

空間光変調器を用いた光情報検索システムの動作実験

羽鳥 雅章<sup>†\*</sup> 塩谷 康平<sup>†\*\*</sup> 土田 恵一<sup>††</sup> 三田 元仁<sup>†††</sup>  
 大河 正志<sup>†</sup> 関根 征士<sup>†</sup>

Operation of Optical Information Retrieval System Using Spatial Light Modulator

Masaaki HATORI<sup>†\*</sup>, Kouhei SHIOYA<sup>†\*\*</sup>, Keiichi TSUCHIDA<sup>††</sup>, Motohito MITA<sup>†††</sup>,  
 Masashi OHKAWA<sup>†</sup>, and Seishi SEKINE<sup>†</sup>

あらまし 並列光情報処理を実行するフーリエ光学系と高密度記録の可能なホログラフィックメモリを組み合わせた光情報検索システムが以前より提案されている。しかし、システムのキーデバイスである空間光変調器の開発の遅れから、現在まで空間光変調器を利用した光情報検索システムについて報告はされていない。そこで本研究では、強誘電性結晶を用いた空間光変調器を使用して小形の動作実証用システムを構成し、その動作確認を行った。まず、使用した空間光変調器の性能をもとに、ホログラムと光検出部の設計を行い、試作システムの仕様を決定した。ついで、光検出部での光検出法として同期検波と直接検波の二つの方法を用い、各々が18ビットの情報からなる9個のホログラムを使って情報検索を行った。その結果、既存の空間光変調器の性能でも検索が可能であることがわかり、変調器の性能とシステム性能の関係についても明らかとなった。しかし、本システムが実用化されるに至ってはまた数々の問題を抱えており、これらの問題点については最後に言及した。

キーワード 情報検索システム、フーリエ光学系、空間変調器

1. ま え が き

将来の高度情報化社会に向け、情報処理、特に情報検索の分野において、多量の情報から必要な情報を高速に抽出する情報検索システムの必要性がますます増していくものと思われる。現在、情報検索ではコンピュータ等による処理がなされているが、情報量が多くなればなるほど、その処理速度は決して十分とは言えなくなってくる。この問題の解決策の一つとして、並列処理の導入が考えられ、特に高速性、並列性に優れた光波の利用が注目されている。このような光波の特徴を情報検索に生かす場合、重要な構成要素の一つにメモリがあり、ホログラフィックメモリがしばしば利用される。ホログラフィックメモリは、一般に回折効

率が低く、個々の情報を読み出す際の操作性が悪い等の欠点があるものの、情報の高密度記録が可能で冗長性が高いという優れた特徴をもっている。このような利点に着目して、ホログラフィックメモリとフーリエ光学系を組み合わせた光情報検索システムが以前より提案されており[1]~[6]、大規模な並列処理を実現することにより情報処理の高速化が図れるものと期待されている。しかし、現在このようなシステムが実用化に至っていないのは、キーデバイスである空間光変調器の開発が遅れているためである。本論文で述べる検索システムでは、空間光変調器が情報検索の際のデータマスクとして使用されるため、コントラスト比が高く、検索速度の点から応答速度の速いものが要求される。更には、空間光変調器の数が検索項目数を制限するため、その形状は小形で1個1個の変調器が多数アレー状に配列されているものが必要となってくる。

このような理由から1970年代にシャッターマスクを使用した検索システムが報告されている[1]が、現在までの研究では、空間光変調器を利用したものはないものと思われる。しかし、近年の光エレクトロニクスの発展から徐々に液晶、結晶を用いた空間光変調器

† 新潟大学工学部電気電子工学科, 新潟市  
 Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata-shi, 950-21 Japan

\* 現在, 日本電信電話株式会社

\*\* 現在, 富士ゼロックス株式会社

†† 長岡工業高等専門学校電気工学科, 長岡市  
 Nagaoka College of Technology, Nagaoka-shi, 940 Japan

††† 新潟職業訓練短期大学校情報処理科, 新発田市  
 Niigata Polytechnic College, Shibata-shi, 957 Japan

が製品化されており、既に光情報処理システム等の研究に利用されはじめています。そこで、我々は現在入手可能な市販の強誘電性液晶を用いた空間光変調器を利用して、小形の動作実証用システムを構成し動作確認を試みた。そして、空間光変調器を用いることによる問題点を明らかにして、今後のシステム性能の向上について考察を行った。

本論文では、まず動作実証用システムの設計、検出法について述べ、そして検索結果をもとにシステムの実現に際して解決すべき問題点について論じる。2.ではシステムの構成と原理を述べ、3.では、使用する空間光変調器の仕様を参考にして、ホログラム、光検出部について行った設計の一例を示す。ホログラムについては予備実験により、大きさ、最適露光量を決定し作成にあたった。光検出器は微弱な光の検出が要求されるため、その性能を比検出能力により評価した。4.では、設計をもとに試作した動作実証用システムについて述べる。試作にあたっては、光検出において同期検波と直接検波の二つの方法を用い、検出法の違いによるシステム性能について検討した。5.では、18ビットの情報からなる9個のホログラムによる検索を行い、その結果を示すと共に考察を行った。そして、最後に、システム実現に対する問題点について論ずる。

