

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03227

研究課題名（和文）IoT時代を支える状況変化適応型FiWi制御技術

研究課題名（英文）Situation-Aware Adaptive FiWi Control Technology for the IoT Era

研究代表者

加藤 寧 (Kato, Nei)

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：00236168

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、次世代無線アクセスネットワークの多様な要求条件満足するために導入が進む、クラウド無線アクセスネットワーク（C-RAN: Cloud-Radio Access Network）に着目している。その要求条件の中でも特に省電力化に注目し、トラフィックの時間的変動が存在する環境下においても安定的にネットワーク全体の消費電力を低減するための省電力制御手法を提案し、その妥当性をシミュレーション実験により確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年移動通信ネットワークにおいて、多様なアプリケーションサービスの需要が増加している。特に第5世代移動通信システム（5G）では、システム容量の大容量化、通信の高速化、低遅延化、多数同時接続化、低コスト化、省電力化といったより高度な無線通信技術が要求されている。そこで本研究では省電力化に着目し、C-RANにおける省電力化に向けた省電力制御手法を提案し、この提案手法の有効性を確認した。本提案方式は、実環境に即しており、将来的な移動通信ネットワークの増加への対応、かつあらゆる環境下での高品質なサービス提供と省電力化の両立を可能とする。以上より、今後の情報通信分野の発展に貢献する研究成果であると言える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we focus on Cloud-Radio Access Networks (C-RANs), which are increasingly being introduced to satisfy various requirements for next-generation wireless access networks. We propose a power-saving control method to stably reduce the power consumption of the entire network even in an environment with time-varying traffic, and confirm the validity of the proposed method through simulation experiments.

研究分野：総合領域

キーワード：光通信 無線通信 IoT ネットワーク融合 プロトコル

### 1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンやタブレット等の端末が普及され、多くの人々が移動通信端末を持つようになった。また、ビデオストリーミングといった利用データ量の多いアプリケーションが急増している。さらに、次世代無線アクセスネットワークである 5G (第 5 世代移動通信システム) では、システム容量の大容量化を始め、データ伝送速度の高速化、低遅延化、移動通信端末の多数同時接続、低コスト、省電力化の 6 つの要求条件が示されている。このような移動通信ネットワークにおける要求条件を満足するために、クラウド無線アクセスネットワーク (C-RAN: Cloud-Radio Access Network) の導入が進行している。

無線アクセスネットワーク (RAN: Radio Access Network) の基地局は、無線送受信装置 (RRH: Remote Radio Head) 部分とベースバンドユニット (BBU: Base Band Unit) 部分によって構成される。従来 RAN では BBU と RRH が同一基地局内に存在していたため、1 台の BBU に対し 1 台の RRH の信号処理しか行うことができない。一方で C-RAN (Centralized-RAN) では、BBU を基地局から分離し BBU pool と呼ばれる収容局に集約させることで 1 台の BBU で複数台の RRH にわたる信号処理が可能となったため、従来 RAN に比べ RRH と移動通信端末間における無線送受信信号処理が効率化されている。さらに、C-RAN の基地局は RRH に該当するモジュールのみ存在するため従来の基地局よりも小型・軽量化されており、単位面積当たりの RRH 配置可能数の増加を可能とする。このように、BBU を用いた無線信号処理の効率化及び RRH 配置可能数の増加によって、C-RAN は従来 RAN と比較してより大容量のトラフィックに対応することができる。

また、C-RAN は無線アクセスネットワークの省電力化においても有効性を発揮する。上記で述べたように、C-RAN では複数台の BBU が BBU pool に集約されている。これらの BBU は統計多重効果 (The statistical multiplexing effect) により、RRH で発生するデータの処理に必要な BBU の稼働台数を抑制でき、消費電力の低減に繋がる。さらに、C-RAN では BBU 側と RRH 側の双方において省電力制御が実施されている。BBU 側では BBU aggregation と呼ばれる技術により、RRH における信号処理に要する BBU の稼働台数を減少させることで消費電力を低減している。ならびに、RRH 側では Cell Zooming と呼ばれる技術により、RRH のカバレッジを拡大することで RRH の稼働台数を減少させる省電力制御を行っている。既存研究では、更なる省電力化を目指し、RRH 側の省電力制御と BBU 側の省電力制御が相互に及ぼす影響を考慮することで、ネットワーク全体として最適な省電力制御を実現している。

