

# スマートフォンにおける圧縮通信に関する消費エネルギーの最適化

2010SE139 中江祥吾 2010SE247 豊田丈晃

指導教員：横山哲郎

## 1 はじめに

### 1.1 背景

近年、スマートフォンが急速に普及している。文献 [1] によれば、スマートフォン保有率は、平成 22 年末では 9.7% であったが、平成 24 年末では 49.5% となった。その一方で、一部のスマートフォンユーザーがバッテリーの消耗について不満を持っており、スマートフォンにおける消費エネルギーの最適化に対する需要があるといえる。

### 1.2 アプローチ

現在、スマートフォンにおける消費エネルギーの最適化について、さまざまな手法が提案されている。通信において可逆圧縮を用いる手法は、可逆圧縮を行うことによって無線通信にかかる消費エネルギーを小さくすることが可能であるということを利用して、消費エネルギーの最適化を図っている。文献 [2] では、可逆圧縮通信時の消費エネルギーを複数の圧縮形式で比較し、圧縮形式の選択が消費エネルギーの最適化につながることを示している。また、文献 [3] では、データ受信と解凍をパイプライン化して処理することで、消費エネルギーの最適化を図っている。

文献 [2] や文献 [3] では、圧縮形式による比較が中心となっており、基本的にデフォルトの圧縮レベルを用いている。文献 [2] では、圧縮レベルの違いによる消費エネルギーの変化も示しているが、示している圧縮レベルが最適であるかの検証はされていない。我々は、代表的な圧縮形式である ZIP について、圧縮レベルと消費エネルギーの間の関係を示し、最適な圧縮レベルを明らかにする。最適な圧縮レベルは、圧縮レベルを 5 段階変化させ、それぞれの圧縮通信にかかる消費エネルギーを実測することにより求める。なお、ZIP の圧縮アルゴリズムとして、LZ77 アルゴリズムとハフマン符号化を組み合わせたものである Deflate を用いる。

## 2 関連研究

### 2.1 可逆圧縮通信による省エネルギー化

文献 [2] では、可逆圧縮通信に関する実験の結果を示し、可逆圧縮通信を考慮した消費エネルギーの最適化について考察している。

圧縮形式ごとの消費エネルギーを比較する実験では、圧縮形式に bzip2, compress, LZO, PPMd, zlib が選ばれ、Calgary Corpus からの 1MB 分のテキストデータを用いて比較が行なわれている。通信のスループットが 5.70Mbps のとき、デフォルトの圧縮レベルを用いると、受信解凍する場合では、PPMd を除く圧縮形式で無圧縮通信に比べて消費エネルギーが削減された。また、圧縮送信する場合

では、compress と LZO で無圧縮通信に比べて消費エネルギーが削減された。各圧縮形式の特徴を考慮して消費エネルギーを比較すると、圧縮速度の速い圧縮形式や削減率の高い圧縮形式が必ずしも省エネルギーであるとは限らないということが明らかになった。例えば、受信解凍する場合では、LZO は zlib に比べて、解凍速度は速かったが通信に関するエネルギーが大きかったため、省エネルギーではなかった。また、PPMd は compress に比べて、削減率は高かったがメモリに関するエネルギーが大きかったため、省エネルギーではなかった。このように、圧縮形式と消費エネルギーの関係は単純ではなく、エネルギーの構成要素のバランスを考慮する必要がある。

### 2.2 受信解凍処理におけるパイプライン化による省エネルギー化

文献 [3] では、可逆圧縮通信において、受信と解凍を逐次処理する場合に比べて、パイプライン処理する場合のほうが省エネルギーであるという例を実験に基づいて示している。

実験で用いられているコーパスは、Digital Bibliography & Library Project からの 10MB 分の XML レコードである。また、実験で用いられている圧縮形式は、gzip, lzop, LZMA, bzip2, ZIP である。実験の結果、受信と解凍をパイプライン処理する場合は、bzip2 を除く圧縮形式で、逐次処理する場合に比べて消費エネルギーが削減された。これは、CPU が効率よく利用されたために実行時間が短くなったことと、中間データをメモリに書き出す必要性が低くなったことが影響していると考えられている。

