

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11277

研究課題名（和文）個別端末に最適化したパーソナルセルによる高速モバイルネットワーク

研究課題名（英文）Personal-cell scheme using adaptive control CRE in mobile network

研究代表者

大塚 裕幸（Otsuka, Hiroyuki）

工学院大学・情報学部（情報工学部）・教授

研究者番号：60594067

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：マクロセルとピコセルを重畳配置するヘテロジニアスネットワーク（HetNet）において、仮想的にピコセルを拡張するセル範囲拡張技術（CRE）は重要である。本研究では、各ユーザ端末の通信品質、セル全体のトラフィック量をもとに、個々のユーザ端末に最適化されたパーソナルセルを形成する手法を確立した。

まずは、提案手法を取り入れた大規模なシステムレベルシミュレータを開発した。次に、マクロセルとピコセルの周波数が同じシングルバンドHetNet、および周波数が異なるマルチバンドHetNetに対して、ユーザスループットの特性評価を行った。

提案手法は従来手法に比べてユーザスループットを改善できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヘテロジニアスネットワーク（HetNet）は様々な種類のネットワーク重畳技術である。例えば、現在日本でサービスされている5G（5G NR NSA）は4Gと5GのHetNetである。このようにHetNetは重要なネットワーク技術であり、その能力を最大限に発揮できる技術の提案は学術的にはもちろんのこと無線周波数を有効利用する点においてその社会的意義は大きい。本研究では、ユーザ端末ごとに最適なパーソナルセルを定義する手法を提案し、その効果をユーザスループットの側面から定量的に示した。また、高周波数帯を用いたHetNetにおいて、ピコセルのセクター化を提案し、その効果を従来技術と比較して示した。

研究成果の概要（英文）：Heterogeneous networks (HetNets), which are combined with a macrocell and picocell in the same coverage, are expected to further increase the system capacity in mobile systems. In HetNets, the cell range expansion (CRE) technique plays an important role and can allow more user equipment (UE) to access the picocell, i.e., virtually expand the picocell coverage. A personal picocell scheme using an adaptive control CRE technique is proposed to improve user throughput.

First, large-scale system-level simulator incorporating the proposed method is developed. Then, the user throughput for the adaptive control CRE is evaluated in comparison with conventional CRE by using system-level computer simulations for the two types of HetNets, i.e., single-band and multi-band HetNets.

We confirmed that the proposed scheme using the adaptive control CRE can improve the 5-percentile user throughput while maintaining the average user throughput compared with that of conventional CRE.

研究分野：情報学

キーワード：モバイルネットワーク ヘテロジニアスネットワーク

### 1. 研究開始当初の背景

スマートフォンなどの普及によりモバイルトラフィックは増大し、2020年のモバイルトラフィックは2015年に比べて約10倍になると予測されている。このモバイルトラフィックの増大により基地局には膨大な負荷がかかるため、システム容量の向上が急務となっている。特に、特に2020年の東京オリンピックでは、多くの動画などのアップロードによる膨大なトラフィックが生じ、システムの大容量化および高速通信環境が要求されると予想される。第4世代および第5世代移動通信システムにおいては、システムの大容量化を実現する有望な手段としてモールセルあるいはヘテロジニアスネットワーク (Heterogeneous network; 以下 HetNet) が注目されており、活発に研究が行われている。HetNet は、マクロ基地局が管理するマクロセル内にピコセルをオーバーレイ配置し、モバイルトラフィックが増加した時にその一部をピコ基地局に負荷分散するネットワーク技術である。これらの技術により無線リソースを増やすことができるため下り回線 (基地局 - 端末) のシステム全体のユーザスループットを向上させることができる。また、ユーザ端末が近傍のピコ基地局に接続されると、上り回線 (端末 - 基地局) における端末の送信電力が軽減されるため、端末の省電力化を促進できる。このように、HetNet 環境においてマクロ基地局とピコ基地局の共存環境における両基地局の連携は極めて極めて重要となっている。

ピコセルへの負荷分散を積極的に行う技術としてピコセルサイズを仮想的に拡張する CRE (Cell Range Expansion) がある。しかし従来の CRE は拡張サイズが一義的であり、無線リソースが十分に活用されない、あるいは個々の端末の状態を全く考慮していないことによるユーザスループットの劣化という問題を抱えている。

### 2. 研究の目的

本研究では、個々のユーザ端末の通信特性をもとに個別のパーソナルセルを形成する HetNet の実現を目的とする。すなわち送信電力が一定のピコ基地局に対して、個々のユーザ端末のピコセルエリアが異なるパーソナルエリアを形成するネットワーク制御技術を確立する。さらには、マクロセル毎のモバイルトラフィック、および個々のマクロセル内におけるピコセル (ピコ基地局) への端末接続比率をもとにパーソナルセルを形成する手法も確立する。