しかしながら、既存研究ではトラフィックの時間的変動の影響が考慮されていないため、トラフィックが時間的に変動するような場合に、既存の省電力制御手法ではネットワーク全体として最適な制御とはならない。トラフィックの時間的変動を考慮することは、現実環境により則した想定においても、更なる C-RAN の消費電力を低減できることが期待できるため、非常に重要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、現実環境のようなトラフィックの時間的変動が存在する環境下においても、RRH と BBU の双方を考慮した制御を実行することにより、ネットワーク全体として C-RAN の消費電力を低減することである。本研究により、無線アクセスネットワークの省電力化に寄与できると考える。また、本研究を発展させることで無線アクセスネットワークのみならず他の有線・無線の融合ネットワークにおける省電力制御手法の構築に繋がり、将来の融合ネットワークにおける更なる省電力化の推進が期待できる。

### 3. 研究の方法

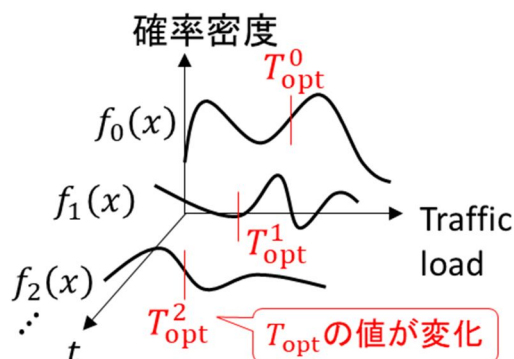


図 1. 時間変化するトラフィック負荷の確率密度関数と最適値  $T_{opt}$  の関係を表した例

本研究では、時間的に変動するトラフィック負荷を導入し、そのような場合にも手法が有効であるかを考察する。ここでは、時間の経過とともにトラフィック負荷が変化するため、トラフィック負

荷の確率密度関数PDF( $f_t(x)$ )も変化することになる。図1にトラフィック荷の確率密度関数 PDFが時間的に変化し、RRH と BBU の消費電力の和の期待値が最小となる最適値 $T_{opt}$ が変化する例を示す。 $f_t(x)$ が与えられれば最適値 $T_{opt}^t$ の値を計算することができる。本研究では、トラフィック荷予測技術を用いて任意の  $t$  における $f_t(x)$ を予測できると仮定し、最適値 $T_{opt}^t$ を計算してシステムに適用する手法を提案する。