## 2. 情報検索システムの概要

### 2.1 情報検索システムの構成 [1],[2],[4]

図1はここで述べる情報検索システムの構成である。システムは、図1のように入力面にホログラムアレー、データマスクとして使用する空間光変調器(Spatial Light Modulator 以下 SLM)、出力面(Photodetector Array 以下、光検出部)および2枚のレンズからなるフーリエ光学系により構成される。入力面には多数のホログラムが配置され、その一つ一つ

には任意の情報が2進符号化され、記録されている。表1は、本実験に用いた情報の一例であり、一つのホログラムに、3ビットの情報が6項目、計18ビット入力されていることを示している。入力面のホログラムにレーザ光を照射すると、ホログラムに記録されている情報はレンズによりフーリエ変換され、焦点距離 $f$ だけ離れた焦点面(SLM)上に現れる。図2は、ホログラム $M_1$ ,  $M_2$ に記録されている2進情報が、焦点面(SLM上)で再生された様子(再生像)を示している。ここで、2進情報の表し方は図2のような光(ドット)の到達する位置によって0, 1を表現する。再生光が到

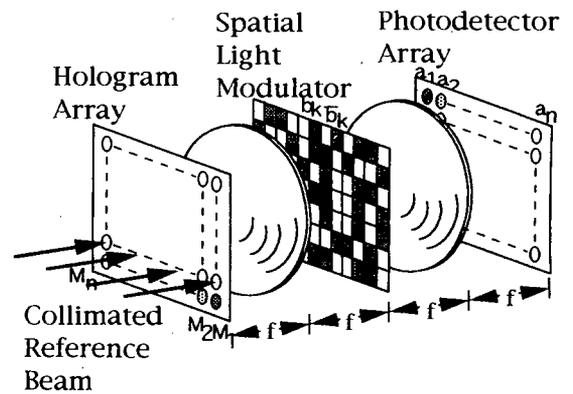


図1 情報検索システムの構成

Fig.1 Schematic diagram of the information retrieval system.

表1 ホログラムに記録されている情報例

Table1 Example of information recorded in holograms.

検索項目 アドレス	項目1 3ビット	項目2 3ビット	項目3 3ビット	項目4 3ビット	項目5 3ビット	項目6 3ビット
$M_1$	1 0 1	1 0 0	0 1 1	0 0 1	1 1 0	1 1 0
$M_2$	0 1 1	1 0 1	1 0 1	0 0 0	1 1 0	1 0 1
$M_3$	1 0 0	1 1 1	0 1 0	1 1 0	0 1 0	0 0 1
$M_4$	1 1 0	0 0 1	1 1 0	0 1 0	1 0 1	1 0 1

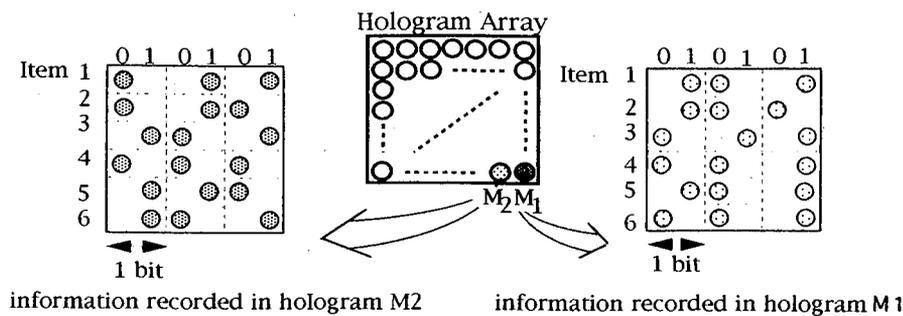


図2 ホログラムに記録されている情報例(再生像)

Fig.2 Example of information recorded in a hologram (its reconstructed images).

達する SLM では、 $k$  ビット目の情報を制御するため二つの窓が用意されており、このような SLM をフィルタとして用いることにより、検索処理が可能となる。この処理の原理については次節で述べる。SLM を透過した光波はもう 1 枚の焦点距離  $f$  のレンズにより再びフーリエ変換されて焦点面(出力面)上に結像する。このとき、入力面(ホログラム)と出力面(光検出部)の位置関係は光学的共役の関係にある。つまり、図 1 のようなホログラム M1 に対応する出力は光検出部 a1, ホログラム M2 に対応する出力は a2 という位置関係となる。このシステムでは、ホログラム一つに光検出器一つが対応しているため、出力面の光検出器は、入力面に配置するホログラムと同数個必要となる。ところで、本システムの特徴である並列処理を最大限生かすためには、入力面にはできる限り多数のホログラムを配置すると共に、光検出器の高密度化が重要と言える。

### 2.2 情報検索の原理 [1]~[3]

ここでは、入力面に記録されたホログラムの中から、検索したい情報の全項目が一致するホログラムを調べる方法について述べる。図 3 は検索の原理を説明するための概略図であり、簡単のため図 1 のシステムのレンズを省略してある。ホログラム M1, M2 には、表 1 および図 2 で示した 2 進情報が記録してある。ホログラムにレーザー光を照射すると、図 3 の左下図のよう

