

RFダイレクトサンプリングVLBIにおけるバンド幅合成 Bandwidths synthesis on RF-direct sampling VLBI

近藤哲朗、岳藤一宏

情報通信研究機構

1. はじめに

NICTでは測地VLBIシステムの低コスト化と高安定化に資することが期待されるRFダイレクトサンプリング法による測地VLBIシステムを提唱し、実証実験を行ってきている。我々のRFダイレクトサンプリング法ではアンチエイリアシングフィルタは使用せず、相関処理時のパラメータ変更で異なる帯域の相関データを得る。こうして得られる連続した複数帯域の相関データをバンド幅合成し、遅延決定精度の向上を図る。

2. バンド幅合成

従来の測地VLBIシステムで行われているバンド幅合成とは、周波数方向に離散的な複数チャンネルデータ(サンプリングはチャンネル毎に別のサンプラーを用いる)を合成して、等価的に帯域を広げる手法であり、合成に際しての各チャンネル毎の位相差を校正するために、LNA入力部から注入された位相校正信号(1MHzもしくは5MHz間隔のトーン信号)を用いる。我々の提唱するRFダイレクトサンプリング法ではサンプラーを一つしか用いないため、異なる帯域を合成する際にサンプラーで生じる位相オフセットは考慮する必要がない。また、従来システムでは各チャンネル内で

の位相対周波数特性は一般的にはチャンネル毎に異なっているため、その影響を減らすため(と計算速度の向上のため)各チャンネルのデータを予め帯域方向に積分しベースバンド周波数での強度位相に集約したのちに各バンドに注入されているPCAL信号の位相を補正することにより異なるチャンネルのデータを合成している(図1)。

RFダイレクトサンプリングVLBIでは、各帯域は連続しており、位相特性も連続しているため、従来システムとは異なったバンド幅合成を行う。

従来システムのような帯域毎のデータ集約(積分)行わず、帯域毎の相互スペクトルを周波数方向にサイドバンドを考慮しながら並べる処理を行う(図2)。この際、異なる帯域間の位相オフセットは考慮する必要がないので、処理としては簡単になる。

