

III-1 概 説

杉 本 裕 二*

(昭和59年7月3日受理)

1. はじめに

VLBI 実験は大きく分類すると、観測、相関・一次処理、解析という3段階の手順を踏む。この中で相関・一次処理は、観測によって得られたデータ中、大部分を占める雑音成分を除去し、一観測当たりの遅延時間、遅延時間変化率を求めることをいう。この結果は解析に引きつがれ、そこで各局の座標、各局間の距離、時計のずれ等が求められる。

現在、鹿島、ヘイスタック観測所（アメリカ）、ボン（西ドイツ）で Mark III データフォーマットで記録された、大陸間 VLBI データの相関処理が可能である。このうちボンは、ヘイスタック観測所で開発された Mark III システムを使用している。また JPL（ジェット推進研究所、アメリカ）は、BLOCK II という相関処理システムを開発中である。

2. 相関処理の原理

遅延時間、遅延時間変化率を求めるために、相互相関をとるという理由を次に述べる。VLBI では電波源（主に準星）が発している電波を受信する。これは正規分布をしている雑音とみなせる。これにX局、Y局の受信系雑音が加わった受信信号 $X(t)$ 、 $Y(t)$ の遅延時間 τ_g を推定することは、次式のように二乗誤差 $Q(\tau_g)$ を最小にするような τ_g を求めることである。

$$\begin{aligned} \text{Min } Q(\tau_g) &= \text{Min} \int_{-\infty}^{+\infty} \{X(t) - Y(t + \tau_g)\}^2 dt \\ &= \text{Min} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} X^2(t) dt + \int_{-\infty}^{+\infty} Y^2(t + \tau_g) dt \right. \\ &\quad \left. - 2 \int_{-\infty}^{+\infty} X(t) \cdot Y(t + \tau_g) dt \right] \quad \dots\dots(1) \end{aligned}$$

(1)式の第1項および第2項は自己相関関数であるから、長時間積分すると τ_g に無関係になるから、結局第3項を最大にすればよい。

$$\begin{aligned} \text{Max} \int_{-\infty}^{+\infty} \{X(t) \cdot Y(t + \tau_g)\} dt \\ \equiv \text{Max } R_{xy}(\tau_g) \quad \dots\dots(2) \end{aligned}$$

(2)式は相互相関関数を表している。すなわち2信号間の相互相関関数の値を最大にする τ_g が、遅延時間差の最も良い推定値になる。したがって、 τ_g を予測値付近で変化させ、(2)式を満足する τ_g を得ている。

3. システムの概要

図に相関処理システムのブロック図を示す。相関器制御・相関データ収集ソフトウェアによって、同期制御されたデータレコーダで再生された信号が、相関処理装置に入る。相関処理装置は、処理解析計算された予測遅延時間等の相関パラメータをもとに複素相関をとり、雑音を除去するために一定時間積分する。この積分結果を相関生データと呼んでいて、処理解析計算機に送られる。

相関生データはまだ雑音成分が多く、直接遅延時間を決定できない。このため相関生データは、一旦処理解析計算機の外部記憶装置に入り、バンド幅合成ソフトウェアによりさらに積分されて、雑音成分が除去される。また、時間軸上での積分だけでなく、広い周波数帯域でも合成を行い、得られた相関関数から、予測値からのずれを求める。このずれと予測値から一観測当たりの遅延時間、遅延時間変化率を求める。

バンド幅合成後のデータは、IVのデータ解析ソフトウェアに引き渡される。

4. 処理方法

4.1 データの同期

2信号間の相関をとるためには、信号間で時刻の同期をとる必要がある。リアルタイムの相関では、2信号間に遅延がある場合、予測遅延時間分シフトレジスタ等により、片方の信号を遅らせることにより同期が達成できる。

しかしVLBIでは、一旦テープに信号を記録し、オフラインで再生するため、最初にテープ再生の同期が必要になる。K-3システムでは、テープを再生し、そこに含まれているデータ記録時刻差と予測遅延時間との差を相関処理装置で計算し、その値を基にして片方のデータレコーダの走行速度を変化させることにより、同期を行っている。しかし、K-3システムで使用している磁気テープは、記録密度が極めて大きいので完全にビット単

