レーザ光バックライトスキャン方式による液晶ディスプレイ

Area Control of LCD with Laser Backlight Dynamic Scanning Method

新倉 栄二[†], 正会員 岡垣 覚[†], 横山 英二[†],
吉井 秀樹[†], 安井 裕信[†], 桑田 宗晴[†],
道盛 厚司[†], 正会員 香川 周一[†], 正会員 杉浦 博明[†]

Eiji Niikura[†], Satoru Okagaki[†], Eiji Yokoyama[†], Hideki Yoshii[†], Hironobu Yasui[†],
Muneharu Kuwata[†], Atsushi Michimori[†], Shuichi Kagawa[†] and Hiroaki Sugiura[†]

Abstract We developed an image display system which turns the back light of an LCD into a laser light source, and 2-dimensionally scans the back light. The system consists of a liquid crystal panel, a laser light source, a laser light source power control, and a 2-dimensional scanning mechanism. We achieved highly efficient image display properties shown below by this system. The system expanded the color reproduction region to 189%, shortened the Moving Picture Response Time to one half, and improved the contrast ratio to 6753:1.

キーワード：液晶ディスプレイ，レーザ，バックライト，スキャン，ローカルディミング

1. ま え が き

液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display: LCD) は、薄型、軽量、低消費電力などの特長から、近年PCモニタのみならず、テレビなどのディスプレイ装置として広く普及している¹⁾。そして現在、さまざまな技術革新によって大画面化のみならず、出画性能の高性能化が進展中である。出画性能改善技術として、以下に示す三つのトレンドを挙げることができる。

一つは“広色再現域化”である。色再現域は、光源であるバックライトの発光スペクトラム特性によって性能が決定する。現状製品では陰極蛍光管 (Cold Cathode Fluorescent Lamp: CCFL) が広く用いられており、蛍光体の改善により NTSC 色域をほぼカバーするレベルとなっている。近年では光源を発光ダイオード (Light Emitting Diode: LED) にすることによって、NTSC 色域を凌駕するディスプレイも開発・検討されている²⁾。

二つ目は“動画表示性能の改善”である。LCD のホールド型表示に起因する“動きぼやけ”を改善する方法として、バックライト点滅や黒画像挿入³⁾に代表される擬似インパルス化技術と、動き補償を併用した倍速表示技術⁴⁾があり、これらはすでに実用化され効果を発揮している。

最後は“コントラストの改善”である。LCD は液晶パネル

がバックライト光を完全には遮蔽できないため、いわゆる“漆黒”を表示することが難しいとされている。近年では、この技術課題に対して、画像エンジンとバックライトとの協働により、液晶パネルをエリア分割し、黒表示の多いエリアでは、バックライトの輝度を落とすエリア制御技術 (ローカルディミング) が検討されている^{5)~6)}。

本論文では、上記三つの技術トレンドに対し、LED よりも色純度の高いレーザを LCD のバックライト光源とした新しいシステムを提案する。このシステムは、液晶パネルにおけるバックライトを所定径の光スポットとし、これを 2 次元スキャンし、さらに分割エリア毎に光量を変調する方式で出画を行う。本システムの目的は、バックライト光源をレーザにすることで色再現域の拡大、バックライトを 2 次元スキャンすることでインパルス型表示に極めて近い動画表示性能、エリア制御によって高いコントラスト性能を可能とすることにある。本論文では、実際に提案するシステムを構築し、得られた実験結果について報告するとともに、本システムの有効性について検証を行う。

2. 検討システムの技術概要

図 1 に、本システムのブロック図を示す。本システムは、図中濃い灰色で示す機構系要素と薄い灰色で示す電気系要素から構成される。今回、新規に開発した機能は点線で囲われた部分であり、それ以外は従来の LCD システムを流用した。

以下、新規に開発した機能ブロックの説明を行う。

2.1 レーザ光源

レーザ光源は、RGB3 色のレーザを用い、レーザ本体の温

2009年2月20日受付, 2009年8月25日再受付, 2009年10月5日採録

[†] 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

(〒617-8550 京都府長岡京市馬場国所1, TEL 075-958-3246)

[†] Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

(1 Zusho Baba Nagaokakyo City Kyoto, 617-8550, Japan)

図1 システム概要
Block diagram of the proposed LCD system.

