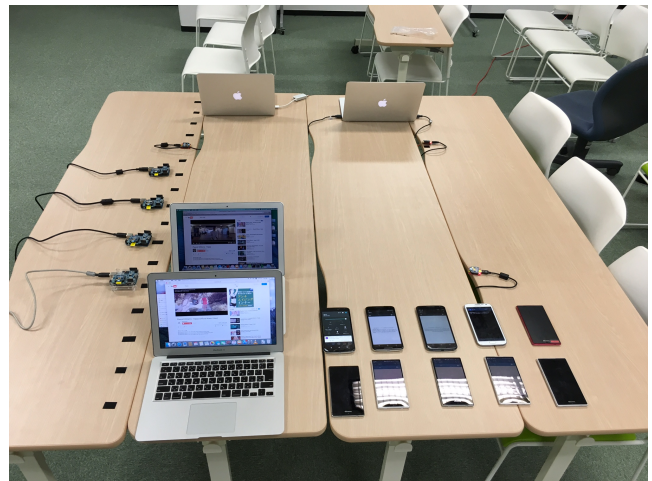


図 1 実験環境

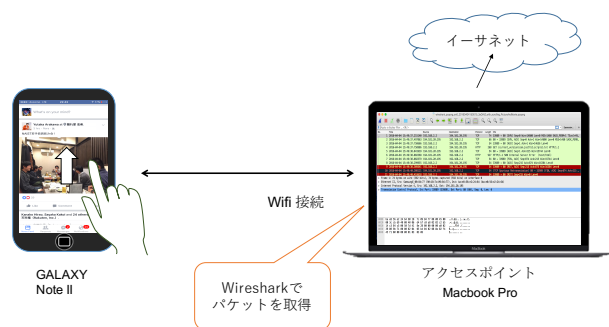


図 2 SNS アプリケーション操作時の WiFi の通信トラフィックの取得環境

干渉の影響をより良く観測するため、今回は WiFi アクセスポイントの CH を 11 (2462MHz)、ZigBee の CH を 22 (2460MHz) にそれぞれ固定し、通信帯域幅が完全に干渉するように設定する。実際の実験環境を図 1 に示す。図 1 の Zigbee は、右側に設置されているものがコーディネータ (データ受信側)、左側に設置されているものがルータ (データ送信側) である。これら Zigbee が通信している間に、画面奥の左側の PC (MacbookPro) をアクセスポイントとして、手前に置かれている、MacbookAir 2 台、Android 端末 10 台の接続台数を順次増やしていくことで、どのように干渉するか、データ取得を行う。アクセスポイントへ接続する端末は、Youtube の動画を絶えず流し、アクセスポイントと通信を行う。この時、ZigBee 送信側からのデータ送信回数を 2 分間で 1200 回 (1 秒間に 10 回) と固定し、ZigBee のデータ送受信時間およびリトライ回数とした。しかしながら、ZigBee のデータ送信量の違いや、コーディネータの位置が WiFi アクセスポイントに近づいた場合においても、トラフィックが変化する可能性は高い。そこでこれらの状況においても、同様にデータ取得を行う。以下が本実験で観測する 3 つの環境である。

