

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730049

研究課題名(和文)異種無線ネットワークを利用したマルチパス転送の省電力化に関する研究

研究課題名(英文)A study on energy-efficient transmission method for multi-path transfer in different wireless networks

研究代表者

橋本 匡史 (Hashimoto, Masafumi)

大阪大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：40711057

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：複数の異なる無線ネットワークを同時並行利用するマルチパス転送技術は通信帯域の大容量化を主目的として研究されてきた。しかし、マルチパス転送技術は複数の無線ネットワークを利用することから通信の省電力化が重要となってきた。本研究では、無線ネットワークのマルチパス転送の省電力化の基礎技術として、トランスポート層レベルの省電力パケット転送方式を提案した。実無線LANを模した実験およびシミュレーション実験によって、提案方式はパケット転送遅延がわずかに増加するものの消費電力を20%から60%削減できることを示した。

研究成果の概要(英文)：Multi-path transfer technology in wireless networks have mainly been focused on enhancement of the bandwidth by exploiting different wireless networks. However, using multiple wireless network may increase energy consumption since it needs to use multiple wireless networks concurrently, which incurs high expectation for energy efficiency in communication in multi-path transmission. We proposed an energy-efficient method for reducing energy consumption as a basic energy-efficient technology for multi-path transfer in wireless networks. Through experiments using off-the-shelf wireless devices and simulation experiments, we confirmed that the proposed method could reduce energy consumption by 20% to 60% while slightly increasing forwarding delay.

研究分野：無線ネットワーク

キーワード：無線ネットワーク 省電力 トランスポート層プロトコル QoS

1. 研究開始当初の背景

無線ネットワーク技術の発展にともない、複数の異なる無線ネットワークを同時並行利用することによって大容量な通信を実現するマルチパス転送が研究されてきた。近年、1台のモバイル端末において3GやLTEなどのセルラネットワークや無線LAN(WiFi)などの異なる無線ネットワークを同時に利用することが可能となってきており、モバイル端末においてもマルチパス転送による利点を享受できるようになってきた。

一方で、無線ネットワークを利用するモバイル端末は主にバッテリーによって動作するため省電力化が重要な課題である。モバイル端末において消費される電力のうち無線通信が占める割合は大きく、特に無線LANでは最大50%を占めることが報告されている。

マルチパス転送は複数のネットワークを同時に利用するため、大容量な通信が実現できる一方で端末の消費電力が増加する欠点がある。

そのため、モバイル端末においてマルチパス転送を効果的に使うための省電力パケット転送方式の必要性が高まってきている。

2. 研究の目的

本研究では、異種無線ネットワークを利用したマルチパス転送の省電力パケット転送を実現するための基礎技術として、特定の無線ネットワークに依存しない省電力パケット転送方式の提案および評価を目的とする。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するため、まず「無線ネットワークにおける省電力パケット転送方式の提案および評価」を行い、「アプリケーションのサービス品質(QoS)を考慮した省電力パケット転送方式の提案および評価」を行った。

(1) 無線ネットワークにおける省電力パケット転送方式

無線通信の省電力化のためには、パケットが送受信されていないアクティブ状態(アイドル時間)において、無線機を低消費電力状態であるスリープ状態にすることが有効である。しかし、アクティブ状態からスリープ状態、あるいはその逆の状態遷移には、時間と余分な電力を消費する。

また、通常モバイル端末上では複数のアプリケーションが起動し、無線ネットワークを介した通信を行う。このような状況においては、アプリケーション毎の独立したパケット転送によって、細切れのアイドル時間ができる。その結果、状態遷移のオーバーヘッドによってスリープによる消費電力の削減効果が損なわれる。

