

高次モードサンプリング 32 MHz 4 ch 方式による VLBI

鈴山智也¹，川口則幸²，堀内謙司³，小関研介⁴，亀野誠二²
栗原則幸⁵，宮地竹史²，面高俊宏⁶，宮崎智行⁶，森本雅樹⁷

1:通信総研鹿島・特別研究員，2:国立天文台，3:NEL，4:OKI 電気，5:通信総研鹿島，6:鹿児島大学，7:西はりま天文台

1 はじめに

現在の VLBI システムでは受信バンドをいくつかに分割し，それぞれをベースバンドに落とし，別々に A/D 変換した後に，マルチプレックスして記録する方式がとられている．この方法はサンプラなどを低いクロックで働かせることができる利点はあるが，マルチバンド化する各バンドの位相特性を監視する信号の注入が必要になるなどアナログ部分が非常に複雑になるなど欠点も多い．これに対し，高次モードサンプリング 32MHz 4 チャンネル 方式を用いたシステムは，入力信号を 4 つのフィルタでゼロ冗長配列に帯域幅制限し，そのまま A/D 変換するだけで信号を周波数変換し記録する方法である．図 1 に 32MHz 4ch ゼロ冗長配列と，そのサンプリング後のイメージ図を示す．この方法は高速なサンプラが必要になるが，装置は非常に簡略化される．また全チャンネルに対して，共通ローカルでサンプリングを行うことになるので，チャンネル間の位相補正の問題など，かえって単純化される部分が多いと考える．

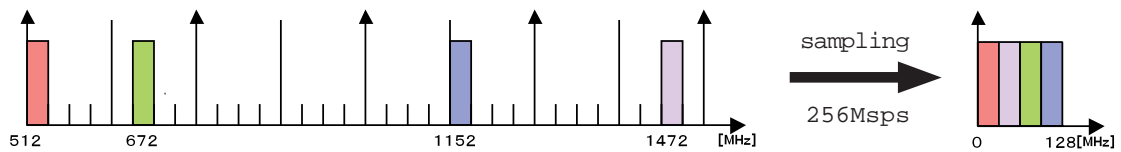


図 1: 左：32MHz 4ch ゼロ冗長配列， 右：高次モードサンプリング後

2 高次モード 32 MHz 4 ch 方式システム

図 2 に高次モードサンプリング 32 MHz 4ch 方式システムブロックを，図 3 に高速サンプラ構成を示す．

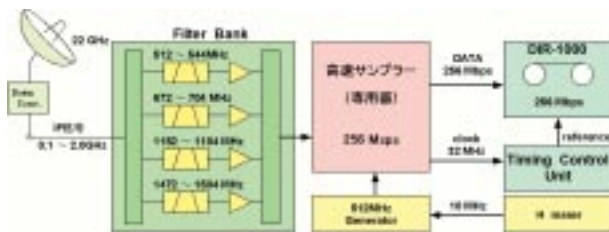


図 2: システムブロック

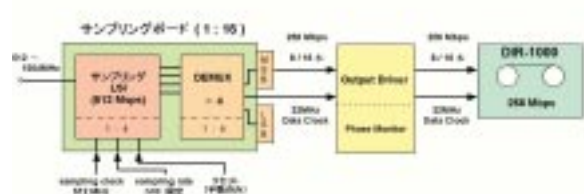


図 3: 高速サンプラ構成

本システムは 0.1~2.0GHz の受信信号を 4 つのバンドパス・フィルタで 32 MHz 4ch ゼロ冗長配列に帯域幅制限し，1 bit，256 Msps でサンプリングすることだけにより周波数変換及び信号合成して (高次モードサンプリング)，レコーダに記録する．本方式の有効帯域幅は 381.6 MHz である．また，Timing Control

Unit を用いてデータとレコーダの同期, 制御を行う。本システムは簡便でありながら非常に高精度なシステム (測地決定精度 6 mm) を目指すものである。サンプリング・ボードは本システム専用に作製されたものである。サンプリング・クロック 512 MHz で動作し, 1 bit, 256 Msps のデータを出力する (レコーダへのデータ出力フォーマットの関係から, 基板上でデータを間引く構造になっている)。入力応答周波数は 100 ~ 2000 MHz であり, 最大 2 bit, 1024 Mbps まで拡張可能である。

3 システム特性試験 (実験室データ)

図 4 に高次モード方式用高速サンプリングボード外観を示す。電源ラインはノイズ・コンデンサーやチョーク・コイルを用いてノイズ対策を行い, サンプリング・ボード部と電源部は 2 階構造となっており, アルミ板で仕切られている。外来ノイズに対しては, 冷却用ファンにノイズ対策用の金網等を付けるなどの対策を行った。また, 位相安定試験では長時間の位相安定が確認され, 若干の温度依存性もサンプリングボード内の空流を考慮することで改善された。またサンプリングボード間の位相がかなり安定するまでに, 電源投入後 5 時間程必要である。



