

# 無線ネットワークにおける干渉除去を用いた省電力化の検討

村上 遼 †      小林 真 ‡      中川 翔 ‡      西田 昇平 ‡      渡辺 尚 ‡  
 † 大阪大学工学部      ‡ 大阪大学大学院情報科学研究科

## 1 はじめに

スマートフォン等のバッテリーで動作する無線通信端末では、無線トラフィックの増加に伴って増える無線通信での消費電力を削減することが求められている。本稿では、自己干渉除去技術により可能になった、同一周波数で同時に送受信する無線全二重通信による送受信時間の削減に着目する。無線全二重通信を用いて送受信時間を削減することで省電力化について検討して、評価する。

## 2 関連研究

自己干渉除去の発達により、同一周波数で同時に送受信する無線全二重通信が実現しつつある [1]。無線全二重通信では、同一周波数で同時に送受信をすることで送受信時間を短縮できるため、無線通信端末の無線トランシーバの起動時間を削減する事ができる。本稿では、無線全二重通信を用いることで、送受信時間を削減できる点に着目し、無線ネットワークの省電力化を検討する。

## 3 無線全二重通信の消費電力

本章では、無線通信端末の無線トランシーバでの送受信に必要な消費電力を解析する。無線通信端末 A, B 間での通信における総消費電力を考える。無線通信端末のノード状態を  $S_{n_{sleep}}, S_{n_T}, S_{n_R}, S_{n_{FD}}$  で表す。ノード状態  $S_{n_{sleep}}, S_{n_T}, S_{n_R}, S_{n_{FD}}$  はそれぞれ無線通信端末がスリープ状態, 送信状態 (半二重通信), 受信状態 (半二重通信), 全二重通信状態であることを表す。

全二重通信状態では、無線通信端末は送受信を同時にする。表 1 に無線通信端末のノード状態と消費電力の関係を示す。各ノード状態に対する消費電力は ZigBee にもとづいて定義した [2, 3]。  $P_{fd}$  [mW] は自己干渉除去に必要な電力である。

無線通信端末 A, B 間での通信状態を  $S_{c_0}, S_{c_1}, S_{c_2}$  を用いて表す。通信状態  $S_{c_0}$  では、無線通信端末 A, B 共に通信しない。通信状態  $S_{c_0}$  は、無線通信端末 A, B は共にスリープ状態 ( $S_{n_{sleep}}$ ) であることを示す。通信状態  $S_{c_1}$  では、無線通信端末 A, B は、無線半二重通信でデータを送受信する。通信状態  $S_{c_1}$  は、1 つの無線通信端末は送信 (半二重通信) 状態 ( $S_{n_T}$ ) であり、もう 1 つの無線通信端末は受信 (半二重通信) 状態 ( $S_{n_R}$ ) であることを示す。通信状態  $S_{c_2}$  では、無線通信端末 A, B は無線全二重通信で同時にデータを送受信する。通信状態  $S_{c_2}$  は、無線通信端末 A, B は共に全二重通信状態 ( $S_{n_{FD}}$ ) であることを示す。通信状態が  $S_{c_i} (i = 1, 2, 3)$  の時の無線通信端末 A, B における総消費電力  $h(S_{c_i})$  [mW] を式 (1) ~ (3) に示す。  $f(S_{n_a})$  は無線通信端末の状態が  $S_{n_a}$  ( $a$  は sleep, T, R, FD のいずれかを示す) の時の消費電力を表す [2, 3]。

無線通信端末の状態		消費電力 [mW]
$S_{n_{sleep}}$	スリープ	$3.3 \times 10^{-3}$
$S_{n_T}$	送信 (半二重通信)	$9.9 \times 10$
$S_{n_R}$	受信 (半二重通信)	$9.9 \times 10$
$S_{n_{FD}}$	全二重通信	$1.7 \times 10^2 + P_{fd}$

表 1: 無線通信端末のノード状態と消費電力 [mW]

Discussion on Power-Saving with Interference Cancellation for Wireless Networks

†Ryo MURAKAMI    ‡Makoto KOBAYASHI    ‡Sho NAKAGAWA  
 ‡Shohei NISHIDA    ‡Takashi WATANABE  
 †School of Engineering, Osaka University  
 ‡Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

$$h(S_{c_0}) = 2f(S_{n_{sleep}}) \tag{1}$$

$$h(S_{c_1}) = f(S_{n_T}) + f(S_{n_R}) \tag{2}$$

$$h(S_{c_2}) = 2f(S_{n_{FD}}) \tag{3}$$

消費電力の平均値  $P_w$  [mW] は

$$P_w = h(S_{c_0})Pr(S_{c_0}) + h(S_{c_1})Pr(S_{c_1}) + h(S_{c_2})Pr(S_{c_2}) \tag{4}$$

