

SDR デバイスにおけるエイリアスノイズの評価

2015SC007 出合豊

指導教員：藤井勝之

1 はじめに

近年、無線通信はカーナビゲーションシステムやスマートフォンなどの様々な通信に利用されており、無線通信技術は日々進化している。しかし、サービスが更新されるたびに利用者が新たな端末を用意するのは困難であり、開発者が新たな装置を開発することも負担が大きいといえる。以上の理由から、1つの無線機でシステムの変更や機能の追加を行うことができる無線端末の開発が期待されている [1][2]。

それらを実現する手段として、ソフトウェア無線の概念が挙げられている。ソフトウェア無線 (SDR: Software-defined-radio) とは、端末のハードウェアに変更を加えることなく、端末上で動作するソフトウェアを切り替えることでソフトウェアの変更や更新など新しい通信規格に対応することができる無線通信のことである。本研究では、ソフトウェア無線デバイスの一例として Nuand 社の bladeRF を用い、動作制御するソフトウェアとして Mathworks 社の Simulink を用い、無線通信における適切な信号処理方法について明らかにする [2][3]。

2 サンプリング定理

サンプリング (標本化) 定理とは 1928 年にスウェーデン出身の物理学者ハリー・ナイキスト (Harry Nyquist, 1889~1976) によって予言され、のちにクロード・E・シャノンと染谷勲によって独立に証明された定理で [4]、アナログ信号をデジタル信号に変換する際のサンプリングの間隔を定量的に表したものである。

サンプリング定理によると、 f_m [Hz] 以上のスペクトルを持たない帯域制限された信号は、

$$T_s \leq \frac{1}{2f_m} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

で与えられる間隔で標本化された値によって一意に決定される。すなわち、 f_m [Hz] 以上のスペクトルが存在すると、原信号にはない周波数がエイリアスノイズとして発生してしまう。このとき基準となる最大のスペクトラム f_m [Hz] のことを、ナイキスト基準と呼ぶ。

3 先行研究について

本研究は、先行研究がある。先行研究では、SDR デバイスとして USRP2 と LabVIEW を用いて OFDM を実装して特性評価を行い、USRP の通信精度を明らかにした [2]。そこで、本研究では USRP2 と LabVIEW の代わりに bladeRF と Simulink を用い、SDR デバイスにおける信号処理に関する研究を行う。

4 研究内容

本研究では、実際に SDR デバイスを用いて送受信を行い適切な信号処理によりエイリアスノイズの発生を防ぐ方法を明らかにする。エイリアスノイズは、サンプリング後に除去する方法が発見されていないため、送信信号に含まれる周波数の最大値をサンプリングの前にナイキスト基準以下に抑圧して、エイリアスノイズの発生を防ぐことができるか確かめる。

5 実験の構成

PC と bladeRF2 機を USB ケーブルで接続し、bladeRF-Tx の TX 端子と受信機側の bladeRF-Rx の RX 端子を同軸ケーブルで接続する。

5.1 Simulink モデル

Simulink モデルを図 1 に示す。送信側は、Sine Wave ブロックで 1.2MHz と 2MHz の信号を生成し、Add ブロックで合成する。受信側では、Spectrum Analyzer ブロックを接続して信号を観測する。

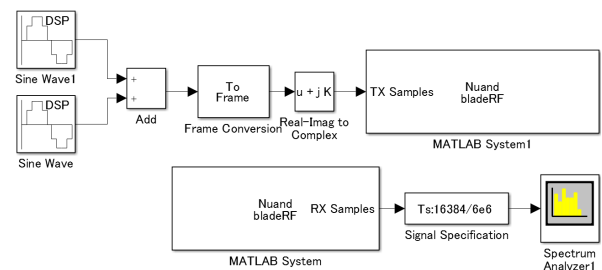


図 1 Simulink モデル

5.2 測定条件

本研究での測定条件を表 1 に示す。本研究では、条件 1~3 の 3 つの条件に分けて測定を行う。条件 1, 2 ではサンプリングレートを 3MHz に設定したためナイキスト基準は 1.5MHz となり、2MHz の送信信号はナイキスト基準を超える。条件 3 ではサンプリングレートを 6MHz に設定したためナイキスト基準は 3MHz となり、1.2MHz と 2MHz の 2 つの送信信号がナイキスト基準以下になる。また、サンプリング前のアナログフィルタを条件 1 では 2.5MHz (± 1.25 MHz)、条件 2 と条件 3 では 5MHz (± 2.5 MHz) に設定し、サンプリング後のエイリアス成分の生じ方の違いを明らかにする。

6 結果および考察

3 つの条件でそれぞれ表示されたスペクトラムの結果をもとに、考察を行う。

表 1 測定条件

項目	設定値
キャリア周波数 (f_s)	送信側:2.415GHz 受信側:2.415GHz
送信サンプリングレート (f_{stx})	6Msps
受信サンプリングレート (f_{srx})	3Msps(条件 1,2) 6Msps(条件 3)
送信信号 (ベースバンド)	1.2MHz と 2MHz の 正弦波
Tx LPF	5MHz
Rx LPF	± 1.25 MHz(条件 1) ± 2.5 MHz(条件 2,3)

