

e-VLBI activity in NICT

関戸 衛、小山泰弘、木村守孝、原井洋明、池田貴俊、平原正樹

情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター

概要

e-VLBI は電子的 (光学的) なデータ伝送手段を使った VLBI 技術であり、小型コンピュータの高速化と普及、高速ネットワーク技術の発展と大容量ハードディスクの開発の急速な進展により、これまで専用のハードウェアでなければ処理できなかった大容量の VLBI データを、汎用のパーソナルコンピュータを使って記録、転送、処理することが可能になってきている。NICT では、高速ネットワークを研究するネットワークアーキテクチャグループと大容量データを扱うアプリケーションとしての VLBI グループが協力しあいながら e-VLBI の開発を進めている。本報告では、VLBI 研究としての e-VLBI の意義と、2006 年度に行なった Super Computing 2006 と JGN2 シンポジウムでの e-VLBI のデモンストレーション、およびそこで使用したソフトウェアについて紹介する。

1 e-VLBI の意義と VSI 規格

1.1 e-VLBI とは?

e-VLBI とは電子的 (光学的) なデータ伝送手段を使った VLBI 技術である。VLBI では 64Mbps から 1024Mbps といった、高速大容量のデータを記録/輸送して処理し、天文学/測地学/宇宙工学などの研究を行なうツールである。一般に波を利用する観測装置では波長とその波を受信する装置の開口径の比で空間 (角度) 分解能が決まる。波長の長い電磁波を使う電波望遠鏡では空間分解能が低いため、より高い分解能を得るために複数のアンテナの受信信号をコヒーレントに合成する、干渉計技術が開発された。さらに分解能を上げるため、安定な原子時計を使って無制限にアンテナ間の距離を離すことが可能にしたのが VLBI である。また観測対象である電波星の電波は極めて微弱なため、広帯域の電波を受信して観測感度 (SNR) を向上させる必要がある。このように VLBI は非常に長い基線 (= 高い空間分解能) と大容量のデータ (= 受信感度の改善) を必要とする。ネットワーク研究においては、このような大きな遅延・帯域積をアプリケーションに必要な帯域保障されたネットワークや、ネットワーク資源をダイナミックに制御する光経路制御技術、GMPLS などが重要な研究テーマの一つとなっている。

VLBI にとっての e-VLBI の本質的な優位性は (1) 即時性 (2) 汎用計算機を使ったソフトウェア処理技術による機能の柔軟性/拡張性 (3) 異機種間の互換性のとりやすさである。(1) の性質は宇宙飛翔体の

ナビゲーションのような即時性を要求するアプリケーションには大変重要である。(2) は汎用 PC の利用、処理系の開発期間短縮・メンテナンス/改修を容易にし、費用の節約を可能にする。更に VLBI・電波天文データ処理系の開発を予算の少ない大学でも行なうことができるという意味で、教育的効果や、VLBI 研究の裾野を広げることに貢献している。(3) の異機種間の互換性の観点については次節で少し詳しく述べることにする。

1.2 VLBI Standard Interface (VSI)

VLBI はこれまで専用のハードウェアを使った記録系・データ処理系が使われ、全世界では大きく分けて 3 種類の機種が存在している。

- 米国 MIT-Haystack 観測所と NRAO が開発した Mark-III/Mark-IV/Mark-V/VLBA システム、
- カナダ CRESTech, NRC, NRCAN とオーストラリア CSIRO の開発した S2 システム、
- 日本の NICT (CRL) の開発した K3/K4/K5 システム、と VERA/VSOP システム

世界の VLBI システム間での互換性をとり、共同観測・相互運用を容易にするために VLBI Standard Interface (VSI)¹ の仕様制定が MIT の Allan Whitney を中心に提案され、NICT も K4 型 VLBI シス

