

Android 端末におけるインストールアプリケーションと ブロードキャストインテント発行による電力消費に関する一考察

中村優太^{†1} 早川愛^{†2} 竹森敬祐^{†3} 半井明大^{†3} 小口正人^{†2} 山口実靖^{†1}

スマートフォンユーザの約7割がバッテリーの持続時間に不満を持っているとの報告があり、スマートフォンの消費電力の低減は重要な課題と言える。主要なスマートフォン OS である Android では、ブロードキャストインテントの発行を契機にアプリケーションが起動され通信などが行われ、電力が消費されることがある。しかし、インテントの発行や受信はシステムやアプリケーションが独自に行うため、電力消費に関する因果関係を統合的に理解することは困難である。本稿では、ブロードキャストインテント発行時の CPU 使用率、消費電力を計測し、インストールしたアプリケーション数、ブロードキャストインテントの発行、電力消費量、CPU 使用率の関係についての考察を行う。そして、インストールアプリケーション数の増加に伴いブロードキャストインテントの発行数が増加すること、多数のアプリケーションをインストール、設定している環境においてはブロードキャストインテントの発行時に消費される電力が大きいことを示す。

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット PC が普及し、それらの携帯端末で動作するソフトウェアプラットフォームとして Android OS が注目されている。Android OS の世界市場における 2013 年第 3 四半期のシェアは 81.9%に達しており[1]、Android OS は非常に重要なプラットフォームとなっている。また、スマートフォンの最大の課題は「バッテリーの持続時間である」との報告があり[2]、Android OS における消費電力の低減は非常に重要な課題であると考えられる。

Android OS は PC 用 OS である Linux を元に作成されており、Linux OS に類似した動作をする。すなわち、Android OS はマルチタスク OS であり常に複数のプロセスが常駐、動作している。また、指定時刻やイベント発生時にアプリケーションを起動させる仕組みが用意されており、多くのアプリケーションにおいてユーザが直接操作を行わなくても動作する機能が備わっている。これらのユーザの直接的操作を伴わないアプリケーションの起動により端末のバッテリーが消費されるが、これらの動作はインストールアプリケーションの数や種類に依存するため消費電力量の推定は困難であり、これらの消費電力の削減は容易には行うことができないと予想できる。

Android OS には指定時刻やイベント発生時にアプリケーションを起動させる仕組みとしてブロードキャストインテントというシステムが用意されており、後述のように多くのアプリケーションがこの仕組みを利用している。本稿では、ユーザ無操作時におけるブロードキャストインテント発行に起因する電力消費に着目し、その基礎調査結果を示す。具体的には、インストールアプリケーション数の変化によるブロードキャストインテント発行量の変化、ブロードキャストインテント発行時の資源(バッテリー、CPU、ネッ

トワーク)消費量の調査結果を示し、ブロードキャストインテント発行と電力消費の関係についての考察を行う。

2. ブロードキャストインテント

Android にはインテントと呼ばれる仕組みが用意されており、アプリケーション同士の連携やシステム-アプリケーション間の連携はインテントを用いて行われる。

インテントには明示的インテント、暗黙的インテント、ブロードキャストインテントがある。明示的インテントと暗黙的インテントは、ユーザがアプリケーション内のボタンをタップしたときなどに発行され、主にフォアグラウンドアプリケーションを別のアプリケーションに切り替えるときに使用される。

ブロードキャストインテントは Android システムやアプリケーションから全てのアプリケーションに対して放送型で発行され、各アプリケーションは自身が受信するブロードキャストインテントと当該インテント受信時に実行する処理を定義することができる。ブロードキャストインテントを受信登録しているアプリケーションをレシーバと呼び、本稿では受信の登録をレシーバ登録と呼ぶ。

