

B1

空間光変調管による実時間フーリエ変換

Real-Time Processor for the Fourier Transformation using
Microchannel Spatial Light Modulator

平山智啓¹⁾・磯部瑛三¹⁾・大坪順次²⁾・竹森民樹³⁾・藤田勝吉³⁾

Tomohiro HIRAYAMA¹⁾, Syuzo ISOBE¹⁾, Junji OHTSUBO²⁾,

Tamiki TAKEMORI³⁾ and Katsuyoshi FUJITA³⁾

国立天文台¹⁾、静岡大工学部²⁾、浜松ホトニクス(株)³⁾

National Astronomical Observatory¹⁾, Shizuoka University

Faculty of Engineer²⁾ and Hamamatsu Photonics Co. Ltd.³⁾

Abstract

Recent development of spatial light modulator using various optical devices makes it possible to conduct real-time optical processing of the Fourier transformation. The method of optical image processing using these devices may be used as an alternative one for the calculation of the averaged power spectrum.

In this paper, a portable real-time processor for stellar speckle interferometry using a microchannel spatial light modulator (MSLM) is described. The incoherent image is converted into an electric charge image which is formed across the crystal surface involved in the MSLM. Under illumination of polarized coherent light to the back of the crystal, a coherent image corresponding to the input incoherent one is obtained through an analyzer.

1. 空間変調素子

現在、多くの画像の処理において、計算機による方法が主に用いられている。レーザー光の出現以来、光を使った画像処理法も提案されてきた。しかし、光処理において必要とされる画像の一時記録のためのよい実時間素子が得られず、光処理を実際の画像へ応用することは疑問視されてきた。たとえば、天体スベックル干渉においても、初期の段階で写真フィルムに記録した短時間露光像を光学的に処理をする方法が提案された。しかし、この処理法には膨大な時間がかかるため、天体スベックル干渉の処理には計算機が用いられてきたという経緯がある。しかし、計算機処理においても、画像の転送などに時間がかかるため、望遠鏡によって取り込んだ画像をその場で実時間処理することには難点があった。

ところが、ここ数年、実時間写真を可能にする空間光変調素子の研究が活発になり、いくつかの商品も出回るようになってきている。この背景には、光の処理が基本的に並列処理であり、非常に高速な処理が期待できることと、現在の計算機が直面している回路配線による信号の遅延や干渉を回避できるなどの点が上げられる。一般的に、空間光変調素子とは、写真のように画像を記録するときにはある積分時間内の光強度を並列に記録することができ、しかも、時間的には画像の消去、書き込みサイクルが秒以下で動作でき、繰り返し使うことのできる素子のことを言う。我々は、空間光変調素子を使った高速光フーリエ変換システムの開発を行った。ここでは空間光変調素子として、浜松ホトニクス(株)において開発された空間光変調素子MSLM (Microchannel Spatial Light Modulator)を用いた。

2. MSLM

図1に、MSLMの原理図を示す。光電面からインコヒーレント像が入射すると、この像は光電

子像に変換される。この光電子像は、MCPにより数千倍から一万倍に倍増されたのち、結晶面に光学像に対応する電荷像を形成する。蓄積された電荷量に応じて結晶を横切る電界が変化し、電気光学効果（ポッケルス効果）によって結晶の屈折率が変化する。ここで、直線偏光の読み出し用レーザー光を結晶に照射し、電気光学結晶裏面の誘電体ミラーからの反射光を偏光板を通して見ると、蓄電荷に対応したコヒーレント出力像が得られる。

このデバイスは、MCPにより光学像に対応する電荷分布を倍増する作用があるため、これまで開発されている空間光変調素子のなかでも高感度である。また、マトリクス構造ではないため、解像度も高くすることができ、液晶素子などに比べ高いコントラスト比を得ることができる。また、デバイスとして光電面、結晶を選ぶことにより、書き込み光、読み出し光の波長を選択することもできる。そして、正電荷像、負電荷像での書き込みが可能であり、蓄積機能と合わせてデバイス内の一次画像処理も可能である。

