

研 究

3.3.3 実時間データ処理システム

浜 真一*¹ 木内 等*¹ 関戸 衛*² 近藤 哲朗*²
 高橋 幸雄*² 金子 明弘*¹ 吉野 泰造*¹ 今江 理人*³

(1995年10月16日受理)

3.3.3 REALTIME VLBI DATA PROCESSING SYSTEM

By

Shin'ichi HAMA, Hitoshi KIUCHI, Mamoru SEKIDO,
 Tetsuro KONDO, Yukio TAKAHASHI, Akihiro KANEKO,
 Taizoh YOSHINO, and Michito IMAE

The Communications Research Laboratory (CRL) has developed Realtime Correlation processing Interface (RCI) and Realtime KAnameishi data processing Togo Software (RKATS) to carry out realtime VLBI data processing. RCI is designed so that realtime equipment can be substituted for a data recorder in an ordinary VLBI system. Therefore, consideration of the proper form of ATM data is not necessary for data processing. Required buffer memory for realtime VLBI is also discussed. RKATS is characterized by its robustness and dynamic clock parameter adjusting.

[キーワード] 実時間 VLBI, KSP, 相関処理.

Realtime VLBI, KSP, Correlation processing.

1. 実時間データ処理システムの概要

実時間データ処理システムは、第1図に示すように、ATM/VLBI用データ受信装置、4台のRCI (Realtime Correlation Interface; 実時間相関処理インターフェイス装置)、6台の相関器、RKATS (Realtime KAnameishi data processing Togo Software; 実時間要石データ処理統合ソフトウェア)、およびそれらを制御する計算機から成る。なお相関処理局である小金井局のデータも、他局と同様に ATM 網を経由している。このうち ATM/VLBI用データ受信装置については、「3.3.2 ATM 高速デジタル回線による VLBI データ伝送」で論じる。また相関器と計算機とは通常の磁気テープを用いる(以下、「テープベース」と言う)システム⁽²⁾と基本的に同じであるので省略し、ここでは RCI と RKATS について述べる。

通信総合研究所では RCI と RKATS とを開発した。

従来のテープベースでの VLBI との関係は、「観測機器や相関器側から見て、テープベースでの VLBI と変わりがないようにする」つまり、テープベースでのデータレコードが、そのまま ATM 網とそのインターフェイス装置に置き換わる、というものである。具体的には ATM/VLBI データ受信装置の入力は、観測機器の入力インターフェイス装置の出力(8本並列, ECL, 最大 256 Mbps)と整合し、また RCI の入力側は ATM 伝送装置の出力と、出力側は相関器の入力(16 ch, ECL, 最大 512 Mbps)と整合する。すなわち RCI から見ると、ATM 特有の「53 バイト毎に区切られたパケット」は意識する必要がない。

