

ギガビット VLBI における効率的なフリンジ検出法

木村守孝 (東大)、中島潤一、関戸衛、小山泰弘 (通信総合研究所)

1 はじめに

通信総合研究所と国立天文台の共同開発で 1Gbps 記録が可能なギガビット VLBI システムを開発した。このシステムは帯域幅 512MHz、量子化 1 ビット、1 チャンネルの VLBI 装置である。帯域幅が他の VLBI 装置比べ約 1 桁大きいため検出感度、SNR において約 3 倍の向上がもたらされた。また、1 チャンネルなのでバンド幅合成を行う必要が無く、郡遅延の測定精度も向上すると考えられる。しかし、1 チャンネルのために最初のフリンジを見つけることが難しくなってしまった。ギガビット VLBI 専用相関器のサーチウインドウ内にフリンジを見つけるためには遅延オフセット量の誤差を $\pm 0.1\mu\text{sec}$ 以下にする必要がある。しかしながら、各局の時計の同期ずれ、ケーブル長のずれ等の影響のために誤差はこの値より大きなものとなってしまい、フリンジを見つけるために何度も相関処理をやり直す必要があった。この遅延オフセット量は観測中は一定と考えられるため、一度フリンジが検出されるとそこから正確な遅延オフセット量が得られ、その後の相関処理は簡単にフリンジを見つけることが出来る。そこで、最初のフリンジを効率的に見つけるためにソフト相関器を開発した。このソフトにより遅延オフセット量に対する許容量を最大 $\pm 2\text{msec}$ と大きくすることができた。このソフトを用いることによりギガビット VLBI の相関処理が大変効率的になった。今回の報告ではソフト相関器を用いたフリンジ検出について紹介する。

2 専用相関器を用いたフリンジ検出における問題点

ソフト相関器によるフリンジ検出を紹介する前に専用相関器のフリンジ検出における問題点について説明する。ギガビット VLBI で用いられる専用ハード相関器の仕様は以下のようである。

相関処理	XF 型
データレート	1024Msps
ラグ数	256
積分時間	1 秒 (固定)

表 1 専用ハード相関器の仕様

我々の開発したギガビット VLBI のサンプリング周波数は 1024MHz であり、1 サンプルあたりの時間は約 1nsec である。相関器のラグ数は 256 ラグなので、相関処理時において各局のディレイオフセット量を $\pm 128\text{nsec}$ 以下の精度で予測できなければフリンジは見つからない。これに対して、従来の VLBI ではサンプリング周波数が 2 桁程度小さいのでオフセット量を数十 μmsec の精度で予測するだけで良く、フリンジ検出においてディレイオフセット量の誤差が問題となることは無かった。128nsec という時間は電気長に換算すると約 30 メートルとなる。この長さは観測時にどの長さのケーブルを用いたとか、1pps 信号はどの口から取り出したかによって十分には発生しうる量である。これらの値は一度配置を決めてしまえば固定量となるが、我々はさまざまな観測局に装置を運び込んで観測を行っているため、この値は観測毎に変化する。さらに観測局は GPS 時計で各観測機器が同期されてはいるが、この精度は約 $1\mu\text{sec}$ 程度であるためいくらケーブル長を厳密に予測したところで、時刻の同期ずれによってフリンジは相関器のサーチウインドウ内で発見できる可能性は大変に少ない。そのため、最初のフリンジを見つけるために相関処理を何度も行う必要があった。この場合、テープの同期再生等のオーバーヘッドのため 256 ラグの領域を調べること数分程度の時間を必要とする。もし、観測局の時計が数 μ 秒ずれていたらフリンジを見つけるために数時間を要してしまい、大変相関処理の効率が悪かった。