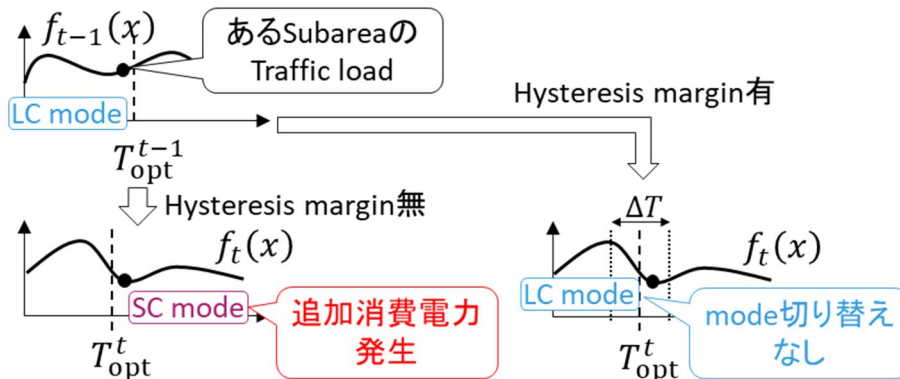


図2 . Subarea のトラフィック荷が最適値 $T_{opt}$ に近い例

ネットワークの消費電力を効果的に節約するためにはトラフィック荷に応じてモードを変更する必要があるが、頻繁なモード変更はネットワークの消費電力を増加させることになる。図2に Subarea(ネットワークサービスエリアを構成する領域の単位)のトラフィック荷が最適値 $T_{opt}$ に近いシナリオを示す。Subarea  $a_h$ が時刻  $t-1$  の LC モードであり、そのトラフィック荷 $T_{a_h}^{t-1}$ は $T_{opt}^{t-1}$ に近かった場合を例に挙げる。次の時刻  $t$  において $T_{opt}^t < T_{a_h}^t$ とする。すると、Subarea  $a_h$ は SC モード、つまり $a_h$ でモード変更が発生し、このモード変更により消費電力が増加するため、ネットワークの消費電力が増加する。このようなシナリオが頻繁に発生する場合、提案する方式の有効性は減少する。そこで、この追加消費電力を回避するために、本研究では時刻  $t-1$  と次の時刻  $t$  でのモード変更の有無を決定するための指標となる Hysteresis margin( $\Delta T$ )を導入する。この導入によりトラフィック荷 $T_{a_h}^{t-1}$ とその最適値 $T_{opt}^{t-1}$ 、そして $\Delta T$ の値から時刻  $t$  におけるモード変更の有無が決定され、C-RAN の追加消費電力の低減が実現される。

#### 4 . 研究成果

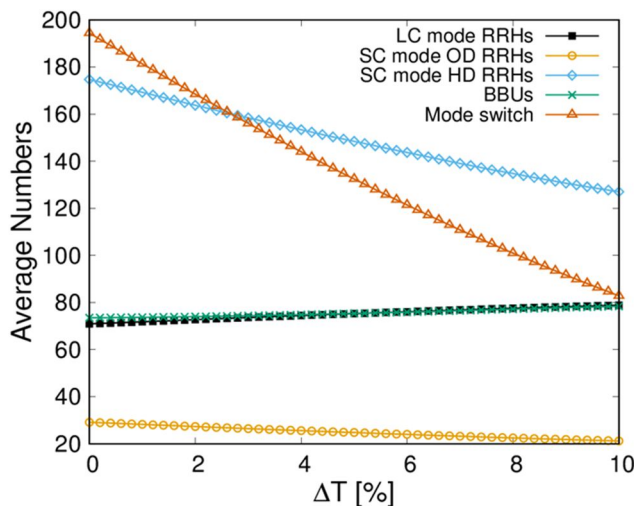


図3 .  $\sigma = 0.1$ の場合の RRH の平均稼働数と平均 Mode switch 数

図3に、トラフィック要求発生量のばらつき $\sigma = 0.1$ の場合の Subarea における稼働している RRH と Mode switch 数の平均値を示す。 $\Delta T$ が大きくなるにつれて、平均 Mode switch 数は明らかに減少している。しかし、LC モード RRH の平均稼働数が増加していることがわかる。したがって、BBU の平均稼働数も増加する。

