

# USB3.0 インターフェースの市販サンプラーの評価結果 -K5/VSSP32の後継機と成り得るか？-

近藤哲朗、岳藤一宏

情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター

## 1 はじめに

USB3.0 接続 AD 変換器 (ADCR-1000) (図 1) をコスモリサーチ社から借用しテストする機会を得たので、ADCR-1000 で取得したデータと VLBI 用サンプラー ADS3000+ で取得したデータ間での相関検出を試みた。その結果、良好な相関を検出することができた。



図 1. USB3.0 接続 AD 変換器 (ADCR-1000)。

## 2 評価実験

評価実験時の USB3.0 接続 AD 変換器 (ADCR-1000) と ADS3000+ の仕様を表 1 に示す。

表 1. 評価実験時の仕様

	ADCR-1000	ADS3000+
サンプリング周波数	1000 MHz	1024 MHz
量子化ビット数	12	2
インターフェース (データ)	USB3.0	VSI-H
インターフェース (制御)	USB2.0	Ethernet
外部参照信号周波数	10 MHz	10 MHz
連続データ時間長	200 $\mu$ sec	2 sec

図 2 に評価実験時のセットアップを示す。信号源は 34 m アンテナの X バンド IF 信号を使用し 2 分配して ADCR-1000 および ADS3000+ に入力する。両サンプラーで共通の 10MHz 信号を使用するために ADS3000+ の外部 10MHz 入力に ADCR-1000 から出力される 10MHz 信号を入力した。

評価実験は 2015 年 10 月 30 日に実施し 2 回 (10:11:00 JST および 10:12:00 JST) のデータ収集を行なった。ADS3000+ はそれぞれの正秒から 2 秒間のデータを取得し、ADCR-1000 のデータ取り込みは ADS3000+ の正秒でのデータ取得とタイミ

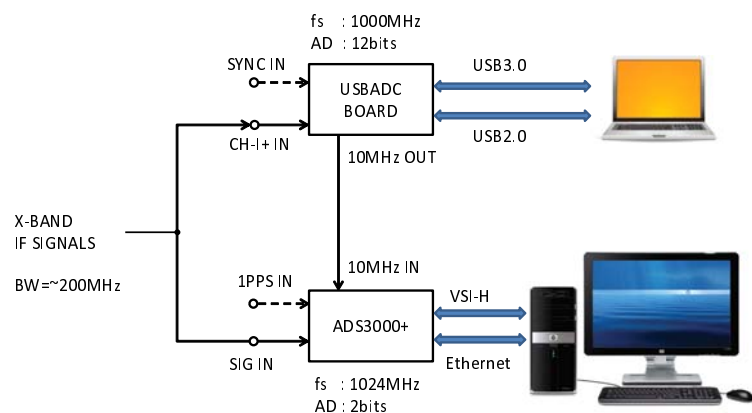


図 2. 評価実験時のセットアップ。

ングを合わせて手動で行った。2回目の ADCR-1000 取り込みタイミングは意識的に正秒から 0.5 秒以上遅らせた。

### 3 相関処理結果

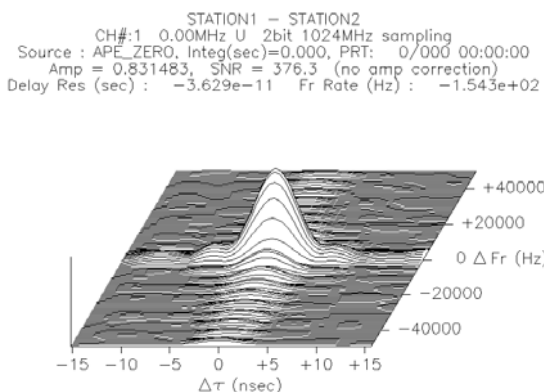


図 3. ADCR-1000 と ADS3000+間で検出されたフリンジ (相関) 32 lag の相関処理結果。クロックオフセットは 0.72 秒、積分時間は 200  $\mu$ sec。

