

インターネットプロトコルによる 多ch方式実時間 VLBI システムの開発

Development of the multi-channel real-time VLBI system
using the Internet Protocol

通信総合研究所鹿島宇宙通信センター

近藤哲朗、小山泰弘、関戸 衛、中島潤一、川合栄治、大崎裕生、大久保寛

通信総合研究所第1研究チーム

中川晋一

日本通信機(株)

市川雄一

通信総合研究所ではインターネットを利用した汎用の多ch方式実時間VLBIシステム(IP-VLBI)を開発を行っている。このシステムは最大サンプリング周波数が16MHzであり、16chを使用することにより、現在の測地VLBIと等価なシステムを構築することができる。現在までに8MHzサンプリングデータの実時間転送およびコヒーレンスが確認されている。PC(パソコン)によるソフトウェア相関処理も現在のところ4MHzサンプリングデータまでは実時間処理が可能である。更に高速化を図るためアルゴリズムの再検討を行っている。

1. はじめに

通信総合研究所では VLBI 局から相関処理局への実時間データ転送にインターネット・プロトコル(IP)を採用する新しい実時間 VLBI システムの開発を行っている。通常の VLBI 観測では、2局以上のアンテナで受信された電波天体からの信号は磁気テープに記録され、それらのテープが相関処理局に送られ、相関処理が実行される。首都圏広域地殻変動観測計画(Key Stone Project : KSP)において、首都圏周辺の地殻変動の観測のため、定常運用用途の実時間 VLBI システムが世界で初めて開発された[Koyama et al., 1998; Kiuchi et al., 2000]。このシステムでは電波星からの信号は256Mbpsのデジタル信号に変換され、それらは磁気テープに記録する代わりに高速(2.4Gbps)非同期転送モード(ATM)ネットワークを通して実時間に相関処理局に転送される。相関処理局では ATM ネットワークに接続された専用の相関器が、実時間に相関処理を行う(この実時間 VLBI システムをここでは“ATM-VLBI”あるいは“VLBI over ATM”と呼ぶ)。高速 ATM ネットワークの使用料は未だに高価であり、接続サイトも制限されるため、ATM-VLBI はまだ一般に普及するところまでは行っていない。そのため、既に広く普及している IP 技術を使用することにより、ネットワーク利用コストの低減、かつ接続サイトの拡充を目指した新方式の実時間 VLBI システムの開発を開始した(このシステムをここでは“IP-VLBI”あるいは“VLBI over IP”と呼ぶ)。

IP-VLBI として2種類のシステムが考えられる。1つは ATM ネットワークに載せている高速データストリームを単に IP プロトコルに置き換える方法である(超高速デジタルデータ転送方式 IP-VLBI と呼ぶことにする)。この方式は測地 VLBI におけるチャンネルの概念は無く、単に高速にデータを転送する方式であるため、多chのデータから構成される測地 VLBI の相関処理には ATM-VLBI 同様に専用の相関器を用意するか、受信側で ch データに分解する必要がある。

もう一つの方式は、ch 毎のデータに基づく方式である。測地 VLBI システムでは、通常 S および X バンドで併せて 14~16 の周波数チャンネルを受信する。この方式では各チャンネルデ

ータは、独立して送信される。この方式をここでは多 ch 方式 IP-VLBI と呼ぶ (図 1)。この方式では一つのチャンネルデータに関してシステムを確立することができれば、そのシステムを ch 数だけ用意することにより、容易に測地 VLBI を実現することができる。ネットワークの伝送容量だけが、総チャンネル数およびサンプリング周波数に制限を及ぼすことになる。我々は測地 VLBI には、この方式がよりふさわしい方法と考え、開発を行っている。なお、本報告では単に IP-VLBI と呼ぶ場合は、この方式を指すことにする。インターネットを使用した VLBI として、FTP によって送信されたデータを使用してのフリッジテストは既に実現されているが、これは“FTP-VLBI” と呼ぶことにし、IP-VLBI とは区別する。

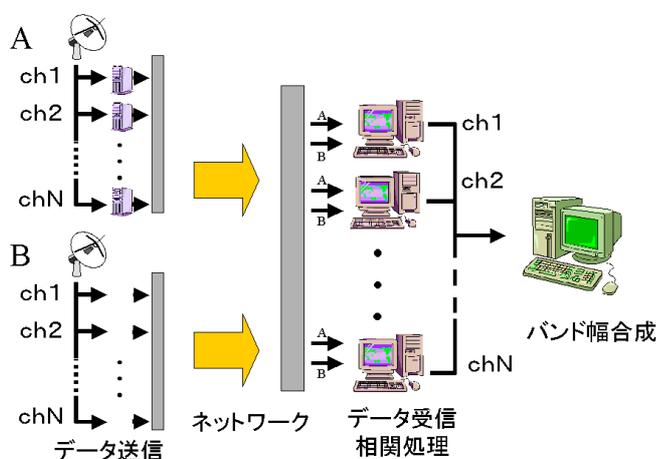


図 1 多 ch 方式 IP-VLBI システム

我々が開発中の多 ch 方式 IP-VLBI システム用のサンプリングボードは、最大 16MHz サンプリングが可能となるよう設計している。現在、サンプリングボード部の様々な評価試験を行っているが、その結果を報告する。

