

様式VI

博士学位論文調査報告書

論文題目

Visual Data-Driven Millimeter Wave Communication Systems
(画像データ駆動ミリ波通信システム)

申請者氏名 香田 優介

最終学歴

平成 30年 3月
京都大学 大学院情報学研究科 通信情報システム専攻 修士課程 修了
令和 3年 3月
京都大学 大学院情報学研究科 通信情報システム専攻 博士後期課程
研究指導認定見込

学識確認

令和 年 月 日 (論文博士のみ)

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
(調査主査) 教授 守倉 正博

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 原田 博司

論文調査委員 京都大学大学院情報学研究科
教授 大木 英司

京都大学	博士 (情報学)	氏名	香田 優介
論文題目	Visual Data-Driven Millimeter Wave Communication Systems (画像データ駆動ミリ波通信システム)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文では、カメラ動画像とRF (Radio Frequency) 信号強度から学習して、与えられた無線通信環境を視覚的かつ動的に評価するシステムを提案する。ブロードバンド無線通信、とりわけ高周波数帯域を用いるミリ波通信システムにおいては、人体等の動的な遮蔽物による受信信号電力の劣化が急峻かつ顕著である。そのような動的な遮蔽物の動き等を含め、過去から現在に至る無線通信環境を視覚的に評価できれば、将来的な受信信号電力の落ち込みを予測可能で、それを先見的に回避することが無線通信システムとして可能となる。本論文では、ミリ波基地局のハンドオーバー制御における各基地局の評価尺度の獲得を例に本提案システムの実現可能性を示した上で、プライバシーなどの画像収集に関する実用的な課題について検討する。</p> <p>上述の課題に取り組むためには、カメラ動画像に加え、実際のミリ波通信のRF信号強度データを取得することが不可欠である。はじめに、本研究で一貫して用いる、パケットモードのミリ波無線LAN機器が発する信号の受信信号電力を測定するシステムについて述べる。本測定システムは、送信機として商用のミリ波無線LAN機器、受信側のRF信号強度測定器には、ミリ波からマイクロ波へのダウンコンバータ及びマイクロ波帯域専用のアナライザからなる簡易的なものであり、人体遮蔽が及ぼす受信信号電力の変動を把握することを目的としている。</p> <p>その上で、ミリ波基地局のハンドオーバー制御における各基地局の評価尺度の獲得を例に、カメラ動画像と受信信号電力から無線通信環境を視覚的かつ動的に評価するシステムを提案し、その実現可能性を明らかにする。本システムは、現接続基地局および切替先基地局の評価尺度として、取得したカメラ動画像の時系列から予測される将来の無線通信用データレートを、過去の経験から学習する。学習には、状態とよばれる入力情報から、価値とよばれるタスク固有の評価尺度を獲得する価値ベース強化学習を使用し、その中でも画像情報が状態である場合にこれまでに実績のある深層強化学習を使用する。先述のRF信号強度測定器により測定した受信信号電力とカメラ動画像のデータセットを使用して学習を行い、遮蔽者が近傍に存在する基地局の評価は低く見積もられるという、カメラ画像を入力とすることの特徴が得られることを確認する。また、学習した評価尺度に基づき基地局切替制御を行った場合、先見的に人体遮蔽を回避することが可能であることを示す。</p> <p>画像収集にあたる課題については、本論文では、画像に写る人物のプライバシーと画像収集にあたる通信コストに着眼する。着眼する課題解決のアイデアとして、本論文では、ニューラルネットワークの計算の一部を、入力データを持つ端末等に行わせるスプリット学習を提案する。そこでは、画像を保持するカメラなどのデバイスに、生の画像よりも抽象度の高い特徴量を計算させ送信させる。これにより、画像に写る人物のプライバシーを保護しつつ、通信コストを低減することが可能である。カメラ動画像から将来の受信信号電力を予測するタスクを例に、画像の抽象度に応じた予測精度、プライバシーレベル、通信コストを包括的に評価し、それらの関係性を明らかにする。</p> <p>本論文の章構成は次のとおりである。第1章では本論文で対象とする無線通信システムに関する研究背景を述べ、第2章では、以降の章で用いられる学習手法の基礎的事項、特に教師付き学習および強化学習の詳細について述べる。第3章では、本研究で一貫して用いる、ミリ波通信機器のRF信号強度測定システムについて説明する。第4章では、ミリ波基地局のハンドオーバー切替制御において各基地局をカメラ動画像から評価するシステムを提案し、その実現可能性を確認する。第5章は、画像に写る人物</p>			