Android OS には公式に定められているイベントと当該イベント発生時に発行されるブロードキャストインテントが定義されている。例えば OS 起動時には `BOOT_COMPLETED` インテントが発行され、バッテリー残量変化時には `BATTERY_CHANGED` インテントがシステム(`system_server` プロセス)により発行される。アプリケーション開発者がこれらイベントの発生時に行う処理を定義したい場合は、対応するインテントをレシーバ登録し、受信時の処理を実装する。

Android OS では、ユーザが直接的に端末を操作していない場合でも常時ブロードキャストインテントが発行されており(発行頻度は 4 章にて述べる)、これを契機に CPU 処理や通信などが行われ、結果として電力が消費されている。

^{†1} 工学院大学
Kogakuin University
^{†2} お茶の水女子大学
Ochanomizu University
^{†3} KDDI 研究所
KDDI Lab.

3. Android 端末の消費電力測定方法

Android 端末の消費電力を測定するために、図 1、図 2 の様に Android 端末(タブレット PC)とバッテリーを導線で繋ぎ、その間にマルチメータ(MAS-345)を配置した。タブレット PC と導線およびバッテリーと導線ははんだにより接続した。本稿の計測はすべてバッテリー残量が多い(80%以上)状態で行い、電圧は一定であり電流と電力が比例すると仮定して、電流の測定をもって消費電力の測定とした。

4. ブロードキャストインテント発行量とインテント レシーバ登録数

前述の通り、無操作時であってもブロードキャストインテントが発行され、それがアプリケーションによりレシーブされることによりアプリケーションが起動され電力が消費されることがある。本章にて、無操作時に発行されるブロードキャストインテントの数と、各インテントをレシーバ登録しているアプリケーションの数の調査結果を示す。

4.1 調査環境

調査は Nexus 7 (2013)で行い、端末の OS は Android4.4, CPU は Qualcomm Snapdragon S4 Pro 1.5GHz, メモリ 2GB である。OS にはブロードキャストインテントが発行されるたびに発行されたインテントの名前、発行プロセスの PID とプロセス名、発行時刻を記録するような修正が施されている。具体的には、framework/base/core/java/android/content/Intent.java 内の Intent メソッドにてインテント発行時に変数 mAction 値を記録するように修正されている。

実験には 2014 年 5 月 19 日の Google Play Store 無料アプリケーションランキング[3]の上位 200 件のアプリケーションを用いた。次節以降の“app0”は、追加でインストールしたアプリケーションが 0 個の標準状態(Android Open Source Project[4]にて配布されている OS に添付のアプリケーションのみがインストールされている状態)を表し、“app80”は標準状態に上位 80 件のアプリケーションをインストールした状態を、“app200”は上位 200 件をインストールした状態を表している。本論文の実験は“Not Login 状態”と“Login 状態”で行い、前者はアプリケーションをインストールしたのみで起動や初期設定していない状態、後者はアプリケーションをインストールし起動、初期設定(アカウント設定など)を行った状態である。なお、本論文の中で使用したランキング上位 80 件のアプリケーションのうち 6 個は実験環境に対応しておらず、Login 状態の実験においても初期設定をおこなわずインストールのみの状態で実験を行った。また、これらのアプリケーションの中にはホーム画面上にウィジェットとして配置できるものがあるが、本稿の実験ではすべてウィジェットの配置を行わない状況で測定を行っている。

