

赤外基線干渉計の基礎実験

BASIC EXPERIMENT FOR AN INFRARED BASELINE INTERFEROMETER

吉門 信¹、高見英樹¹、石津美津雄¹、箕曲在道²、塚越幹郎²、浅井和弘³、
有賀 規¹S. YOSHIKADO, H. TAKAMI, M. ISHIZU, A. MINOH, M. TSUKAKOSHI, K. ASAI,
and T. ARUGA¹郵政省通信総合研究所、²理化学研究所、³東北工業大学

C R L, M P T R I K E N Tohoku Institute of Technology

Abstract

Since last year, we have been conducting a basic experiment for the development of an infrared baseline interferometer system which can realize coherent imaging of distant objects with extremely high resolution. The system is based on coherent CO₂ laser heterodyne detection technique of infrared radiation. Through the experiment using a CO₂ laser as a trial radiation source, we succeeded in obtaining fringe patterns due to the difference between the optical path lengths from the source laser to two HgCdTe detectors, and confirmed that the system fulfils its fundamental function for such a temporal radiation source with relatively strong power.

1. はじめに

近づくことが困難、あるいは不可能な、遠方にある物体の形状や構造をより詳しく観察したい、すなわち、より高い分解能のイメージを得たいという要求を満足させるための手段としては、対象物が放射（または散乱）する電磁波を受信するアンテナ（望遠鏡）の口径を大きくして、ビームを細く絞るのが一般的である。

例えば、天文学の分野における光学的観測の手段としては、5メートル以上にも及ぶ大口径の望遠鏡が製作・利用されてきた。

一方電波の領域では、大口径アンテナを用いる電波望遠鏡と並んで、複数のアンテナによって受信された信号を合成することにより、これらのアンテナ群の広がりと同等の超大口径を有する仮想的なアンテナを用いるのと等価な、高分解能が得られる電波基線干渉計が開発され、電波天文学やVLBI技術による測地等の分野で活躍している。

光の領域においても、高い分解能を得るために望遠鏡の口径を大きくするほど、必要な鏡面精度の確保が困難になること、及び支持・駆動機構の機械的制約等によって、望遠鏡の大口径化には限界がある。したがって、この限界を超

えて、さらに高い分解能を得るためには、複数の望遠鏡を用いてその受信信号の合成を行う光基線干渉計の実現が不可欠である。

赤外基線干渉計は、電波領域ではすでに実用化されている基線干渉計を新たに赤外光の領域で実現させるものであり、これによって遠方の対象物のイメージング技術における分解能を、単一の望遠鏡を用いる場合と比較して飛躍的に向上させ、言わば極限の高分解能（角度分解能 $\Delta\theta \sim \lambda/L$ [L: 最大基線長]）で、対象物のイメージを得ることが可能となる。

赤外基線干渉計を実現するには、個々の望遠鏡で受信される赤外光信号の振幅と位相の両方を検出し、それらの信号間の相関を演算・記録する技術、及び記録された相関関数群から対象物のイメージを導き出す情報処理技術の開発が必要である。とりわけ、赤外光のコヒーレントヘテロダイン検出と、検出器出力として得られる広帯域中間周波数（IF）信号の相関演算の技術の確立が、赤外領域の干渉計に固有の課題であり、これを目標として進めてきた基礎実験の方法及び現段階までの成果について、以下に述べる。

2. 赤外基線干渉計の構成

現在、通信総合研究所(CRL)において開発されている赤外基線干渉計のシステムは、光学系、電子回路系、及びデータ処理系の、三つの部分から構成される。

光学系

光学系は、対象物から到達する赤外光を二つの望遠鏡で受信し、ビーム・スプリッターで二分割された局部発振器(Local Oscillator: LO)のCO₂レーザ光とともに、それぞれ別のHgCdTe検出器に導く部分である。Fig. 1に、光学系の構成、受信光及びLO光の光路を示す。

望遠鏡は、実際には二枚の照準用平面鏡と、その後に置かれた凸レンズ系から成っている。平面鏡は、直線可動ステージ上のホルダーにより、相互の間隔(=基線長: $L \leq \text{約} 2 \text{ m}$)及び

指向方向を任意に設定することができる。

LOの発振波長としては、00°1-10°0 遷移のP(20)の発振線(波長 $\lambda = 10.591 \mu\text{m}$)を選んでいる。短時間の周波数安定度は、300 kHzより小さい。

HgCdTe検出器は、コヒーレント赤外レーザ・ヘテロダイン技術の中心素子であり、受信光とLO光の差の周波数(中間周波数: IF)信号を出力するミキサとして働く。IF信号の帯域幅は、約500 MHzである。

