

無線 LAN における 省電力 TCP データ転送方式の実験評価

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
m-hasimt@ist.osaka-u.ac.jp

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最大 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.

2013/09/13 CQ 研究会 2

無線 LAN における省電力化の問題

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

複数の TCP フローが混在

下り TCP フロー
上り TCP フロー

スリープのタイミングを正確に制御するのは困難

状態遷移には
電力の消費と時間がかかる

アクティブ状態 スリープ状態

頻繁なスリープはスリープによる省電力効果を低減する

2013/09/13 CQ 研究会 3

研究の目的

我々は無線 LAN を対象とした省電力通信方式として SCTP トンネリングを提案してきた [12]

- SCTP を利用したトランスポート層レベルの省電力通信方式
- [12] においては、消費電力モデルに基づいた数値解析によって、SCTP トンネリングの省電力効果を評価

➡ 現実の無線 LAN 環境への適用可能性に関する議論は不十分

無線 LAN 機器を用いた実験により、
SCTP トンネリングの適用可能性を評価する

1. SCTP トンネリングのプロトタイプを設計・実装
2. 市販の無線 LAN 機器を用いて、消費電力と遅延の観点から SCTP トンネリングを評価

[12] M. Hashimoto, G. Hasegawa, and M. Murata, "Exploiting SCTP multistreaming to reduce energy consumption of multiple TCP flows over a WLAN," In Proceedings of GreenNETs 2012, pp.102-111, Oct. 2012.

2013/09/13 CQ 研究会 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 つあたりのアイドル時間を長くする

2013/09/13 CQ 研究会 5

SCTP トンネリング – フローの集約

1. カプセル化
 - TCP パケット
 - SCTP-DATA チャンク
 - SCTP パケット
2. バッファリング
3. 転送
4. カプセル化解除
5. 本来の宛先へ転送

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 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

2013/09/13 CQ 研究会 6

SCTPトンネリング - バースト転送

無線端末 IEEE 802.11 無線LAN アクセスポイント

パケット送受信の時系列と状態遷移

パケット送信 パケット受信 アイドル時間

パースト転送

アクティブ スリープ

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。パケットをバッファリングするため遅延が増加

2013/09/13 CQ 研究会 7

SCTPトンネリングのプロトタイプ作成方針と問題

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アプリケーションとして実装

解決すべき問題

- アプリケーションから送信されたTCPパケットをSCTPトンネリングに集める方法
- スリープ方式
- バースト転送の実現方法

2013/09/13 CQ 研究会 8

SCTPトンネリングのプロトコルスタック

アプリケーションから送信されたTCPパケットをSCTPトンネリングに集める方法

仮想ネットワークドライバを利用してパケットをSCTPトンネリングに転送

TUN/TAPドライバ

無線端末 アクセスポイント

Application user space kernel space

TCP SCTP

IP IP

TUN driver NIC driver

仮想ネットワークドライバ

無線LAN

WLAN

仮想ネットワークドライバ

Wired network

2013/09/13 CQ 研究会 9

IEEE 802.11 の省電力モード

Power Saving Mode (PSM)

- 省電力モードで動作している端末宛のフレームはアクセスポイントで保持される
- 端末はビーコン間隔で定期的に起きる

ビーコン間隔でしかフレーム受信ができないため非効率

Unscheduled Automatic Power Save Delivery (U-APSD)

- 端末は任意のタイミングでフレームを受信可能
- フレーム送信の要求にはトリガーフレームを送信
- データフレームあるいはQoS-nullフレームがトリガーとして利用可能

無線端末 アクセスポイント

Power Saving Mode (PSM)

Unscheduled Automatic Power Save Delivery (U-APSD)

2013/09/13 CQ 研究会 10

スリープ方式とバースト転送の実現

スリープ方式

SCTPトンネリングのスリープ方式として U-APSD を採用

どのタイミングでトリガーを送信するかを決める必要がある

バースト転送

m 個のパケットがSCTPトンネリングのバッファに溜まる

1つ目のパケットがSCTPトンネリングのバッファに到着してから一定時間経過した

パースト転送タイムアウト

バッファ内のパケットを連続してSCTPに転送する

2013/09/13 CQ 研究会 11

トリガーの送信アルゴリズム

トリガー送信タイムアウト t_i^{trig}

ある時間の間に無線端末側からデータフレームが送信されなければ明示的にトリガーを送信

ペイロードサイズ 0 バイトの UDP パケット

トリガーを送信すべきタイミング

トリガー送信はアクセスポイントにパケットが m 個溜まった瞬間にしたい

一定時間内に無線端末が受信したパケット数から、アクセスポイントに m 個パケットが溜まるのを推定

タイムスロット H

無線端末 アクセスポイント

2013/09/13 CQ 研究会 12

トリガー送信タイムアウトの決定

タイムスロット H の間に受信するパケット数

$$n_i^r = \alpha \hat{n}_i^r + (1 - \alpha) n_{i-1}^r$$

トリガー送信タイムアウト

$$t_{i+1}^{trig} = \max \left(\min \left(m \cdot \frac{H}{n_i^r}, t_{max}^{trig}, t_{min}^{trig} \right), t_{min}^{trig} \right)$$