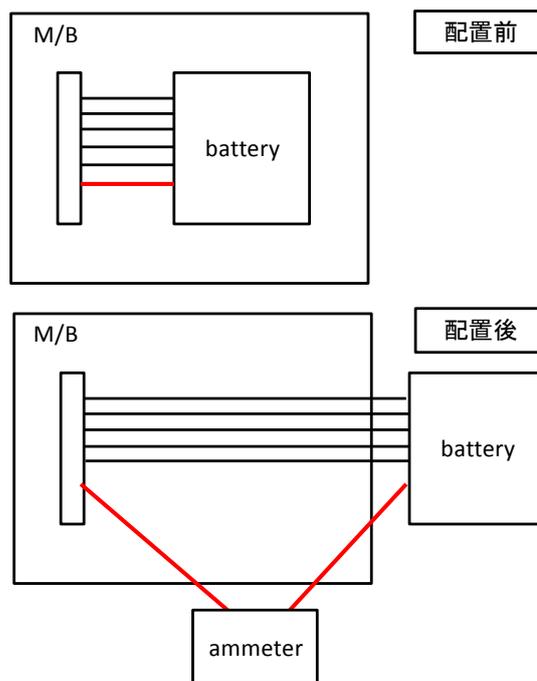


図 1 消費電力測定環境



図 2 電流計測用加工済端末

表 1 カテゴリの集約

集約後カテゴリ名	集約されたカテゴリ
音楽	音楽, 音楽&オーディオ
ゲーム	ロールプレイング, アクション, パズル, ストラテジー, アーケード, スポーツ, シミュレーション, カード, カジノ, アドベンチャー, レース
ニュース	エンタテインメント, ニュース&雑誌
ライフ	ライフスタイル, ショッピング, 健康&フィットネス
ユーティリティ	ビジネス, ツール, 仕事効率化, カスタマイズ

4.2 上位のアプリケーションの種類

インストールした上位 200 件のアプリケーションの Google Play Store のカテゴリによる分類は図 3 の通りであ

る。本カテゴリはアプリケーションアップロード者の申請によるものである。また、本カテゴリを我々の主観で集約した結果を図 3 に示す。集約方法は表 1 の通りである。

図 3 より、本論文で使用したアプリケーションにはゲームが多いことが分かる。

4.3 ブロードキャストインテント発行量

インストールアプリケーション数とブロードキャストインテントの発行量の関係を調査するために、Android 端末を無操作状態で 24 時間稼働させブロードキャストインテントの発行量を測定した。

測定結果を図 4 に示す。発行 intent 数とは 4.1 節の Intent メソッドの呼び出し回数である。測定結果より、発行されるブロードキャストインテントの数はアプリケーションをインストールするだけで増加し、初期設定を行うと飛躍的に増加することがわかる。

発行されたインテントの割合を図 5 に示す。図より、いずれの場合においても TIME_TICK が多いことがわかる。各インテントの説明は付録で紹介する。また、app80_Login においてはアプリケーション固有のインテントの発行も多数見られることがわかる。図内の“null”は 4.1 節の mAction 変数が null であったものである。

4.4 ブロードキャストインテントレシーバ登録数

次に、インテントのアプリケーションによるレシーバ登録数の調査結果を述べる。調査は、アプリケーションの仕様を記述した Android Manifest ファイルを解析し、当ファイルにてレシーバ登録を行っているアプリケーションの数を数えることにより行った。表 2 に Google Play Store 無料アプリケーションランキングの上位 80 位と 200 位のレシーバ登録されているブロードキャストインテント登録数の上位 6 件を示す。

表より、多くのアプリケーションによりレシーバ登録されるインテントはアプリケーション数を変更しても大きくは変わらず、c2dm.RECEIVE や INSTALL_REFERRER が特に多いことがわかる。

5. インテント発行時の消費電力と CPU 使用率

本章にてインテント発行時の消費電力と CPU 使用率の測定実験結果を示す。

5.1 測定方法

am コマンドを用いてインテントを 1 秒に 1 回発行し、その時の消費電力と CPU 使用率を調査した。1 発行に 0.3 秒かかるインテントの例では発行と発行の間に 0.7 秒の sleep を行うことになる。1 発行に 1 秒以上かかるものに関しては発行回数が 1 秒に 1 回以下となっている。例えば 1 発行に 2 秒かかるインテントについては発行回数が半分となる。発行と測定は 1800 秒間を行い、その間の消費電力と CPU 使用率を集計した。測定で発行したインテントは表 2 にお