以上の問題を解決するために省電力パケット転送方式を提案した。具体的には、提案方式は、複数のアプリケーションの通信フロー

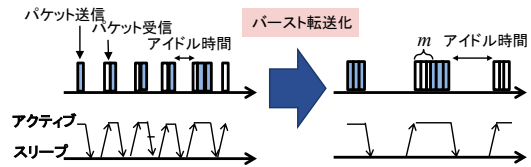


図1 バースト転送

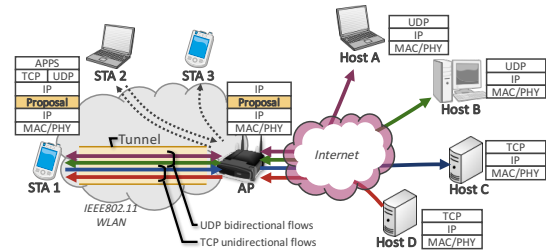


図2 提案方式の概要

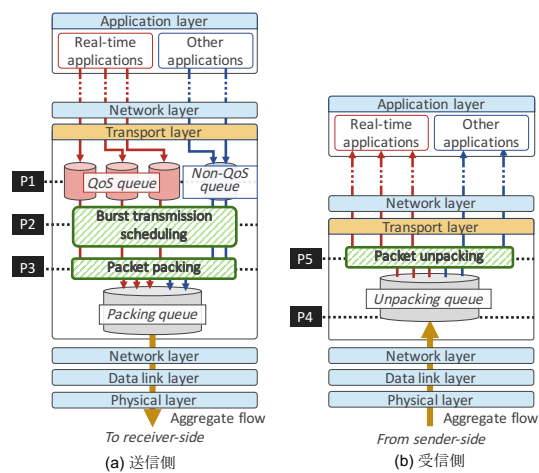


図3 提案方式のプロトコルスタック

を集約し、集約したフローのパケットを間欠的に送信(バースト転送)することによって省電力パケット転送を実現する(図1)。提案方式は、特定の無線ネットワークに大きく依存しないように、トランスポート層プロトコルレベルにおいて、モバイル端末と無線アクセスポイント(基地局)間にトンネルを形成し、フローをトンネルに集約し双方からバースト転送を行う(図2)。また、提案方式では具体的なスリープ方式は想定せず、各無線ネットワークで利用されるスリープ方式と併用する。

無線ネットワークのひとつとして無線LANを対象とし、実無線LANを利用した実験環境において、提案方式の有効性を評価した。

(2) アプリケーションのQoSを考慮した省電力パケット転送方式

モバイル端末の利用者は、モバイル端末上で様々なアプリケーションを利用する。音声通話やビデオ会議などのリアルタイムアプリケーションにおいては、転送遅延やその変動(遅延ジッタ)がQoSに大きく影響する。(1)で導入したバースト転送は、間欠的なパケット転送を実現するために、パケットを端末上あるいはアクセスポイント上で一時的に保持

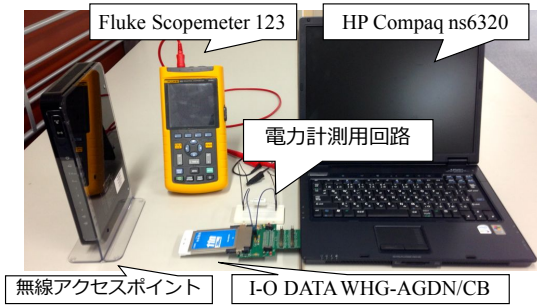


図 4 実験環境

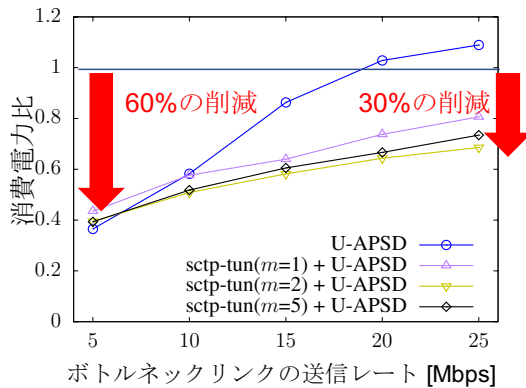


図 5 消費電力比

する。その結果、転送遅延や遅延ジッタを増加する場合がある。

一方で、アプリケーションによって生成されるパケットサイズは異なる。小さなパケットの送信は、一般にメディアアクセス制御レベルのプロトコルオーバーヘッドが大きくなる。その結果、省電力効果が限定的になる。

そこで、(1)で提案した省電力パケット方式を拡張し、アプリケーションの QoS を考慮した省電力パケット転送方式を提案した。提案方式のプロトコルスタックを図 3 に示す。提案方式は、利用者あるいはアプリケーションから指定される QoS に対して許容できる値（許容値）に従い、バースト転送のタイミングや間隔を制御する。さらに、バースト転送のために一時的に保持した複数のパケットを単一のパケットにまとめる（パッキング）ことにより、プロトコルオーバーヘッドを軽減し、効果的な省電力を実現する。

拡張した提案方式は、コンピュータ・シミュレーションによって、その有効性を評価した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 無線ネットワークにおける省電力パケット転送方式

提案方式の有効性は評価するための実験環境の一部を図 4 に示す。提案方式を実装したノート PC と市販の無線アクセスポイントを用いて、簡易な無線 LAN 環境を構築した。ファイル転送によるトラヒックを想定した。提案方式との比較には、スリープなしの通常の通信方式 (CAM) と既存のスリープ方式 (U-APSD)