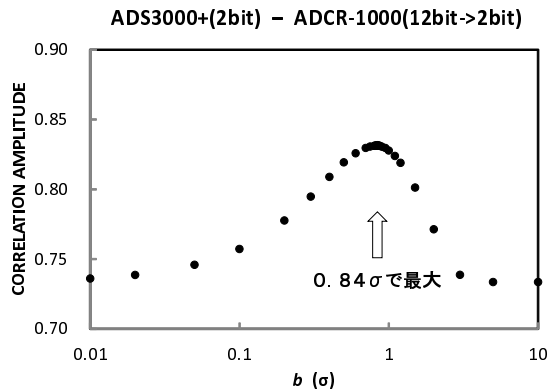


図 4. ADCR-1000 データを 2 ビットデータに変換する際のしきい値依存性。しきい値の単位は  $\sigma$  (変換前の時系列データの標準偏差) である。相関係数はしきい値 0.84 の時に最大値 0.83 となっている。

相関処理には K5 ソフト相関器を使用した。サンプラー間でサンプリング周波数および量子化ビット数が異なるので ADCR-1000 データを変換し ADS3000+のサンプリング周波数および量子化ビット数に合わせてから相関処理を行なった。サンプリング周波数の変換は時系列上でのスプライン補間により行なった。

1 回目の取得データはクロックオフセット 1 秒の範囲でフリンジをサーチしたが相関を得ることができなかった。2 回目の取得データはクロックオフセット 0.72 秒で相関検出に成功した (図 3)。1 回目の取得データで相関が検出されなかったのは ADCR-1000 側のデータ取り込みタイミングが正秒より早かったのかもしれない。

次に ADCR-1000 データを 2 ビット量子化データに変換する際のしきい値を色々変えて、相関係数がどう変化するかを調べた (図 4)。白色雑音の場合、2 ビット量子化にあたっての最適のしきい値は  $1\sigma$  ( $\sigma$  は変換前の時系列データの標準偏差) なのだが (例えば文献 [1])、今回の実験結果ではしきい値が  $0.84\sigma$  の時に相関係数が最大となっている。

### 4 考察

何故、相関係数が最大値となるしきい値が  $1\sigma$  ではなく  $0.84\sigma$  なのだろうか? 図 5 の左図は ADS3000+データのレベルごとの出現頻度 (度数) 分布を示したものである。レベルの低い方から 2.4%, 47.7%, 47.9%, 2.1% の出現頻度であった。これは白色雑音をしきい値  $2.1\sigma$  で 2 ビット量子化したことに相当している。

そこで、以下のような数値シミュレーションを行なった。

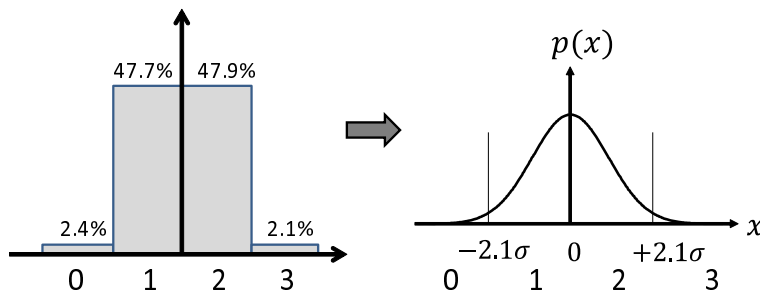


図 5. ADS3000+データのレベルごとの度数分布 (左図)。この度数分布は 2 ビット量子化時のしきい値を  $2.1\sigma$  に取った時の度数分布に相当している (右図)。

1. 正規乱数を発生させて平均値 0、標準偏差 1 (つまり  $\sigma = 1$ ) の白色雑音信号  $n_s(t)$ ,  $n_x(t)$ ,  $n_y(t)$  を生成。
2. X 局時系列データおよび Y 局時系列データ (信号と雑音のパワー比を  $r$  とする) を以下のようにして生成

$$x(t) = \sqrt{r} n_s(t) + n_x(t), y(t) = \sqrt{r} n_s(t) + n_y(t)$$

3.  $x(t)$  を 2 ビット量子化する。この時のしきい値は固定値  $2.1\sigma$  を使用する (ADS3000+データに相当)。
4.  $y(t)$  を 2 ビット量子化する。この時のしきい値を色々と変える。
5. 2 ビット量子化したデータ間での相関係数を計算する。