度制御を併用したレーザ駆動電流制御によって出力光の光量を制御可能な構成とした。レーザ光のON/OFFや出力光量の設定は、後述するエリア制御回路にて行う。LCDのバックライトをRGB3色のレーザ光源とすることで、色再現域の拡大を図る。

2.2 2次元スキャナ

2次元スキャナは、それぞれ独立した水平および垂直の二つのスキャナから構成される。レーザ光源からの光ビームを所定のスポット径にて液晶パネル背面に拡大投写し、水平・垂直映像信号に同期して2方向に走査し、LCD全面を照明する。後述するスキャンタイミングで走査することにより、動画性能の改善を図る。

2.3 エリア制御回路

液晶パネル背面上においてバックライト光量制御を行う際のエリア分割は、液晶パネル背面へ投写する光スポット径、水平・垂直スキャナの駆動周波数等から、縦4、横6の合計24のエリアとした。各々のエリアの出画像に対応した最適な光量となるように、レーザ光源出力に変調を掛けることによって、コントラスト性能の改善を図る。

2.4 スキャンタイミング生成回路

エリア制御回路からの光源制御信号と映像信号の水平・垂直同期信号から、水平・垂直スキャナのタイミング信号を生成し、2次元スキャナの駆動および同期を図る。

3. 実験装置

図2に本システムの実験装置概略を示す。実験装置は、光源部、液晶パネル部、2次元スキャナ部、信号処理部(図示せず)から構成されている。以下、本実験装置における各部の説明を行う。

3.1 光源部

各色レーザ光源の波長は、B: 465nm, G: 532nm, R: 636nm。RとBは半導体レーザ、Gは波長変換した半導体レーザを用いている。各色レーザ光源は励起条件が異なるため、最適励起温度を保持するよう温度制御を行う。図3にレーザ光源の合成光学系構成を示す。正六面体のダイクロイックプリズムを中心に、プリズム各面に対向してRGB各色レー

図2 実験装置概略
The outline of Experimental system.

図3 光源構成
Light source system.

ザを配置し、残るプリズム出射面に集光レンズ(図示せず)を介してファイバ用コネクタを配する構成とした。この時、RGB出力パワー比は、全加算した際に白色となるように調整する。合成後のレーザ光はコネクタを介し光ファイバに導入し、後述する2次元スキャナへ伝送する。光ファイバを光伝送系に採用することにより、光ファイバ内で屈折を繰り返して、各色の混色が進行し輝度ムラが低減される。

3.2 液晶パネル部

液晶パネル部は、37型液晶テレビに搭載した画素数1920×1080のフルHD液晶パネルと拡散板、レンズシートで構成する。

3.3 2次元スキャナ部

近年、2次元スキャナとして半導体プロセス(MEMS: Micro Electro Mechanical Systems)を用いた例が見られる⁷⁾が、共振周波数依存の駆動仕様や製造工程における反射ミラーサイズの制約等の問題があり、設計自由度が制限される。また、MEMSスキャナの駆動は基本的に正弦波駆動となっているため、三角波(ノコギリ波)駆動が必要となる垂直スキャンに対応できない。さらに正弦波駆動では、駆動速度に起因する輝度ムラが生じる問題がある(高速駆動部は低輝度、低速駆動部は高輝度)。そこで本システムでは、設計自由度が高く等速駆動が可能となるメカニカルスキャナ方式を採用した。具体的には、水平スキャナにはポリゴンミラー方式、垂直スキャナにはガルバノミラー方式とした。

3.3.1 2次元スキャナの構造

水平スキャナに採用したポリゴンミラー方式は、駆動源となるモータの回転軸に多面体のミラーを配して、等速回転駆動を行う。ポリゴンミラーのサイズは入射光のレーザ光径と後述する非線形挙動の二つのパラメータによって決

表1 ポリゴンミラーの面数と諸値の関係

Specification of the horizontal scanner.

ポリゴン面数	スキャン角 deg	実効スキャン角 deg	ポリゴン直径 mm	回転数 rpm	実効スキャン長 mm
6	120.00	60.00	35.20	7500	709.27
8	90.00	45.00	45.99	5625	988.62
9	80.00	40.00	51.46	5000	1125.09
10	72.00	36.00	56.95	4500	1260.31
12	60.00	30.00	68.00	3750	1528.27
16	45.00	22.50	90.21	2813	2058.70

定した。また、ポリゴンミラーの面数をパラメータにすれば、スキャン角度、ポリゴンミラー直径、回転数、実効スキャン長（2次元スキャナと液晶パネル間の距離）等が幾何学的に一意に求まる。ポリゴン面数が少ないほど実効スキャン角が大きくなるため、スキャン長を短く設定でき、装置が小型化できるが、回転数が高くなるデメリットがあり、いわゆるトレードオフの関係にある。そこで、回転数、ポリゴン直径、スキャン長、現状のポリゴンモータの性能等を考慮し、総合的に判断した結果、ポリゴン面数を8面と決定した（表1の灰色部分）。