に再生光は情報に対応した所定の位置(0 は 0, 1 は 1 を表す位置)にフーリエ変換されて結像する。このとき、得たい情報の 2 進符号に対応する SLM の窓が閉まっていれば、ホログラムからの回折光は SLM の窓で遮断され出力面に到達しない。それに対してホログラムの情報が SLM の閉じた窓と 1 ビットでも異なっていれば、その情報光が SLM を透過して出力面に到達する。

情報検索の方法を、ホログラム M1 の検索を例に示す。図 3 の右下図のように、SLM の閉じた窓がホログラム M1 の情報に合致していれば、M1 の情報光は出力面に届かずに、出力面に暗点ができる。一方、ホログラム M2 のように異なった情報については、SLM の開いた窓を透過して情報光が出力面に到達し、明点ができる。従って、出力面における暗点を調べることにより検索がなされる。

本システムにおいて、入力面に配置されたホログラムの数に比例して、検索処理における並列度が増し、検索情報数が多くなればなるほど本システムの性能は十分に発揮できるものと期待される。

ところで、上で述べた検索方法によると、すべてのホログラムの中から、取り出したい情報の全項目が合致するホログラムを検索することができる。しかし、一般には、このような検索よりキーワード等による項目別の検索のほうが重要と言える。キーワードによる

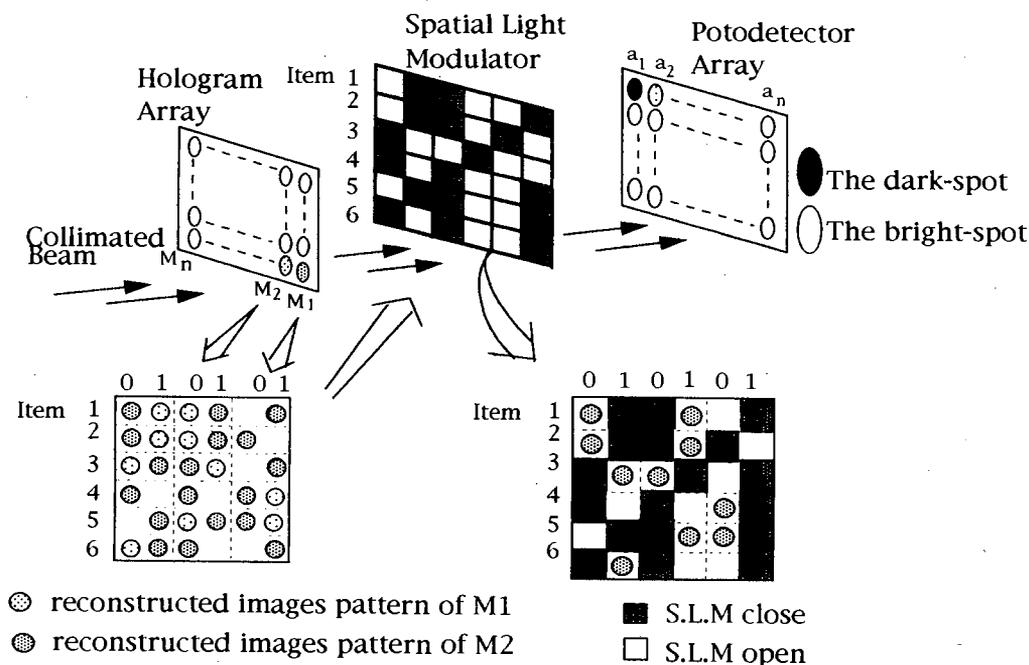


図 3 情報検索の原理  
Fig. 3 Principle of information retrieval.

検索を行うためには、この節で述べた要領でキーワードに当たる項目の情報のみをSLMに表示し、他の項目に対応する窓は情報に関係なくすべて閉じる。これにより、キーワード情報だけの検索がここで述べた原理に従って行え、キーワードの合致するホログラムを調べることができる。検索終了後、キーワードの一致したホログラムを順次再生することで、それらの情報を読み出すことができる。

### 3. 小形情報検索システムの設計

前章で述べた光情報検索システムでは、大量の情報の並列処理が可能となる。そこで、この構成に基づいた情報検索システムの試作を行い、動作の確認を行うことにした。

試作にあたりSLMが必要不可欠なデバイスとなる。特に、SLMには、一つのホログラムに記録されている情報数の2倍の窓が必要となり、更に、明暗点の光強度差を大きく取るためにコントラスト比の高いものが要求される。しかし、現時点では本システムの性能を十分に生かすことができるSLMはまだ開発されていない。そこで、我々は現在入手可能なSLMを用いて本システムの動作確認を行うことにした。今回使用したSLMはDISPLAYTECH社製の強誘電性液晶SLMで、その仕様を表2に示す。このSLMの仕様をもとにシステムの設計を各デバイスについて以下のように行った。