¹<http://www.haystack.edu/tech/vlbi/vsi/index.html>

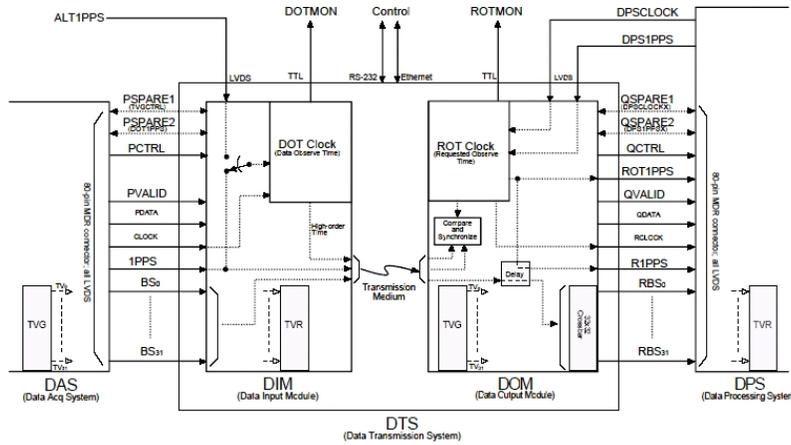


図 1: VSI-H の概念図

テムを開発する立場から仕様提案を行なって参加してきた。まず 2000 年にハードウェアに関する仕様が VLBI Standard Interface Hardware Specification (VSI-H)[1] として規定され、そのハードウェアをコントロールするソフトウェアの仕様 (VLBI Standard Interface Software Specification) が 2003 年、VSI-S[2] として仕様制定された。この仕様のポイントは、それまでレコーダやインプット・アウトプットインタフェースなど、システムによってまちまちであった機能の区分や呼び名を Data Input Module (DIM) と Data Output Module (DOM) という機能を抽象化したモジュールにまとめ、それらのモジュールとサンプラ、および相関器という外部機器とのインタフェースを統一して規定したことである。図 1 に VSI-H の概念図を示す。VSI-H、VSI-S によって互換性の問題は大きく改善した。コネクタ形状や電気信号のロジックなどが統一されたことで、Haystack で開発した Mark5B のサンプラ出力を NICT の PC-VSI ノードでデータ取得したり、NICT の VSI1000 のサンプラ出力を Mark5 システムで記録するといったことが可能になり、実際に混合使用が始まっている。

e-VLBI においては、DIM と DOM の間のデータ輸送部分がネットワークに置き換わり、DIM、DOM や相関器もネットワークで接続されたクラスタ PC 群に換わることになる。そこで、DIM-DOM 間のネットワークデータ伝送部分の標準プロトコルを定めることが VSI-E として提案されている [3]。ネットワークの分野では、OSI の 7 層モデルに代表され

るように、上位アプリケーションがハードウェアに依存しない構造が作られ、プロトコルさえあわせれば異なるハードウェア間も通信ができる仕組みが実現されている。従って、ネットワークを使ったデータ伝送を使う e-VLBI では、はじめから異機種間の互換性の問題が既に半分以上解決されていることになる。現在、VSI-E という標準仕様の実装はまだ十分に進んでいないが、ヨーロッパでは EVN によるリアルタイム VLBI 観測のプロポーザル公募が始まっており、世界の VLBI アンテナがネットワークでつながる時代はすぐそこまで来ている。VSI-E による VLBI データ伝送の標準化と実装は今後ますます重要になるであろう。

2 e-VLBI のデモ展示

NICT では、新世代ネットワーク研究センターの光・時空標準グループとネットワークアーキテクチャグループが、JGN2 のテストベッドネットワークの協力を得て e-VLBI のプロジェクトを推進している。2006 年度は米国 Tampa で開催された Super Computing 2006 及び広島で開催された JGN2 シンポジウムに参加し、e-VLBI のデモンストレーション展示を行なった。

Super Computing 2006 (SC06): 2006 年 11 月 13-17 日 米国フロリダのタンパで行なわれたコンピュータと高速ネットワークの研究会及び展示会で、DELL、サンマイクロシ

のカードがインストールされた PC で動作し、VSI-1000, VSI2000 のデータを PC - VSI のカードで取得して、TCP/IP でクライアントに送信する。このソフトはサーバとして動作し、クライアントからの接続を待ち、クライアントからの接続があると PAYLOAD を受け取って、要求された時刻のデータを送信する。PAYLOAD とは以下のような構造体で定義されているバイナリデータである²。

PAYLOAD

```
struct Payload {
    unsigned long long epoch;
    unsigned long long length;
    unsigned long long offset;
    unsigned int clock;
    unsigned int bit_mask;
}
```

また、VDS の出力するデータは 32bit 並列の VSI-H で規定されたデータそのままであり、図 4 にイメージを示す。VDS の使用 방법은以下の通り。

```
vsi2000_sender [オプション]...
オプション:
--port=xxxx 待ち受けの Port 番号
--buf_size=xxxx 送信 Bufsize [byte]
--mt19937 ランダムデータを生成モード
--help この画面を表示
--verbose 詳細な情報を表示
```

