

# 無線LANアクセスを行う多数台 Android 端末の 通信効率とバッテリー性能の考察

小柳 文乃<sup>†</sup> 山口 実靖<sup>††</sup> 小口 正人<sup>†</sup>

<sup>†</sup> お茶の水女子大学

〒 112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

<sup>††</sup> 工学院大学

〒 163-8677 新宿区西新宿 1-24-2

E-mail: <sup>†</sup>{ayano,oguchi}@ogl.is.ocha.ac.jp, <sup>††</sup>sane@cc.kogakuin.ac.jp

**あらまし** 近年スマートフォン端末は爆発的に普及しており, 我々の生活に無くてはならないものとなりつつある. スマートフォンで出来ることはどんどん広がっており, 今後も大きな可能性を秘めていると言えるだろう. しかし, スマートフォンのバッテリーの持ちは非常に重要な課題である. 本研究では, スマートフォン, 特に Android 端末において複数台が同時に通信する際の性能を考慮し, 無駄な通信がどれだけバッテリー消費に影響を与えるのかを調査する. そして, 状況に応じた通信方法の提案とバッテリー性能の考察を行う.

**キーワード** スマートフォン, Android, 省電力

## A Study on Communication Performance and Battery Consumption in Wireless LAN with Multiple Android Devices.

Ayano KOYANAGI<sup>†</sup>, Saneyasu YAMAGUCHI<sup>††</sup>, and Masato OGUCHI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Ochanomizu University

2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 JAPAN

<sup>††</sup> Kogakuin University

1-24-2 Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8677, Japan

E-mail: <sup>†</sup>{ayano,oguchi}@ogl.is.ocha.ac.jp, <sup>††</sup>sane@cc.kogakuin.ac.jp

### 1. はじめに

近年スマートフォンが爆発的に普及してきており, スマートフォンのバッテリーの低減は非常に重大な課題の一つとなっている. BCN の調査によると, スマートフォンユーザの 70.7 % がバッテリーの持続時間に不満を持っている [1].

スマートフォンのバッテリー消費の原因は主に三点考えられる. 一つ目は最も影響があるとされる「ディスプレイ」による消費である. 画面の明るさやスリープに入るまでの時間がバッテリー消費に大きく関わってくる. 例えば, ディスプレイの明るさが最も明るい場合と暗い場合では, 3 時間で 7 % の差が, また, 自動消灯 15 秒と 1 分では 3 時間で 2 % の差が得られる.

二つ目は, Wi-Fi や 3G, 4G(LTE), GPS, Bluetooth などの「通信機能」である. 特に移動しながら接続先の電波を探索したり, 頻繁にハンドオーバーすることでバッテリーが消費される. Wi-Fi や 3G, 4G(LTE) が頻繁に切り替わることや, 基地局の混

雑も影響が大きい.

三つ目は, あらかじめスマートフォンに搭載されている「便利機能」である. これは, 画面の縦横を回転させたり, 着信時やアラームタイマを音やバイブレーションで知らせてくれる機能などが該当する.

ディスプレイの明るさや画面の回転などは, ユーザの好みで自由にカスタマイズするものであり, バッテリーの持ちのためにスマートフォンが使いにくくなってしまふことは喜ばしくない. しかし, 通信機能に関しては, 効率の悪い通信によるバッテリー消費を減らすことはユーザのためになり好ましいことであると考えられる. そこで本研究では通信, 特に多数台の端末が同時に通信する劣悪な環境でのバッテリー消費と通信性能の関係に着目をする.