### 3. 研究の方法

提案手法の効果は高速ワークステーションを用いた大規模なシステムレベルシミュレーションにより明らかにする。具体的には、第4世代移動通信システムのシステムパラメータを基に、複数のマクロセル、そのマクロセル内に複数のピコセル、多くのユーザ端末 (1,710 端末以上) を配置し、それらの動作を同時にシミュレーションできるように設計する。

### 4. 研究成果

#### (1) 高速ワークステーションを用いたシステムレベルシミュレータの開発

モバイルネットワーク特に HetNet の特性評価を行うために、高速ワークステーションを用いた大規模なシステムレベルシミュレータを開発した。19 のマクロセル、228 のピコセル、および 1,710 のユーザ端末の配置を基本とした。シミュレーションでは、シーン (基地局、ユーザ端末の配置) 毎に実環境に近い無線区間のフェージング、無線リソースのスケジューリングを設定し、全てのユーザ端末のスループットを測定できるようにプログラムを作成した。

#### (2) 受信 SINR を基準としたパーソナルセル形成手法の提案

個々のユーザ端末の受信特性に応じて個々のパーソナルセルを形成する手法の検討を行った。具体的には、図1に示すように、マクロ基地局の下り制御信号の測定から得られる全てのユーザ端末の受信 SINR の累積分布から、個々のパーソナルセルを形成する適応制御型ピコセル拡張技術を提案した。例えば、受信 SINR が小さいユーザ端末に対しては  $CSO_{high}$  を設定することにより仮想的にピコセルを大きくする。次に上記 (1) のシステムレベルシミュレータに本提案手法を実装し、特性評価を行った。最初に、マクロとピコセルの周波数帯が 2GHz、周波数帯域幅が 10MHz のシングルバンド HetNet の構成に対して特性評価を行った。図2に示すように、提案手法は平均ユーザスループットを維持しながら下位5%ユーザスループットを改善できることを示した。次に、マクロとピコセルの周波数帯がそれぞれ 2GHz、3.4GHz で、周波数帯域幅が同一 (10MHz) のマルチバンド HetNet の構成に対して特性評価を行った。その結果例を図3に示す。図2と同様に提案手法は平均ユーザスループットを維持し

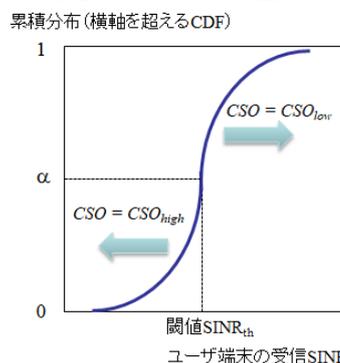


図1 受信 SINR を基準とするピコセルの拡張設定

ながら下位 5%ユーザスループットを改善できることが明らかとなった。このように、個々のユーザ端末の状態によってピコセルサイズを決定する手法はシステム全体のユーザスループットを改善できる可能性があることを示した。