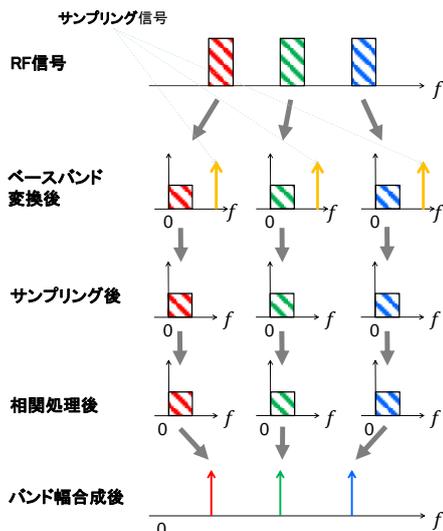


図1. 従来システムでのバンド幅合成の概念図。

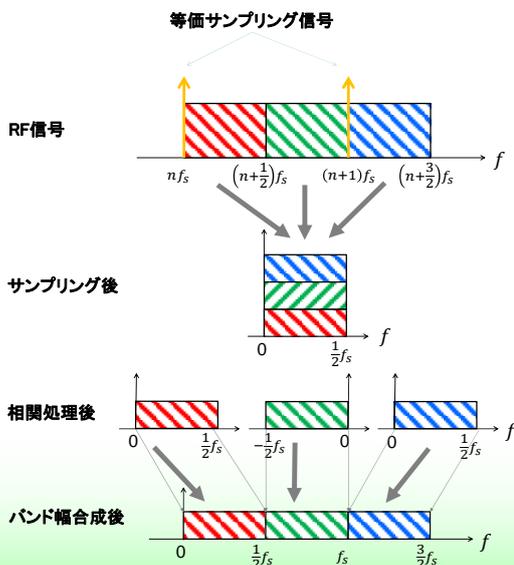


図2. RFダイレクトサンプリングシステムでのバンド幅合成概念図。

実際のバンド幅合成結果例を図3に示す。図は強度と位相スペクトルを示しているが、512MHz帯域の連続した3帯域データを合成している。帯域間の位相オフセットをゼロとして合成しているが、我々の予測通りに位相スペクトルは帯域間でスムーズに接続されているのが分かる。位相スペクトルに周波数特性が見られるが、この特性が安定であるならば、実験中のある時刻の観測(スキャン)データを基準に取ることができ、この観測データをもとに各観測データの位相補正を行うことができる。もし位相特性が実験期間を通して安定でないならば、位相校正信号の注入が必要となるが、2011年10月に実施した24時間観測データをみる限りにおいては、安定とみなしての位相補正が有効であった。

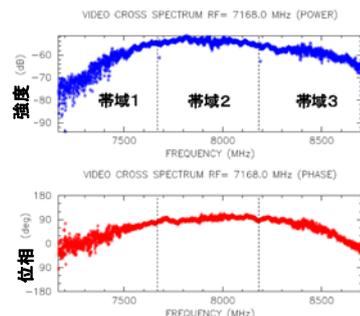


図3. RFダイレクトサンプリングVLBIにおけるバンド幅合成例(2011年10月に行った鹿島11m-つくば32m実験)。

3. RFダイレクトサンプリング時の遅延時間決定精度

アンチエイリアシングフィルタを用いないRFダイレクトサンプリングシステムではサンプリング後のデータは図2に示されるように、複数の帯域の信号が折り重なった状態になっている。相関処理時には目的帯域以外の信号はノイズとなって、それぞれの帯域での信号対雑音比(SNR)を劣化させる。ところで、帯域幅をBとすると遅延時間決定精度は

$$\sigma_{delay} \propto \frac{1}{B \cdot SNR}$$

で与えられるが、例えば3帯域が折り重なっている場合は、SNRは3分の1になるがバンド幅合成により帯域は3倍となるため、遅延決定精度としてはSNRの劣化はほぼ相殺されることになる(実際は合成帯域以外の信号を折り重なっているため、遅延決定精度は若干劣化する)。

図4にそれぞれの帯域での粗決定サーチ関数とバンド幅合成後の粗決定サーチ関数を示すが、遅延決定精度がバンド幅合成により改善されていることが分かる(ピークの山の幅が狭くなっている)。なお、従来のバンド幅合成後のサーチ関数は精決定サーチ関数と呼ばれ、遅延方向に楕円の歯状の形状となるが、RFダイレクトサンプリングの場合は、粗決定サーチ関数の定義式と同じとなるので、ここでは粗決定サーチ関数と表現している。

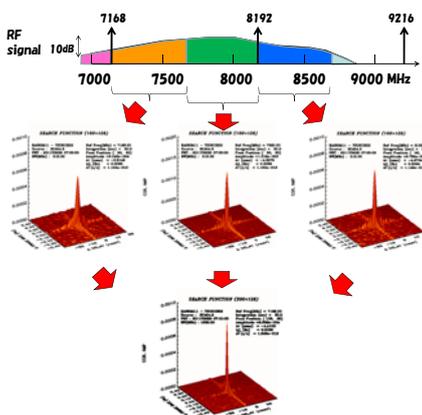


図4. RFダイレクトサンプリングVLBIの粗決定サーチ関数例(2011年10月に行った鹿島11m-つくば32m実験)。中段は各帯域毎の粗決定サーチ関数。下段はバンド幅合成後の粗決定サーチ関数。遅延方向の山の幅が狭く(つまり遅延決定精度が向上)になっている。

4. まとめ

RFダイレクトサンプリングVLBIシステムのバンド幅合成は従来システムとのバンド幅合成に比べると、処理としては簡単である。実際の観測データにも問題なく適用することができ、遅延時間を決定することができた。