



Title	Cellular Operator Data Driven Solutions for Public Unlicensed Networks
Author(s)	Kala, Manas Srikant
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91991
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (Srikant Manas Kala)	
Title	Cellular Operator Data Driven Solutions for Public Unlicensed Networks (携帯電話事業者の公衆アンライセンスネットワーク向けデータ駆動型ソリューション)

Abstract of Thesis

Unlicensed coexistence networks and spectrum sharing standards help cellular operators meet the ever-increasing demand for mobile data through efficient utilization of unlicensed bands. However, several incumbents are already operational in these frequencies rendering the wireless environment extremely dynamic and unpredictable. Recent studies show that classical optimization techniques are not sufficient to offer latency-critical applications and services in the unlicensed bands. Thus, challenges in unlicensed cellular networks are best solved through a data-driven approach, leveraging machine learning for network analysis, performance prediction, anomaly detection, and performance optimization.

The first contribution of this thesis is the collection and extraction of Licensed Assisted Access (LAA) network data for three cellular operators, viz., AT&T, T-Mobile, and Verizon. The data was extracted through a computer-vision-based system developed for a reliable network monitoring application. Thereafter, it proposes machine learning-based methodologies to analyze and optimize network performance by leveraging operator data. It proposes a hybrid optimization approach that combines machine learning and network optimization called Network Feature Relationship based Optimization (NeFRO). NeFRO is successfully able to reduce the convergence time in unlicensed band optimization by as much as 24%. The thesis also demonstrates the relevance of context-awareness of the network conditions and the traffic environment in data-driven optimization. It proposes a context-aware network feature relationship-based optimization (CANEFRO) approach which is validated through decision matrix analysis. It conclusively shows that LAA data models are more precise and stable than LTE-U models.

Next, the effect of cell selection on LAA network capacity and network feature relationships is studied. Insightful inferences are drawn on the contrasting characteristics of the licensed and unlicensed components of an LTE-LAA system. Further, a cell-quality metric is derived from operator data and is shown to have a strong correlation with unlicensed coexistence system performance. To validate the ideas, two state-of-the-art cell association and resource allocation solutions are implemented through the NeFRO framework. Validation results show that data-driven cell-selection can reduce Unlicensed association time by as much as 34.89%, and enhance licensed network capacity by up to 90.41%. Further, with the vision to reduce the computational overhead of data-driven cell selection in LAA and 5G New Radio Unlicensed networks, the performance of two popular numerosity reduction techniques is evaluated.

Finally, this work highlights a unique phenomenon related to Physical Cell Id (PCI) that is observed in public LAA deployments. Notably, the licensed and unlicensed carriers of a device may have the same PCI or different PCIs. The phenomenon is triggered by the combined effect of unlicensed deployment architectures and cell selection mechanisms. Consequently, the phenomenon will intensify in the 5G NR-U, whose public deployment will soon begin. It is also desirable to accurately identify the PCI scenarios at the device for improved cell selection and network performance. The impact of the phenomenon on the LTE, LAA and Wi-Fi components is demonstrated in three steps: First, the variation in network performance prediction accuracy in PCI scenarios is examined. Second, the efficacy of numerosity reduction techniques used in data-driven cell selection is evaluated in both PCI scenarios. The third step entails a comparison of operator data analysis with network measurements. On-site experiments are conducted at the same PCI and different PCI sites to study differences in real-time network performance. A controlled LTE-WiFi coexistence environment is created and multiple traffic categories are considered. Finally, a class-weight-based solution is proposed for PCI scenario identification. Despite the high data imbalance, an f-score of 0.75 and an AUC-ROC of 0.84 are achieved for LAA.

