

## SCTPを用いた無線 LAN における TCP データ転送の省電力化に関する一検討

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
- 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 [5]

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

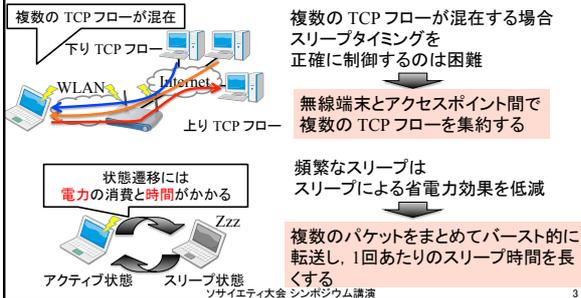
[5] Atheros Communications, "Power consumption and energy efficiency comparisons of wlan products," Atheros White Papers, May 2003.

ソサイエティ大会 シンポジウム講演

2

## 無線 LAN 環境における省電力化の問題と改善方法

無線端末の省電力化には、パケットが送受信されていない時間 (アイドル時間) にスリープすることが有効



## 研究の目的

無線 LAN 環境において、複数の TCP データ転送を行なっている無線端末の通信を省電力化する

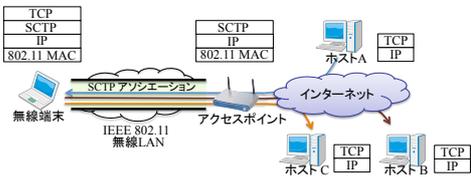
1. TCP データ転送の省電力化を行う SCTP トンネリングを提案 [1]
  - Stream Control Transmission Protocol (SCTP) を利用
  - 提案方式の消費電力モデルを構築し、提案方式の省電力効果を評価
2. SCTP トンネリングの適用可能性の検証のための実装について検討

[1] 橋本 匡史, 長谷川 剛, 村田 正幸, "無線 LAN 環境における TCP データ転送の省電力化のための SCTP トンネリングの提案," 電子情報通信学会技術研究報告 (IN2012-26), vol. 112, pp. 13-18, June 2012.

ソサイエティ大会 シンポジウム講演

4

## SCTP トンネリングの概要

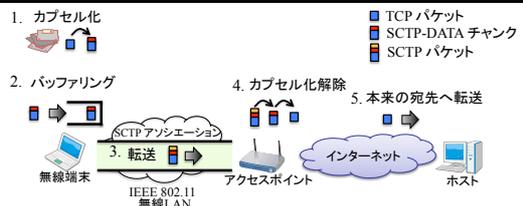


- 複数の TCP フローを 1 本の SCTP アソシエーションに集約する
  - SCTP マルチストリーミングを利用
- 各 SCTP パケットをバースト転送することによって 1 回あたりのアイドル時間を長くする
  - Delayed ACK を利用

ソサイエティ大会 シンポジウム講演

5

## SCTP トンネリング - TCP フローの集約 -



1. TCP パケットを SCTP-DATA チャンクに格納する
2. SCTP-DATA チャンクを送信キューにバッファリングする
3. 送信可能なタイミングで SCTP-DATA チャンクから SCTP パケットを生成する
  - 送信タイミングは SCTP の輻輳制御機構にしたがう
4. 受信した SCTP パケットから TCP パケットを取り出す
5. TCP パケットを本来の宛先に転送する

ソサイエティ大会 シンポジウム講演

6

### SCTPトンネリング - バースト転送 -

SCTPでも利用可能

Delayed ACKによるバースト転送

複数パケットに対する確認応答を1つのSCTP-SACKチャックで行う

1. m個のSCTPパケットを受信するとSCTP-SACKチャックが生成される
2. SCTP-SACKチャックが含まれるSCTPパケットを受信すると、m個のSCTPパケットが送信可能となる

パケット送受信の時系列と状態遷移

頻繁な状態遷移により省電力効果が低減

1回あたりのスリープ時間を長くし、スリープの回数を削減

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 7

### SCTPトンネリングの消費電力モデル - 仮定 -

複数のTCPフローが混在

無線端末の通信による消費電力をモデル化する

仮定

- TCPフローの平均スループットは既知
- MACレベルにおいてデータフレームはランダムに廃棄
- 無線端末はRTS/CTSを利用し、アクセスポイントはRTS/CTSを利用しない
- 無線NICには送信状態、受信状態、アイドル状態、スリープ状態があり、それぞれの状態で消費される電力は異なる
- 無線NICは適切なタイミングでスリープできる