本システムで使用した素子の感度は 10 nJ/cm^2 と高く、通常の写真フィルムの感度に近い値が得られている。また、この素子の解像度は、50%MTFで約 10 lp/mm であり、書き込み、読み出しのサイクルは入力光量にも依存するが、およそ数 $\sim 10\text{ Hz}$ 程度である。素子の有効形は 16 mm である。

3. 光学系

天体スペックル干渉データを望遠鏡サイトにおいて実時間処理するために、可搬型の高速フーリエ変換プロセッサを開発した。図2に、その光学系を示す。この光学系部分は、持ち運び可能なアルミ製の箱の中に収められている。光学系部分の重さは、約 40 kg である。以下に、光学系の説明を行う。

図2で、テレビモニタ上に映し出された天体スペックル像は、レンズによってMSLMの光電面に投影され、その光量に比例した電荷像がMSLMの電気光学結晶上に作られる。He-Neレーザーを用いて、この結晶面を一様に照明すると、電荷分布に応じて局部的に偏光状態が変化した反射光が得られる。この反射光の振幅を、レンズと偏光子(PL)とによりフーリエ変換し、CCDカメラでフーリエ変換の絶対値、すなわちパワースペクトルとして検出する。点線で書かれた部分は、MSLMの電気光学結晶面の上に書かれた電荷分布を光学像に変換してモニタするための光学系であり、テレビモニタの像が正しくMSLMへ書かれているかを確かめるときや、MSLMへの設定電圧を決めるときのチェックのための結像系として使う。この光学系で使われている鏡(M)の大部分のものは、処理の機能上本質的なものではないが、限られたスペースの中で結像やフーリエ変換などを正しく行うために用いた。

4. 観測システム

図3に、高速フーリエ変換プロセッサを用いた天体スペックル干渉観測の全体のシステムの構成を示す。このシステム全体は、計算機(16ビット計算機、PC98シリーズ)によって制御されており、各処理のユニットをモジュール化し、メニュー方式で選択、制御できるプログラムの元で、自動的に測定、処理が行われるようになっている。

観測、処理のためのソフトウェアは、すでに述べたように自動測定、処理ができるように、ひとつのプログラムとしてまとめられている。データ処理された二重星のパワースペクトルは、ヤングの干渉縞パターンになり、これから干渉縞の間隔と縞の方向を求められる。

図4は、処理のソフトウェアの大まかな流れを示したフローチャートである。

5. 観測結果

ここでは、高速光フーリエ変換プロセッサを使った二重星の観測結果について述べる。

二回目は、岡山天体物理観測所において188cm望遠鏡を使い1989年10月6日～8日までの2夜にわたり、天体スペckル干渉観測を行った。両日とも曇りで観測ができるような空ではなかったが、7日の夜半に一時的に晴れ間があり、このときに二重星4個、それらの参照星4個について観測を行うことができた。しかし、曇りの間の晴れ間で大気の状態も悪かった。

図5は二重星ADS 15281についての結果である。図5(a)は、光処理の結果であり、図5(b)は、計算機によるデジタル処理の結果である。光処理については、干渉縞が形成されていることがわかる。

表1には、整約した二重星の間隔と位置角の結果を表にまとめたものを示した。光処理とデジタル処理とでは、良い一致のあることがわかる。

6. まとめ

天体スペckル干渉の観測データを、観測時点で実時間で処理するための高速光フーリエ変換プロセッサを開発した。実際に望遠鏡サイトにおいて本装置を稼働させ、天体スペckル干渉のデータ処理を実時間で行うことができた。空間変調素子を使った高速光フーリエ変換プロセッサは、まだ試作の段階であるが、天体スペckル干渉観測におけるクイックルックのための装置としての役割は十分に果たせることがわかった。またある標準二重星についてデータ処理することにより、観測時の大気の状態を常にモニタできることなどの応用も考えられる。現時点において、本装置はこれまでの計算機処理を完全に置き換えるほどの性能は備えていない。しかし、近い将来において、空間光変調素子としてより高性能なものが得られれば、光処理のみで天体スペckル干渉観測データの一連の処理が行える可能性があることを指摘しておきたい。