図 4: 高次モード方式用高速サンプリングボード外観



図 5: 国土地理院様より借用中の NAOCO

実験室データの自己・相互相関処理は図 5 に示す簡易型相関器 (NAOCO) で行った。図 6 に実験室データの相互相関結果を示す。図 6 左は, 入力信号が白色雑音のみの時の相互相関スペクトルである。高次モードサンプリングされ, 0 ~ 128 MHz に周波数変換・信号合成された 4 チャンネルのフィルタ特性を見ることができる。次に図 6 右は, 白色雑音に CW 1468 MHz を加えたときの相互相関スペクトルである。1468 MHz の信号が高次モードサンプリングにより, 理論通りに 40 MHz に周波数変換されていることが確認できる。

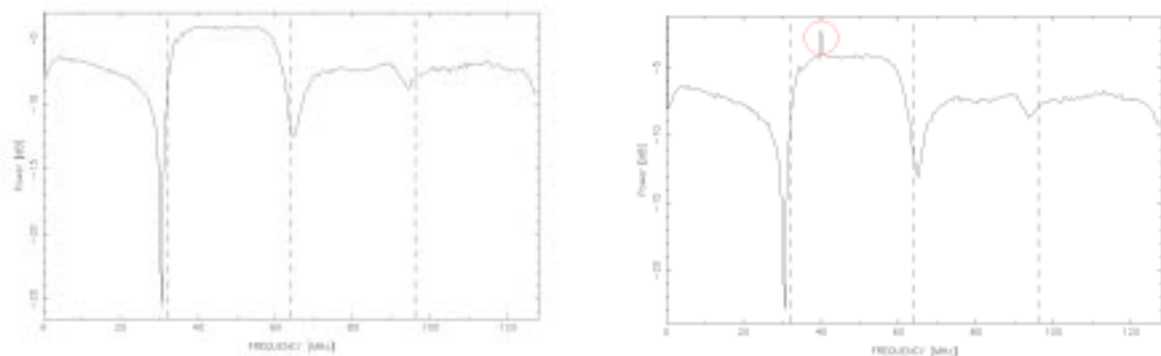


図 6: 実験室相互相関結果 (左: 白色雑音のみ, 右: 白色雑音 + CW 1496 MHz)

4 Higher-Order Sampling Experiment

1998年11月19日に郵政省通信総合研究所鹿島34mアンテナと文部省国立天文台水沢10mアンテナとの間で、高次モードサンプリング32MHz4ch方式を用いた22GHz試験観測を行った。図7に水沢10m局側、図8に鹿島34m局側の観測風景を示す。本システムと併せて比較検討のためにVSOPターミナルでも並列記録した。観測システムとしては、特に大きなトラブルもなく順調に終了した。



図 7: 水沢 10m 局側



図 8: 鹿島 34m 局側

相関処理は国立天文台三鷹FX相関器で行い、初フリンジを検出することに成功した。結果として、観測した9天体のうち8天体(3C84, 3C273B, DA406, NRAO530, OX057, 3C446, CTA102, 3C454.3)で、4チャンネル全てにフリンジが得られた。図9に3C273Bのフリンジ(2ch 672-704MHz LSB)を示す。

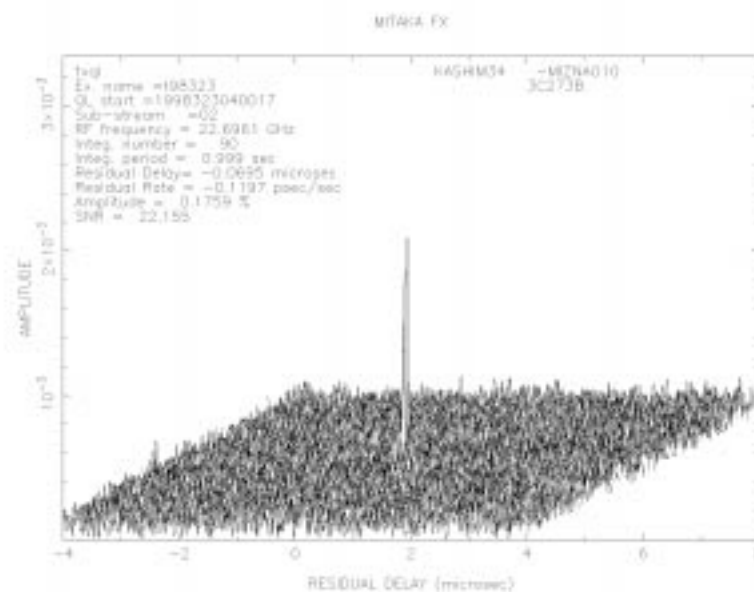


図 9: 3C273B フリンジ (LSB 2ch 672-704MHz)

