

氏 名 Liping WANG

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大甲第 1341 号

学位授与の日付 平成 22 年 3 月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Resource allocation in OFDMA Relay-enhanced
Cellular Networks

論文審査委員	主 査	教授	計 宇生
		准教授	福田 健介
		教授	山田 茂樹
		教授	曾根原 登
		教授	漆谷 重雄

The rapid development of audio and video applications such as Skype and YouTube increases people's demands for ubiquitous high-data-rate coverage. Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA) relay-enhanced cellular network, the integration of multihop relaying with OFDMA infrastructure, has become one of the promising solutions for next-generation wireless communications. In a relay-enhanced cell, multiple Relay Stations (RSs) are deployed to assist transmissions between the Base Station (BS) and Mobile Stations (MSs). However, the resource allocation becomes more complicated and crucial to gain the potential capacity and coverage improvements of relaying. Although many studies have been done on allocating resource adaptively in the traditional single-hop OFDMA networks, they can't be applied directly to OFDMA relay-enhanced networks, since with the deployment of relays, resource allocation on different hops should cooperate to avoid data shortage or overflow in relays. In this dissertation, we aim to design efficient and feasible algorithms to allocate OFDMA downlink resources in a frame-by-frame basis for relay-enhanced cellular networks.

To make the resource allocation problem tractable, we first consider a single cell without channel reuse, and suppose the basic unit for resource scheduling is a subchannel, each subchannel can be assigned to only one user during a scheduling period, and users' traffic is infinitely backlogged. Under these assumptions, we formulate the optimal instantaneous resource allocation problem with total power constraint to achieve the proportional fairness in the long term. Since the problem is a NP-hard combination optimization problem with non-linear constraints, it's very difficult to find the optimal solution within a designated time by extensive searching over all possible solutions. We first propose a low-complex resource allocation algorithm under a constant power allocation named 'VF w PF'. A void filling method is employed in 'VF w PF' to make full use of subchannels. Furthermore, we use continuous relaxation and a dual decomposition approach to solve the original optimization problem efficiently in its Lagrangian dual domain. A modified iterative water-filling algorithm 'PA w PF' is proposed to find the optimal path selection, power allocation and subchannel scheduling. Simulation results show the optimal power allocation cannot gain much on system throughput, moreover, our optimization algorithms improve the throughput of cell edge users and achieve a tradeoff between system throughput maximization and fairness among users.

However, if the basic unit for resource scheduling is a slot or users' traffic is not infinitely backlogged, the resource allocation problem becomes more complicated thus it is difficult to find optimal solutions by using optimization approaches. Therefore, we propose two heuristic resource allocation schemes including a Centralized Scheduling with Void Filling (CS-VF) and a adaptive semi-distributed resource allocation scheme. Based on CS-VF, four representative single-hop scheduling algorithms including Round-Robin (RR), Max Carrier-to-Interference ratio (Max C/I), max-min fairness, and Proportional Fairness (PF), are extended to multihop scenarios to achieve various levels of fairness. Simulation results indicate that CS-VF is more adaptable to different traffic distributions and dynamic network topologies.

On the other hand, the proposed semi-distributed resource allocation scheme consists of a constant power allocation, adaptive subframe partitioning (ASP), and link-based or end-to-end packet scheduling. Simulation results indicate that the ASP algorithm increases system utilization and fairness. Max C/I and PF scheduling algorithms extended using the end-to-end approach obtain higher throughput than those using the link-based approach, but at the expense of more system overhead for information exchange between BS and RSs. The resource allocation scheme using ASP and end-to-end PF scheduling achieves a tradeoff between system throughput maximization and fairness.

Finally, we compare four relay-channel partition and reuse schemes in a multi-cell scenario from interference mitigation and throughput improvement points of view. Among these four schemes, 7-part partitioning (PF7) and 4-part partitioning (PF4) schemes mitigate co-channel interferences by relay-channel partitioning, while the other two schemes include partial reuse (PR) and full reuse (FR) schemes improve the throughput by relay channel partition as well as reuse. Specially, the PR scheme achieves a tradeoff between spectral efficiency and outage.

