

## 無線通信評価における発振器と IQ 信号のジッタが及ぼす誤差の測定

Measurement of Errors Caused by Jitter of Oscillators and IQ Signal in Wireless Communication Evaluation

○飯島拓海<sup>1</sup>, 大谷昭仁<sup>2</sup>\*Takumi Iijima<sup>1</sup>, Akihito Otani<sup>2</sup>

Abstract: To investigate the causes of errors in wireless communication evaluations, we measured and measured jitter in input/output signals from an oscillator and a modulation/demodulation unit, and investigated the errors that each jitter gave to sampling and IQ signals.

## 1. はじめに

近年, インフラ会社や国は増大する IP トラフィックへの対策として, 新しい通信規格『第 5 世代移動通信システム』(5G)の研究を進めている<sup>(1)</sup>.

通信において, ADC (Analog to Digital Converter) は変調信号から高周波のキャリア成分を取り除き, 情報の同相成分  $I$  (In Phase) と直交成分  $Q$  (Quadrature) を取り出す. しかし, 高周波である 5G に対応した, 高サンプリング周波数の ADC は, 高価で分解能が低い. そのためアンダーサンプリング技術を用いた無線通信評価システムが提案されている<sup>(3)</sup>.

無線通信の分野では, ADC や情報信号源のクロックジッタや変復調器などの特性による誤差が, サンプリング値のエラーに繋がる. そのため, 無線通信評価において, アンダーサンプリングによる雑音か, クロックジッタなどそれ以前に発生した原因による雑音か判別できない点が課題となっている.

本稿では, アンダーサンプリングを用いた無線通信評価システムにおいて, 情報信号源のクロックと復調器の局部発振に用いる発振器のジッタを測定し, 変復調部の入出力 IQ 信号のジッタを計算, 評価する. それによってクロックジッタと測定系の変復調部が IQ 信号に与える雑音の測定と, その雑音がサンプリングに与える影響について述べる.

## 2. 原理

## 2.1 変調方式

本研究では, 5G で用いられる<sup>(2)</sup>QPSK 方式 (Quadrature Phase Shift Keying) で変調している. QPSK は位相にのみ変調するため, クロックジッタなど時間軸の雑音により状態の偏移するタイミングが変化した場合, サンプリングしたデータから位相情報を誤って判断してしまうことがある.

## 2.2 システム構成

本研究では Fig.1 に示す測定システムを用いてジッタを測定し, 評価する.

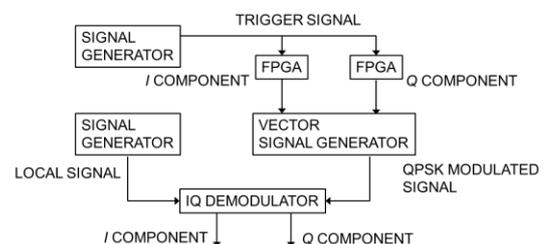


Fig.1. Configuration of Wir Example of L (f) Functionless Communication System

FPGA(Field Programmable Gate Array)ボード(DE2-115)で 31bit 長の LFSR(Linear Feedback Shift Register)を作成し,  $2^{31}-1$  の周期を持つ擬似ランダム信号を IQ 信号として用いる. その際外部入力のクロックとして, 発振器(MG3633A)で 20.2MHz の正弦波を用いる.

IQ 信号をベクトル信号発生器(MG3700A)に入力して, QPSK 変調する. その後 IQ 復調器(LTC5574)に発振器(MG3633A)から 1.1GHz の正弦波を局部発振として入力し, IQ 信号を取り出す.

また, 測定にはオシロスコープ(TDS5634)と, スペクトラムアナライザ(MS2683A)を用いる.

## 3. 評価方法

## 3.1 発振器のジッタ測定

スペクトラムアナライザで復調器の局部発振と情報信号源のトリガソースに用いている発振器の出力を測定し, 次の式を用いて位相雑音から周期ジッタ (RMS ジッタ) を計算する<sup>(4)</sup>. RMS ジッタは基準周期と実際の周期との時間のずれを示す<sup>(5)</sup>. また, 位相雑音のスペクトラム  $L(f)$  の例を Fig.2 に示す. なお,  $f_c$  は信号周波数,  $K-1$  は区分線形関数の区分である.

