

令和元年5月15日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06351

研究課題名(和文) 省電力ヘテロジニアス・セルラネットワークにおける通信品質保証技術

研究課題名(英文) QoS control technique for heterogeneous cellular networks with sleep control

研究代表者

森 香津夫 (Mori, Kazuo)

三重大学・工学研究科・教授

研究者番号：90324540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、ヘテロジニアス・セルラネットワーク(マクロセルに小セルがオーバーレイ配置される複数階層セルラネットワーク)の無線システム構築技術に関して、ユーザ端末の要求通信品質を適切に提供しつつ省電力動作が可能な省電力制御(スリープ制御)手法を確立することを目的に研究を進めた。

その結果、研究成果として、ユーザ端末の要求通信品質保証と省電力動作が可能な基地局動作モード制御、及び、ユーザ端末セル選択制御の各制御手法を下リンク通信を対象に提案して、計算機シミュレーションによる特性評価からその有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題が目指したHetNet向けのシステム制御技術は、実システムでのサービス提供に必要な不可欠な技術である。省電力化と要求通信品質保証の両立は、先行研究ではあまり実施されてなかったため、学術的および産業的に先行性を有していた。したがって、本研究で輩出された成果は、HetNetの実用化に寄与できるものであり、当該技術分野および社会への波及効果は大きいと確信している。

研究成果の概要(英文)：This research investigates the wireless system configuration technique for heterogeneous cellular network, which is a hierarchized cellular network overlaying small base station layer on top of macro base station layer. This research proposes energy saving mechanism (sleep control mechanism), which achieves both a reduction of power consumption at the small base stations and better provision of quality of services (QoS) to user equipments (UEs). Through the performance evaluation by computer simulation, this research demonstrates the proposed energy saving mechanism (sleep control mechanism) improves the system performance, such as power consumption and energy efficiency in the network, and also QoS satisfaction rate at UEs.

研究分野：無線通信工学

キーワード：移動体通信 セルラネットワーク ヘテロジニアスネットワーク 省電力 品質保証

1. 研究開始当初の背景

セルラネットワーク技術は、その優れた周波数利用効率性から携帯電話システムの初期システムから採用され、近年では、ヘテロジニアス・セルラネットワーク(HetNet)へと発展している移動通信システムを支える最重要技術である。HetNetは、従来のマクロセルに加え多くの小セルを追加配置したセル構成を有するセルラネットワークであり、システム容量不足や不感地帯出現などの従来のマクロセルネットワークの問題点を解決する最有力技術として脚光を浴びている。

一方、地球温暖化や自然災害への耐性等の社会問題から、様々なシステムにおいて省電力化が求められている。近年、セルラネットワークにおいてもエネルギー効率の優れたネットワークが要求されており、その実現に向けた研究が実施されている。特に、HetNetでは多数の小セルを追加配置することから、システム稼働時のエネルギー消費量が増大する懸念がある。このため、その低消費電力化技術は極めて重要と考えられる。このような背景から、HetNetにおいて小セル基地局の動作モード（アクティブ[ON]/スリープ[OFF]モード）を制御してエネルギー消費量を低減する手法に関する研究が実施されている。

しかしながら、これらの先行研究は基礎研究の段階であり、現実の移動通信システムへの適用にはいくつかの課題が残されている。その具体例の1つに、ユーザ端末(UE)への通信品質(QoS: Quality of Serviceあるいは、QoE: Quality of Experience)保証の問題があるが、先行研究においてはあまり考慮されていない。近年の移動通信システムでは、様々な通信品質を要求するUEが接続され、これらの要求品質を適切に提供することが求められる。

本研究では、これら点に着眼し、異なる通信品質要求を持つUEが接続する環境で、各UEへの的確な通信品質提供と省電力動作を同時に可能とするHetNet向けの無線システム構築技術に関して研究を進めた。

2. 研究の目的

本研究課題では、ヘテロジニアス・セルラネットワーク HetNetの無線システム構築技術に関して、ユーザ端末の要求通信品質を適切に提供しつつ省電力動作が実現可能なシステム制御を、実システムに比較的容易に適用可能な自律分散制御手法を用いて下りリンク通信に対して確立することを目的とした。具体的に研究対象としたシステム制御手法は、基地局動作モード（アクティブ[ON]/スリープ[OFF]モード）制御とユーザ端末セル選択制とした。

3. 研究の方法

本研究では、図1のような複数マクロセル/多数小セルで構成されるHetNetを研究の対象とし、無線アクセス方式はOFDMA方式を前提に研究を進めた。計画では、研究項目(1)：要求通信品質と高エネルギー効率動作が可能な基地局動作モード制御、ユーザ端末(UE)セル選択制御の各制御手法を自律分散制御を用いて確立、研究項目(2)：これら各制御手法の協調動作による高性能化技術の確立を下りリンクに対して順に段階的に進めることとした。