垂直スキャナに採用したガルバノミラー方式は、電磁力を駆動源とし、反射ミラーを回動（往復回転）駆動させる方式である。高速かつ広範囲な応答性を実現するため、回動部のイナーシャが極力小さくなるよう回動部の重心と回動軸とを一致させ、動作時のエネルギー効率の点でも有利な構成とした。また、反射光の歪みを低減するため、回動軸と反射ミラー面を一致させた。反射ミラーの回動角度はスキャン長と液晶パネルサイズにより一意に決定する。本システムでは、ミラーの回転角度を $\pm 7.5\text{deg}$ とした。

3.3.2 2次元スキャナの配置

水平スキャナは、ポリゴン回転軸とポリゴンミラーの反射面がその構造から同軸上に存在しないため、ポリゴン回転軸に対して垂直に入光しなければ、走査軌跡が円弧状に歪むことが幾何学的にわかっている。走査軌跡が歪む弊害として、画面分割した各エリアを正確に照明することができず、エリア制御が充分機能しない。そこで本システムでは、歪みの少ない走査軌跡となるよう水平・垂直スキャナを配置した。図4に2次元スキャナ光学配置構成の模式図を示す。水平スキャナは、ポリゴン回転軸が液晶パネル面の法線方向と平行となるように配置する。垂直スキャナは、回動軸が液晶パネル長辺と平行にかつ水平スキャナ上部に配置する。レーザ光源から光ファイバを介して伝送された光ビーム（図中レーザ光路で示す）は、折返しミラーによって、ポリゴン回転軸に対して垂直に入光させることで、その反射光は水平スキャナの回動軸上を直線走査する。さらにこの反射光を垂直スキャナにより回動させ、液晶パネル全面を2次元走査する。このような2次元スキャナ配置構成により、液晶パネル面で走査軌跡は歪みを最小とした略直線となり、24の分割エリアを正確に照明することが可能となる。

3.3 3マルチビーム方式

液晶パネルは、偏光素子を用いた光学的なスイッチング手段であり、光の透過率が10%以下と原理的に光の利用効

図4 2次元スキャナの光学配置

Layout of scan system.

率が低い。したがってバックライトには、高出力な光量が求められる。理想的には光源として大出力のレーザ光源を採用すれば良いが、そのようなレーザ光源がまだ存在しないため、この光源を4セット（1セット：R, G, B各1個）と複数個とし、画面輝度を考慮した構成を選択した。したがって、光源数に対応してスキャナユニット（水平スキャナと垂直スキャナ）も4セット用いることになる。これら四つのスキャナユニットは、四つをそれぞれ独立かつ同期して2次元スキャンを行うこととした。

また、本システムの光学系において、液晶パネル背面に拡大投写された円形の光スポットは、光スポット中心部の輝度が高く、同心円状に周辺部ほど低下する特性を有している。このような光スポットを2次元スキャンすると、積分効果により中心輝度と周辺輝度との差が拡大し、結果として水平走査方向に帯状の輝度ムラが生じる。対策として、図5に示すように、四つの光スポットをそれぞれ縦方向にオーバーラップさせることにより輝度ムラを低減させる方式を採用した。実験により、各光スポットをスポット径の75%をオーバーラップさせると輝度ムラが大きく低減することがわかり、このオーバーラップ量を採用した。

3.4 信号処理部

信号処理部は、光源制御部とスキャナ制御部とこれらを統合するメイン部から構成される。エリア制御回路は光源制御部に、スキャンタイミング生成回路はスキャナ制御部に包含されている。以下信号処理部の概略を機能別に示す。

3.4.1 2次元スキャナ駆動

本システムでは、液晶画面を垂直方向4分割、水平方向6分割し、各エリアにおける光量を出画像に応じて制御するが、2次元スキャナの駆動とエリア制御を対応させるため、2次元スキャナの駆動周期を映像信号に厳密に同期させる必要がある。そこで2次元スキャナの機械的な応答性を考慮して、以下の表2に示す周期とし、具体的な走査期間を図6、図7に示す。

3.4.2 レーザ光源の点灯タイミング

レーザ光源は、2次元スキャナと同様に、垂直同期信号

表2 各スキャナの走査期間
The scanning period of each scanner.

