

修士学位論文要約（平成29年 3 月）

高 SHF 帯ビームフォーミングアンテナ用ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機に関する研究

則島 景太

指導教員：末松 憲治

A Study on Direct RF Under Sampling Receiver for High-SHF Band Beam Forming Antenna

Keita NORISHIMA

Supervisor: Noriharu SUEMATSU

In order to enhance the speed and capacity of mobile communication networks, utilization of high SHF (Super High Frequency) bands is proposed. A Massive-MIMO (Multiple-Input and Multiple-Output) is used to ensure the coverage of the carrier signal of high frequency. In the receiver that realizes Massive-MIMO, a receiving RF circuit is required for each antenna element, so a small and low power consumption circuit is required. In this thesis, I propose the use of direct RF undersampling which enables compact size and low power consumption as a receiving circuit for beam forming antenna. I fabricated a series/parallel switch type S/H circuit operating in the 28 GHz band and demonstrated direct RF undersampling reception for the 28 GHz band beamforming antenna.

1. 序論

近年、無線通信の伝送速度と容量の向上のため、広帯域化が可能な高 SHF 帯が注目されている。また高 SHF 帯でのカバレッジ確保と周波数利用効率の向上のため、ビームフォーミングが検討されている[1]。ビームフォーミング受信機では、多量のアンテナと受信回路が必要なため、小形かつ低消費電力な受信回路が要求される。ダイレクト RF アンダーサンプリング受信方式は局部発振器とダウンコンバージョンミキサが不要であり、小形かつ低消費電力な回路を実現できる。図 1 に、この受信方式を用いた 28GHz 用ビームフォーミング受信機構成を示す。アンダーサンプリングにより、従来必要とされた数十 GHz の高周波 LO は不要であり、多素子への分配が容易であることからビームフォーミングに適した構成と考えられる。

2. 28GHz 帯 S/H 回路の実現

ダイレクト RF アンダーサンプリングでは RF 信号を直接サンプリングするため、S/H 回路には RF 周波数 28GHz での動作が求められる。先行研究である直並列スイッチ型 S/H 回路では 20GHz 帯での動作を実現している[2]。本章では S/H 回路の 28GHz 帯への高周波化と SNR の改善を行った。

図 2 に設計した 28GHz 帯直並列スイッチ型 S/H 回路を示す。直並列スイッチ部の微細化を行うことで、スイッチングスピードが向上した。バッファアンプ部は微細化しないことで、雑音特性の悪化を抑制している。

