

# UWB 2次元通信による WiFi の同時多チャンネル収容システムの研究開発 (155103003)

## Massive Multiple Access WiFi Using UWB 2-D Communication

### 研究代表者

野田 聡人 南山大学

Akihito Noda Nanzan University

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

### 概要

IoT 時代に求められる室内の高速・高密度な通信を低干渉で実現するために、2次元通信による UWB ハイバンドを利用した高速通信システムの研究開発を行った。2.4 GHz 帯の WiFi 信号を、専用に設計した周波数変換回路を通して UWB ハイバンドの周波数帯域・信号強度に変換し、これを床面に敷設した 2次元通信タイルを介して伝送するシステムを構築した。さらに無線電力伝送機能の付加、WiFi 以外の通信方式との組み合わせ、およびウェアラブルシステム等への展開の可能性も示した。

### 1. まえがき

モノのインターネット (IoT) や machine-to-machine (M2M) といったキーワードで示されるような、桁違いに多くのモノが常時無線ネットワークに接続する状況を見据えた時、周波数資源の有効利用は本質的に重要な課題である。特に多数のデバイスが密集する室内環境において、利用可能な特定の周波数帯にあらゆる機器の通信電波が集中することは、通信の衝突・再送等による利用効率低下を招きさらに混雑状況を悪化させるおそれがある。本研究開発は、このような特定周波数帯の過剰な混雑状況の緩和を目的とし、通信用途での利用が現状では進んでいない超広帯域 (UWB) 無線の周波数帯域を利用した室内高速通信の仕組みを実証することを目指した。日本国内においては UWB ローバンドおよびハイバンドとしてそれぞれ 3.4～4.8 GHz および 7.25～10.25 GHz が利用可能であるが、送信出力密度の上限は  $-41.3$  dBm/MHz となっている。これは WiFi と比較して約 50 dB 低い値であり、図 1 に示すように自由空間を約 1 m 伝搬すると室温における熱雑音に対する S/N 比が 20 dB (WiFi の高速通信に必要な S/N 比) まで低下する。したがって、UWB 無線の電波を当局的に空中に伝搬させると、数 m の距離の通信でも帯域幅あたりのデータレートを WiFi と同程度に維持することは困難である。

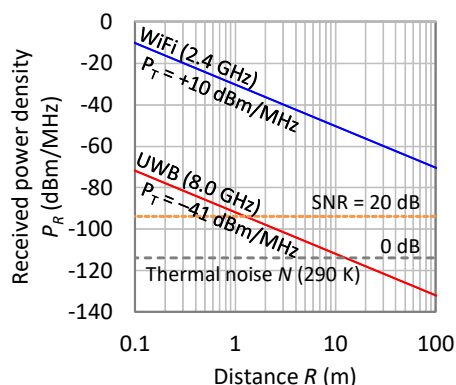


図 1 WiFi と UWB の送受信間距離と受信信号強度の関係。アンテナゲイン 0 dBi として Friis の公式で算出。

本研究開発では、UWB 無線の電磁波を空中に放射するのではなく、タイルカーペットのように床面に敷き詰めた 2次元導波路中を伝搬させ、さらに各タイルに信号の減衰を補償するアンプを内蔵したアクティブタイル方式により

この課題を解決することを目指した。同手法の UWB 以外の微弱無線への適用も検討した。

また、室内環境中に多数の通信端末が設置されるだけでなく、人が身に付けるウェアラブル端末の将来的な増加も見込まれる。多数のセンサやアクチュエータを人体表面に分散させた時、それらが個別に電波を放射することなく導電性の衣服を介して通信を行う方式の研究開発も行った。

