VLBI相関処理データの高次フリンジサーチについて

On the 2nd order fringe search in VLBI data processing

通信総合研究所

Communications Research Laboratory

近藤哲朗、大崎裕生、小山泰弘

T. Kondo, H. Osaki, Y. Koyama

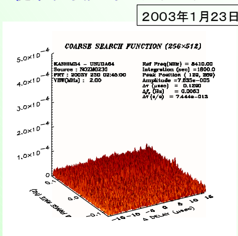
通常の測地VLBIは数分の積分時間を想定した観測であり、相関処理データのフリンジサーチにおいても1次の位相変動分をサーチするだけで十分であった。しかしながら、微弱な電波源に対して信号検出を目的とした数10分以上の観測を行った場合、位相の2次以上の変動成分の影響により長時間積分が困難となる場合がある。そこで、従来のフリンジサーチに2次の位相変動までのサーチ機能を追加した結果、30分以上の積分が可能になった。実際に信号強度が極端に弱くなる時期の「のぞみ」探査体に対して2次サーチを適用したところ、従来のサーチ方法では検出できなかったフリンジを検出することに成功し、2次サーチの有効性が確かめられた。

「のぞみ」を鹿島－臼田基線で30分に亘って観測した例

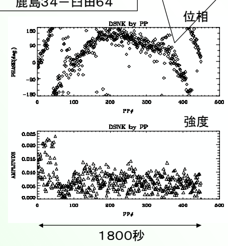
フリンジ位相の2次以上の変動

従来（1次）フリンジサーチ

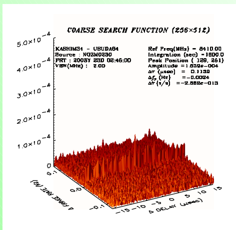
2003年1月23日　鹿島34－臼田64



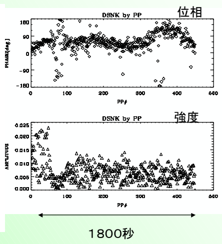
SNR＝6．6



2次フリンジサーチ

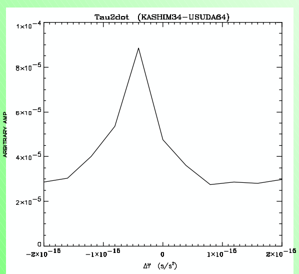


SNR＝13．9

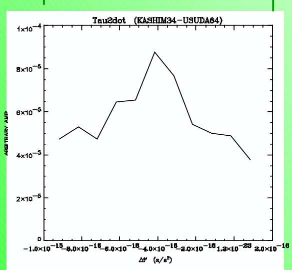


SNR（信号対雑音比）が改善

$\Delta\ddot{\tau}$　サーチ結果



$\Delta\ddot{\tau}$　サーチ結果



通常のフリンジサーチ（粗決定サーチ）

相関器出力（複素相互相関関数）＝＝＝＞ビデオクロススペクトル

$$R(n,d,k) \xrightarrow{\text{FFT}} S_v(n,j,k)$$

$R(n,d,k)$：周波数ch　ラグ指標　時間

$S_v(n,j,k)$：周波数ch　周波数指標（ビデオ帯）　時間

ビデオ帯域内で $\Delta\tau$　時間方向に $\Delta\dot{\tau}$　の補正を行い積分をすると、

$$F(n,\Delta\tau,\Delta\dot{\tau}) = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\left\{\frac{1}{j-1}\sum_{j=1}^{J-1} S_v(n,j,k)e^{-i2\pi f_j^v \Delta\tau}\right\}\cdot e^{-i2\pi f_0^n \Delta\dot{\tau}\Delta tk}$$

ここで f_j^v ：ビデオ帯域内の指標 j に対応する周波数

f_0^n ：n-chのRF周波数　Δt ：時間方向の間隔

粗決定サーチ関数

$$\boxed{F(\Delta\tau,\Delta\dot{\tau}) = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left|F(n,\Delta\tau,\Delta\dot{\tau})\right|}$$

$F(\Delta\tau,\Delta\dot{\tau})$　を最大化する

$\Delta\tau$，$\Delta\dot{\tau}$ を求めるのが粗決定サーチ

ところで、

$$F(n,\Delta\tau,\Delta\dot{\tau}) = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\left\{\frac{1}{j-1}\sum_{j=1}^{J-1} S_v(n,j,k)e^{-i2\pi f_j^v \Delta\tau}\right\}\cdot e^{-i2\pi f_0^n \Delta\dot{\tau}\Delta tk}$$