Channel Decomposer Server (CDS) : サーバとして動作し、クライアントから PAYLOAD を受け取ると、上流のデータサーバ (VDS または DDS) に接続を行ない、PAYLOAD を送信する。クライアントから受け取った PAYLOAD の mask 情報に従って、データサーバからの 32bit 並列データの特定の 2bit を切り出してパックし、クライアントに送信する。CDS の使用方法は以下の通り。

²PAYLOAD のそれぞれのパラメータは以下の通り: epoch: データの開始時刻。time() 関数で得られる 1970/1/1 からの積算秒。length=clock*(観測時間秒数)、offset:開始時間オフセット。clock:サンプリング周波数 (Hz)。bit_mask:32bit のデータのうち使用するビットのマスクデータ

```
vsi-chdcon-srv [-a <server ip>]
[-p <srv port>]
[-h] [-q <listening mstr port>]
[-d <listening dmy port>]
[-e <dbg level>] [-t <This ip>]
[-r <Socket Rcv Bufsize>]
[-s <Socket Snd Bufsize>]
-q: Listening port for connection
    from MASTER client.
    Default is 7002.
-d: Listening port for connection
    from DUMMY client.
    Default is 7003
-h: Show this help
```

Data Distribution Server (DDS): サーバとして動作し、マスタークライアントから PAYLOAD を受け取ると、上流のデータサーバ (VDS, DDS, または CDS) に接続を行ない、PAYLOAD を送信する。ダミークライアントからの接続は 5 つまで受け付け、データサーバからのデータ受信が始まると、マスタークライアントおよび接続された全てのダミークライアントに対して、データサーバからのデータをそのまま送信する。使用方法は以下の通り。

```
vsi-dstrbtr-srv [-a <server ip>]
[-p <srv port>] [-h]
[-q <listen mstr port>]
[-d <listen dmy port>]
[-e <debug level>] [-t <this ip>]
[-r <Socket Rcv Bufsize>]
[-s <Socket Snd Bufsize>]
Receiving VSI2000 data from server
and distributing to clients.
-a: Data Source Server IP address.
    Default is localhost.
-p: Data Source Server port.
    Default is 7002.
-q: Listening port for connection
    from MASTER client.
    Default is 7004.
-d: Listening port for connection
    from DUMMY client.
    Default is 7005.
-h: Show this help
```

Realtime Software Correlator (RSC) : PAYLOAD を作成し、X 局と Y 局、二つのデータを供給するサーバ (VDS, DDS, または



図 4: VSI2000 Data Sender のデータ format。32-bit のデータは VSI-H のデータそのままである。

CDS) に送信する。データを受け取ると相関処理を開始し、単位積分時間 (PP) 毎にそれまで積算したデータを 2 次元-FFT して、フリッジサーチ結果のデータを作成し出力する。

VDS とデモ表示ソフト以外は、今回新たに作成した。データ伝送/分散 部分 (CDS, DDS) は関戸が担当し、データサーバ (VDS) と相関処理 (RSC) は木村が担当した。VDS、CDS、DDS の各サーバのプロトコルは共通で、下記の手順で動作する。

1. サーバとして動作し、クライアントからの接続を待つ。使用するポート番号はオプションで指定する。
2. クライアントからの接続 (TCP) の直後に PAYLOAD (バイナリデータ) を受け取る。
3. VDS は受け取った PAYLOAD データ要求時刻になると、要求された量のデータを送り出す。clock の情報が 32MHz 以下であれば、指定に従ってデータ間引きを行なう。要求時刻が既に過ぎていれば接続を切断する。また、データが正常に送信された後は接続を切る。CDS、DDS については、受け取った PAYLOAD の内様を確認して、上流のサーバへ接続を行なって PAYLOAD を転送し、上流サーバからのデータを待つ。上流からデータがくれば、処理してクライアントに転送し、PAYLOAD に指定された量のデータを処理した後接続を切る。

今回作成した CDS, DDS はデータの上流に対してはクライアント、下流に対してはサーバとして動作し、この手順に従って動作する。従ってこれらのソフトウェアを使った、いろいろな組み合わせの使用が可能である。図 5 に組合せの使用例を示す。また、ソフトウェア間は、TCP/IP のソケットを使った通信であるため、リモート/ローカルの特別な区別なく動作して、IP アドレスさえ指定すれば、CDS や DDS はどのマシンで動作してもよい。