### 2. 研究開発内容及び成果

図 2 に示すように、2次元通信タイルを介してワイヤレスディスプレイミラーリング (Android 端末等でサポートされている Miracast を使用) を行うシステムを構築した。Miracast は、ソース端末 (ここではタブレット PC) とシンク端末 (ここでは液晶ディスプレイに HDMI で接続する専用端末) の間で WiFi Direct によって通信を行う。この WiFi 信号 (2.4 GHz 帯) を、製作したコンバータにより 8 GHz 帯に変換してタイル内を伝送している。ソース端末は市販の掃除用ロボットに取り付けられており、複数枚の 2次元通信タイル上を動き回る。この状況でも Miracast は停止することなく動作し続けることができる。一方、2次元通信タイルからはみ出して導波シートのない領域に進入するとシンク端末での動画再生が停止し、2次元通信タイル上に戻ると動画再生が再開される。これは、確かに 2次元通信タイルを介して通信しており空中への漏洩電力が十分に低減されていることの傍証である。なお、この様子は以下の URL にて動画を公開している。

[http://www.st.nanzan-u.ac.jp/faculty/anoda/item/2DC\\_MAOdemonstration\\_2Mbps.mp4](http://www.st.nanzan-u.ac.jp/faculty/anoda/item/2DC_MAOdemonstration_2Mbps.mp4)

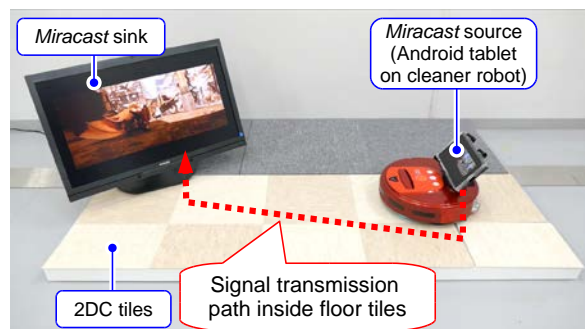


図 2 床面を通した映像データの伝送デモシステム。

また、タイルを数珠つなぎにしたシステム全体のノイズファクタは、タイル 1 枚あたりのノイズファクタとタイル枚

数との積により近似されることを理論的に示し、1~5枚のタイルを接続した場合の実測結果から、製作した2次元通信タイルのノイズファクタはタイル枚数を  $n$  として  $1.62n$  となった。UWBの信号レベル-41 dBm/MHzと室温での熱雑音の電力密度-114 dBm/MHzとの比較から、 $n = 10,000$ 枚規模で数珠繋ぎにしても熱雑音に対しては30 dBのS/N比を確保できる計算となり、室内スケールに拡張する十分なスケーラビリティを持つことを確認した。その他の成果として、第1節で述べた通り、将来的にウェアラブルシステムがさらなる周波数資源の需要家となる可能性を見据え、これによって生じる混雑を緩和することを目的として、2次元通信のウェアラブル応用を開拓した。使用する周波数帯はUWB帯とは異なり、直流から数十MHzまでを使用する。図3に示すように、絶縁性の基布に導電糸でメッシュ状の刺繍を両面に施したものを通信シートとして利用し、センサ、アクチュエータやLED等を実装した小さなプリント基板をピンバッジのように突刺すことで通信と給電を行う。給電のオン・オフ制御用の信号を周波数分割多重で複数チャンネル同時に伝送することで、1枚のシート上で複数チャンネルへの直流給電を個別にオン・オフ制御できる。また、キャリア2本をI<sup>2</sup>Cのクロック信号とデータ信号で変調することで、キャリア数を増加させることなく（時分割で）さらに多数の個別オン・オフ制御やよりビット数の大きいデジタルデータをシリアル伝送することも可能である。

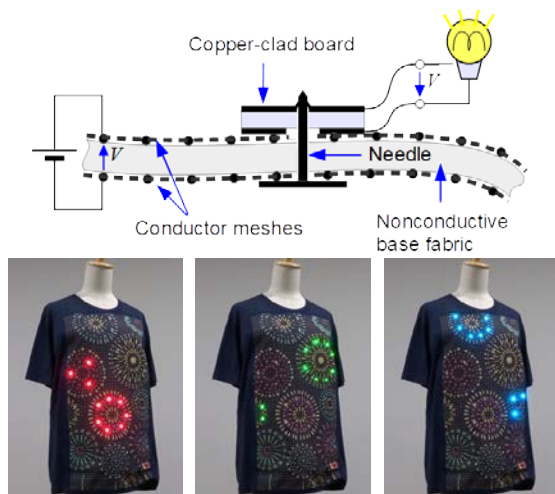


図3 上：両面導電布と突刺し型コネクタの断面図。  
下：3チャンネルのオンオフ制御デモ。

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発課題の主題であるWiFiのオフローディングとしてのUWB利用は、上述の通りProof of Conceptとなるデモシステムの構築まで含めた技術開発を完了し、応用展開を目指して今後さらに発展的な研究開発を実施していく予定である。

