

# PC-VLBIシステムを用いたVERA用相関処理系の構築2

木村守孝、小山泰弘 (情報通信研究機構)、小林秀行、川口則幸、小山友明 (国立天文台)

## 1 はじめに

情報通信研究機構と国立天文台は VERA プロジェクトで使用されるソフトウェア相関処理システムを現在構築中である。このシステムは3ヵ年計画で実施され今年度はその2年目である。昨年は VERA 観測データを磁気テープから PC-VSI のディスクアレイ上にファイルとしてコピーした後、ファイル化された観測データを使いソフトウェア相関処理によりフリンジの検出に成功した。今年度はソフトウェアで計算された相関処理結果と三鷹 FX 相関器の結果を長時間の観測データを使用して比較検証をおこなった。比較の結果、ほぼ一致した相関処理結果が得られている事が確認できた。さらに、VERA 観測では主に2ビーム観測が行なわれるが、ソフトウェア相関器では処理の自由度を向上させるためより多くのビームに対応できるマルチビームに対応させた。これより VERA の2ビーム観測はもとより、広範囲に分散したメーザースポットのような天体に対しても高率的に相関処理が実行する事が可能となった。本集録では今年度の作業内容について報告する。

## 2 ソフトウェア相関処理システム

### 2.1 相関処理システムの構造と仕様

ソフトウェア相関処理システムは VERA システムから VSI 出力を受取り、一旦 PC-VSI 上のディスクアレイに1倍速でデータコピーを行なう。コピー終了後、PC-VSI 自身のプロセッサを利用して相関処理が実行される(図1参照)。観測局数と同数のテープを同時コピーするため、相関処理でも基本的には観測局数と同数の PC-VSI を利用した分散処理が行なわれる。ここでの相関処理は時分割方式が採用されており、特定時刻における全局の観測データはひとつの PC ヘギガビットイサで集められた後、全基線相関処理が行なわれる。同時に他の PC では異なる時刻のデータが集められ相関処理が実行される。個々の PC で相関処理が完了した後、結果を一台の PC へ集めてそこで相関処理結果としてファイルへ格納される。ソフトウェア相関処理システムは VERA 相関器の後継機として開発されているため、基本的な仕様は現行の三鷹 FX 相関器とほぼ同じと

なっている。ただし、ソフトウェアで処理が実行されるためハードウェア上の制約で上限が決まっていた局数や FFT 数、相関出力速度などが自由に設定できる。ここで現在開発しているシステムの仕様を表1に記述する。

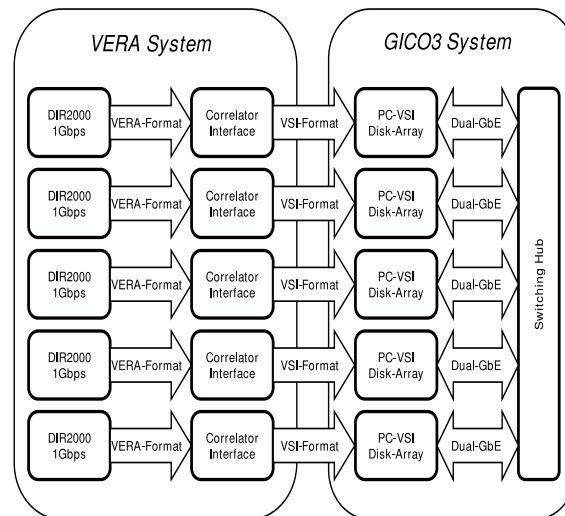


図1: 5局相関処理時の機器構成

表1: ソフトウェア相関器仕様

相関処理局数	5局 (原理的には何局でも可能)
相関処理方式	ソフトウェア FX 型 (自己相関/相互相関)
相関処理速度	5局相関処理時において 0.5~1.0 倍速程度
相関可能データ型式	VERA、K5/VSI、GALAXY、K5/VSSP、MARK-V
相関出力型式	CODA 型式、FITS 型式
分光点数/出力速度	256~65536 程度/1~100Hz 程度
サイズ/電力	標準ラック (20U)/最大 4kW