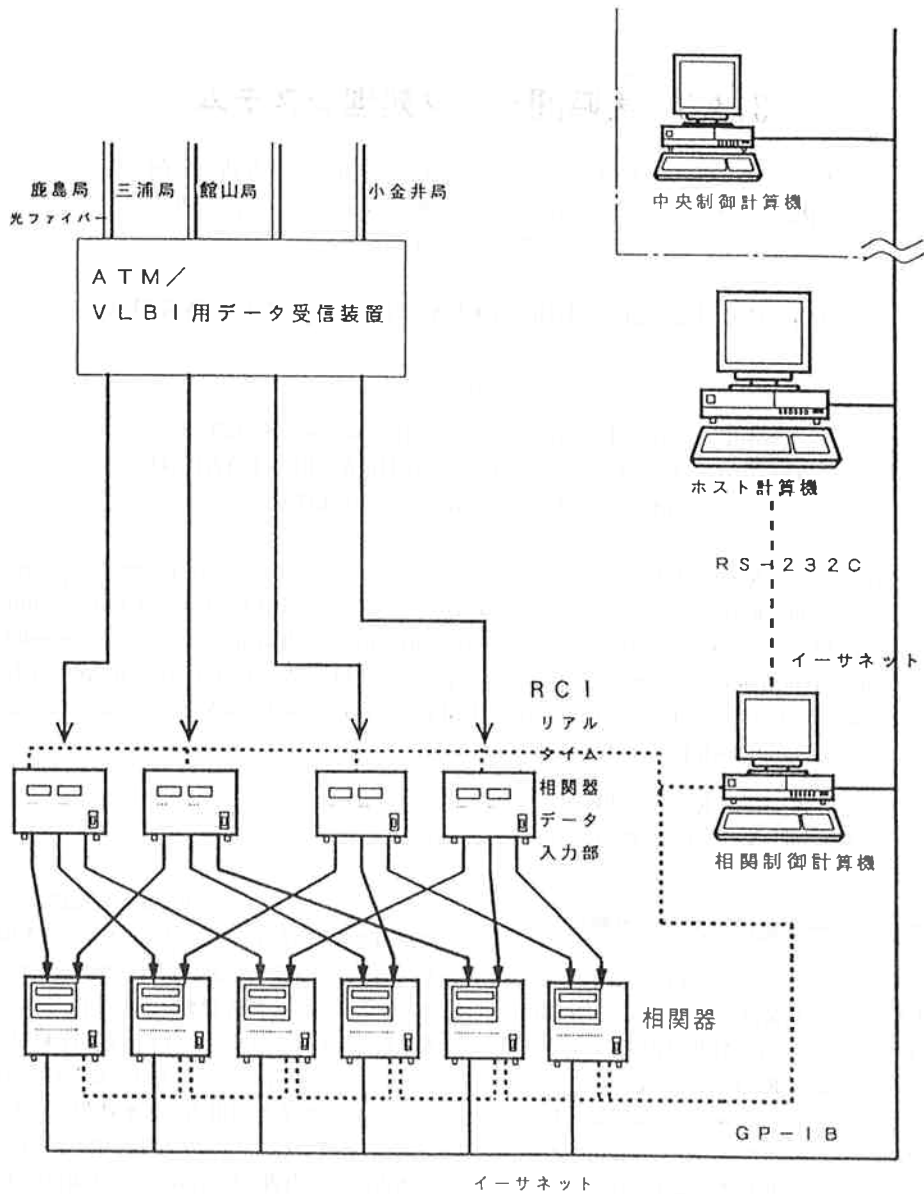
2. 信号伝送による遅延の補償

第2図に示すように、各観測局で観測された信号は時間 τ_i をかけて相関処理局に伝送される。この各局毎に異なる τ_i は、補償されなくてはならない。テープベースの相関処理の場合は、幾何学的遅延時間 τ_g およびその時間的変化を補償するのに、以下のような手段を用いている。

*¹ 標準計測部 時空技術研究室

*² 関東支所 宇宙電波応用研究室

*³ 標準計測部 周波数標準課



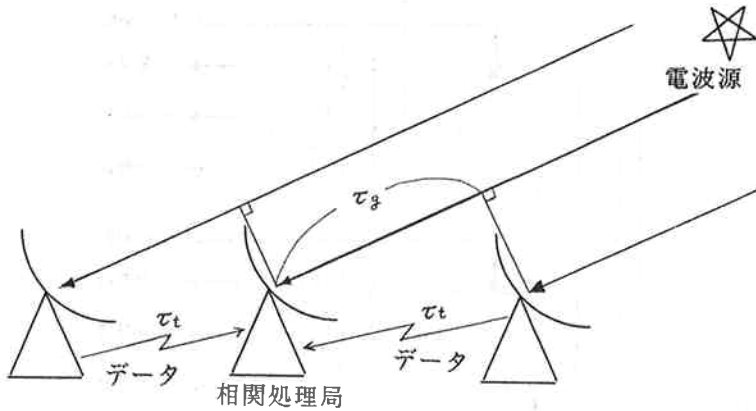
第1図 実時間データ処理システム

- ・テープ上のID番号(テープ上のアドレスに相当)を利用する。
- ・実際にテープを再生してみて進みすぎている方を遅らせる。
- ・バッファメモリで差を吸収、即ち遅らせるべきデータをメモリに書き込み、遅延時間ぶんだけ遅らせてメモリから読み出す。