一方、WiFiとは別の新たな実用性の高い2次元通信の利用形態としてTransferJetの利用可能性を本研究開発の中で見出した。これはWiFiオフロードとは異なり周波数変換回路が不要であり、産業応用の観点からはWiFiオフロードよりさらに実用化の障壁が小さい。ただし、1対1の通信を前提とする元々のTransferJetの利用形態に対し、2次元通信環境では3つ以上の端末が互いに信号を受信できる状況になることが考えられ、MAC層のプロトコルについて新たな開発を行うか、それを不要とする利用

シナリオを検討する必要がある。

またUWB帯とは別の、2次元導波路構造の新たな応用例として、導電糸による刺繍を施した布の上での通信についても研究開発を実施し、机上のテーブルクロスや人が着用した衣服など、床面以外の日常的にユーザーがより直接的に触れる構造物上への2次元通信の展開の可能性を見出した。特に衣服の上の通信は、産業応用への展開の観点から本研究開発成果の中で最も進んだフェーズにある。他大学・企業との連携を通じて、本研究開発成果を社会に還元する取り組みを継続している。

### 4. むすび

UWBおよび微弱無線といった、高速通信用途には不向きと認識される傾向のある周波数資源の利用形態として、2次元通信技術を応用することが有用であることを実証した。本研究開発ではWiFiのオフローディングを代表例としてとりあげたが、TransferJetなどその他の通信方式との組み合わせも有用である。また導電布を用いることで、室内の床面だけでなくテーブルクロスやソファなどの家具表面、衣服などを含む、生活環境内のより広範な領域での2次元通信技術の利用可能性を示した。

#### 【誌上发表リスト】

- [1] A. Noda and H. Shinoda: "Antinull 2-D Waveguide Power Transfer Based on Standing Wave Diversity", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 66, no. 1, pp. 306-318 (2018年1月4日)
- [2] A. Noda and H. Shinoda: "Frequency-Division-Multiplexed Signal and Power Transfer for Wearable Devices Networked via Conductive Embroideries on a Cloth", 2017 IEEE MTT-S Int. Microwave Sym. Proceedings, TUIF1-21 (2017年6月6日)
- [3] 野田聡人, 増田祐一, 篠田裕之: "2次元通信タイルを介した微弱無線相当の高速室内ネットワーク", 信学技報SRW, vol. 116, no. 88, pp. 21-26 (2016年6月13日)

#### 【受賞リスト】

- [1] 野田聡人, 2016年度短距離無線通信研究会論文賞, "2次元通信タイルを介した微弱無線相当の高速室内ネットワーク", 2017年6月12日
- [2] 増田祐一, 2016年度短距離無線通信研究会優秀学生賞, "2次元通信環境における高速・省電力信号伝送のための物理層設計", 2017年6月12日
- [3] 野田聡人, 田島優輝, 篠田裕之, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会優秀講演賞, "ウェアラブル触覚ディスプレイのための柔軟2次元通信シート上の分布アクチュエータへの無配線多重給電", 2016年12月18日

#### 【報道掲載リスト】

- [1] "南山大・帝人など、装着簡単な全身触覚ウェア開発 センサー・LED配置", 日刊工業新聞, 2018年1月16日
- [2] "電気回路組み込みLED配線スーツ", 日刊工業新聞, 2016年12月26日
- [3] "イベント会場 通信遅くならず 東大が新技術", 日本経済新聞, 2016年1月4日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.st.nanzan-u.ac.jp/faculty/anoda/2dctile.html>  
<http://www.st.nanzan-u.ac.jp/faculty/anoda/2dwpt.html>  
<http://www.st.nanzan-u.ac.jp/faculty/anoda/wearable.html>