

# 端末間協調を用いた省電力フレームワーク —— スマートフォンを用いたテストベッドによる省電力性の評価 ——

服部 聖彦

埼玉工業大学工学部情報システム学科

hattori@sit.ac.jp

## Mobile Terminals Cooperative Communication Framework for Energy Saving: Evaluation of Energy Efficiency Using Smartphone Test-Bed

Kiyohiko HATTORI

Department of Information Systems, Faculty of Engineering, Saitama Institute of Technology

### Abstract

Our main objective is to develop and demonstrate energy-efficient technologies for mobile terminals (MTs) that have multiple wireless interfaces (e.g., Long Term Evolution (LTE) interface for wide area network (WAN) and IEEE802.11 wireless interface for local area network (LAN)). In this paper, we propose a terminal cooperation framework that takes advantage of the energy-efficient wireless LAN to improve the energy efficiency (EE) of MTs. To verify the effectiveness of the terminal cooperation framework, we have constructed a smartphone test-bed. The experiment results show about 61% improvement of communication EE compared with the same experiment run without terminal cooperation.

**Key Words:** Terminal Cooperation, Energy-Efficient Communication,  
Autonomous Decentralized Control

### 1. はじめに

近年、高速 WAN の普及に伴い無線通信に要する電力消費が増加し、端末の省電力化が重要な課題となった。しかしながら高速通信と省電力効化の双方を実現することは容易でない。その原因の一つとして、既存の技術・研究<sup>1,2)</sup>が個別端末と基地局との通信という観点から省電

力を行っていることが挙げられる。この課題に対し、我々は位置的に近い端末群を協調制御させ、端末群全体から見た通信電力の最適化という形で大きく視点を変えることにより、今までと全く異なる形での通信電力効率の向上を実現する端末間協調・省電力フレームワークを提案している。本論文ではその端末間協調・省電力

フレームワークの有効性を検証するため、端末協調スマートフォンソフトウェアを作成し、実環境で実験・評価を行った。

## 2. 端末間協調・省電力フレームワークの概要

我々が提案しているフレームワークによって構築される端末間協調ネットワークを Fig. 1 に示す。各端末は、基地局との WAN 通信機能、端末間で協調制御を行うための Bluetooth Low Energy (BLE) および回線共有無線 LAN に加え、あらかじめ端末協調制御ソフトを保持しているものとする。

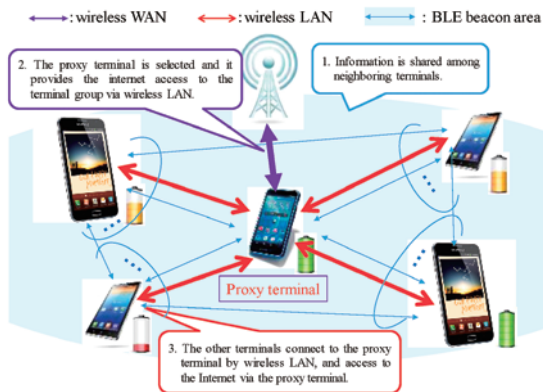


Fig. 1 端末協調省電力フレームワーク

提案するフレームワークに従って協調通信を行う場合、最初に各端末は自身の通信状況、バッテリーなどの情報を BLE のビーコンを用いて近隣端末に送付、協調通信制御のための情報を交換する。次に他の近隣端末から受信した情報と自身の情報を自身のローカルメモリ上にデータベースを構築、記録する。それらの情報をもとに提案するアルゴリズムを用いて端末集合全体から最も適切な代理（プロキシ端末）を選択、決定する。プロキシとして選定された端末は基地局を介してネットワークに接続すると同時に自身の無線 LAN の基地局機能を起動する。一方、プロキシ端末に選択されなかった他の端末は、自身の無線 LAN のクライアント機能を用いてプロキシ端末に接続、プロキシ端末経由でネットワークにアクセスする。プロキシ選定は定期的に行われ、現在使われているプロキシ端末の

バッテリー残量が低下、もしくは移動等により基地局との通信特性が劣化し、プロキシ端末として適切ではなくなった場合にはプロキシ端末の自動・動的切り替えが行われる。プロキシ端末の選定は式 (1) から求められる評価値  $Z$  の値が最も大きい端末が最適なプロキシ端末として選択される。ここで式 (1) における  $E_{\text{remaining}}$ ,  $E_{\text{max}}$  はそれぞれ端末のバッテリー残量 (mAh), バッテリー容量 (mAh) を表す。

$$Z = \left[ \frac{E_{\text{remaining}}}{E_{\text{max}}} + \left\{ 2 + \frac{P_{\text{rx}}}{60} \right\} \right] \times 100 \quad (1)$$

## 3. スマートフォンアプリを用いた協調通信による実験と評価

本研究における評価軸として通信エネルギー効率を考える。これは 1 ジュール (J) あたりに送れる情報量 (bit) を表すもので、単位は bit/J になる。RSRP のよい端末が達成可能なスループットに近い速度で通信を行う場合に最も通信エネルギー効率がよいことになる。これは LTE の消費電力特性が速度上昇による送信データ量の増加率に対して、消費電力の増加率が非常に緩やかなためである。

これらを踏まえ、個別の端末が LTE の達成可能スループット以下の速度で通信している状況において、提案している端末間協調省電力フレームワークを用いてプロキシを選定、近隣端末群の低速通信デマンドを無線 LAN で集約、プロキシ端末の LTE でまとめて通信することで通信エネルギー効率の向上の可能性について実機実験を通して検証する。

## 4. スマートフォン協調通信制御ソフトウェア

本検証では、スマートフォンを協調させるためのスマートフォン協調通信制御ソフトウェアを新たに構築、Google 社製端末 Nexus 5x にインストールして実験を行った。各端末は BLE で他の端末から送られた情報をもとに「プロキシ端末決定」モードにおいて個別にデータベースを生成する。次の「測定情報共有」で交換、

