

CMOS ミリ波帯フェーズドアレイ無線機の研究開発 (175003017)

CMOS Millimeter-wave Phased-array Transceiver Design

研究代表者

岡田 健一 東京工業大学

Kenichi Okada Tokyo Institute of Technology

研究分担者

堀 真一[†] 大島 直樹[†] 筒井 弘^{††}

Shinichi Hori[†] Naoki Oshima[†] Hiroshi Tsutsui^{††}

[†]日本電気株式会社 ^{††}北海道大学

[†]NEC Corporation ^{††}Hokkaido University

研究期間 平成 29 年度～平成 30 年度

概要

第 5 世代移動通信システム (5G) の本格的な普及・展開に向けて、高速通信・高精度ビーム制御可能なミリ波帯無線基地局を小型・低コストに実現する。ミリ波帯 CMOS 集積回路とアンテナ・IC 一体モジュールを開発し、広帯域/多値変調による超高速無線通信と、独自位相シフト回路による高精度ビーム制御を実証する。CMOS・モジュール技術により装置を小型化でき、これまで設置が困難であった街灯やビル壁面など様々な場所への設置を可能とする。

1. まえがき

今後、生産性向上・利便性向上・安全安心など様々な分野において、IoT および AI 技術の活用が期待されている。

IoT システムの社会実装の進展のためには、2020 年には 500 億台規模に普及が拡大すると予測されている IoT デバイス群と、AI による高度な知的処理が行われるクラウド・エッジの間をつなぐ無線通信インフラの高度化が肝要である。このため、2020 年以降の 5G システムでは、電波資源の効率活用や拡大を進めることで、毎年 1.4 倍で増加し続けるトラフィックを収容し、VR/AR や自動運転など様々な新サービスへ対応する必要がある。このような状況の中、5G サービスの普及・拡大のためには、周波数資源に余裕のあるミリ波帯を活用することが必須である。

本研究開発の目的は、5G の本格的な普及・展開に向けて、高速通信・高精度ビーム制御可能なミリ波無線基地局を、社会実装に適した小型・低コストで実現することである。特に、5G の新周波数帯として期待されている 39GHz 帯フェーズドアレイ CMOS 集積回路 (IC) とアンテナ・IC 一体モジュールを開発し、広帯域/多値変調による超高速無線通信を実現する。また、高速/高精度ビームステアリング技術を確立する。これらにより、5G サービスの高度化と社会展開を加速する。

2. 研究開発内容及び成果

本研究の目的を実現するためのフェーズドアレイ無線機として、下記の性能を満たす無線機の開発に成功した。

- ① CMOS 無線機 IC 1 チップあたりに送受信機 4 系統を集積 (図 1)
- ② 無線機 IC を 32 チップ搭載したアンテナ・IC 一体モジュールを作成 (図 2)
- ③ 位相分解能 0.05 度、位相変化時の振幅変動 0.04dB 以下を達成 (図 3)
- ④ 1 系統あたりの飽和送信電力 15.5dBm を達成
- ⑤ 送信機: 2.8GHz、受信器 5.2 : GHz の 3dB 帯域を達成
- ⑥ 1 偏波あたり 400MHz 帯域で最大 3.2Gbps の無線通信速度を達成 (図 4)
- ⑦ ± 40 度のビーム角を達成 (図 4、5)

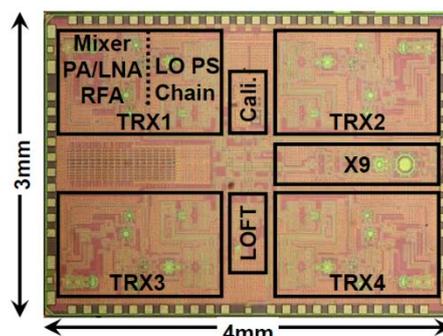


図 1 無線機 IC の写真 (送受 4 系統を集積)