となり、実効伝送レートの平均値  $R_{effect}$  は、

$$R_{effect} = R\{Pr(S_{c_1}) + 2Pr(S_{c_2})\} \tag{5}$$

となる。

単位実効伝送レート当たりの消費電力  $Pe$  [mW/Mbps] は、

$$Pe = \frac{P_w}{R_{effect}} = \frac{h(S_{c_0})Pr(S_{c_0}) + h(S_{c_1})Pr(S_{c_1}) + h(S_{c_2})Pr(S_{c_2})}{R\{Pr(S_{c_1}) + 2Pr(S_{c_2})\}} \tag{6}$$

となる。単位実効伝送レート当たりの消費電力  $Pe$  は 1[Mbps] の送信に必要な電力 [mW] であり、低ければ低いほど省電力化が達成されている事を表す指標となる。ただし、 $R$ [Mbps] は送信レート、 $Pr(S_{c_i})$  は通信状態が  $S_{c_i}$  である確率である。

## 4 評価

無線全二重通信を用いた無線ネットワークの消費電力を評価するために、計算機シミュレーションを用いて無線全二重通信 (FD) と無線半二重通信 (HD) を比較した。

### 4.1 評価環境

2 つの無線通信端末 A, B の間での無線通信をするものとした。無線通信端末 A, B に到着するデータフレームサイズと送信レートを ZigBee にもとづいて定義した [3]。データフレームサイズは 1500[byte]、送信レートは 250[kbps] である。データフレームの送信要求は各無線通信端末 A, B それぞれに到着率  $\lambda$  [packet/sec.] で到着するものとした。フレームロスは発生しないものとした。無線半二重通信 (HD) では、各無線通信端末はフレームの受信中に送信要求が到着すると受信完了を待って送信を開始する。一方、無線全二重通信 (FD) では、各無線通信端末はフレームの受信中に送信要求が到着すると直ちに送信を開始する。無線全二重通信では理想的な自己干渉除去が可能で、自己干渉による送信レートの低下は無いものとした。

### 4.2 無線全二重通信の割合と単位実効伝送レート当たりの消費電力

無線全二重通信における単位実効伝送レート当たりの消費電力は無線全二重通信の割合によって変化すると考えられる。そこで、常に無線通信が行われている環境で、無線全二重通信の割合と単位実効伝送レート当たりの消費電力との関係性を評価した。

図 1 に、発生した無線通信の内の無線全二重通信の割合  $\frac{Pr(S_{c_2})}{Pr(S_{c_1})+Pr(S_{c_2})}$  を 0 から 1 まで変化させた時の単位実効伝送レート当たりの消費電力を示す。横軸は無線通信における無線全二重通信の割合、縦軸は単位実効伝送レート当たりの消費電力  $Pe$  [mW/Mbps] である。無線全二重通信における消費電力が自己干渉除去に必要な電力に

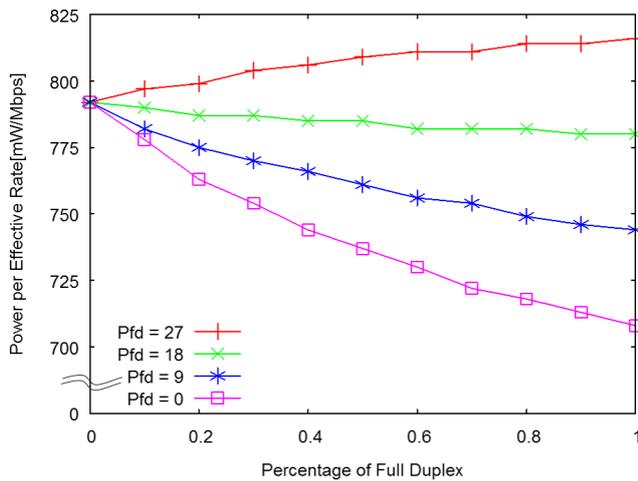


図 1: 無線全二重通信の割合と単位実効伝送レート当たりの消費電力

依存すると思われるため、自己干渉除去に必要な電力  $P_{fd}$  [mW] を 0, 9, 18, 27 に変えて評価した。

図 1 から、 $P_{fd} = 0, 9, 18$  [mW] の場合、無線全二重通信の割合が高まるにつれて単位実効伝送レート当たりの消費電力  $P_e$  が少なくなっていることが分かる。これは、無線全二重通信により通信中の消費電力は増加しているが、同じデータ量を送受信する際の時間が削減されているためである。

### 4.3 到着率と通信状態

無線全二重通信の発生確率は到着率によって変化すると考えられる。そこで、到着率と各通信状態の発生確率との関係を確認するために、到着率と各通信状態の発生確率との確率を評価した。図 2 に到着率  $\lambda$  を 0.625 から 31.25 に変えた際の通信状態の確率を示す。横軸は到着率、縦軸は各通信状態の発生確率である。HD Sc0, HD Sc1 はそれぞれ、HD におけるスリープ状態発生確率  $\Pr(S_{c0})$ , 半二重通信発生確率  $\Pr(S_{c1})$  を示し、FD Sc0, FD Sc1, FD Sc2 はそれぞれ、FD におけるスリープ状態発生確率  $\Pr(S_{c0})$ , 半二重通信発生確率  $\Pr(S_{c1})$ , 全二重通信発生確率  $\Pr(S_{c2})$  を示す。