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 8

### SCTPトンネリングの消費電力モデル - 構成 -

SCTPトンネリングの消費電力モデル

MACレベルのサブモデル

CSMA/CAのフレーム交換

CSMA/CAのフレーム交換に基づき、データフレームの送信/受信時の消費電力を計算

SCTPレベルのサブモデル

SCTP輻輳ウィンドウの変化

輻輳ウィンドウにしたがって単位時間あたりに送信されるパケット数を基に、消費電力を求める

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 9

### SCTPトンネリングの消費電力

SCTPの輻輳制御

- アソシエーション全体で輻輳制御を行う
- 輻輳制御アルゴリズムはTCPと同じ

SCTP輻輳制御の振る舞いを、1本のTCPフローの輻輳制御の振る舞いにみなせる

SCTPレベルのモデルはTCPフローの消費電力モデル [6,7] を基に構築

TCP輻輳制御の詳細な挙動に基づいて、TCPデータ転送の消費電力を導出

[6] 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.

[7] M. Hashimoto, G. Hasegawa, and M. Murata, "Energy efficiency analysis of TCP with burst transmission over a wireless LAN," in Proceedings of ISCTT 2011, Oct. 2011.

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 10

### SCTPトンネリングの消費電力

SCTPの輻輳ウィンドウサイズの変化

× パケット廃棄イベントの発生

TD 期間: 輻輳回避フェーズ (3つの重複ACK)

TO 期間: 輻輳回避フェーズ (タイムアウト)

SCTPトンネリングの消費電力の期待値

$$P = \frac{JTD + Q(E[W])JTO}{E[A] + Q(E[W])E[Z^{TO}]}$$

TD 期間の消費電力の期待値

TO 期間の消費電力の期待値

TD 期間の長さの期待値

TO 期間の長さの期待値

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 11

### TD 期間の消費電力

TD 期間の輻輳ウィンドウの変化

TD 期間の消費電力の期待値

SCTPパケットの送信による消費電力

SCTPパケットの受信による消費電力

状態遷移による消費電力

スリープ時の消費電力

スリープできない時(アイドル時)の消費電力

$$JTD = E[Y]E[J^s] + E[Y] - E[W]/2 E[J^r] + P^s E[T_{td}^s] + E[N_{td}^s] (P^{sa} T^{sa} + P^{sa} T^{sa}) + P^i \{ E[A] - E[Y] E[T^i] - (E[N_{td}^i] - E[W]/2) E[T^i] - E[T_{td}^i] - E[N_{td}^i] (T^{sa} + T^{sa}) \}$$

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 12

### SCTPトンネリングによる遅延の増加

パースト転送のために  
パケットをバッファリングする必要がある → 各 TCP パケット  
に遅延が生じる

IEEE 802.11 無線LAN  
無線端末      アクセスポイント

SCTP アソシエーション

**TCP パケットの平均バッファリング遅延**

$$D = \frac{m-1}{2} \frac{1}{R}$$

1度にパースト転送するパケット数  
TCP パケットの到着率

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 13

### 数値解析 - パラメータ設定 -

複数のアプリケーションが TCP データ転送を行う

IEEE 802.11g 無線LAN  
無線端末      アクセスポイント      インターネット      ホスト

SCTP アプリケーション

データフレームはランダムに廃棄

**パラメータ設定**

- IEEE 802.11a
  - データレート: 54 Mbps
- TCP-DATA パケットサイズ: 1500 バイト
- TCP-ACK パケットサイズ: 40 バイト
- 1本あたりのTCPフローの平均スループット: 100 KB/s

**無線 NIC の消費電力 [8]**

送信	受信	アイドル	スリープ
1.4 W	0.9 W	0.8 W	0.016 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

**評価メトリック**

- 消費電力
- 平均バッファリング遅延

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

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 14

### 数値例 - 省電力効果と遅延のトレードオフ -

消費電力比 =  $\frac{\text{スリープしたときの消費電力}}{\text{スリープしなかったときの消費電力}}$

消費電力比

平均バッファリング遅延 [ms]