	垂直スキャナ	水平スキャナ
周期	1 フレーム周期 (1/60 秒) ・画面走査比率 80% (20%は帰線期間)	1 フレーム周期の 1/12.5 ・スキャン走査 10 回 (2.5 回は帰線期間)

図6 垂直スキャナの画面走査期間と帰線期間比率
The scanning ratio of a Vertical scanner.

図7 水平スキャナの画面走査期間
The scanning ratio of the Horizontal scanner.

と同期したタイミングにて点灯制御される。2次元スキャナのスキャン方式を後述する2フレーム完結型（インタレーススキャン方式）を採用したため、レーザ光源の点灯タイミングも同様に2フレーム完結型とした。2次元スキャナが液晶パネル面を走査する範囲内でレーザ光源を点灯し、帰線期間は消灯する。

液晶パネルは、指令に対し実際に液晶が機能するまでに所定の遅延があり、一般的にはこれを応答時間と呼んでいる。光スポットによる2次元スキャンは、映像出画指令に対して応答時間分を遅延させ、各画素が安定した状態に行うことが望ましいので、スキャナの垂直スキャンの起点位相と映像信号の垂直同期信号とを所定の時間遅延させることで対処している（図8）。これにより、インパルス型表示に近い動画表示性能が得られ、ホールド型の“動きばやけ”を改善する。

また、水平スキャナのポリゴンミラーはミラー同士の接合部において反射光が非線形な挙動となる。本システムでは、ミラー同士の接合部領域を消灯する方式を採用することでこの非線形挙動対策とした（図9）。

これによりポリゴンミラーの駆動周波数における実質的なスキャン時間が短くなるため、エリア制御する時間軸が短くなる。そこで、レーザ光源の出力効率ロスを防ぐため、実行スキャンエリアのみ点灯するシステムとしている。

3.4.3 インタレーススキャン方式

前述した四つの光スポットをオーバーラップさせるマルチ

図8 LCDの出画タイミング
Display timing of LCD.

図10 インタレーススキャン方式
Interlace scan method.

ビーム方式は、各光スポットの光量が等しいことが前提となっている。実際は、光量の誤差やRGB各レーザ光源のパワー比率の誤差による色誤差などが存在するため、光スポット内に輝度ムラ・色ムラが生じ、スキャン時にこれらのムラが顕在化する。その対策として、各々の光スポットが単独でもムラなく一様にスキャンする方式を採用すればよい。今回は、図10に示すような2次元スキャナの駆動周期を、図中 (a), (b) で示す2フレームで完結する方式（インタレース方式）とし、問題の解決を図った。

3.4.4 フィードフォワード駆動方式 (FFD)

画像処理によって液晶パネルの応答時間を改善するオーバドライブ方式の中で、入力画像データの時間的な変化に基づいて画像データを補正するフィードフォワード駆動方式 (Feed Forward Driving: FFD) を採用した。FFDとは、入力映像信号を1フレーム遅延し、遅延した1フレーム前の映像信号と入力映像信号との差分に応じて、適応的に、出力映像信号の振幅を変化する信号処理である。これにより、映像信号が時間的に変化した場合に、一時的に、過大振幅を与えることで、液晶パネルの応答速度を改善することができる。

4. 実験結果

図11に今回開発した実験装置の概観を示す。本実験装置を用いて、色再現域の拡大、動画表示性能の改善、コントラスト比の改善について検証を実施したので、以下に結果を記す。

4.1 色再現域

本システムの実験装置を分光放射輝度計にて測色した結果を図12にCIE xy色度図として示す。実線が実験装置の色

再現域を、点線がHDTV規格の色再現域を示している。この結果から、色純度の高いレーザ光源をバックライトに用いることで、HDTV規格比189%まで色再現域を拡大することを実証した。

4.2 動画像表示特性

バックライトの2次元スキャンと信号処理のFFDにより動画像表示特性改善を行い、液晶の動画ぼやけを数値化する指標となる動画応答時間 (Moving Picture Response Time: MPRT) 値を測定し、従来のCCFLバックライトと本システムの比較を行った。図13にMPRT値の測定結果を示す。図13 (a) は従来のCCFLバックライトの液晶パネルのMPRT値を示し、図13 (b) は実験装置の液晶パネルのMPRT値を示している。これより、従来の液晶パネルのMPRT値に対して、実験機のMPRT値は約1/2となり、2倍以上の動画像表示性能を得ており、本システムの有効性を確認した。