6.1 測定条件 1 の結果

条件 1 でのスペクトラムを図 2 に示す。条件 1 では、LPF を ± 1.25 MHz に設定したため ± 1.2 MHz の信号のみ受信され、横軸の周波数の目盛りが ± 1.2 MHz の位置にスペクトラムとしてピークが見られた。また、中央の 0Hz の位置にもピークが見られたが、これは DC オフセットといい、今回の bladeRF のようなホモダイン方式のデバイスで処理を行なった際に紛れ込む信号成分である。

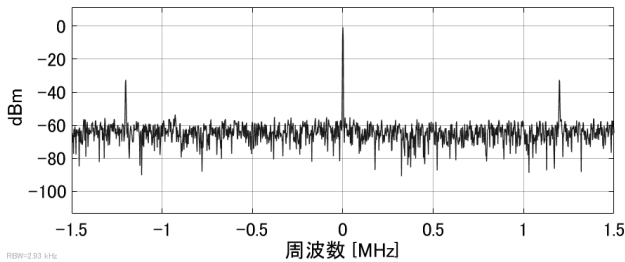


図 2 条件 1 のスペクトラム

6.2 測定条件 2 の結果

条件 2 でのスペクトラムを図 3 に示す。条件 2 では、LPF を ± 2.5 MHz に設定したため、2 つの信号のスペクトラムが DC オフセットの左右にそれぞれ表示された。しかし、2MHz の信号が横軸の ± 1 MHz の位置に表示されてしまった。

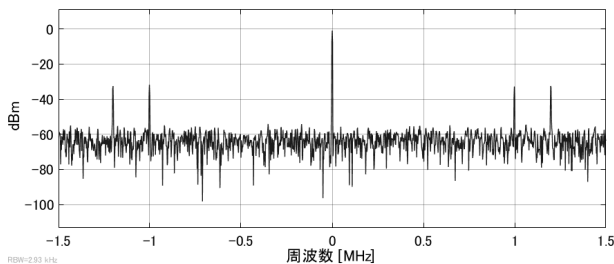


図 3 条件 2 のスペクトラム

6.3 測定条件 3 の結果

条件 3 でのスペクトラムを図 4 に示す。条件 3 でも DC オフセットの左右にそれぞれ 2 つのスペクトラムとして現れた。また、周波数の ± 1.2 MHz の信号と ± 2 MHz の信号がそれぞれ横軸の正しい位置に現れたため、適切にサンプリングされたといえる。

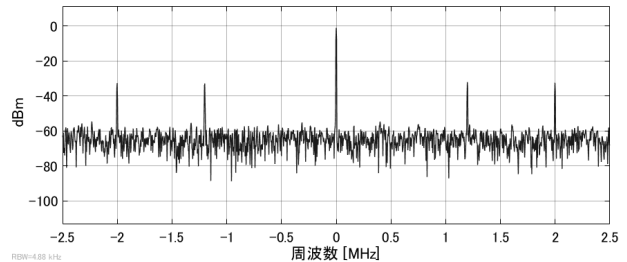


図 4 条件 3 のスペクトラム

6.4 考察

条件 1 では、サンプリング前にナイキスト基準を超える 2.0MHz の信号を LPF でカットしたためエイリアスノイズは現れなかったが、条件 2 では、ナイキスト基準を超える信号を LPF でカットせずにサンプリングしたため、元の信号には存在しない周波数の位置にエイリアスノイズとして現れた。そして条件 3 では、サンプリングレートを 6MHz に設定したため 2 つの送信信号が正しくサンプリングされ、受信側で正しく表示することができた。

7 おわりに

本研究では、SDR デバイスとして bladeRF を使用し、無線通信デバイスのアナログ回路に変更を加えることなく、信号の処理の実験を適切に行うことができた。

今後は、本研究では行われなかった周波数帯での実測を行い、ノイズの現れ方を研究していくことが必要であると考えられる。また、本研究や先行研究でなされなかったその他の通信方式、変調方式を用いて、エイリアスノイズの発生を防ぐ方法を明らかにしていきたい。

参考文献

- [1] 藤井義巳, “ソフトウェア無線 (SDR) 技術の最新動向と将来展望,” ITU ジャーナル, vol.47, no.11, pp.17-21, November 2017.
- [2] 山本憲太郎, 木戸隆博, 工藤和己, “USRP2 を用いた OFDM の実装と特性評価,” 南山大学理工学部機械電子制御工学科 2017 年度卒業論文, January 2017.
- [3] Robert W.Heath Jr. ,Digital Wireless Communication, Student Lab Manual ,pp.1-114 ,NATIONAL TECHNOLOGY & SCIENCE , 2012.
- [4] 小川英光, “標本化定理と染谷 勲,” 電子情報通信学会誌, vol.89, no.8, pp.771-773, August 2006 .