

ミリ波帯受信機における I/Q ミスマッチ較正手法の検討

I/Q Mismatch Calibration for Millimeter-wave Receivers

眞木 翔太郎
Shotaro Maki

河合 誠太郎
Seitaro Kawai

岡田 健一
Kenichi Okada

松澤 昭
Akira Matsuzawa

東京工業大学 大学院理工学研究科 電子物理学専攻
Department of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology

1 まえがき

近年、ミリ波帯無線通信の研究が盛んに行われている [1]。ミリ波帯の受信機においては、I 側信号と Q 側信号のミスマッチ (振幅誤差および位相誤差) による、イメージ除去比の劣化が問題になる。ボード使用時において I/Q ミスマッチを検出し、較正を行うことが必要である。本研究では主にミスマッチの検出方法について検討する。

2 提案手法

イメージ除去比 (IMRR) は、I/Q 信号の振幅誤差比率 g_t と位相誤差 ψ_f [rad] を用いて、次の式のように表される [2]。ただし g_t と ψ_f は十分小さいとする。

$$|IMRR| \approx \left| \frac{g_t^2 + \psi_f^2}{4} \right| \quad (1)$$

イメージ除去比の劣化は、SNR の劣化に直結する。最低でも、 $|IMRR| > 40$ [dB] となることが望ましい [2]。この条件を満たす振幅誤差、位相誤差の許容範囲は式 (1) より図 1 のように求まり、最低でも振幅誤差は 2%、位相誤差は 1 [deg.] の精度で検出する必要があることがわかる。これを 100 [mV] 振幅の信号に置き換えると 1.1 [mV] 単位での AD 変換が必要であり、入力範囲が 1 [V] である AD 変換器を使用すると、最低でも 10bit の分解能が求められる。

従来回路 [3] では図 2 の Conv. のように、信号受信用の AD 変換器を再利用し、I/Q ミスマッチを検出するという手法がとられていた。しかし、ミリ波ではシンボルレートが高いため、受信用の AD 変換器は高速であるぶん、分解能が低い。よって、高精度な較正に再利用することができない。

そこで、図 2 の Proposed のように、受信機回路の出力に高速なトラックアンドホールド回路と、高分解能の AD 変換器を接続するという手法を提案する。基準となる振幅が 1 [V] である 2 つの信号 I/Q の瞬時電圧 i [V] および q [V] から、振幅誤差 α [V] と位相誤差 θ [rad] について、それぞれ次の式のように計算できる [4]。

$$\alpha \approx LPF(i^2 - q^2) \quad (2)$$

$$\theta \approx -2 * LPF(i * q) \quad (3)$$

この手法では、高速な AD 変換は必要ではないため、高分解能の AD 変換器を使用することができる。

3 信号発生器を用いた測定と結果

受信機の見立てた信号発生器の I/Q 出力において、振幅誤差と位相誤差を故意に発生させ、提案手法によってこれが正しく検出できるか、実験を行った。信号発生器に 12bit、5MS/s の AD 変換器を接続して測定を行った結果を図 3 に表す。この図からわかるように、振幅誤差および位相誤差をおおむね正確に検出できていることが確認できた。

4 まとめ

ミリ波帯受信機の I/Q ミスマッチ較正手法について検討した。また、提案した手法に基づき、I/Q ミスマッチが正しく検出できることを測定によって確かめた。

謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究『電波資源拡大のための研究開発』、総務省 SCOPE、科学研究費補助金、半導体理工学研究センター、キヤノン財団、並びに東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、日本ケイデンス株式会社およびアジレント・テクノロジー株式会社の協力で行われたものである。

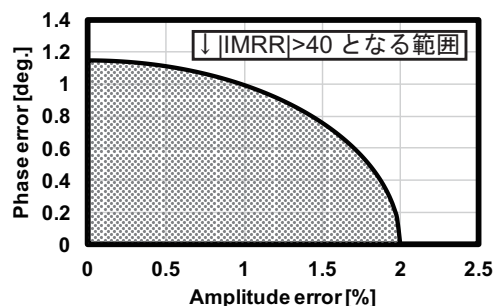


図 1 I/Q ミスマッチの許容範囲

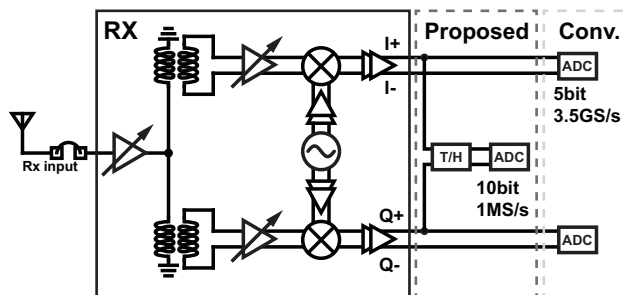


図 2 I/Q ミスマッチの検出方法

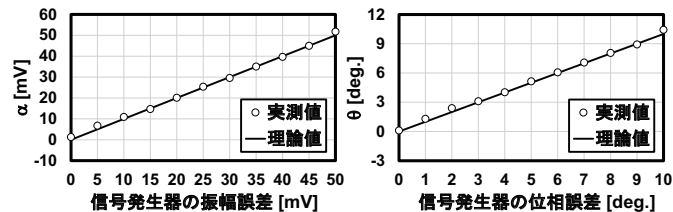


図 3 信号発生器の振幅/位相誤差の検出

参考文献

- [1] K. Okada, et al., "A Full 4-Channel 6.3Gb/s 60GHz Direct-Conversion Transceiver With Low-Power Analog and Digital Baseband Circuitry," in ISSCC, Feb. 2012.
- [2] B. Razavi, et al., "Design Considerations for Direct-Conversion Receivers," in IEEE Transactions on Circuits and Systems, Jun. 1997.
- [3] T. Tsukizawa, et al., "A Fully Integrated 60GHz CMOS Transceiver Chipset Based on WiGig/IEEE802.11ad with Built-In Self Calibration for Mobile Applications," in ISSCC, Feb. 2013.
- [4] S. Lerstaveesin, et al., "A Complex Image Rejection Circuit With Sign Detection Only," in ISSCC, Dec. 2006.