## 2.2 PC の構成

PC-VSI の開発コンセプトのひとつは汎用の PC パーツを利用することにより、VLBI システムを安価に構成することである。そのため VSI 信号を PC へ取り込むまでは NICT で開発された専用のハードウェアを使用するが、一旦 PC に取り込まれたデータは汎用のディスクアレイ上に記録され、ネットワーク伝送は汎用のイーサを使用し、そして相関処理には PC 上のプロセッサを利用する。このため、ハードウェアの新規開発をせずとも市場に高性能のパーツが登場すれば、それらを利用することによりシステム全体をより高性能なものにすることが出来る。この PC-VSI システムは開発開始時には 1Gbps のデータ記録性能と数百 Mbps での相関処理性能であったが、幾つかの構成要素を最新のものに交換することにより、現在では 4Gbps 以上のデータ記録性能と専用相関器である三鷹 FX 相関器の性能を超える 2Gbps 以上での相関処理性能を手に入れることが出来るようになった (図 2、3 参照)。ここで、参考までに VERA 用ソフトウェア相関処理システムを構成する PC のパーツを表 2 に記載する。このシステムではサーバー系の比較的高価なパーツを使用しているが、PC1 台当たりで 100 万円程度で購入が可能である。

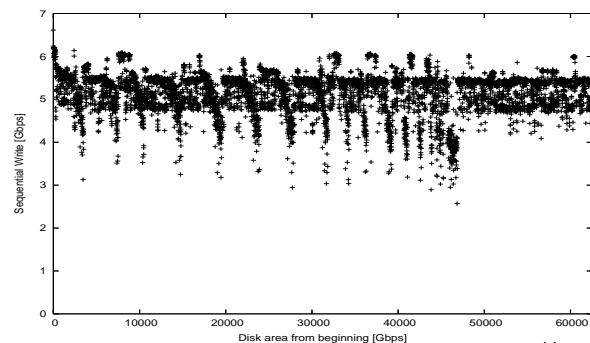


図 2: 汎用ディスクアレイを使用した書き込み性能

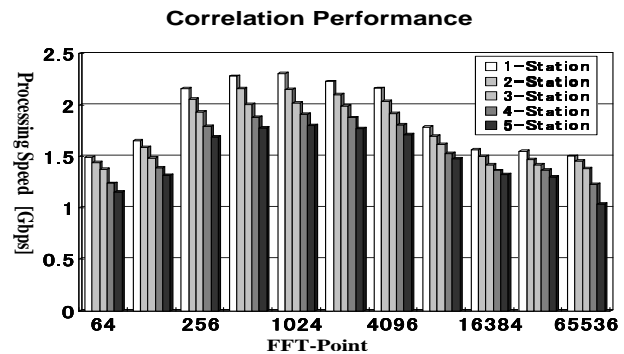


図 3: 観測局数と同数の PC を使用した相関処理性能

表 2: PC-VSI の現在の構成部品

CPU	Intel Xeon X5355 × 2
Mother Board	Super Micro X7DBE
Raid Card	High Point RR2340
Hard Disk	IBM/Hitachi Desk Star 7K500 × 16
Memory	FB-DIMM DDR2 533 1GB × 4
Case	T-Win RMC3E2-PI-XPSS

## 3 相関処理結果の比較

### 3.1 実観測データによる比較

三鷹 FX 相関器とソフトウェア相関器で処理結果に大きな差異がないかどうかを確認するために、同一天体が長時間に渡り記録されている磁気テープから観測データをファイルへコピーし、三鷹 FX 相関処理に与えたものと同じ遅延量を与えてソフトウェア相関処理を実行した。

両者の比較のため三鷹 FX の結果を CODA 型式からソフトウェア相関処理で利用される内部フォーマットへ一旦変換した後、同じ処理ソフトで解析を行なった。図 4 は天体 3C345 における水沢-石垣基線の相関振幅、SNR、群遅延と水沢-入来-小笠原のクロージャ位相位相を表示したものであるが、ほぼ一致した結果が得られていることがわかる。ここでは結果の一部しか表示していないがほぼ全基線において同様な結果が得られた。ここで、実際の比較で使用された観測情報は表 3 に記載する。

表 3: 観測情報

観測局	VERA4 局
観測日時	2003/328 01:34:00-02:40:00
観測モード	VERA-1(A-beam:256Msps/2bit W1ch、 B-beam:256Msps/2bit W1ch)
観測天体	3C345/NRAO512 (2 ビームモード)

