

K5ソフト関連器の現状

通信総合研究所
鹿島宇宙通信研究センター

近藤哲朗, 小山泰弘, 大崎裕生, 竹内 央

1. はじめに

1960年代に米国で開発された世界初のデジタルVLBIシステム Mark-I では計算機プログラムによる相関処理(ソフトウェア相関処理)が行われていた[Bare et al., 1967]。当時の大型計算機 IBM360/50 で、1ビット 720kHz サンプリングデータの15ラグ相関関数の200秒積分に要した時間は90分と報告されている(サンプル・ラグあたりの処理時間に換算すると2.5 μ sec)。その後本格的なVLBIシステム Mark-II や Mark-III が開発されるが、当時の計算機では測地VLBI実験のような24時間観測を定常的に処理する計算能力がなく、データ処理はハードウェア相関器に頼らざるを得なかった。鹿島VLBIグループでもかってCCCと呼ばれるフリンジテスト用のソフトウェア相関処理プログラムを開発したが、当時(1980年代)のHP-1000 シリーズミニコンピュータ(HP-1000/45F)で1ビット 4MHz サンプリングデータの64ラグ相関関数を4秒積分するのにHP-1000/45F では8時間(サンプル・ラグあたりの処理時間は28 μ sec)、HP-1000/A900 で2.6時間(サンプル・ラグあたりの処理時間は9 μ sec)の処理時間を要した[Kondo et al., 1991]。CCCは国土地理院と共同で実施した宮崎 - 鹿島基線のVLBI実験(1986年10月6日)のフリンジテストに使用され、当時としては画期的な電話回線を利用したデータ転送を行い、観測から10時間後にはフリンジを検出することに成功したが、転送速度の遅さ(1200bps)や計算速度の遅さ、宅配便等の発達によるテープ運送時間の短縮から、CCCがその後の国内フリンジテストに使用されることはなかった。

一方、パソコン(PC)と呼ばれる小型計算機はほぼムーアの法則¹に従った著しい性能向上を示しており、現在のPCの演算速度は初期の大型計算機よりも遙かに高速となっている。そのため廉価なPCを使用したソフトウェアによる相関処理(ソフトウェア相関器)の実用化がここ数年来現実味を帯びてきた。そこで、通信総合研究所ではPCベースのVLBI端末「K5システム」を開発してきているが、開発当初からPCを使用したソフトウェア相関処理を目指し、CCCを発展させた「K5ソフトウェア相関器」の開発を行ってきている。K5ソフトウェア相関器は測地VLBI用ハードウェア相関器と互換性を有する相関データを得ることを主目的とした相関器であり、その実体はFreeBSD/Linux/Windowsで動作可能なCプログラムである。日々、処理速度向上のためのプログラム改良が行われているが、現時点では1ビット 4MHzサンプリングデータ1chの32ラグ相関を実時間で処理することが可能である(サンプル・ラグあたりの処理時間に換算すると約8 nsec。ただしCPUとしてPentium III 1GHzを使用した場合)。本報告ではこうしたK5ソフトウェア相関器の現状および将来計画について述べる。

2. K5ソフトウェア

K5ソフトウェア群は機能別に分けるとシステムチェック、観測、相関処理、フォーマット変換、実時間VLBI、ユーティリティから構成され、さらにそれぞれには以下に示すようなプログラムが含まれている。

システムチェック

k5_adcheck	K5-VSSP(IP-VLBI)ボードのAD変換器チェック
monit	信号レベルのチェック

¹ インテルの創業者の一人であるゴードン・ムーア氏が1965年に唱えた「the number of transistors on a chip doubles every 24 months」(トランジスタの集積度は24ヶ月ごとに倍になる)という法則。この法則に従い、計算機の性能は18ヶ月から24ヶ月ごとに倍になっている。

	speana	信号スペクトル表示
	datachk	サンプリングデータのチェック
観測	autoobs	自動観測の実施
	sampling	インタラクティブ観測の実施
	skdchk	観測スケジュールチェック
	timesettk	K5-VSSP ボードの時刻セット
	timedisp	K5-VSSP ボードの時刻表示
相関処理	apri_calc	予測値計算
	cor	ソフトウェア相関器(XF型)
	cor_fx	ソフトウェア相関器(FX型)
	sdelay	粗決定サーチ
フォーマット変換	m5tok5Rnp	Mark-V データを K5 フォーマットへ変換
実時間VLBI	vlbitks	実時間VLBIサーバー
	vlbitkc	実時間VLBIクライアント
ユーティリティ	datacut	データの切り出し(バイナリーのまま)
	extdata	データの切り出し(アスキーに変換)
	four2one	4ch データを 1ch データに変換
	pctimeset	PCの時刻をボードの時刻に合わせる

