

Android 端末省電力化に向けたブロードキャストインテント発行とアプリケーションの因果関係の評価

早川 愛[†] 半井 明大^{††} 竹森 敬祐^{††} 山口 実靖^{†††} 小口 正人[†]

[†] お茶の水女子大学

^{††} KDDI 研究所

^{†††} 工学院大学

あらまし 近年スマートフォン端末が爆発的に普及し、その消費電力の低減は非常に重要な課題の一つとなっている。スマートフォン端末におけるバッテリー消費の原因として、主に「ディスプレイ」、「通信機能」、「CPU 使用率」の三点があげられるが、これら三点の主要因すべてに深くリンクしているのがアプリケーションであり、端末のバッテリー消費に大きな影響を与えていると考えられる。本研究では、Android アプリケーション特有のブロードキャストインテントに着目し、それによって誘発されるアプリケーションの振舞いや連鎖状況を詳しく解析することで、端末のバッテリー消費を削減することを目的とする。アプリケーション、ブロードキャストインテント、電池消費の因果関係を明らかにしていくことで、最終的に Android 端末の電池消費削減を目指した検討を行う。

An Evaluation of Causal Association between the Issue of Broadcast-Intent and Applications for the Sake of Electric Power Saving of Android Terminals

Ai HAYAKAWA[†], Akihiro NAKARAI^{††}, Keisuke TAKEMORI^{††}, Saneyasu

YAMAGUCHI^{†††}, and Masato OGUCHI[†]

[†] Ochanomizu University

^{††} KDDI Labs

^{†††} Kogakuin University

1. はじめに

近年スマートフォン端末が爆発的に普及し、その消費電力の低減は非常に重要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]。スマートフォン端末におけるバッテリー消費の原因は主に「ディスプレイ」、「通信機能」、「CPU への負荷」の三点がある [2]。例えば「ディスプレイ」では、画面の輝度を下げたりバックライトを暗くすること、「通信機能」では、Bluetooth や GPS などを使用していない時にはオフにしたり、Wi-Fi エリ

アでは LTE ではなくなるべく Wi-Fi を使用すること、さらに「CPU への負荷」では、Root 権限を持つ端末にのみ有効だが、CPU をアンダークロックするなどといったように、それぞれの要因において電力消費削減の対策が考えられている。それに対して、これら三点の主要因すべてに深くリンクしていると考えられるのがアプリケーションである。アプリケーションは、スマートフォンを利用する上では欠かせないものであり、ほぼすべてのスマートフォンユーザが何かしらのアプリケーションを各個人の判断でダウンロードし、端末をカスタマイズして用いていると言える。さらに近年では、ハードウェアの

制限なくアプリケーションを開発できてしまうため、他のプロセスに画面が切り替わっても終了せずに動き続けるといった、バックグラウンドで動作可能なアプリケーションが多く存在する。よってアプリケーションは、その種類に依存するものの、電力消費には大きな相関関係があると考えられ、アプリケーション側を考慮することでハードウェアに依存せずに、バッテリー消費削減について検討を行うことができる。

さらに本研究では、Android アプリケーション特有の機能であるブロードキャストインテントの振舞いに着目した。ブロードキャストインテントは、例えば、ACTION_TIME_TICK(現在時刻が変わった) や、ACTION_BATTERY_CHANGED(バッテリー状態が変化した) などのイベントが発生した時に、主にシステムが発行するものであり、登録されている任意の複数のレシーバが受信し、各々の処理を実行させるものである。つまりこのブロードキャストインテントは、端末がスリープに入っている時にも発行されることから、ユーザだけでなくアプリケーションでさえも意図せず発行している可能性があると考えられる。以上より、ブロードキャストインテントの振舞いと端末のバッテリー消費には何かしらの因果関係があると思予想できる。

本研究では、Android 端末のバッテリー消費削減を目指して、その要因だと考えられるブロードキャストインテントとアプリケーションの連鎖状況やそれぞれの挙動を詳しく解析していくことで、ブロードキャストインテントと電力消費の相関関係を明らかにすることを研究目的とする。それによって、アプリマーケットの審査基準において、電力消費に影響を与える可能性のあるアプリケーションにフィルターをかけることができたり、アプリ開発者にコードの書き方や挙動に何かしらのルールを提示することができる。さらにそれらの解析情報を用いて、実際にアプリケーションを利用するユーザに対してインストール済みのアプリケーションのバッテリー消費を診断するようなツールを提供することも将来的には可能であると考えられる。

第2節と第3節では、Android とブロードキャストインテントについて説明し、第4節において、実環境において発行されているブロードキャストインテントの調査結果、第5節において、各ブロードキャストインテントのレシーバ登録数の調査結果をそれぞれ示す。次に、第6節と第7節では、各ブロードキャストインテントを意図的に発行させた時の端末の CPU 使用率と通信量を測定し、さらに第8節では大きな影響を与えうるブロードキャストインテントとバッテリー消費量の関係を調査した。最後に第9節において、考察と課題を述べる。