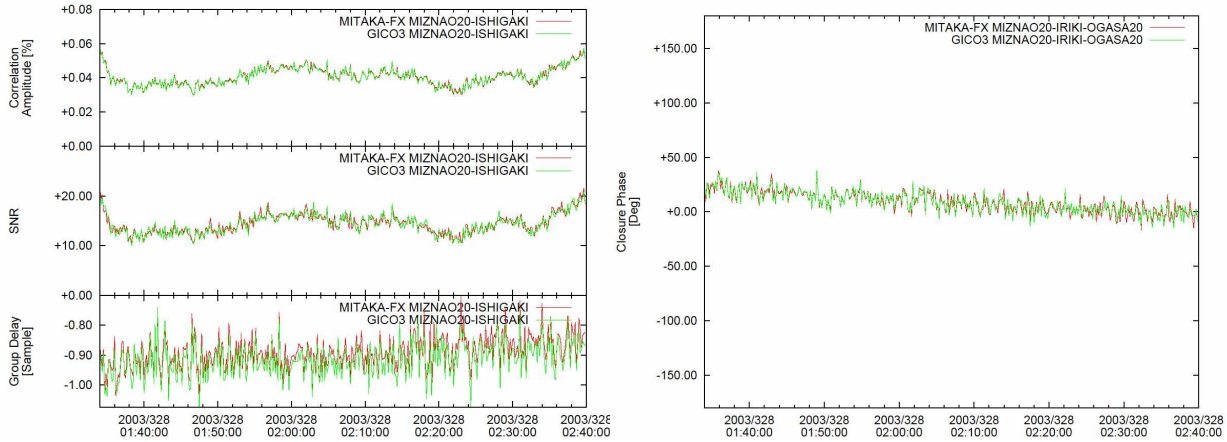


図 4：ソフトウェア処理結果と三鷹 FX の処理結果

### 3.2 複製データの相関処理による比較

通常の観測データを使用した相関処理結果の比較ではシステム雑音の影響で細かな変動量を調べるのには適していない。そこで完全に一致するデータの相関処理を幾つかの遅延量を付加して相関処理を行ないその結果を比較した。この比較のため表 3 で記された水沢局のテープを DIR2000 を 2 台使用して A、B、C、D の 4 巻を複製した。また、ソフトウェア相関処理用にはファイル化されたデータから“cp” コマンドで同様に A、B、C、D の 4 個を複製した。実際の相関処理では 4 局の全てにおいて水沢局における 3C345 の遅延量を与え、さらに各局毎に表 4 で示される分だけ遅延を付加された常態でおこなった。この付加のため A-B 基線で得られる群遅延量は  $-0.1nsec \times 256Mps = -0.0256[sample]$  となり、A-D 基線で得られる群遅延量は 66 分の間に約  $-0.1psec \times 3960 \times 256Mps = -0.1[sample]$  の変化量となって現れてくる。実際の相関処理で得られた群遅延量の結果を図 5 に記載する。群遅延の平均量としてはほぼ一致しているが、三鷹 FX の相関処理結果は遅延、レートを与えたいずれもが多少揺らいでいる。これはソフトウェア相関処理では内部演算精度が仮数部 24 ビット + 指数部 8 ビットの浮動小数点で演算されることに

対して、三鷹 FX が仮数部 11 ビット + 指数部 7 ビットで処理されることによるためだと考えられる。この結果から少なくともソフトウェア相関処理の遅延追尾性能は三鷹 FX 相関器を置き換えるのに十分な性能を持っていることが示された。

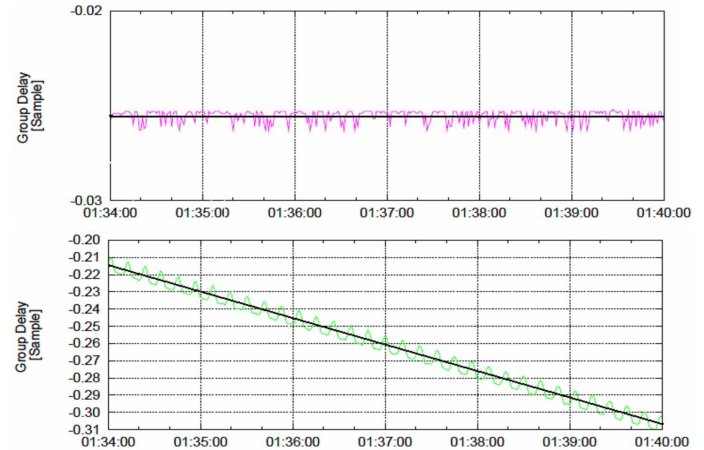


図 5：上図が A-B 基線の群遅延量、下図が A-D 基線の群遅延量を示す。直線になっている方がソフトウェア相関処理の群遅延であり、揺らいでいる方は三鷹 FX の群遅延である。