In conclusion, we formulate the optimal resource allocation problem under different assumptions in OFDMA relay-enhanced cellular networks and give both theoretically and practically efficient polynomial-time solutions. From the theoretical point of view, we use optimization approaches including continuous relaxation and dual decomposition to find the jointly optimized power allocation, path selection and subchannel scheduling to achieve proportional fairness. From the implementation point of view, we propose two resource allocation architectures including a centralized allocation and a adaptive semi-distributed allocation, with which four representative single-hop scheduling algorithms are extended to achieve different levels of fairness in multihop scenarios. Simulation results show our optimization algorithms achieve a tradeoff between system throughput optimization and fairness among users. Simulation results further suggest that the heuristic algorithm PR+ASP+e2e-PF provides an efficient and feasible solution for multi-cell OFDMA relay-enhanced cellular networks.

博士論文の審査結果の要旨

本博士論文は「Resource Allocation in OFDMA Relay-Enhanced Cellular Networks (中継ノードを有する OFDMA 無線セルラーネットワークにおける資源割当)」と題し、直交周波数分割多元接続 (OFDMA) 技術を利用した無線セルラーネットワークにおいて、広いカバレッジと高いスループットを提供するために提案された中継技術を利用した場合のチャネル資源の割当の問題について提案したものである。中継ノードを導入した場合、経路の選択や、中継ノード上でのデータの遅延や欠損がないようにするための考慮が必要であり、電力、周波数などの資源の割当方法がシステムの性能を大きく左右することになる。本論文は、中継技術を利用した OFDMA セルラーネットワークの実現のための有効なダウンリンク資源割当アルゴリズムを提案することが目的である。

論文は7章から構成され、第1章及び第2章の研究の目的と技術的背景に続いて、第3章から第6章では、中継ノードを有する無線ネットワークにおける資源割当のアルゴリズムの研究提案について述べている。

第3章では、最適化の手法を用いて、比例的公平 (Proportional Fairness) を実現する資源割当について提案している。まず資源割当の基本単位をOFDMAサブチャネルに限定し、利用者からのトラフィックが常にある状態を仮定したうえで、資源割当の問題を最適化問題として数式化した。数式化された問題がNP困難であるため、制約条件を緩和し、その双対問題に対する解を求めることによって、解析手法を示した。最後に、シミュレーション環境下での提案手法による資源割当の有効性を示した。

第4章では、資源割当の基本単位をより細かい時間スロット単位とし、また、利用者からのトラフィックをより現実なモデルとした場合、空き時間スロットを他のリンクの伝送で利用可能にする隙間充填 (Void Filling) 法付き集中スケジューリング方式を提案した。このような方式では、中継局における資源割当も基地局で集中的に行うため、効率的に資源割当ができるかわりに、制御のオーバーヘッドが比較的大きい。シミュレーションによる性能評価では、いくつかの公平性基準に基づいて行い、隙間充填法が不均一な負荷によるスループットの低下を防ぐのに有効であることを示した。

第5章では、第4章と同じ仮定の下、資源割当を基地局と中継局のそれぞれで行う準分散スケジューリング法を提案した。数式化した最適化問題がNP困難であることから、同問題を電力配分、サブフレーム分割、およびパケットスケジューリングの3つの独立なタスクに分割し、準最適な方法を提案した。提案方式では、電力配分はサブチャネル間で均一とし、基地局と中継局で利用するサブフレームを適応的に分割する方法を採用している。シミュレーション評価では、最適な中継局の配置が基地局から約 2/3 の距離であることを明らかにし、適応的サブフレーム分割によってシステムスループットが向上したことを示した。

第6章では、同じセル内の複数の中継局間で周波数分割と再利用を行ういくつかの方式についてその有効性を評価した。セル間の干渉をも考慮するため、複数のセルからなるシステム環境において、それぞれの方式における信号対干渉雑音比および周波数再利用によって生じるチャネル間干渉の解析を行い、シミュレーション環境下でそれらを比較した。その結果、周波数分割を行う方式は干渉を低減させ、周波数再利用を行う方式では周波数

利用効率およびスループットを向上させるのに有効であることが明らかになった。

また、第7章では結論についてまとめ、今後の課題を提示した。

なお、本研究の成果として、出願者は電子情報通信学会論文誌論文1篇、査読付国際会議7篇（採録済みを含む）を発表している。また、電子情報通信学会のソサエティ大会で英語セッション賞を受けている。

以上を要するに、本論文は中継技術を利用した OFDMA セルラーネットワークの性能を大きく左右する無線チャネル資源割当の問題について、理論解析およびヒューリスティックによるアルゴリズムを提案し、その有効性を示したものであり、次世代無線通信ネットワークの実現による情報通信の機能性、利便性の向上に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士の学位請求論文として合格と認められる。