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。また、2013 年において全世界のスマートフォン OS の中でも 78.9%とトップシェアを占めている [3]。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 [4]。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。さらに Android は、無償で提供される開発環境において構築することができ、オープンソースである点からも対応アプリケーションが開発しやすく数も増えるというメリットがある。また Android はキャリア間の制約がないため、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 ユーザからインストールが可能となる。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。

Android マーケットの存在により、ユーザから見てもアプリケーションの入手は容易である。Dalvik 実行形式のバイトコードの状態配布されているため、必要なアプリケーションをインストールして、スマートフォンを自由にカスタマイズできる。広告から収益を得ることによりアプリケーション自体は無償で提供されているものも多く、気軽にインストールして利用できる。

よって本研究では、数あるスマートフォン OS の中でも、これらのサービスを提供するシステムプラットフォームとしての 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. ブロードキャストインテント

本研究では、端末のバッテリー消費の要因として、アプリケーションや OS が発行するインテントに着目した。インテントとは、Android 特有の仕組みで、アプリケーションの中の一つ一つの機能、例えばアプリケーション同士やアプリケーションとウィジェット、アプリケーションとシステムなどを橋渡しするものである。インテントには、明示的インテント、暗黙的インテント、そしてブロー

ドキャストインテントの三種類が存在する。明示的インテントと暗黙的インテントは、主に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、次の特定のアクティビティが受信することで画面が遷移するものである。それに対して、ブロードキャストインテントは、例えば、ACTION_TIME_TICK(現在時刻が変化)や、ACTION_BATTERY_CHANGED(バッテリー状態が変化)などのイベントが発生した時に、主にシステムが発行するものであり、登録されている任意の複数のレシーバが受信し、各々の処理を実行させるものである。

つまりこのブロードキャストインテントは、端末がスリープに入っている時にも発行されることから、ユーザだけでなくアプリケーションでさえも意図せず発行している可能性があると考えられる。よって、本研究ではブロードキャストインテントと電力消費に因果関係があると予想した。

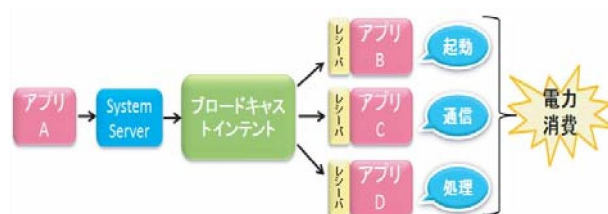


図1 アプリケーション、ブロードキャストインテント、電力消費の因果関係

図1において、本研究で検討を行うアプリケーションとブロードキャストインテントと電池消費の因果関係を説明する。まず、アプリAがトリガーとなって、あるブロードキャストインテントが発行されるとする。次にそのブロードキャストインテントをレシーバ登録しているアプリB、アプリC、アプリDが存在すると仮定すると、それらのアプリがそのブロードキャストインテントを受信したことで、起動したり通信を始めたたり、ディスク書き込みや各々の処理を実行することになる。そしてこれが結果的に端末の電力消費につながるという構図である。

またこのように、あるアプリケーションやブロードキャストインテントがきっかけとなって、ある時間に通信が集中してしまうなどという問題に対処している研究[5]も行われている。しかしながら、図1の中でも左側の、アプリケーションとブロードキャストインテント、レシーバの関係についてはまだ明らかになっていないことが多いため、これらの関係を深く解析していくことは大変興味深く有意義であると考えられる。

以上のことから本研究では、OS側から発行されるブロードキャストインテントを取得し解析を行うことで、これらの因果関係についてさらに詳しく検討していく。

4. 各環境におけるブロードキャストインテントの発行数の調査

本節では、実環境においてどのようなブロードキャストインテントが発行させるかの調査を行う。

4.1 解析方法

Android4.0.3を対象にOSのソースコード内にデバッグメッセージを入れ、解析を行う。具体的には、"framework/base/core/java/android/content/Intent.java"において関数の中にデバッグメッセージを挿入し、発行されたブロードキャストインテントが入っている変数mActionを取得する。このようにブロードキャストインテントを取得できるように改変した後、ソースコードを再コンパイルし、Android実機に導入する。そして実機において、このデバッグメッセージをAndroidのShell上でLogcatにより表示させることで、測定期間内にどのインテントが何回発行されたかを解析する。