3 今後の展望

これまで e-VLBI のために我々が開発したソフトウェアはいずれも TCP/IP を使った通信を行なっている。David Lapsley と我々が提案している VSI-E では UDP をベースとした RTP・RTCP によるデータ伝送を使い、伝送帯域を最大限利用することが意図されている。一方ヨーロッパではフィンランドのヘルシンキ工科大学が PCEVN という VLBI 用データ収集ボードを開発し、ヨーロッパ各国の EVN (European VLBI Network) 観測ネットワークで定常的に使用され始めている。そのネットワーク伝送のプロトコルとしてはインディアナ大学の開発した UDP ベースの Tsunami プロトコル [4] が使われている。また転送コストの少ない UDP に TCP のような配送保証機能を付けた UDT [5] というプロトコルも注目されており、今後、VLBI のデータ伝送プロトコルとして、RTP/RTCP, Tsunami, UDT などの選択肢を選びながら、相互接続性と伝送効率に優れたアプリケーションソフトウェアの開発を行なっていきたい。現在我々は、Onsala (Sweden) や Wettzell (Germany) の VLBI 局と UT1 の観測を目的とする e-VLBI 実験を計画しており、IVS でも e-VLBI の Intensive セッションの計画が議論されている。e-VLBI によって、VLBI の観測装置違いを越えて繋がり、世界中の電波望遠鏡が地球規模の大型干渉計として動作する時代はもうすぐそこまで来ている。

謝辞

SC06, JGN2 の e-VLBI デモでは、多くの方々の支援により成功させることができた。米国 Internet2 プロジェクト、DRAGON プロジェクト、日本の JGN2 プロジェクトの方々には、サーバマシンの提供、ネットワークの調査や調整などを行なって頂き大変御世話になっている。大阪大学サイバーメディアセ

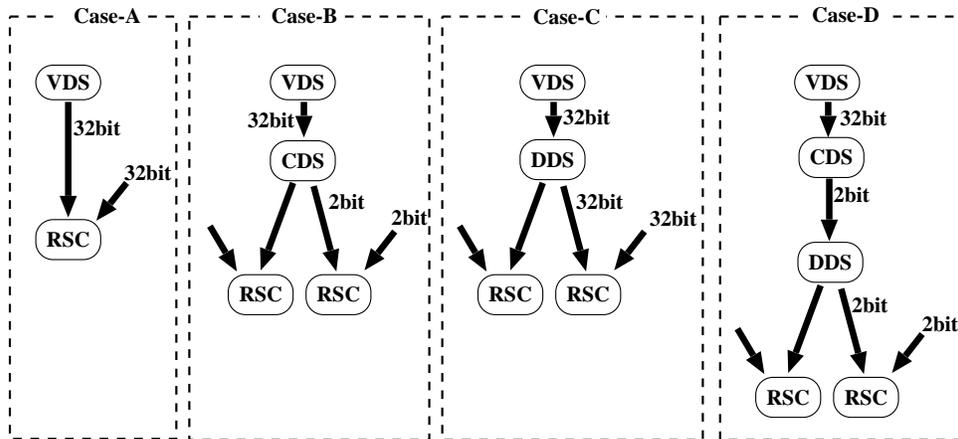


図 5: VDS, CDS, DDS, RSC の組み合わせ使用例。今回のデモでは Case-D を使った。

ンターの方には、SC06 での展示ブースを提供して頂いた。また Haystack の Chester Ruszczyk 氏、Allan Whitney 氏、Michael Poirier 氏には、JGN2 のデモの際にヘイスタックでのネットワークの調査や、Westford のアンテナオペレーションなどを行なってもらった。e-VLBI の実現に協力して頂いたたくさんの方々に感謝する。

参考文献

- [1] http://www.haystack.edu/tech/vlbi/vsi/docs/2000_08_07_vsi-h_final_rev_1.pdf
- [2] http://www.haystack.edu/tech/vlbi/vsi/docs/2003_02_13_vsi-s_final_rev_1.pdf
- [3] D.Lapsley, and A. Whitney, "VSI-E Software Suite", Proceedings of the 7th European VLBI Network Symposium, Bachiller,R. Colomer,F., Desmurs,J.F., de Vicente, P. (eds.) October 12-15 2004, Toledo, Spain.
- [4] Mark Meiss, Jan Wagner, Tsunami UDP Protocol, <http://tsunami-udp.sourceforge.net/>
- [5] <http://udt.sourceforge.net/>