



Inter-cell Coordination for Interference Mitigation in Multi-tier Wireless Networks

AKINDELE SEGUN AFOLABI

(Degree)

博士（学術）

(Date of Degree)

2012-09-25

(Date of Publication)

2012-10-22

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5625

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005625>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



Dissertation Abstract

Name Akindele Segun AFOLABI

Department Computer Science and Systems Engineering

Dissertation Title

(If written in a foreign language, provide a Japanese translation as well.)

Inter-cell Coordination for Interference Mitigation in Multi-tier Wireless Networks

マルチ階層無線ネットワークにおける与干渉軽減のためのセル間協調

Academic Supervisor Prof. Hisashi TAMAKI

Abstract

The demand for higher data rate from wireless devices is currently growing at an exponential rate and this growth is attributable to the proliferation of sophisticated devices such as smart-phones and tablet computers that are enabled for broadband services. In order to cope with this traffic demand trend, operators and service providers are considering integrating OFDMA-based femtocells on the existing cellular network. A femtocell is a low-power, user-deployed indoor base station that backhauls users data to the core network through a broadband connection, while OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) is an air-interface technology with unique qualities for supporting high spectral efficiency. Base station deployment in current cellular systems is usually preceded by a detailed network planning and optimization procedure. Femtocells, however, will be deployed in an ad hoc manner, thus making pre-deployment planning and optimization procedure in femtocell networks challenging which could consequently lead to coordination and interference problems.

This thesis addresses some of the major technical problems that have delayed the widespread deployment of femtocells. It is very difficult to centrally coordinate a large number of femtocells in a network. It is even more difficult when the femtocells are randomly deployed by end-users who lack RF (radio frequency) technical skills. Femtocells are, however, devices foreseen of being capable of addressing the challenges associated with the delivery of true broadband services to end-users in the current cellular age. Hence, resolving technical issues delaying femtocell's widespread deployment is inevitable and it is the focus of this thesis. Particularly, this thesis provides feasible solutions to coordination and interference problems and the performance of the solutions are examined through system level simulations.

Chapter 1 of this thesis discusses the history of cellular technology and also the current cellular trend. In the chapter, multi-tier networks and interference are briefly introduced. The chapter also contains our contributions and the outline of the thesis.

Chapter 2 of this thesis describes interference mitigation and base station coordination methods in multi-tier networks. Coordination is necessary for appropriate resource distribution among co-tier and cross-tier base stations.

Interference is tightly linked to coordination such that poor inter-cell coordination could result in interference. Coordination can either be achieved in a centralized or in a distributed manner. Due to the expected large number of femtocells that will be deployed and also due to the unorganized manner of femtocell deployment, distributed coordination will be more suitable for femtocell networks than its centralized counterpart.

Chapter 3 of this thesis considers resource partitioning problem. A good resource partitioning method ensures that each user in the network receives a fair portion of the network resources. We solve resource partitioning problem in Fractional Frequency Reuse (FFR) using mathematical tools. Our method focuses on modeling network resource partitioning parameters in a way that jointly achieves macrocell user fairness and femtocell user maximum throughput. Giving special attention to the maintenance of user fairness in macrocell networks is of paramount importance since the probability of unfairness among users in this network is high partly due to the largeness of the coverage area of the macrocell; the largeness of the coverage area widens the margin between the reception qualities of users that are faraway from the base station and those located near the base station. Besides, the larger the population size of users sharing the limited radio resources is, the higher the probability of having an unfairly served user(s); and this is the case of the macrocell. In the case of femtocells, access to some sub-bands of the frequency spectrum by the femtocells is prohibited in an effort to reduce the potential interference that their (femtocells) deployment introduces to the macrocell tier. Hence, maximizing femtocell throughput is necessary to minimize the throughput degradation impact that the imposed spectrum access restriction has on them (femtocells). Keeping these two aims (i.e., macrocell user fairness and femtocell throughput maximization) in mind, we developed a resource partitioning technique for a multi-tier OFDMA-based network and the results obtained serve as important references for the deployment of OFDMA-based multi-tier systems.

