

500Mbps/Pair高速インタフェースを搭載した 世界初13bit・ソースドライバの開発および RGB独立ガンマ制御を搭載したデモ・パネルの製作

加納 行

液晶の存在が植物学者ライニツァーにより発見されてから120年余り、液晶ディスプレイ（以下LCDと略す）は我々の生活の中に浸透し、生活に欠かせない役割を演じている。PC、Navigation System、Gameなどアプリケーションは多彩である。そしてTVやGraphic用高品位モニタといった、従来LCDでは難しいと思われていた市場でもLCDが主流となり、その成長には目を見張るものがある。

TVにおいては画素数が従来のW-XGA+（1366×768）からFull-HD（1920×1080）へ、さらにはDigital Cinema（4096×2160）へと広がりつつある。また昨年にはNHKより、Super Hi-Vision（7680×4320）の計画が発表されている。それに伴い画質向上への要求が高まって来ている。動画特性、色制御（Color Management）は最も重要なファクタである。

倍速フレームにより動画特性向上は解決方向が見出されたが、色制御は今後の重要課題として残されている。

本稿は、LCDパネルにおいて従来一律に制御されていた光3原色（Red, Green, Blue）を個別に制御する方式を用いたLCDドライバ、タイミング・コントローラ（以下T-CONと略す）およびLCDパネルの開発結果について述べるものである。

LCD-TVへの性能要求

LCD-TVが普及するにしたがって、画質などに対する要求が急速に高まって来た。

大きな項目として一つは動画に対するレスポンスタイム、そしてもう一つが色に対する要求である。

レスポンスタイムに関して言えば、液晶では一般に冷陰極管（以下CCFLと略す）などによる光源と3原色のカラーフィルタ（以下CFと略す）で着色された光を液晶分子の方向で制御する、つまり光スイッチングで制御している。いわゆるホールド型と呼ばれる表示である。したがって人間の目には、常に残像が映る。これが動画における尾引き現象となって、動画に対する不自然さとなる。

ホールド型表示の致命的な問題である。

これに対しては、フレーム周波数（1秒間に送るコマ数）を、従来一般的にTV放送で用いられている60Hzを120Hzにアップレート変換し、物理的に残像時間を半減させ、動画特性を向上させる方式が用いられるようになった。ダブル・フレームと言われる手法である。

そして、動画特性と並んで重要な性能が、色再現性である。LCDに限らず、ディスプレイではRGBの3原色の組み合わせにより、できるだけ多くの色表示を行うのが一般である。LCDには電極への印加電圧によって透過率が変化するVT（Voltage-Transmittance）特性が存在する。このVT特性は、使用されているバックライト、CF、液晶材料自体によって異なる。

今後のLCD-TVではTVショッピングの普及拡大などにより、正確な色再現性が必要となる。TVを見てオーダーした製品が実際の色合いと異なるといった事態も考えられるため、高い色再現性が必要となる。

また遠隔医療などに用いられるモニタでは、顔色などを正確に表さなければ正しい診断ができないため、色再現性はより重要な性能である。

RGB独立ガンマ制御

動画特性の向上と高い色再現性がLCD-TVの画質に求められる2大項目であると前項で述べた。色再現性を高めるために、LCDのシステムレベルで多くのアプローチが取られている。一つは色範囲（GAMUT）の拡大であり、LEDバックライト、高演色型CCFLの採用がその代表である。もう一つがRGB独立ガンマ制御である。それを達成するのに必要なのが13bitソースドライバである。

LCDのVT特性については前に述べたが、これはCFの分光特性とCCFLの波長特性とのバランスなどによりRGBそれぞれで異なる。

図1に概念を示した。これは、TN（Twisted Nematic）型のTFTに用いられる液晶をNW（Normally White）、つまり電圧オフ時に透過率が最大となる方式で用いた時の

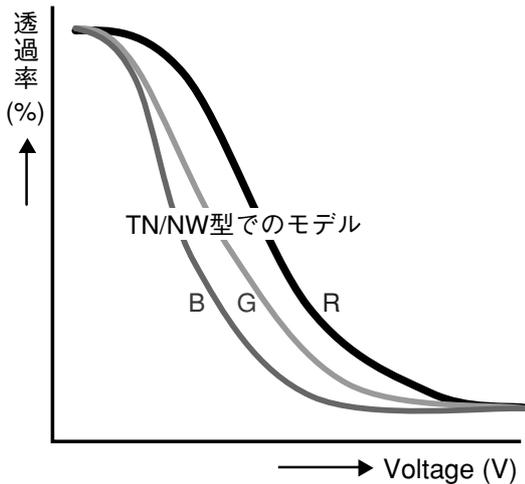


図1 RGBごとに異なるVT (ガンマ) 特性

特性である。同じ階調 (Gray Scale) レベルであっても、LCDの各RGB画素 (Sub Pixel) に与える電圧は固有のものになる訳である。

なお、RGBごとにVT特性が異なるのは周知の事実であり、この補正は色々な方法で行われている。いわゆるRGB補正 (Color Tracking) であり、一般的にはグラフィック・プロセッサ (エンジン) 内で行われる。

