

## 無線 LAN 環境における TCP Delayed ACK による省電力効果の解析

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," Atheros White Papers, May 2003.

2011/07/21 NS 研究会 2

## 無線 LAN 環境における省電力化

### 無線 NIC の省電力化

消費電力は約 1/10 に削減

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 (2003年)	1.4 W	0.9 W	0.8 W	0.16 W
Atheros AR6002 (2007年)	0.8 W	0.5 W	0.05 W	0.002 W

[13] Wistron NetWeb Corp., "CM9: WLAN 802.11a/b/g SDIO 3.0", microcom.us/CM9.pdf.  
Silix, "SX-SDCAG 802.11a/b/g SDIO 3.0", www.silixamerica.com/products/data-sheets/sx-sdcag\_brief.pdf.

消費電力は約 1/2 に削減

アイドル時やスリープ時の消費電力の改善が大きい  
⇒ 如何にアイドル時間やスリープ時間を長くするかが重要

2011/07/21 NS 研究会 3

## TCP の挙動が消費エネルギーに与える影響

効果的に省電力を行うためには？

いつ、どれくらいスリープするかがスリープ効率を左右する  
パケットの送受信タイミングはアプリケーションやトランスポート層プロトコルによって決定される

⇒ 上位層プロトコルの挙動を考慮する必要がある

TCP データ通信をしている無線端末の消費エネルギーモデル [8]

TCP 輻輳ウィンドウの挙動に基づいて、アイドル時間にスリープしたときの消費電力をモデル化

スリープ時間をできるだけ長く、アクティブ/スリープ状態間の遷移回数を削減すると、スリープによる省電力効果を高められる

[8] M. Hashimoto, G. Hasegawa, and M. Murata, "Modeling and analysis of power consumption in TCP data transmission over a wireless LAN environment," in Proceedings of GreenComm 2011, June 2011.

2011/07/21 NS 研究会 4

## 研究の目的

### アイデア

細かいアイドル時間をまとめて大きなアイドル時間にすれば、アクティブ/スリープ状態への遷移回数を減らすことができる

⇒ 複数のパケットをまとめてバースト転送する  
バースト転送の実現には TCP Delayed ACK を利用する

**無線 LAN 環境において TCP Delayed ACK を利用したバースト転送による省電力効果を解析**

- [8] で構築した消費エネルギーモデルを拡張し、バースト転送を利用してスリープした場合の消費エネルギー解析モデルを構築
- バースト転送を利用した場合の省電力効果を示す

[8] M. Hashimoto, G. Hasegawa, and M. Murata, "Modeling and analysis of power consumption in TCP data transmission over a wireless LAN environment," in Proceedings of GreenComm 2011, June 2011.