### 2. Android OS

Android は, OS, ミドルウェア, アプリケーション, ユーザイ

インタフェースをセットにしたモバイル端末向けプラットフォームであり、Google社を中心として開発が行われている。

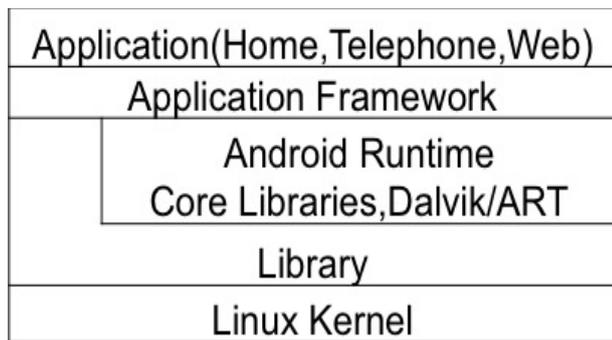


図1：Androidのアーキテクチャ

図1に示すように、AndroidはLinuxカーネルをベースとし、スマートフォンやタブレット端末をターゲットに、それらに適したコンポーネントが追加されている[2]。Linux OSと大きく異なる部分は、独自に開発されたAndroidのRuntimeであるDalvik仮想マシンやART(Android Runtime)を搭載している点である。その上にアプリケーション・フレームワーク、アプリケーションが乗る形態であるため、アプリケーションはDalvik仮想マシンやARTに合わせて開発すれば、直感的な操作性に優れたUIを利用することができ、移植性も高い。

またAndroidは、オープンソースで提供されているためキャリア間の制約がなく、アプリケーション開発においても自由度及び汎用性が高いだけでなく、一度マーケットに登録すると、世界中のAndroidユーザがインストールが可能となる。つまりアプリケーション開発しやすく数も増えるというメリットがある。現在Androidマーケットでは、このような大きなビジネスチャンスを提供されているため、毎年多くのアプリケーションが登録されており、アプリケーション市場は賑わっている。

このような背景から、AndroidはスマートフォンOSの中でのシェア率も年々上がってきている(2014年第2四半期では世界で84.7%のシェア)。また、Android端末は高価なものから安価なものまで広い層に使われており、スマートフォンが現在普及していない地域にはAndroid端末が普及しやすいだろうと考えられ、今後ますます多くの人が利用すると思われる[3]。

以上の理由から、本研究で取り扱うスマートフォンOSとしてAndroidに焦点を当て、AndroidアプリケーションとAndroid端末のバッテリー消費の関係について検討していく。

### 3. 関連研究

本章にて、スマートフォン端末の省電力化に関する関連研究を挙げる。

[4]はユーザがアプリケーションを実際に使用している時に情報を収集し、その情報から消費電力を見積もることで、省電力効果シュミレーションを行った。[5]はCPU、液晶などの端末リソース毎の消費電流量や、Webブラウザで様々な操作をした際の消費電流量を実測し、Android OSにおける操作とバッテリー

消費の関係を調査した。[4][5]は実際のユーザの操作を想定し調査をすることで成果を得られたが、アプリケーションは新しいものが次々とリリースされ流行は変化し続けており、またスマートフォンの使い方は老若男女、住む土地や職業などで全く異なると考えられる。そこで本研究では、スマートフォンユーザ誰しが行う通信について調査をする。

[6]はWi-Fi接続時における、スマートフォンの消費電力とスループットのトレードオフの関係について述べている。大量の packets が MAC 層で損失した際、端末は消費電力が急増することでその損失を検知できる。しかし、損失が多くなればなるほどその分消費電力は多くなり、またこのような時に最大スループットが得られても、送信に失敗しているので無駄なバッテリーを消費していると言える。このような無駄を防ぐ為、Roy Friedmanらは最大スループットを保ったまま、TCPフローを停止するような受信バッファサイズを設定するための方法を提案し、実際に機能することを実証した。しかしこの設定は、各デバイスの特定のハードウェアとネットワーク内の負荷に依存し、したがって自己適応するための動的メカニズムが必要となることが課題である。

[7]はスマートフォンのハードウェア・サブシステムの全ての電力使用量を考慮したシステムを実装し調査した。Wi-Fiの実験において、消費電力は送受信した packets 量に依存することを示したが、Wi-Fiのアクセスポイントとの接続を求めるとの消費電力は考慮されていない。