## 3 実験環境

### 3.1 端末の概要

我々は、圧縮レベルを考慮した消費エネルギーの最適化例を実験に基づいて示す。

実験では、端末として Galaxy Nexus を用いる。Galaxy Nexus は Android 4.0 のリファレンスモデルであり、その概要は表 1 のとおりである。

表 1 Galaxy Nexus の概要

製造	サムスン電子
OS	Android 4.0
CPU	Texas Instruments OMAP4460 (ARM Cortex-A9), 1.2GHz, 2 コア
メモリ	1GB
バッテリー	3.7V, 1750mAh

なお、実験は OS を Android 4.2.1 にアップデートした状態で行う。また、端末の状態を一定にするために、実験に不要なアプリケーションは停止させ、端末の設定は次のようにする。

- 3G, Bluetooth, NFC を停止する。
- CPU 周波数を 1.2GHz に固定する。
- 画面の輝度を最小にする。

### 3.2 計測環境

端末の消費電力の測定は、端末、電源装置、測定装置を図 1 のような回路構成で接続して行う。

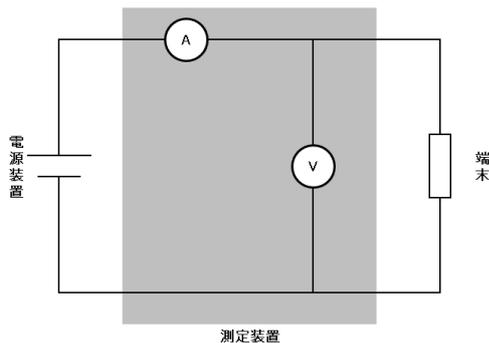


図 1 回路構成

端末は、作成したダミーバッテリーを介して測定装置に接続されている。バッテリーと Galaxy Nexus の接点には端子が 4 つあるが、左から 1 番目の端子と左から 3 番目の端子を用いて給電を行うことで、Galaxy Nexus を起動させることができる。

電源装置は、端末への給電を安定的に行うために、バッテリーの代わりとして用いる。実験で用いる電源装置は、菊水電子工業製の PMC18-5A である。電源装置の設定は、端末を安定的に動作させるために 4.00V, 1.50A とする。

実験で用いる測定装置は、横河メータ&インスツルメンツ製の WT1600 である。この測定装置は、ネットワーク接続機能を搭載しており、この機能を用いて、遠隔で操作することや測定結果を取得することができる。測定装置の設定は、データ更新レートを 1s とし、1 秒ごとの電力積算値が記録されるようにする。

### 3.3 通信環境

実験では、端末とサーバーの間で圧縮通信を行う。

端末とサーバーはアクセスポイントを介して接続し、端末とアクセスポイントの間は Wi-Fi で、アクセスポイントとサーバーの間は Ethernet で接続する。リンク速度は、端末とアクセスポイントの間で 65Mbps, アクセスポイントとサーバーの間で 1Gbps である。また、計測装置をサーバーから遠隔で操作するために、計測装置もアクセスポイントに Ethernet で接続する。計測装置とアクセスポイントの間のリンク速度は、10Mbps である。

端末とアクセスポイントの間は無線通信区間であり、通信環境を一定にするために、端末とアクセスポイントの距離を 10cm に固定する。また、端末とアクセスポイントの間は、2.4GHz 帯ではなく 5GHz 帯で接続する。これは、2.4GHz 帯が ISM バンドと呼ばれ、Wi-Fi 以外に Bluetooth や電子レンジなどでも使用されており、Wi-Fi 通信に対するノイズが比較的多いためである。なお、実験は端末が 5GHz 帯において実験用アクセスポイントのみを検出する状態で行う。

## 4 実験方法

### 4.1 概要

実験は、サーバー上の自動化スクリプトと制御用スクリプト、端末上の実験用アプリケーションにより自動的に行う。自動化スクリプトは、各テストケースごとに順次、制御用スクリプトを実行するためのスクリプトである。制御用スクリプトは、端末と測定装置の制御を行い、指定されたテストケースの実行時の端末の消費電力を測定するためのスクリプトである。実験用アプリケーションは、指定されたテストケースを実行するためのアプリケーションである。