2011/07/21 NS 研究会 5

## ネットワークモデルと仮定

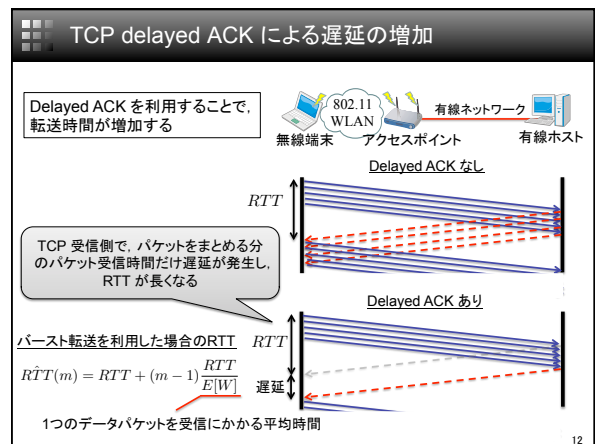
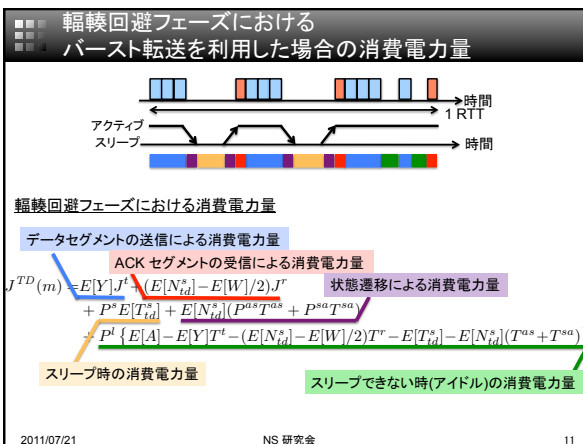
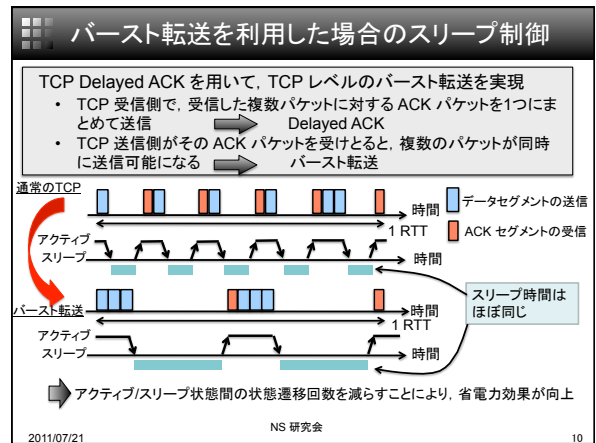
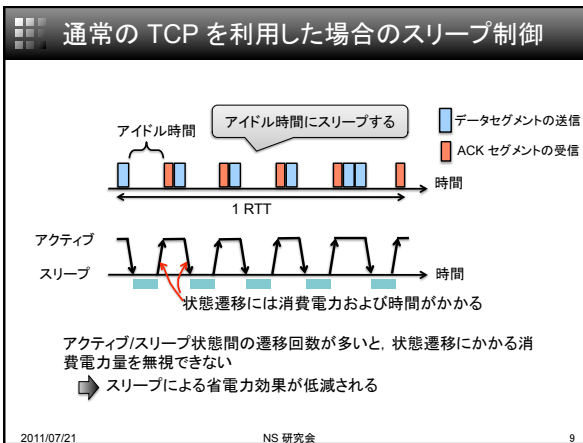
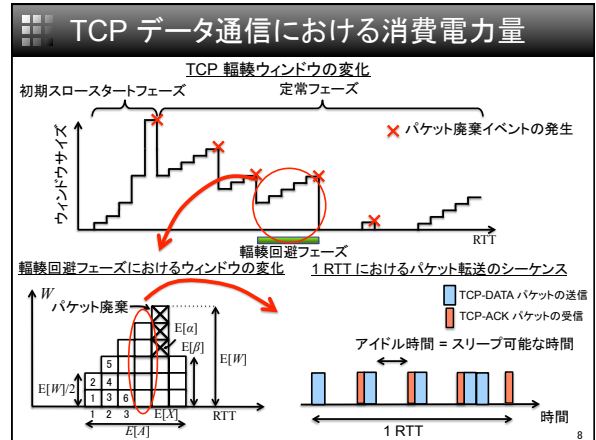
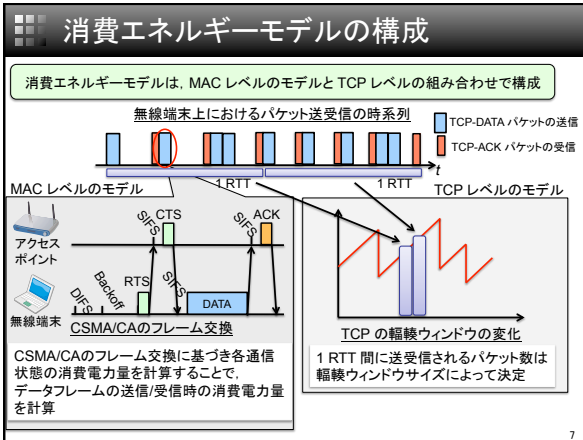
無線 LAN 環境

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

### 仮定

- バルク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 輻輳制御にしたがい、既知である
- 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