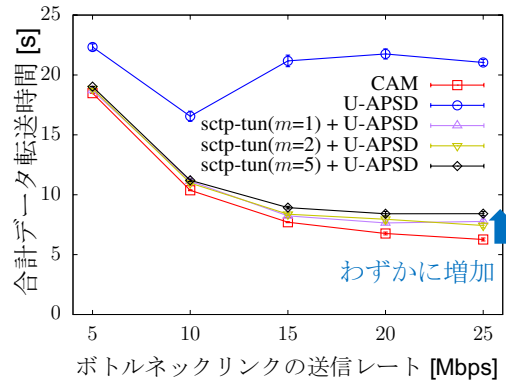


図 6 データ転送時間

を用いた。なお、提案方式は U-APSD と組み合わせて利用した。また、1 度にバースト転送するパケット数は  $m$  個である。この場合の結果として、CAM に対する消費電力の比を図 5 に、ファイル転送完了までに要した時間を図 6 に示す。提案方式は比較方式と比べて消費電力を削減できていることが確認できた。特に、ネットワーク中のトラヒックが多い場合では、U-APSD と比べて 30% 程度の消費電力が削減できている。これは、トラヒック量が多くなるとつれて状態遷移のオーバーヘッドが大きくなるものの、バースト転送によって効果的にその影響が軽減できたためである。一方で、バースト転送によって、CAM と比べて提案手法はパケット転送にわずかに時間がかかることがわかった (図 6)。

##### (2) アプリケーションの QoS を考慮した省電力パケット転送方式

QoS を考慮した提案手法の有効性を評価するために、リアルタイムアプリケーションそ

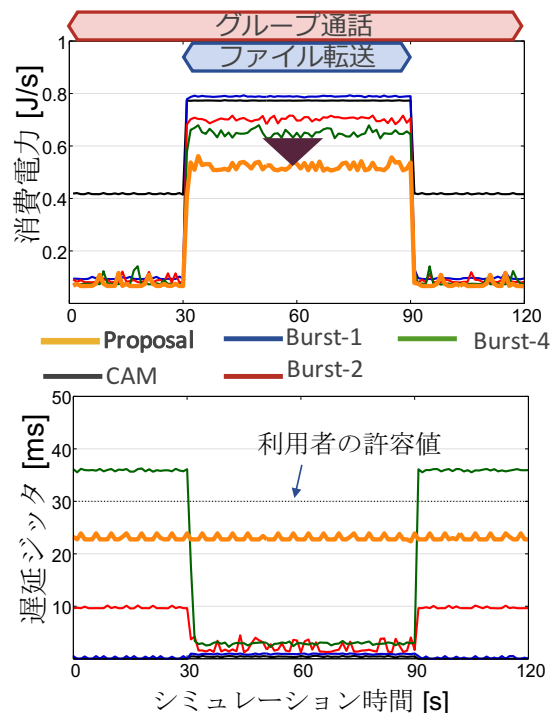


図 7 消費電力と遅延ジッタ

非リアルタイムアプリケーションを単一のモバイル端末内で併用している状況を想定したコンピュータ・シミュレーションを行った。具体的には、モバイル端末が無線 LAN を介して複数の利用者とグループ通話している最中に、ファイル転送を行う状況をシミュレーションした。グループ通話の遅延ジッタに対する利用者の許容値を 30 ms とした。提案方式 (Proposal) の有効性は、CAM と (1) で提案した方式 (Burst-m) と比較した。

このときの結果を図 7 に示す。提案方式 (Proposal) は、許容値以下の遅延ジッタを維持しながら、比較方式より低消費電力を実現できることがわかる。シミュレーション評価を通して、提案方式はトラフィック量の変化に対して適応的にバースト転送のタイミングおよび間隔を制御すること、および、パケットパッキングによるプロトコルオーバーヘッドの削減が、QoS を考慮した省電力に有効であることを確認した。

#### 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 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

- ① Keisuke Miyamoto, Masafumi Hashimoto, and Naoki Wakamiya, “An energy-efficient transmission mechanism with considerations of QoS required by real-time applications in wireless LANs,” 電子情報通信学会技術研究報告 (IN2015-119), 2016 年 3 月 3 日, フェニックス・シーガイア・リゾート (宮崎県宮崎市)
- ② 宮本 圭祐, 橋本 匡史, 若宮 直紀, “無線 LAN 環境における QoS 要求に適応した省電力通信方式の提案と実験評価,” 電子情報通信学会技術研究報告 コミュニケーションクオリティ研究会 (CQ2014-66), 2014 年 9 月 12 日, 石巻市河北総合センタービッグバン (宮城県石巻市)
- ③ Masafumi Hashimoto, Go Hasegawa, and Masayuki Murata, “Experimental evaluation of SCTP tunneling for energy-efficient TCP data transfer over a WLAN,” in Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC 2014), 8/7/2014, Nicosia (Cyprus).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www-waka.ist.osaka-u.ac.jp/~m-hasimt/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

橋本 匡史 (HASHIMOTO, Masafumi)

大阪大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：40711057

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし