

氏名	TASNEEM BINTI SOFRI
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	医工農博甲第137号
学位授与年月日	令和6年3月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
専攻名	工学専攻 システム統合工学コース
学位論文題目	Intelligent Hybrid Multi-Stage Feature Selection and Assessment for 5G Base Station Antenna Health Effect Detection (5G 基地局アンテナの健康影響検出のための知的ハイブリッド多段特徴選択とその評価)
論文審査委員	主査 教授 西崎 博光 教授 茅 暁陽 教授 豊浦 正広 准教授 小俣 昌樹 教授 牧野 浩二 准教授 北間 敏弘

## 学位論文内容の要旨

Fifth Generation (5G) technology able to support more terminals (device density up to one million per square kilometer) with much higher data rates (peak rate up to 20 Gbps), extremely low latency (not more than 1 millisecond) and very high reliability (99.999%). However, in Malaysia, the accelerating of the telecommunication towers buildings raises concern among residents about possible health effects of the radiation coming from those structures in the past few years including the 5G base station exposure. The first main problem of this research work is all studies on the effect of Radio Frequency Electromagnetic Field (RF-EMF) are related to experiments that are either studies on animals or short-term studies in human subjects limited to the effects of GSM900/GSM1800/UMTS/4G Mobile Phones (MP), GSM900/GSM1800/UMTS BS, Digital European Cordless Telecommunications (DECT) and Wireless Fidelity (Wi-Fi) exposures, without considering the effects of 5G 700 MHz, 5G 3.5 GHz or 5G 28 GHz BS signal. The second main problem is limited integration hybrid feature selection method

design for physiological parameters and cognitive performance studies on 5G base station antenna health effects. The objective of this research is to investigate the effects of 5G 700MHz, 3.5 GHz and 28 GHz BS antenna fields exposures and Sham on physiological parameters and cognitive performance of adults in the double blinded condition on Electromagnetic Hypersensitivity (EHS) subject and non-EHS subject, to design the hybridized Multi-Stage Feature Selection (MSFS) and hybrid feature for 5G BS antenna health effect detection based on the physiological parameters and cognitive performance of adults dataset and lastly to validate the performance of the proposed MSFS hybrid feature dataset using supervised machine learning in terms of machine learning classification accuracy, precision, f1-score, sensitivity, and specificity. The outcomes from this research are verification of the hypotheses that the effects of 5G 700MHz, 3.5 GHz and 28 GHz BS antenna fields exposures and Sham on the physiological and cognitive parameters of the subjects are statistically significant or not and also evaluation of the hybridized MSFS and supervised ML for 5G BS antenna health effect detection classification based on the assessed parameters in order to reduce misclassification in the classification. Based on the p-value ( $p > 0.05$ ) result analysis, the findings from the assessment indicated that there are no statistically significant effects from short-term 5G radiation exposure from adults in terms of cognitive function and physiological parameters. The initial application of the prepared dataset involves utilizing classification algorithms such as K-nearest neighbours (KNN), Support Vector Machine (SVM), Ensemble Method, Naïve Bayes, and Probabilistic Neural Network (PNN) without implementing any feature selection approach. However, the outcomes of this approach indicate suboptimal results, with accuracy levels falling below 50% for both the classification of subjects and exposure classification. This suggests that the models, when applied to the dataset in its entirety without feature selection, do not perform satisfactorily in accurately classifying subjects and exposure scenarios. Following the initial suboptimal results, the dataset undergoes normalization using 20 different normalization methods. A thorough statistical examination is conducted on the newly normalized datasets to identify the top three normalization techniques. Subsequently, an in-depth analysis of the data properties is undertaken to extract features that are most conducive to accurately classifying subjects and exposure scenarios. Machine learning algorithms are then applied to these datasets, and the

algorithm that demonstrates the highest accuracy is selected for further consideration. This methodological sequence aims to improve classification outcomes by strategically normalizing the data and selecting features that enhance the effectiveness of the machine learning algorithm. The proposed technique obtained a high average accuracy of 99.5% good performance of the SVM machine learning algorithm.

## 論文審査結果の要旨

本博士論文は、5G 基地局アンテナから発生する電磁場のばく露が、人間の生理学的および認知機能に及ぼす影響に焦点を当てている。

近年マレーシアでは、通信タワーの建設が加速しており、5G 基地局の被ばくを含め、ここ数年、それらの構造物から来る放射線の健康への影響の可能性が住民の間で懸念されている。このような電波被ばくの研究は、従来より行われているが、いくつかの問題点が存在している。第1の問題点は、無線周波数電磁界 (RF-EMF) の影響に関する研究は、GSM900 /GSM1800/ UMTS/ 4G 携帯電話 (MP), GSM900/GSM1800/UMTS BS, DECT (Digital European Cordless Telecommunications), Wi-Fi (Wireless Fidelity) の影響に限定された動物実験またはヒトを対象とした短期研究であり、5G 700 MHz, 5G 3.5 GHz, 5G 28 GHz BS 信号の影響を考慮していないことである。2つ目の問題は、5G 基地局アンテナの健康影響に関する生理学的パラメータと認知性能研究のための統合ハイブリッド特徴選択法設計が限られていることである。

そこで本博士論文の目的は、5G 700MHz, 3.5GHz と 28GHz の BS アンテナ場へのばく露とシャムが、人間の生理学的パラメータと認知機能に及ぼす影響を電磁波過敏症

(EHS) 被験者と非 EHS 被験者の二重盲検条件下で調査することである。そして、機械学習による分類精度、精度、f1 スコア、感度、特異度の観点から、多段階特徴選択 (MSFS) および機械学習を用いて健康影響検出のためのハイブリッド特徴選択法を設計・評価する。

博士論文は大きく2つのパートに分かれている。第1のパートではデータ収集に焦点を当てている。データ収集では、様々な方法 (地元の広告、新聞、Facebook、マレーシアペルリス大学のウェブサイト、口コミなど) を通じて被験者を募集し、EHS と非 EHS のグループに分けられ、それぞれが5G 電波 (シャム, 700MHz, 3.5GHz, 28GHz) のばく露下で様々な認知機能のテストを受けた。最終的には60名の成人 (30名の EHS と 30名の非 EHS) を選んでいる。被験者は、年齢、性別、人種、婚姻状態、雇用状況などの基本情報を提供している。ペースメーカー装着者、聴覚補助器具使用者、慢性疾患、頭部外傷歴

または神経精神疾患のある人、特定の薬物やカフェインの大量摂取者などは除外している。ばく露中の被験者に対して、生理学的測定（体温・血圧・心拍数など）と認知機能のテスト結果を含むデータセットを準備した。これらのデータは大変貴重なものである。収集されたデータには認知機能テスト結果のデータや生理学的データを含むラベリングを行い、データセットを作成している。なお、生のデータに対して、適切な信号のフィルタリング手法も提案している。このデータセットを分析している。これは、5G 700MHz, 3.5GHz, 28GHz のアンテナ場へのばく露とシャムが被験者の生理学的・認知学的パラメータに及ぼす影響が統計的に有意であるか否かという仮説の検証である。p 値( $p > 0.05$ )の結果分析に基づき、評価から得られた知見としては、認知機能と生理学的パラメータの観点から、被験者からの短期的な 5G 電波被ばくによる統計的に有意な影響はないことが示された。

続いて第 2 パートでは、多段階特徴選択 (MSFS) および機械学習を用いて健康影響検出のためのハイブリッド特徴選択法を設計し評価することである。認知機能テストや生理学的な特徴量を用いて被ばく状態であるかどうかを判定する方法を機械学習で検討する。最初は、特徴選択アプローチを実施せずに、収集したそのままのデータを用いて確率的ニューラルネットワーク (PNN) などの機械学習ベースの分類アルゴリズムに適用し、分類の評価を行った。しかし、これらの機械学習アプローチの結果は、被験者の分類と被ばく分類の両方で精度が 50%を下回るという、最適とは言えない結果となってしまった。つまりこの結果は、特徴選択を行わずにデータセット全体のデータをそのまま機械学習モデルを適用した場合に、機械学習モデルは被ばく状態を正確に分類するのに十分な性能を発揮できなかったことを示唆している。

そこで博士論文では、主成分分析 (PCA) を用いる方法を提案している。PCA によって、データセットの次元を減少させ、露出データ、被験者タイプ、および認知機能および生理学的データセットからの関連情報を包括的に反映した縮小次元表現を導出し、重要な情報のみを保持することができるようになる。加えて、データセットに対して 20 種類の正規化手法を適用した。これによって、データのスケールや単位の違いの影響を最小限に抑え、統計分析がしやすくなることが期待できる。このように新たに正規化されたデータセットを用意した。次元圧縮や正規化処理によって選択された特徴量を用いていくつかの分類モデルを学習したところ、SVM モデルにおいて、99.5%という高い分類精度を得ることに成功している。

以上が本論文の概要である。この博士論文の貢献は、まず、5G 基地局アンテナの 700MHz, 3.5GHz, 28GHz の周波数におけるばく露が、人間の生理学的パラメータと認知機能に及ぼす影響について新たな科学的評価を提供したことにある。異なる周波数へのばく露レベ

ルが、生理学的および認知的変化とどのように相関するかについての評価を行い、新たな知見を生み出している。次に、多段階特徴選択法を提案し、評価されたパラメータに基づく5G基地局アンテナの健康影響の分類のための新たな技術を提案している点にある。

公聴会では、上記の内容に関する発表の後、審査委員から、この研究の発展や具体的なアプリケーションに関しての質問、人間ではなく、動物（昆虫など）への影響、どのような条件で被験者実験を行ったのか、被験者の構成や年齢、性別の影響などの質疑と議論があった。

続く最終審査では、倫理審査についての確認や、論文で使用されているグラフをより信頼できるような表記にするなどの指摘事項があった。

全般を通して、有意義な研究であり、提案している多段階特徴選択法によって、分類精度が大きく改善できていることが認められたため、本学の博士論文として相応しいと判断し、論文審査、及び最終審査委を合格とした。