

無線 LAN 環境における TCP の動作を考慮した消費電力モデルの提案

大阪大学 大学院情報科学研究科
橋本 匡史
長谷川 剛
村田 正幸

研究の背景

- 小型の無線端末を利用したインターネットアクセスが一般的になってきた
 - ノートPC, タブレット PC やスマートフォンなど
- 無線端末は通常バッテリー駆動である
- 無線端末の消費電力の 10% から 50% を無線通信が占めている [1]

↓

無線端末の駆動時間を長期化するためには、
無線通信の省電力化が重要

[1] Atheros Communications, "Power consumption and energy efficiency comparisons of wlan products." In Atheros White Papers, May 2003.
2010/12/16 NS 研究会 2

無線 LAN 環境における消費電力

無線 NIC の消費電力

品名 (発表年)	送信	受信	アイドル	スリープ
Atheros AR5004 [4] (2003年)	1.4 W	0.9 W	0.8 W	0.16 W
Atheros AR6002 [5] (2007年)	0.8 W	0.5 W	0.05 W	0.002 W

- 無線 NIC の省電力化は進んでいる
 - 消費電力は全体的に低下
 - 送信時の消費電力は1/2に、アイドル時あるいはスリープ時の消費電力は1/10に削減
- MAC プロトコルレベルにおいても省電力化が行われている
 - IEEE 802.11 Power Saving Mode (PSM) によって省電力化が可能
 - スループットの低下や遅延の増加など、ネットワーク性能を損ねる場合がある
- アプリケーションやトランスポート層プロトコルがパケット送受信のタイミングを決定しており、そのタイミングがスリープ効率を決定する
 - ⇒ 効率的なスリープを行うには上位層プロトコルの挙動を考慮する必要がある

[4] Wistron NetWeb Corp., "CM9: WLAN 802.11 a/b/g mini-PCI Module," available at microcom.us/CM9.pdf.
[5] Silix, "SX-SDCAG 802.11a/b/g SDIO card module datasheet," available at http://www.silixamerica.com/products/data_sheets/sx-sdcag_brief.pdf. 3

研究の目的

無線 LAN 環境における TCP の動作を考慮した消費電力モデルの構築と評価

- MAC レベルのモデルと TCP レベルのモデルの組合せで消費電力モデルを構築
- 理想的にスリープした場合とそうでない場合の消費電力を比較し、消費電力を削減するうえで効果的な要素を明らかにする
- 省電力効果と転送時間のトレードオフを評価する

2010/12/16 NS 研究会 4

ネットワークモデルと仮定

上り TCP データ転送をした場合に、無線端末 (STA) において消費される電力をモデル化

仮定

- パケットデータの転送を想定
- パケットの送受信のタイミングは TCP 輻輳制御にしたがう
- STA は RTS/CTS を利用し、AP は RTS/CTS を利用しない
- 無線区間ではフレームの衝突がなく、フレームが損失しない
- 有線ネットワーク上でデータセグメントが輻輳によって廃棄される。ACK セグメントは廃棄されない

2010/12/16 NS 研究会 5

無線 LAN における消費電力モデル

- MAC レベルのモデル化
 - IEEE 802.11 MAC (CSMA/CA) のフレーム交換に基づいた消費電力モデル
- TCP レベルのモデル化
 - TCP のスループット解析モデル [12], [13] に基づいて、TCP 輻輳ウィンドウの変化を考慮した消費電力モデルを構築
 - スリープしなかった場合のモデルと(理想的な)スリープをした場合のモデルを構築

[12] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, and J. Kurose, "Modeling TCP throughput: A simple model and its empirical validation," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 28, pp. 303-314, Oct. 1998.
[13] N. Cardwell, S. Savage, and T. Anderson, "Modeling TCP latency," In Proceedings of INFOCOM 2000, vol. 3, pp. 1742-1751, Mar. 2000.
2010/12/16 NS 研究会 6

IEEE 802.11 MAC の消費電力モデル

STA から AP へデータフレームを送信 AP から STA へデータフレームを送信

データフレーム送信時の平均消費電力 **アイドル時の消費電力**

$$J^t = P^l(3T_{SIFS} + T_{DIFS} + T_{backoff} + 4\tau) + P^r(T_{RTS} + T_{DATA}^{STA}) + P^v(T_{CTS} + T_{ACK})$$

送信時の消費電力 受信時の消費電力

データフレーム受信時の平均消費電力 **受信時の消費電力**

$$J^r = P^l(T_{SIFS} + T_{DIFS} + T_{backoff} + 2\tau) + P^r T_{ACK} + P^v T_{DATA}^{AP}$$