### 4.2 制御用スクリプトと実験用アプリケーション

制御用スクリプトによる端末と測定装置の制御は、Socket 通信で行なう。また、制御用スクリプトは、実行時にコマンドライン引数として、ファイル名、圧縮レベル、実験回数、実験種別を指定することで、実験用アプリケーションが実行するテストケースを指定できるようにする。実験種別は、ファイルの受信、ファイルの解凍、ファイルの受信解凍、ファイルの圧縮、ファイルの送信、ファイルの圧縮送信の 6 種類である。なお、制御の流れは次のとおりである。

1. サーバー上の制御用スクリプトが、消費電力の測定開始を測定装置に指示する。
2. サーバー上の制御用スクリプトが、テストケースの実行開始を端末上の実験用アプリケーションに指示する。
3. 端末上の実験用アプリケーションが、テストケースの実行終了をサーバー上の制御用スクリプトに通知する。
4. サーバー上の制御用スクリプトが、消費電力の測定終了を測定装置に指示する。

実験用アプリケーションによるサーバーとのファイル送受信は、HTTP 通信で行なう。また、実験用アプリケーションの起動中は、画面の変化による消費エネルギーの変化を防ぐために、画面が常時点灯するようにする。

### 4.3 コーパスとテストケース

実験では、コーパスとして Silesia compression corpus[4] の dickens という約 10MB のテキストファイルを用いる。

このコーパスは、プロジェクト・グーテンベルク上で公開されているチャールズ・ディケンズの 14 作品を連結したものである。このコーパスは、文学作品のテキストであるため、記号の種類が少ないバイナリや、すでに圧縮されていることが多い動画に比べて、削減率が高くなると予想され、圧縮レベルごとの消費エネルギーを比較することに適していると考えられる。また、コーパスのサイズは、通信時間を短くなりすぎないようにするために適当であり、実験に適していると考えられる。コーパスをサーバー上で圧縮したときの圧縮率は図 2 のようになった。なお、圧縮率は、圧縮後の ZIP ファイルのサイズを圧縮前のテキストファイルのサイズで除算したものである。圧縮レベルが 0 のときは無圧縮であるため、ほかの圧縮レベルのときに比べて、圧縮率は大きく異なった。また、圧縮率の変化は、圧縮レベルが大きくなるにつれて小さくなった。

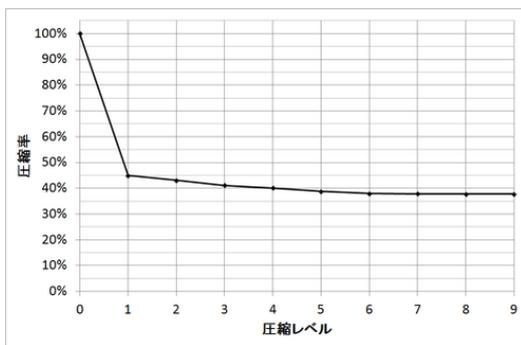


図 2 圧縮率

実験では、受信解凍時および圧縮送信時の消費電力だけでなく、消費エネルギーの構成要素を明らかにするために、受信時、解凍時、圧縮時、送信時の消費電力もそれらとは独立に測定する。また、圧縮レベルとして、無圧縮の 0、無圧縮を除くと最小の 1、最大の 9、1 と 9 の中間の 5 を用いる。圧縮レベルが 5 のときから 9 のときまでの間は、圧縮率の変化が小さいことから、1 と 5 の中間の圧縮レベルである 3 も用いる。そのため、テストケースは、6 種類の実験種別と 5 種類の圧縮レベルの積で合計 30 パターンとなる。各テストケースの実験回数は 10 回とし、各回の平均を実験結果とする。

#### 4.4 手順

実験の手順は、次のとおりである。

1. サーバー上に各レベルで圧縮されたコーパスを保存する。また、端末から送信されたファイルを保存するための PHP ファイルも保存する。
2. サーバー上の Web サーバソフトウェアを起動する。
3. 端末上にコーパスを保存する。
4. 端末上の実験用アプリケーションを起動する。
5. サーバー上の自動化スクリプトを実行する。

