

ROACH ボードを用いた広帯域・高分解能デジタル分光計の開発

江藤 翔太郎 (鹿児島大学大学院 理工学研究科)

Abstract

我々の研究室では、ROACH と呼ばれる信号処理モジュールを用いた広帯域・高分解能なデジタル分光計の開発に取り組んでいる。本稿では、現状で開発できている性能における ROACH を用いた分光計の性能について記述した。今回は分光計の線形性と周波数応答関数を確認した。その結果、入力適正レベルは-13dBm から-28dBm とわかった。

1 Introduction

我々は ROACH を用いた高性能な分光計の開発に取り組んでいる。ROACH とは Reconfigurable Open Architecture Computing Hardware の略称であり、装置の設計が公開された機能を自由に変更できる信号処理モジュールである。FPGA を中心として、入出力ポートや CPU などが組み込まれている。ROACH へのプログラムは Verilog や VHDL などのハードウェア記述言語を用いた文字ベースな開発ではなく、MATLAB の Simulink を用いてグラフィカルで直感的に開発できる。このため機器開発に対して高度な知識を持っていない研究者でも、自ら目的の機能を持った装置を簡単に開発することができる。

ROACH はカリフォルニア大学バークレー校を中心に結成された CASPER (Collaboration for Astronomy Signal Processing and Electronics Research) によって開発された。CASPER が運用するサイトでは、ROACH に関する情報が公開され、さらにメーリングリストを利用して世界中の CASPER 関係者に ROACH の質問を行うことができる。さらに ROACH 用に開発されたプログラムも無償で公開されており、世界中の研究者と協力して装置の開発を行えるのも ROACH の利便性の一つである。

ROACH は (J.Kocz et al. 2015) や (S.Gibson et al. 2015) といった例のように、天文学やその他の分野で用いられている。

我々はこの ROACH を用いて広帯域・高分解能なデジタル分光計の開発を行っている。分光計の性能を上げることは天体の情報をより得るために重要である。特に広帯域・高分解能にすることでドップラー

シフトの同定をより精度よく行うことができる。



図 1: ROACH2

2 Verification

分光計を評価する項目としては、主に以下の 4 つがある。

1. 線形性
2. 周波数応答関数
3. 感度
4. 安定性

線形性は入力された信号強度と分光計の出力との比例関係である。分光計は入力されたアナログ信号をデジタル信号に量子化するため、入力信号強度が

量子化によって表現できる値を超えてしまうと値が丸め込まれてしまう。この場合は入力信号を正しく評価することができない。そのため線形性が保障される入力信号強度の範囲 (適正レベル) を把握しておく必要がある。

周波数応答関数はフーリエ変換を行う際に用いた窓関数のスペクトルである。分光計は入力信号に窓関数を乗じてスペクトルを計算する。よって得られるスペクトルは入力信号のスペクトルと窓関数のスペクトル (周波数応答関数) を畳込んだものとなる。周波数応答関数によって分光計の分解能が変わる。特にメインローブとサイドローブの比であるダイナミックレンジが重要である。そのため周波数応答関数を事前に調べておく必要がある。

感度はスペクトルの積分時間とノイズの大きさの関係である。ノイズは偶然的 (ランダム) に発生すると考えられる。そのためスペクトルに表われるノイズは積分を行うことで小さくすることができる。一般的に積分時間の平方根に比例してノイズの影響が減少することが知られている。適切な積分時間を選ぶために感度を調べておく必要がある。

安定性は系統的なノイズの時間変化を調べるものである。系統的なノイズは偶然的なノイズとは異なり、単純にスペクトルの積分を行うだけで減少させることはできない。系統的誤差はある周期を持って変化していると考えられるので、スペクトルの時間変化から調べることができる。感度と同様、適切な積分時間を選ぶために安定性を調べておく必要がある。スペクトルの時間変化を評価する方法として、アラン分散という値を計算する方法が用いられる。

今回は線形性と周波数応答関数の結果について記す。

3 Instruments

今回評価を行った ROACH 分光計の構成を表 1 と図 2 に示す。

信号発信源の SG (シグナルジェネレータ) は、今回は ROACH2 のクロックとして使用しているものと同機種の valon 5007 を使用した。線形性の測定ではアッテネータを信号線に挿入することで、入力信号の強度を落として測定を行った。

表 1: 分光計

Subsystem	Hardware	Notes
分光処理	ROACH2	帯域 1600MHz 分光点 2048ch 分解能 781.3kHz
AD コンバータ	ADC1x5000-8	8bit 量子化 5Gsps
クロック	valon 5007	1600MHz