研究期間は3年間であり、研究は段階的に進める。第1段階では研究項目(1)を、第2段階では研究項目(2)を進めた。第1段階研究を研究期間の初年度と2年目に実施し、第2段階研究を最終年度の3年目に実施した。

研究手法は、机上での制御方式考案と、計算機シミュレーションによるその有効性検証とした。

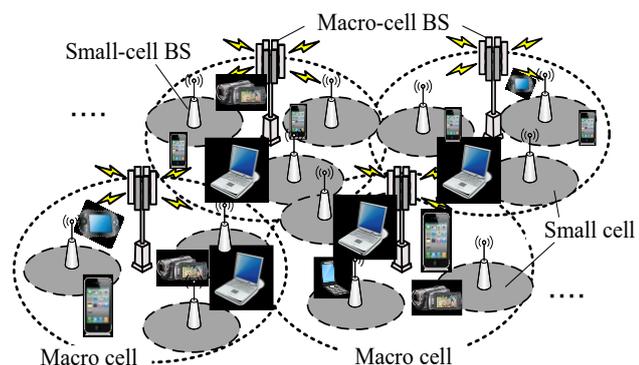


図1: ヘテロジニアス・セルラネットワーク HetNet

4. 研究成果

平成28年度は、UEの要求通信品質保証と省電力動作が可能な基地局動作モード制御、およびユーザ端末セル選択制御の各制御手法の研究を下りリンク通信を対象に進めた。これまでの通信品質考慮型の基地局動作モード制御は主として集中制御手法により研究されてきているため、実システムへの適用性に問題が生じる可能性がある。そこで、本研究課題では、これまでに研究代表者らが検討してきた自律分散制御型の基地局動作モード制御を基盤技術として、基地局

の動作モード（アクティブ[ON]/スリープ[OFF]）の切り替え設定の条件に、接続 UE の通信品質保証の可否を新たに加えた基地局動作モード制御について研究を行った。具体的には、動作モード制御対象基地局（小セル基地局）においてセルスループットを基準に動作モードを各基地局が自律分散制御で設定する自律分散制御型基地局動作モード制御に対して、通信品質保証の要素を付加した制御方式の研究を進めた。基地局の動作モードがアクティブ[ON]状態からスリープ[OFF]状態に移行する際、その移行により通信サービスの提供が途絶える UE に対しては、アクティブ状態の他基地局へハンドオーバーしてサービス提供を継続する必要が生ずる。そのハンドオーバー先基地局から提供される通信品質が要求品質を満たす場合のみハンドオーバーし、満たさない場合はハンドオーバーせず、既接続基地局との接続を継続することとして、接続 UE が存在しない基地局のみをスリープ[OFF]状態に移行させる自律分散制御型基地局動作モード制御を検討した(図2)。

実際には、この制御技術について机上での理論検討による制御手法の考案を実施し、その後、この考案手法の特性評価を、計算機シミュレーションにより実施した。その結果、本手法は通信品質を考慮しない従来方式と比較して、電力消費量やエネルギー効率(単位電力当たりのシステムスループット)、QoS 満足率などのシステム特性が向上することが明らかとなった。

本研究成果は、国内学会にて公表されており、また、国際学会に投稿し採録が決定した。

平成 29 年度は平成 28 年度に引き続き、下リンク通信を対象に、UE の要求通信品質保証と省電力動作が可能な基地局動作モード制御、およびユーザ端末セル選択制御の各制御手法の研究を進めた。平成 29 年度においては、新たに、スリープ[OFF]状態移行に伴うハンドオーバーの際のユーザ端末セル選択制御に関して、複数のセル選択基準(RSRP 基準, SIR 基準, 残余帯域幅基準, 提供可能通信品質基準)を考案してその比較検討を実施した。また、UE へのチャンネル(通信帯域)割当を帯域等分割から所要帯域幅割当に変更して、具体的に研究を進めた。

その結果、スリープ[OFF]状態移行に伴うハンドオーバーの際のユーザ端末セル選択基準は、提供可能通信品質基準が最も良いシステム性能を与えることが定量的に明らかとなった。

本研究課題に関わるここまでの研究成果は、国内学会及び国際学会にて公表され、また、国外論文誌に投稿した。

平成 30 年度は、研究項目(2): 基地局動作モード制御とユーザ端末セル選択制御の協調動作による高性能化技術の確立について研究を進めた。ここでは、キャリアアグリゲーション(CA)技術の適用を考慮した制御手法についての検討に注力した。CA 通信における各基地局の重要度(評価指標: プライマリーユーザ数 N_{CA})を、基地局動作モード制御の制御条件に新たに導入した制御方式を考案し、CA 適用システムに向けた基地局動作モード制御とユーザ端末セル選択制御の協調動作手法の高度化を目指した。机上での理論検討の後、考案制御方式のシステム性能を計算機シミュレーションにより評価した。

