

e-VLBI による迅速 UT1 計測

– 観測から 30 分で可能になった UT1 –

関戸 衛¹, 小山泰弘¹, 瀧口博士¹, 栗原忍², 小門研亮², Haas Rüdiger³, Ritakari Jouko⁴,
Wagner Jan⁴, 近藤哲郎¹, 市川隆一¹, Hobiger Thomas¹, 谷本大輔², 町田守人²

1: 情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター

2: 国土交通省国土地理院

3: Onsala Space Observatory, Sweden

4: Metsähovi Radio Observatory, Finland

概要

Tsunami(UDP) を使ったリアルタイムデータ伝送と自動処理の組み合わせにより、観測後 30 分以内に UT1 の観測値が得られるようになった。今後これら e-VLBI 技術を IVS の定常的な UT1 観測に応用し、迅速な UT1 の計測値を得ることで、IERS の UT1 予報値の精度向上が期待される。ここでは、UT1 の迅速推定を可能にした個々の技術要素について紹介し、将来の国際的なリアルタイム e-VLBI への展望について議論する。

1 はじめに

従来の VLBI 観測では、結果を得るまでにはデータの輸送、処理のために何日もの時間を必要としていたが、ネットワーク技術と融合した e-VLBI により、観測後数分～数十分の後には結果を得ることが可能になりつつある。迅速な VLBI 観測結果を必要とするアプリケーションとしては、宇宙飛翔体の VLBI 軌道計測や、予測が困難な地球姿勢パラメータ(極運動と UT1)の計測などがある。精度の高い UT1 の計測、予報値の作成のために Intensive Session と呼ばれる 1 時間の VLBI 観測が国際基線で定常的に行われている [1, 2](Wettzell-Kokee:月, 火, 水, 金)、Wettzell-Tsukuba:土, 日、Tsukuba-Wettzell-Ny-Ålesund:月)。以前の Intensive Session では、磁気テープに記録したデータを相関処理センターに輸送し、観測から結果を得るまでに数日を要していたが、21 世紀に入って記録媒体が磁気テープから磁気ディスクのシステム (Mark5, K5) に換わり、観測後のデータをネットワークを使って伝送することが多くなった。これにより、UT1 の観測から結果を得るまでの時間が 3 日以内と大幅に短縮され [3]、結果として地球姿勢パラメータ (Earth Orientation Parameter:EOP) の速報解の精度が 20 – 50 % 向上したことが報告されている [1]。しかし、当時国際間のネットワーク速度は VLBI のデータレートに比べてまだまだ遅

く、記録時間の数倍の転送時間が必要であった。最近になって、国際間の研究ネットワークの帯域幅拡大と相互接続が拡大し、VLBI の生データを観測と同時に伝送することができるようになってきた。我々は、高速ネットワークに接続された鹿島 34m、つくば 32m、オンサラ 20m、メッツアホビ 14m の VLBI 局の間で実験を行い、2007 年末の時点で、観測から 30 分以内に UT1 の計測結果を得るという最短記録を達成している。今後、更に解析などの自動化を進めることによって観測後 5 分以内の UT1 計測を目指しており、近い将来この技術が定常的な Intensive Session に導入され、IVS の UT1 の計測時間を大幅に短縮することを目的としている。

この報告では、UT1 計測の迅速化を可能にしたそれぞれの要素技術の紹介と、相関処理を分散して行う管理ソフトウェアについて報告する。また、今後の課題と展望についても最後にふれる。