## 5 実験結果

### 5.1 受信解凍

受信時、解凍時、受信解凍時の 1 回あたりの電力積算値は、図 3 のようになった。

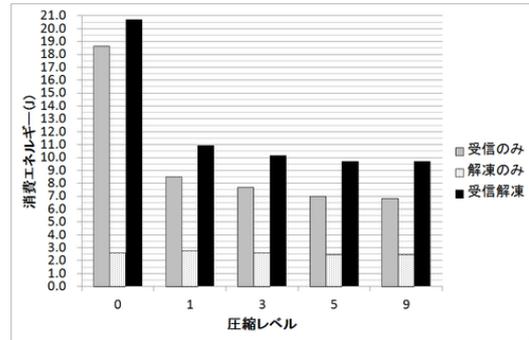


図 3 受信時、解凍時、受信解凍時の消費エネルギー

受信時の消費エネルギーは、圧縮レベルが大きくなるにつれて小さくなった。また、受信時の消費エネルギーの減少率も、圧縮レベルが大きくなるにつれて小さくなった。解凍時の消費エネルギーは、どの圧縮レベルにおいても、ほぼ同じであった。受信時の消費エネルギーと解凍時の消費エネルギーを比べると、どの圧縮レベルにおいても、解凍時の消費エネルギーのほうが小さかった。受信解凍時の消費エネルギーは、受信時の消費エネルギーと同様の傾向であった。受信解凍時の消費エネルギーは、圧縮レベルが 9 のときに最も小さく、この圧縮レベルが、受信解凍時における最適な圧縮レベルであった。

### 5.2 圧縮送信

圧縮時、送信時、圧縮送信時の 1 回あたりの電力積算値は、図 4 のようになった。

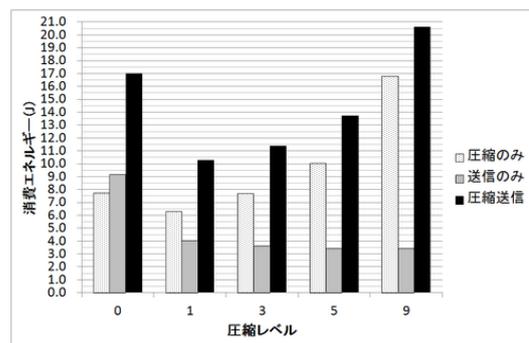


図 4 圧縮時、送信時、圧縮送信時の消費エネルギー

圧縮時の消費エネルギーは、圧縮レベルが 1 のときを除いて、圧縮レベルが大きくなるにつれて大きくなった。また、圧縮時の消費エネルギーの増加率も、圧縮レベルが大きくなるにつれて大きくなった。送信時の消費エネルギーは、圧縮レベルが大きくなるにつれて小さくなった。また、送信時の消費エネルギーの減少率も、圧縮レベルが大き

なるにつれて小さくなった。圧縮時の消費エネルギーと送信時の消費エネルギーを比べると、圧縮レベルが0のときを除いて、受信時の消費エネルギーのほうが小さかった。圧縮送信時の消費エネルギーは、圧縮時の消費エネルギーと同様の傾向であった。圧縮送信時の消費エネルギーは、圧縮レベルが1のときに最も小さく、この圧縮レベルが、圧縮送信時における最適な圧縮レベルであった。

### 5.3 考察

受信時の消費エネルギーと解凍時の消費エネルギーの合計は、どの圧縮レベルにおいても、受信解凍時の消費エネルギーとほぼ同じであった。そのため、受信解凍時の消費エネルギーは、受信時の消費エネルギーと解凍時の消費エネルギーから推測することができると考えられる。また、圧縮送信時の消費エネルギーについても同様に、圧縮時の消費エネルギーと送信時の消費エネルギーから推測することができると考えられる。

我々は、各実験種別における、消費エネルギーと圧縮率、圧縮率と実行時間、実行時間と消費エネルギーの相関関係を調べた。実行時間と消費エネルギーの相関関係は、どの実験種別においても高く、実行時間の短縮は、消費エネルギー削減の貢献要素のひとつであることを示唆している。受信時および送信時においては、圧縮率と実行時間の相関関係が高く、受信時および送信時の消費エネルギーは、圧縮率に応じて変化するというを示唆している。解凍時および圧縮時においては、圧縮率と実行時間の相関関係が低く、解凍時および圧縮時の消費エネルギーは、圧縮率によって決定されるものではないというを示唆している。