は、$\Delta\tau$ および $f_0^n\Delta\dot{\tau}$ に関して二次元フーリエ変換の式

フリンジサーチ（2次）

ビデオ帯域内で　$\Delta\tau$　時間方向に $\Delta\dot{\tau}$ および $\Delta\ddot{\tau}$ の補正を行い積分をすると、

$$F(n,\Delta\tau,\Delta\dot{\tau},\Delta\ddot{\tau}) = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\left\{\frac{1}{j-1}\sum_{j=1}^{J-1} S_v(n,j,k)e^{-i2\pi f_j^v \Delta\tau}\right\}\cdot e^{-i2\pi f_0^n\left(\Delta\dot{\tau}\Delta tk+\frac{1}{2}\Delta\ddot{\tau}(\Delta tk)^2\right)}$$

$$\boxed{F(\Delta\tau,\Delta\dot{\tau},\Delta\ddot{\tau}) = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left|F(n,\Delta\tau,\Delta\dot{\tau},\Delta\ddot{\tau})\right|}$$

$F(\Delta\tau,\Delta\dot{\tau},\Delta\ddot{\tau})$　を最大化する $\Delta\tau$，$\Delta\dot{\tau}$，$\Delta\ddot{\tau}$　を求めれば良い

具体的計算方法

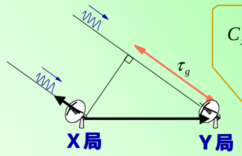
1．ビデオクロススペクトルに $\Delta\ddot{\tau}$ の補正を最初に行う

$$S'_v(n,j,k) = S_v(n,j,k)\cdot e^{-i2\pi f_0^n\cdot\frac{1}{2}\Delta\ddot{\tau}(\Delta tk)^2}$$

2．$S'_v(n,j,k)$ に対して通常のフリンジサーチを行い $F(\Delta\tau,\Delta\dot{\tau})$ の最大値 $F_{\max}(\Delta\ddot{\tau})$ および　その時の $\Delta\tau$，$\Delta\dot{\tau}$　を得る

3．$\Delta\ddot{\tau}$ を少しずつ変えながら1，2を繰り返し $F_{\max}(\Delta\ddot{\tau})$ を最大化する $\Delta\ddot{\tau}$ および　その時の $\Delta\tau$，$\Delta\dot{\tau}$　を得る

クロススペクトル



$$C_{xy}{}^{v}(f) = \sqrt{T_{ax}T_{ay}}\,e^{i(2\pi f\tau_g+\theta)}$$

ここで　T_{ax}　X局受信電波強度

T_{ay}　Y局受信電波強度

$\theta = \phi_y - \phi_x$　局発位相差等

f　RF周波数

$f = f_0 + f_v$

f_v：ビデオ周波数

f_0：RFベースバンド周波数

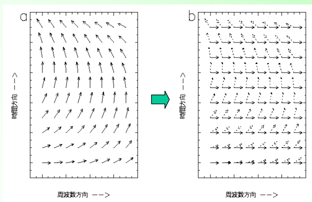
位相差 $\phi(t) = 2\pi f\tau_g(t)$

相関処理は $\tau_g(t)$ の予測値を用いて行う

残差 $\Delta\tau_g(t)$　を求める作業 ⇒ フリンジサーチ

$$\Delta\tau_g(t) = \Delta\tau_0 + \Delta\dot{\tau}t + \tfrac{1}{2}\Delta\ddot{\tau}t^2 + \tfrac{1}{6}\Delta\dddot{\tau}t^3 + \cdots$$

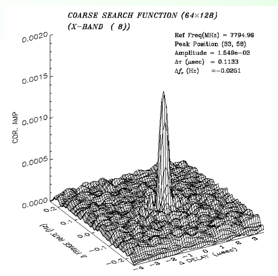
フリンジサーチ（粗決定サーチ）



$\Delta\tau$　周波数方向への位相回転を引き起こす

$\Delta\dot{\tau}$　時間方向への位相回転を引き起こす

粗決定サーチ関数例



まとめ

★ 2次位相変動までサーチするフリンジサーチプログラムを開発した

★ 「のぞみ」VLBI観測の30分積分に適用し有効性が確かめられた

★ 微弱電波源の検出を目的とした観測に威力を発揮すると期待される