2.2 ソフトウェア相関器

K5ソフトウェア相関器は、まずKSP相関器と同じXF方式(時間領域相関処理)(図1)で開発を行いフリンジ検出の実証を行うと共に、処理時間の見積もりを行った。開発当初、1ビット 4MHz サンプリングデータ1chの32ラグ相関関数1秒積分に要する時間は、Pentium II 300MHzのCPUを使用して約10秒であった。その後、ソフトウェアの改良および高速のCPU(Pentium III 1GHz)を使用することにより、処理時間を約2秒までに短縮した。XF方式相関処理のアルゴリズムの検証と処理時間についての見通しを得た後、宇宙探査体の相対VLBI観測にK5を使用するため、ラグ数の拡大が容易つまり周波数分解能の向上が容易でテレメトリーキャリア信号のような狭帯域信号処理の相関処理に適したFX方式(周波数領域での相関処理)のソフトウェア相関器の開発に着手した。こうしてラグ数を任意に大きく設定できるソフトウェア相関器を開発し、2002年夏からの実観測に使用してきた。

FX方式ソフトウェア相関器はK5測地実験にも使用され、従来のハードウェア相関器と誤差範囲内で基線解析結果が一致することも確かめられた。ただし、処理の最適化は行われておらず、実時間VLBIを実現するには更に高速化を図る必要があった。そこで、再びXF方式に立ち戻り、かつデータを測地VLBI観測で最もよく用いられる1ビットサンプリングデータに限定して、ソフトウェア相関器の高速化

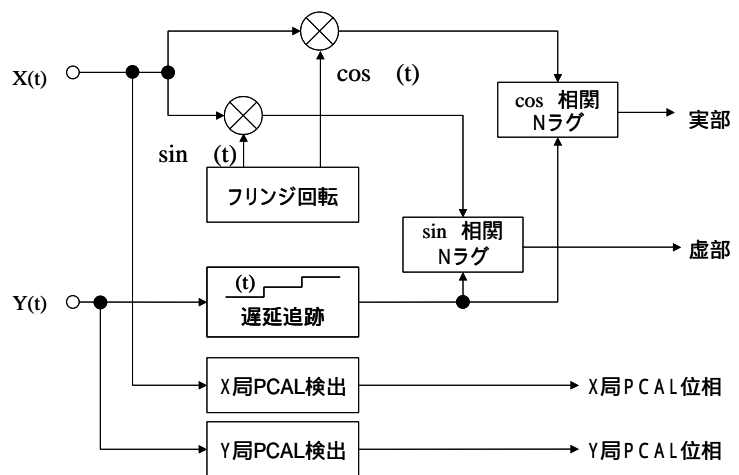


図1 ソフトウェア相関器(XF方式)のブロック図

に取り組んだ。その結果、現時点では1ビット 4MHz サンプリングデータ1chの32ラグ相関関数1秒積分に要する時間(Pentium III 1GHz 使用)は約1秒とほぼ実時間処理が可能な速度となってきた。図2に1ビット8MHz サンプリングデータをFX方式(fx_cor)およびXF方式(cor)で処理した場合の1秒積分に要する時間をラグ数およびch数をパラメータとして示している(注: K5システムはPC1台あたり4ch データを取得する)。処理時間には ch 間の位相差を校正するために注入されている位相校正信号(PCAL)位相の検出に要する時間も含まれている。FX方式はラグ数の違いによる大きな処理時間の変化は見られないが、XF方式はラグ数にほぼ比例して処理時間が変化し、512ラグ以下ではXF方式の方が高速となっている。なお測地VLBI相関器のラグ数は初期(K3 - VLBIシステムの時代)においては8であったが、最近の測地VLBI処理では32ラグが標準的となっている。また宇宙探査体のVLBI実験時には1024ラグまたはそれ以上を用いている。