表 4: 相関処理時の付加遅延情報

複製データ名	付加した遅延	付加したレート
	[nsec]	[psec/sec]
A	0.0	0.0
B	-0.1	0.0
C	0.0	+0.1
D	0.0	-0.1

## 4 複数視野相関処理

通常の VLBI 相関処理に与える天体位置は天球上の一点であるが、VERA の 2 ビームではこれが 2 点となる。ソフトウェア相関器にはこれを更に発展させ、数多くの天体位置について同時に相関処理が可能なマルチビームに対応している。ソフトウェア相関処理のスケジュールファイル構造について簡単に紹介する。相関処理スケジュールファイルの例として表 3 の観測に対応するファイルを以下に記載する。このファイルは \$Station、\$Source、\$Stream、\$Process から構成される。\$Station には観測局コード、観測局名、局位置、記録フォーマットが指定される。ここで指定されている VERA-01 は別の設定ファイルにおいてさらにサンプリング速度、量子化ビット、チャンネル数、データのビット並び等が指定されている。\$Source には天体名と J2000 分点での位置を指定する。\$Stream には相関出力ファイル名の一部となるラベル、天体名、観測周波数、チャンネル番号、FFT 数、相関出力速度 [Hz] を指定する。通常の VLBI 処理ではチャンネル毎に観測周波数や FFT 数等を設定し相

関処理はチャンネル数分だけ同時におこなわれるのに対して、ソフトウェア相関処理では \$Stream で指定された数分の相関処理が同時におこなわれる。ここで個々の \$Stream に対して異なる天体名を記述すれば複数の天体位置に対して相関処理が同時に実行される。例として上げたスケジュールではチャンネル-00 は 3C345 の位置で追尾し、チャンネル-01 は NRAO512 の位置で遅延追尾が行なわれる。また、同じチャンネル番号に対して複数の天体位置を指定することにより、広範囲に広がったメーザー天体等の処理でも一回の相関処理で対応が可能となる。\$Process には相関処理開始時刻と処理時間、天体名と相関処理に参加する観測局コードを指定する。通常のシングルビームの VLBI 観測ではここで天体名を指定し、マルチビームの場合はここでは "multi\_beam" と記述することで、\$Stream 行で記述された天体名での相関処理が実行される。ここでは観測参加局として 4 局を指定し、\$Stream 数を 2 としているが、実際のソフトウェア上ではメモリの許す限り多くの値を使用でき、現実的な VLBI 観測で使用される相関処理のほとんどに対応が可能である。

### 相関スケジュールファイルの一例

—ここから—

```
$Station A MIZNAO20 -3857241.8226 +3108784.8097 +4003900.5431 VERA-01
$Station B ISHIGAKI -3263994.7258 +4808056.2881 +2619949.2188 VERA-01
$Station C IRIKI -3521719.5860 +4132174.6744 +3336994.2244 VERA-01
$Station D OGASA20 -4491068.8117 +3481544.7906 +2887399.5669 VERA-01
```

```
$Source 3C345 16h42m58.809967 +39d48'36.99406
$Source NRAO512 16h40m29.63246 +39d46'46.0298
```

```
$Stream Stream-01 3C345 2222000000 0 1024 100
$Stream Stream-02 NRAO512 2222000000 1 1024 100
```

```
$Process 2003/328 01:34:00 3960 multi_beam -A-B-C-D-
```

—ここまで—

## 5 今後

ここで開発している VERA 用ソフトウェア相関器は 3 年計画で進められており本年度はその 2 年目となる。

今年度の主な作業は三鷹 FX と詳細検討であったが、来年度には定常運用に向け自動化を中心とした開発作業を中心として進めてシステムを完成させる予定である。