FX 型の相関処理では処理時間の大半を FFT が占めている。この部分の計算強度は分光点数を n とすると $o(n \log n)$ である。一度に n サンプル分の FFT をおこなえば、全体として FFT を行う回数は $o(\frac{1}{n})$ となるので、トータルの計算強度はこの二つの積となり $o(\log n)$ となる。実際の測定時間からも分光点数の対数に計算時間が比例していることがわかる。最大の分光点である 4194304 を与えた場合、ディレイオフセット量の誤差に対する許容量は $\pm 2msec$ 、電気長に変換すると 600km となる。このためソフト相関を用いたフリンジ検出の場合、ディレイオフセット量の誤差については全く考慮する必要は無く、簡単にフリンジ検出が可能である。

4 臼田-鹿島基線でのソフトフリンジ検出の例

最後にソフト相関をもいちたフリンジ検出の実例を示す。1999 年 3 月に鹿島局と臼田局間でギガビット VLBI の試験観測をおこなった。専用相関器でフリンジ検出を何度も試みたが検出することはできなかった。ソフト相関でこの観測データを広範囲に渡ってフリンジを探したところ専用相関器で探していた領域から約 5μ ずれた所に見つかった。 $5\mu sec$ というオフセット誤差は専用相関器で探す事は大変困難であるが、ソフト相関で探す場合には全く影響を与えないの小さな量である。ソフト相関後に、このずれを補正してハード相関器でフリンジ検出にも成功した。もし、ソフト相関器が無ければフリンジは検出できず、観測自体が失敗となってしまうところであった。

フリンジの位置がずれた理由として考えられる原因はサンブラックの消失と思われる。我々が用いているサンプラの出す 32MHz のクロックが極まれに不安定な状態になることがある。その場合、後段の装置の同期がずれてしまいフリンジが見つかる場所が大きくずれてしまうと考えられる。サンブラックの問題については現在調査中である。

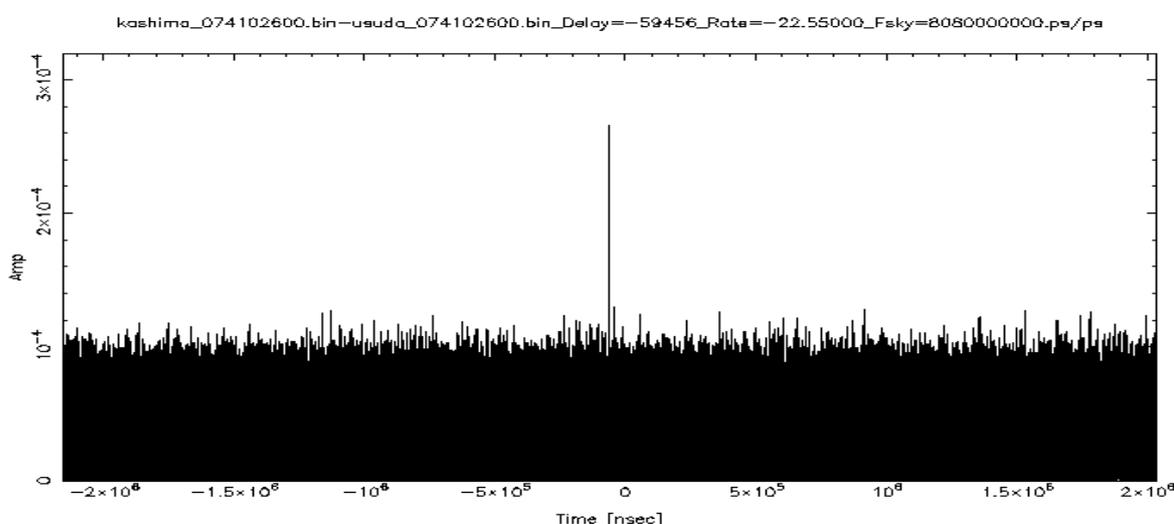


図 2: 臼田-鹿島基線でのソフト相関 結果

5 今後

インターネットを用いたデータ転送と今回開発したソフトウェア相関器を組み合わせることにより、観測中にフリンジ検出が可能となる。次回の観測ではインターネットを用いた実時間フリンジ検出を試みる予定である。