のプライバシー保護と画像収集にあたる通信コスト削減を目的としたスプリット学習による画像収集および学習方法について述べる。最後に第6章で本論文を総括する。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、カメラ動画像と無線通信信号強度から学習して、与えられた無線通信環境を視覚的かつ動的に評価するシステムを提案しており、ブロードバンド無線通信、とりわけ高周波数帯域を用いるミリ波通信システムにおいて真価を発揮する。具体的には、ミリ波通信システムでは人体等の動的な遮蔽物による受信信号電力の劣化が急峻かつ顕著であり、そのような動的な遮蔽物の動き等を含め、過去から現在に至る無線通信環境を視覚的に評価できれば、将来的な受信信号電力の落ち込みを予測可能で、それを先見的に回避することが可能な信頼性の高い無線通信システムが実現できる。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

1. カメラ動画像に加え、実際のミリ波通信のRF信号強度データを取得することが本研究では不可欠である。はじめに、パケットモードのミリ波無線LAN機器が発する信号の受信信号電力を測定するシステムについて述べている。本測定システムは、送信機として商用のミリ波無線LAN機器、受信側のRF信号強度測定器は、ミリ波からマイクロ波へのダウンコンバータ及びマイクロ波帯域専用のアナライザからなる簡易的なものであり、人体遮蔽が及ぼす受信信号電力の変動を把握することが可能である。

2. ミリ波基地局のハンドオーバー制御における各基地局の評価尺度の獲得を例に、カメラ動画像と受信信号電力から無線通信環境を視覚的かつ動的に評価するシステムを提案し、その実現可能性を明らかにしている。本システムは、現接続基地局および切替先基地局の評価尺度として、取得したカメラ動画像の時系列から予測される将来の無線通信用データレートを過去の経験から学習する。学習には、状態とよばれる入力情報から、価値とよばれるタスク固有の評価尺度を獲得する価値ベース強化学習を使用し、その中でも画像情報が状態である場合にこれまでに実績のある深層強化学習を使用している。まず先述のRF信号強度測定器により測定した受信信号電力とカメラ動画像のデータセットを使用して学習を行い、遮蔽者が近傍に存在する基地局の評価は低く見積もられるという、カメラ画像を入力とすることの特徴が得られることを明らかにしている。また、学習した評価尺度に基づき基地局切替制御を行った場合、先見的に人体遮蔽を回避可能であることを示している。

3. 画像収集に関する課題について、本論文では、画像に写る人物のプライバシーと画像収集にあたる通信コストに着眼している。課題解決のアイデアとして、本論文では、ニューラルネットワークの計算の一部を、入力データを持つ端末等に行わせるスプリット学習を提案している。そこでは、画像を保持するカメラなどのデバイスに、生の画像よりも抽象度の高い特徴量を計算させ送信させる。これにより、画像に写る人物のプライバシーを保護しつつ、通信コストを低減することが可能となる。カメラ動画像から将来の受信信号電力を予測するタスクを例に、画像の抽象度に応じた予測精度、プライバシーレベル、通信コストを包括的に評価し、それらの関係性を明らかにしている。

以上、本論文はカメラ動画像と無線信号強度から学習して、与えられた無線通信環境を視覚的かつ動的に評価するシステムを提案し、無線通信システム技術の発展に貢献するものである。本論文の内容は、学術上、実用上ともに寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものとして認める。

また令和3年2月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。また、本論文のインターネットでの全文公表についても支障がないことを確認した。

要旨公開可能日： 令和 3年 4月 1日以降