8 MHz 1 ビットサンプリングデータ処理時間の比較
使用機: PentiumIII 1GHz Windows2000

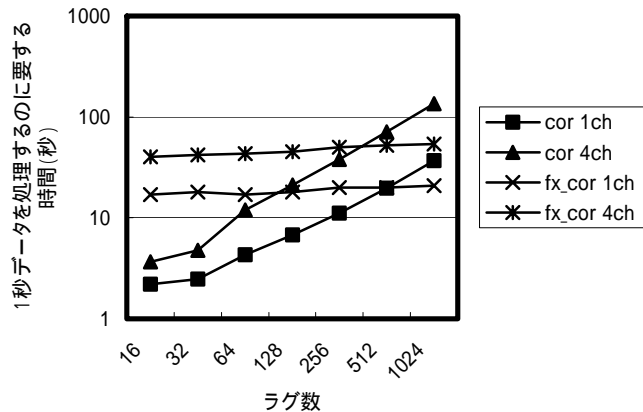


図2 FX方式(fx_cor)とXF方式(cor)の処理時間の比較

図2 FX方式(fx_cor)とXF方式(cor)の処理時間の比較
図2は、8 MHz 1 ビットサンプリングデータの処理時間を比較したグラフである。横軸はラグ数（16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024）を、縦軸は1秒データを処理するのに要する時間（秒）を示している。FX方式（fx_cor）はラグ数の違いによる大きな処理時間の変化は見られないが、XF方式（cor）はラグ数にほぼ比例して処理時間が変化し、512ラグ以下ではXF方式の方が高速となっている。なお測地VLBI相関器のラグ数は初期(K3 - VLBIシステムの時代)においては8であったが、最近の測地VLBI処理では32ラグが標準的となっている。また宇宙探査体のVLBI実験時には1024ラグまたはそれ以上を用いている。

2.3 ベンチマークテスト

XF型ソフト相関器(cor)についてCPU種類やクロック周波数の違いによる処理速度の違いを調べた。テストにはcorをVisualC++(6.0)で実行速度最適化オプション(/O2)を用いてコンパイルしたプログラムと、4ch1ビット8MHz サンプリングデータを用いて、1秒データの32ラグ相関処理を実行するのに要する時間を計測した。結果を図3に示す。点線は1chデータの場合の実時間処理境界を示す。つまり、この点線より下は1chデータの実時間処理が可能であることを示している。Pentium4 の処理速度が Pentium のクロック周波数の増大から予想される処理時間の短縮を示していないように見える。使用したコンパイラが Pentium4 をサポートしていないため、十分に性能を引き出せていない可能性はあるにせよ、単純にクロック周波数をパラメータとして比較するのには問題があるのかもしれない。いずれにせよコンピュータ業界で良く知られたムーアの法則に従って今後しばらく(後10年ほどはこの法則は正しいだろうと言われている)はPCの性能が伸びていくとすると、ソフトウェアの改良にそれほどの労力を割くことなく、十分な処理速度の向上が期待できることになる。

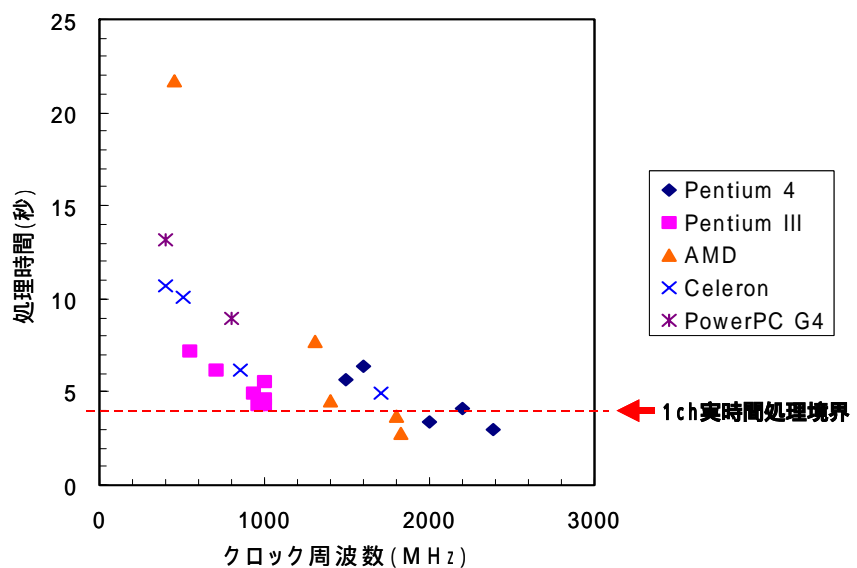


図3 ベンチマークテスト結果。4ch1ビット8MHz サンプリングデータを用いて1秒データの32ラグ相関処理を実行するのに要する時間を計測。点線は1chデータの場合の実時間処理境界を示す。