#### 3.1 ホログラム

使用するホログラムの設計を行ううえで、ホログラムの種類、大きさ、回折効率、SN比等が考慮すべき重要な要素と言える。ホログラムの種類については、高密度記録が可能であることが条件となり、ここでは作成の容易なフーリエ変換ホログラムとした。大きさ、回折効率等については作成方法に直接依存するため、実際にホログラムを作成し、その特性評価を行った。図4は作成に用いた光学系で、レンズおよび前焦点に置かれた情報構成板、後焦点のホログラム乾板から構成される。使用した感光材料はAgfa社の8E75HD乾板であり、現像、漂白には、回折効率、SN比共に高いホログラムが得られるCWC2現像液、PBQ2漂白液を用いた[7]。乾板に与える露光量は $500 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 以上では露光オーバとなるため、 $200 \sim 500 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ の範囲で作成を行った。また、ホログラムの大きさは作成のしやすさを考慮して直径1~3mmとした。

図5は実験結果で、ホログラムの大きさをパラメー

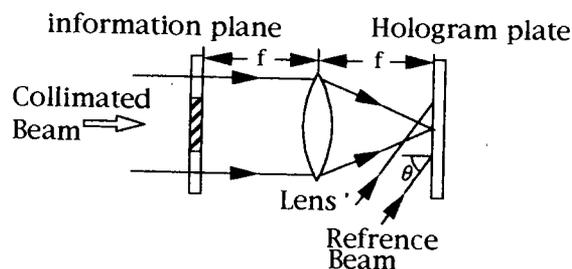


図4 フーリエ変換ホログラムの作成系  
Fig. 4 Recording system of Fourier transformed hologram memory.

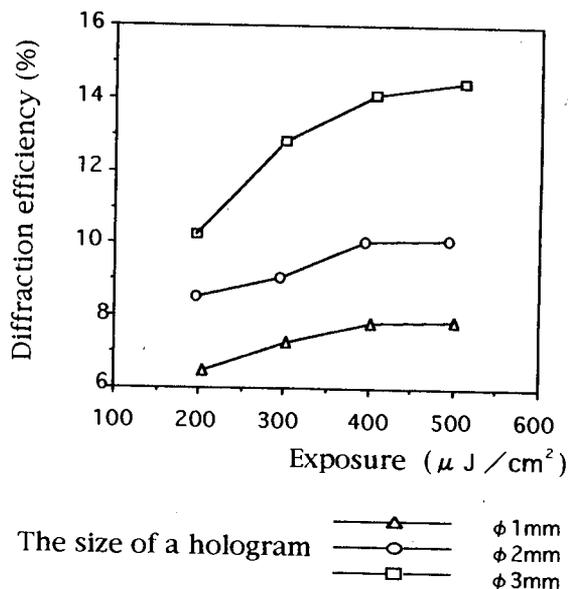


図5 ホログラムの回折効率  
Fig. 5 Exposure efficiency of holograms versus exposure.

タとして露光量に対する回折効率を示している。回折効率とは入力光強度に対する回折光強度の割合のことであるが、ここでは、入力光としてホログラムの大きさに断面形状をあわせたビーム状のものを使用した。回折効率が高いほど、光検出部において明暗点の光強度差が大きくなってシステムの検索能力の向上が図れ、その大きさが小さいほど大規模の並列処理が可能となる。実験結果から、露光量 $500 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ における回折効率は $400 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ と共に高い反面、図には示されていないが再生像の周りにハロのようなノイズが現れた。ノイズは検出の際に他の情報に影響を及ぼしてしまうため、使用に際してノイズが十分に小さく回折効率の高いものが望まれる。このことを踏まえ、露光量は $400 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ とした。また、大きさが大きいものほど回折効率が高くなっているが、入力面に可能な限り多数のホログラムを配置することを考えると、できるだ

け小さいほうが望ましい。更に、個々のホログラムの回折効率は同じ値であることが理想的である。今回の実験では、直径 1 mm のホログラムについては回折効率のばらつきが大きく、一方 2 mm, 3 mm 径のものについては比較的良い再現性が得られた。以上のことから、試作に使用するホログラムの大きさは直径 2 mm とし、露光量  $400 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  で作成することにした。

### 3.2 光検出部

光検出部には SLM の窓を透過した光が到達するため、SLM のコントラスト比が検出の際に大きな影響を及ぼしてしまう。そこで実際に、光検出部にはどのような性能が要求されるか、以下の考察を行った。

光検出部に要求される性能は、暗点の光強度と最も暗い明点の光強度の差を検知できることが最低条件となる。この光強度の差を信号処理系の最小入力信号と考えれば、光検出器の性能は、最小入力信号を用いた比検出能力  $D^*$  により評価できる。

比検出能力  $D^*$  は、帯域幅を  $\Delta f$ 、光検出器の受光面積を  $A$ 、信号処理系の SN 比を  $S/N$ 、最小入力信号パワーを  $W$  とすれば、