次に、多数台のAndroid端末が接続された無線LAN環境における通信性能に関する研究を紹介する。[8][9]では、多数のAndroid端末が接続された環境における通信性能の評価を行い、端末数が過度に増えると通信性能が低下してしまうことを示している。そして、送信量の制御による通信速度の向上手法を提案している。しかし、通信に起因する消費電力に関する考察は行われていない。

以上より、本研究ではWi-Fi接続時に通信性能を保ったまま、アクセスポイントとの接続も踏まえた上でバッテリー省電力を目指す。

## 4. 実験

本章にて、アクセスポイントへの接続状態と通信速度やバッテリー消費量の関係について考察をする。具体的には以下の3つの実験を行った。

- (1) アクセスポイントに接続されている端末台数の変化が通信速度とバッテリー消費に及ぼす影響調査
- (2) 通信制御手法がバッテリー消費に与える影響調査
- (3) アクセスポイントと端末との物理的な距離が通信速度とバッテリー消費量に与える影響調査

### 4.1 端末台数の変化が及ぼす影響

#### 4.1.1 実験概要

公衆無線LAN環境などのひとつのアクセスポイントに対し

て接続されるスマートフォン端末が多いと、通信効率が悪くなり通信速度が低下する [8]。そして通信速度が低下することにより、バッテリー消費が大きくなることが予想される。そこで、1つのアクセスポイントに多数台の端末が接続されている際の、接続台数と通信性能とバッテリー消費の関係を調査した。

具体的には、帯域測定ツール iperf を用いて 30 分間通信させ、バッテリーの変化、通信量を測定した。

#### 4.1.2 実験環境

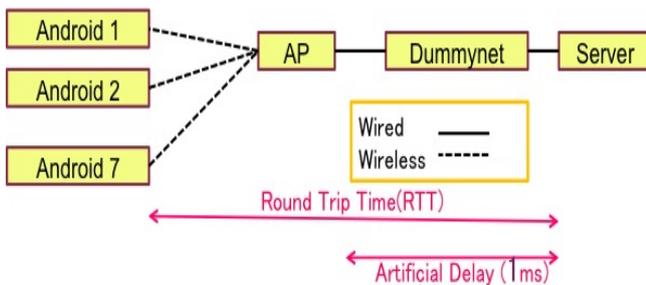


図2：実験環境

実験は図2で示す様にサーバ、ダミーネット(人口遅延装置)、アクセスポイントを有線で繋ぎ、Android 端末をアクセスポイントに接続させた。この時、Android 端末とアクセスポイントの距離は 30 cm 以内である。バッテリー残量、通信量を記録する事ができるように、カーネルにコードを加える改変を行った Android 端末を用い、表1で示した環境で実験を行った。スリープ状態になることを防ぐため、端末がスリープすることを防ぐ自作のアプリケーションを起動させ、その他の操作は一切行っていない。

表1：使用端末の仕様と実験環境

Android	Model number	Nexus S
	Firmware version	4.1.1
	Baseband version	19023XXKD1
	Kernel version	3.0.31-ai
	Build number	JRO03L
Server	OS	Ubuntu 14.04 (64bit)
	CPU	Intel(R) Core 2Quad CPU Q8400
	Main Memory	7.8GiB
AP	Model	MZK-MF300N (Planex)
	Communication system	IEEE 802.11g

#### 4.1.3 実験結果

Android 端末数を変化させた時のバッテリー消費量、1台あたりのデータ送信量、スループットを以下の表2に示す。表2より、アクセスポイントに接続されている Android 端末が多いほど、1台あたりのスループットとデータ送信量が少なく、1台あたりのバッテリーの減少も少なくなることがわかる。

表2：バッテリーの減少と通信量・通信速度

台数	バッテリーの変化	30分間の送信量	スループット
1	-14%	1.75 GBytes	8.36 Mbit / sec
3	-8%	1046 Mbytes	4.93 Mbit / sec
5	-7%	580.2 Mbytes	2.71 Mbit / sec
7	-6.23%	338.23 Mbytes	1.57 Mbit / sec

次に、送信量と消費電力の比に着目する。消費電力(バッテリー消費)1%あたりの送信量を表3に示す。表3より、端末3台時の消費電力量1%あたりの送信量は端末1台時の約1.02倍、端末5台時は端末1台時の約0.64倍、端末7台時は端末1台時の約0.42倍となっており、端末数が増加し過ぎると送信量と消費電力の比が悪化することが分かる。また各端末の通信速度の時間変化を確認したところ、端末数が多いほど特定の端末の通信速度が極端に低下する頻度が大きかった。

この結果より、ひとつのアクセスポイントに接続される端末数が多くなると、1台あたりの速度的な通信効率は低くなり、バッテリー消費あたりの送信量も減少することがわかった。

表3：消費電力1%あたりの送信量

台数	送信量
1	128 MBytes
3	130.75 MBytes
5	82.88 MBytes
7	54.29 MBytes

## 4.2 通信制御手法を用いた実験

### 4.2.1 実験概要

前節の実験結果より、ひとつのアクセスポイントに接続される Android 端末の台数が増加すると1台あたりの速度的な通信効率は低くなり、バッテリー1%消費あたりの送信量も減少することが確認できた。そこで、通信制御ミドルウェアを用いて通信中カーネルモニタを監視し、RTTの最適化を図る手法 [8][9]を導入することで、効率的な通信制御を行った場合のバッテリー消費と送信量、通信効率を考える。

### 4.2.2 実験環境

実験は図3で示す様に前章と同じ環境で行った。また、ダミーネットの遅延時間を256msとした。前節の実験と同様に、帯域測定ツール iperf を用いて30分間通信させ、バッテリーの変化、通信量を測定した。

前節より、アクセスポイントに接続される Android 端末が増加すると混雑が起きてしまい、本来の通信性能より遥かに悪い状態で通信を行っていることが明らかになった。これは、本来のパフォーマンスを発揮できずにバッテリーを無駄に消費してし

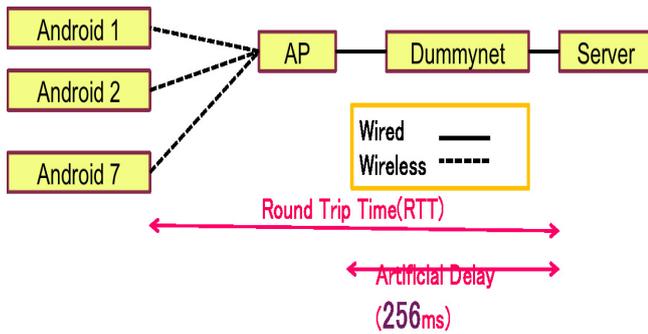


図3：実験環境

まっていると言える。そこで早川らの考案した、アクセスポイント周辺の混雑具合を判断し、各ノードのデータ送信がアグレッシブになり過ぎないように抑えてコントロールするための手法 [8][9] を取り入れた通信制御手法の適用時に、バッテリー消費と通信量、通信効率は改善されるのか調査する。

#### 4.2.3 実験結果

通信制御手法の有無が、Android 端末数を変化させた時のバッテリーの変化に影響を与え得るのかを表4に示す。表4より、通信制御手法の有無によってバッテリー消費に大きな違いができることはないと言える。また、台数が増えれば1台あたりのバッテリー消費は減少する傾向がどちらでも見られた。この結果より、通信制御手法はバッテリー消費に目に見える影響を与えないことがわかる。

表4：バッテリーの減少の比較

	通信制御手法あり	通信制御手法なし
1	- 10 %	- 11 %
3	- 8 %	- 8.33 %
5	- 7 %	- 7 %
7	- 7.14 %	- 6.14 %

次に、1台あたりのデータ送信量、スループットの平均を以下の表5に示す。表5より、通信制御手法適用時と非適用時はいずれの場合も、アクセスポイントに接続されているAndroid 端末が多いほど、1台あたりのスループットとデータ送信量が少なくなることがわかる。また、Android 端末が1台、3台のときは通信制御手法の適用による違いは見られなかったが、台数が5台、7台と増加すると通信制御手法の有効性が顕著に現れることがわかる。