- WiFi アクセスポイントへの接続がない場合の Zigbee のデータ送信量の違いによる送受信時間およびリトラ

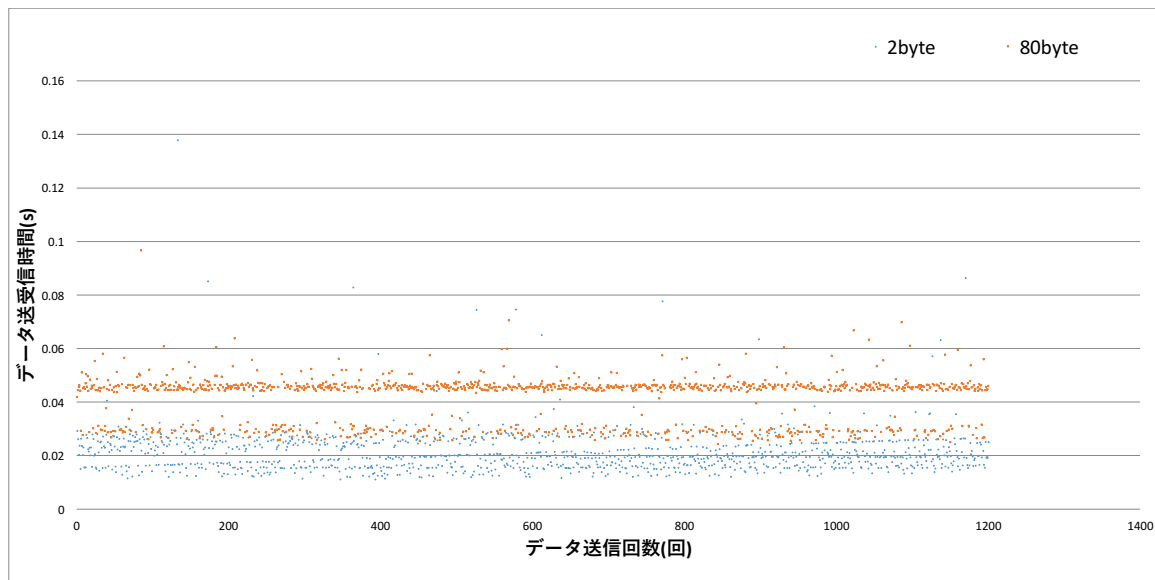


図 3 データ送信量の違いによる送受信時間の差

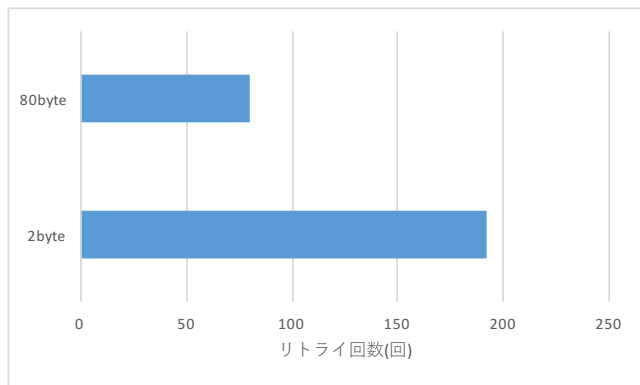


図 4 データ送信量の違いによるリトライ回数の差

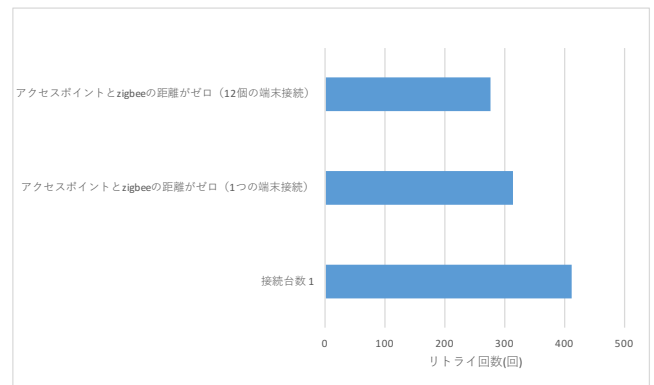


図 5 コーディネータをアクセスポイントに近づけた時のリトライ回数の違い

イ回数の差

- コーディネータと WiFi アクセスポイントの位置の違いによる送受信時間およびリトライ回数の差
- WiFi アクセスポイントへの接続台数を増やした際の送受信時間およびリトライ回数の差

3.2 SNS アプリケーション操作時の WiFi の通信トラフィックの明確化

SNS アプリケーションは急速に浸透している、新しいアプリケーションの 1 つである。これらのアプリケーションは、従来の Gmail や SMS などでは発生しなかった、動画や写真コンテンツのダウンロードやアップロードが頻発している。これを踏まえ本実験では、WiFi アクセスポイントに Android 端末が接続している状態で、SNS アプリケーションを操作した際に、どれだけのトラフィックが生成されているかを明確にするべく、実験を行う。

