

# 端末群協調による省電力化フレームワーク -端末モビリティを用いたプロキシ適応度の検討-

服部聖彦<sup>†,††</sup> 天間克宏<sup>†</sup>

<sup>†</sup>情報通信研究機構 耐災害 ICT 研究センター 980-0812 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-3

<sup>††</sup>埼玉工業大学工学部 情報システム学科 369-0203 埼玉県深谷市普濟寺 1690

E-mail: hattori@sit.ac.jp, temma@nict.go.jp

あらまし 無線端末の消費電力における通信が占める割合は非常に大きく、通信の省電力化が強く求められている。この課題に対し、我々は近隣の端末群を協調、省電力通信を行う新たなフレームワークを提案している。このフレームワークでは位置的に近い複数のモバイル通信端末を協調させ、通信電力効率のもっともよい端末を代表(プロキシ)端末として選定、他の端末は WiFi を使ってプロキシ経由で通信を行うことで自身の WAN インタフェースを休止させ、端末群全体として格段の省電力化を実現出来る。このフレームワークでは適切なプロキシ端末の選択が非常に重要であり、バッテリー残量や通信スループット、受信信号強度に加えて、プロキシ端末が現在位置にどの程度安定的に滞在すると推定されるかの指標であるプロキシ適応度も非常に重要である。そこで本論文では、端末のモビリティに着目したプロキシ適応度について検討し、その結果をまとめる。

キーワード 行動推定, 位置推定, 端末間協調, 省電力通信

## Cooperative Communication Framework for Mobile Terminal Energy Saving -A Study of Proxy Fitness Using Terminal Mobility-

Kiyohiko HATTORI<sup>†,††</sup>, Katsuhiro TENMA<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Resilient ICT Research Center, National Institute of Information and Communications Technology

2-1-3 Katahira, Aoba-ku, Miyagi, 980-0812, Japan

<sup>††</sup>Saitama Institute of Technology, 369-0293 1690 Fusaiji, Fukaya, Saitama, Japan

E-mail: hattori@sit.ac.jp, temma@nict.go.jp

**Abstract** In a proposed power saving framework, terminals that can contribute to communication power efficiency by cooperation of neighboring mobile communication terminals are selected as representative (proxy) terminals. In this framework, selection of an appropriate proxy terminal is very important, and in addition to the remaining battery level, communication throughput, received signal strength, an indicator proxy of how far the proxy terminal is supposed to stay in the current position fitness is also very important. In this paper, we study the proxy fitness focusing on terminal mobility and summarize the results.

**Keywords** Human Behavior Estimation, Location Estimation, Cooperation among Terminals, Power-saving Communication

### 1. はじめに

近年、LTE、WiMAX 等の高速 WAN の普及に伴い端末の消費電力における無線通信の占める割合が無視できないほどに増加、省電力化が叫ばれるようになってきている。しかしながら無線通信の電力は基地局・端末間距離と通信速度に支配される部分が非常に大きく、大幅な電力効率の改善は容易ではない。この課題に対し我々は位置的に近い端末群を連携・協調させ、端末群全体から見た通信電力効率の最適化という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・省電力通信フレームワーク [1],[2] を提案している。本論文ではそのフレームワークの概要を説明するとともに、フレームワークのコアの一つとなるプロキシ端末の選定において、端末のモビリティを考慮した手法の検討結果を報告する。

### 2. 関連研究

端末群の協調制御による無線通信の伝送品質、電力効率の改善について、数多くの研究がある。文献 [3]-[5] では無線通信の伝送特性改善を目的としたマルチユー

ザ(MU-)MIMO へのユーザ端末共同干渉キャンセル法について検討している。これらの研究では近隣の端末で受信信号および伝搬路情報を共有し、MU-MIMOにおけるユーザ間干渉抑圧を受信端末群が連携して行うことで、基地局側のみによるユーザ間干渉抑圧と比較して伝送特性を大幅に改善できることが示されている。ただし、文献[3]-[5]における検討は伝送特性の改善を目的としており、電力効率や消費電力については検討していない。一方、文献[6]では端末間でOFDMAのサブキャリアを交換、インセンティブとして用いることで端末協調を促進させ、通信電力効率の効率化をシミュレーションによって明らかにしている。

### 3. 端末間協調・省電力フレームワーク

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・省電力ネットワークの概要を次の図1に示す。各端末は、基地局とのWAN通信機能(LTE, WiMAX等)および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を備え、加えて端末協調制御ソフトウェアを保持しているものとする。本研究ではBLEの実効通信距離として10m程度、無線LANの実効通信距離として20m程度を想定している。

提案するフレームワークを用いて協調通信を行う場合、各端末は最初に自身の通信状況(使用している通信容量やWANの通信特性RSRP)、バッテリー残量などの情報をBLEのビーコンを用いて近隣端末に送付、表1に示す協調通信制御の情報を交換する。次に他の近隣端末から受信した情報と自身の情報とともに端末上のローカルストレージにデータベース(DB)を構築、記録する。このDB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適切な代理(プロキシ端末)を選択、決定する(図1ではバッテリー残量が多く、かつ基地局との通信特性RSRPが良い端末がプロキシ端末として選択)。プロキシとして選定された端末は自身のWANインタフェースを用いて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(HotSpot)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もしくはイベント発生ごとに行われ、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図2で示すようにプロキシ端末の自動・動的変更が行われる。この図2ではプロキシ端末のバッテリーが低下を想定し、プロキシ端末はバッテリー残量低下をBLEビ

ーコンによって端末集合全体に通知している。通知を受信した他の端末は先と同様に協調通信制御用の各種情報を再度BLEビーコンによって共有、評価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。評価値は、プロキシ端末として適しているほど大きな値を取るよう設計する。

旧プロキシ端末を含めたその他の端末は、通知された情報に基づいて新たなプロキシ端末に無線LAN接続する。その際、旧プロキシ端末は携帯基地局との接続を切断する。このように、BLEビーコンによって端末群で情報を共有、適切なプロキシ選択、協調制御を行うことで、常に電力効率の高い端末群協調ネットワークの構築が可能となる。



図1 端末間協調省電力フレームワークの概要

Figure 1 Cooperative Communication Framework for Energy Saving .



