



TITLE:

Airtime Management for Low-Latency Densely Deployed Wireless Networks(Digest_要約)

AUTHOR(S):

Yin, Bo

CITATION:

Yin, Bo. Airtime Management for Low-Latency Densely Deployed Wireless Networks. 京都大学, 2021, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2021-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k23327>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により要旨は2021-04-01に公開; "Mitigating throughput starvation in dense WLANs through potential game-based channel selection" BO YIN, SHOTARO KAMIYA, KOJI YAMAMOTO, TAKAYUKI NISHIO, MASASHIRO MORIKURA, HIRANTHA ABEYSEKERA ("IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences" November 2017, Volume E100-A, Number 11, pp 2341-2350). doi: 10.1587/transfun.E100.A.2341 "Learning-Based Spatial Reuse for WLANs With Early Identification of Interfering Transmitters" BO YIN, KOJI YAMAMOTO, TAKAYUKI NISHIO, MASASHIRO MORIKURA, HIRANTHA ABEYSEKERA ("IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking" March 2020, Volume 6, Number 1, pp 151-164). doi: 10.1109/TCCN.2019.2956133

論文要旨

【申請者】

尹 博（平成 30 年 4 月通信情報システム専攻博士後期課程入学）

【論文題目】

Airtime Management for Low-Latency Densely Deployed Wireless Networks
低遅延稠密無線ネットワークのためのエアタイム管理

【論文内容の要旨】

本論文は、稠密無線ネットワークにおけるメディアアクセス遅延（MAC 遅延）の削減のためのエアタイム管理方法について提案を行う。MAC 遅延とは、複数の端末が無線チャネルを共有する通信システムで発生する遅延であり、端末へ割当てられた無線リソースの量が不足する場合や、無線リソースが割当てられるまで時間がかかる場合に発生する。MAC 遅延の削減は、低遅延な無線通信を実現するための重要な課題である。本論文では、競合型と割当て型の 2 種類のメディアアクセス制御方式について検討を行う。特に、MAC 遅延とその他の性能間のトレードオフに着目しそれらの理論解析を行う。

第一の課題は、競合型メディアアクセス制御を採用する無線 LAN システムに関するものである。無線 LAN の最新規格 IEEE 802.11ax では、同一無線周波数の隣接セル同士が互いの干渉による影響を低減すべく低電力で同時送信する仕組みが導入されている。この仕組みにより、端末のエアタイムが増加する一方、パケット衝突率も増加する副作用がある。本論文では、強化学習アルゴリズムを活用し、この副作用を低減する方法を提案する。具体的には、無線 LAN フレームのプリアンブルにある識別子で送信源を見分け、試行錯誤により、フレーム衝突を起こしうるセル同士の同時送信を抑えながら、フレーム衝突を起こさないセル同士の同時送信を促す。さらに、本論文では、マルコフ状態遷移図に基づいた理論的な性能解析を行う。最後に、計算機シミュレーションで隣接セル間の MAC 遅延が大幅に削減されることを示す。

第二の課題は、競合型メディアアクセス制御から由来するスタベーション問題に焦点を当てる。互いにキャリアを検出しない二つの送信局に挟まれた送信局は、前者 2 局のいずれかの通信が行われている限り通信を開始できなく、エアタイムの不公平性問題が発生する。この問題はスタベーション問題と呼ばれ、無線 LAN の稠密展開に伴い、一層顕在化する。本論文では、新たにスタベ

ーション問題を発生しない分散周波数チャンネル選択方式を提案する。具体的には、アクセスポイントをノード、キャリア検出の可否をエッジとする競合グラフを導入し、3つのノードからなる線形チェーントポロジーの数を低減するチャンネル割当を行う。さらに、ゲーム理論におけるポテンシャル関数の存在を証明することにより、分散型チャンネル選択方式が常に収束することを数学的に証明する。最後に、計算機シミュレーションにより、システム全体の無線利用効率を犠牲しながらも、送信機会が全く得られない送信局数を大幅に縮小することを示す。

最後の課題は、割当型メディアアクセス制御方式を採用するセルラー通信システムに関するものである。特に、2社の通信オペレータが設備投資削減のために、共用基地局を設置するシナリオについて考察する。この場合は、通信トラフィックを、既設基地局と増設基地局間で適切に分散することで、通信品質を改善することが可能である。MAC遅延を定量評価するために、本論文では、セル負荷と呼ばれる評価指標を導入する。セル負荷の物理的意味は、基地局の正規化されたエアタイムであり、全端末へ順番に基本サイズのデータを送信する場合、端末で検出される遅延時間の期待値でもある。セル負荷は、端末のデータ伝送速度の逆数の期待値から算出できる。本論文では、基地局の位置的分布がポアソン点過程に従うことなどを仮定し、比例公平型負荷分散方式とラウンドロビン型負荷分散方式について、セル負荷の理論式を導出する。解析の結果、前者はセル負荷を減少できるのに対して、後者はオペレータ間の隔離が優れることを理論的に明らかにした。最後に、数値評価により解析結果の正しさを確認した。

本論文の章構成は次のとおりである。第1章では研究背景と各章の関係について説明する。第2章では関連研究及び理論解析に用いられる数学的方法について述べる。次に上記の3つの課題について第3章～第5章で詳細に解決に対する提案とその特性結果について述べ、最後に第6章で本論文を統括する。