

Graduate School of Fundamental Science and Engineering  
Waseda University

博士論文審査報告書  
Doctoral Dissertation Review Report

論文題目  
Dissertation Title

Study on Virtual Energy Borrowing Scheme Using D2D Communication in 5G  
Cellular System

5GセルラシステムにおけるD2D通信を用いた仮想電力貸借方式に関する研究

申請者  
(Applicant Name)  
Megumi SAITO  
齋藤 恵

Department of Computer Science and Communications Engineering    Research on Wireless Access

July, 2022

現在、第 5 世代移動体通信(5G)の商用サービスが世界的に普及し、国内でも 5G は広く一般的に利用されている。5G は特徴として、eMBB (enhanced Mobile BroadBand)超高速通信、URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications)超 高 信 頼 低 遅 延 通 信、mMTC (massive Machine Type Communication)多数同時接続通信の三つの利用シナリオが提示され、新しいサービスや価値の創出が期待されている。モバイルサービスは重要な社会インフラであることに加え、5G の登場によって今まで以上にモバイル技術は社会的に大きなインパクトを与えるものとなっている。モバイル技術の高度化・高機能化が進む一方で、スマートフォンのバッテリー駆動時間に対する不満が挙がっていることが複数の調査によって明らかとなっている。本研究ではバッテリーの持ち時間に対するユーザの不満に対して通信方式の面を工夫することで解決する手法を提案し、バッテリー駆動時間を延ばすことを目指した。本提案方式では、端末の電池残量が少なくなった際に、セルラ基地局との通信よりも消費電力の少ない Device-to-Device (D2D)通信を有効に利用して近隣の他端末のバッテリーリソースを仮想的に借りて通信を行うことによって、電池の駆動時間の延長を実現するものである。本研究ではこの仮想電力貸借方式を提案するとともに、延長効果を実験とシミュレーションによって検証している。以下、本論文の各章の概要を述べ評価を加える。なお、本論文は英語で執筆されている。

第 1 章 Introduction では、無線通信技術を取り巻く環境として 5G と D2D 通信技術について背景として述べるとともに、課題となっている携帯端末のバッテリー駆動時間に対するユーザの不満について言及し、本研究の位置付けと課題を明らかにしている。

第 2 章 Fundamentals of D2D Communication では、本研究で用いる通信技術である D2D 通信の基礎について紹介している。D2D 通信の基本的なコンセプトや考え方を紹介した上で、代表的な通信プロトコルについて述べている。加えて、本研究で提案しているプロトコルの基盤となった先行研究についても述べている。先行研究では、3GPP の仕様に基づくセルラ通信のプロトコルに D2D 通信として Wi-Fi Direct を組み合わせた通信方式を設計し、提案している。これらを紹介することで、先行研究のシステムモデル及び基本的な通信プロトコルを明らかにしている。

第 3 章 Energy Borrowing Transmission Scheme employing D2D Communication では、仮想電力貸借方式の基本的な通信プロトコルを提案し、実験とシミュレーションによって評価を行っている。セルラ環境下での Wi-Fi Direct を用いた D2D 通信方式を、スマートフォンのバッテリー駆動時間をターゲットとした方式となるよう改良を加えている。また、実験では電波暗

室を用いて D2D 通信とセルラ通信それぞれの受信強度別での消費電力、通信スピード、バッテリー駆動時間等が分析されており、その関係を詳細に分析している。また、分析結果を用いてシミュレーション評価を行い、実際の利用環境を再現し提案方式による電池の駆動時間の延長効果を検証している。これらの評価に加えて、更に実環境として駅前や大学構内などの複数のエリアで D2D 通信とセルラ通信の消費電力の比較実験も行い、本方式が複数の一般的なシナリオで効果が期待できることを確認している。

このように、本章では仮想電力貸借方式の基本的なコンセプトやプロトコルをまとめ、スマートフォン実機を用いた実験とシミュレーション評価によってバッテリー駆動時間への効果を検証し、通常使用において方式利用の効果が明らかになった点は高く評価できる。

第 4 章 Energy Burden and Fairness Evaluation of Energy Borrowing Transmission Scheme では、前章で提案した方式を拡張し、バッテリーリソースを貸す側である端末に着目し、貸す側の電力的な負担と公平性を考慮したプロトコルの提案を行っている。複数の端末が特定の端末に集中して電力を貸している状況は公平性が低く望ましくないため、本章では複数の端末で少しずつ電力を貸して、公平性を保つ方式を提案している。1 つの端末に対して 1 日あたりに貸せる電力の上限値などを設け、過剰な負担や、特定の端末にだけ負担が掛からない手法が提案されている。セルラ通信を行った場合、D2D により電力を借りた場合、貸した場合の三つのパターンで受信強度別に詳細に消費電力を検証している。実機での実験結果を踏まえたシミュレーション評価を行い、上限を設けた際のバッテリー駆動時間の延長効果と公平性を確認している。

このように、本章では電力を貸す側の負担や、電力を貸す際の公平性に着目し、前章で提案した方式を改良しており、方式の妥当性に貢献している。また、実機による実験とシミュレーション評価も詳細に行われており、実用的で具体的な検証が行われており高く評価できる。

第 5 章 Conclusion and Future Works ではまとめと今後の課題を簡潔に述べている。

以上要するに、本論文は通信を用いてバッテリー駆動時間の延長を可能とする提案であり、移動体通信サービスの満足度向上に寄与する取組といえる。提案方式のコンセプトはスマートフォンだけでなく、センサネットワークや IoT システムなど他の多くの無線システムへ適用が可能であると考えられ、今後の無線技術の発展に貢献すると考えられる。このように本論文の成果は情報通信技術の発展に寄与するところが極めて大きく、本論文は博士(工学)の学位を授与するに値するものと認める。

2022年7月

主査

早稲田大学教授 博士(工学)(東北大学)

嶋本 薫 \_\_\_\_\_

副主査

早稲田大学准教授 博士(国際情報通信学)(早稲田大学) 劉 江 \_\_\_\_\_

早稲田大学名誉教授 工学博士(東京大学)

田中良明 \_\_\_\_\_

早稲田大学国際情報通信研究センター 顧問  
工学博士(東京大学)

津田俊隆 \_\_\_\_\_