表 2 ブロードキャストインテントレシーバ登録数

app80	
登録数	インテント名
46	c2dm.RECEIVE
46	INSTALL_REFERRER
19	BOOT_COMPLETED
15	APPWIDGET_UPDATE
14	IN_APP_NOTIFY
14	VIEW
app200	
登録数	インテント名
104	INSTALL_REFERRER
99	c2dm.RECEIVE
53	BOOT_COMPLETED
35	VIEW
34	IN_APP_NOTIFY
28	APPWIDGET_UPDATE

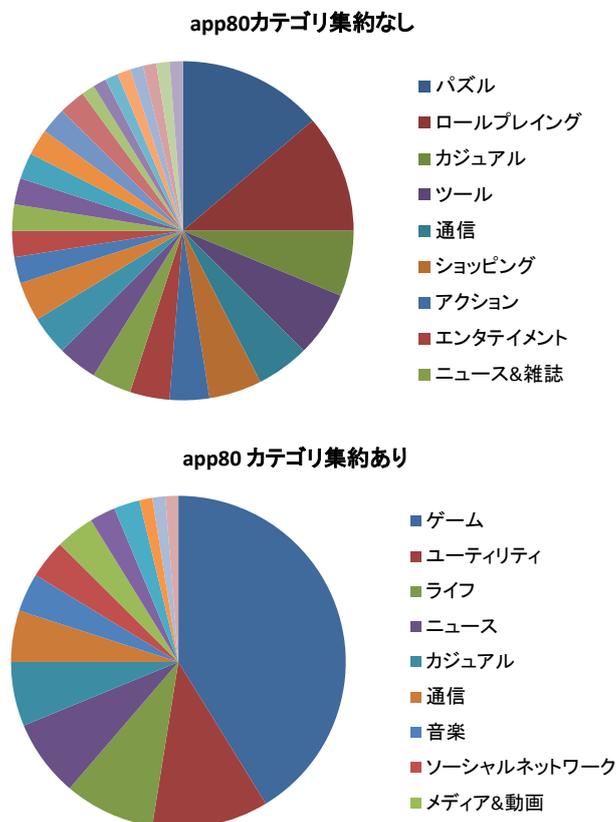


図 3 インストールアプリケーションのカテゴリ

いてレシーバ登録数が多い上位 6 件である。ただし、BOOT_COMPLETED を am コマンドを用いて発行すると端末が再起動するため、本論文では測定対象から除外してある。同様に、c2dm.RECEIVE を am コマンドより発行すると Google Play にエラーが発生するため除外してある。また、次節以降の図中の「No_Intent」はインテントの発行を行わない状況での測定である。「Dummy」は、私たちが定義し

た一般に使用されていないダミーIntentを発行させた実験であり、レシーバ数が0のIntentを発行した場合に消費される電力の計測を目的としている。

5.2 Intent発行時の消費電力

3章の手法を用いてIntent発行時の電流を計測した。測定結果を図6に示す。図より、特定のIntent (APPWIDGET_UPDATE や INSTALL_REFERRER) に関してはその発行が多く電力消費に繋がっていることがわかる。これら発行時の電流は、Intentを発行しなかったときの電流の約4倍となっている。アプリケーションの初期設定を行わなかった場合と、アプリケーションの初期設定を行った場合を比較すると、発行するIntentが同一でも消費する電力が大きく異なることがわかる。発行するIntentの違いに着目すると、Intentの種類により消費される電力に大きな違いがあることがわかる。また、ダミーIntentを発行した場合に流れる電流がIntentを発行しなかった場合に流れる電流より大きいことから、Intentの発行が消費電力に影響を与えることがわかる。

5.3 Intent発行時のCPU使用率

Intent発行時のCPU使用率の測定結果を図7に示す。図より、Intentを発行しなかった No Intent よりもIntentを発行した場合の方がCPU使用率が高いことが分かる。これらのCPU使用率の上昇が、前節の消費電力の増加の大きな原因の一つとなっていると考えられる。また、初期設定を行った Login 状態においては発行するIntentによりCPU使用率が変わり、特にAPPWIDGET_UPDATE と INSTALL_REFERRER でCPU使用率は大きく上昇していることがわかる。