2. PCI サンプラーボード

開発中のサンプラーボードは PCI バスボード (図 2) であり、PC での使用を想定している。表 1 に仕様を示す。ボードには 2 つの参照信号入力 (10MHz および 1PPS 信号) があり、アナログ (ビデオ) 信号入力は最大 4 ch が可能である。サンプリング周波数は 40kHz から 16MHz まで可能であり、A/D 分解能は 1 ビットから 8 ビットまで可変である。VLBI 端末から出力されるビデオ信号はサンプラーボードでデジタル信号に変換されるが、その時に参照 1 PPS 信号から生成される時刻タグが、1 秒毎にデータ中に挿入される。その後、IP パケットが形成され、ネットワーク上に送信される。サンプリング周波数が 16MHz で 1 ビットサンプリングを行った場合が、KSP-VLBI システムの 1 ch 分に相当する。ボードあたり、最大 512Mbps (16MHz サンプリング、8 ビット分



図 2 PCI サンプラーボード

表 1 サンプラーボード仕様

参照信号	10MHz +10dBm, 1PPS
入力 ch 数	最大 4 ch
A/D 分解能	1, 2, 4, 8 ビット
サンプリング周波数	40, 100, 200, 500kHz, 1, 2, 4, 8, 16MHz

解能、4 ch 分) のデータレートとなるが、これをインターネット上に送信できるかどうかは、PC の性能およびネットワークの伝送容量に依存することとなる。実用的にはボードあたり最大 64Mbps (16MHz サンプリング、1 ビット分解能、4 ch 分) のデータレートを想定して、開

発を進めている。

3. システム評価結果

受信信号のコヒーレンスを保つには非常に安定な周波数標準を使用して、サンプリングしなければならない。実時間 VLBI を実現するためには、サンプリングしてデジタル化したデータを遅滞なく相関処理局に伝送しなくてはならない。さらに、相関処理は観測時間より短いか同程度の処理時間で終えなければならない。これらすべてが実現されて初めて実時間 VLBI と呼ぶことができる。実時間 VLBI システムを実現するために要求される条件をまとめると、1) コヒーレントサンプリング、2) 実時間データ転送、および 3) 実時間相関処理、となる。我々は 3) を含めてすべてのシステムを PC で実現したいと考えている。

“コヒーレントサンプリング”の評価は、2つの PCI サンプルボードに同一ビデオ信号（雑音信号）を入力し、それぞれのボードでサンプリングしたデータを相関処理することにより行うことができる。両方のサンプルボードには共通参照信号を供給した。ボード部のコヒーレンスが保たれていれば、相関強度は 1 になるが、それぞれのサンプリングにゆらぎがある場合は相関強度が減少する。この試験ではサンプリングデータを各 PC 中のハードディスクに記録し、オフライン処理で相関処理を行った。サンプリング周波数を 40kHz から 16MHz まで変えて 1 ビットサンプリングデータを収集

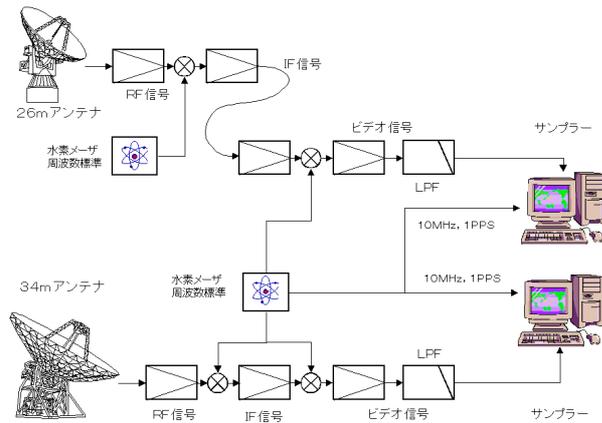


図 3 サンプラーボード評価試験観測

したが、8MHz 以下のサンプリング周波数では、概ねコヒーレンスが保たれていることを確認した。1 ビットサンプリング信号のコヒーレンス低下は入力信号レベルおよびバイアスにも依存するが、今後、そうした点も踏まえて詳細な評価を実施予定である。16MHz サンプリングに関しては、データ収集ソフト（サンプラーボードからデータを読みハードディスクに書き込むソフト）の不具合のため、コヒーレンスの評価には至っていない。