表6で、Android 端末1台におけるバッテリー消費1%あたりの送信量を示す。5台の時は適用時の方が非適用時より2.18倍、7台の時2.81倍多くっており、通信制御手法を用いることによりバッテリー効率の改善が実現できていることがわかる。

表5：通信量・スループットの比較

		通信制御手法あり	通信制御手法なし
1	送信量	2234 MBytes	2078 MBytes
	スループット	10.4 Mbytes/sec	9.67 Mbytes/sec
3	送信量	769.07 MBytes	834.63 MBytes
	スループット	3.58Mbytes/sec	3.88 Mbytes/sec
5	送信量	343.88 MBytes	158 MBytes
	スループット	1.6 Mbytes/sec	0.71 Mbytes/sec
7	送信量	166.1 MBytes	50.8 MBytes
	スループット	772.86 Kbytes/sec	341.97Kbytes/sec

表6：1%あたりの送信量

	通信制御手法あり	通信制御手法なし
1	223.4 MBytes	188.91 MBytes
3	96.13 MBytes	100.2 Mbytes
5	49.13 MBytes	22.57 MBytes
7	23.26 MBytes	8.27 MBytes

また図4は30分間のデータ送信量の合計を表す。表4の送信量の欄では1台あたりのデータ送信量を示していたのに対し、図4では全ての端末のデータ送信量の総和である。つまり、3台時は3台、5台時は5台、7台時は7台全ての端末のデータ送信量の合計を示している。

図4より、通信制御手法を適用した場合、データ送信量の合計は5台時は1台の時の0.77倍、7台時は1台の時の0.52倍であるのに対し、通信制御手法の非適用時は、5台時は1台の時0.38倍、7台時は1台の時の0.16倍である。

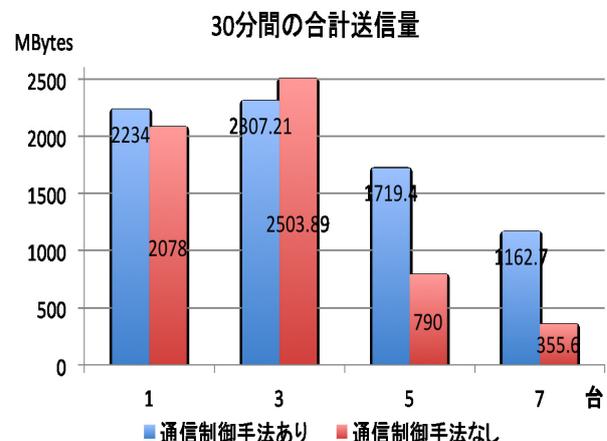


図4：合計送信量

次に、通信公平性について端末が3台のときを例に述べる。

図5は通信制御手法を適用時、図6は非適用時の各端末の5分毎のデータ送信量を表している。通信制御手法を適用した図5では、3台の端末が平等に帯域を分け合ってデータ送信をしていることが確認できる。しかし、非適用時では図6より特定の端末がアグレッシブに通信をしてしまい、公平性が保たれていないことがわかる。