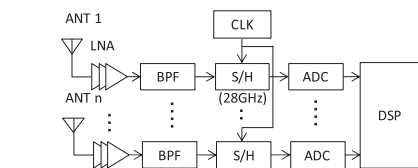


図 1 提案ビームフォーミング受信機構成

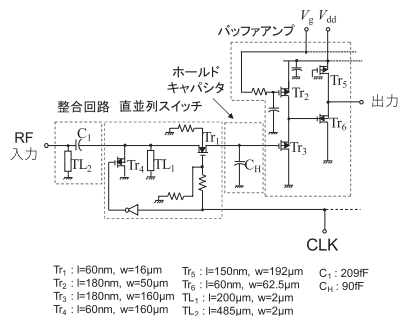


図 2 28GHz 帯直並列型 S/H 回路

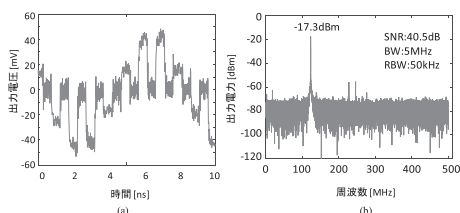


図 3 測定結果 (a)時間波形, (b)FFT 結果

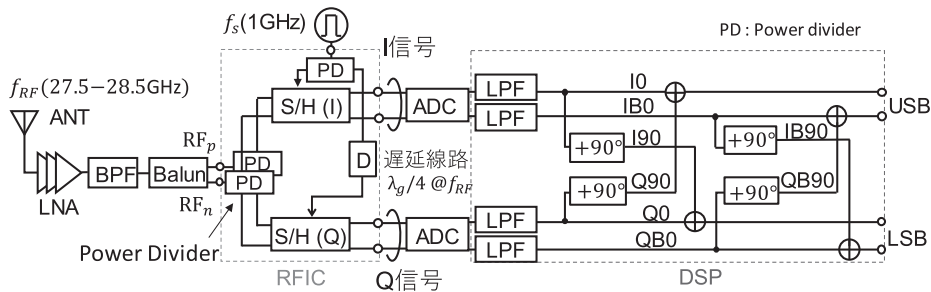


図4 イメージ除去型ダイレクト RF アンダーサンプリング受信構成

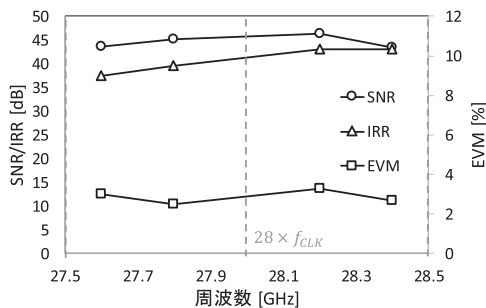


図5 システム帯域内における受信特性

図3は試作した S/H IC を測定した結果である。図3(a)よりサンプルホールド動作が確認できる。図3(b)はホールド期間を DSP にて離散化した後の FFT 結果である。5MHz のチャネル帯域幅において SNR 40.5dB となり、28GHz 帯動作及び高 SNR 化を実現した。

3. イメージ除去型ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機の提案

アンダーサンプリングでは、受信するシステム帯域幅の2倍以上のサンプリング周波数が必要となる[3]。アンダーサンプリング受信機の低サンプリング周波数化として、イメージ除去型ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機を提案し、試作と評価を行った。図4に示す提案回路では2つの S/H 回路を用いて IQ 信号を出力後、DSP にて 90 度移相を行い合成することでイメージ除去を実現している。図5に試作した RFIC において、システム帯域幅 1GHz に対し、従来の半分である 1GHz のサンプル周波数で測定を行った結果を示す。28GHz 帯システム帯域内において、SNR 43.4dB 以上、IRR 37.4dB 以上が得られた。また 4Mbps の QPSK 信号を復調した際、EVM は 3.3% 以下であった。

4. ビームフォーミングアンテナ用分配クロックの CW 化の検討

ビームフォーミングアンテナ用の分配を容易

とするため、CW-矩形波変換器を用いた S/H 回路用クロックの CW 化を提案した。2 段のインバーターとレベルシフト回路による CW-矩形波変換器を設計し、28GHz 帯 S/H 回路と合わせ試作を行った。試作 IC の測定では CW 信号入力時におけるサンプルホールド動作が確認でき、このとき SNR は 47.4dB となった。

5. 結論

本論文では、高 SHF 帯ビームフォーミング受信機を実現するため、28GHz 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信用 S/H 回路の試作、イメージ除去型ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機によるサンプリングクロックの低周波化を提案、およびビームフォーミング用分配クロックの CW 化の検討を行った。2 章では試作した 28GHz 帯 S/H 回路の動作を確認し、高 SNR 化を実現した。3 章ではイメージ除去によるサンプリング周波数の低周波数化を実現し、従来の 1/2 周波数における受信動作を実証した。4 章では CW-矩形波変換器内蔵の S/H 回路を試作し、ビームフォーミング受信機に適した分配クロックの CW 化を実現した。以上の結果より、ビームフォーミングアンテナ用 28GHz 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信機を実現した。

文献

- [1] NTTdocomo, 5G 次世代移動通信システム, <https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/technology/rd/lecture/5g/>
- [2] T. Koizumi, et al., “A CMOS series/shunt switching type S/H IC for Ka-band direct RF undersampling receiver,” Proc. APMC2015, Dec. 2015.
- [3] R. G. Vaughan, N. L. Scott, and D. R. White, “The theory of bandpass sampling,” IEEE Trans. Signal Process., vol. 39, no. 9, 1991.