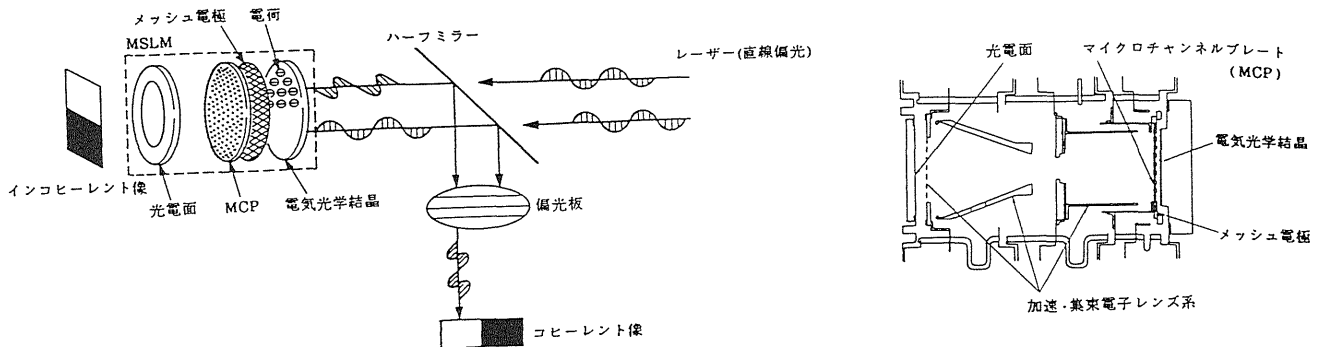


Fig. 1. Schematic diagram of microchannel plate and operation principle of MSLM.

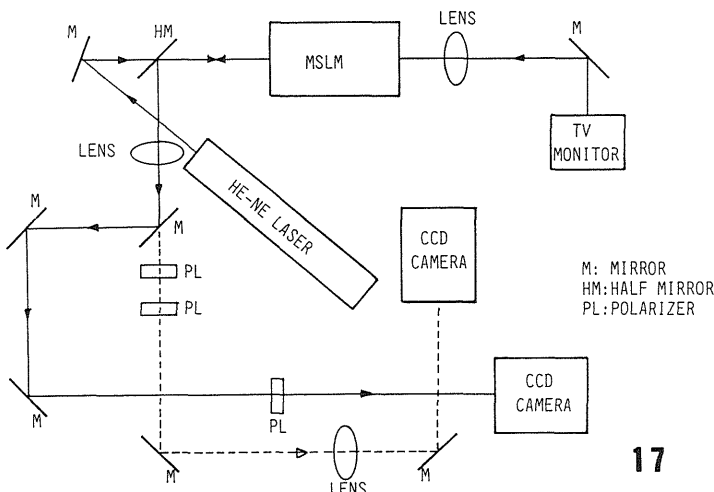


Fig. 2. An optical layout of an optical processor high-speed Fourier transformation.

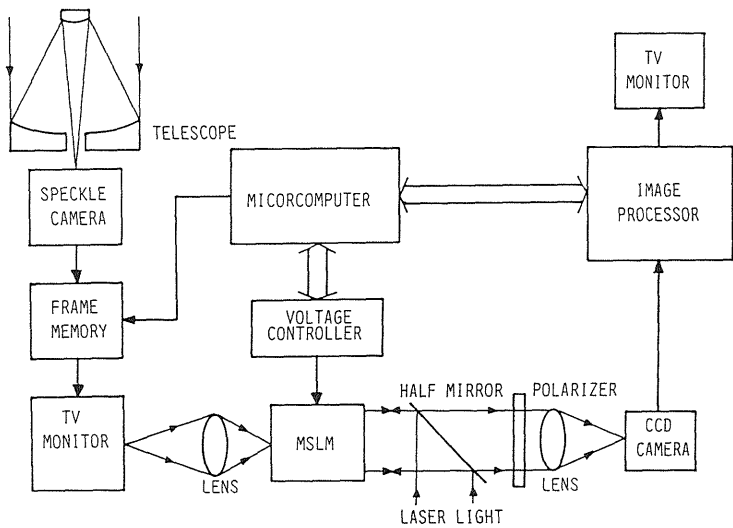


Fig. 3. A reduction system for stellar speckle interferometer.

