

アンダーサンプリングを用いた無線評価システムにおける イメージ信号のシンボルレートによる影響

Study on the Effect of Symbol Rate of Image Signal in a Radio Evaluation System with Under-sampling

○松本 佑典¹, 大谷 昭仁²

*Yusuke Matsumoto¹, Akihito Otani²

Abstract: This paper describes the results measured with a radio evaluation system using under-sampling when the symbol rate of image signal is 0.2MBaud and 0.4MBaud. We discuss the effect of the symbol rate of the image signal by comparing the results.

1. まえがき

今日、無線通信には多数同時接続、超低遅延の通信が期待されており^[1]、高速無線技術の開発において、その技術を評価するシステムが必要である。

無線通信の評価には ADC(Analog to Digital Converter) が用いられ、高速な無線信号を測定するには高いサンプリング周波数を備えた ADC が必要となる。しかし、そのような ADC の分解能は低く、コストも高くなる傾向がある。

そこで、被測定信号よりも低い周波数で測定を行うアンダーサンプリング技術を無線信号の測定に利用する方法とシステムが提案されている^[2]。このシステムは無線信号の同相成分 *I* (In-phase) 成分と直交成分 *Q* (Quadrature) 成分に対してアンダーサンプリングを行い、被測定信号をイメージ信号に変換することで評価を行うものである。

しかし、このシステムの測定においてはシンボルレートより少し低いサンプリング周波数を用いるが、どの程度までサンプリング周波数を下げることができるかは明らかになっていない。そこで、本稿では異なるイメージ信号のシンボルレートの波形を生成し、信号評価を行い、信号評価の結果を比較することでイメージ信号のシンボルレートが異なるときの影響について報告する。

2. アンダーサンプリングを用いた無線評価システムの原理

2.1 アンダーサンプリングの原理

被測定信号 S_{sig} が既知であるとき、サンプリング周波数 f_{samp} の値を被測定信号の周波数 f_{sig} より少しだけ低くして測定を行うとエイリアシングが起こる。これにより、被測定信号の成分 S_{sig} がより低い周波数帯に折り返され、同じ振幅情報と位相情報を持つイメージ信号 S_{img} が生成される。イメージ信号 S_{img} の周波数 f_{img} は式(1)で求めることができる。

$$f_{img} = f_{sig} - n \cdot f_{samp} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 n は整数である。

2.2 アンダーサンプリングを用いた無線評価システムの原理

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 変調信号から直交復調した *I* 成分と *Q* 成分に対して、無線信号のシンボルレートを基準としてアンダーサンプリングを行うことで、アイパターン状の波形を得ることができる。この波形の絶対値からアイパターントリガを生成し、評価を行う。

3. アンダーサンプリングを用いた無線評価システムの測定系と測定条件

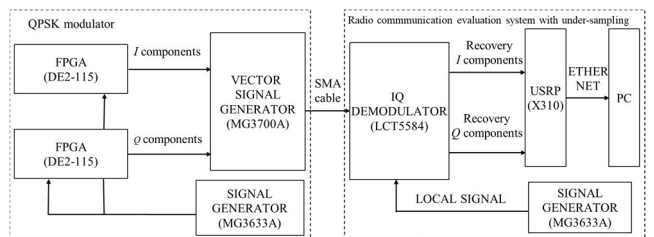


Figure 1. Measuring system of radio communication evaluation with under-sampling

Figure 1 にアンダーサンプリングを用いた無線評価システムのブロック図を示す。

送信部では2台のFPGA (Field Programmable Gate Array) 上に31bit ガロア LFSR (Liner Feedback Shift Resister) を構成し、PRBS (Pseudo Random Bit Sequence) 信号を生成し、情報信号 *I*, *Q* とした。信号発生器から FPGA にトリガーを入力することで、情報信号のシンボルレートを20.2MBaud と20.4MBaud とした。生成された *I* と *Q* をベクトル信号発生器でキャリア信号1.1GHz のQPSK 信号を生成し、受信部へ伝送した。

受信部では伝送された信号をIQ 復調器と周波数が1.1GHz であるローカル信号で直交復調した。復調された *I* と *Q* を USRP (Universal Software Radio Peripheral) 上のADC でサンプリングを行った。入力帯域をDC~50MHz、サンプリング周波数を200MHz としてサンプリングした後データに1/10 に間引きすることで20MHz のサンプ

1 : 日大理工・学部・電子 2 : 日大理工・教員・電子

リングを行った。これによりイメージ信号のシンボルレートは式(1)より、それぞれ 0.2MBaud, 0.4MBaud となる。また、それぞれの測定点数は 655,360 点とした。

