



|              |                                                                                                                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Enhancement of Throughput and Power Stability in Wireless IoT Networks                                                                                |
| Author(s)    | Zeba, Ousmane                                                                                                                                         |
| Citation     | 大阪大学, 2023, 博士論文                                                                                                                                      |
| Version Type |                                                                                                                                                       |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/91989">https://hdl.handle.net/11094/91989</a>                                                                   |
| rights       |                                                                                                                                                       |
| Note         | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name ( ZEB A Ousmane )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                               |
| Title                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Enhancement of Throughput and Power Stability in<br>Wireless IoT Networks<br>(無線IoTネットワークにおけるスループットと給電安定性の向上) |
| <p>Abstract of Thesis</p> <p>The main goal of this research was the improvement of the performances and capacities of IoT devices and IoT networks. The first target was backscatter communication as it has attracted attention owing to its ultra-low-power consumption ability. The same ability is expected to enhance internet of things (IoT) technology that aims to enable many novel applications for object-to-object communication. Such a network with a large and continuously increasing number of connected objects will benefit significantly from resource-saving. This first work introduced a system named QuadScatter, which is a set of algorithms that select and associate transmitters, tags and readers to enable simultaneous backscatter transmissions and increase network capacity. Consequently, the energy consumption in the network is considerably lessened. The second study focused on medium access protocols (MAC) and proposed mainly 2 different backscatter MAC protocols. Both proposed protocols work for half-duplex and full-duplex transmission modes in a bistatic backscatter system. The first one, namely express backscatter MAC (XBM), allows higher transmission rates in a bistatic backscatter network, aiming to increase network capacity. It takes advantage of carrier signals for faster transmissions whenever they are generated. The second protocol, reliable backscatter MAC (RBM), provides more reliability to the backscatter transmission, especially when hidden nodes exist. It brings more reliability by introducing a two-step separation mechanism between backscatter communication and Wi-Fi communication to avoid hidden node problem. In addition, both proposed MAC protocols enable simultaneous backscatter transmissions at the MAC level by letting several tags carry their data on the same carrier signal. Another work in this dissertation targeted power supply in IoT networks as it is crucial for satisfactory performance. Among the diverse power supply techniques, we focus on distributed and cooperative wireless power transfer solutions. The said power supply schemes have been designed for microwave power transfer with the ultimate goal of improving power transfer efficiency by utilizing multiple power transfer antennas. Specifically, such solutions control the frequency and phase of microwaves emitted from several antennas to intentionally produce useful interference between the microwaves over each Internet of Things (IoT) device. The main disadvantage is that cooperative and distributive system requires wired connection between the antennas. Habitually, coaxial cables are utilized to achieve the appropriate frequency and phase control on each antenna. In practice, wired connections always cause a large deployment and maintenance costs that are very difficult to entertain in densely deployed networks. To mitigate the heavy expenses related to wired connections and allow stable power supply, this paper proposes a novel cable-less system in distributed cooperative microwave power transfer, for phase synchronization and optimization.</p> <p>The last part of this dissertation includes a previous study on Cognitive radio (CR). CR has emerged as a promising technology to solve the tremendous spectrum scarcity problem. Although CR has shown very interesting results, it is still dealing with some drawbacks such as blocking or forced termination events in opportunistic mode and capacity limitation in underlay mode. In this paper dissertation aggregation is proposed for wireless mesh networks to enhance the network throughput in</p> |                                                                                                               |

underlay CR condition. In the proposed scenario, the primary user (PU) uses traditional channels whereas the secondary user aggregates carriers in PU' s channels for its transmission. With relatively few aggregated carriers per channel, carrier aggregation outperforms single channel and channel aggregation due to its higher detection probability. These results can be used to extend the already well known properties of wireless mesh networks and their applications.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 ( Ousmane Zeba ) |     |     |       |
|----------------------|-----|-----|-------|
|                      | (職) | 氏 名 |       |
| 論文審査担当者              | 主 査 | 教授  | 渡辺 尚  |
|                      | 副 査 | 教授  | 村田 正幸 |
|                      | 副 査 | 教授  | 山口 弘純 |
|                      | 副 査 | 教授  | 長谷川 亨 |
|                      | 副 査 | 教授  | 下西 英之 |