3. VLBI@home

現状で測地VLBIデータの相関処理を高速化する方法として複数のPCを使つての分散処理が考えられるが、データの分割方法として周波数ch毎に行う方法と時分割する方法がある。我々は分散処理技術の早期確立とSETI@homeのようなネットワーク分散処理の発展系が考えられる時分割方式での分散処理システムの開発を行っている。図4に時分割処理の概念を示すが、時分割されたデータを別々のPCで処理することにより、全体の処理時間の短縮を図る。

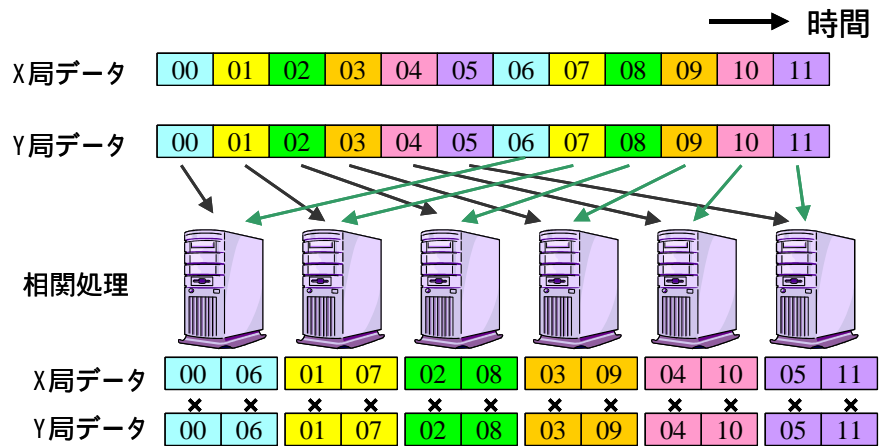


図4 時分割分散処理の原理。時分割された基線データをそれぞれ別のPCで処理を行う。

時分割分散処理を実現するために現在以下に述べるようなサーバー・クライアント方式の処理システムを考えVLBI@homeと名付けて開発を行っている(図5)。サーバーはリモートPC(クライアント)の要求を受け、1基線データを時分割データに分割し、相関処理に必要な情報とともにクライアントに送り込む。クライアントはサーバーから送られてきた1基線のデータを、一緒に送られてくる相関処理情報を元に相関処理を行い、結果をサーバーに返し、再びサーバーから別の時分割データと相関処理情報を受け取り処理を行う。これを複数のクライアントとサーバー間で繰り返すことにより全観測データの相関処理を行う。



図5 VLBI@homeのシンボルロゴ(暫定版)

4. 終わりに

我々は今後の相関処理装置の主流はソフトウェア相関器になるであろうと考えている。その根拠としてムーアの法則に示される計算機性能の著しい向上、その性能向上は少なくとも今後10年は現在のペースで進むであろうとの予測が挙げられる。実際にK5ソフトウェア相関器の開発を開始してから僅か数年であるが、PCは測地VLBIの実時間処理が可能なレベルまで性能向上している。今後もPCの性能向上と共に、処理速度の向上が期待されるが、より実用的な実時間処理相関器を実現するためには、開発中の時分割相関処理やGRIDに代表されるネットワーク分散処理機能の開発が不可欠と考える。こうした開発を進め早期にソフトウェア相関器によるインターネット実時間VLBIシステムの実現を目指したい。

参考文献

- Bare, C., B.G. Clark, K.I. Kellermann, M.H. Cohen, and D.L. Jauncey, Interfrometer experiment with independent local oscillators, Science, 157, pp.189-191, 1967.
- Kondo, T., J. Amagai, H. Kiuchi, and M. Tokumaru, Cross-correlation processing in a computer for VLBI fringe tests, J. Commun. Res. Lab., Vol.38, No.3, pp.503-512, 1991.