構築されたデータベースを生成する。生成されたデータベースの情報を用いて先の式 (1) から求められる評価値が最大の端末がプロキシ端末となり、無線 LAN のアクセスポイント機能を用いて他の端末を収容、インターネットサービスを提供する。

ここでデータベースの同期について説明する。先の説明であったように、本システムはブロードキャストベースでの制御情報を基本とするため、当然衝突による情報落ちからデータベースの同期に失敗することが起こり得る。その場合、同期できている端末群の中で最良のプロキシが選ばれ、通信は開始される。

#### 4.1 実験設定

本実験では、KDDI 社の LTE 回線を用いた MVNO サービスを用いた。実験の組み合わせとしては (1) 協調なし (自身の LTE で通信)、(2) 4 台協調 (1 台がプロキシ端末になり、残り 3 台はクライアント端末) の 2 つを実施した。各端末にあらかじめインストールしてある Iperf3 を用い、そこから別途用意した Iperf3 サーバに対し、自身の LTE もしくはプロキシサーバ経由で UDP のアップロードを行うことで通信デマンドを生成する。今回用いた通信デマンドは 1.4 Mbps, 2.8 Mbps, 7 Mbps の 3 種である。通信デマンドは個々の端末から発生するものを考える。すなわち、4 台の端末が 1.4 Mbps の通信デマンドを持っているときに、協調して通信を行う場合、プロキシ端末からは  $1.4 \times 4 = 5.6$  Mbps でデータがアップロードされることになる。

通信に使用された消費電力は、通信によって減少したバッテリー減少率 (%) を計測、Nxsus 5x の満充電容量 (2,700 mAh) を掛け合わせることで、消費電力を導出した。ここで、バッテリーの定格電圧を 3.8 V として計算した。評価には総送信ビット量/バッテリー残量の変位から求めた総消費電力となる。

#### 4.2 実験結果

次の Fig. 2, Fig. 3 に実験の結果を示す。各グラフにおける縦軸は送信した総データ量 (bit) を送信に要した消費電力から求められる総エネ

ルギーであるジュール (J) で割った通信電力効率 (bit/J) を表す。

Fig. 2 は協調がない場合での通信デマンド, RSRP と bit/J, Fig. 3 は 4 台の端末が協調する場合での通信デマンド, RSRP と bit/J 通信デマンド, RSRP と bit/J の関係をそれぞれ表す。

ここで、Fig. 2 では端末間の協調がない端末単体での通信時において RSRP が大きい場合と小さい場合の 2 つの環境を構築し、通信デマンドに 1.4 Mbps, 2.8 Mbps, 7 Mbps の 3 つを設定して実験をした結果である。このグラフから分かるように通信デマンドが大きくなるほど通信電力効率 bit/J が向上していることが分かる。

次に Fig. 3 では 4 台協調時に RSRP が -77 dBm の環境を構築、1.4 Mbps でアップロードした場合の実験結果である。比較のために同じ条件で協調なしの場合と 2 台協調した場合の結果を載せる。このグラフから分かるように、協調台数が 4 台に増えることで協調なしの場合と

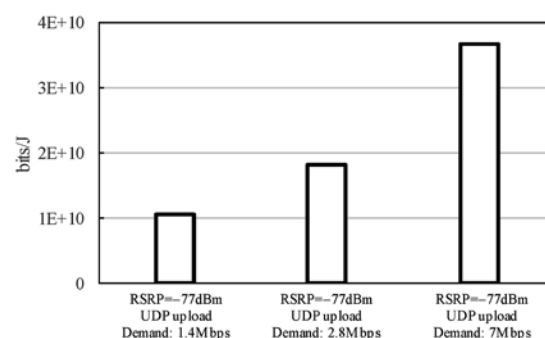


Fig. 2 端末協調省電力フレームワークを用いた場合の通信デマンドと通信電力効率の関係

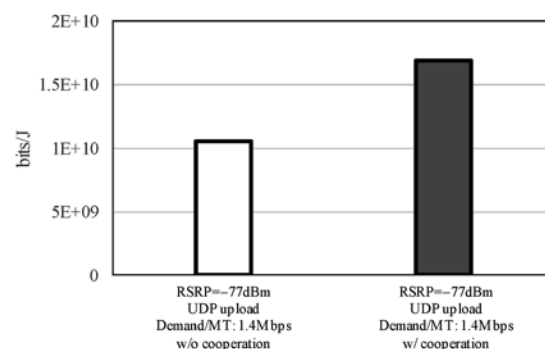


Fig. 3 4 台の端末において端末協調省電力フレームワークを用いた場合と用いない場合での通信電力効率の関係

比較して約66%の通信エネルギー効率が向上していることが分かる。

## 5. まとめ

本研究では、モバイル通信端末の省電力化を目的として提案した端末間協調・省電力フレームワークの有効性を検証するため、実環境においてスマートフォンを用い、受信電波強度を変化させた場合の総送信ビット量と消費エネルギーの関係を測定した。その結果、端末単体での通信と端末4台で協調して通信する場合を比較した場合、最大で66%の通信電力効率を向上させられることが明らかになった。

## 参考文献

- 1) H. Murata, "Collaborative interference cancellation for future wireless communications," Proc. 2015 Vietnam-Japan International Symposium on Antennas and Propagation, Ho Chi Minh City, Vietnam, pp.35-38, Jan. 2015.
- 2) A. Radwan and J. Rodriguez, "Energy saving in multi-standard mobile terminals through short-range cooperation," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2012: 159, DOI: 10.1186/1687-1499-2012-159.