6. ブロードキャストIntent発行時の通信量

本章でブロードキャストIntent発行時の通信量の測定結果について述べる。

6.1 測定方法

ブロードキャストIntentを連続的に(sleep 処理を行わずに)発行し、24時間無操作状態にした時の通信量を測定した。実験は6月23日から27日まで間の24時間で行い、実験日はすべて平日となっている。測定時間を24時間とすることで、指定時刻に通信を行うアプリケーションを内包していた場合でも公平な評価を行えると期待できる。測定では4章のレシーバ登録数の上位のIntentを使用した。

6.2 ブロードキャストIntent発行時の通信量

ブロードキャストIntent発行時の通信量を図8に示す。図より、ブロードキャストIntentの発行により通信量が増加することがわかる。特にIN_APP_NOTIFY 発行時の通信量の増加が大きく、これらの通信量の増加も電力消費の大きな原因の一つになっていると考えられる。

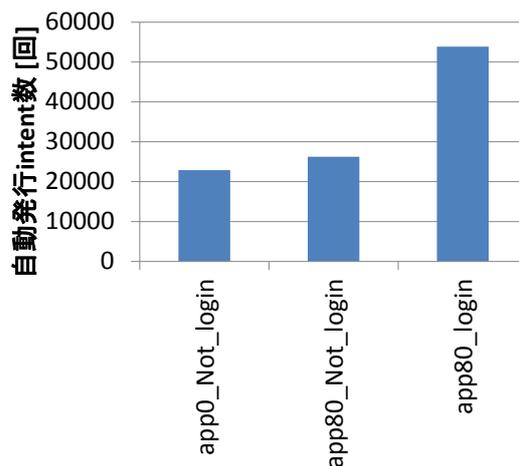


図4 ブロードキャストIntentの発行量

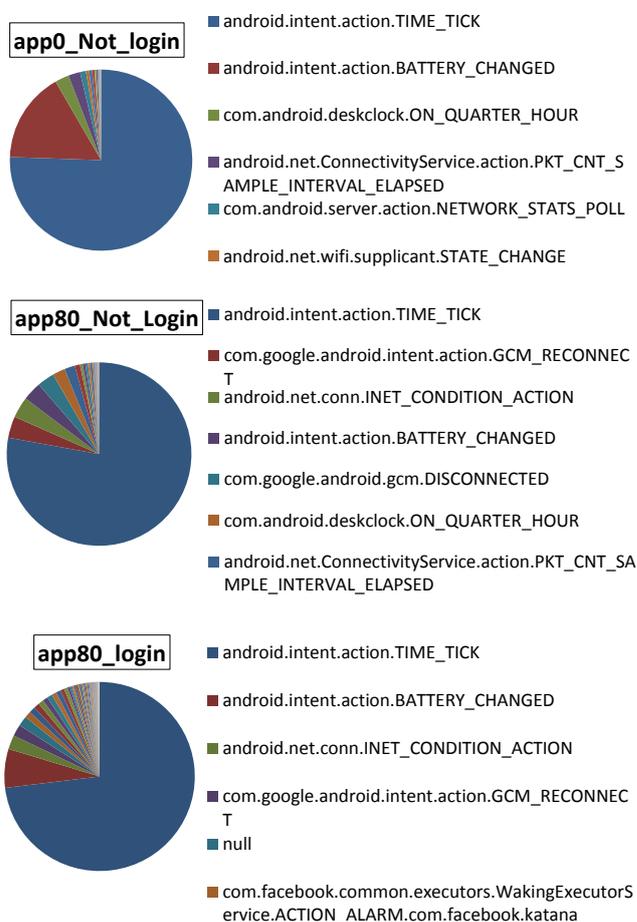


図5 発行されたIntentの種類

7. 関連研究

スマートフォンやAndroid端末の消費電力の調査に関して、以下の様な研究がある。Carrollらは携帯電話機の各構成要素に流れる電流を調査している[5]。彼らは各コンポーネントの電源供給線に検出抵抗器(sense resistor)を挿入して電流を計測し、コンポーネントごとの電流計測を実現している。そして、電力消費モデルを開発し、使用方法ごと