Thus, this thesis seeks to improve unlicensed network performance through a wholesome data-driven approach. It includes experiments on unlicensed network testbeds, new methodologies for comparative performance analysis, network data collection from real-world deployments, data analysis and

predictive modeling, and new solutions for network optimization and mechanisms. One of the major achievements of this work is the release of an LAA network dataset for easy access to the wider research community. Together, these contributions will help cellular service providers tap into the unharnessed potential of the current and future unlicensed bands.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Srikant Manas Kala)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	山口 弘純
	副 査	教授	村田 正幸
	副 査	教授	渡辺 尚
	副 査	教授	長谷川 亨
	副 査	教授	下西 英之

論文審査の結果の要旨

増え続けるモバイルデータ通信需要に対応するため、携帯電話事業者は免許不要の周波数帯を効率的に利用する技術を活用しようとしている。しかし、それらの周波数帯では無線環境が極めて動的であり、通信の高密度化が進んでいることもあり、ネットワーク最適化の複雑さは増加し、性能予測が困難になっている。これに対し従来の技術は免許不要周波数帯の環境や通信状況に応じて通信をリアルタイム制御する用途には適していない問題がある。本論文の研究成果は、免許不要周波数帯でLTEを利用可能とする技術におけるネットワーク分析、性能予測、性能最適化を、機械学習を活用したデータ駆動型アプローチで解決する点にある。

第一の研究成果は、免許不要周波数帯のLTE通信の性能解析と最適化のためのデータ駆動型アプローチを提案した点にある。本研究では、テストベッドから収集した通信データによる回帰モデル学習を通じ、LTE-UおよびLTE-LAAにおけるネットワーク特性の関係解析を実施した。また、LTE-UとLTE-LAAについて、シグナリングとデータトラフィック、リソースブロックの割当てを比較した。その後、機械学習とネットワーク最適化のハイブリッド最適化手法であるNeFRO (Network Feature Relationship-based Optimization) を提案している。NeFROは、学習した特徴量を利用して最適化計算を軽量に行うため多数の端末が存在する高密度環境での可用性が高く、平均97.16%の精度を維持しながら最適化計算に要する時間を24%短縮できている。さらに高次元回帰モデルを用いた場合の計算時間増加と精度向上の関係を調査し、トレードオフ追求に向けてネットワーク環境コンテキストを活用するコンテキストベースの最適化アプローチ (CANEFRO) を提案している。

第二の研究成果として、LTE-LAAにおけるデータ駆動型セル選択手法を提案した点があげられる。シカゴの大手携帯電話事業者3社のLAAから収集したデータセットを用いた教師あり機械学習を用い、LAAの容量とネットワーク特性に対するセル選択の効果を示し、アルゴリズムを開発している。さらに、そのデータセットからセル品質の指標を導出し、性能と強い相関があることを示した。NeFROフレームワークを用いた検証の結果、提案したデータ駆動型セル選択により、接続に係る時間を34.89%短縮し、ネットワーク容量を最大90.41%向上できている。

第三の研究成果として、公共のLAAで観察される物理セルID (PCI) に関する状況とそれに伴う現象の解明が挙げられる。実際の設備では、ライセンス (LTE) とアンライセンス (LTA) が同じPCIで設置される場合と異なるPCIで設置される場合があり、それぞれにおいて実現性能が異なるため、その2つの状況 (シナリオ) をデバイス側で判別することが望ましいという。こういった状況は今後展開される5G NR-Uでも生じうる。これに対し、これらがLTE、LAA、Wi-Fiの各コンポーネントに与える影響について、以下のステップで実証している。まずそれぞれのシナリオにおけるネットワーク性能の予測精度のばらつきを検証し、データ駆動型セル選択の有効性を両シナリオで評価した。次に、2つのシナリオでの実験を行い、リアルタイム通信性能の違いを調査している。これらをもとにPCIシナリオの識別法を提案し、LTE-WiFi共存環境で評価した結果、SINRとThroughputの最小限の特徴量を用いて、F値0.75とAUC-ROC 0.84を達成した。

以上のように本論文は、免許不要周波数帯でLTEを利用とする通信技術に関し、データ駆動型でネットワーク分析、性能予測、性能最適化を効率よく行う技術について有用な研究成果を上げている。よって、博士 (情報科学) の学位論文として価値のあるものと認める。