

研究

液晶 TV 空間光変調器による擬似カラー符号化

下村 輝夫・野村 聖作*・浜田 文明

九州工業大学工学部電気工学科電子工学教室 〒804 北九州市戸畑区仙水町 1-1

(1990年8月23日受付, 1991年3月29日受理)

Pseudocolor-Encoding Using a Liquid-Crystal Television Spatial Light Modulator

Teruo SHIMOMURA, Seisaku NOMURA* and Fumiaki HAMADA

Department of Electronic Engineering, Kyushu Institute of Technology,
1-1, Sensuicho, Tobata-ku, Kitakyushu 804

(Received August 23, 1990; Accepted March 29, 1991)

Experimental results for a real-time pseudocolor-encoding system under a white light source is presented. A conventional transmitted-type liquid crystal television is used as a spatial light modulator. The contrast inversion of a twisted nematic mode in a liquid crystal television and color filters placed in two optical paths of a system have made possible the pseudocolor-encoding of an input image. Colors are determined by the combination of color filters used in the system.

1. 序 論

近年, 光学情報処理の研究が盛んである。光学情報処理の最大の特徴は, 二次元情報処理機能を有していることである。この光学情報処理の入力媒体としては, 従来写真フィルムが使用されてきた。しかし, 写真フィルムは現像処理などに時間を費やし総合的な光情報処理を実時間で行うことができない。そこで, 入力画像を実時間で出力することができるマイクロチャンネル空間変調器や磁気デバイスなどの空間光変調器 (spatial light modulator: SLM) が開発された。しかし, これらは大変高価であるので, 低価格でかつビデオカメラやコンピュータによって簡単に像を出力することができるモノカラー表示の液晶テレビジョン (liquid crystal television: LCTV) が SLM として注目され始めた。

1985年に Liu¹⁾らは LCTV の二次元 SLM としての可能性を追求した。その後, Young²⁾は LCTV による出

力像を入力像として high-pass フィルタを用いてエッジ強調を行い, 雑音となる LCTV の格子像を除去するために最適な low-pass フィルタを作製した。また, Tai³⁾は LCTV の光効率が低いという欠点を補うため LCTV 上に装着されている拡散板や偏光板を取り除き optical flat³⁾を接合する方法で改良を行った。さらに, Gregory⁴⁾は LCTV を Vander-Lugt 相関器⁵⁾の入力面として使用し, LCTV に出力された像とサーモプラスチックカメラによって記録された空間マッチドフィルタとの相関を研究して, 比較的簡単な入力像において良好な相関出力を得ている。その他, 多くの研究者によって LCTV の光学的欠点の改善, 像のエッジ強調, 光学的相関系によるパターン認識などが報告されている。

本論文の目的は, LCTV を SLM として使用し, インコヒーレントな白色光源のもとで擬似カラー符号化を行い, 光情報処理への有用性を検討することである。

2. 実験手法

LCTV を SLM として使用しカラー符号化を行った報告は少ない。擬似カラー符号化の手法としては, これ

* 現在: 日本 DEC(株) 〒170 東京都豊島区東池袋 3-1-1
Present address: Japan DEC Co. Ltd., 3-1-1, Higashi Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 170

までに次のような報告がある。Yu ら⁶⁾は、写真フィルムと回折格子とを密着させ両者の空間周波数の差異により生じるモアレ縞を写真の現像処理方法により除去し、カラーフィルタを結像面空間に配置することによってカラー符号化を行っている。Yu & Javidi⁷⁾は、Vander-Lugt 型 SLM⁸⁾ と回折格子とを用いて前記の報告と同様なカラーフィルタの配置により多重マッチドフィルタリング方式での多色信号検出を行っている。Yu ら⁹⁾は SLM として本質的には液晶の屈折率異方性 (tunable birefringence: TB) 方式の LCTV を用いてビデオカメラから得られた画像のカラー符号化⁸⁾を行い、さらにカラー LCTV と回折格子とを密着させ三原色の一次スペクトルを分離させることにより多重マッチドフィルタリングの方法で多色信号検出⁹⁾を行っている。

しかしながら、文献 6), 7), 9) の方法は回折格子を用いるためスペクトル分離が容易ではなく、特に文献 6), 7) の方法ではカラーフィルタの最適な空間配置が極めて困難である。また、文献 8) の方法は印加電圧実効値 0.8 V 付近までの TB 特性を利用しているため電圧の制御が難しく、さらに色の構成が LCTV の構造と偏光方向との特性によって固定されてしまうという欠点がある。