の電力消費の解析を行っている。また、CPU クロック周波数の動的制御の消費電力への影響についての解析を行っている。Zhuang らは位置情報を用いるアプリケーションに着目し、位置情報処理による大きな電力消費を指摘している[6]。また、適応型位置情報取得フレームワークによる省電力削減を提案しており、彼らの手法により GPS の使用率の低減やバッテリー持続時間の拡大が可能であることを示している。Kolin Paul らは Android 仮想マシンと通常の Java 仮想マシンの性能を比較し、消費電力に関する考察を行っている[7]。Rahul Murmuria らは Android 端末の様々なデバイス、機能による消費電力の調査を行い、ディスプレイや Wi-Fi などの機能ごとの消費電力を明らかにしている[8]。文献[9]にて、クランプメータを用いた Android スマートフォンの消費電力計測方法が示され、アプリケーション実装手法と消費電力の関係、CPU クロック周波数と消費電力の関係が示されている。また、CPU クロック周波数をアプリケーションが要求する性能にあわせて調整し不要な電力消費を抑制する手法が提案されている。文献[10]にて、電力消費が特に大きい装置であるディスプレイに着目し、RGB 値の制御による省電力手法が提案されている。これらの研究では、ユーザやアプリケーションによる資源要求量は既与であると仮定し、資源要求量決定後の装置による消費電力量の見積もりや削減に関する手法を行っている。しかし、資源消費の原因に関する考察は行っておらず、本研究とは目的が異なっている。ブロードキャストインテントの発行に起因する通信や電力消費に関する研究としては、以下のものがある。小西らは、ブロードキャストインテントを用いた定時実行機構により大域的な同時通信が発生することを指摘している[11]。そして、バックグラウンドタスクの実行タイミングの制御による、端末内における複数のバックグラウンドタスクの同時実行や、端末間での実行タイミングの分散を実現し、省電力や通信集中の回避を実現している。当該研究では端末内のアプリケーションの状況とブロードキャストインテント発行による電力の関係の調査などは行われておらず、本稿とは研究趣旨が異なっている。文献[12]にて、ブロードキャストインテント発行による通信量の増加の調査や、それによる消費電力増加に関する考察が行われている。しかし、電流の調査などは行われていない。

8. 考察

ダミーインテントの発行により電流と CPU 使用率が上昇することから、ブロードキャストインテントの発行処理そのものが端末に負荷を与えていることがわかる。よって、ブロードキャストインテントを多く発行するアプリケーションのインストールはそのインテントの種類やレシーバに依らず電力消費の増大に繋がると予想される。