$$D^* = \frac{\sqrt{\Delta f \cdot A}}{W} \cdot (S/N) \quad (1)$$

で表される。

比検出能力  $D^*$  を導出するために、最小入力信号  $W$

を表 2 の SLM の仕様をもとに計算した。光検出部に到達する光強度は、表 3 に示した光学素子の透過率、反射率を考慮して求められる。使用するレーザの出力を  $I W$  (光束径:  $0.8 \text{ mm}\phi$ ) とすると、ピンホール、対物レンズ、コリメートレンズにより拡大された直径 50 mm の平行光のパワー密度は  $3.5 \times 10^{-5} I W/\text{cm}^2$  となる。更に、このパワー密度の平行光が入射するホログラムの大きさを直径 2 mm とすれば、一つのホログラムには  $1.4 \times 10^{-7} I W$  の光が入射することになる。以上から、ホログラムの回折効率をもとに SLM に到達する光強度は  $1.4 \times 10^{-8} I W$  と計算できる。SLM のコントラスト比が 320 : 1 であることから窓を閉じたときの透過率を 0.001、開けたときの透過率を 0.32 と仮定すれば、暗点時の光検出部における光強度  $I_a$  は、 $1.4 \times 10^{-11} I W$ 、SLM の任意の窓 1 ビットを開けた際の光強度  $I_b$  は、 $5.6 \times 10^{-10} I W$  となる。これから、最小入力信号  $W$  は、 $W = I_b - I_a = 5.5 \times 10^{-10} I W$  となり、帯域幅を SLM の応答速度  $290 \mu\text{s}$  から  $\Delta f = 3.5 \times 10^3 \text{ Hz}$ 、 $S/N = 1$  とすれば、 $D^*$  は  $A$  の関数で表され、 $D^* = 1.1 \cdot \sqrt{A} \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / W$  となる。この値より光検出器 (ホトダイオード) は市販のもので十分対応できると思われる。

### 4. システムの設計

前章の設計をもとに、動作確認用小形システムの試作を行った。システムの光源には出力 10 mW の He-Ne レーザを使用し、フーリエ変換レンズには、口径 80 mm、焦点距離 300 mm の平凸レンズを用いた。このレンズについては、Ray Trace 法 (光線追跡法) でレンズの収差がシステムに影響を及ぼさないことをあらかじめ確認した。

ホログラムについては、前述したように露光量  $400 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  で直径 2 mm のものを 9 個作成し、図 6 のように  $3 \times 3$  のマトリクス状に配置した。その配置は光検

表 2 強誘電性液晶 (FLC) SLM の仕様  
Table 2 Specification of SLM.

DISPLAYTECH, Inc	
6×6 Matrix FLC Array	
画素数:	36
透過率:	25(%) (偏光板あり) 70(%) (偏光板なし)
コントラスト比:	320 : 1
応答速度:	290 $\mu\text{s}$ at $\pm 9 \text{ v}$
1画素のサイズ:	2 mm × 2 mm

表 3 光学系における透過率、反射率  
Table 3 Transmittance and reflectivity of optical elements.

光学素子	透過率
コリメートレンズ (50 mm)	0.95
フーリエ変換レンズ	0.95
対物レンズ	0.95
ピンホール	0.0015
ホログラムの回折効率	0.10
光学素子	反射率
ミラー	0.85

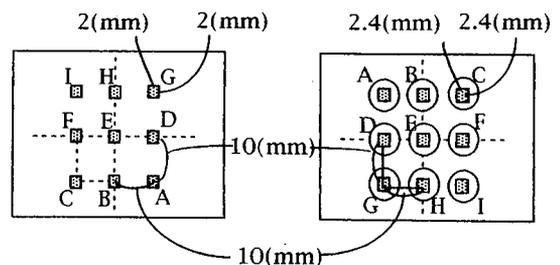


図 6 試作したホログラムと光検出部  
Fig. 6 Hologram plate and photodetector element used in the experiment.

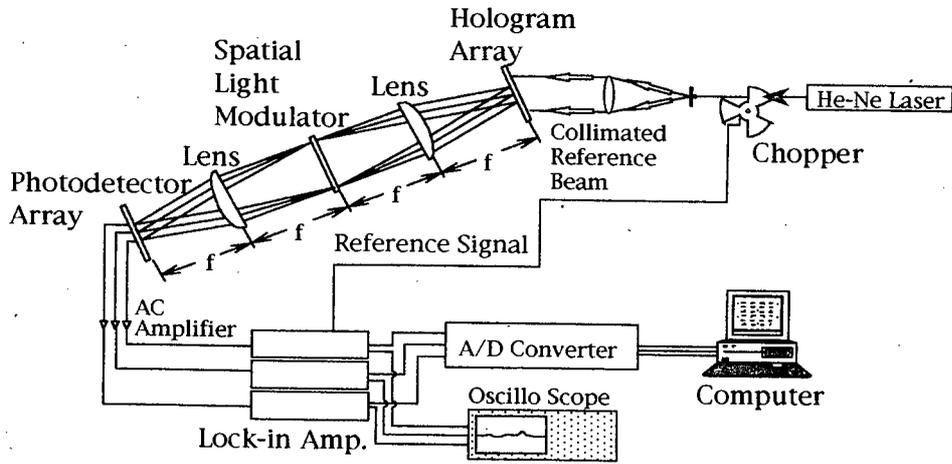


図7 同期検波構成を用いたシステム  
Fig.7 Experimental system by synchronous detection.

