



## ユーザ中心の無線システムに向けて：カスタマイズと持続可能性のための再構成可能なインテリジェント表面の最適化

メタデータ	言語: English 出版者: 公開日: 2024-11-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Yu, Yin Ma メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15118/0002000278">https://doi.org/10.15118/0002000278</a>

氏 名 Yu Yin Ma

学位論文題目 Towards User-centric Wireless Systems: Optimizing Reconfigurable Intelligent Surfaces for Customization and Sustainability

論文審査委員 主査 教授 董 冕雄  
教授 太田 香  
准教授 佐藤 和彦

### 論文内容の要旨

再構成可能なインテリジェントサーフェス (RIS) は、受動的なメタ要素、スリムなデザイン、高度な統合、コスト効率の高さ、および展開の容易さにより、将来の無線通信システムにおける有望な技術として登場しています。しかし、RISにおけるビームフォーミングの最適化、アクセスポイント (AP) における送信電力、複数のRISの展開場所、およびRISとIoTデバイスとの関連付け関係は、さまざまなRIS支援の無線通信ネットワークにおいて重要です。したがって、本論文では、達成可能なレートを最大化し、カバレッジ確率を向上させ、電力消費を最小化し、エクスペリエンスの品質 (QoE) を最適化するための効果的な解決策を提供します。

この論文では、さまざまなマルチ RIS 支援無線通信シナリオにおける4つの主要なタスクが提案されています。1番目のタスクは、屋内通信無線ネットワークにおける複数のRISの平均達成レートへの影響を調査します。2番目のタスクは、アウトドアシナリオにおける複数のRISの展開場所とカバレッジ確率との関係を探ることに焦点を当て、ネットワークコスト制約を満たしながらカバレッジを最大化します。また、第2のタスクでは、量的にカバレッジ確率を計算するための近似セル分解に基づく方法が紹介されます。3番目のタスクは、関連関係を探索し、全体の電力消費を最小化することで構成される電力消費の最適化です。4番目のタスクでは、ワイヤレス VR THz 通信システムに展開されたRISを調査し、複数のRISでのビームフォーミングベクトル、APの送信電力、およびVRユーザー間でのレンダリング容量の割り当てを共同で最適化して、QoEを最大化します。問題を解決するために、問題は2つの段階に分解されます：段階1はBERを最小限に抑え、データレートを最大化することを目指し、段階2は仮想オブジェクト間のレンダリング容量を最大化することを目指します。

## ABSTRACT

Reconfigurable intelligent surfaces (RISs) have emerged as a promising technology for future wireless communication systems due to their passive meta-elements, slim design, high integration, cost-effectiveness, and ease of deployment. However, optimizing beamforming at RISs, transmission power at access points (APs), deployment locations of multiple RISs, and association relationships between RISs and IoT devices are crucial for various RIS-assisted wireless communication networks. Therefore, this dissertation presents effective solutions to maximize the achievable rates, enhance the coverage probability, minimize power consumption, and optimize the quality of experience (QoE).

In this dissertation, four major tasks are proposed on the various multi-RIS-assisted wireless communication scenarios. The first task investigates the influence of multiple RIS on the average achievable rate in indoor communication wireless networks. The second task focuses on exploring the relationships between coverage probability and deployment locations of multiple RIS in outdoor scenarios to maximize coverage while satisfying the network cost constraint. Moreover, the second task introduces a method based on approximate cell decomposition to calculate coverage probability quantitatively. The third task is to optimize power consumption, which consists of exploring the association relationships and minimizing the overall power consumption. Finally, the last task investigates the RIS deployed in the wireless VR THz communication systems to maximize the QoE by jointly optimizing the beamforming vectors at multiple RISs, the transmit power of AP, and the rendering capacity allocation among VR users. To solve the issue, the issue is decomposed into two stages: stage-1 aims to minimize BER and maximize the data rate, while stage-2 aims to maximize rendering capacity among virtual objects.

### 論文審査結果の要旨

本論文では、環境内に RIS を展開することで、無線通信システムの性能を検証しました。特に、無線通信システムにおける RIS のデータレート、カバレッジ、エネルギー消費、および VR シーンでの活用について探求しました。これらの4つの側面に焦点を当てて分析を行いました。

第一に、複数の RIS を用いた屋内無線通信環境において、複数ユーザーの平均達成可能レートを最大化する問題について調査します。既存の多くの研究がシングル RIS 単一ユ

ユーザーシナリオまたはシングル RIS マルチユーザーシナリオを考慮しているのに対し、マルチ RIS はすべての目的地において複数の伝送リンクからの信号を反射できます。屋内通信システムの平均達成可能レート最大化問題は、反射要素の位相シフトを最適化することで解決します。そのため、この問題を解決するために Multi-verse Optimizer アプローチを提案します。シミュレーション結果は、複数の RIS を備えた通信システムが、基準となるスキームに比べてかなりの達成可能レート向上を提供することを示しています。

第二に、ネットワークコストを削減しながらカバレッジを向上させるために、マルチ RIS の展開位置を最適化する問題を考察します。まず、RIS を用いた屋外無線通信ネットワークにおけるカバレッジ確率を定量的に計算するために、近似セル分解に基づく手法を開発しました。次に、カバレッジ確率とネットワークコストのバランスを取るために、ルールベースおよび分枝限定法 (B&B) に基づく RIS 位置最適化戦略、R&B アルゴリズムを提案します。数値結果は、提案された方法が十分な RIS を備えたマルチ障害物無線通信環境において、カバレッジ確率とネットワークコストをトレードオフする点で、他の基準スキームよりも優れていることを示しています。

第三に、屋内通信シナリオにおける消費電力と IoT デバイスのカバレッジ率を最適化する問題を考察します。RIS とデバイスの関連に基づく適応型ハイブリッド最適化戦略 (AHOS) を提案し、デバイスのカバレッジ率を最大化します。次に、カバレッジ制約を満たしながら複数の RIS の位相シフトを最適化することによって、システムの消費電力を最小化することを目指します。広範なシミュレーション結果は、いくつかの障害物がある屋内環境において、提案されたアルゴリズムが RIS なしの解決策と比較して高いカバレッジを達成し、BS に依存する戦略と比較して消費電力が低いことを示しています。

第四に、屋内のマルチユーザー・マルチ RIS 支援 THz ワイヤレス VR システムの新しいフレームワークを調査します。このシナリオに基づき、RIS でのパッシブビームフォーミング、VR ユーザー間の送信電力配分、および仮想オブジェクト間のレンダリング能力の配分を共同で最適化することによって QoE を最大化する最適化問題が定式化されます。最適な解を達成するために、最適化問題を 2 つのステージに分解します。ステージ 1 では BER を最小化しデータ伝送率を最大化することを目指し、ステージ 2 では仮想オブジェクト間のレンダリング能力を最大化することを目指します。目的関数の変換と代替最適化 (AO) 手法を用いて、これらの問題に対処します。提案されたシステムモデルの実現可能性を検証し、他のベースライン手法と比較して QoE の点で優れた性能を示すために、広範なシミュレーションを実施します。

以上のように、提出された論文の新規性と有用性は評価され、大規模な実験分析によって得られた結果は、RIS 技術が無線通信システムに対して持つ価値を実証するだけでなく、将来の無線通信システムにおける RIS の実際の導入にも大きな価値を持つことが示されています。本研究は、学术界および産業界の双方に貢献しています。したがって、本論文は博士 (工学) 学位を授与する資格があると認定されました。