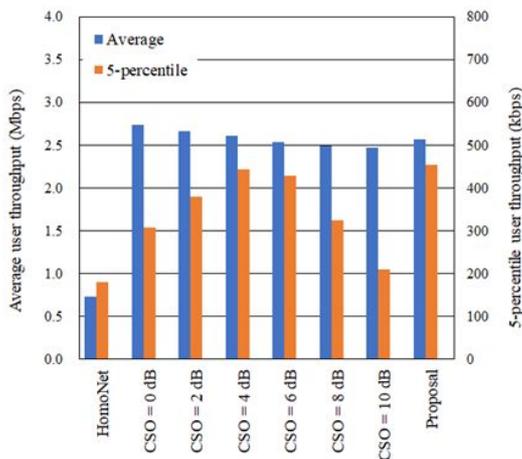


図2 シングルバンドHetNetにおける提案手法の効果

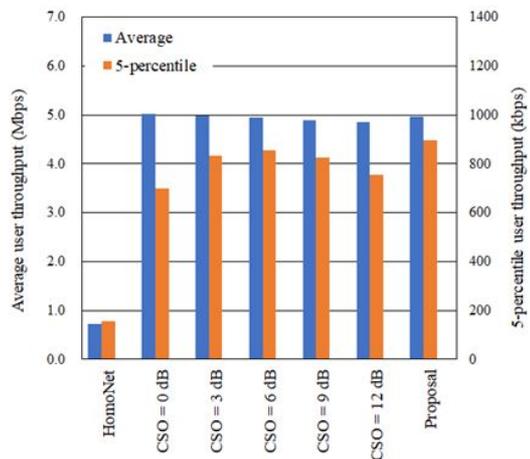


図3 マルチバンドHetNetにおける提案手法の効果

### (3) 高周波数帯を用いた HetNet におけるセクターピコセルの提案

2GHz 帯のマクロセルと 28GHz 帯のピコセルから成る HetNet において、ピコセルをセクター化する手法について検討を行った。無線区間に高周波数帯を用いた場合、信号の伝搬損失が大きくなる。その伝搬損失を緩和することを目的としてピコセルをセクター化する手法、さらにはそのセクターピコセルに 3次元ビームフォーミング (3D-BF) を適用する手法を提案した。そのピコセルの構成を図 4 に示す。次に上記 (1) のシステムレベルシミュレータに本提案手法を実装し、特性評価を行った。図 5 に示すように、提案手法は平均および下位 5%ユーザスループットをそれぞれ 2.1, 1.8 倍改善することを明らかにした。

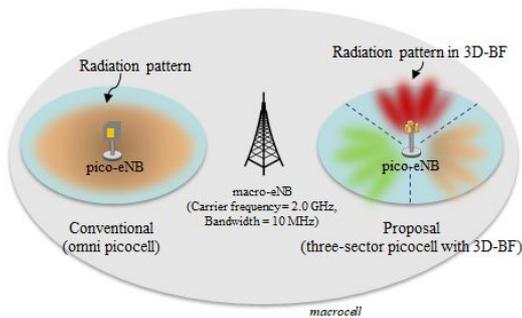


図4 HetNetにおけるセクターピコセルの提案

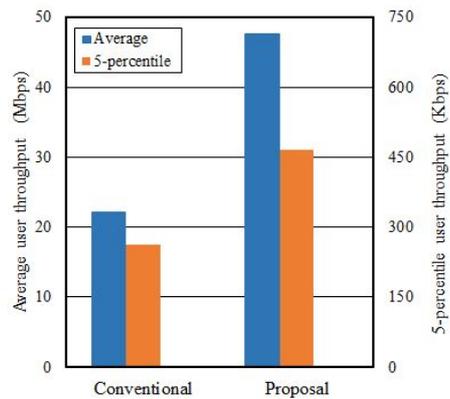


図5 提案手法の効果

### (4) 光無線リレー技術の提案

モバイルネットワークにおいて、セルエッジに位置するユーザ端末の通信特性を向上することは重要である。本研究では、同一周波数を用いて同一タイミングで無線信号の中継を可能とする光無線リレー技術を提案した。光無線リレーは、基地局に対向するアンテナ (RN<sub>eNB</sub>)、ユーザ端末に対向するアンテナ (RN<sub>UE</sub>)、およびそれらを結合する光ファイバーから構成される。同一周波数を用いて同一タイミングで無線信号の中継する場合、中継器の送受信機間に自己干渉が発生するため、この自己干渉をキャンセルするあるいは自己干渉そのものを緩和する技術が必要である。提案手法において、光ファイバー長をパラメータとして自己干渉の影響を解析し、目的とする希望信号対干渉電力比 (DUR) を満足する光ファイバー長 L を明らかにした。図 7 の結果から、光ファイバー長 L を 20m にすれば DUR=30dB を満足できることを示した。