これらの方法に対して、本論文の手法は 90° の捩れ構造をもつツイストネマティック (twisted nematic: TN) 方式の LCTV を用いて、擬似カラー符号化を簡便に行える特徴を有している。すなわち、TN-LCTV の鋭い光電圧応答閾値をもつ光スイッチング機能のコントラスト反転特性を利用し、光路上にカラーフィルタを配置することによりパターン入力画像と背景部画像とのカラー符号化を簡便に行える特徴を有している。

3. 実験装置

使用した LCTV (シチズン社製、ビデオモジュール UB-350) の画素構成を Fig. 1 に示す。表示面積は 3.5 インチで画素は横方向 160 個、縦方向 146 個の 23,360 個で構成され、ビデオ信号入力端子と輝度調整ボリューム (brightness control volume: BCV) を有している。画像はビデオカメラとビデオデッキあるいはパーソナルコンピュータからビデオ信号入力端子を通して入力し、LCTV スクリーン上に表示した。LCTV は 90° TN 方式で白黒表示である。

画素に印加される電圧は、二つの要因によって決まる。ひとつは BCV によりスクリーン全体の画素に印加されるバイアス電圧であり、もうひとつはビデオ信号入

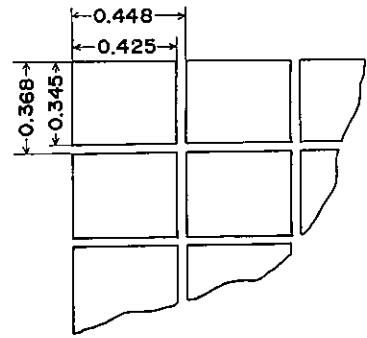


Fig. 1 Construction of a pixel in a LCTV.

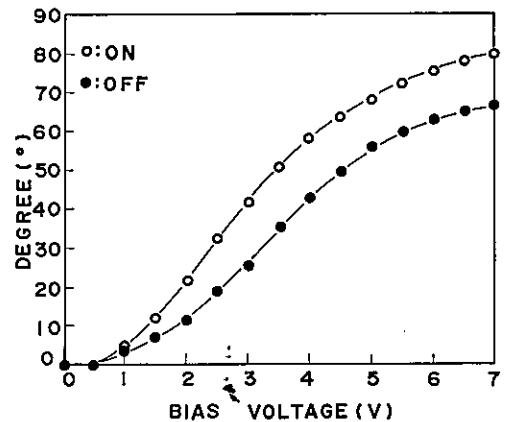


Fig. 2 Characteristics of a rotation angle of an analyzer as a function of a bias voltage.

力端子により個々の画素に印加される電圧である。この BCV によるバイアス電圧とビデオ信号入力電圧との差をあらかじめ補償するために次の実験を行った。すなわち、LCTV スクリーン両面に付着されていた 2 枚の偏光シートを取り除き、改めて回転角度の目盛のついた偏光板を平行ニコルに設定して、バイアス電圧を関数とした LCTV セルの検光子の回転角の関係を求めた。その結果を Fig. 2 に示す。回転角は消光位となるようにしたときの検光子の角度である。回転角度が 0° のときは平行ニコルに、回転角度が 90° のときは直交ニコルに対応する。Fig. 2 で、「on」、「off」と表示している値はビデオ信号入力電圧のオン、オフ状態に対応する。このことから、BCV によるあるバイアス電圧でのオン-オフの差が実効的なビデオ信号入力による検光子の回転角度を与えることになる。この回転角度は、バイアス電圧 2 V 以上ではほぼ 15° であることがわかる。

光学系を Fig. 3 に示す。偏光板 P1 と偏光板 P3 との偏光方向はお互いに平行であり、偏光板 P2 と偏光板 P3 との偏光方向はお互いに垂直である。そして、偏

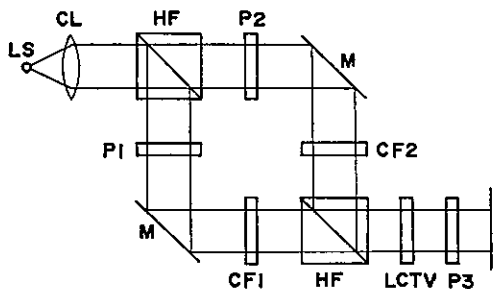


Fig. 3 Optical system in a pseudocolor-encoding experiment.