しかし実時間相関処理の場合はテープを用いないので、このうちバッファメモリの利用が唯一の解となる。

実際にどれだけのバッファメモリが必要となるであろうか？ まずKSPにおいて、相関器の性能の上限であるトータル512Mbps(32Mbps×16チャンネル)観測を前提として、1チャンネルあたり要求されるバッファを計算する。なお、後でKSPの枠を越えてさらに国際基線での実時間VLBIの場合も検討する。

信号伝送による τ_1 では、相関処理局に最も近い観測局を基準として他の観測局が遅れる。光ファイバの屈折率は約1.45なので、光ファイバ中の実効的な光速度は



第2図 信号伝送による遅延の補償

約 2.1×10^8 m/s となる。信号の伝送による遅延 τ_t は、KSP の場合相関処理局に対する最も長い基線長 123.4 km に対して計算してみると約 0.6 ms、実際のファイバは最短ルートを通らないことを考えても 1 ms というオーダーであることがわかる。これは 32 k ビットに相当する。

ゆえに、KSP の場合は相関処理局に最も近い観測局のデータを 1 チャンネルあたり 32 k ビットだけ予め遅延させておけば十分である。

次に国際基線での実時間 VLBI の場合も同様に検討する。この場合は現実的な伝送レートをふまえて、トータル 128 Mbps (8 Mbps \times 16 チャンネル) 観測として、1 チャンネルあたり必要なバッファを計算する。

例えば 10,000 km 基線を単純に光ファイバを用いて伝送すると 47.6 ms の遅延となる (381 k ビットに相当)。もし、例えば地上 6,000 km を光ファイバ、残りを静止衛星による中継とした場合、トランスポンダでの遅延を考慮しなければ 1 ホップでの最悪値として、静止衛星への距離を極点から考えると、地球局・衛星間の往復で約 85,000 km の距離、即ち伝搬遅延は、312 ms (2,500 k ビットに相当) となる。これはトランスポンダでの遅延よりもかなり大きな値となるので、見積もりには伝送による遅延のみを考慮することとする。

結局国際基線の場合、全て光ファイバの場合には、相関処理局に最も近い観測局のデータを予め 381 k ビット遅延させておけば良い。静止衛星を利用する場合も同様に考え、データを 2,500 k ビット遅延させておく、つまり 2.5 M ビットのバッファがあれば十分である。

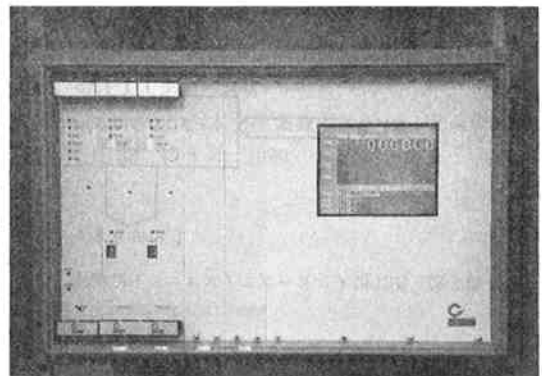
3. RCI (実時間相関処理インターフェイス装置)

RCI の外観を第 3 図に、その構成を第 4 図に示す。RCI は 4 局ぶんが 1 式にまとめられ、それぞれが制御ユニット、インターフェイスユニット、TTL/ECL ユニットから構成される。