パースト転送するパケット数 m

合計 TCP スループット: 1MB/s  
合計 TCP スループット: 500KB/s  
合計 TCP スループット: 200KB/s

m が大きくなるにつれて、消費電力比は減少し、ある値に収束  
TCP スループットが大きいほど、消費電力比の減少幅が大きい

m が大きくなるにつれて、遅延は線形に増加  
TCP スループットが大きいほど、遅延の増加幅は小さい

TCP スループットが大きいときに、わずかな遅延の増加で大きく消費電力を削減できる

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 15

### SCTPトンネリングを実装する際の課題と方針

SCTPトンネリングの適用可能性を検証するために、SCTPトンネリングを Linux 上に実装することを検討

**実装する際の課題**

- MAC レベルのスリープ方式
  - 既存のスリープ方式 (PSM や APSD) を利用
- アプリケーションから送信された TCP パケットを、SCTPトンネリングで取得する方法
  - Linux kernel 内で TCP/IP パケットを取得
    - Linux kernel 内に SCTPトンネリングを実装
  - 仮想ネットワークドライバを介して TCP/IP パケットをアプリケーション上で取得
    - アプリケーションとして SCTPトンネリングを実装

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 16

### SCTPトンネリングのプロトコルスタック - Linux kernel 内に実装する場合 -

無線端末      アクセスポイント

Application      user space      kernel space

TCP      SCTP tunneling      IP      IP      NIC driver      WLAN      Wired

TCP/IP パケットが NIC の送信キューに転送される際に SCTP トンネリングに転送

**利点:** アプリケーションとして実装するより、冗長な処理を軽減できるため高速な動作が期待できる

**欠点:** Linux コード内の他のプロトコルも変更する必要があるため、手間が大きい

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 17

### SCTPトンネリングのプロトコルスタック - アプリケーションとして実装する場合 -

無線端末      アクセスポイント

Application      user space      kernel space

TCP      SCTP tunneling      SCTP      IP      IP      TUN/TAP driver      NIC driver      WLAN      Wired

仮想ネットワークドライバ

**利点:** Linux kernel のコードの変更が不要で、実装が容易

**欠点:** Linux kernel 上に実装する場合と比べて、低速になりうる

⇒ 適用可能性を検証する目的から、アプリケーションとして実装する方法を採用

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 18

### まとめ

#### まとめ

- 無線 LAN 環境において、複数の TCP データ転送を行なっている無線端末の通信を省電力化する SCTP トンネリングを提案
  - 複数の TCP フローを集約し、各パケットをバースト転送することで1回あたりのスリープ時間を長期化
- SCTP トンネリングの消費電力モデルを構築して数値解析
  - SCTP トンネリングはわずかな遅延の増加で消費電力を大きく削減できる
- 適用可能性を検証するための SCTP トンネリングの実装を検討
  - MAC のスリープ方式は既存の方式 (PSM や APSD) を利用
  - TUN/TAP ドライバを利用してアプリケーションとして実装

#### 今後の課題

- 実装方針にしたがい、SCTP トンネリングを実装し適用可能性の検証を行う

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 19

### [付録] SCTP の特徴

#### SCTP パケットの構成

SCTP パケットは1つ以上のチャンクから構成

DATA: ユーザーメッセージが格納されるチャンク  
SACK: 受信したパケットの確認応答用のチャンク  
...

#### SCTP マルチストリーミング

1つのアソシエーションに複数のストリームを多重化可能

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 20

### [付録] TD 期間の長さ

#### SCTP トンネリングのパケット送受信の時系列

#### SCTP パケットの送信間隔

$$T^{\text{interval}} = 1/R_{\text{sctp}}$$

$$R_{\text{sctp}} = \min(R, R_{\text{sctp}}^{\text{max}}, B_{\text{wireless}})$$

TCP パケットの到着率    SCTP の最大送信速度    無線帯域

#### TD 期間の長さの期待値

$$E[A] = \left( \frac{1-p}{p} + \frac{3}{2} E[W] \right) T^{\text{interval}}$$

TD 期間に転送される SCTP パケット数

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 21

### [付録] 数値例 - 消費電力 -

#### 上り TCP フローのみの場合の消費電力

データフレーム転送の失敗確率  $q = 0.1$   
最大フレーム再送回数  $N = 7$   
バースト転送するパケット数:  $m$

スリープした場合の消費電力がスリープしなかった場合の消費電力を超えている  
スリープによって削減される消費電力より、状態遷移による消費電力が大きいため  
十分な間隔がなければスリープしないことで回避可能

スリープすることによって消費電力を大きく削減  
合計スループットが大きい場合でも、 $m$  を大きくすることで省電力化できる  
状態遷移回数を削減し、状態遷移にかかる電力を削減できたため

ソサイエティ大会 シンポジウム講演 22