評価結果より、考案方式は CA 通信における各基地局の重要度を基地局動作モード制御で考慮しないこれまでの方式に比べ、システム特性が向上することが明らかとなった(図3, 4)。

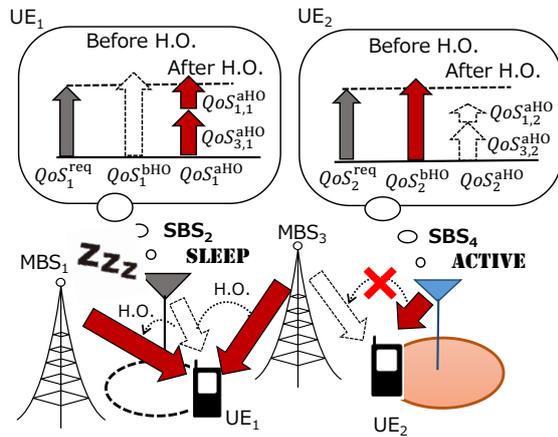


図2. Autonomous QoS aware sleep control with carrier aggregation.

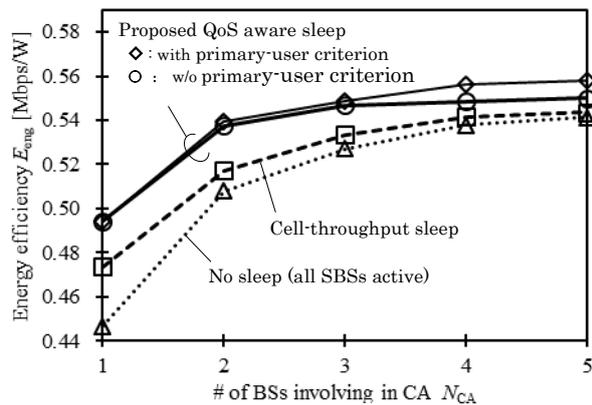


図3. Energy efficiency E_{eng} performance.

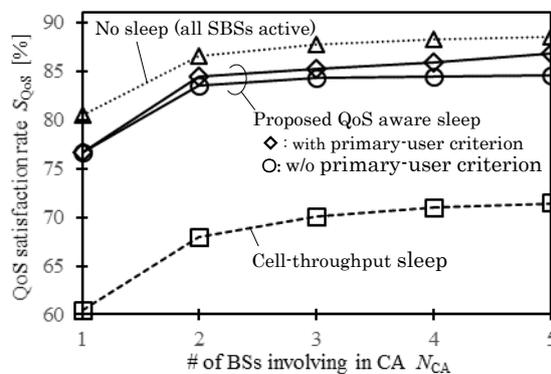


図4. QoS satisfaction rate S_{QoS} performance.

平成 30 年度の本研究成果は、国際学会に投稿済み（現在査読中）である。また、平成 29 年度までの研究成果が、国外論文誌に採録され掲載されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2 件）

- ① Prapassorn Phaiwitthayaphorn, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, Pisit Boonsrimuang, “Cell Throughput based Sleep Control Scheme for Heterogeneous Cellular Networks,” ECTI Transactions on Computer and Information Technology (ECTI-CIT), 査読有, Vol.12, No.1, pp.26-33, May 2018.
<https://www.tci-thaijo.org/index.php/ecticit/article/view/99181/92701>
- ② Prapassorn Phaiwitthayaphorn, Pongsathorn Reangsuntea, Takashi Fujii, Pisit Boonsrimuang, Kosuke Sanada, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, “Cell Throughput based Sleep Control Scheme for Heterogeneous Cellular Networks,” Proc. of IEEE and ECTI 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2017), 査読有, July 2017.
DOI: 10.1109/ECTICon.2017.8096305

〔学会発表〕（計 2 件）

- ① 吉田竜太, 眞田耕輔, 森香津夫, “ヘテロジニアスセルラネットワークにおける通信品質を考慮した自律分散型スリープ制御,” 平成 29 年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会, 名古屋, 2017 年 9 月.
- ② 前野貴史, 森香津夫, 眞田耕輔, 小林英雄, “ヘテロジニアスセルラネットワークにおけるスリープ制御時のエネルギー効率の評価,” 平成 28 年度 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会, 豊田, 2016 年 9 月.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.com.elec.mie-u.ac.jp/>

6. 研究組織

- (1) 研究分担者 なし
- (2) 研究協力者 なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。