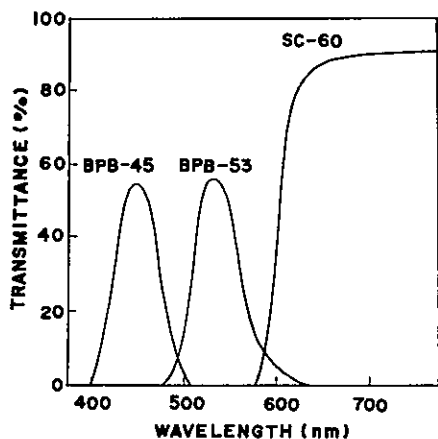


Fig. 4 Spectral characteristics of color filters.

光板 P2 の偏光方向は LC セルの入射光側の分子ダイレクタ配向方向と一致させている。LCTV の画素に電圧が印加されていないとき、直交ニコルであれば入射光の偏光面は 90° 回転し、入射光は検光子を通過する。電圧が印加されれば、LC セルの振れ構造はほとんど消失し入射光は検光子を通過しない。次に、平行ニコルとすれば光学モードは逆転する。偏光板 P1 を通る光学路は画素印加電圧オンの時の光学路となりパターン入力画像を示し、一方偏光板 P2 を通る光学路は画素印加電圧オフの時の光学路となりパターン入力画像以外の背景部分を示す。

インコヒーレントな白色光源としては Xe アークランプ (ウシオ社製, UXL-500 D) を使用し、カラーフィルタとしては赤、緑、青の三原色フィルタ (Fuji: SC-60, BPB-53, BPP-45) を使用した。カラーフィルタのスペクトル特性を Fig. 4 に示す。

4. 実験結果および検討

コントラストの反転、すなわち透過光強度比の反転は以下の考察によって示される。いま、Fig. 5 のように

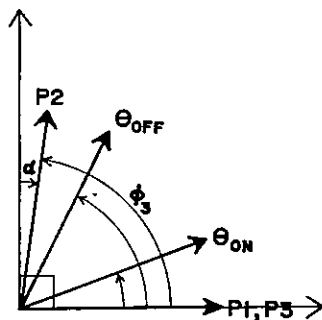


Fig. 5 Construction of the vibration components.

LC セルの入射光側の分子ダイレクタ配向方向を横軸に、出射光側の分子ダイレクタの方向を縦軸にとる。記号 θ_{on} , θ_{off} はそれぞれ電圧印加オン状態、オフ状態における出射光の偏光角であり、記号 α はバイアス電圧とビデオ信号入力電圧との差分角である。

偏光板 P1, P2, P3 の回転角を ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 と一般表示し、最初のハーフミラーに入射する光強度を I_0 、偏光板 P1, P2 を通る光学路の光強度を I_1 , I_2 と表示すれば、Malus の法則¹⁰⁾により次式を得る。

$$\begin{aligned} I_1 &= (I_0/2)\cos^2(\phi_1 + \theta_{on} - \phi_3) \\ &= (I_0/2)\cos^2 \theta_{on}, \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 $\phi_1 = \phi_3 = 0$ 。

$$\begin{aligned} I_2 &= (I_0/2)\cos^2(\phi_2 + \theta_{off} - \phi_3) \\ &= (I_0/2)\cos^2(\pi/2 - \alpha + \theta_{off}) \\ &= (I_0/2)\sin^2(\theta_{off} - \alpha), \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、 $\phi_1 = \pi/2 - \alpha$, $\phi_3 = 0$ 。

以上の式(1),(2)より、LCTV の透過光強度はコントラストの反転した二つのモードを与えることになり、カラーフィルタのスペクトル特性により式(1)でパターン入力画像の擬似カラーが、式(2)でパターン入力画像以外の部分の擬似カラーが表示される。

Fig. 6 に、文字“A”のパターン入力画像に対する擬似カラー符号比例を示す。印加電圧は 5V で、これに伴う角度 α は 15° となる。カラーフィルタの組合せは Table 1 に示す。カラーフィルタを変えることにより容易に色の構成を変えることができる。また、パターン入力画像の色がカラーフィルタ 1 のスペクトル色とならずにカラーフィルタ 1 とカラーフィルタ 2 との混色となるのは、式(1),(2)の余弦項、正弦項の部分が完全に 0 と 1 にならないため各光学路の光量が重畳され、混色を表示することによると考えられる。

