

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 16 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500078

研究課題名(和文)無線機器の省電力機構の効果を最大化するトランスポート層アーキテクチャ

研究課題名(英文)Transport-layer architecture for maximizing the power saving performance of wireless network devices

研究代表者

長谷川 剛 (Go, Hasegawa)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号：00294009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本課題においては、無線ネットワークのデバイスが持つ省電力機能を最大限に発揮するために、上位のトランスポートプロトコルのあり方を追求し、省電力機能を活かすためのデータ転送手法を検討した。具体的には、電力値や立ち上がり、立ち下がり時間などの省電力機能のプロファイルに応じて、データ転送のタイミングを制御し、無線ネットワーク層の省電力プロトコルと連携することによって、省電力なデータ転送を実現する。提案手法の有効性は、コンピュータシミュレーション、および実機実験によって検証した。

研究成果の概要(英文)：In this work, the modification to the transport layer protocol is considered to effectively exploit the power saving functions of wireless network devices and protocols. In detail, based on the power saving profile of wireless devices such as start-up/sleeping time and power consumption values, the packet transmission timings are controlled with consideration of lower-layer protocols at wireless devices for power savings. The effectiveness of the proposed method is confirmed through computer simulations and experimentations with actual wireless network devices.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：TCP 無線LAN 消費電力 省電力 シミュレーション 実験

## 1. 研究開始当初の背景

総務省「地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会」報告書(平成 20 年度)によると、今後省電力対策がなされない場合、数年のうちにルータの消費電力は ICT 機器の消費電力全体の 10%以上に達する。また近年、スマートフォン等のバッテリー駆動が前提となる機器が急激な普及している。そのため、ICT 機器の消費電力を低減することは喫緊の課題であるが、従来、この分野における研究の中心は無線アクセスネットワークにあり、特に無線デバイスの物理層・MAC 層における省電力化の検討が行われてきているが、上位層プロトコルであるトランスポート層プロトコルの挙動は全く考慮されていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、無線アクセスネットワーク環境において、入れ替えるだけで消費電力が従来に比べて最大で 50%削減できるトランスポート層プロトコルを提案し、その有効性を実機実験によって確認することを最終的な目的とする。

具体的には、無線デバイスの MAC 層及び物理層の省電力機構の性能を十分に発揮させるために、TCP の輻輳制御機構を改良するとともに、無線ネットワークにおける新たなトランスポート機構を提案する。本目的を達成するためには、(1)TCP の改変による省電力化を実現するための輻輳制御機構の確立、(2)無線ネットワークにおけるトランスポート機構の確立、および、(3)提案手法の実環境における性能評価、という段階が必要となる。そのため、本研究においては、下記のような研究課題を設定する。

- (1)TCP の改変による省電力化手法の提案
- (2)無線ネットワークにおける省電力トランスポート機構の確立
- (3)提案手法の実環境における性能評価

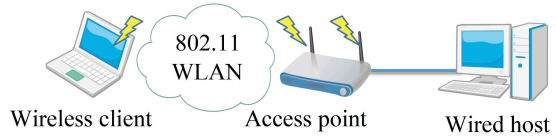
## 3. 研究の方法

### (1) TCP の改変による省電力化手法の提案

右上図に示すようなネットワーク環境を想定し、無線アクセスネットワークとして現在最も多く用いられている IEEE802.11 無線 LAN 環境を前提とし、TCP コネクションが 1 本だけ設定される環境において、消費電力を低減するための TCP 輻輳制御機構を提案する。

具体的には、TCP 輻輳制御機構の準標準的(ほとんどの OS において実装されている)な挙動である遅延 ACK (Delayed ACK)機構を応用し、

バースト転送を実現する。同時に、遅延 ACK 機構の悪影響をできるだけ小さくしながら、消費電力低減に効果的な手法を提案する。



図：実験評価環境

### (2) 無線ネットワークにおける省電力トランスポート機構の確立

(1)において提案する TCP 輻輳制御機構の省電力効果は、TCP コネクションが無線クライアントから 1 本だけ設定されている場合を前提として設計される。しかし、実際の環境においては、複数の TCP コネクションが 1 台の無線クライアントから設定される。この時、各 TCP コネクションのスループットや往復遅延時間は様々であるため、課題 1 による提案手法をそれぞれのコネクションに適用すると、アクティブ/スリープ時間の同期が取れず、省電力効果が著しく低減することが予想される。

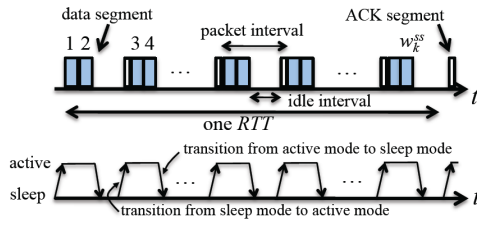
そこで、このような状況においても高い省電力効果を維持するための、無線ネットワーク区間におけるトランスポート機構を提案する。具体的には、無線クライアントと無線アクセスポイント間の無線ネットワーク区間において、Stream Control Transport Protocol (SCTP)を用いたトンネリングを行い、複数 TCP コネクションの packets 送受信タイミングを制御する。