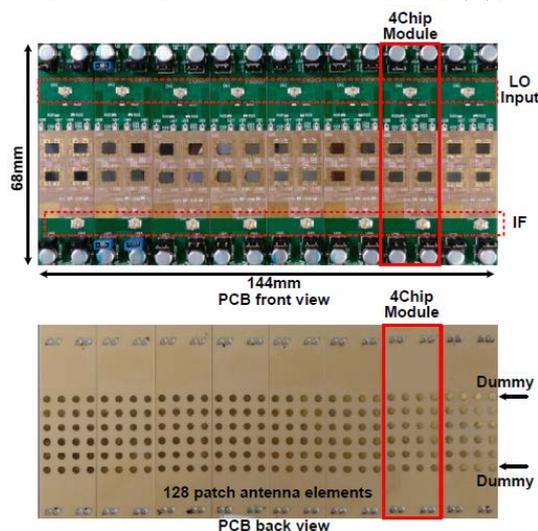


図 2 39GHz 帯フェーズドアレイ無線機 (上図: 部品面、下図: アンテナ面)

無線機 IC1 チップあたりに搭載する送受信機を増やすことで、集積度を向上させて、フェーズドアレイ無線機の小型・低コスト化を実現できる。今回、各コンポーネントの小型化、さらに全体レイアウトの最適化を行なうことで 4mm×3mm の IC 上に 4 系統の送受信機を集積することに成功した(図 1)。この IC を用いて、アンテナ・IC 一体モジュールを作成し、32 チップを搭載するモジュールを

作成した。移相器の構成として、新たに LO 移相方式を用いることで、移相分解能：0.05 度、位相変化時の振幅変動：0.04dB を実現し、目標としていた分解能 1 度および振幅変動 0.3dB を達成した。また送信機の出力電力の目標である送信機 1 系統あたりの飽和送信電力：15.5dBm を達成した。帯域幅に関して、送信機 2.8GHz, 受信器 5.2GHz の 3dB 帯域を得られている。上記モジュールを用いた無線通信の測定においては、5G に準拠した 400MHz の帯域で 64QAM の無線通信に成功しており、測定器の帯域が許せば 1.4GHz 帯域 6Gbps の通信の達成が見込まれる。Peak SNDR は、測定結果より送信機において 33dB、受信器において 40dB を実現した。ビーム角は、±40 度のステアリングを達成した。

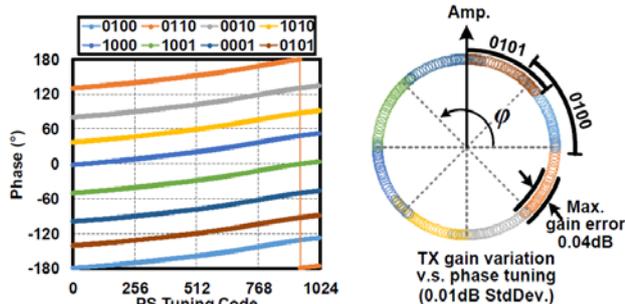


図 3 移相器特性の測定結果

| | | | | |
|--------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1m OTA Measurement | Modulation | 64QAM MCS19 | 64QAM MCS19 | 64QAM MCS19 |
| | BW | 400MHz | 400MHz | 400MHz |
| | Beam direction | 0° | 20° | 40° |
| | TX to RX Constellation | | | |
| | TX to RX EVM* | -30.2dB | -30.1dB | -28.6dB |