2011/07/21 NS 研究会 6



### 数値解析 - パラメータ設定

無線端末 → 802.11 WLAN → アクセスポイント → 有線ネットワーク (2ms - 200ms) → 有線ホスト

無線 NIC の消費電力 [13]

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

パラメータ設定

- データサイズ: 1 MB
- IEEE 802.11a
  - データレート: 54 Mbps
  - 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

評価メトリック

- 省電力効果
- 転送時間

[13] Wistron NeWeb Corp., "CM9: WLAN 802.11 a/big mini-PCI Module." available at <http://site.microcom.us/CM9.pdf>

### 解析結果 - 省電力効果

消費電力比 =  $\frac{\text{スリープした場合の消費電力}}{\text{スリープしなかった場合の消費電力}}$      m: パースト転送でまとめるパケット数

パースト転送利用せずにスリープした場合     パースト転送を利用してスリープした場合 (m=5)

有線ネットワークにおけるパケット廃棄イベントの発生確率

平均的なウィンドウサイズが大きい  
→ 状態遷移回数が多い  
→ 状態遷移の消費電力が大きい

パースト転送によって状態遷移回数を削減  
→ 状態遷移の消費電力が削減

パースト転送を利用してほとんど変わらない  
RTT が大きいので、スリープによって削減される消費電力に比べて、パースト転送によって削減される状態遷移の消費電力が相対的に小さいため

### 省電力効果とデータ転送時間とのトレードオフ

p: 有線ネットワークにおけるパケット廃棄イベントの発生確率

消費電力 [W] vs. まとめて転送するパケット数 m

データ転送時間 [秒] vs. まとめて転送するパケット数 m

省電力効果と転送時間を考慮すると、m の値は 1 から 5 程度で選択すべき

### まとめと今後の課題

#### まとめ

- 無線 LAN 環境において TCP データ転送を行った場合の消費エネルギーモデルを構築
- 省電力化のために複数のパケットをまとめてパースト転送
- パースト転送は TCP delayed ACK を利用

#### 数値解析

- パースト転送を利用してスリープすることで、RTT やパケット廃棄率が小さい場合でも省電力化が可能
- 省電力効果と転送時間のトレードオフを考えると、まとめるパケットの数は 1 から 5 の範囲内で決めるべき

#### 今後の課題

- 無線 LAN 内のフレームロスや衝突を考慮し、それらのパースト転送への影響を検証
- パースト転送に基づいた省電力なトランスポートアーキテクチャの実現

### TCP データ通信における消費電力

初期スロースタートフェーズ     定常フェーズ

ウィンドウサイズ vs. RTT

パケット廃棄イベントの発生

輾轉回避フェーズ     タイムアウト

#### TCP データ通信の消費電力の求め方

- パケット廃棄イベントの発生ごとにデータ転送を複数のブロックに分割
- 各ブロックの消費電力の期待値を算出
- 各ブロックの消費電力の期待値の合計が TCP データ転送において消費される電力の期待値

### 省電力効果とデータ転送時間との間のトレードオフ

p: 有線ネットワークにおけるパケット廃棄イベントの発生確率     m: パースト転送でまとめるパケット数

消費電力比 vs. まとめて転送するパケット数 m

転送時間比 vs. まとめて転送するパケット数 m

省電力効果と転送時間を考慮すると、m の値は 1 から 5 程度で選択すべき



## データ転送時間の計算方法

### TCP データ転送時間 [12]

$$E[T](m) = \frac{R\hat{T}T(m) \left( \frac{E[W]}{2} + 1 \right) + \frac{Q(E[W])G(p)T_0}{1-p}}{\left( \frac{1-p}{p} + \frac{E[W]}{2} + Q(E[W]) \right) / (S_d/S_p - S_d^{ss})}$$

### バースト転送を利用した場合の RTT

$$R\hat{T}T(m) = RTT + (m-1) \frac{RTT}{E[W]}$$

[12] N. Cardwell, S. Savage, and T. Anderson, "Modeling TCP latency," in Proceedings of INFOCOM 2000, vol. 3, pp. 1742–1751, Mar. 2000

2011/07/21

NS 研究会

19