先にフリンジを検出したVSOPターミナルと同じクロック・パラメータを使用してラグ・センターにフリンジを検出できたことより、本システムのクロック系も正常に動作していたことがわかる。しかし相関振幅に関しては、記録されたデータにDC成分が多くのものであったこともあり、VSOPターミナルの値よりも低いものとなっている。原因として、本システム側の観測開始前の入力レベル設定が低かったことと、クロックの回り込み等が考えられる。

5 チャンネル分離

高次モードサンプリングにより周波数変換・信号合成された信号は、地球自転等によって天体からの受信周波数がドップラー変化することを利用し、チャンネル分離ができる。即ち、各チャンネルのフリンジ回転周波数が異なるので、希望するチャンネルのフリンジ回転パラメータと異なるチャンネルは無相関となり検出されない。そこでチャンネル毎にパラメータを変え、4回の相関処理を行った。図10～図13に1～4chのチャンネル分離後の図を示す。これらの図からわかるように、希望とするチャンネルにのみ相関が出ていることがわかる。またバンドパス・フィルタ特性が理想フィルタではないために、隣接したチャンネルに漏れ込んでいることもわかる。ちなみに256Mbpsで4時間観測した本データに対して、128Mbps再生で処理した結果、観測時間の8倍の24時間が相関処理に必要であった。

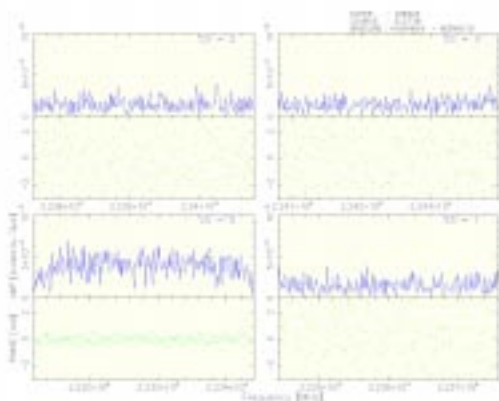


図 10: USB 1ch 512-544MHz (左下)

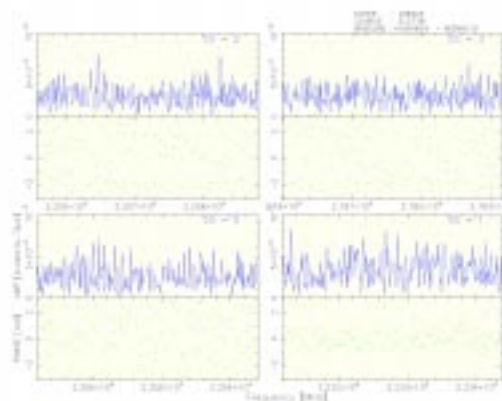


図 11: LSB 2ch 672-704MHz (右下)

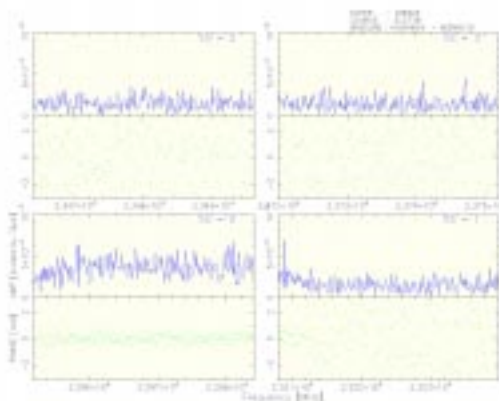


図 12: LSB 3ch 1152-1184MHz (左下)

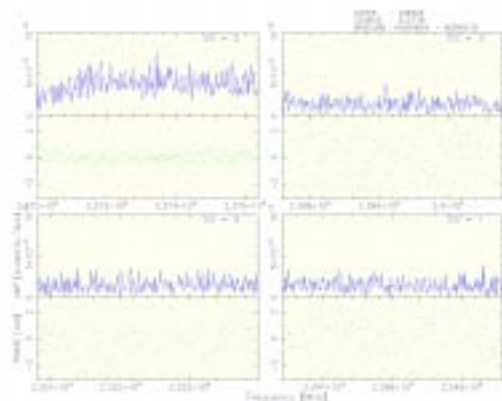


図 13: LSB 4ch 1472-1504MHz (左上)

6 まとめ

今回の試験観測で『高次モードサンプリング 32MHz4ch 方式による VLBI』で初フリンジを検出することに成功した。今後の課題としては、サンプリング時の DC 成分除去と4チャンネルのバンド幅合成を行うことが挙げられる。応用として、広帯域データ取得可能であることとチャンネル間位相が安定であることを利用した SiO メーザー 4 輝線観測と、ギガビットシステムでの高次モード観測が考えられる。