よって通信制御手法により、多数台通信をする際の通信の公平性が保たれることが確認できた。

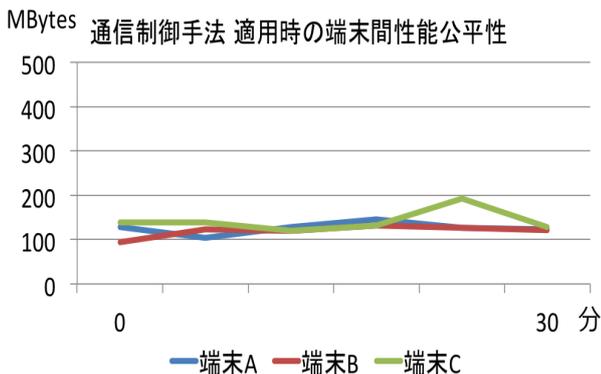


図5：通信制御手法適用時の通信公平性

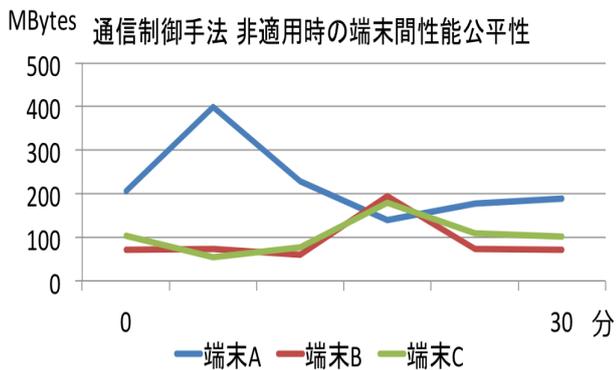


図6：通信制御手法非適用時の通信公平性

最後に、図7でAndroid端末数ごとの往復遅延時間の平均を示す。本実験ではダミーネットワークで片道で256msの遅延を発生させているため、アクセスポイントなどの待ち行列通信による遅延が全くない理想の往復遅延時間は512msである。

通信制御手法を適用した場合、往復遅延時間は端末数が3台の時は1台時の1.43倍、5台時は1台時の1.54倍、7台時は1台時の1.67倍と、緩やかに増加していることがわかる。一方、通信制御手法を適用しなかった場合、往復遅延時間は端末数が3台の時は1台時の1.37倍、5台時は1台時の1.64倍、7台時は1台時の2.5倍と、急激に増加していることが確認できた。このことより、通信制御手法によって端末数が増加した場合でも往復遅延時間を制御できていると言える。

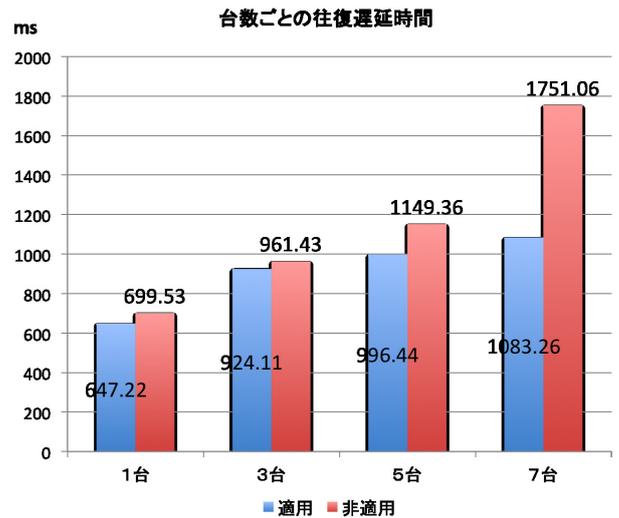


図7：通信制御手法の有無によるRTTの比較

以上、通信制御ミドルウェアを用いて通信中カーネルモニタを監視し、RTTの最適化を図る手法を導入した本実験によって、バッテリー消費には直接的な違いが見られなかったものの、データ通信量やスループットは大幅に改善され、単位バッテリー消費あたりの通信量は格段に上がることが確認できた。

### 4.3 物理的な距離の影響

#### 4.3.1 実験概要

先の2つの実験結果より、ひとつのアクセスポイントに接続されるAndroid端末の台数が増加すると1台あたりの速度的な通信効率は低くなり、バッテリー1%消費あたりの送信量も減少することが確認できた。また、RTTの最適化を図る通信制御手法を導入することで、効率的な通信制御が行われ、消費電力あたりのデータ送信量が改善された。

次に、Android端末とアクセスポイントの距離が遠くなると通信制御手法の有効性は保たれるのか、また、距離がバッテリー消費にどのような影響を与えるのかについて検証する。