また、図 6 より多数のアプリケーションがログイン済み

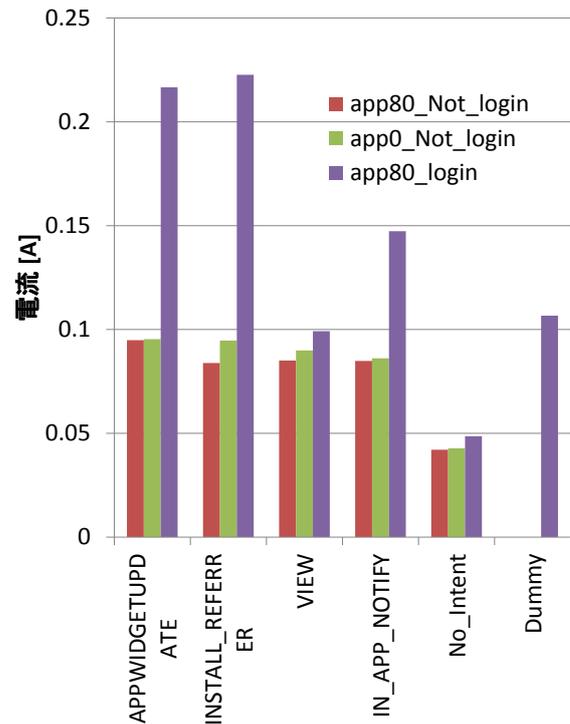
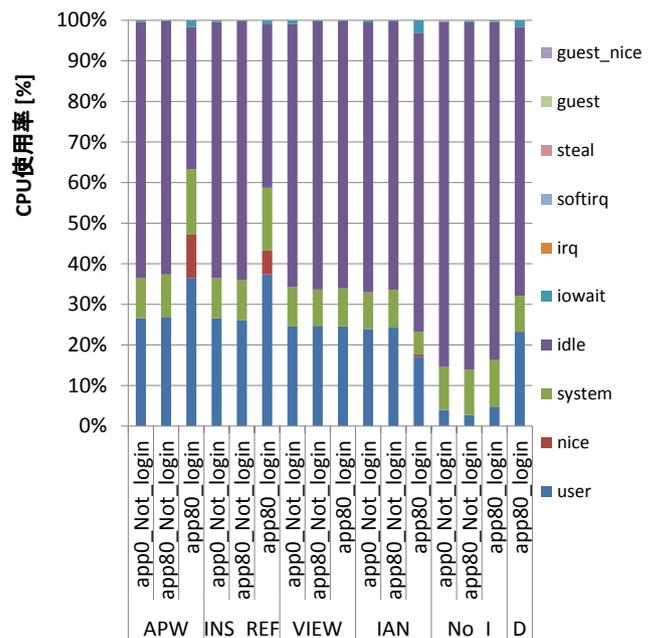


図 6 電流測定結果



グラフ中のラベルは以下の通りである。

APW:APPWIDGET_UPDATE INS_REF:INSTALL_REFERRER
 IAN:IN_APP_NOTIFY No_I:No_Intent
 D:Dummy

図 7 インテント発行時の CPU 使用率測定結果

の状態となっている端末においては、APPWIDGET_UPDATE や INSTALL_REFERRER や IN_APP_NOTIFY の発行が大きな電力消費に繋がることがわかる。これに図 7, 図 8 をあわせみると、APPWIDGET_UPDATE や INSTALL_REFERRER の例では

発行により多くの CPU 資源が消費され電力が増加していることが分かり、IN_APP_NOTIFY の例では通信量が増加して電力が消費されていることが分かる。これらの考察から、APPWIDGET_UPDATE や INSTALL_REFERRER に起因する電力消費を削減させたい場合はユーザが CPU クロック周波数を下げるなどの対策を行うことが考えられ、IN_APP_NOTIFY に起因する電力消費を削減させたい場合は Wi-Fi スポットを積極的に使用するなどの対策を行うことが考えられる。

9. まとめ

本稿では、Android OS におけるブロードキャストインテント発行時の消費電力に着目し、ユーザの直接的操作に起因しない電力消費に関する考察を行った。発行インテント数やブロードキャストインテント発行時の消費電力を調査したところ、インストールアプリケーション数の増加やアプリケーションの初期設定により発行されるブロードキャストインテントの数が増加することが分かり、省電力は端末の使用状況に依存することがわかった。また、特定のインテントに関しては、その発行が大きな電力消費につながることが確認された。今後は、端末のアプリケーションインストール状況を考慮した電力消費量推定に関する考察を行っていく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24300034, 25280022, 26730040 の助成を受けたものである。