具体的な応用例としては、医用画像診断システム、機器の故障診断システムなどが挙げられる。入力画像を

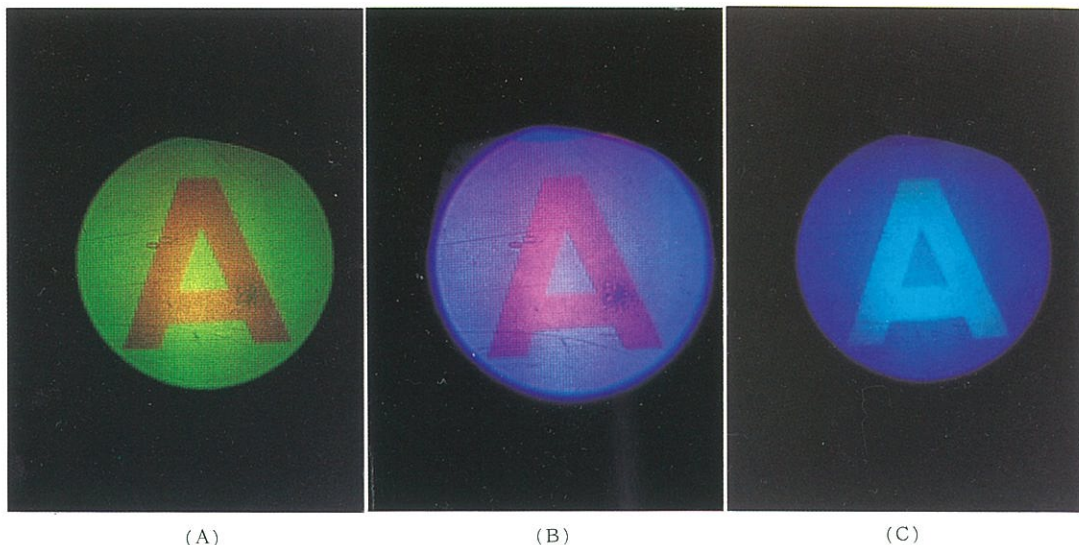


Fig. 6 Examples of a pseudocolor-encoding for a letter "A."

Table 1 Combination of color filters.

	(A)	(B)	(C)
CF 1	Red	Red	Green
CF 2	Green	Blue	Blue

LCTV 上に表示し、カラーフィルタの組合せにより注目すべき画像の認識が安価で迅速に実時間で行うことができる。

5. 結 論

これらの結果より以下のことが明らかとなった。LCTV にはバイアス電圧とビデオ信号入力電圧とが印加されるためその差分の補償偏光角を考慮する必要がある。本実験で使用した LCTV では、バイアス電圧 2 V 以上ではほぼ 15° である。この補償偏光角を考慮した透過光強度解析によりコントラストの反転した二つのモードが存在する。LCTV と 3 種類のカラーフィルタとの組合せにより白色光源のもとでの擬似カラー符号化が実現できる。パターン入力画像の色は 2 枚のカラーフィルタのスペクトル色の混色となるがこれは LCTV の動作機構に基づくものである。

文 献

- 1) H.-K. Liu, J. A. Davis and R. A. Lilly: "Optical-data-processing properties of a liquid-crystal television spatial light modulator," *Opt. Lett.*, **10** (1985) 635-637.
- 2) M. Young: "Low-cost LCD video display for optical processing," *Appl. Opt.*, **25** (1986) 1024-1026.
- 3) A. M. Tai: "Low-cost LCD spatial light modulator with high optical quality," *Appl. Opt.*, **25** (1986) 1380-1382.
- 4) D. A. Gregory: "Real-time pattern recognition using a modified liquid crystal television in a coherent optical correlator," *Appl. Opt.*, **25** (1986) 467-469.
- 5) A. B. Vander-Lugt: "Signal detection by complex spatial filtering," *IEEE Trans. Inf. Theory*, **IT-10** (1964) 145-153.
- 6) F. T. S. Yu, X. X. Chen and S. L. Zhuang: "Progress report on archival storage of color films utilizing a white-light processing technique," *J. Opt. (Paris)*, **16** (1985) 59-65.
- 7) F. T. S. Yu and B. Javidi: "Experiments on real-time polychromatic signal detection by matched spatial filtering," *Opt. Commun.*, **15** (1986) 384-388.
- 8) F. T. S. Yu, T. W. Lin and X. L. Huang: "Real-time pseudocolor-encoding using a low-cost liquid crystal television," *Opt. Laser Technol.*, **19** (1987) 45-47.
- 9) F. T. S. Yu, S. Jutamulia and T. W. Lin: "Real-time polychromatic signal detection using a color liquid crystal television," *Opt. Eng.*, **26** (1987) 453-460.
- 10) E. Hecht and A. Zajac: *Optics* (Addison-Wesley Publ., Mass., 1974) pp. 225-226.