#### 4.3.2 実験環境

実験は図8で示す様に前章と同じ環境で行った。また、Android端末とアクセスポイントの距離を10m離れた場合と30cmの場合とで比較をする。前節の実験と同様に、帯域測定ツールiperfを用いて30分間通信させ、バッテリーの変化、通信量を測定した。

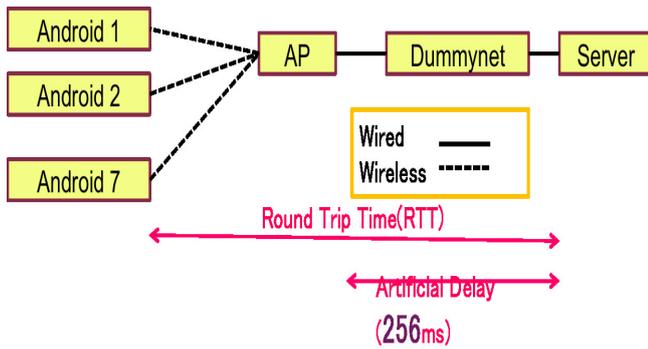


図 8：実験環境

### 4.3.3 実験結果

Android 端末とアクセスポイント間の距離が、バッテリー消費にどのような影響を与えるのかを図 9 で示す。図より、通信制御手法を適用しない場合は端末台数が増加するにつれて、距離に関係なくバッテリーの 1 台あたりの減少量は少なくなっている。一方通信制御手法を適用した場合は、距離が遠くなるとバッテリー消費が多くなることが確認できる。

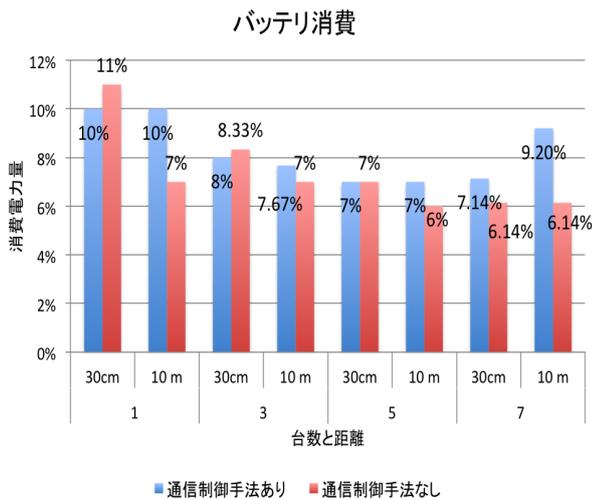


図 9：バッテリー消費

次に、送信量とスループットを図 10 で示す。Android 端末とアクセスポイントの距離が近い場合は、端末台数が増えても通信制御手法を適用することで用いない場合よりも効率の良い通信が行えていた。しかし、図より端末とアクセスポイントの距離が 10 m となった場合、端末台数が増加すると通信制御手法を適用しない方が効率の良い通信が行われていると明らかになった。

このことから、通信制御手法のパラメータを距離に応じて柔軟に変更しなくてはならないといえる。

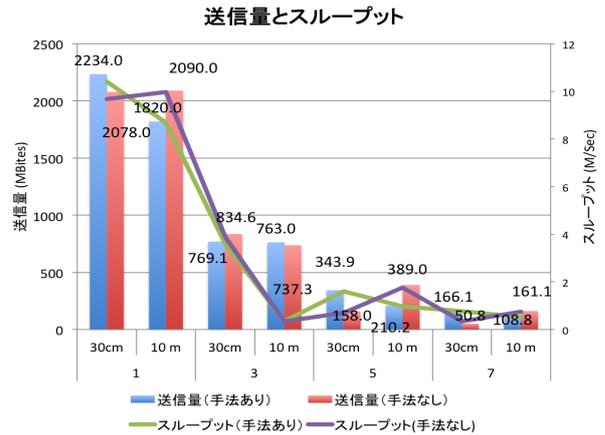


図 10：送信量とスループット

最後に、バッテリー消費 1%あたりのデータ送信量を図 11 で示す。図より、Android 端末とアクセスポイントが近い場合は、端末台数が多い時に通信制御手法の有効性が十分に発揮されている。しかし、端末とアクセスポイントの距離が遠くなると、通信制御手法を用いない方が通信の効率が良くなるのがわかる。