参考文献

- Gartner
<http://www.gartner.com/newsroom/id/2623415>
- BCN
http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK2600W_W3A320C1000000/
- 無料トップ Android アプリ
https://play.google.com/store/apps/collection/topselling_free
- Android Open Source Project:
<https://source.android.com/>
- Aaron Carroll, Gernot Heiser, "An analysis of power consumption in a smartphone," USENIXATC'10 Proceedings of the 2010 USENIX conference on USENIX annual technical conference, 21-21, 2010.
- Zhenyun Zhuang, Kyu-Han Kim, Jatinder Pal Singh, "Improving energy efficiency of location sensing on smartphones," MobiSys '10 Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services, 315-330, 2010.
- Kolin Paul, Tapas Kumar Kundu, "Android on Mobile Devices: An Energy Perspective," 10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology, 2010.
- Rahul Murmura, Jeffrey Medsger, Angelos Stavrou, Jeffery M. Voas, "Mobile Application and Device Power Usage Measurements", Energy aware self-adaptation in mobile systems, USA, 2013

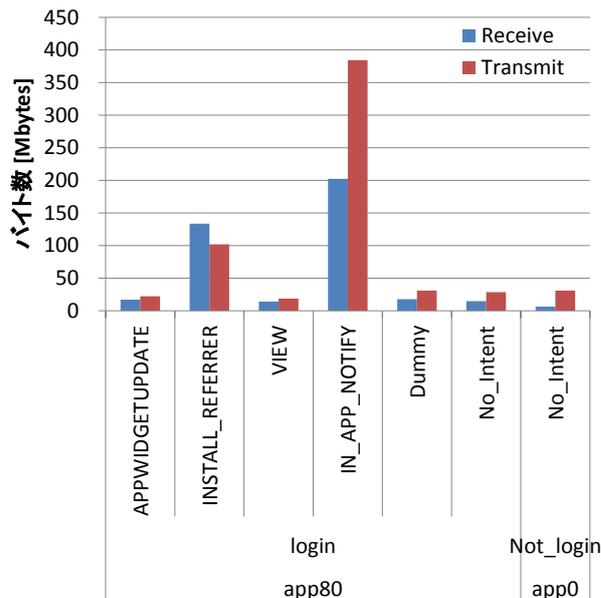


図 8 ブロードキャストインテント発行時の通信量

- Nagata Kyosuke, Saneyasu Yamaguchi, Hisato Ogawa, "A Power Saving Method with Consideration of Performance in Android Terminals," The 9th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (IEEE ATC 2012), ATC7-3, 2012
- 坂本 寛和, 中村 優太, 野村 駿, 濱中 真太郎, 山口 実靖, "RGB 値制御による Android 端末におけるディスプレイによる消費電力の低減", 第 10 回コンシューマ・デバイス&システム(CDS)研究発表会, CDS10-6, 2014
- 小西 哲平, 稲村 浩, 川崎 仁嗣, 神山 剛, 大久保 信三, 太田 賢, "画面オフ状態におけるバックグラウンドタスク同時実行による Android 端末の省電力化", 情報処理学会論文誌, 55 巻, 2 号, pp. 587 - 597, 2014.
- 早川 愛, 磯村 美友, 竹森 敬祐, 山口 実靖, 小口 正人, "Android 端末省電力化のためのブロードキャストインテント情報の調査", マルチメディア、分散、協調とモバイル DICOMO2014 シンポジウム, pp. 1461-1468, 2014

付録

ブロードキャストインテントの紹介

表 3 にて本稿で記載したブロードキャストインテントを紹介する。

表 3 ブロードキャストインテント一覧

ブロードキャストインテント名	機能
INSTALL_REFERRER	Android Market アプリを経由してインストールされたことを通知する
BOOT_COMPLETED	システムの起動が完了したことを通知する
APPWIDGET_UPDATE	ウィジェットを更新する時間の場合に通知する。
IN_APP_NOTIFY	アプリケーション内課金の状態変更を示す。
VIEW	ユーザにデータを表示する汎用的なインテント
TIME_TICK	現在時刻の変更を毎分伝える。