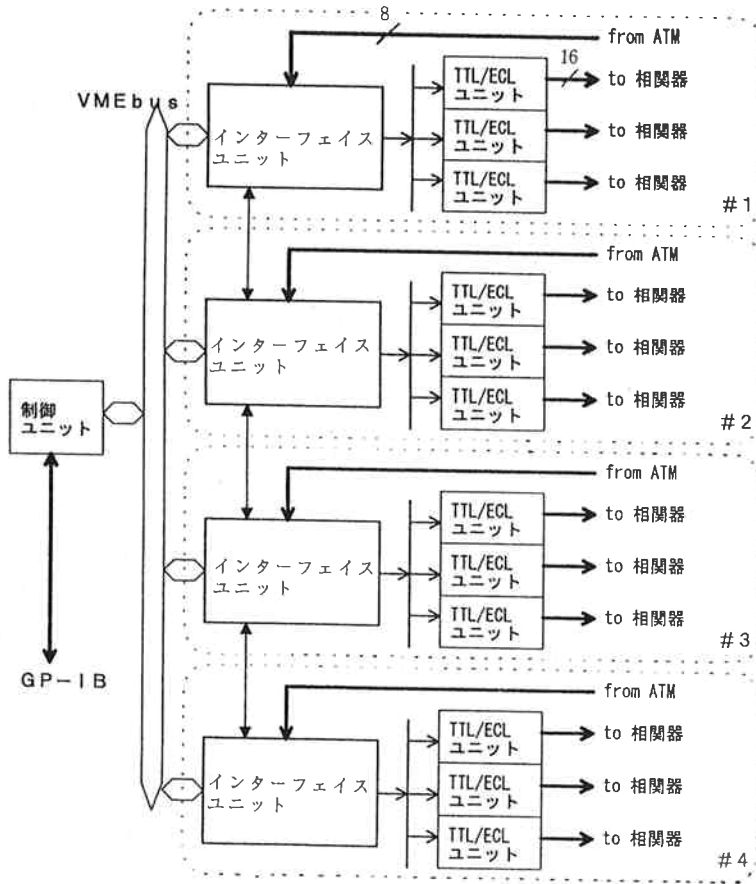
RCI 内部は VME バスで接続されているが、他の VLBI 機器と同様に計算機から GP-IB を通じて制御できる。このための CPU 68040 を有し、インターフェイスユニットに各種の設定をしたりステータスを受け取ったりするのが制御ユニットである。

RCI の心臓部であるインターフェイスユニットの役割は、「時刻検出・同期検出、データの並べ換え、遅延制御」となる。構成を第 5 図に示す。

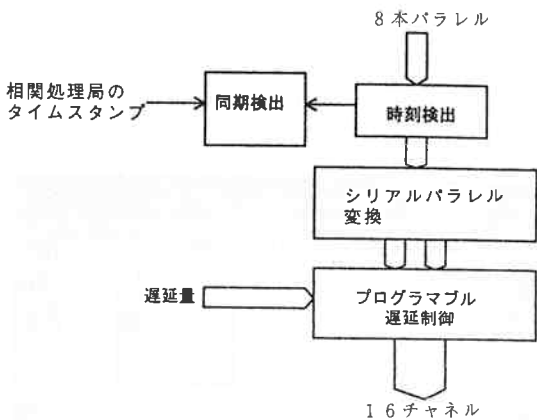
時刻情報は 64 M ビット (全チャンネルの合計) 毎に持っているため、RCI による時刻検出も K 4 出力インター



第3図 RCIの外観



第4図 RCIの構成



第5図 RCIのインターフェイスユニットの構成

フェイス⁽³⁾と同じく、32ビットの“1”で構成される SYNC データを検出することにより行われる。つまり 512 Mbps 観測モードでは 8 回/秒、128 Mbps 観測モードでは 2 回/秒この SYNC データが出現することになる。各局の正秒のタイミングを 4 M ビットのカウンタで比較することにより、基準局に対する観測局のずれをビット単位で知ることができる。

データの並べ替え機能は、ATM 装置側の 8 本並列の信号を、相関器入力に適した 16 チャンネル信号に変換するものである。

先に検出した τ_i によるずれに対し、VME バス経由のコマンドで各局の信号に対して適切な遅延を与えることができる。KSP 実験の場合は ATM/VLBI 用データ受信装置⁽²⁾によって τ_i の補償がなされるが、国際実験にも対応するため前項で計算した要求を十分に満足するよう、RCI は 1 チャンネルあたり 4 M ビットの SRAM メモリを有している。なおアプリオリディレイ (幾何学的遅