2 迅速な UT1 計測を可能にした要素技術

2.1 ネットワークを使った高速データ伝送、自動フォーマット変換

我々の実験ではヨーロッパの観測局 (オンサラ、メッツアホビ) で Mark5 システムによって取得された VLBI データを日本の鹿島、またはつくば局

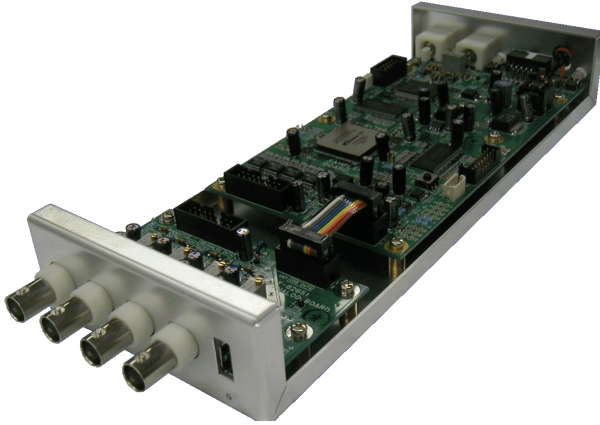


図 1: NICT の開発した K5/VSSP32 サンプラ。量子化ビット数 1,2,4,8bit, サンプリングレート: 32,50,100,200,500kHz,1,2,4,8,16,32MHz、最大データレート:256Mbps、インタフェース: USB

にリアルタイムに伝送し、日本の K5 システムのデータフォーマットに変換した後、我々が開発した K5 ソフトウェア相関器を使って処理を行っている。Mark5→K5 のデータ変換のソフトウェア (m5tok5, k5tom5) も K5 パッケージの一部に含まれて公開されている。

ヨーロッパ側で Mark5 サンプラで取得されたデータは、Metsähovi 観測所が開発した VSIB[5] とインディアナ大学が開発した Tsunami(UDP) プロトコル [4] を使ってネットワークを通して、観測と同時にヨーロッパから日本へデータが送られる。Iperf を使ったネットワークのパフォーマンステストでは、鹿島-オンサラ間で 900Mbps までの UDP データ伝送速度が出ており、専用線ではない shared-net を使って、VLBI の 256Mbps の記録データ速度をリアルタイムに伝送することが可能となっている。

2.2 観測と並行したデータ処理

VLBI のデータ記録媒体がランダムアクセス可能なハードディスクに変わったおかげで、観測と同時並行してディスク上に記録したデータの相関処理が可能になった。このことも、観測時間と同程度必要な処理時間の大幅な短縮に貢献している。NICT の開発した K5/VSSP32[6] を使ってデータ記録と同時並行して相関処理を行うことが可能になった。

2.3 分散処理管理ツール-Cor_mgr -

K5/VSSP データの相関処理を観測時間と同程度以下の時間で処理するため、NICT の開発した K5 ソフトウェア相関処理パッケージ (cor, fx_cor)[7] を複数のコンピュータ (PC) で走らせ、分散処理を行っている。

観測と同時にヨーロッパから伝送されてくるデータは、(1)Mark5→K5 のデータ変換、(2) クラスタ PC を使った分散相関処理、といった二つのステップで処理される。これらの処理を自動化するため、(1),(2) の処理をパイプライン処理できるように、それぞれのプロセスに簡単な通信機能を持たせ、(1) のステップが終了すると (2) の処理が自動的に行われるしくみを作成した。データ変換 (m5tok5, k5tom5) や相関処理 (fx_cor, cor) などの実作業を行うソフトウェアは通信機能を持たないので、スクリプト言語である perl を使って、必要な通信機能を実現し、これらの実作業のソフトウェアを wrapping する形で、データ変換から相関処理までのパイプライン処理・分散処理の自動化を実現した。

相関処理の分散処理・自動化ソフトウェアの開発では、以下の点に留意して開発を行った。

処理系・言語 分散処理ソフトウェアは Windows, Linux など OS を問わず動作し、メンテナンス性に優れた処理系を使うよう留意し、Perl を使用することにした。Perl はコンパイル無しに動作し、オブジェクト指向のプログラミングも可能なことからメンテナンスも比較的容易で、Windows, Linux などの、どの OS でも動作する特徴を持つ。

タスクの分割 複数の PC を使って分散処理を行うためには、タスクを分割してそれぞれの CPU に割り振る必要がある。VLBI の相関処理は、各 SCAN、チャンネル毎に処理が独立しているという特徴があり、分散処理に適している。各 Scan、グループ毎に既にデータが分かれているため、更に細かいタスクの分割は行わず、Scan/Group 単位で分散処理を行うことにした。