Chapter 4 of this thesis discusses femtocell-to-femtocell interference mitigation. Mitigating femtocell-to-femtocell interference is important but effectively doing so is challenging due to the unplanned/unorganized manner of deployment of this type of base station. An optimal approach to interference mitigation in femtocell networks would require a centralized controller which

may be practically challenging considering the associated computational complexity and the size of control traffic involved when the network size is large. Hence, a distributed approach is more promising. We developed a femtocell-to-femtocell interference mitigation scheme that relies on cooperation among closely located femtocells. In our scheme, femtocells are grouped into clusters and cluster-heads of each cluster coordinate network resource usage by its cluster members. Two variants of the proposed cluster scheme are investigated, namely, the *fair cluster scheme* and the *greedy cluster scheme*, respectively. A third scheme, *autonomous scheme*, is used as benchmark with which the performance of our proposed *cluster scheme* is compared. System level simulations were performed during which the network density and the users-to-base station separation distances were varied. The results of simulations show that the throughput performance of our proposed *fair cluster scheme* is superior to that of the *greedy cluster scheme* and is also superior to that of the *autonomous scheme* under all network densities considered. The *greedy cluster scheme* also showed superior throughput performance compared to the *autonomous scheme* in all cases of low to medium network densities. The results of varying the user-to-base station separation distance again showed that *fair cluster scheme* yields superior throughput performance compared to the other two schemes (i.e., the *greedy cluster scheme* and the *autonomous scheme*). The proposed *greedy cluster scheme* showed throughput performance improvement on the *autonomous scheme* at fairly large user-to-base station separation distances but the improvement disappeared as network density increased.

Chapter 5 of this thesis considers femtocell-to-macrocell interference mitigation. Cross-tier interference between the macrocell and the femtocell layers is one of the most important issues that must be addressed in order to prevent the deployment of femtocells from degrading the performance of legacy macrocell networks. We developed an interference mitigation scheme in which a batch scheduling procedure was designed for the macrocell, while a power control procedure was designed for the femtocell. The batch scheduling implemented at the macrocell is based on a modification of the standard proportional fair scheduling scheme. For clarification, "batch" in this context denotes multiple TTIs (Transmission Time Intervals). Scheduling resources in

batch at the macrocell allows the surrounding femtocells to be able to predict the future resources that will be used by the macrocell such that, interference mitigation through femtocell power control is enhanced. System level simulations were conducted, and throughput results showed the effectiveness of our scheme at reducing femtocell-to-macrocell interference. Our scheme also improved network-wide fairness while conforming with the LTE standard specification that prohibits macrocell-femtocell direct coordination.

Chapter 6 of this thesis contains the general conclusions and future work. The chapter also discusses how all the schemes proposed in Chapters 3 through 5 can coexist in the same network. In this thesis, preference is given to the distributed coordination method since it is more suitable than the centralized coordination method for ad hoc-like networks such as femtocell networks in which detailed pre-deployment RF planning and optimization is challenging.