二系統の受信光の光路の一方に、光路長可変器(Fig. 1では、Fine Delay Adjuster)が挿入されている。これは、微小なステップで位置の設定が可能なコーナー・キューブ・リフレクタの移動によって光路長を伸縮させるもので、後述の相関器を構成する遅延装置の最小ステップ(1 cmのケーブル長)の補間に用いられる他、

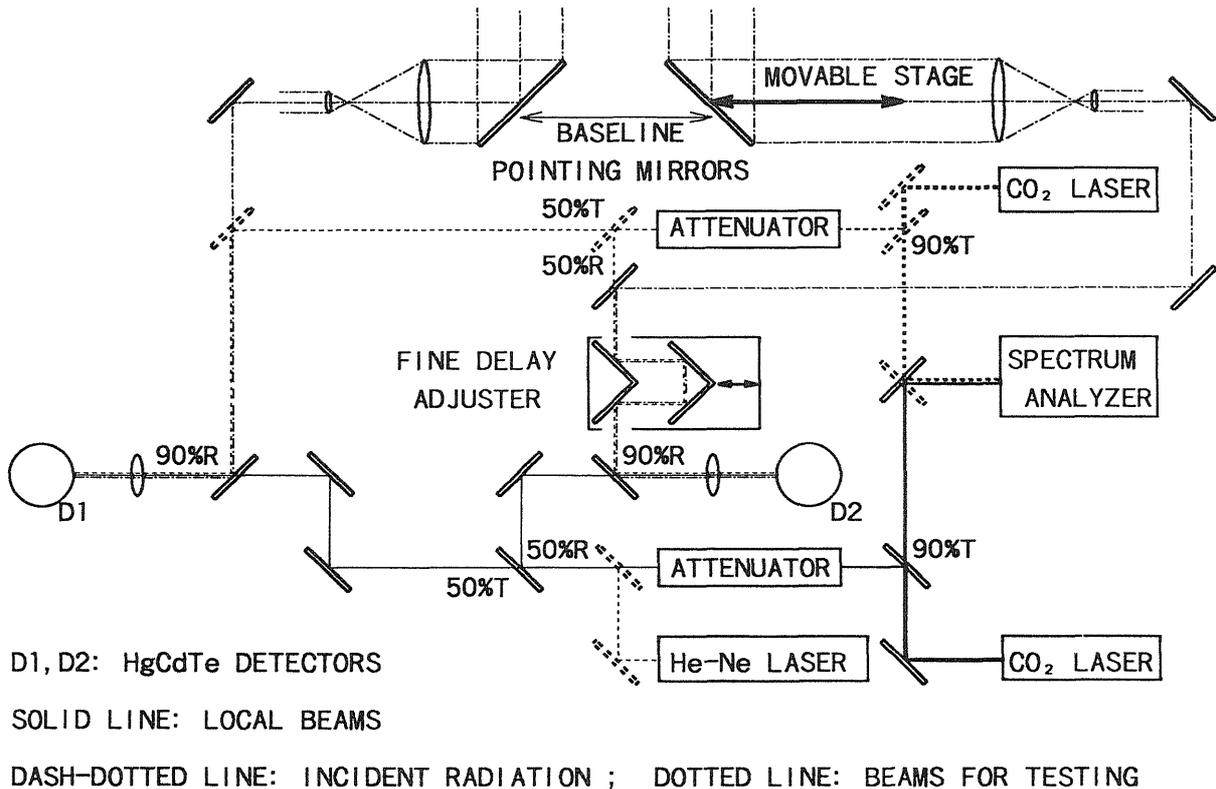


Fig. 1 OPTICAL SUBSYSTEM OF THE CRL's INFRARED BASELINE INTERFEROMETER: directs infrared radiation received by two pointing mirrors together with the split beams of a CO₂ laser(local oscillator) to HgCdTe detectors, which function as mixers for coherent heterodyne detection. The interval of the pointing mirrors is the baseline length.

基礎実験においては、試験的な信号光源として用意されたCO₂ レーザ光の、二個の検出器への到達時の位相差をコントロールすることによって、フリンジ・パターンを検出するために利用される。

電子回路系

電子回路系は、二個のHgCdTe検出器から出力されるIF信号を適当なレベルに増幅し、相互の相関関数の演算を行う。Fig. 2は、電子回路系及びデータ処理系のブロック図である。

相関器入力前のIF信号の増幅は、増幅率が40 dBの低雑音前置増幅器と、0 dBから70 dBまで10 dBステップで増幅率を切り換えられる増幅器群によって行われ、検出限界に近い微弱レベルの信号から試験光源の比較的強いレベルの信号まで、広い範囲の信号に対応することが