2013/09/13 CQ 研究会 13

性能評価 - 実験環境

2013/09/13 CQ 研究会 14

性能評価 - 実験方法

無線端末が FTP を用いて 10 MB ファイルをダウンロード

評価指標

- ファイル転送時間
- 消費電力量

比較方式

- Continuously Active Mode (CAM)
- U-APSD
 - トリガーとして 100 ms 間隔で UDP パケットを送信

SCTP トンネリングのパラメータ

パラメータ	設定値
CL	1/8
H	100 ms
バースト転送タイムアウト	20 ms
t_{min}^{trig}	2 ms
t_{max}^{trig}	15 ms
Delayed SACK タイムアウト	5 ms

※ 一部のパラメータは調整済み

2013/09/13 CQ 研究会 15

実験結果 - ファイル転送時間

m : 一度にバースト転送するパケット数

ボトルネックリンクの片道遅延: 2.5 ms

転送時間が增大
・帯域遅延積が大きいため、AP においてバッファ溢れが発生し、TCP レベルのバケット再送が発生

ファイル転送時間の関係

CAM < SCTP トンネリング < U-APSD

1 度にバースト転送するパケット数を多くすると、SCTP トンネリングのファイル転送時間は大きくなる

2013/09/13 CQ 研究会 16

実験結果 - 消費電力量

消費電力量比 = $\frac{\text{各方式利用時の消費電力量}}{\text{CAM 利用時の消費電力量}}$

m : 一度にバースト転送するパケット数

約60%削減 (2.5 ms), 約15%削減 (50 ms)

SCTP トンネリング ($m=2$ あるいは $m=5$) は U-APSD を単独で用いた場合と同程度の省電力効果

SCTP トンネリングは、帯域遅延積が大きい環境において、消費電力量の削減幅が大きい

2013/09/13 CQ 研究会 17

まとめと今後の課題

まとめ

- 無線 LAN を対象とした省電力通信方式である SCTP トンネリングをプロトタイプを作成
 - SCTP トンネリングを Linux アプリケーションとして実装
- 市販の無線 LAN 機器を用いて SCTP トンネリングの性能評価
 - SCTP トンネリングは遅延の増加を抑えながら省電力な通信を実現できることを確認

今後の課題

- 複数のトラフィックが単一の端末内で混在する場合における、SCTP トンネリングの有効性の検証
 - VoIP
 - ビデオストリーミング

2013/09/13 CQ 研究会 18

消費電力の計測

消費電力計測回路

消費電力量

$$W = V_{cc} \int_{t_s}^{t_e} \frac{v(t)}{R} dt$$

平均消費電力

$$P = \frac{W}{t_e - t_s}$$

2013/09/13 CQ 研究会 19

実験結果 - 平均消費電力

ボトルネックリンクの片道遅延: 2.5 ms

ボトルネックリンクの片道遅延: 50 ms

平均消費電力の関係

CAM > SCTPトンネリング > U-APSD

1度にバースト転送するパケット数を多くすると、SCTPトンネリングの消費電力は小さくなる

2013/09/13 CQ 研究会 20

実験結果 - 消費電力量比とファイル転送時間

消費電力量比 = $\frac{\text{各方式利用時の消費電力量}}{\text{CAM 利用時の消費電力量}}$ ボトルネックリンクの片道遅延: 25 ms

ファイル転送時間

消費電力量比

2013/09/13 CQ 研究会 21

トリガーの送信アルゴリズム

トリガー送信タイムアウト t_{trig}

ある時間の間に無線端末側からデータフレームが送信されなければトリガーを送信

ペイロードサイズ 0 バイトの UDP パケット

単位時間あたりの 単位時間あたりの
上りパケット数 > 下りパケット数

単位時間あたりの 単位時間あたりの
下りパケット数 > 上りパケット数

単位時間下りパケット数より上りパケット数が多い場合にトリガーを送信すればよい

2013/09/13 CQ 研究会 22