4.2 調査環境

ハードウェアが同じ場合でも、その端末にインストールされているアプリケーションや通信状況によってバッテリー消費量も変化する。さらに、Wi-Fi通信時におけるアプリケーションごとの単位時間あたりのバッテリー消費量や発行されるブロードキャストインテントの種類も異なるということはすでに確認済みである[6]。本稿では、さまざまなアプリの中でもSNSやメール・ブラウザなどのいわゆる「アプリケーション」と呼ばれるものと、ホーム画面に常駐しニュースや天気の情報を受信して画面に描画する「ウィジェット」によって振舞いが異なることを想定し、これらを分けて測定を行った。

また、よりユーザの実利用環境に近づけるために、Android端末にSIMカードを挿入しLTE通信をさせ、さらに条件に端末の操作と移動を加えた各環境において、どのようなブロードキャストインテントが多く発行されているかを調査した。表1に端末の操作と移動の有無に関する評価条件を示す。端末にアプリケーション10個をインストールした場合(ア～エ)と、ウィジェット10個をインストールした場合(オ～ク)の2通りを用いた。

表1 評価条件

		操作	移動
アプリケーション	ア	無	無
	イ	有	無
	ウ	無	有
	エ	有	有
ウィジェット	オ	無	無
	カ	有	無
	キ	無	有
	ク	有	有

4.3 測定結果

図2, 図3に取得したブロードキャストインテントの一覧を示す。BATTERY_CHANGEDやTIME_TICK, SIG_STR(信号の強さが変化), ANY_DATA_STATE(データの接続状況が変化), CONNECTIVITY_CHANGE(ネットワークの状態が変化)などが評価条件に関わらず比較的多く発行されていることが分かる。さらに, SCREEN_ON(画面の電源が入れた), SCREEN_OFF(画面の電源が切れた)や各アプリケーションのアップデートに関連するインテントは無操作時に比べて操作時の方が発行数が多い傾向にあることがわかった。移動性においては操作性ほどははっきりとした傾向は見られなかったが, アプリケーションにおいては,「エ」の操作時+移動時における総発行数が最も多い。また, 全体的にアプリケーションよりもウィジェットの方が発行されるブロードキャストインテントが少ないことが分かった

5. レシーバ登録数の調査

次に, これらのブロードキャストインテントのレシーバ登録数について調査を行った。

レシーバ登録数を調べる方法は二種類あり, 一つ目は実際のアプリのコード内に書かれている内容を見ること, 二つ目は, Android Manifest に書かれている内容を見ることである。前者は, オープンソースのアプリケーションでない限り調査することは困難であるので, 本研究では後者の手法においてのみ解析を行った。

まず, Google Play Store [7] から, ランキング上位のアプリケーションとウィジェットを任意で各 100 個ずつインストールし, apk ファイルをアンジップする。さらに, ファイル内の Android Manifest をバイナリファイル形式からテキストファイル形式に変換し解析を行い, レシーバに登録されているブロードキャストインテントをトラッキングする。

図4, 5は, アプリケーションとウィジェットの各 100 個のうち, レシーバ登録されているブロードキャストインテントの上位 20 位までを示したものである。

アプリケーションとウィジェットに共通して多く登録されていたのは, BOOT_COMPLETED(システムの起動が完了), APPWIDGET_UPDATE(ウィジェットの情報が更新)とINSTALL_REFERRER(アプリをインストールした時に送出)である。この他にも, c2dm.RECEIVE(クラウドから情報を受信)やc2dm.REGISTRATION(クラウドへアカウント情報を登録)などのクラウドと通信を行うものも比較的多く登録されている。第3節で述べたように, これらのレシーバ登録されたインテントが発行されると, それを受け取ったアプリケーションなどが何らかの動作を行い電池消費に繋がると考えられる。

