

氏 名 TORABZADEH
KHORASANI MASOOMEH

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大甲第 1155 号

学位授与の日付 平成 20 年 3 月 19 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 Cross-Layer Packet Scheduling in MIMOCellular
Networks

論文審査委員 主 査 准教授 計 宇生
教授 山田 茂樹
准教授 阿部 俊二
准教授 福田 健介
助教 鯉渕 道紘
教授 浅野 正一郎(国立情報学
研究所)

論文内容の要旨

We address the problem of cross-layer packet scheduling for the downlinks of multiple-input multiple-output (MIMO) cellular systems. Multiple-antenna wireless systems can improve the capacity and reliability of communications. To benefit the advantages, a packet scheduler should effectively allocate radio resources to users in a fair way. Previously proposed MIMO schedulers have problems such as ignoring traffic arrival process or complexity.

In MIMO cellular networks, certain schedulers directly select among the available channels between users and the base station in a centralized way, referred to as centralized schedulers. Other schedulers have two independent phases: In the first phase, a group of users is selected based on the scheduler criterion, and in the second phase the selected users are assigned to the transmit antennas by using an assignment scheme taking into consideration capacity maximization. Two-phase schedulers can be implemented with lower complexity compared with the centralized schedulers.

For two-phase schedulers, we focus on designing an adaptive fair scheduling algorithm to traffic load changes. We propose a multi-output fair queueing (MO-FQ) scheduler, which is based on a fair queueing algorithm with mechanisms for rate selection, compensation of lagging users, and virtual time system. Since some of the scheduler's system parameters are sensitive to the traffic load, we extend it to dynamically adjust them in a way with low complexity so the system performs better, referred to as the load adaptive multi-output fair queueing (LA-MO-FQ) scheduler. Furthermore, there are a few algorithms for the assignment of the selected group of users to the base station antennas that are too complex or fail to maximize the capacity. We propose four assignment schemes that can work with low complexity and achieve high system capacity. Our max-loss delete (MLD), max-deviation delete (MDD), tight max-loss delete (TMLD), and max difference of top two (MDTT) assignment schemes take into account the behavior of MIMO systems with mobile users to achieve near-optimal system capacities. Furthermore, we also propose some formulae for the time and service fairness comparisons of two-phase MIMO schedulers in which a single user is assigned to a transmit antenna for whole time-slot.

Aforementioned scheduling algorithms are based on a MAC layer architecture in which the whole time-slot on each transmit channel is allocated to one user. We propose a packet scheduler called MIMO packet-by-packet generalized processor sharing (MPGPS) using an efficient packet-based MAC framework. The scheduler can provide fair access to the channels for users and is work conserving. It also compensates lagging users and decreases the average delay of users. Furthermore, we propose a novel scheduler referred to as MIMO packet-based proportional fairness (MP-PF) that can provide low average delay of users with time and service fairness considerations. The scheduler can tradeoff between low average delay of users and time/service fairness and is work conserving. It is also based on a novel proportional fairness concept that takes the packet length, user transmission rate, user backlogs, and user guarantees into consideration. We also propose two useful equations for time/service fairness comparisons of packet-by-packet MIMO schedulers in which more than one user can be assigned to each transmit antenna during each time-slot.

Intensive simulation studies and system analysis considering the mobility of users and the traffic characteristics demonstrate the good performance of our schedulers and assignment schemes. Finally, we compare both the performance and fairness of our schedulers and assignment schemes with some famous existing schedulers and assignment schemes.

本論文は「Cross-Layer Packet Scheduling in MIMO Cellular Networks (MIMO無線ネットワークにおけるクロスレイヤ・パケットスケジューリング)」と題し、複数の入出力アンテナを有する無線システム(MIMO)のダウンリンクにおいて、複数のアンテナを利用することと、これらのアンテナに送出するパケットの優先度を制御することで通信容量の増大を図ることを目的とするクロスレイヤ・パケットスケジューリング方式を提案し、提案方式の性能を評価したものであり、6章で構成される。

第1章および第2章の研究背景とシステムモデルに続いて、第3章では、フレーム毎のスケジューリングを行うスケジューラについて提案している。MIMOシステムにおけるスケジューリングの複雑度を低減させるため、ユーザ選択と選択されたユーザのアンテナへの割付の2つのフェーズに分けて行う2フェーズスケジューリングを提案した。ここでは、Fair Queueingとして知られるスケジューリングの基本手法をマルチレート、マルチユーザ環境に適用したMulti-Output Fair Queueing(MO-FQ)方式を提案し、さらに、利用者トラフィックの負荷によってスケジューラのパラメータを適応的に変えるように改良した。また、第2フェーズであるアンテナ割付についても、最適な割付けに近い性能を有しながら、複雑度が低減されるいくつかの方式を提案した。これらの方式について、ユーザの移動性を考慮したモデルを用いて性能評価を行った結果、提案方式の有効性を示した。

第4章では、パケット毎のスケジューリングを行うパケットスケジューラについて提案している。その中で、Fair Queueingに基づくMPGPS(MIMO Packet-by-Packet Generalized Processor Sharing)を提案し、フレーム毎のMO-FQ方式などよりも高い性能を有することを示した。それは、フレーム毎のスケジューリングがタイムスロット(フレーム)全体を一人のユーザに割り当てるのに対して、パケット毎のスケジューリングはタイムスロットを複数のユーザからのパケットに割り当てるため、より効率的な資源利用が可能であるからである。さらに、公平性とスループットの両方を同時に考慮したProportional Fairnessに基づくMP-PF(MIMO Packet-by-Packet Proportional Fairness)方式を提案した。シミュレーションによる評価の結果、提案方式が少ないパケット遅延を有すると同時に、ユーザに対する公平性が優れていることが示されている。また、MPGPSに比べ、MP-PFは公平性をある程度犠牲する代わりに、より高いスループットを提供可能であることを示した。

第5章では結果のまとめを行い、第6章では結論と今後の課題についての著者の考えを示唆した。

なお、本研究を通して、出願者は査読付きのジャーナルおよび国際会議にて、それぞれ2件と9件の(採択済みを含む)発表を行った。

以上これを要するに、本論文はパケット伝送を主体として高速・高品質無線通信を実現する将来の携帯通信システム等において、無線システムで使用する複数のアンテナとパケット送出制御とを連動する新たな方式を提案し、方式性能を解析することにより提案方式の有効性を示したものであり情報通信システムの高度化に貢献するところが少なくない。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。