具体的な実験環境を、図 2 に示す。

実験では、MacbookPro を WiFi アクセスポイントとした際に、GalaxyNote II を用いてユーザに最も利用されて

いる SNS アプリケーションの 1 つである Facebook にアクセスする。その際に、アクセスポイント上で WireShark と呼ばれる通信パケット解析ツールを用いて、発生したデータ通信量の解析を行なう。今回は、トラフィックが明確に現れる可能性が高い、コンテンツダウンロード時に着目して、データ通信量の解析を行なう。Facebook 操作時のダウンロードには、画面が単にスクロールしている場合（写真や事前動画コンテンツが表示される）と表示されているコンテンツを選択した場合（表示された写真や事前動画を選択した）があると想定されるが、今回はそれぞれのトラフィックを取得する。

4. 結果

本章では各実験の結果について順に説明し、結果に基づいて考察する。

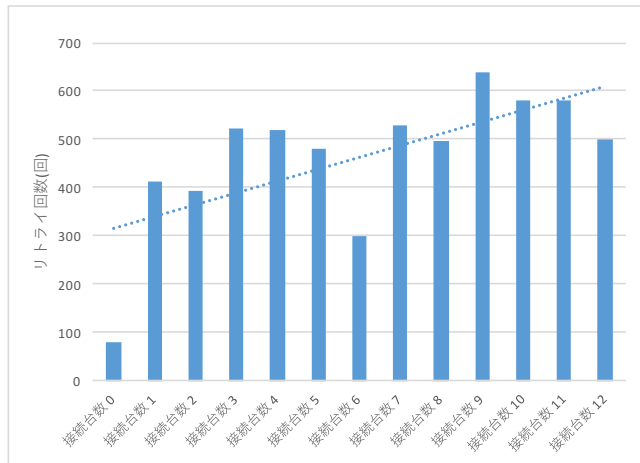


図 6 アクセスポイントへの接続台数の違いによるリトライ回数の差

4.1 WiFi アクセスポイントに対して複数端末が接続する環境での Zigbee 通信に対する干渉

Zigbee データ送信量の違い, 配置による違い, WiFi データ送信量による違い, という 3 つの側面から考察する.

4.1.1 Wif アクセスポイントへ接続がない場合の Zigbee データ送信量の違いによる送受信時間およびリトライ回数の差

Zigbee が通信する際のデータ送信量を, 設定できる最小と最大 (それぞれ 2byte, 80byte) とした際のデータ送受信時間およびリトライ回数を図 3, 図 4 として示す.

データ送信量が増えることで, 送受信時間が全体的に増加していた. 一方でリトライ回数は減少しており, Zigbee 通信に少しではあるが影響が出ていた. 以下の実験結果では, 今後家庭内で生まれる家電データが大量に送受信される場面を想定し, Zigbee のデータ通信量を最大の 80byte として実験を行った.

4.1.2 コーディネータと WiFi アクセスポイントの位置の違いによる送受信時間およびリトライ回数の差

コーディネータの位置をアクセスポイントへ近づけた場合, 送受信時間に差は観られなかった. 一方でリトライ回数 (図 5) を見ると, アクセスポイントに多くの端末が接続していればいるほど, リトライ回数が減っていることを観測した.

この原因として, アクセスポイントとルータの距離があげられる. コーディネータをアクセスポイントへ近づけた一方で, ルータへの距離も短くなったため, 想定していた干渉が起きなかったのではないかと考えられる.

4.1.3 WiFi アクセスポイントへの接続台数を増やした際の送受信時間およびリトライ回数の差

WiFi アクセスポイントへ接続する端末を増やした場合, データ送受信時間に違いはあまり観られなかった. しかしリトライ回数に関してみると, WiFi 接続端末が無い場合と比べると最大で 6 倍の差がある. また, アクセスポイン