*RMS power normalized EVM, measured with external down-conversion mixer

図 4 ビームを振った際の EVM 特性の測定結果

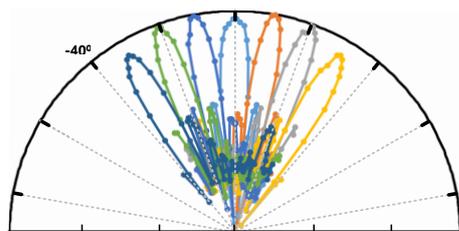


図 5 ビームパタンの測定結果

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

本研究開発の成果として得られた 39GHz 帯 CMOS フェーズドアレイ IC 技術とアンテナ・IC 一体モジュール技術を、研究分担者として参加する日本電気株式会社を通じて、製品に適用できる形にまで完成度を高め、ミリ波帯通信装置への実装を目指す。本研究開発が適用されたミリ波帯通信装置は、小型かつ低コストで高速通信が可能であるため、ビル壁面や街路灯など様々な場所に設置して、まずはモバイルネットワーク向けの固定無線通信装置としての実用化を優先して進める。特に、ミリ波帯通信 (28/39GHz) の早期導入に積極的な日本、米国、韓国の通信事業者を通して、社会実装を目指す。また、2020 年

東京オリンピックにおいて、ミリ波帯を用いた無線通信サービスを世界に先駆けて実現するモチベーションが高く、この機会を利用し 2020 年以降の本格的な社会実装を目指す。また、公共交通機関向けの大容量通信サービスとしての社会実装も視野に入れている。

4. むすび

本研究開発により 5G 向けフェーズドアレイ IC およびアンテナ一体モジュールの設計技術を確立することができた。今後は電力効率の改善や、より高度なビーム制御技術の実現を目指す。

【誌上発表リスト】

- [1] Jian Pang, et al., "A 28GHz CMOS Phased-Array Transceiver Based on LO Phase-Shifting Architecture with Gain Invariant Phase Tuning for 5G New Radio," IEEE Journal of Solid-State Circuits (JSSC), Vol. 54, No. 5, pp. 1228-1242. (2019 年 5 月)
- [2] Yun Wang, et al., "A 39GHz Phased-Array CMOS Transceiver with Built-in Calibration for Large-Array 5G NR," IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC). (2019 年 6 月)
- [3] Jian Pang, et al., "A 28GHz CMOS Phased-Array Beamformer Utilizing Neutralized Bi-Directional Technique Supporting Dual-Polarized MIMO for 5G NR," IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC). (2019 年 2 月)

【申請特許リスト】

- [1] 大島 直樹、アレイ通信装置、及びその制御方法、日本、2018 年 5 月 17 日
- [2] 大島 直樹、岡田 健一、パン ジェン、双方向増幅器、日本、2019 年 2 月 14 日

【受賞リスト】

- [1] 岡田健一他、電子情報通信学会 業績賞、"CMOS ミリ波無線機の先導的研究開発"、2019 年 6 月 6 日
- [2] Yun Wang, et al., IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC), Best Student Paper Award, "A 39GHz Phased-Array CMOS Transceiver with Built-in Calibration for Large-Array 5G NR", 2019 年 6 月 2 日
- [3] Jian Pang, et al., IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC) Student Paper Contest Finalist, "A 28GHz CMOS Phased-Array Transceiver Using Gain-Invariant LO Phase Shifter with 0.1 Degree Beam-Steering Resolution for 5G New Radio", 2018 年 6 月 14 日

【報道掲載リスト】

- [1] "東工大と NEC、第 5 世代移動通信システムに向けたミリ波帯フェーズドアレイ無線機を開発"、日本経済新聞、2019 年 7 月 1 日
- [2] "5G Beam-Steering Antennas: More Accurate, Less Power Hungry -Taking a new approach to phase shifting antennas increases network range, data rate, and capacity", IEEE Spectrum, 2018 年 6 月 26 日
- [3] "15Gbps の高速無線通信を可能にする世界初の 5G 向け LO 移相方式の 28GHz フェーズドアレイ無線機を東工大が開発"、GIGAZINE、2018 年 6 月 27 日 (新聞 5 件、Web 媒体 国内 18 件、海外 28 件)

【本研究開発課題を掲載したウェブページ】

<http://www.ssc.pe.titech.ac.jp/>