

## 研 究 報 告 書

### 「無線通信を用いた車両・自転車・歩行者検出技術」

研究期間：2018 年 10 月～2020 年 3 月

研究者番号：50162

研究者：石田 繁巳

#### 1. 研究のねらい

高度道路交通情報システム(Intelligent Transportation System: ITS)では、道路上の車両を検出することが基本タスクの1つとなっている。これまでの車両検出システムでは車両のみを検出対象として多くの提案・開発がなされてきたが、道路やその周辺にいる自転車や歩行者は車両の通行に大きな影響を与えると予想される。このため、ITS では車両だけでなくその周辺の状況もセンシングすることが望ましい。歩行者を含む人流をセンシングする技術もこれまでに報告されているが、車両・自転車・歩行者をすべて1つのシステムでセンシングする試みはこれまでに行われていない。

そこで本研究では、車両・自転車・歩行者のいずれが存在していても区別して検出可能な1つのシステムを低コストに構築することを目指す。具体的には、既設のWi-Fi 機器間での通信を用いて車両・自転車・歩行者を1つのシステムで包括的に検出する手法を確立する。Wi-Fi 通信を用いたセンシング技術は、すでに屋内向けの手法が提案されている。これらの手法では、センシング対象の存在や動作によってWi-Fi 通信の伝搬路が変化することを利用し、Wi-Fi モジュールから取得できるCSI(Channel State Information)と呼ばれる伝搬チャネル情報を解析することでセンシングを実現している。Wi-Fi はOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)方式を採用しており、直交する複数のサブキャリア(副搬送波)を用いて通信を行っている。周波数のわずかに異なるサブキャリア群の伝搬チャネル情報を解析することで高い精度でのセンシングを実現している。本研究では、このような屋内Wi-Fi センシング技術を屋外に適用するための拡張を行い、Wi-Fi センシングの適用範囲拡大を目指す。センシングの対象は車両・自転車・歩行者に限定せず、拡張性のあるセンシングの基盤となる技術の確立を目指す。

#### 2. 研究成果

##### (1)概要

本研究では、Wi-Fi を用いた屋外におけるセンシングの実現に向けた基礎的な技術の開発を行った。Wi-Fi を用いたセンシングではCSI の変化を解析することでセンシングが実現されるが、屋外では通信伝搬路の数が限られており、センシングが困難であるという課題がある。これに対し、本研究では「非見通し環境でのWi-Fi センシング」「非見通し環境での屋外人間検出」「見通し・非見通し混在環境での車両・自転車検出」という3つのステップに分けて開発を進め、実際の道路において実証評価を行った結果、F1 値で84.2%という高い精度で通過車両の種別を推定できることを確認した。

## (2) 詳細

### 第1ステップ「非見通し環境での Wi-Fi センシング」

本ステップでは、Wi-Fi 通信を用いた非見通し環境でのセンシング技術を開発した。非見通し環境とは、通信を行う Wi-Fi 送受信機間の見通しが利かない環境、すなわち送受信機間に障害物が存在する環境である。提案するセンシングシステムでは既設の Wi-Fi アクセスポイント間で通信を行ってセンシングを実現することを想定しているため、送受信機間が見通し環境・非見通し環境のいずれにもなり得る。

Wi-Fi を用いたセンシングでは送受信機間の通信伝搬路の変化を CSI から取得し、その変化を機械学習によって解析することでセンシングを実現する。非見通し環境での通信は反射波や回折波を利用しているため、車両・自転車・歩行者の通過する場所などセンシング対象の位置が少しでも変化すれば新たな学習データが必要となることから、本研究提案のシステム実現に向けては膨大な学習データが必要となる。これを避けるため、本ステップでは異常検知手法を用いた Wi-Fi センシングの実現を模索した。

具体的なセンシング対象として、浴室内での危険な姿勢センシングを行った(主な研究成果リスト 1)。浴室内はプライバシー侵害の観点からセンサの設置が制限される。特に、リッチなセンシングの実現に向けて有用なカメラは浴室内への設置は困難である。一方で、心疾患を持つ人や浴室内で意識を失うことによる溺死事故が多数発生しており、浴室内での危険をセンシングする需要は高まっている。本ステップでは、図 1 に示すように浴室外に設置した Wi-Fi 送受信機間で通信を行い、浴室内の人間が危険な姿勢であるかをセンシングした。異常検知手法として One-Class SVM を用いて危険姿勢の検出を行った結果、網羅率 96.23%で危険姿勢を検知できることを確認した。

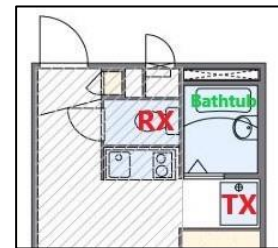


図 1 浴室内センシングのセットアップ

### 第2ステップ「非見通し環境での屋外人間検出」

屋外環境で Wi-Fi センシングを実現した例はこれまでに報告されていないことから、本ステップでは、まず人間だけを対象としてセンシングの実現可能性を検証した(主な研究成果リスト 2)。非見通し環境として、図 2 に示すような柱状構造物が存在する屋外空間で実験を行った。柱の間隔は 7.0m ほどであり、センシングに重要な「伝搬経路の数」が少ないと予想される。この環境に 1 台の Wi-Fi アクセスポイント、4 台の Wi-Fi 受信機を設置し、11 個に区切ったエリア内を人間が歩行している状況、人間がいない状況の計 12 パターンで CSI を収集した。収集した CSI を用いて、機械学習によって人間がどのエリアにいるのかを推定した。複数台の受信機からの CSI を統合して扱うことで精度 99.58%で人間のいるエリアを推定できることを確認した。