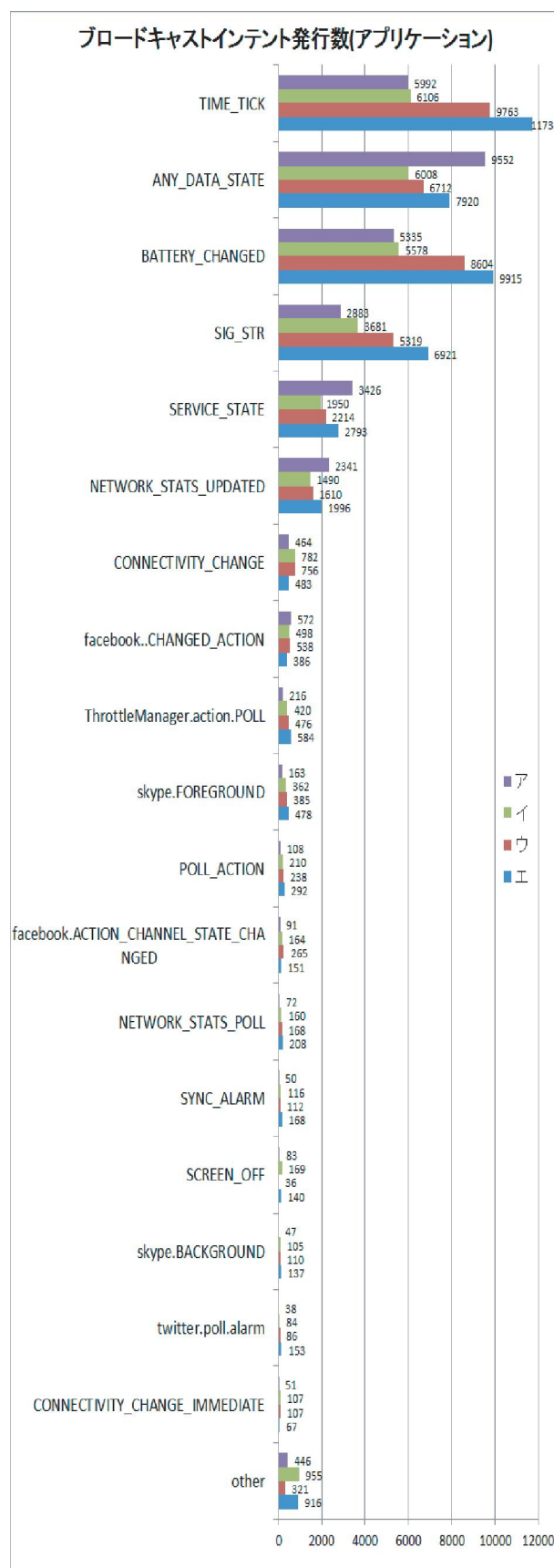


図2 ブロードキャストインテント発行数 (アプリケーション)

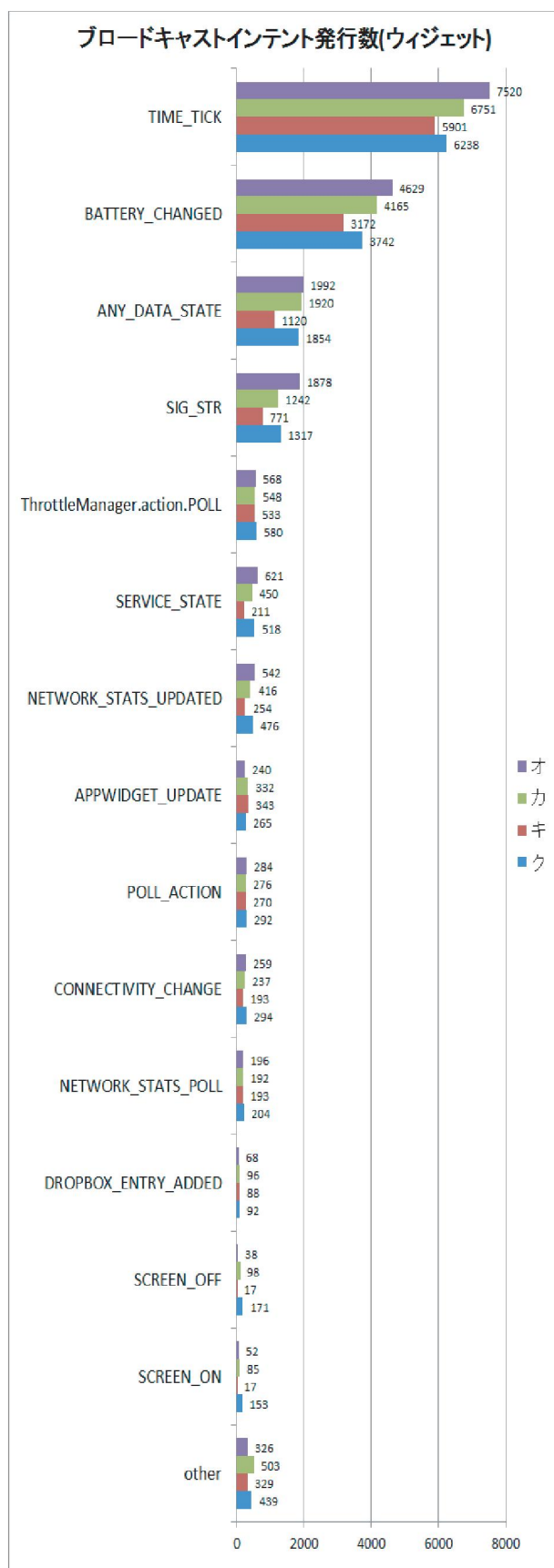


図 3 ブロードキャストインテント発行数 (ウィジェット)