1: 日大理工・学部・電子 2: 日大理工・教員・電子

$$\text{RMS ジッタ} = \frac{1}{2\pi f_c} \sqrt{2 \sum_{i=1}^{K-1} 10^{\frac{b_i}{10}} f_i^{-\frac{a_i}{10}} \left(\frac{a_i}{10} + 1\right)^{-1} \left[ f_{i+1}^{\frac{a_i}{10}+1} - f_i^{\frac{a_i}{10}+1} \right]} \quad (1)$$

$$a_i = \frac{L(f_{i+1}) - L(f_i)}{\text{Log}(f_{i+1}) - \text{Log}(f_i)} \quad b_i = L(f_i) \quad (2)$$

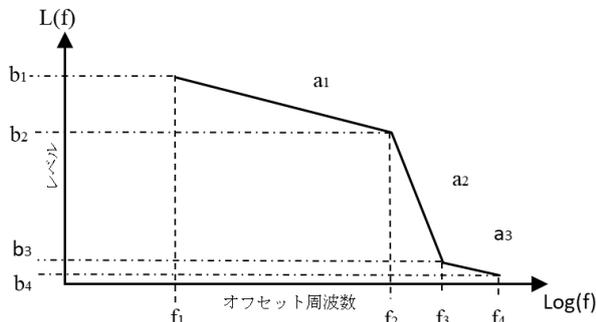


Fig.2. Example of L (f) Function

### 3.2 変復調部の入出力 IQ 波形のジッタ測定

FPGA の出力と IQ 復調器の出力を比較し、評価することで、無線通信評価システムの変復調部が IQ 信号に与える雑音を調査する。

Fig.3 に変復調部の入力 IQ 波形測定系を示す。3.1 項で測定した発振器をトリガソースとして、FPGA で 31bit の LFSR を用いて IQ 信号を生成する。発振器の基準信号と等しい周波数の信号をオシロのトリガソースに設定して、IQ 信号のアイパターンを測定し、変調前の IQ 信号に含まれるジッタを読み取る。なお、オシロは最大 2Gsample/s なので、最小分解能は 0.5ns となる。

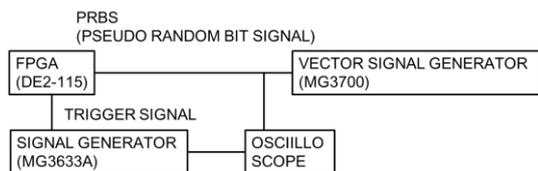


Fig.3. Input IQ waveform measurement system of the modulation/demodulation unit

Fig.4 に変復調部の出力 IQ 波形測定系を示す。先行研究で用いられた無線通信評価システムを通して、IQ 復調器から出力された IQ 信号をオシロに入力し、アイパターンを測定する。トリガソースは発振器の 10MHz を用い、復調後の IQ 信号に含まれるジッタを読み取る。

ここで、QPSK 変調波から復調して得られた IQ 信号は、位相に対応する DC オフセット電圧から情報を判断される。ランダムな IQ 信号のアイパターンを得ることは困難であるため、IQ 信号をランダムではなく規則的なパターンに変更する。それぞれの波形パターンに応じてジッタを求め、グラフにして評

価する。

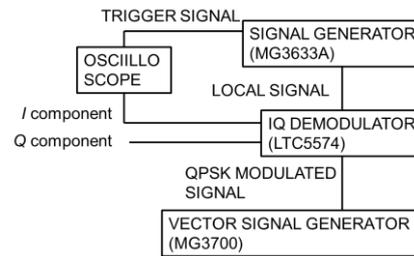


Fig.4. Output IQ waveform measurement system of the modulation/demodulation unit

## 4. まとめと今後の予想

本稿では、クロックジッタと測定系の変復調部が IQ 信号に与える雑音の測定と、その雑音がサンプリングに与える影響について検討した。

現在は FPGA で IQ 信号を生成したため、今後はオシロスコープを用いて、発振器と変復調部の入出力 IQ 波形を測定し、スペアナで位相雑音を求め、ジッタを計算する。

この結果が得られれば、各部における雑音の原因と、復調波形の雑音がサンプリングに与える結果が予想できると考える。

## 5. 参考文献

[1] Cisco Virtual Networking Index (VNI) : 「予測とトレンド 2017~2022 年」 pp1, < [https://www.cisco.com/c/ja\\_jp/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf](https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf) > , 2019

[2] 総務省 : 「5G 実現に向けた進捗状況について」 pp4, < [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000587659.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000587659.pdf) > , 2018

[3] 菅野翔太, 今池健, 大谷昭仁 : 「アンダーサンプリングを用いた無線通信評価システムに関する一検討」, 電気学会論文誌. A, pp180-185, 2018

[4] 株式会社マキシム-アプリケーションノート「クロック (CLK) ジッタと位相ノイズ変換」, < <https://www.maximintegrated.com/jp/design/technical-documents/app-notes/3/3359.html> > , 2008

[5] SiTime : 「クロックジッタの定義と測定方法」 pp1-2, < <https://www.sitime.com/api/gated/AN10007-Jitter-Defintions-and-measurement-J.pdf> > , 2014