図2 バッテリー低下時のプロキシの変更例

Figure 2 Example of Proxy Change due to Low-Battery Power.

表 1 端末間で制御のための交換される情報  
Table 1 Information detail exchanged among terminals.

名称	単位	説明
Node ID	なし	システム起動時に自動で設定されるユニーク ID
バッテリー残量	mAh	
LTE 通信量	bps	
BT 電波強度	dBm	BLE の受信電波共同 RSSI
受電フラグ	なし	端末が外部から電力供給を受けているかを表すフラグ
評価値	なし	該当端末がプロキシとして適している度合
LTE 電波強度	dBm	LTE の RSRP
通信電力効率	bit/J	1 ジュールあたりに送れる bit 数

#### 4. 端末間協調・省電力フレームワークにおけるプロキシ端末の決定方法

先に説明した端末間協調・省電力フレームワークでは、通信特性やバッテリー残量を一つのパラメータとしてプロキシ端末を決定している。しかしながらプロキシ端末それ自身が移動してしまうとその役割を果たせなくなるため、再度コストをかけて選りなおす必要があり、通信遅延やバッテリー消費の原因になってしまう。そこで我々は各端末が他端末とどの程度同一の空間に滞在するかを推定し、それをプロキシ適応度という形で定義、プロキシ選択時のパラメータの一つに考慮をする。ここではプロキシ適応度を考える上でいくつかのユースケースを考える。

##### 4.1. 事前に指定された位置にある時間以上滞在するケース

これは主に有名な観光地、日本で言うと京都の清水寺、金閣寺、広島島の厳島神社、原爆ドームなどを観光していることを想定する。このような場合、観光客はその近辺を歩き、ある程度安定的にその場所に滞在して見物する、写真を撮るなどが考えられるため、プロキシ適応度が高くなると考えられる。

##### 4.2. 長距離の公共交通機関を利用しているケース

これは主に新幹線や長距離バスを利用している場合を想定する。このような場合では同じ列車、同じバスに乗っている人たちは次の駅、もしくは次の停留所に止まるまでの間は基本的に同じ空間にいたことが非常に高いため、各端末は高いプロキシ適応度を持つと考えられる。

##### 4.3. 中距離の公共交通機関を利用しているケース

これは主に関東での埼京線、京浜東北線、湘南新宿ライン、小田急線等の中距離移動列車を利用している場合を想定する。このようなケースにおいても先と同

様に同じ空間にいたことが非常に高いため、各端末は高いプロキシ適応度を持つと考えられる。

##### 4.4. ジャイロ、コンパスおよび GPS の変化が少なく、かつある時間以上滞在するケース

これは主に、屋内の飲食店等に滞在している場合を考える。このようなケースでは位置情報の変位は非常に少ないもしくは GPS 信号が受信できない、且つジャイロ、コンパスの変動が少ないと考えられる。

##### 4.5. 課題

上記に挙げたケースにおいては、(1)どの程度の位置の変位までを滞在と考えるか、(2)滞在時間の閾値の決定方法、(3)長距離、中距離移動と次に降りる駅の推定方法、(4)端末のセンサを使う場合の端末ごとのセンサ感度および、センサの閾値の決定と言った課題についてより具体的な調査と検討が必要になる。また、いずれのケースにおいても位置情報は非常に重要なパラメータであるが、GPS は消費電力が大きく、加えて屋内で使えないといった課題があるため、WiFi 測位等との併用を検討する必要があると考えられる。

#### 5. まとめ

本論文では、我々が提案している端末協調省電力フレームワークにおけるプロキシ選択において重要な要素の一つである端末のモビリティに着目し、プロキシ適応度という形でプロキシ選択時の評価値に使用することを検討した。

今後の課題としては、実端末を用いてプロキシ適応度を算定するとともに、プロキシ選択時に用いることで、省電力性への貢献を明らかにする。

#### 文 献

- [1] 服部聖彦, 単麟, 天間克宏, Abolfazl Mehbodniya, 大和田泰伯, 浜口清, 安達文幸, “端末間協調による極省電力・協調型無線機の検討,” 信学技報, vol. 115, no. 437, ASN2015-81, pp. 11-13, 2016 年 1 月.
- [2] 単麟, 服部聖彦, 李運幫, 天間克宏, “無線端末群のための極省電力協調方式の一検討,” 信学会ソサイエティ大会, B-18-12, 2016 年 9 月.
- [3] 村田英一, “マルチユーザ MIMO システムにおけるユーザ端末共同干渉キャンセル,” 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2013-201, pp.159-164, 2013 年 11 月.
- [4] 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.
- [5] 林勇治, 村田英一, “線形及び非線形信号処理を用いた端末共同干渉キャンセルの屋外伝送実験,” 電総務省 SAQ2(サクサク) JAPAN Project の公表, [http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01kiban03\\_02000260.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban03_02000260.html)(確認日 2016 年 2 月 12 日)
- [6] D. Zhang, R. Shinkuma, and N. Mandayam, “Bandwidth Exchange: An Energy Conserving Incentive Mechanism for Cooperation,” IEEE Trans. Wireless Communications, vol.9, no.6, pp. 2055-2065, 2010.