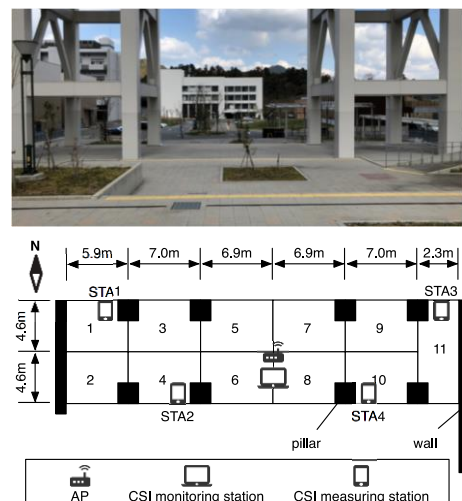


図 2 屋外人間検出の実験環境

### 第3ステップ「見通し・非見通し混在環境での車両・自転車検出」

提案では既設の Wi-Fi アクセスポイントを利用することを前提としているため、Wi-Fi アクセスポイントの設置場所を選ぶことができず、通過する車両によって送受信機間が遮蔽されたりされなかったりと、見通し・非見通し環境が混在することが予想される。本ステップでは、見通し・非見通し環境が混在する状況下で車両・自転車・歩行者を検出する手法を開発した（主な研究成果リスト3）。

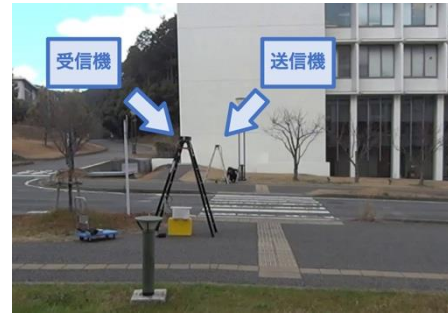


図3 車両・自転車検出実験環境

図3に示すように道路の両側に Wi-Fi 送受信機を設置し、車両や自転車が通過する際の CSI を収集した。収集した CSI を機械学習によって解析することで通過した車両の種別を推定した。機械学習を行う際の前処理として逆 FFT を応用した直接波除去処理を加え、屋外空間における少ない伝搬路の変化を効率的に抽出し、屋外センシングを実現した。

図4は通過車両の推定結果の混同行列を示している。図に示すように、何らかの車両が通過している場合の検出は高い精度であることが確認できる。何も通過していない状況（none）の検出結果はやや低いが、全体としてはマクロ F1 値で 84.2%という高い精度で通過車両の種別を推定できることを確認した。

Actual	none	67.78	4.44	22.22	0.00	5.56
	自動車	0.56	88.89	3.89	6.67	0.00
	バイク	0.00	22.22	72.22	5.56	0.00
	自転車	0.00	5.56	5.56	88.89	0.00
	バス	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	none		自動車	バイク	自転車	バス
		Estimated				

図4 車両・自転車検出結果の混同行列

### 3. 今後の展開

本研究では、屋内環境で広く研究が進められている Wi-Fi センシング技術を屋外に適用するための基礎的な技術を開発した。本研究の現時点での成果は「屋外においても CSI の変化を効率的に取り出すことで高度なセンシングを実現できる」ことを示唆するものであると言える。この成果を応用し、これまで屋内に閉じて行われていた Wi-Fi センシングの研究開発を屋外へと適用範囲を拡大していくことが、今後の展開の大きな方向性である。多数の車両が同時に通過する場合など、複雑な状況に対応したセンシングの実現がより広い応用に向けた喫緊の課題である。また、既設の Wi-Fi 機器を用いる場合には必要な通信を阻害しないようにセンシングを実現することも必要である。

### 4. 自己評価

研究提案当初から挑戦性の高い課題であると認識していたが、想像以上に難しい課題であり、当初の目的に向けた第1歩を達成できたところ、というのが現状である。具体的には、屋外での Wi-Fi センシングの困難さを乗り越え、自動車だけでなく自転車を含む車両の種別を高い精度で推定できることを検証できた。一方で、自動車・自転車・歩行者が混在する環境でのセンシングや通信しながらのセンシングの実現を始めとする多くの課題が残されており、これらを解決する研究を今後も推し進めることで実用性の高い屋外 Wi-Fi センシング技術を確立できると思われる。本研究の波及効果として、研究成果の一部を企業との共同研究として推進してい

る野生動物検知技術にも応用している。地方都市で課題となっている野生動物による農作物被害対策の実現を目指している。ACT-I 研究として本研究を進める上では他の ACT-I 研究者と交流することで機械学習分野の造詣の一端に触れることができ、その一部を本研究にも取り入れることで困難な課題を解決できた。これは本研究を ACT-I 研究として推進できたおかげであり、研究推進の上で大きな意義があったと考えている。

## 5. 主な研究成果リスト

### (1) 論文(原著論文)発表

1. Z. Zhang, S. Ishida, S. Tagashira, and A. Fukuda. Danger-Pose Detection System Using Commodity Wi-Fi for Bathroom Monitoring. *Sensors*. 2019, vol.19, no.4, pp.1-16, doi: 10.3390/s19040884
2. R. Takahashi, S. Ishida, A. Fukuda, T. Murakami, and S. Otsuki. DNN-based Outdoor NLOS Human Detection Using IEEE 802.11ac WLAN Signal. *IEEE SENSORS*, Oct. 2019. doi: 10.1109/SENSORS43011.2019.8956943

### (2) 特許出願

研究期間累積件数:0 件

### (3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

#### [主な学会発表]

3. 折原 凌, 石田 繁巳, 荒川 豊, 福田 晃. Wi-Fi 信号を用いた自動車・自転車検出手法の設計と評価. 情報処理学会 高度道路交通システムとスマートコミュニティ(ITS)研究会. 2020