

VLBI 相関処理データの高速フリンジサーチについて

On the 2nd order fringe search in VLBI data processing

近藤 哲朗[1], 大崎 裕生[2], 小山 泰弘[3]

Tetsuro Kondo[1], Hiro Osaki[2], Yasuhiro Koyama[3]

[1] 通総研鹿島, [2] 通総研鹿島宇宙通信研究センター応用G, [3] 通信総研・鹿島

[1] KSRC,CRL, [2] Radio Astronomy Applications Group, KSRC, CRL, [3] CRL/KSRC

<http://www2.crl.go.jp/ka/radioastro/index-J.html>

1. はじめに

通常の測地 VLBI 観測は数分の積分時間を想定した観測であり、水素メーザ周波数標準を使用した場合は、相関処理データのフリンジサーチにおいても 1 次の位相変動分をサーチするだけで十分であった。しかしながら、微弱な電波源に対して信号検出を目的として数 10 分以上の観測を行った場合、通常は位相の 2 次以上の変動成分の影響により長時間積分が困難であった。そこで、従来のフリンジサーチに 2 次の位相変動までのサーチ機能を追加した。その結果、30 分積分においても残差位相の変動を ± 50 度程度に押さえることができた。実際に信号強度が極端に弱くなる時期の「のぞみ」探査体に対して 2 次サーチを適用したところ、従来のサーチ方法では検出できなかったフリンジを検出することに成功し、2 次サーチの有効性が確かめられた。

2. 2 次のフリンジ位相サーチ

VLBI の相関処理はまず数秒程度の短い積分時間を単位とした相関処理を行い、その単位積分時間 (PP) の処理データを更に積分を行うという二段階のプロセスを経るのが普通である。従来の方法では PP 毎のデータを更に積分する際にフリンジ位相が時間と共にリニアに変動するもの (フリンジレート) としての積分しか行わなかった。この積分にはフーリエ変換を用いることができ、VLBI 技術が発展を始めた当初の非力な計算機においても FFT を用いることにより、効率よく広範囲のフリンジレートをサーチすることができた。更に、観測に使用する水素メーザの安定度や、せいぜい数 100 秒という観測時間を考えた場合はレートのサーチのみで十分であった。ところが、通総研と宇宙研が共同で進めている相対 VLBI による宇宙飛行体の軌道決定研究において、2003 年 6 月に予定されている火星探査体「のぞみ」の地球スイングバイ以前の信号強度が非常に微弱な時期に VLBI で軌道決定を行う必要性が生じた。その時期は 30 分以上の積分が必要な信号強度であった。そこで、長時間積分を行うため 2 次のフリンジ位相サーチプログラムを開発することとした。PP データの SN 比が良く PP 毎の位相がある程度求められている場合はその位相変動を適当な多項式で近似することにより、容易に高次の位相変動成分を補正した積分が可能である。しかしながら、信号強度が弱い場合はこの方法を採用することはできず、定義にしたがってフリンジ位相の 2 次項を補正しつつ積分を行う必要がある。具体的には遅延時間の 1 次の変化率 ($\Delta \tau \dot{}$) および 2 次の変化率 ($\Delta \tau 2\dot{}$) を様々に変化させながら積分を行った相関強度が最大となる $\Delta \tau \dot{}$ および $\Delta \tau 2\dot{}$ を求める作業となる。この計算は初期の計算機では膨大な時間を要し、定常処理用途では非現実的なものであったが、昨今の PC では、適切にサーチ範囲を設定してやればそれほど時間を費やす計算ではなくなった。実際の計算ではまず $\Delta \tau 2\dot{}$ の効果をすべての PP データに対して補正を行い、その補正された PP データに対して従来の FFT による高速フリンジサーチを適用している。こうしてをサーチ範囲のなかで少しずつ変えながら計算を繰り返し、相関強度が最大となる $\Delta \tau 2\dot{}$ を求めた。 $\Delta \tau 2\dot{}$ のサーチ範囲はこの項によるフリンジ位相回転が 8 GHz において 100 秒で数回転程度であろうと仮定し、 $-2.0\text{E}-15 \sim +2.0\text{E}-15 (\text{s/s}^2)$ とした。

3. 「のぞみ」VLBI 観測への適用

「のぞみ」は 2002 年 12 月に 1 回目の地球スイングバイを実施し、2003 年 6 月に火星に向かうための 2 回目の地球スイングバイを行う。この間、「のぞみ」の姿勢と地球の位置関係により、「のぞみ」からのテレメトリ信号強度は極端に弱くなる。この間の「のぞみ」軌道決定に役立てるために、臼田 64m - 鹿島 34m で相対 VLBI 観測を実施しているが、2003 年 1 月 23 日の観測では通常のサーチ法で 30 分積分したが、相関は検出されなかった。そこで、新たに開発した 2 次のフリンジ位相サーチを適用することにより、フリンジ検出に成功することができた。

4. 終わりに

今回開発した 2 次サーチ法は、弱い電波源のフリンジ検出のみを目的とした電波天文目的の観測に威力を発揮することができる。また安定度の劣る周波数標準で観測した場合のフリンジ検出にも威力を発揮するものと期待される。ただし、こうした観測を測地目的で使用するには、観測間のクロック情報をいかに精度良くつなげるか

という問題は別途考慮する必要がある。