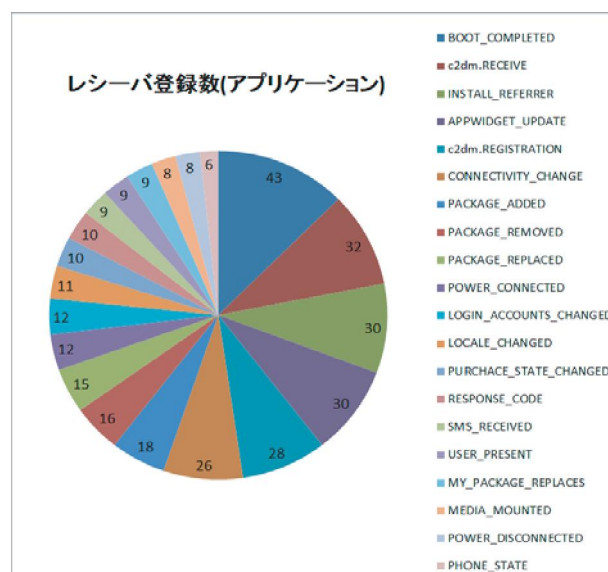


図 4 レシーバ登録数 (アプリケーション)

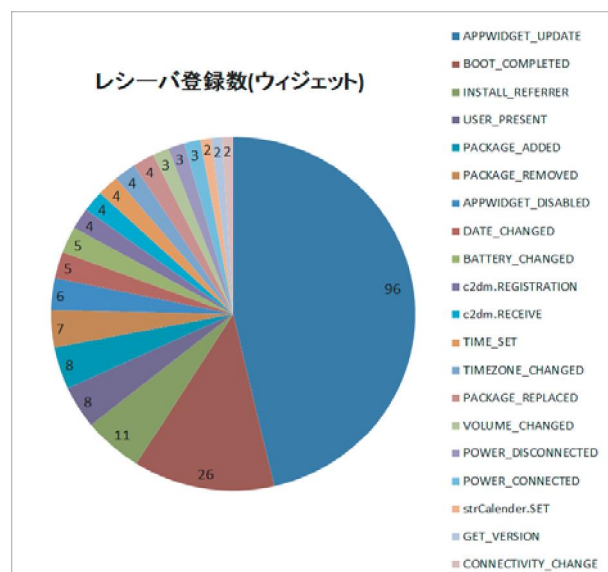


図 5 レシーバ登録数 (ウィジェット)

6. ブロードキャストインテント発行時における CPU 使用率測定

そこで、これらのブロードキャストインテントが連続して多く発行された時の端末の CPU 使用率の測定実験を行った。

6.1 測定方法

今回は以下に示すように、第 5 節において比較的多く発行されていたものと、さらに第 5 節においてレシーバ登録数の多かったものの計 12 個のブロードキャストインテントを測定対象とした。

- APPWIDGET_UPDATE
- BOOT_COMPLETED
- INSTALL_REFERRER
- c2dm.RECIEVE
- c2dm.REGISTRATION
- TIME_TICK
- BATTERY_CHANGED
- SIG_STR
- CONNECTIVITY_CHANGE
- SCREEN_ON
- SCREEN_OFF
- ANY_DATA_STATE

Android 端末に任意のアプリケーション 10 個がインストールされた状態 (A) と、同様に任意のウィジェット 10 個がインストールされた状態 (W), さらにこれらのアプリケーションとウィジェットが両方インストールされた状態 (A+W) の 3 パターンにおいて Android の Shell 上で am コマンドを用いて、各ブロードキャストインテントを意図的に約 10 分間連続的に発行する。また、それと同時に”/proc/stat/”から CPU の使用時間を取得し、その値から CPU 使用率を算出する。

6.2 測定結果

今回の測定結果としては、時間的な変動はみられなかったので測定中の安定時における値を以下の図 6 に示す。「user」は優先モードでユーザレベルのアプリケーションによる CPU の使用率, 「nice」は低優先モードで優先度 (ナイス値) によるユーザレベルの CPU 使用率, 「system」はシステムモードでシステムレベル (kernel) の CPU 使用率, 「idle」はアイドルモードでディスク I/O 待機時間を除く CPU のアイドル時間割合を示している。

グラフより、インテントを発行していないデフォルト時には idle の割合が高くなっていることがわかる。それに対し、各ブロードキャストインテントを発行した時には user の割合が増加している。これはブロードキャストインテントが発行されたことによって、さまざまなアプリケーションやウィジェットが誘発されたからだと考えられる。

7. ブロードキャストインテント発行時における通信量測定

一般に、通信によって電力が消費されることはある程度自明であるが、本研究における環境でも同様の結果が得られるか検証するために、LTE, Wi-Fi, 機内モードの 3 種類における通信状況においてバッテリー消費量を測定した。その結果を図 7 に示す。全く通信を行わない機内モードに比べ、Wi-Fi や特に LTE による通信を行った場合は、バッテリー消費量が大幅に増加していることが分か