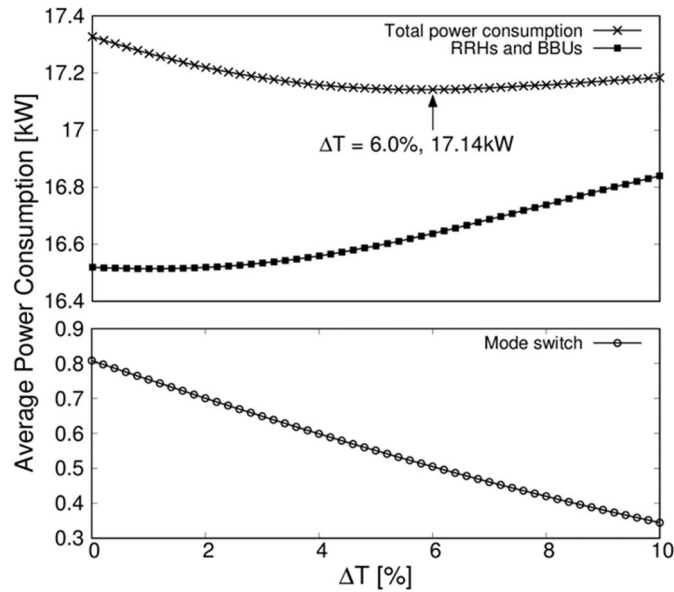


図4 . RRH と BBU の平均消費電力

図4に、RRHとBBUの平均消費電力、Mode switch、 $\sigma = 0.1$ の場合の全消費電力の平均値を示す。ここでは、あるSubareaの1回のMode switchによる消費電力を3592.8Jとし、全SubareaのMode switchによる平均消費電力に換算している。 $\Delta T$ が増加すると、Mode switchによる消費電力は減少するが、RRHやBBUの消費電力は増加する。図3に示すように、アクティブなSCモードRRHの数は減少するが、アクティブなBBUの数は増加するため、RRHおよびBBUの消費電力の増加はBBUの影響をより大きく受けている。この結果から、RRHとBBUの消費電力とMode switchによる消費電力との間にはトレードオフの関係が分かる。したがって、 $\Delta T$ の最適値が存在し、この場合、 $\Delta T = 6.0\%$ の時には、総消費電力は最小となる。

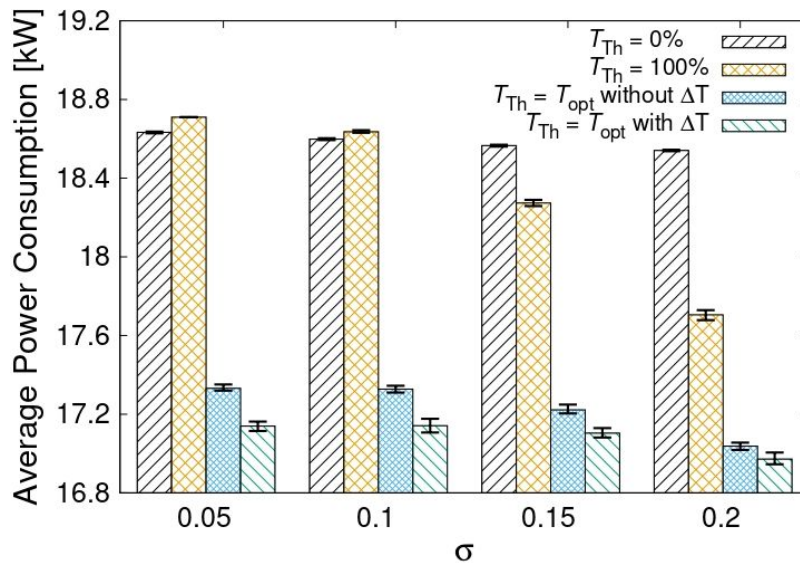


図5 . ネットワークの平均総消費電力

図5に、 $T_{Th} = 0\%$ 、 $100\%$ 、 $\Delta T$ なし( $\Delta T = 0$ )の $T_{opt}$ 、 $\Delta T$ を最適化した $T_{opt}$ の平均的な総消費電力を示す。結果より、 $\sigma$ にかかわらず提案手法は時間的に変化するトラフィックが存在する場合においてもエネルギーを節約することが可能であることが確認できる。

以上から、本研究で提案するC-RAN全体の消費電力を低減するための省電力制御手法は妥当性があり、今後の有無線の融合ネットワークにおける省電力制御手法の構築に繋がり、将来の融合ネットワークにおける更なる省電力化の推進が期待できると結論付けられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮鍋慶介, 西山大樹, 加藤寧
2. 発表標題 タイムスロットを用いたOLTの省電力化に関する研究
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------