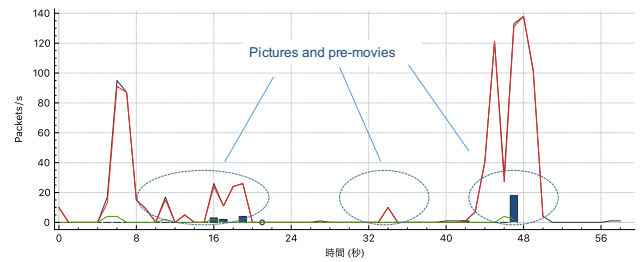


図 7 写真, 動画を選択せずスクロールのみ行った場合

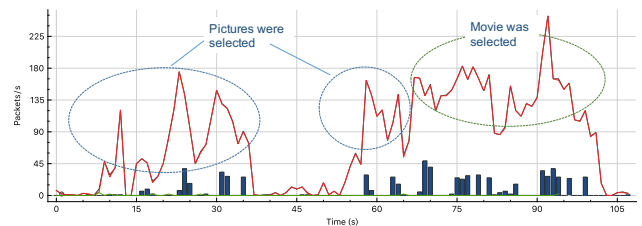


図 8 スクロールしながら写真, 動画を選択した場合

トへの接続台数が増えるにしたがってリトライ回数が増加しており, これは WiFi からの干渉が影響していると考えられる.

4.2 SNS アプリケーション操作時の WiFi の通信トラフィック

WireShark を用いて取得した Facebook 利用時のデータパケットを I/O グラフにしたものが, 図 7 である. 黒い線で示されているものがパケットの総量, 赤い線で表示されているものが, TCP パケット量, 青の棒グラフが TCP 分析フラグ, 緑の線が DNS 接続時のパケット量である. Facebook 画面を単純にスクロールし続けたものであるが, 所々でトラフィックが大きくなっている部分がある. これは, Facebook 画面上に写真コンテンツや事前動画が流れているところで発生していた. また, Facebook 画面をスクロールし, 写真や動画コンテンツを実際にクリックした場合に取得した結果が, 図 8 である. 写真や動画が選択された場合, 我がが想定した様にパースト的にトラフィック量が増えていることが分かる.

5. おわりに

本研究では, 近年新たに浸透してきている SNS アプリケーションの特性を考慮して, スマートホームのような 1 つの WiFi アクセスポイントに対して複数の端末が接続され動画が再生される際に, どのように Zigbee の通信が干渉を受けるのか, SNS アプリケーションを利用する際にどのようなトラフィックが生まれるかを明らかにすることを目的として, 2 つの実験を行った. 結果として, WiFi アクセスポイントに多数のデバイス接続する場合, Zigbee のデータ伝送時間にあまり差がみられなかったものの, リト

ライ回数がデバイスの数とともに1次関数的に増加することを確認した。また、SNS アプリケーション上で写真や動画コンテンツをユーザが選択した際に、パースト的にトラフィックが発生していることを確認した。今後は上記の結果に加え、SNS アプリケーション上のタッチ操作を同時に取得する事で、SNS の操作がどのようなタッチ操作で行われたのかを判定し、具体的に SNS アプリケーション特性を考慮した、WiFi トラフィック通信モデルを作成することで、よりリアリスティックなトラフィックを発生させ、正確な Zigbee 通信評価を行えるようにしたいと考えている..

参考文献

- [1] Arakawa, Y.: SenStick: Sensorize Every Things, *Adjunct Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, New York, NY, USA, ACM, pp. 349–352 (online), DOI: 10.1145/2800835.2800895 (2015).
- [2] 上田健揮; 玉井森彦; 荒川豊; 諏訪博彦; 安本慶一: ユーザ位置情報と家電消費電力に基づいた宅内生活行動認識システム, *情報処理学会論文誌*, Vol. 57, No. 2, pp. 416–425 (2016).
- [3] Kiyooki, K., Manato, F., Arakawa, Y., Suwa, H., Kashimoto, Y. and Yasumoto, K.: Elderly Person Monitoring in Day Care Center using Bluetooth Low Energy, *10th International Symposium on Medical Information and Communication Technology* (2016).
- [4] 米田純; 荒川豊; 玉井森彦; 安本慶一: 高精度屋内位置情報を利用した直感的な家電操作手法の提案, *技術報告 4*, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良先端科学技術大学院大学 (2014).
- [5] 小川将克, 奥川雄一郎, 高谷和宏, 秋山佳春: ZigBee と無線 LAN の共存環境において ZigBee の送信成功率を向上させるためのアクセス制御方式, *電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌)*, Vol. 134, No. 3, pp. 381–389 (2014).