

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

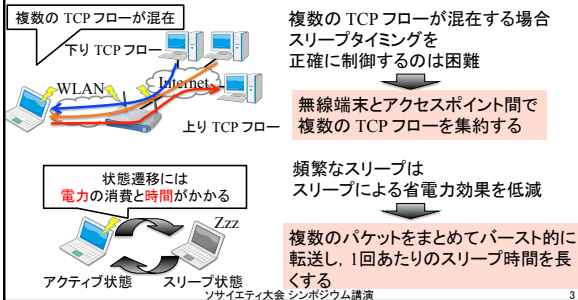
[5] Atheros Communications, "Power consumption and energy efficiency comparisons of wlan products," Atheros White Papers, May 2003.

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



3

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

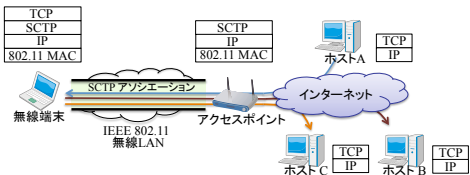
1. TCP データ転送の省電力化を行う SCTP トンネリングを提案 [1]
 - Stream Control Transmission Protocol (SCTP) を利用
 - 提案方式の消費電力モデルを構築し、提案方式の省電力効果を評価
2. SCTP トンネリングの適用可能性の検証のための実装について検討

[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

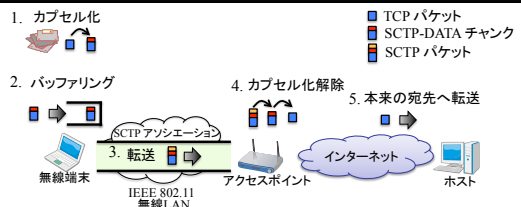


- 複数の TCP フローを 1 本の SCTP アソシエーションに集約する
 - SCTP マルチストリーミングを利用
- 各 SCTP パケットをバースト転送することによって 1 回あたりのアイドル時間を長くする
 - Delayed ACK を利用

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 チャンクで行う

1. m 個の SCTP パケットを受信すると SCTP-SACK チャンクが生成される
2. SCTP-SACK チャンクが含まれる 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 トネリングの消費電力モデル - 構成 -

SCTP ト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算出

[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 トネリングの消費電力

SCTP の輻輳ウィンドウサイズの変化

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

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

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

バ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 Association

IEEE 802.11a 無線LAN

各TCPパケットに遅延が生じる

バ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

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度にバースト転送するパケット数 m
TCPパケットの到着率 R

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

無線端末 アクセスポイント インターネット ホスト

IEEE 802.11a 無線LAN

Sctp Association

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]

バ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 NIC driver

WLAN 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 Sctp tunneling

user space kernel space

TCP Sctp tunneling

IP IP

TUN/TAP driver NIC driver

WLAN 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

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

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

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

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

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量より、状態遷移による消費電力量が大きいため
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