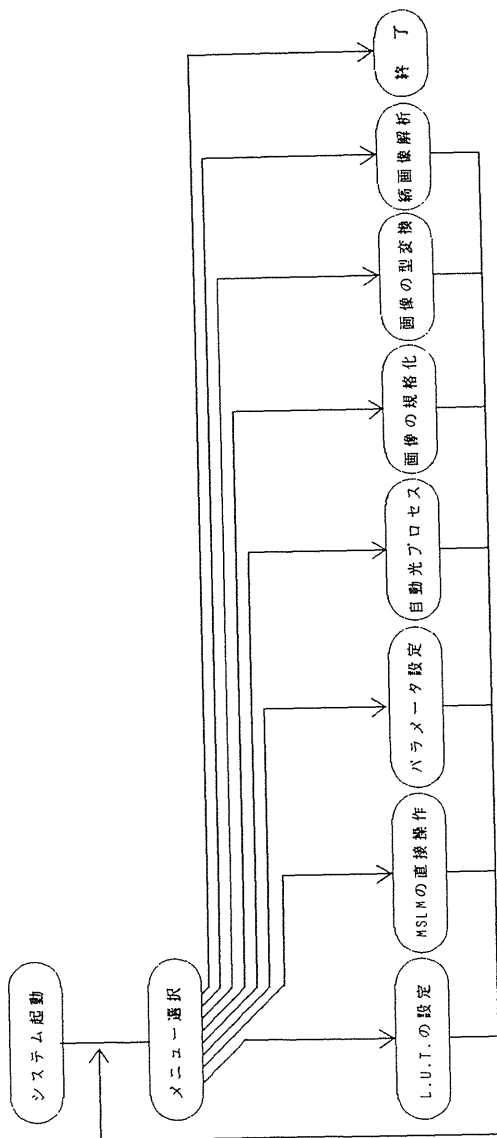


Fig. 4 A menu of control software of an optical processor for high-speed Fourier transformation.

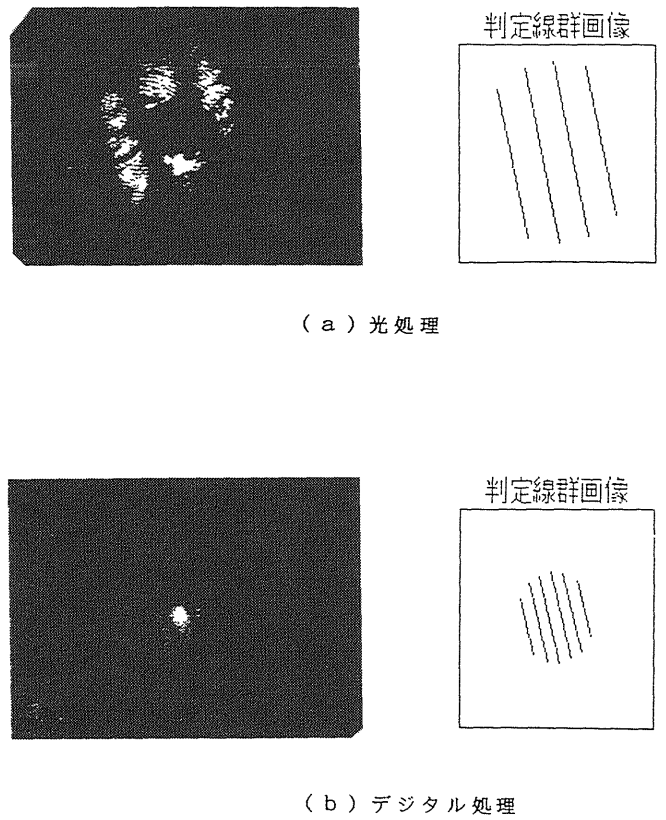


Fig. 5. An example of a fringe pattern for the star, ADS 15281.

Tab. 1. Some samples of binary stars resolved by optical processor and by digital processor.

二重星 ADS No.	epoch	間隔 (秒)		位置角 (°)	
		光処理	デジタル処理	光処理	デジタル処理
940	1989.77	0.36	0.38	132	135
2799	1989.77	0.25	0.27	208	211
15281	1987.86	0.26	0.26	103	106