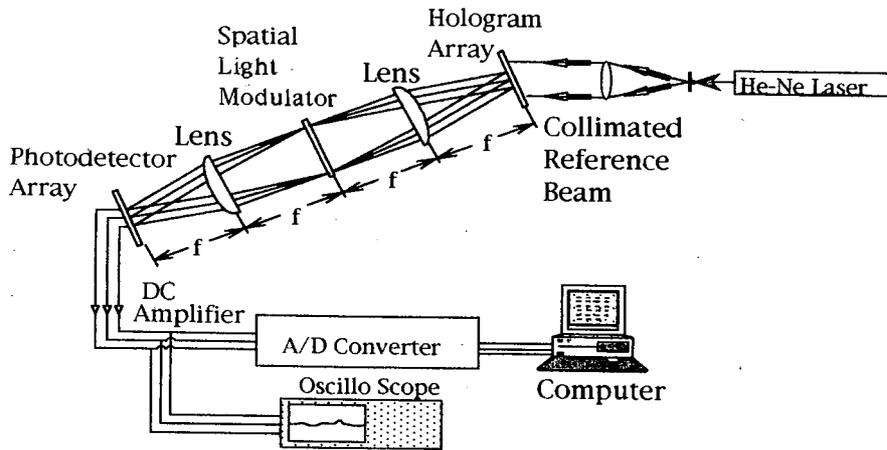


図8 直流検波構成を用いたシステム  
Fig.8 Experiment system by direct detection.

出器の位置と対応するため光検出器も同様に配置した。また、光検出器は入射する情報光を十分に受光できるようにホログラムより大きな、直径2.4mmの受光面積のものを使用した。光検出器の大きさから、各ホログラム間および光検出器間の間隔を10mm(中心間距離)とした。

また、検索時に光検出器に到達する光強度は数nWとかなり微小であるため、検出信号の増幅および雑音の低減が重要となるが、ここでは図7に示す同期検波と図8の直接検波の二つの構成について、検索特性の比較を行った。

同期測定法では、チョッパとロックインアンプを用いて信号の同期検出を行うことにより、雑音を低減することができるため、微弱光の検出が可能となる。しかし、光検出器1個につきロックインアンプが1台必

要となるため、システムがかなり大きくなり、必ずしも現実的なシステムとは言えない。

直接検波では、電流-電圧変換回路に直流回路を用い、回路からの信号を直接取り出す。この際、信号に雑音も含まれているため、雑音の影響は避けられないが、システムの小型化が可能となる。

### 5. 検索結果および考察

検索結果は、暗点と最も暗い明点(情報が1ビット異なったとき)の出力電圧の間にしきい値を設定し、検索されたときはon、検索されないときはoffと表示することにした。

試作したシステムの検索結果の一例を図9に示す。CH0~CH8は、図6のホログラムと光検出器のA~Iに対応している。CH0はしきい値を3.0Vに設定して

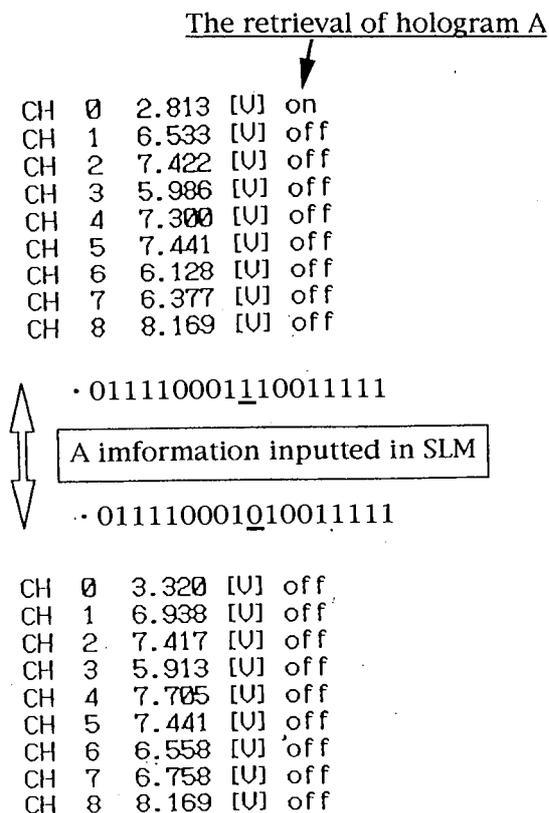
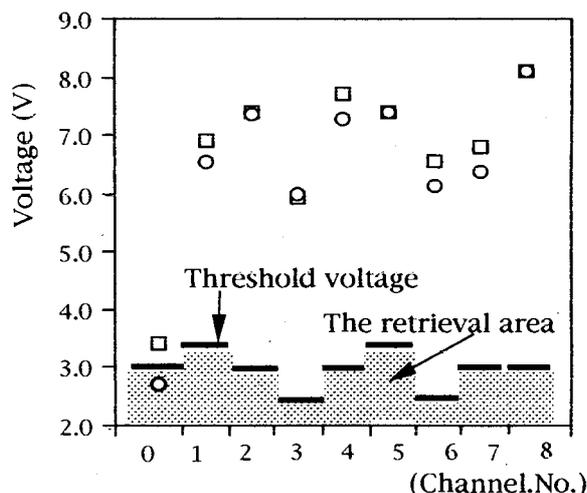


図 9 検索結果の一例(ホログラム A の検出)  
Fig. 9 A result of a retrieval.