4. 信号評価の結果

イメージ信号のシンボルレートが 0.2MBaud の場合のアイパターンとコンスタレーションを Figure 2 に、0.4MBaud の場合のアイパターンとコンスタレーションを Figure 3 にそれぞれ示す。

Figure 2(a), Figure 3(a)より、アイパターン部の開口部の高さと幅が十分にあることからアイパターンが描けていることを確認した。アイパターンの開口部の点を信号評価点として抜き出すことでコンスタレーションを描画し Figure 2(b), Figure 3(b)の図を得た。その後それぞれのコンスタレーションから、EVM を式(2)より求めた。

$$EVM = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \{(|I_j| - \bar{I})^2 + (|Q_j| - \bar{Q})^2\}}}{\sqrt{\bar{I}^2 + \bar{Q}^2}} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 N はコンスタレーションで使用したデータの総数、 \bar{I} と \bar{Q} は理想的なシンボルの位置である。

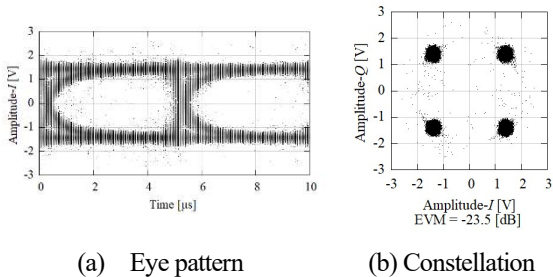


Figure 2. Evaluation results when the symbol rate of the image signal is 0.2 MBaud

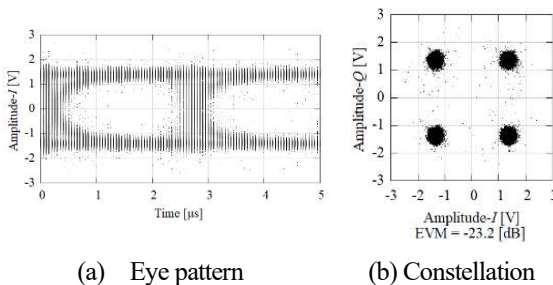


Figure 3. Evaluation results when the symbol rate of the image signal is 0.4MBaud

コンスタレーションは信号評価点を複素平面上に表現した図であり、図の実軸は同相軸(I 軸)、縦軸は直角位相軸(Q 軸)である。また、原点を中心として信号の振幅と位相を示す。QPSK 変調において理想的なコンスタレーションは 90° の位相差となるように原点から等距離に 4 点のシンボルが生成され、シンボル 1 つには 2 ビット分の情報を持つ。

EVM はコンスタレーションを評価する基準となるもので、理想信号のシンボルに対し測定信号のシンボルがどの程度ずれているかを示すものである。

イメージ信号のシンボルレートが 0.2MBaud のとき N はおよそ 21,000 で \bar{I} と \bar{Q} は 1.40V で、0.4MBaud のとき N はおよそ 22,000 で \bar{I} と \bar{Q} は 1.38V である。

得られたコンスタレーションを比較すると、どちらも同様の結果が得られており、算出された EVM はイメージ信号のシンボルレートが 0.2MBaud のときが -23.5dB、イメージ信号のシンボルレートが 0.4MBaud のときが -23.2dB であった。この差は僅か 0.3dB であり、倍率にすると約 1.035 倍と、無視できるほど十分に小さい値である。よってシンボル点の評価への影響はないと考える。

5. まとめ

本稿ではイメージ信号のシンボルレートを変化させ評価に影響が出るか検証を行った。イメージ信号のシンボルレートが 0.2MBaud と、0.4MBaud であるときの EVM はほぼ一致していることから、今回の実験の範囲では EVM の評価はイメージ信号のシンボルレートの影響を受けないことがわかった。また、イメージ信号のシンボルレートをより速くすることで得られた EVM の評価が同じであれば、より広範囲において EVM の評価がイメージ信号のシンボルレートの影響を受けないと言え、それによりこのシステムにおいてどの程度までサンプリング周波数を下げられるかを示すことが出来ると考えた。

今後の展望として、イメージ信号のシンボルレートがより速いときの測定と評価を行い、EVM の評価がイメージ信号のシンボルレートの影響を受けにくいかを結論付ける予定である。また、シンボルが切り替わるアイパターンのクロスポイントの幅により評価に影響がでるかどうかも検討する予定である。

6. 謝辞

博士課程前期課程 下田大世さんには研究の進め方や枠組みについて有益な助言をいただいただけでなく、終始支えていただきました。ありがとうございます。

7. 参考文献

[1] 総務省情報統計データベース：「我が国の移動通信トラフィックの現状」, (2020)
 [2] 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評価システムに関する一検討」, 電気学会論文誌 A, Vol.138, No.5, pp.180-185 (2018)