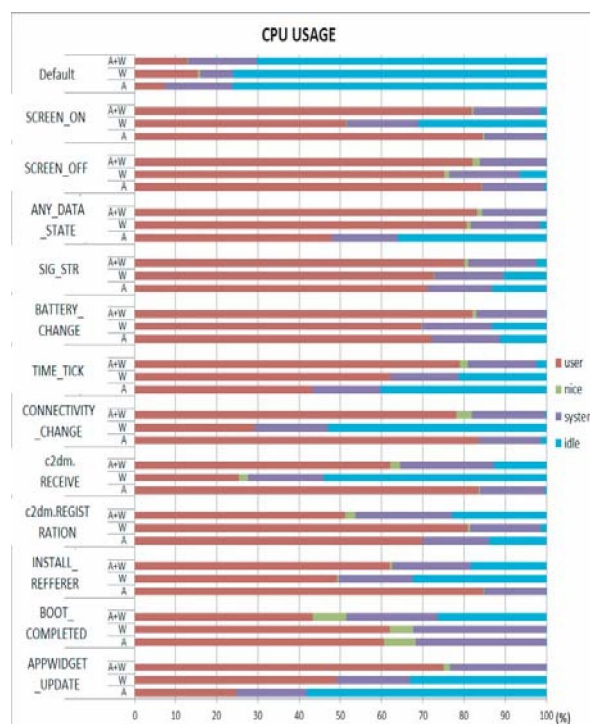


図 6 CPU 使用率

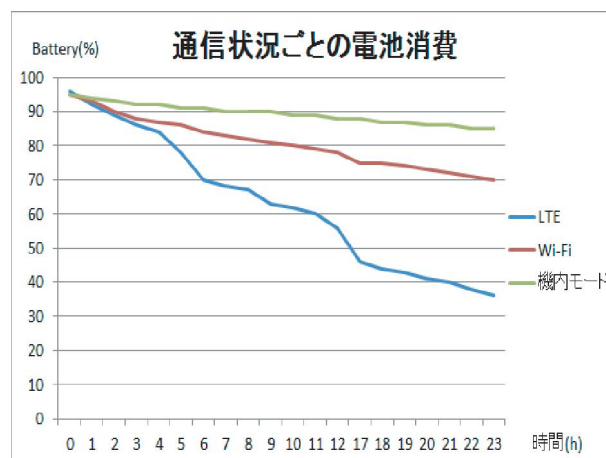


図 7 通信とバッテリー消費量の関係

る。そこで、第 6 節と同様にブロードキャストインテントが連続して多く発行されたときの通信量を測定した。

7.1 測定方法

発行するブロードキャストインテントや使用する端末の状況とパターンは前節と同様である。この環境において同様に am コマンドで各ブロードキャストインテントを発行した時の通信量 (受信量と送信量の和) を”/proc/net/dev”から取得する。

ただし、これらのブロードキャストインテントはシステムの動作の都合上、単位時間あたりに発行できる回数がそれぞれ異なるため、各ブロードキャストインテントの 1 発行ごとの通信量を評価した。

7.2 測定結果

図 8 にその結果を示す。グラフより、1 発行あたりの通信量に最も大きな影響を与えるブロードキャストは BOOT_COMPLETED であり、次いで APPWIDGET.UPDATE、c2dm.RECIEVE であることが分かった。BOOT_COMPLETED はシステムの起動が完了した時に発行され、例えばシステムの起動と同時にウィジェットなどが天気予報やニュースを取得するために通信を行うなどの処理がされる。

また、これらのブロードキャストインテントは第 5 節においてレシーバ登録数の割合が多かったものであることから、頻繁に発行される可能性のあるブロードキャストインテントが多くアプリケーションにおいてレシーバ登録されている場合、通信量の増加に大きな影響を与えてしまい、結果的に端末のバッテリー消費につながると考えられる。

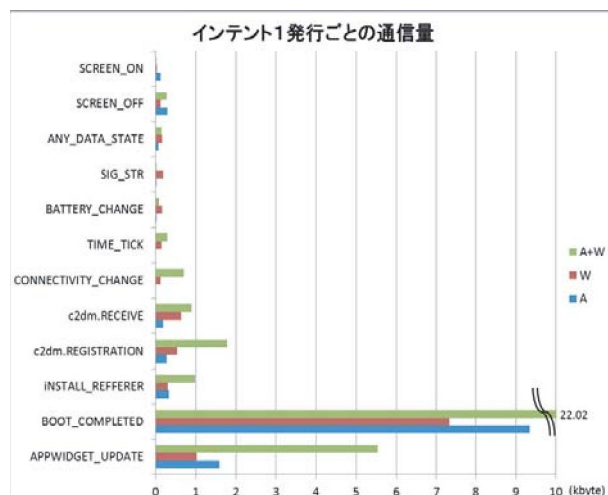


図 8 1 発行あたりの通信量

8. ブロードキャストインテントとバッテリー消費の関係

第 7 節の結果より、BOOT_COMPLETED や APPWIDGET.UPDATE などレシーバ登録数の多いインテントの発行によって通信量が大幅に増加することが確認された。本節では、これらの影響を及ぼし得るインテント発行時の実際のバッテリー消費量を測定し、さらに発行されたインテントを取得することで、ブロードキャストインテントと端末の電力消費の相関関係を分析する。