以上の結果より、最適な通信は環境に大きく依存することが明らかになった。また、いずれの場合も端末台数が増えると通信効率は悪くなることから、端末台数が多い時に効率的な通信を行うことでバッテリー消費を抑えるのが大切であると言える。

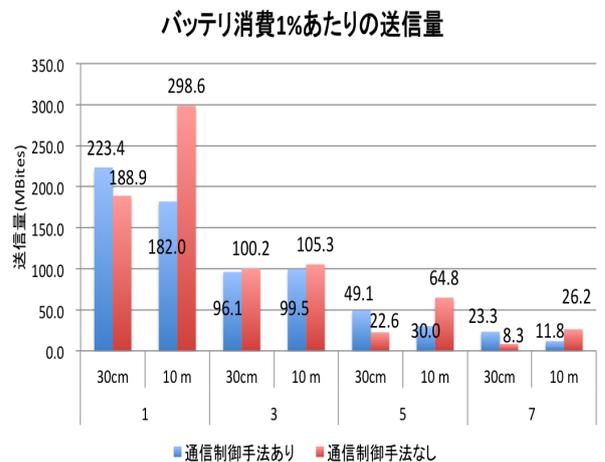


図 11：バッテリー消費 1%あたりの送信量

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、スマートフォンのバッテリー消費の原因として、通信による消費に着目した。アクセスポイントに接続されている端末台数が多いほど速度的な通信効率は下がることから、RTT 最適化を図った手法を用いて実験を行った。実験により、Android 端末とアクセスポイントの距離が近い時、台数が多い場合の通信効率を上げることができ、消費電力あたりのデータ送信量が大幅に改善された。しかしながら、端末とアクセスポ

イントの距離が遠くなると、通信制御手法を用いることがかえって悪影響を及ぼすこともある。以上のことから、通信状況に応じて柔軟に対策を行うことが必要である。

今後は効率のより良い通信方法を考えると同時に、端末台数が多い通信の効率を上げるために、パケットロスの現状を正しく解明していく予定である。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご強力賜りました株式会社 NTT DOCOMO の早川愛さんに深く感謝致します。

## 文 献

- [1] BCN:<http://www.bcnranking.jp/news/gallaery/1210/>
- [2] Android developers:<http://developer.android.com>
- [3] IDC : <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25037214>
- [4] 古庄 裕貴, 久住 憲嗣, 神山 剛, 稲村 浩, 中西 恒夫, 福田 晃, : Android アプリケーションの運用時消費電力分析, 電子情報通信学会, IEICE Technical Repor , SS2012 - 58, 2013 年 1 月
- [5] 井原 卓也, 田坂 和之, 大岸 智彦, 小花 貞夫: スマートフォンの Firefox OS と Android の 消費電流量に関する一考察, 情報処理学会第 76 回全国大会, 4W-3 900-908
- [6] Murmura, R., Medsger, Jeffrey, Stavrou, A., Voas, "Mobile Application and Device Power Usage Measurements," Software Security and Reliability (SERE), 2012 IEEE Sixth International Conference, pp. 147-156
- [7] Roy Friedman, Alex Kogan, " On Power and Throughput Tradeoffs of WiFi and Bluetooth in Smartphones," INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE, pp. 900-908
- [8] 早川愛, 山口実靖, 小口正人:無線 LAN-AP における TCP ACK パケット蓄積回避のための協調的輻輳制御手法の提案と実装, DEIM2015, C2-2,2015 年 3 月.
- [9] Ai Hayakawa, Saneyasu Yamaguchi , Masato Oguchi "Reducing the TCP ACK Packet Backlog at the WLAN Access Point , " IMCOM2015, 5-4, Bali, Indonesia, January 2015 900-908