## 論文審査の結果の要旨

近年、ハードウェア、ソフトウェア技術の進展により、超小型の無線デバイスによって、環境の情報を取得し、またアクチュエーターに対して情報を提供するIoT（Internet of Things）ネットワークが注目されている。

本論文は、IoTネットワークにおけるスループット性能および電力供給の問題を解決することを目的としている。

まず、本論文では、超低消費電力で注目されているBackscatter通信のスループット性能を向上させる方式を検討している。Backscatter通信は、RFIDタグの通信に基づく通信方法であり、他のデバイスが発する無線電波を反射あるいは吸収することによって、デバイスが持つデータを間接的に通信する方法である。送信電力が極めて小さいために、小型のデバイス間のIoT通信への応用が期待される。IoTネットワークでは、接続されるオブジェクトの数が多数となると予想されるため、省資源化は大きな問題となる。本論文では、送信機、Backscatterタグ、受信機を関連付けるアルゴリズムとして、QuadScatterを提案している。この方式は、通信タイミングを調整することにより、複数の通信ペアが同時に送受信可能とする方法であり、ネットワーク全体のスループットの向上が達成できる。また、ネットワーク全体の消費エネルギーも削減できる。評価の結果、良好な性能が達成されていることを示している。

次に、IoTネットワークにおける2種類のBackscatterのメディアアクセス（MAC）プロトコルを提案している。第1のプロトコルである高速Backscatter MAC（XBM; eXpress BM）は、Bistatic Backscatterシステムにおいて、より高速な伝送を行うためにキャリア信号を利用し、半二重通信モードと全二重通信モードで動作する。シミュレーション評価により、従来に比して高い伝送速度を可能にし、ネットワークの容量を増やすことができることを示している。第2のプロトコルである高信頼性Backscatter MAC（RBM; Reliable BM）は、隠れ端末が存在する場合に性能が低下するのを回避し、高い信頼性を提供する。RBMは、Backscatter通信とWi-Fi通信の間に2段階の分離機構を導入して隠れ端末問題を回避する。XBM, RBMのいずれも、複数のタグに同じ搬送波信号でデータを運ばせることにより、MACレベルでBackscatterの同時送信を可能にしている。

さらに本論文では、IoT ネットワークにおける無線電力伝送による電力供給について議論している。無線電力伝送では、分散型および協調型が重要視されている。特にマイクロ波電力供給方式は、複数の電力伝送アンテナを利用することで電力伝送効率を向上させる。具体的には、複数のアンテナから放射されるマイクロ波の周波数と位相を制御し、各IoTデバイス上でマイクロ波間の有用な干渉を意図的に発生させる。一方、この方法の欠点は、協調分散型システムでは各アンテナで適切な周波数と位相を制御するために、アンテナ間の同軸ケーブルによる有線接続を必要とすることである。有線接続は大きな配備コストとメンテナンスコストを引き起こす。この点は、高密度でノードが配置されるネットワークでは特に問題となる。本論文では、有線接続に関連する費用を軽減し、安定した電力供給を可能にするために、位相同期と最適化のための制御情報を無線接続によって伝送するシステムを考案している。

最後に、本論文では、コグニティブ無線（CR）について議論している。CRは、その場の状況に応じて柔軟に無線を制御する方法であり、IoTネットワークにおける周波数不足の問題を解決する有望な技術である。CRの分野では、日和見モードにおけるブロッキングや強制終了事象、アンダーレイモードにおける容量制限などの点が問題となる。本論文では、アンダーレイ モードにおいてネットワークのスループットを向上させるために、ワイヤレスメッシュネットワークのためのキャリアアグリゲーション方式を提案している。提案方式では、プライマリユーザ

(PU) は従来のチャネルを使用し、セカンダリユーザはPUのチャネルでキャリアを集約して送信する。キャリアアグリゲーションは、比較的少数のキャリアをチャネルごとにアグリゲーションする場合、シングルチャネルやチャネルアグリゲーションより優れていることを示している。これらの結果は、ワイヤレスメッシュネットワークやそれに基づいたIoTネットワーク等各種無線システムに適応可能である。

以上の成果は、次世代無線情報通信を支える根幹技術であり、学術的価値が高くまた社会へ大きく貢献する。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値あるものと認める。