また、BOOT_COMPLETED は前述の通り、端末の起動時に発行されるものであるため、本来は連続的に多く発行されることは現実的ではないが、今回の測定ではあくまでもブロードキャストインテントとバッテリー消費の因果関係を明らかにする上で、その傾向が現れやすいという点で BOOT_COMPLETED の発行時においても測定を行った。

8.1 測定方法

前節までの測定ではブロードキャストインテントを意図的に発行するために、端末と PC を USB 接続し、接続先の PC のターミナルから am コマンドを用いていたが、この手法だと常に端末が充電状態になってしまい、バッテリーの使用状況を正しく測定することが不可能であった。よって今回の測定では、端末を PC と USB 接続させることなく am コマンドによりブロードキャストインテントを発行するために、Android の Shell 上で動作するシェルスクリプトを作成し、そのプロセスを常駐させるようにした。

また、端末のバッテリー容量を”/sys/class/power_supply/battery/capacity” から取得するシェルスクリプトを作成し、同時に動作させることで端末の情報を取得している。さらに、第 4.1 節で紹介した方法を用いて、logcat により発行されたブロードキャストインテントのログ情報を取得した。発行したインテントは以下の 10 個である。特に通信量の増加が見られたインテントに加えて、比較のために発行数の多いインテントにおいても測定を行った。

- BOOT_COMPLETED
- APPWIDGET.UPDATE
- INSTALL_REFERRER
- c2dm.RECIEVE
- c2dm.REGISTRATION
- TIME_TICK
- BATTERY_CHANGED
- CONNECTIVITY_CHANGE
- ANY_DATA_STATE

8.2 測定結果

図 9 に示すのは、アプリケーションとウィジェットの両方がインストールされた状態における各ブロードキャストインテント発行時の端末のバッテリー消費量の時間的遷移である。特に影響の大きかったインテントは BOOT_COMPLETED、c2dm.REGISTRATION、CONNECTIVITY_CHANGE、APPWIDGET.UPDATE で、それぞれ発行し続けることにより、2 時間強、4 時間弱、5 時間強で端末の電池容量を使い果たしてしまうほどの影響力があることが分かった。これらのインテントはやはりレシーバ登録数が多いものであり、さらに端末の通信に関連するインテントであると考えられる。

ここで、BOOT_COMPLETED、c2dm.REGISTRATION、CONNECTIVITY_CHANGE、APPWIDGET.UPDATE 発行時において、logcat を用いて取得したブロードキャストインテントの 1 時間当たりの発行数の一部を図 10 に示す。各インテントを意図的に発行しているときの方が、発行していないデフォルト時に比べて、取得されるインテン

ト数が増加しているブロードキャスト_intentが多く観察された。特に、BOOT_COMPLETED 発行時には APPWIDGET_UPDATE がデフォルト時よりも約 16 倍多く発行されていた。さらに、c2dm.REGISTRATION 発行時には、あるウィジェットに関する_intentが極端に多く観測された。これらの結果から、intentを意図的に発行したことにより、他のintentが誘発され、さらにそれによりまた別のintentが誘発されるなどの連鎖反応が生じているのだと考えられる。また、これらのブロードキャスト_intentの連鎖反応が図 9 に示した電池の消耗に起因しているのだと考察できる。