4.3 コントラスト特性

画面内のコントラスト比 (同一画面内で最も明るい領域と最も暗い領域の輝度比) を測定した結果、6753:1となった。この原因は、液晶パネルの画面分割エリアは矩形であるが、スキャンする光スポットは円形をしているため、光スポットが複数のエリア境界を照明するスキャンタイミングが発生し、完全に消灯できない場合が存在したためである。スポット径を小径とすることで更なる改善の可能性がある。

5. む す び

本論文は、LCDの出画性能を改善する目的で、バックライト光源をレーザ光源とし、さらに光スポットを2次元スキャンする出画システムについて提案し、出画実験による効果確認検討を行ったものである。

本論文で得られた結果を総括すると、以下となる。

- (1) LCDバックライト光源をレーザとし、液晶パネル面上の分割エリア毎に光量を変調した光スポットを2次元スキャンする方式の出画システムを開発した。
- (2) 色再現域は、HDTV規格比189%を実現した。
- (3) 動画表示性能は、MPRT値比1/2以下を実現した。
- (4) コントラスト比はエリア制御により、6753:1を実現した。

今回検討したシステムは、LCDの技術的な諸問題を解決する有効な手法であることが実証された。今後、家庭用のディスプレイのみならずさまざまな用途において、本研究結果の広範囲な応用展開が期待される。

なお、本研究の一部は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業の成果であることを付記する。

〔文 献〕

- 1) 苗村省平: “はじめての液晶ディスプレイ技術” 工業調査会
- 2) M. Doshi and R. Zane: "RGB LED Drive in LCD Backlighting Systems", CoPEC Annual Meeting (Nov 2005)

- 3) 馬場雅裕, 伊藤剛: “入力映像に応じて液晶ディスプレイの黒挿入率を制御する高画質化技術”, 映情学誌, 61, 9, pp.1326-1332 (2007)
- 4) J. Someya: "Moving-Picture Response Time and Perceived Motion Blur on LCD Panels", Information Display, 10/05, pp.12-16 (2005)
- 5) S. Sluyterman: "Dynamic-Scanning Backlighting Makes LCD TV Come Alive", Information Display, 10/05, pp.28-31
- 6) A.A.S. Sluyterman and E.P. Boonekamp: "Architectual Choices in a Scanning Backlight for Large LCD TVs", SID Symposium Digest 36, pp.996-999 (2005)
- 7) “日経マイクロデバイス”, 2, pp.23-37 (2007)

新倉 栄二 1992年, 信州大学工学部精密工学科卒業。同年, 三菱電機(株)入社。現在, 同社先端技術総合研究所に所属。撮像・表示機器のメカニズム開発に従事。

岡垣 寛 2007年, 大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 三菱電機(株)入社。現在, 先端技術総合研究所に所属。大型表示機器のメカニズム開発に従事。正会員。

横山 英二 1987年, 愛媛大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 三菱電機(株)入社。現在, 先端技術総合研究所に所属。工学博士。映像情報機器の精密制御開発に従事。

吉井 秀樹 1993年, 京都大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 三菱電機(株)入社。現在, 先端技術総合研究所に所属。映像信号処理技術の開発に従事。

安井 裕信 1993年, 愛媛大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 三菱電機(株)入社。現在, 先端技術総合研究所に所属。映像表示機器のシステム開発に従事。

桑田 宗晴 1994年, 東北大学理学部卒業。公共天文台用大型天体望遠鏡の設計・製造業務に従事後, 2002年, 三菱電機(株)入社。現在, 同社先端技術総合研究所に所属。主に, プロジェクタ用光学系の開発に従事。

道盛 厚司 1983年, 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年, 三菱電機(株)入社。現在, 同社先端技術総合研究所に所属。撮像・表示機器のメカニズム開発に従事。

香川 周一 1992年, 大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, 三菱電機(株)入社。現在, 同社先端技術総合研究所に所属。ディスプレイの高画質化技術の開発に従事。正会員。

杉浦 博明 1982年, 名古屋大学工学部卒業。同年, 三菱電機(株)入社。現在, 同社先端技術総合研究所に所属。工学博士。画像入出力技術, 映像信号処理技術, カラーマネジメント技術の研究に従事。正会員。

図5 光スポット位置関係と垂直方向輝度分布
Location of 4 beams.

図9 ポリゴンミラーの光源点灯エリアと消灯エリア
Lighting area of a polygon mirror.

図11 実験装置概観
The overview of experimental system.

図12 CIE xy色度図
CIE xy Chromaticity Diagram.

(a) CCFL バックライトの液晶パネル

(b) 実験装置の液晶パネル

図13 MPRT値比較
MPRT comparison.