### (3) 提案手法の実環境における性能評価

(1)および(2)において提案した TCP および SCTP を用いた省電力トランスポート層プロトコルを、無線クライアント端末および無線アクセスポイント上に実装し、実ネットワークを用いた実験評価を通じて、本申請研究において提案するアーキテクチャの有効性を検証する。消費電力の計測はコンセント型の計測機器や、クランプメータを用いて行う。

## 4. 研究成果

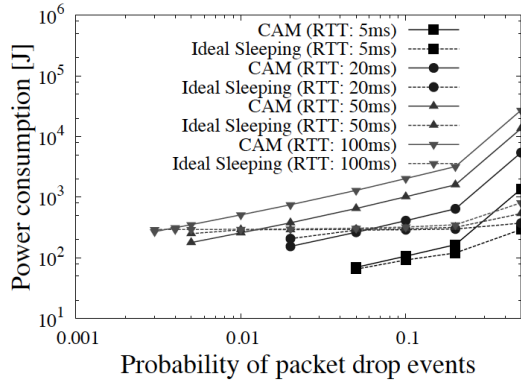
無線 LAN において TCP データ転送を行う、単一の無線端末が消費する電力のモデル化手法を提案し、消費電力を低減する転送手法について検討した。提案モデルは MAC レベルのモデルと TCP レベルのモデルの組合せによって実現した。MAC レベルのモデルにおいては、CSMA/CA のフレーム交換に基づく消費電力モデルを構築した。TCP レベルにおいては、TCP の動作解析に基づいて消費電力モデルを構築した。



図：パケット送受信のモデル化

構築した消費電力モデルに基づいた数値解析によって、無線端末から有線ネットワーク上にあるホストに対して TCP データ転送を行った場合の消費電力を解析的に導出可能となる。数値解析の結果から、パケットの送受信がない区間において理想的にスリープした場合とそうでない場合を比較することで、消費電力を削減するうえで効果的な要因を明らかにした。

さらに、無線 LAN 環境における TCP データ転送の省電力化を行うために SCTP トンネリングを提案した。SCTP トンネリングは、複数の TCP フローを無線端末とアクセスポイント間に確立した 1 本の SCTP アソシエーションに集約する。そして、SCTP トンネリングは集約された TCP フローのパケットをバースト的に転送することによって状態遷移回数を削減し、スリープによる省電力効果を高める。また、提案方式の省電力効果を評価するために、SCTP トンネリングの消費電力モデルを構築する。その消費電力モデルに基づいた消費電力解析により、提案方式が消費電力を最大 70%程度削減できることを示した。



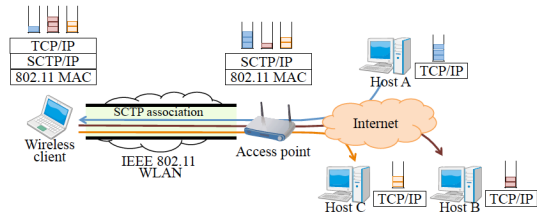
図：消費電力の評価結果

次に、無線 LAN 環境における TCP データ転送の省電力化を行うために SCTP トンネリングを提案した。

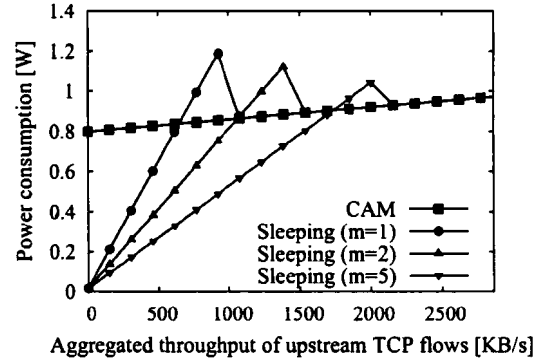
SCTP トンネリング は、複数の TCP フローを無線端末とアクセスポイント間に確立した 1 本の SCTP アソシエーションに集約する。そして、SCTP トンネリングは集約された TCP フローのパケットをバースト的に転送することによって状態遷移回数を削減し、スリープによる省電力効果を高める。

図：SCTP トンネリング方式

図：消費電力試算結果

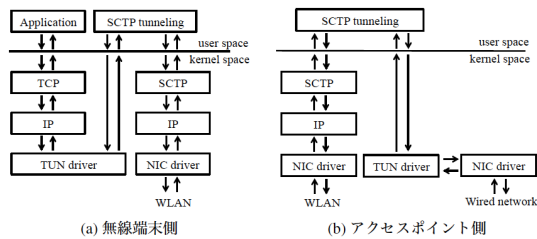


また、提案方式の省電力効果を評価するために、SCTP トンネリングの消費電力モデルを



構築する。その消費電力モデルに基づいた消費電力解析により、提案方式が消費電力を最大 70%程度削減できることを示した。また、実機実験によってもその有効性を検証し、標準化されている省電力手法を単独で用いた場合と同程度の省電力効果を保ちながら、ファイル転送時間を短く抑えることができることを示した。