アイドル時の消費電力 送信時の消費電力

2010/12/16 NS 研究会 7

TCP の動きを考慮した消費電力モデル

TCP 輻射ウィンドウの変化

- データ転送を複数のブロックに分け、それぞれのブロックで消費される電力の期待値を求める
- それらを組合せることによって、データ転送における消費電力を求める

以降では、定常フェーズにおける消費電力を示す

2010/12/16 NS 研究会 8

定常フェーズにおける消費電力

TCP 輻射ウィンドウの変化

定常フェーズにおける消費電力

$$J^{ca} = \frac{S_d/S_p - S^s s_d}{E[n]E[Y] + E[R]} E[n] J^{TD} + J^{TO}$$

1 サイクルにおける消費電力

全データを転送するために必要なサイクル数

2010/12/16 NS 研究会 9

TD 期間および TO 期間における消費電力

TD 期間の輻射ウィンドウの変化 TO 期間の輻射ウィンドウの変化

TD 期間における消費電力

$$J^{TD} = E[Y]J^t + (E[Y] - E[W] + E[\beta])J^r + P^l\{E[A] - E[Y]T^d - (E[Y] - E[W] + E[\beta])T^r\}$$

データセグメント数 ACKセグメント数

TO 期間における消費電力

$$J^{TO} = E[R]J^t + P^l\{E[Z^{TO}] - E[R]T^r\}$$

データセグメント数 アイドル時間

2010/12/16 NS 研究会 10

TD 期間においてスリープした場合の消費電力

輻射ウィンドウの変化

1ウィンドウ内のパケットシーケンス

データセグメント パケット間隔 ACKセグメント

アクティブ スリープ アクティブからスリープへの遷移 スリープからアクティブへの遷移

アイドル間隔でスリープできる条件

$$RTT/(w_k - 1) - (T^t + T^r) > T^{as} + T^{sa}$$

パケット間隔 パケット送受信時間 状態遷移にかかる時間

TD 期間においてスリープした場合の消費電力

スリープによる消費電力 状態遷移による消費電力

$$J^{TD} = E[Y]J^t + (E[Y] - E[W]/2)J^r + P^s E[T_{sa}^s] + E[N_{sa}^s](P^{as}T^{as} + P^{sa}T^{sa}) + P^l\{E[A] - E[Y]T^d - (E[Y] - E[W]/2)T^r - E[T_{sa}^s] - P^l E[N_{sa}^s](T^{as} + T^{sa})\}$$

2010/12/16 NS 研究会 スリープと状態遷移にかかる時間 11

数値解析 - パラメータ設定 -

無線端末 アクセスポイント 有線ネットワーク 有線ホスト

パラメータ設定

- データサイズ: 100 MB
- IEEE 802.11a
 - データレート: 54 Mbps
 - $T_{backoff} = CW_{min}/2$
- データセグメントサイズ: 1500 バイト
- ACK セグメントサイズ: 40 バイト

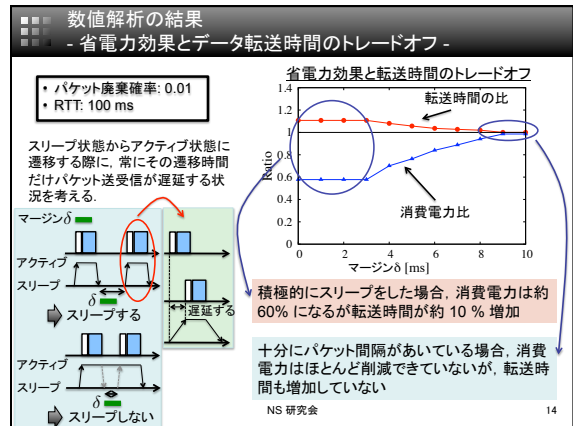
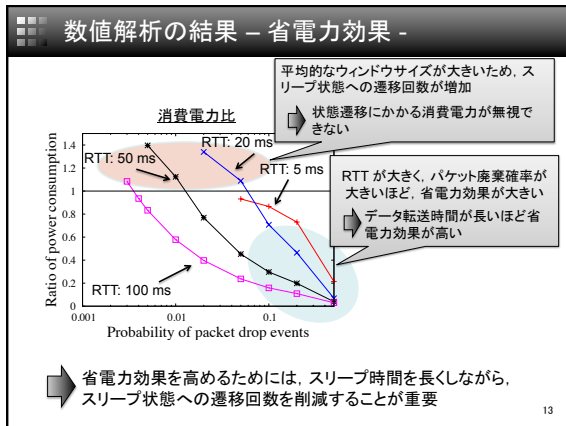
無線 NIC の消費電力 [4]

送信	受信	アイドル	スリープ
1.4 W	0.9 W	0.8 W	0.16 W

スリープからの復帰にかかる時間は 1 ms. 消費電力は送信時と同じとした

[4] Wistron NetWeb Corp., "CM9: WLAN 802.11 a/b/g mini-PCI Module," available at microcom.us/CM9.pdf

2010/12/16 NS 研究会 12



- ### まとめと今後の課題
- #### まとめ
- 無線 LAN における、TCP の動作を考慮した消費電力モデルを構築
 - MAC レベルのモデルと TCP レベルのモデルの組合せ
 - 消費電力モデルを用いた数値解析
 - 効果的なスリープをするためには、スリープ時間を長期化し、スリープ状態への遷移回数を減らすことが重要
 - スリープすることで消費電力は約 60% に削減できるものの転送時間は約 10% 増加することを示した
- #### 今後の課題
- 今回の解析結果を踏まえた TCP 転送方式の考案
 - マルチ MAC やマルチパスを想定した消費電力モデルへの拡張
- 2010/12/16 NS 研究会 15