延時間、局間クロックオフセットを考慮して計算された値) およびその時間変化によってずらすべきビットの設定は、従来どうり相関器で行われる。このように実時間処理に起因する遅延要因 τ_i を切り分けることによって、ATM 関連のトラブルがあれば RCI 側でチェックすることが容易になっている。なお幾何学的遅延時間による遅れ $\tau_g^{(1)}$ は、国際基線の場合でも地球の半径ぶんを考慮すればよいのでたかだか 21 ms (168 k ビットに相当)、局間クロックオフセットはさらに小さい (通常 GPS による時刻同期を利用して $1 \mu\text{s}$ 以内に保たれる)。相関器は 1 チャンネルあたり 128 k ビットの入力バッファを持つので、このアプリアリディレイを吸収することができる。

また 4 局 6 基線処理のために各出力を 3 分配し、それを TTL/ECL ユニットにおいて、RCI 内部の信号レベルである TTL から外部機器の信号レベルである ECL への変換を行っている。

4. RKATS

RKATS は、原理的にはテープベースの相関処理ソフトウェア KATS⁽²⁾ と同じである。異なる点は、

- ① 膨大な生データはテープ等に記録されないで、たとえ一度処理したデータは不具合があっても再度相関処理することができない。そのため途中でオペレータが判断を行いながら処理していくというよりはむしろ完全自動相関処理をめざすもので、多少のトラブルでもハングアップしない、いわゆるロバスト性が、通常の相関処理よりも強く求められる。
- ② 相関処理に必要な各種パラメータが、その時点で判明していなければならない。問題となるのは各局の時計パラメータと EOP (地球回転パラメータ) である。各局の時計パラメータについては、自動監視計算機で 1 時間毎に取得した各局の入力インターフェイスの時刻と GPS タイムとのずれを用いている。しかし時計パラメータがずれているのに気付かずにムダな相関処理を続ける危険性を避けるため、一つ一つの相関処理終了後にモニタソフトウェアを自動的に動かし、本当に相関が検出されたかどうかの判断を行う。この際相関関数のピーク位置が予測からずれていれば、ダイナミッククロック補正を行って各局の時計パラメータを修正することがで

きる。

EOP は IERS Bulletin-A から予測値、Bulletin-B から確定値がアナウンスされている。精度さを追求するのであれば確定値を用いるのが最も望ましいが、1 ヶ月程度遅れる。そのため RKATS では確定値を利用することはできないが、解析計算機からネットワーク経由でその時点で最新の予測値を取得して使用する。予測値は週一回しか更新されないが、その精度は悪くとも 4 ms 程度である。相関処理の段階では、相関関数のピークが著しくずれなければ良いので、予測値を使用しても KSP 基線ではせいぜい 0.1 ns 程度の誤差にしか反映せず、相関関数のピークを失うことはない。8 Mbps \times 16 チャンネル観測の国際基線であっても、誤差は 1 ビット (125 ns に相当) よりはるかに小さく、問題が生じることはない。

5. 終わりに

実時間 VLBI 実験が、まず 256 Mbps で行われる。これによって実時間処理に特有の問題点、および ATM 伝送とのインターフェイスによって生じる問題点などがあれば明らかにし、KSP 相関器の最大処理性能である 512 Mbps (32 Mbps \times 16 チャンネル) 処理へと発展させていきたい。実時間 VLBI が実現すれば、迅速な結果の入手、観測・処理の自動化という VLBI の課題について大きな前進が約束される。

謝 辞

RCI および RKATS の製作に尽力くださったコスモリサーチ株式会社の黛氏、株式会社ケティの佐藤氏、ATM 関連でご教示を頂いた日本電信電話株式会社通信網研究所の原氏をはじめとする多くの関係各位の方々に、深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 電波季「K-3 型超長基線電波干渉計 (VLBI) システム開発特集号」, 30 特 1 号, 1984.
- (2) 通信総研季, 「首都圏広域地殻変動観測システム特集」, 42, 1, Mar. 1996.
- (3) 通信総研季, 「西太平洋電波干渉計システムの開発特集号」, 38 特 8 号, 1990.