受信解凍時の消費エネルギーにおいては、受信と解凍の間にトレードオフの関係が見られなかった。これは、解凍にかかる消費エネルギーが、圧縮レベルが大きくなるにつれて大きく増加しなかったためであると考えられる。圧縮送信時の消費エネルギーにおいては、圧縮と送信の間にトレードオフの関係が見られた。圧縮時の消費エネルギーにおいては、圧縮レベルが1のときの消費エネルギーが、最も小さかった。これは、元ファイルの圧縮時間とZIPファイルの書き出し時間の合計が、最も短かったためであると思われる。

実験では、圧縮レベルごとの消費エネルギーを比較することが目的であるため、どの圧縮レベルにおいてもZIPファイル化して通信を行なったが、実利用では、単一ファイルの無圧縮通信の場合、ZIPファイル化の必要性は低い。ZIPファイル化しない場合の消費エネルギーは、圧縮レベルが0のときの受信時や送信時の消費エネルギーが相当する。圧縮レベルが0のときの送信時の消費エネルギーは、圧縮レベルが1のときの圧縮送信時の消費エネルギーに比べて小さく、ZIPファイル化しないで無圧縮送信する場合の消費エネルギーは、ZIPファイル化して圧縮送信する場合の消費エネルギーに比べて小さかった。しかし、通

信環境が悪く、スループットが低い場合は、通信時間が長くなり、通信にかかる消費エネルギーが大きくなると予想されるため、ZIPファイル化しないで無圧縮送信する場合の消費エネルギーのほうが大きくなると考えられる。

## 6 おわりに

我々は、圧縮通信における圧縮レベルと消費エネルギーの関係を示し、最適な圧縮レベルを明らかにした。圧縮送信時の消費エネルギーにおいては、圧縮と送信の間にトレードオフの関係が見られた。これは、トレードオフの関係を用いて消費エネルギーの最適化を図ることができるということを示している。圧縮送信において、最適な圧縮レベルである1を用いたときの消費エネルギーは、最悪な圧縮レベルである9を用いたときに比べて約50%小さくなった。また、消費エネルギーと実行時間の相関関係は高かった。この結果は、圧縮通信において、適切な圧縮レベルを用いることにより、消費エネルギーを削減することができるということを示すとともに、副次的な効果として、実行時間の短縮が期待されるということを示している。圧縮レベルを考慮した消費エネルギーの最適化では、最適化に対してソフトウェア側からアプローチしており、ハードウェア側に変更を加える必要はない。そのため、多くの端末に対して容易に消費エネルギーの最適化を図ることができると考えられる。また、バッテリーを容量の大きいものに変更するというような物理的な変更を加えなくても、バッテリー持ちの向上を図ることが可能である。我々は圧縮形式としてZIPを用いたが、ZIPは広く一般に利用されているため、我々の成果は幅広い場面で利用、応用することができると考えられる。今後は、圧縮レベルを考慮した最適化手法の実利用に向けて、コーパスや通信環境などを変更した場合の検証を重ね、最適な圧縮レベルの予測モデルを構築することが必要であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 総務省:平成 24 年通信利用動向調査の結果,総務省(オンライン),入手先 [http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/130614\\_1.pdf](http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/130614_1.pdf) (参照 2014-01-05).
- [2] Barr, C.K. and Asanović, K.: Energy-Aware Lossless Data Compression, *ACM TOCS*, Vol.24, No.3, pp.250–291 (2006).
- [3] 横山哲郎,藤井勝之,神山剛,富山宏之,高田広章:消費エネルギーを意識した可逆圧縮データ受信,情報処理学会研究報告,Vol.2011-EMB-20, No.1, pp.1–6 (2011).
- [4] Deorowicz, S.: Silesia compression corpus, Silesian University of Technology (online), available from <http://sun.aei.polsl.pl/~sdeor/index.php?page=silesia> (accessed 2014-01-05).