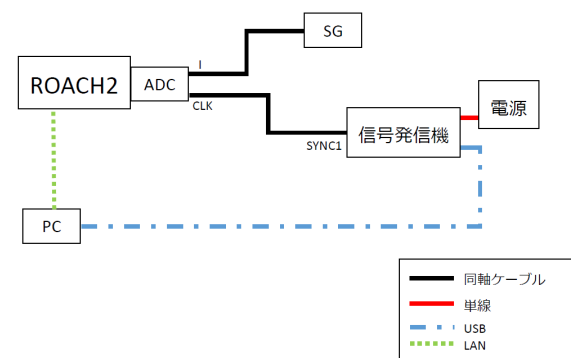


図 2: 測定のブロック図

4 Results

評価対象の ROACH2 を用いた分光計に、SG を用いて 1GHz の信号を -2dBm から -40dBm の信号を入力して線形性の確認を行った。図 3 は 1GHz、-2dBm を入力した際に ROACH2 が出力したスペクトルである。入力信号の強度を変え、図 3 のピークの値の変化を見たのが図 4 である。図 4 を見ると、-13dBm 以上の信号は ROACH2 の出力値が一定、すなわち飽和していることがわかる。また -28dBm 以下の信号も出力値が一定となり、信号を検出できていないことがわかる。このことから、この ROACH2 で作成された分光計の適正レベルは -13dBm から -28dBm と判断できる。

また、1GHz-2MHz から 1GHz+2MHz を 40kHz 刻みで -14dBm の単一周波数を ROACH2 に入力し、ROACH2 が出力する 1GHz の値を記録して周波数応答関数を求めたものが図 5 である。図 5 ではサイドローブを確認することはできなかった。

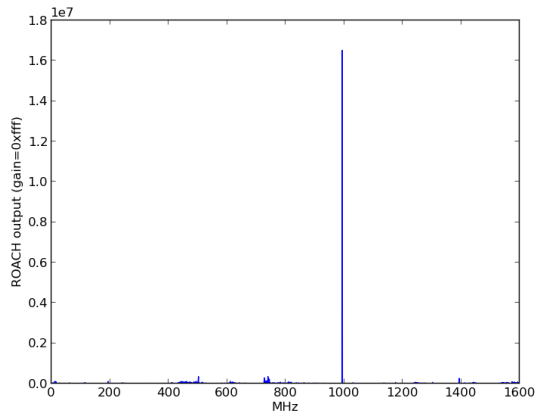


図 3: 1GHz、-2.10dBm を ROACH2 に入力した際に出力されたスペクトル

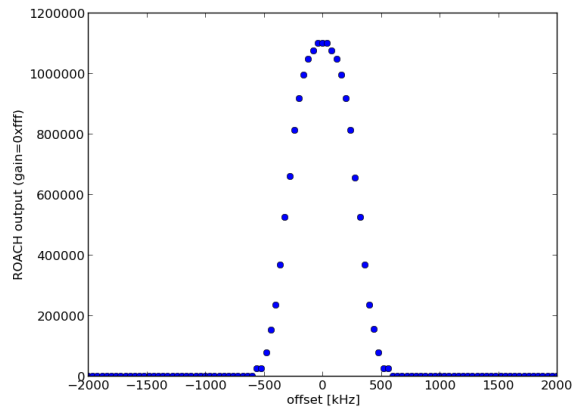


図 5: 周波数応答関数

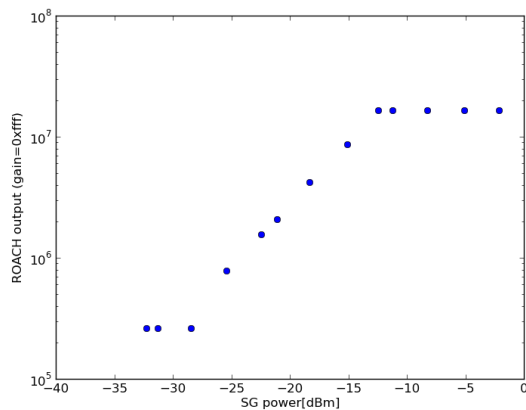


図 4: 線形性

5 Discussion

図 3 は 1000MHz を入力して得られたスペクトルである。しかしピークの値は 1000MHz からずれた 993.9MHz に検出された。これは SG として用いた valon の発信器の較正が適切でないためと考えられる。

図 5 ではサイドローブを確認することができなかった。この原因としては、ROACH2 はデータ量を少なくするために 6bit の再量子化を行っている。今回はサイドローブの値が小さく、量子化された後に表現できる最小の値に丸め込まれてしまったと考えられる。

6 Conclusion

今回は ROACH を用いて分光計の開発を行った。本稿ではその分光計の評価を記述した。分光計の周波数応答関数ではサイドローブを確認することはできなかった。サイドローブを確認するためには入力信号の強度を大きくすることが考えられる。しかし今回入力した -14dBm よりも大きくすると、量子化された値が表現できる数を超えて、値が丸め込まれてしまうことを確認している。そのため、サイドローブを確認するためには ROACH が量子化を行っている箇所を改善する必要がある。

Acknowledgement

今回夏の学校に参加させていただくにあたって、補助して下さった京都大学基礎物理学研究所を始めとする後援の方々、そして夏の学校を運営して下さっている方々に、深く感謝いたします。

Reference

- J.Kocz, L.J.Greenhill, & B.R.Barsdell 2015, Journal of Astronomical Instrumentation, Vol. 4, No. 1
- S.Gibson, J.W.Judy, & D.Marković 2013, Journal of Neuroscience Methods Vlol. 215, Issue 1, pp. 1-11