氏名	Akindele Segun AFOLABI		
論文 題目	Inter-cell Coordination for Interference Mitigation in Multi-tier Wireless Networks マルチ階層無線ネットワークにおける与干渉軽減のためのセル間協調		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教 授	玉置 久
	副 査	教 授	貝原 俊也
	副 査	教 授	森井 昌克
	副 査	准教授	太田 能
	副 査		
要 旨			
近年、スマートフォンやタブレットデバイスが普及し、無線デバイスはより高いデータレートでの通信を必要とするようになりつつある。こういったトラフィック増加傾向に対応していくために、ネットワークオペレータやサービスプロバイダは、OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 技術にもとづくマルチ階層ネットワークとしてフェムトセルの導入を検討している。フェムトセルとは、ユーザが設置する省電力小型基地局のことで、これを介してユーザトラフィックを（広域無線アクセス基地局を介することなく）コアネットワークに収容することで、マクロセルにおけるトラフィック量を削減しようとするものである。通常、セルラネットワークにおいては、無線基地局の設置（置局）は、オペレータによってできるだけ最適となるよう慎重に行われる。しかし、フェムトセル基地局はユーザによってアドホックに置局されるため、フェムトセル間やフェムトセル・マクロセル間の干渉が軽減されるような何らかの手段が必要となり、そのためフェムトセルやマクロセルが協調して無線資源を管理する仕組みの実現が重要な課題となっている。 このような背景を踏まえ、本研究では、フェムトセル普及の妨げとなっているいくつかの問題に取り組んでいる。無線技術の専門知識がない一般的なユーザによって設置される多数のフェムトセル基地局を一元管理によって連携させることは制御トラフィックや制御遅延の観点から困難である。本論文は、干渉軽減の問題に対して、実現可能と思われるフェムトセル間、フェムトセル・マクロセル間協調の方式を提案し、システムレベルシミュレーションによる性能評価によってその有効性を検証した成果をまとめたものである。 まず、第1章では、セルラ技術の歴史ならびにトレンドを記述するとともに、本論文のねらいと概要を明らかにしている。 第2章では、本研究の背景であるマルチ階層ネットワークにおける基地局間協調と干渉軽減について記述している。フェムトセル基地局間ならびにフェムトセル・マクロセル基地局間で干渉が生じないようにするには、セル間での協調により無線資源を適切に配分する必要がある。このセル間協調は、集中型または分散型で実現できる。ただし、多くのフェムトセル基地局が設置されることが予想されることから、分散型でのセル間協調が望ましいといえる。これらの記述から、以降の第3章から第5章までの取り組みの干渉軽減技術としての位置づけを明らかにしている。 第3章では、フェムトセル基地局の存在を前提としたマクロセルにおける無線資源分割について論じている。ユーザへの公平な網資源割当は適切な無線資源分割における重要な観点であり、特にセル端ユーザは隣接セルから干渉を受けやすいため、セル端ユーザへの干渉を低減することが重要な課題になっている。そのための方策の一つにセルを複数のセクタに分割して各セクタに異なる周波数を割り当てるFFR (Fractional Frequency Reuse) がある。本章では、マクロセルユーザ間の公平性を保ちつつ、フェムトセルユーザのスループットの最大化を図る FFR 構成パラメータ決定問題を解析的アプローチによって解き明かし、OFDMA ベースのマルチ階層無線ネットワークにおける FFR 構成パラメータ設定に対する指針を与えている。 第4章では、フェムトセル間の干渉軽減について論じられており、フェムトセル干渉軽減のための近接フェムトセル間での分散型協調方式が提案されている。提案方式においては、近接フェムトセルがクラスタを構成し、さらにクラスタヘッダ同士が調整することで、各フェムトセル間での干渉が小さくなるように、クラスタメンバであるフェムトセルが使用する無線資源を決定する。シミュレーション結果から、さまざまなフェムトセル置局密度ならびにユーザ・フェムトセル基地局間距離のもとで、各フェムトセル基地局が自律的に利用無線資源を決定する方式に比べて、提案方式が高いスループットを示すことを明らかにしている。			

氏名	Akindele Segun AFOLABI
----	------------------------

第5章では、マクロセルに対するフェムトセル干渉低減について論じている。ここではマクロセル基地局における無線資源割当スケジューリングをバッチ割当とすることで、フェムトセル基地局がマクロセルにおける無線資源割当を認識することを容易にすることをねらっている。その結果、フェムトセル基地局がマクロセル基地局への干渉を低減する無線資源割当が可能になる。具体的には、マクロセル基地局が複数の TTI (Transmission Time Interval) をユーザ端末に割り当てる PFS (Proportional Fair Scheduling) を提案している。これによって、例えば、マクロセルとフェムトセルが直接協調できない LTE (Long Term Evolution) 標準に準拠しつつ、フェムトセル基地局はマクロセル基地局の無線資源割当を認識し、フェムトセル基地局からのマクロセル基地局端末への干渉を低減できることが期待できる。またシステムレベルシミュレーションによって、マクロセル端末へのフェムトセル基地局の干渉が低減され、網内ユーザ間のスループット公平性を改善できることを明らかにしている。

第6章は、第3章から第5章で提案した方式が OFDMA ベースのマルチ階層ネットワークに対して分散協調で実現できることを述べ、本論文における結論と今後の課題について述べている。

以上、本研究は、今後実現が望まれる OFDMA ベースのマルチ階層ネットワークに対して、独創かつ実用的な干渉低減技術を多面的視点から研究したものであり、本研究で得られた成果・知見は当該分野の発展に大きく寄与することが期待される価値ある集積であると認める。よって、学位申請者の Akindele Segun AFOLABI は、博士（学術）の学位を得る資格があると認める。