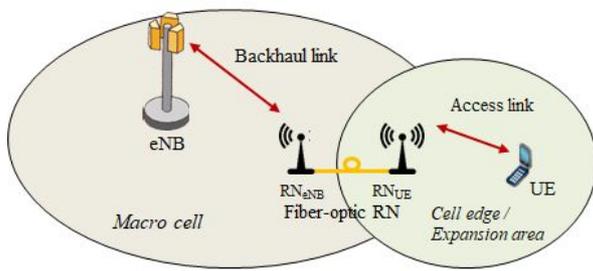


図6 光無線リレーの提案

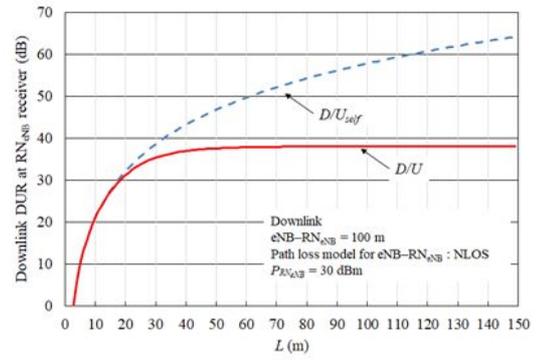


図7 下り回線のDUR解析

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kemmochi Fumiya, Otsuka Hiroyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Throughput performance of mmWave HetNets using three-sector picocell	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 50 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2020XBL0154	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 大塚裕幸	4. 巻 冬号
2. 論文標題 ヘテロジニアスネットワーク	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 通信ソサエティマガジン	6. 最初と最後の頁 239, 245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/bplus.14.239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kento Fujisawa, Kemmochi Fumiya, and Otsuka Hiroyuki	4. 巻 9
2. 論文標題 Personal picocell scheme using adaptive control CRE in heterogeneous mobile networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Sensor and Actuator Networks	6. 最初と最後の頁 1, 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jsan9040048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujisawa Kento, Otsuka Hiroyuki	4. 巻 8
2. 論文標題 Throughput performance of adaptive control CRE in multicarrier HetNets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 606 ~ 610
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2019GCL0062	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 UTATSU Hiroki, OTSUKA Hiroyuki	4. 巻 E102.B
2. 論文標題 Performance Analysis of Fiber-Optic Relaying with Simultaneous Transmission and Reception on the Same Carrier Frequency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1771 ~ 1780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2018EBP3298	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Kento Fujisawa, Fumiya Kemmochi, Ayumi Yoneyama, and Hiroyuki Otsuka
2. 発表標題 Performance of adaptive control CRE against cluster size for UE layout in multiband HetNets
3. 学会等名 2020 3rd World Symposium on Communication Engineering (WSCE) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤澤研斗, 須山聡, 大塚裕幸
2. 発表標題 UE分布のクラスターサイズに対する適応制御型CREのユーザスループット特性
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤澤研斗, 須山 聡, 大塚裕幸
2. 発表標題 マルチキャリアHetNetにおけるUE配置のクラスターサイズに対する適応制御型CREの特性
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 劔持郁也, 須山 聡, 大塚裕幸
2. 発表標題 マルチキャリアHetNetにおける28GHz帯ピコセルのセクター化による改善効果
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoaki Kanaya, Nobuo Tabata, and Saneyasu Yamaguchi
2. 発表標題 A Study on Performance of CUBIC TCP and TCP BBR in 5G Environment
3. 学会等名 2020 IEEE 3rd 5G World Forum (5GWF) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金谷知明, 岡廻隆生, 田畑伸男, 山口実靖
2. 発表標題 5G環境におけるCUBIC TCPとTCP BBRの性能に関する一考察
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告 (信学技報)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤澤研斗, 須山聡, 大塚裕幸
2. 発表標題 マルチキャリアHetNetにおけるUE配置のクラスターサイズに対する適応制御型CREの特性
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 マルチキャリアHetNetにおける28GHz帯ピコセルのセクター化による改善効果
2. 発表標題 劔持郁也, 須山聡, 大塚裕幸
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米山あゆみ, 須山聡, 大塚裕幸
2. 発表標題 4.5GHz帯マルチキャリアHetNetにおけるピコ基地局の送信電力の最適化
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Fujisawa, F. Kemmochi, and H. Otsuka
2. 発表標題 Personal-Cell Scheme Using Adaptive Control CRE for Multicarrier HetNets
3. 学会等名 IEEE VTC2019-Fall (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 F. Kemmochi, K. Fujisawa, and H. Otsuka
2. 発表標題 Potential Design for Modulation and Coding Scheme in mmWave Multicarrier HetNets
3. 学会等名 IEEE VTC2019-Fall (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤澤研斗, 大澤魁, 増野淳, 須山聡, 大塚裕幸
2. 発表標題 3.4GHz帯を用いた異周波HetNetにおける適応制御型CREの効果
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 劔持郁也, 大澤魁, 増野淳, 須山聡, 大塚裕幸
2. 発表標題 28GHz帯 3 セクターピコセルを用いた異周波HetNetのユーザスループット特性
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宇多津裕貴, 藪田龍平, 増野淳, 須山聡, 大塚裕幸
2. 発表標題 3Dビームフォーミングを適用した時分割リレー通信の一検討
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野里亮祐, 福田翔貴, 森竜佑, 村上翼, 神山剛, 福田晃, 小口正人, 山口実靖
2. 発表標題 時間加速Android環境のシステム安定性のアプリケーションによる評価
3. 学会等名 情報処理学会 第22回コンシューマ・デバイス&システム研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	山口 実靖  (Yamaguchi Saneyasu)  (50439262)	工学院大学・情報学部(情報工学部)・教授    (32613)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------