* 鹿島支所 第三宇宙通信研究室

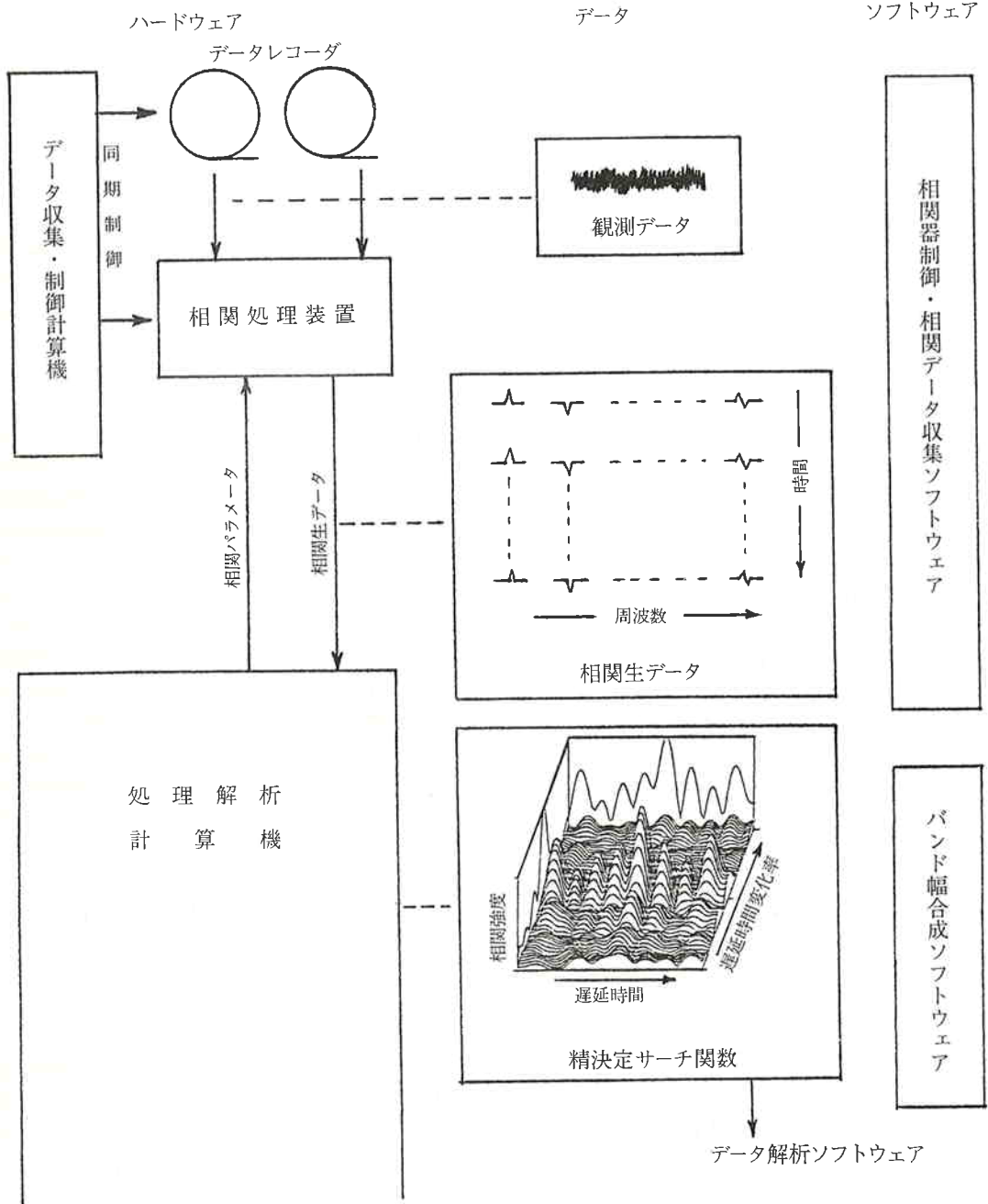


図 相関・一次処理システム

位で同期は不可能である。ここで、データレコーダによる同期は ± 1000 ビット (テープ長では ± 0.8 mm) 以内として、残留同期誤差は相関処理装置内にあるバッファメモリによって吸収され、ビット同期が達成される。

4.2 相関処理

VLBI データの相関処理では、一般の信号処理と異なり受信システム雑音よりはるかに微弱な電波源の信号を

取り扱う。この信号を検出するためには、相関後長時間積分することにより、ランダムな受信システム雑音を除去することが必要になってくる。長時間積分を計算機で行うと、データ量が膨大なため処理時間が長くなってしまう。このため K-3 システムでは相関処理装置内のハードウェアによりある程度 (2~8 秒) の間、観測局間の遅延変化、ドップラーによる相関値の位相変化を補正

しながら積分する。この積分により、電波源からの信号を低下させずに、各受信系で独立に加わっている雑音のみを低減させ、相関値の S/N を大幅に向上させている。通常の観測（サンプリング速度 4 MHz、積分時間 8 秒）の場合、約 15 万分の 1 にデータが圧縮されることになる。

遅延時間を高精度で求めるためには、さらに長時間（通常数分の観測データ）の積分が必要である。しかし相関処理装置内のハードウェアによって一定の遅延変化パラメータ（予測値）を用いて長時間積分する場合、予測値の精度のため相関がぼやけてしまうので、次に述べるバンド幅合成ソフトウェアで長時間積分を行っている。

4.3 バンド幅合成

観測周波数帯域が広い程、遅延時間決定精度は高くなるが、広帯域信号を直接記録・処理するのは困難である。K-3 システムで通常 1 チャンネル当たり 2 MHz に帯域制限された信号を、約 420 MHz 帯域内に 8 チャンネル分布させて観測する。それらの観測データをチャンネルご

とに相関処理装置で処理した相関生データを、周波数軸上でソフトウェアによって合成することにより、全帯域データを処理したのに近い精度を得ている。この合成をバンド幅合成と呼んでいる。

バンド幅合成は、相関処理装置出力データに微小の遅延残差、遅延時間変化率残差を補正しつつ、時間方向に積分し、さらに周波数チャンネル方向に合成し、相互相関が最大になる遅延時間、遅延時間変化率を決定する手法である。バンド幅合成ソフトウェアは粗決定および精決定という 2 段階になっている。

粗決定は相関処理が正常に行われたかどうかを判断するために、各チャンネルで時間軸積分し、各チャンネル間は位相補正をしないで加算したもので、10 nsec の遅延時間決定精度を短時間で得るものである。

精決定は粗決定で得られたフリンジ回転結果から、位相変化をも補正しながら合成するもので、0.1 nsec (3 cm 長) という高精度な遅延時間決定精度を得ることができる。