図 6 は上記のシミュレーションを  $r = 3$  の場合について行なった結果である。しきい値が  $0.85\sigma$  で相関係数は最大となっており実際の処理結果と定性的には良い一致を示している。

図には示さないが  $r = 0.1$  でシミュレーションしてみると相関係数最大となるしきい値は  $1\sigma$  付近となる。実際の VLBI 観測の場合は更に  $r$  が小さいので、相手側の 2 ビット量子化時のしきい値の影響はほとんど受けないといえる。

## 5 おわりに

コスモリサーチ社から借用した USB3.0 接続の AD 変換器 (ADCR-1000) を使用して VLBI 用のサンプラー ADS3000+との間で相関の検出を試みた。ADS3000+データとの相関処理に定常運用で使用しているソフトウェア相関器を使用するためには ADCR-1000 データのサンプリング周波数を 1000MHz から 1024MHz へ変換し、更に量子化ビット数を 2 ビットに変換する必要があった。

そのための変換ソフトを新たに開発し相関処理を行なったところ良好な相関の検出に成功した。しかしながら、2 ビット量子化時のしきい値は予想される最適値である  $1\sigma$  とは異なり  $0.84\sigma$  付近で相関係数が最大となった。その原因として ADS3000+の 2 ビット量子化時のしきい値の影響と考えると計算機シミュレーションを行なった。その結果信号強度がノイズに比べて十分に大きい場合 (今回の評価実験時に相当) には 2 ビット量子化時のしきい値は  $1\sigma$  より小さな値の場合に相関係数が最大となることが示された。ただし、実際の VLBI データでは信号強度がノイズに比べて十分に小さくこの場合は相手方の 2 ビット量子化時のしきい値の影響を受けることはなく、相関係数最大となるしきい値は  $1\sigma$  付近であることも計算機シミュレーションにより示された。

今回の実験結果では僅か  $200 \mu\text{sec}$  という短い時間でのコヒーレンスのチェックでしかなかったが、VLBI の使用に耐えうる性能を有していると思われる。

実際の VLBI 用サンプラーとして使用するためには、少なくとも以下の項目の実装が必要と思われる。

1. サンプリング周波数とチャンネル数: 1024MHz × 1ch または 512MHz × 2ch
  2. 1PPS との同期: 取得データの開始は 1PPS と同期すること
  3. 連続データ取得: 少なくとも 1 ビット AD, 2 ビット AD データは実時間で取得できること
  4. 出力フォーマット: VDIF フォーマットまたは K5/VSSP 拡張フォーマット
- また以下の機能も有し手頃な価格となれば、K5/VSSP32 の後継機候補と成り得る。
1. AD ビット数: 1, 2, 4, 8, 16(12) の 5 種類。2, 4, 8 ビット AD 時の最適乗数はオペレータから設定できること
  2. フィルタリング: 可能であれば複数のノッチフィルター (または複数の BPF) を実装

最後になりましたが USB3.0 接続の AD 変換器 (ADCR-1000) の性能評価のための借用を快諾していただいたコスモリサーチ社様に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Thompson, A.R., J.M.Moran, and G.W.Swenson Jr. (eds.), Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy Second ed., pp.254-303, 2001.

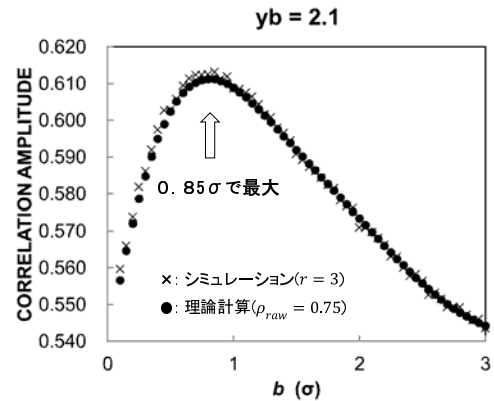


図 6. 相関係数のしきい値依存性のシミュレーション結果。滑らかな曲線は多項式フィッティングした曲線。一方の信号はしきい値  $2.1\sigma$  (固定) で 2 ビット量子化している。 $r = 3$  の場合。しきい値が  $0.85\sigma$  で相関は最大となっており実際の処理結果と定性的には良い一致を示す。