あり、図9の上図はホログラム A が検索されたときの各検出電圧で、下図は情報が1ビット異なり検索されなかったときの電圧を示している。また、図10は、検索における電圧の変化がわかりやすくなるよう図示したものである。これより、個々の出力に対するしきい値が異なることがわかる。これは、作成したホログラムの回折効率のばらつきが大きな原因と言える。この検索結果から、検索にあたりキーデバイスである SLM のコントラスト比の高さもさることながら、ホログラムの回折効率がシステム動作に及ぼす影響について再認識することができた。しきい値がすべて同じ値となるように、回折効率のばらつきが抑えられれば、システムとして更に有効なものになると思われる。

また、検出法については、同期検波および直接検波による両検出法共に、すべてのホログラムに対して情報検索が可能であることが確認された。

同期検出を用いた場合、オシロスコープによる出力波形には雑音は観察されず、しきい値の設定は容易であった。また、検索速度は、使用した交流回路の時定数が 10 ms, A-D コンバータで 20  $\mu$ s, ホトダイオードで 1.5  $\mu$ s の時間を要したが、ロックインアンプの時定



A imformation inputted in SLM  
○ --- 011110001110011111  
The retrieval of hologram A  
□ --- 011110001010011111

図 10 検索結果の一例(ホログラム A の検索)  
Fig. 10 A result of a retrieval.

数が 1 s であり、信号処理系の速度は 1 s 以上となってしまった。この処理速度は SLM の応答速度 290  $\mu$ s よりもかなり遅く、検索時間が信号処理系に大きく依存した結果となった。

一方、直接検波構成による検索では、出力信号に雑音がのっているため出力電圧は多少変動するが、検索に影響を及ぼすほどではなかった。この検索速度は、OP アンプで 35  $\mu$ s, A-D コンバータで 20  $\mu$ s, ホトダイオードで 1.5  $\mu$ s を要し、計 57  $\mu$ s となり、検索速度の速度は SLM の応答速度 290  $\mu$ s に依存することがわかった。これより、直接検波構成は、システム構成が簡単で、処理速度が比較的速く、心配された雑音の影響も小さいため、より現実的な構成と言える。

以上のように、現実的と言える直接検波構成では、検索速度は SLM の性能によって制限されることがわかった。そこで、既存の検索システムと本光情報検索システムの検索時間を比較し、SLM に求められる性能について検討を行った。ここでは、既存のシステムとして、コンピュータを利用したものを想定し、情報は CD-ROM に記録されているものとした。このときの検索速度は、CPU のデータ比較動作に要する時間よりむしろ CD-ROM からのデータ転送速度によって決まる。そこで、その転送速度を 600 kbyte/s と仮定し、情報数に対する検索速度を計算した。但し、ここで検

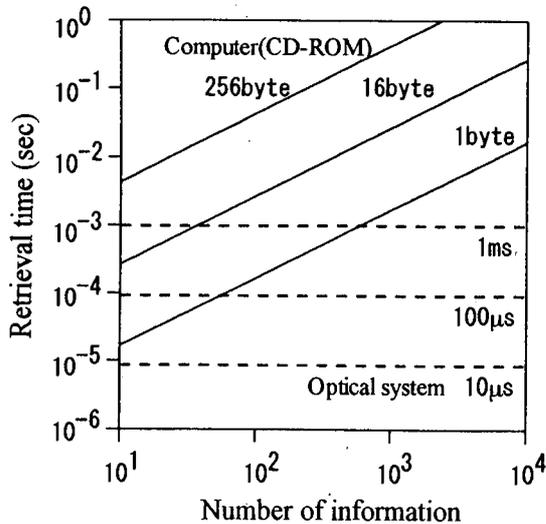


図 11 検索速度の比較

Fig. 11 Comparison of retrieval time between computer system with CD-ROM and the optical system.

索速度は、メモリに記録された情報が検索情報と一致しているかどうか、すべて判定し終わる時間と定義した。図 11 はその結果で、実線が既存のシステムによるもので、一つの情報を構成する byte 数をパラメータとしている。また、点線は本研究におけるシステムに対するもので、SLM の応答速度がパラメータとなっている。但し、検出部の速度は実験では  $57 \mu\text{s}$  であったが、回路の工夫と高速化により  $1 \mu\text{s}$  以下にすることが可能であるので、光情報検索システムの検索速度は SLM の応答速度によって決まるものとした。これより、既存のシステムにおける検索速度は情報数と共に増加する一方で、光情報検索システムは並列処理を基本としているため情報数には依存しないことがわかる。従って、処理する情報数が増えれば、ここで述べたシステムのほうが有利となるものと期待される。ところで、ここでは、ホログラフィックメモリに対応する記憶媒体として CD-ROM を仮定したが、それ以外にも記憶装置としてハードディスクがあり、データ転送速度は CD-ROM に比べ 2 けたほど速い。従って、ハードディスクを記憶装置としたシステムとの比較では、光情報検索システムに要求される条件が厳しくなり、SLM の高速化は不可欠と言える。

## 6. むすび

小形情報検索システムの設計、試作、その動作確認を通じてシステムとしての問題点について考察を行った。特に、システムの動作に対して最大の問題と思わ

れた SLM については、現在入手可能な SLM でも情報検索が十分可能であることが確認できた。しかし、検索結果からシステムの信号処理系の速度は、SLM の応答速度に依存するため、更に応答速度の速いものが要求される。