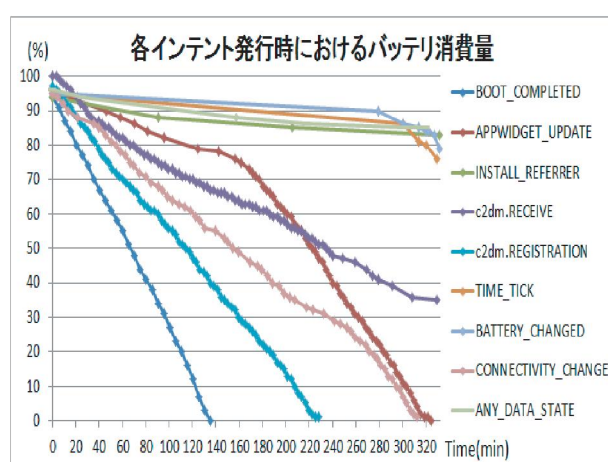


図 9 バッテリー消費量

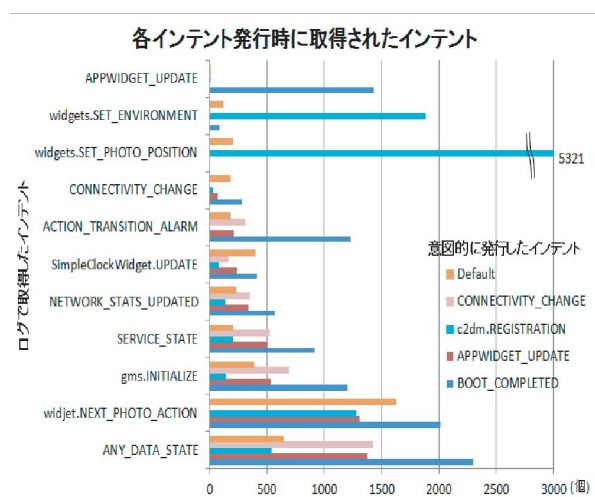


図 10 logcat で取得したintentの一部

9. まとめと今後の課題

本研究では、Android 端末のバッテリー消費削減を目指してアプリケーションを連鎖させるブロードキャスト_intentと電力消費の関係の解析を行った。測定結果より、ブロードキャスト_intentを意図的に連続して発

行させた時の CPU 使用率が、何も発行していないデフォルト時に比べて、いずれのintent発行時に関しても idle モードより user モードの割合が高くなった。このことから、ブロードキャスト_intentの発行がアプリケーションやウィジェットを誘発させる要因になると考えられる。

また特に、レシーバ登録数が多く、端末に通信に関するintentを意図的に発行した時には通信量とバッテリー消費量の大幅な増加が観測され、それと同時に誘発される他のブロードキャスト_intentが多く存在することを確認した。これはこれらのintentの発行によって、さまざまなアプリケーションやウィジェットが端末起動時の初期設定やデータ通信を行うなどの処理を行い、それが結果的に端末のバッテリー消費に繋がったのだと考えられる。このことから、ブロードキャスト_intentの中でも少なくとも、BOOT_COMPLETED や c2dm.REGISTRATION などのintentがあらゆるアプリケーションや機能を連鎖させる可能性があり、結果的に端末のバッテリー消費に何らかの影響を与えると考察できる。

よって、このようなintentを必要以上にレシーバ登録したりするアプリケーションをインストールすることでバッテリーを消費してしまう可能性が高くなるという判断をすることができるようになる。さらに、ユーザが端末を移動・操作しているときには比較的多くのintentが発行されることが分かったが、その移動や操作によって様々なブロードキャスト_intentの発行が促進され、アプリケーションなどや反応し、結果的に電池消費に繋がるのではないかと推測される。

今後の課題としては、これらのブロードキャスト_intentがアプリケーションやウィジェットをどのように相互連鎖させているか、その連鎖の様子や影響を細かく解析したい。そのために、端末にインストールするアプリケーションやウィジェットの数や種類を変化させた環境において通信量やバッテリー消費の測定を行っていくと同時に、intentによって起きるプロセスを監視しintentによる影響を考察したい。さらに、最終的にはそれらの相関係数などを算出することで、その情報を元にして各ユーザのアプリケーションインストール時に、バッテリーや通信にどの程度影響を与えるものかの推定値を提示するようなツールの開発につなげていきたい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご強力賜りました工学院大学の中村優太さんと UCLA の高井峰生先生に深く感謝致します。

文 献

- [1] BCN:<http://www.bcnranking.jp/news/gallaery/1210/>
- [2] Carroll, Aaron, and Gernot Heiser. "An analysis of power consumption in a smartphone.", Proceedings of the 2010 USENIX conference on USENIX annual technical conference. 2010.
- [3] Smartphone OS Share: <http://www.prnewswire.com/news-releases/strategy-analytics-android-captures-79-percent-share-of-global-smartphone-shipments-in-2013-242563381.html>
- [4] Android developers: <http://developer.android.com>
- [5] 川崎 仁嗣, 神山 剛, 稲村 浩: 「Android OS の状態変化通知機構における通信集中回避制御手法の検討」, GN・CDS 合同研究発表会, Vol.2013-GN-86, No.20, pp.1-8, 2013 年 1 月.
- [6] 早川 愛, 磯村 美友, 竹森 敬祐, 山口 実靖, 小口 正人: 「Android 端末におけるブロードキャストインテント情報を用いた省電力化に関する一検討」, DEIM2014, E8-1, 2014 年 3 月.
- [7] Google Play:<https://play.google.com/store?hl=ja>
- [8] Takeshi Kamiyama, Hiroshi Inamura, Ken Ohta: "A Model-based Energy Profiler using Online Logging for Android Applications", Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), 2014 Seventh International Conference, pp.7-13, January 2014.