データ共有 相関処理を行うには、二つの観測局のデータをあわせて処理するために、データ共有が必要である。現在のところ、特別なデー

タ分配のためのしくみは考えず、UNIX に付属した機能である Network File System (NFS) を使ってネットワーク上でデータを共有している。

タスク管理方法 可能な限り簡便な方法 (プログラミングの手間を最小にして) でタスクの管理を実現する方針とし、また、処理の途中でタスクを追加したり、新たに処理を行う CPU を増やしたりといったコンフィグレーションの変更が容易にできることも重要と考える。Cor_mgr では、「タスクの依頼」「相関処理」「処理状況の把握」といった機能ごとにプログラムを分け、それぞれのサーバ、エージェント間の結合・依存関係を可能な限り少なくした。これにより、それぞれの構成要素を独立に改修したり、再起動が必要な際にも処理の進行への影響が最小限となるように配慮した。

このような方針で作成したシステムの概要を図 2 に示す。我々の開発したの自動化システム (Cor_mgr) は、簡便な Perl のスクリプトで記述されたプログラム群から構成され、UT1 計測を観測後 30 分以内に算出することに成功した他、国土地理院の相関処理システムにも導入されており、近い将来 Wettzell との Intensive Session にも活用されると期待される。

3 データ伝送プロトコル

現在、オンスラ - 鹿島間では Iperf の特性上限に近い 900Mbps 程度までネットワークパフォーマンスが得られているので、更に 1-2 本の 256Mbps のデータストリームをヨーロッパ-日本の間に張ることは可能と思われる。しかし、現在データ伝送に利用しているのは Shared Network であり (Geant2-Abilene-JGN2,SINET)、伝送経路の一部で他のユーザが大きな帯域でネットワークを使用することがあれば、安定したデータ伝送が保証されているわけではない。仮りに、通常 5 - 6 局で行っている IVS の定常観測がそのままリアルタイム e-VLBI に移行したとすると、トータルで 1 Gbps 以上の帯域を広域ネットワークで占有することになり、ネットワーク上のどこかで輻輳が発生することは十分に考えられる。

現在の Tsunami によるデータ伝送では、Mark5 サンプラで取得したデータをエラー無しで伝送できなければ Mark5→K5 のフォーマット変換が動作せず、観測は成功しない。しかし、本質的には VLBI のデータ伝送では、ロスしたデータをパディングし、不正データの正確なフラグgingができれば、数%程度のデータロスは積分時間の短縮に相当するだけで大きな問題にはならない。このようなプロトコルを実装し、より安定した VLBI 用のデータ伝送プロトコルを実現することが望ましい。

一方、VLBI では観測スケジュールに予定された帯域幅で記録を行うことを前提としており、リアルタイム VLBI の場合には、レート制御 (=データ取得レートの変更) はできない¹。このような、固定のデータレートを要求し、高いエラーレートを許容する VLBI は、輻輳が起きるとデータレートを落として通信を確保しようとする他のネットワークアプリケーションとはネットワークへの要求仕様が大きく異なる。

リアルタイム VLBI を実現するための将来のネットワーク環境として、「帯域オンデマンド」接続が大きな期待を集めている。「帯域オンデマンド」接続は、ネットワーク上の任意の地点間で、時間帯と帯域を指定して専用のネットワークパスを提供するサービスで、GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switch) などの技術を使って実現され、国内では SINET3² でサービスが開始されている。今後、国際的な研究ネットワークで同様なサービスが開始されれば、専用線相当のネットワーク環境が必要な時間だけ利用可能になり、輻輳による他のアプリケーションへの影響やパケットロスの問題が解決して、複数基線の国際 VLBI 観測が安定して可能になると期待される。

参考文献

- [1] Johnson, T., Carter, S. M., Myers, A., Lambert, S., and Wooden, W., "Rapid Service/Prediction Centre", *IERS Annual Report 2005*, 57-66, 2005.