図 2 から FD では、到着率が増加するにつれて無線全二重通信発生確率  $\Pr(S_{c2})$  が高くなるのが分かる。これは、到着率が増加することにより、各無線通信端末においてフレームを送信する機会が増えるためと考えられる。また、FD では HD に比べスリープ状態確率  $\Pr(S_{c0})$  が高くなる。これは無線全二重通信により送受信時間が削減されるため、スリープ状態である時間を長くできるためと考えられる。

### 4.4 到着率と単位実効伝送レート当たりの消費電力

4.2 節の評価では、無線通信における無線全二重通信の割合が増加すると、単位実効伝送レート当たりの消費電力が少なくなることが分かった。4.3 節の評価では、到着率が増加するにつれて無線全二重通信発生確率  $\Pr(S_{c2})$  が高くなることが分かった。このことから無線全二重通信では、到着率が増加するにつれて単位実効伝送レート当たりの消費電力が少なくなると考えられる。そこで、到着率と単位実効伝送レート当たりの消費電力との関係を確認するために、到着率を変えて単位実効伝送レート当たりの消費電力を評価した。図 3 に到着率  $\lambda$  を 0.625 から 31.25 に変えた際の単位実効伝送レート当たりの消費電力  $P_e$  [mW/Mbps] を示す。横軸は到着率  $\lambda$  [packet/sec.], 縦軸は単位実効伝送レート当たりの消費電力  $P_e$  [mW/Mbps] である。無線全二重通信における消費電力が自己干渉除去に必要な電力に依存することから、自己干渉除去に必要な電力  $P_{fd}$  [mW] を 0, 9, 18, 27 に変えて評価した。

図 3 から到着率  $\lambda$  が増加するにつれて FD における単位実効伝送レート当たりの消費電力の値  $P_e$  が小さくなるのが分かる。こ

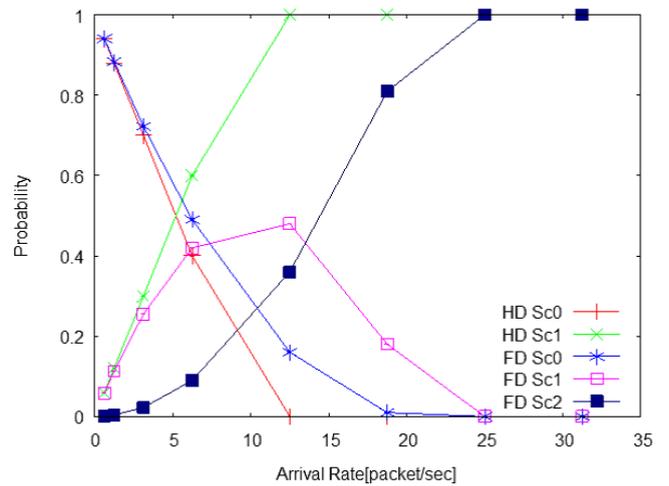


図 2: 到着率と通信状態発生確率

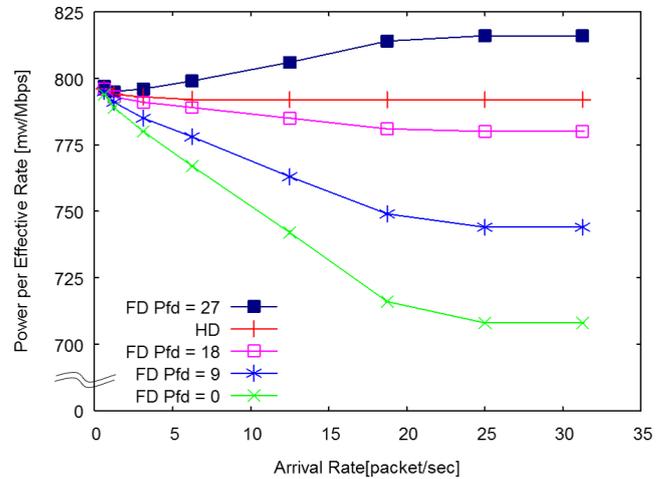


図 3: 到着率と単位実効伝送レート当たりの消費電力

れは、到着率と共に無線全二重通信が発生する確率  $\Pr(S_{c2})$  が高くなるためと考えられる。

## 5 おわりに

本稿では、無線全二重通信を使った省電力化について検討した。4 章での評価の結果、到着率があがり無線全二重通信発生確率が高まるにつれて、単位実効伝送レート当たりの消費電力が低下することが分かった。

## 参考文献

- [1] Dongkyu Kim, et al. A Survey of In-band Full-duplex Transmission: From the Perspective of PHY and MAC Layers. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, No. c, pp. 1–31, 2015.
- [2] 村上遼, 他. 無線全二重通信の電力消費に関する検討. 電子情報通信学会総合大会, 2016 (発表予定).
- [3] A USB-Enabled System-On-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2531.pdf> (2015 年 12 月 27 日参照).