できる。

相関器は、種々の長さのケーブルの差し換えによる可変遅延装置と、広帯域アナログ乗算器とから構成される。広帯域アナログ乗算器は、最新の乗算用ICの採用により、DC～500 MHz帯域の、2系統の入力信号の乗算を行うことができる。この乗算用ICにより演算可能な入力信号レベルの範囲は、-20 dBmから13 dBmまでである。

データ処理系

データ処理系は、相関器出力を時間的に積分して、さらに必要な補正を加えて記録し、また記録されたデータの解析、イメージ再生処理等を実行し、また測定器類及び光路長可変器等の制御を行う。32ビットのパーソナル・コンピュータと周辺機器類によって構成される。

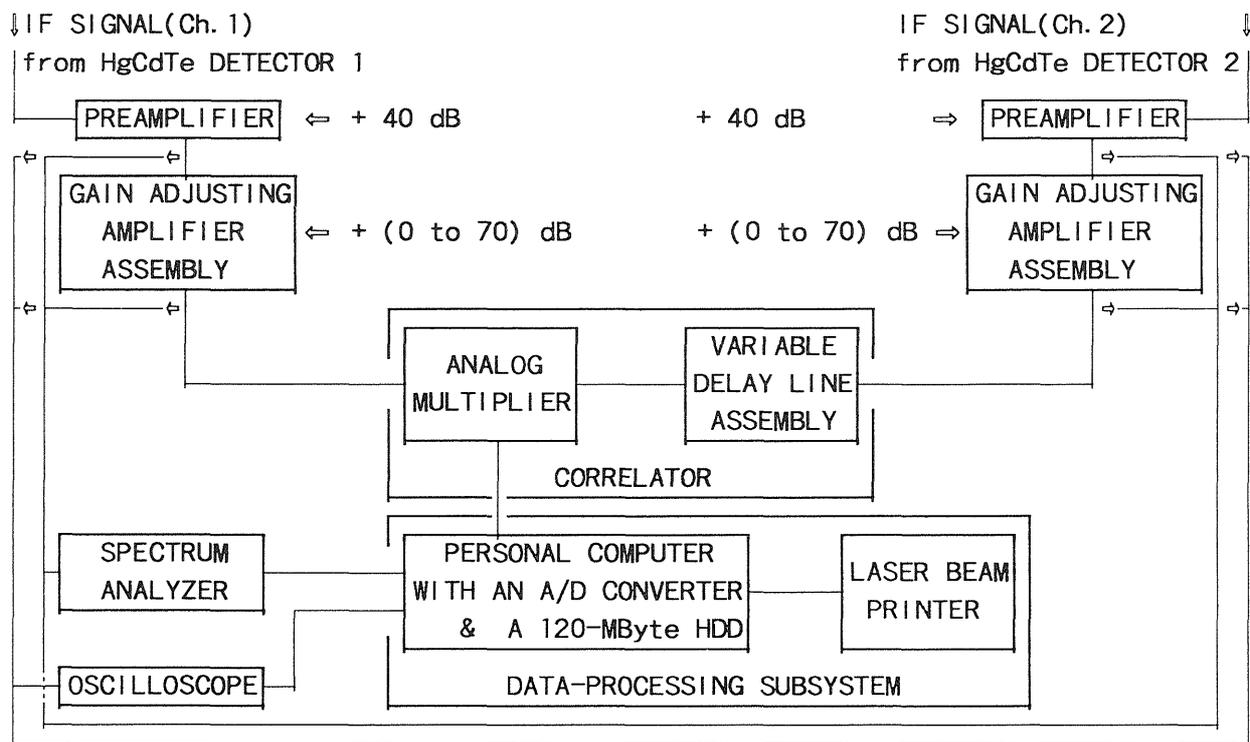


Fig. 2 ELECTRONIC AND DATA-PROCESSING SUBSYSTEMS OF THE CRL's INFRARED BASELINE INTERFEROMETER: compute and record the correlation between two IF signals from the HgCdTe detectors, and process the correlation data to yield desired interferometry outputs. The bandwidth of the IF signals is approximately 500 MHz. The minimum step length of the delay line assembly is 1 cm.