サンプラー部のコヒーレンス評価試験と並行して、PCでの実時間相関処理ソフト開発のため、鹿島 3.4 m アンテナおよび 2.6 m アンテナ（基線長約 300 m）を使用して実際に VLBI と同じ条件で電波星を受信し（図 3）、データ収集を行った。PCでの相関処理はオフライン

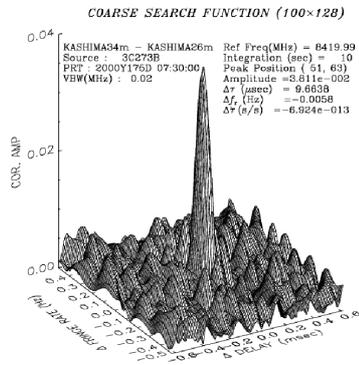


図 4 サンプラーボード初フリッジ（40kHz サンプリング）

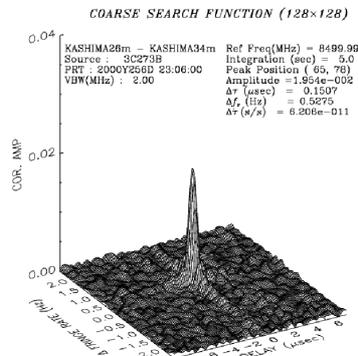


図 5 4MHz サンプリング時のフリッジ

的に行った。

図4は、鹿島34m-26m基線で検出されたサンプラーボード初フリッジ(40kHzサンプリング)である。図5には4MHzサンプリングで検出されたフリッジを示す。16MHzサンプリングに関しては、先に述べたようにデータ収集ソフトウェアの不具合のため、フリッジ検出までには至っていない。

“実時間データ転送”試験は観測室内LAN(100BASE-T)を使用して行った。サーバー(送り出し)PC側(VLBIを想定して2台のPCを使用)で信号のサンプリングおよびネットワーク上へのデータ送出手続きを同時に行い、クライアント(受け)PC側(1台)で、2台のPCからのデータを受信し、ハードディスクへの書き出しを行った。1ビットのA/D分解能に対してサンプリング周波数16MHzまで試験を行った。8MHz以下のサンプリング周波数においては、実時間転送およびコヒーレンスの確認ができた。16MHzサンプリングデータも一見問題なくLANを通して送受信されているように見えたが、先に述べたようサンプリングデータが不完全であるため、フリッジを検出することによる確認には至っていない。

ところで、我々はIP-VLBIを普及させるには、ネットワークのインフラ整備と共に、高価な専用の相関処理装置を必要としないシステム作りが重要であると考えている。そのためにはPCでの“実時間相関処理”を成功させることが必須の条件となる。現在、相関処理アルゴリズム検証のため、プログラム開発が容易なPV-WAVEと呼ばれるプログラミング言語で相関処理ソフトを開発している。PV-WAVEは配列演算にはある程度の高速度も望める言語である(図4, 5はPV-WAVEでの処理および結果表示である)。このソフトによる相関処理では、CPUにPentium(1GHz)を使用した場合、Windows上において2MHzサンプリングデータまで実時間処理が行えるところまで来ている。

4. おわりに

IP-VLBIで使用するために開発中のPCIサンプラーボードを、実際に電波星からの信号を使用して評価した。また、実時間転送に関して観測室内LANを使用して評価した。その結果、8MHzサンプリングまで信号のコヒーレンスが保たれており、実時間転送に関しても問題が無いことを確認した。16MHzサンプリングに関しては、現時点ではデータ収集ソフトの不具合により、性能の確認には至っていない。PCでの“実時間相関処理”に関しては、PV-WAVEの処理でCPUにPentium(1GHz)を使用した場合に2MHzサンプリング・データまで可能となっている。プログラムをCおよびC++言語へ移植したところ、4MHzサンプリングデータまで実時間処理が可能となった。今後アルゴリズムの改良を行い、16MHzサンプリングデータの実時間処理を実現させたい。

最後に、IP-VLBIの評価観測のため、快く鹿島26mアンテナの使用を許可していただいた国土地理院福崎順洋さんに感謝します。

参考文献

Kiuchi, H., M. Imae, T. Kondo, M. Sekido, S. Hama, T. Hoshino, H. Uose, and T. Yamamoto, Real-time VLBI system using ATM network, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol.38, No.3, pp. 1290-1297, 2000.

Koyama, Y., N. Kurihara, T. Kondo, M. Sekido, Y. Takahashi, H. Kiuchi, and K. Heki, Automated geodetic Very Long Baseline Interferometry observation and data analysis system, Earth, Planets and Space, Vol.50, 709-722, 1998.