¹Offline モードでは、ネットワーク伝送のレート制御が可能であり、どんなデータ伝送プロトコルでもかまわないため、ここでは問題としない

²<http://www.sinet.ad.jp/service>

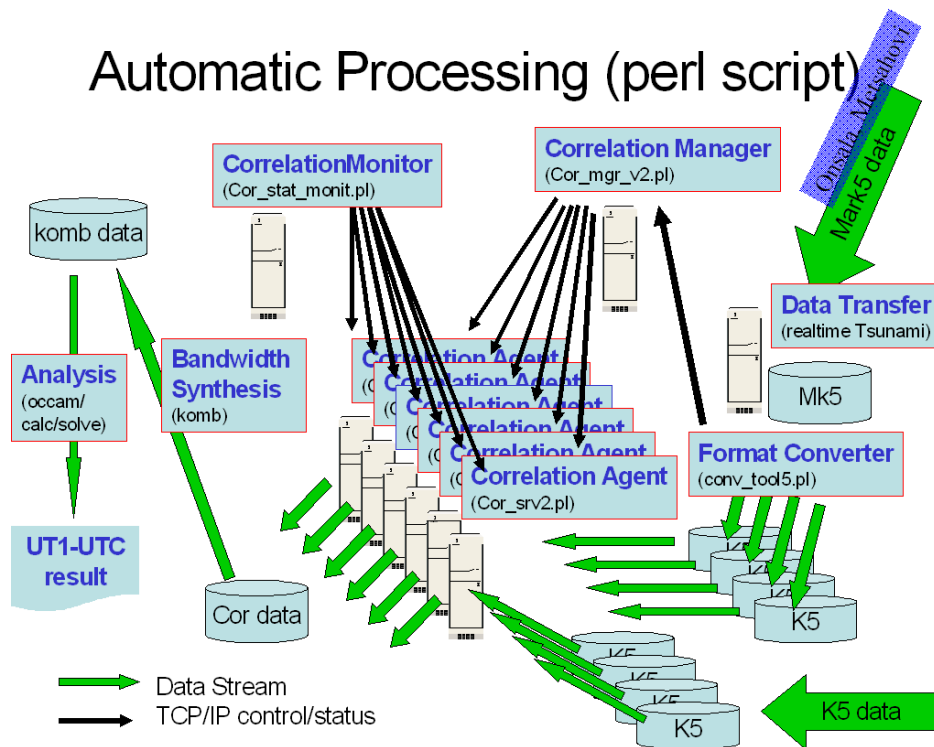


図 2: 分散相関処理・パイプライン処理を行うシステムの概要。観測データの取得、フォーマット変換、データ共有、相関処理はすべてネットワークで接続された PC で行われる。処理を自動的に行うための管理サーバ・エージェントはお互いに TCP/IP を使ってプロセス間で通信をこない、依頼されたタスクを効率的に処理する。

- [2] Baver, K. D. MacMillan, L. Petrov, and D. Gordon, “Analysis of the VLBI Intensive Sessions”, *IVS 2004 General Meeting Proceedings*, NASA/CP-2004-212255, 394–398, 2004.
- [3] Machida M., Ishimoto, M., Takashima, K., “Tsukuba VLBI Correlator”, *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2005 Annual Report* (eds. D. Behrend and K. Baver), NASA/TP-2006-214136, 186–189, 2006.
- [4] Mark Meiss, Jan Wagner, Tsunami UDP Protocol, <http://tsunami-udp.sourceforge.net/>
- [5] Ritakari, J., and A. Mujunen, “Gbit/s VLBI and eVLBI with Off-The-Shelf Components”, *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2004 General Meeting Proceedings* (eds. Nancy R. Vandenberg & Karen D. Baver), NASA/CP-2004-212255, 182–185, 2004.
- [6] Kondo, T., Y. Koyama, H. Takeuchi, M. Kimura, “Development of a New VLBI Sampler Unit (K5/VSSP32) Equipped with a USB 2.0 Interface”, *IVS 2006 General Meeting Proceedings* (eds. Dirk Behrend & Karen Baver), NASA/CP-2006-214140, 195–199, 2006.
- [7] Kondo, T., Koyama, Y., Takeuchi, H., Kimura, M., “Current Status of the K5 Software Correlator”, *IVS NICT-TDC News*, No. 25, 23–27., 2004.