さらに、無線 LAN 環境を対象とした省電力通信方式である SCTP トンネリングを、市販の無線機器を利用した無線 LAN 実験環境において実装した。そして、その環境における実験評価により 省電力効果とファイル転送時間の観点から SCTP トンネリングの性能評価を行った。

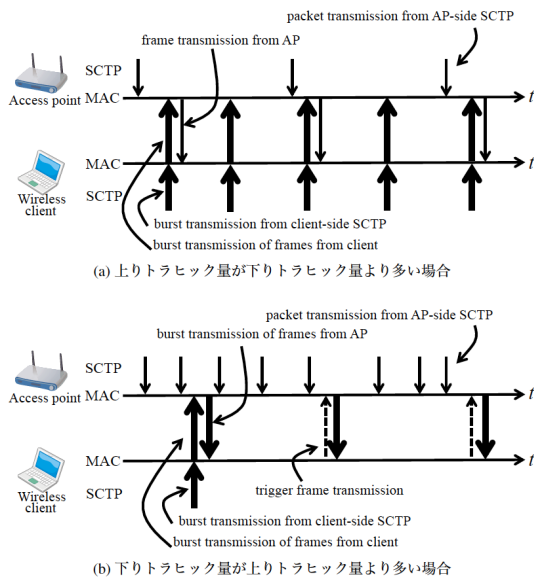


図：プロトコルスタック

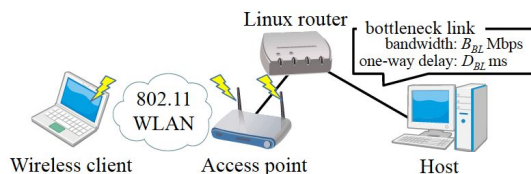
SCTP トンネリングは Linux アプリケーションとして実装し、SCTP トンネリングのスリープ方式として U-APSD を利用した。

FTP ファイル転送をトラヒックとして用いた実験を通して、SCTP トンネリングは、U-APSD を単独で用いた場合と同程度の省電力効果を保ちながら、ファイル転送時間を短く抑えることができることを示した。特に、

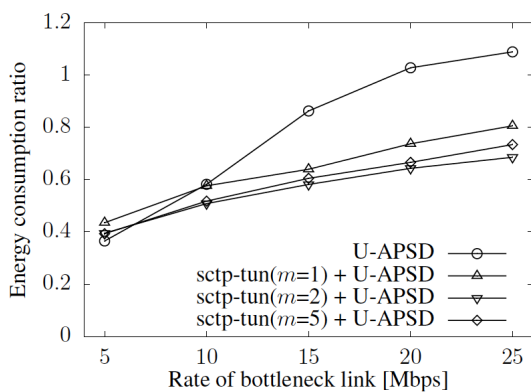
エンド間の帯域遅延積が大きい環境においては、SCTP トンネリングはファイル転送時間の増加を抑えながら消費電力量を削減できることを示した。



図：通信タイミング



図：実験環境



図：評価結果例

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

- (1) Masafumi Hashimoto, Go Hasegawa, Masayuki Murata, "SCTP Tunneling: Flow Aggregation and Burst Transmission to Save Energy for Multiple TCP Flows over a WLAN," IEICE Transactions on Communications, Vol.E96-B No.10 pp.2615-2624, June

2013.

- (2) Masafumi Hashimoto, Go Hasegawa, and Masayuki Murata, "An analysis of energy consumption for TCP data transfer with burst transmission over a wireless LAN," International Journal of Communication Systems (Online), July 2014

[学会発表](計5件)

- (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, vol. 112, no. 88, IN2012-26, pp. 13-18, 2012年6月.
- (2) 橋本匡史, 長谷川剛, 村田正幸, 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, 電子情報通信学会2012ソサイエティ大会講演論文集, 2012年9月.
- (3) Masafumi Hashimoto, Go Hasegawa and Masayuki Murata, "Exploiting SCTP Multistreaming to Reduce Energy Consumption of Multiple TCP Flows over a WLAN," in Proceedings of GreeNets 2012, October 2012.
- (4) 橋本匡史, 長谷川剛, 村田正幸, "無線LANにおける省電力TCPデータ転送方式の実験評価," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 113, no. 208, CQ2013-47, pp. 113-118, 2013年9月.
- (5) Go Hasegawa, Yusuke Iijima, and Masayuki Murata, "Accuracy improvement for spatial compositision-based end-to-end network measurement," in Proceedings of ITNG 2015, April 2015.

[その他]

ホームページ等

- (1) 大阪大学サイバーメディアセンター先端ネットワーク環境研究部門Webページ(研究成果公開), <http://www.ane.cmc.osaka-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

長谷川 剛 (HASEGAWA, Go)

大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授

研究者番号: 00294009