本システムはメモリとしてフーリエ変換ホログラムを用いているため、その大きさは比較的小さくできる。その記録密度は文献によると理想的には  $10^5 \text{ bit/mm}^2$  まで可能とされている [8]。この点からメモリとして優れた特徴を有しており、今後の発展が十分に期待できる。しかし、情報の記録、追加、消去が容易にできない欠点があり、この改善が必要と言える。また、検索結果から回折効率の高さが不可欠であり、更に複数個のホログラムについても同値の回折効率をもつホログラムを使用することが望ましい。システムの実現に際して、微小で高い回折効率のホログラムを再現性よく作成することが不可欠と言える。

また、システム光学系についてその大きさはフーリエ変換レンズの焦点距離によるため、使用するレンズは焦点距離が短く、収差の少ないものがよい。更には、ホトダイオードアレー、光源としてのレーザアレー等の開発が望まれる。しかし、本システムは処理速度ばかりでなく、SLM に依存するところが非常に大きい。特に、SLM の窓はホログラムに記録されている検索項目数に対応しており、ホログラムには大量に情報記録ができるため SLM の窓はかなり小形で多数個配置されたものが必要とされる。また、光検出部の負担軽減のためにも SLM のコントラスト比の高いものが望ましい。この SLM の開発がシステム実用化への今後の課題といえる。SLM については、当研究室においてもファブリーペロー形 SLM の研究を行っている [2] が、更に性能の高い SLM の開発が望まれる。

## 文 献

- [1] 安東 滋, 富島一成, 宮沢生行, 西川 啓, 渡辺勢夫, “ホログラフィによる情報検索,” 画像技術, vol. 4, no. 1, pp. 19-30, Jan. 1973.
- [2] X. Z. Wang, A. Hirai, K. Shioya, M. Ohkawa, S. Sekine, and S. Ando, “Fast and highly parallel content addressing of a large amount of information recording in a holographic memory,” Appl. Opt., vol. 33, no. 14, pp. 3003-3009, May 1994.
- [3] 溝淵靖夫, “ホログラムメモリを用いた画像情報検索システム,” 画像技術, vol. 3, no. 4, pp. 24-32, April 1972.
- [4] 安東 滋, 関根征士, 泉 幸裕, 館野文則, 曾根康夫, 小沼静代, “多重エンボスホログラム—情報検索ホログラムメモリへの応用の可能性—,” 信学論(C), vol. J67-C, no. 6,

pp. 529-536, June 1984.

- [5] S. Ando, S. Sekine, M. Mita, and S. Katsuo, "Optical computing using optical flip-flops in Fourier processors: use in matrix multiplication and discrete linear transforms," Appl. Opt., vol. 28, no. 24, pp. 5363-5373, Dec. 1989.
- [6] S. Sekine, M. Ohkawa, M. Mita, and S. Ando, "Optical digital computing for matrix multiplication and linear transforms using optical flip-flops in Fourier processor: feasibility study," 1990 international topical meeting on optical computing, Kobe, no. 9D-5, 1990.
- [7] D. J. Cooke and A. A. Ward, "Reflection-hologram processing for high efficiency in silver-halide emulsions," Appl. Opt., vol. 23, no. 6, pp. 934-941, March 1984.
- [8] 武田康嗣, "ホログラムメモリの情報記憶密度," 信学論(C), vol. 56-C, no.4, pp. 213-220, April 1973.

(平成6年7月4日受付, 7年7月24日再受付)



羽鳥 雅章 (正員)

平5新潟大・工・電気電子卒。平7同大学院修士課程了。同年日本電信電話入社。在学中、フーリエ光学系を用いた情報検索システムの研究に従事。



塩谷 康平

平3新潟大・工・電気卒。平5同大学院修士課程了。同年富士ゼロックス入社。在学中、フーリエ光学系を用いた情報検索システムの研究に従事。応用物理学会会員。



土田 恵一 (正員)

平1新潟大・工・電気卒。平3同大学院修士課程了。同年長岡高専・電気・助手。ホログラフィ、ホログラムを用いた情報検索システムの研究に従事。応用物理学会、電気学会各会員。



三田 元仁 (正員)

昭60新潟大・工・電気卒。昭62同大学院修士課程了。平3同大学院博士課程満期中退。現在、新潟職業能力開発短期大学校・講師。光コンピュータ、光情報検索の研究に従事。応用物理学会会員。



大河 正志 (正員)

昭59阪大・基礎工・電気卒。平1同大学院博士課程了。同年新潟大・工・助手。光集積回路、光計測をはじめとする光エレクトロニクスに関する研究に従事。現在、同助教授。工博。応用物理学会、レーザー学会各会員。



関根 征士 (正員)

彩学会各会員。

昭39新潟大・工・電気卒。翌年同大学工学部助手。以来、放電ランプの最適分光分布の設計、波長選択吸収放射体、光情報処理の研究に従事。現在、同大学工学部電気電子工学科教授。工博。電気学会、照明学会、応用物理学会、レーザー学会、日本色