3. 基礎実験 - 成果と課題

基礎実験の第一段階の目標は、試験光源としてのCO₂ レーザ光の、二個の検出器への到達時の位相差の関数として、フリンジ・パターンを検出することである。Fig. 3に例示されたような二系統のIF信号の相関器(乗算)出力として

Fig. 4のフリンジ・パターンが得られ、比較的強いレベルのコヒーレントな信号光に対して、システムが順調に機能することが確認された。微弱な、またインコヒーレントな信号光に対応するための電子回路系及びデータ処理系における雑音抑圧策の確立等が、当面の課題である。

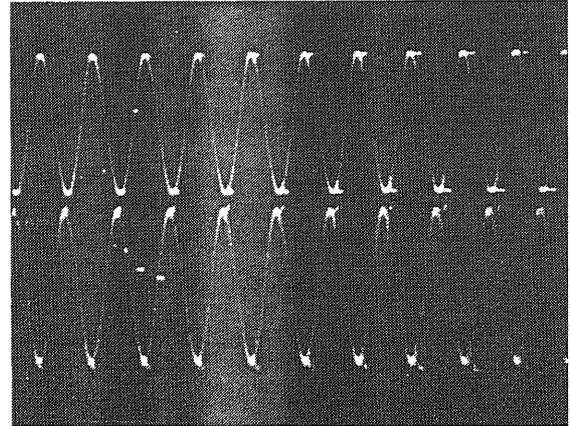
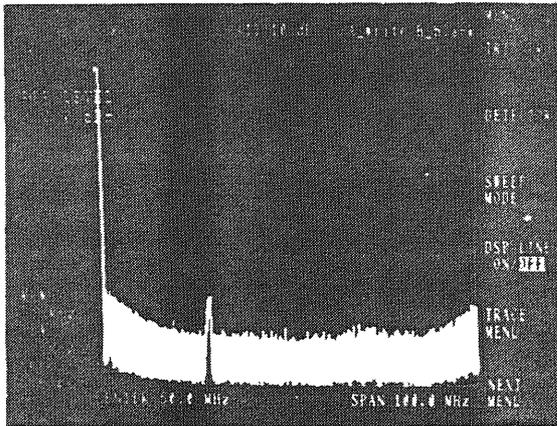


Fig. 3 Output displays of a spectrum analyzer(SA) and an oscilloscope(OS) when observing IF signals of the trial CO₂ laser beam: The SA(left) has scales of 10 MHz/Div.(horizontal) and 10 dB/Div.(vertical). The OS(right) shows an example of waveforms of the two IF signals as a fringe test.

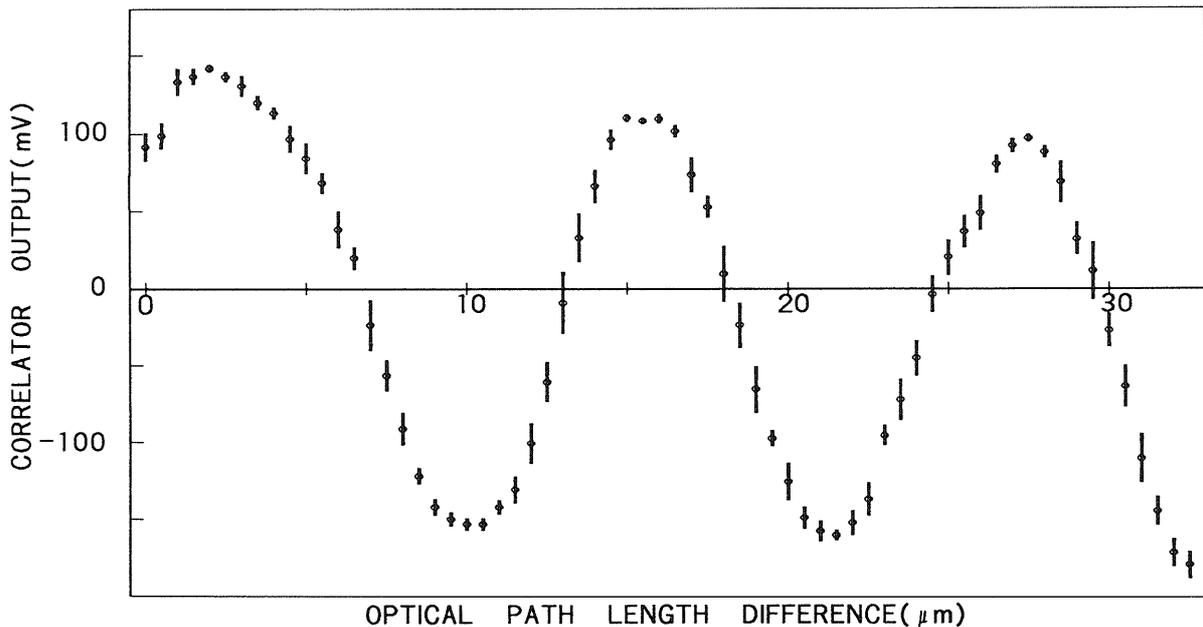


Fig. 4 A FRINGE PATTERN OBTAINED AS THE CORRELATOR OUTPUT: The two IF signals with power levels of approximately -90 dBm at the outputs of the HgCdTe detectors are amplified to levels of 10 dBm, and multiplied to yield fringe patterns as a function of the optical path length difference controlled by the fine delay adjuster.