LCDモジュールへは、補正後の画像 (階調) データが送られ、タイミング信号生成などの後、LCDドライバにてDA変換され、LCDパネル上のTFT (Thin Film Transistor) を駆動する。つまり、ごく特殊な場合を除いてColor Management機能はエンジンで行われる訳である。しかし、エンジン内でのColor Trackingなどの補正では不十分であると言われ続けている。これは色に対してLCDに用いられる材料などが余りに多くの変動要因を持っているからである。それ以外にも、

- 液晶の配向 (MODE) :VA (Vertical Alignment) , IPS (In Plain Switching) など
- 液晶分子の電極近傍でのチルト角
- 偏光板 (Polarizer) や位相差版の透過・屈折特性

といった厄介な要因がある。

以上述べた要因の全てが、たとえばTVメーカーが複数のLCDモジュール製造会社から同一仕様のLCDモジュールを購入した際、供給元によって全く色合いが異なるといった問題を生む訳である。また、蛇足ではあるが、同一のLCD CELL製造ラインで生産していても、色特性が経時変化を起こすことすらある。

以上の現象や傾向から、いくつかのTVやモニタのメー

カー、いわゆるセットメーカーは、LCDモジュール単位でのColor Tracking即ちRGB独立ガンマ制御を求めようになった。そしてこの要求は、デジタル放送化やネットショッピングの急速な普及、さらには医療用モニタのLCD化などに伴い、ますます強くなりつつある。

RGB独立ガンマ制御の概要

上記のようにRGB独立ガンマ制御の達成は、将来LCDドライバやT-CONのビジネスを成功させる上で必要不可欠な技術である。

図2に我々の用いた方式の概要を示す。

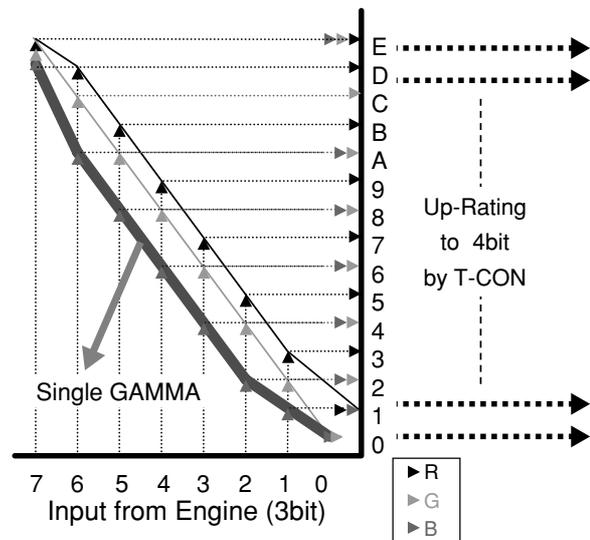


図2 RGB独立ガンマのデータ生成

ここでは理解し易くするために、3bitの階調データをRGB独立階調制御するケースを示した。

図2に示すように従来方式では、グラフィック・プロセッサから供給された3bitの階調データ (図2中の Input from Engine) を、そのままRGB同一データとして割り振ってLCDドライバに出力していた (太線-Single GAMMA)。新方式では、これをT-CON内部でLCDパネルの特性にしたがってRGB個別に変換し直す。したがって、入力よりもデータの分解能は細かくしなければならない訳である。つまり、同一制御の場合よりも多くの階調データが必要となる。図2では、3bitの階調データをRGB個別に割り振ることにより、4bitまで細かく分割した階調データにUp-Rate変換している例を示している。

今後、LCD-TVの階調は10bitが主流になって来ると思われる。10bitをRGB個別に制御する場合、12ないし13bitの分割データ (分解能) が求められる。我々は13bitが必要と判断した (後記)。

RGB独立ガンマ制御を搭載したデモ・パネルの製作

これまで述べて来たように、今後はLCDモジュールにおいてRGB独立ガンマ制御が不可欠である。しかし色合いは、極めて数値化しにくい特性である。したがって、試験用のデモ・パネルを製作し、検証・確認をLCD-TVなどのセット・メーカーと共に行わなければならない。

過去、RGB独立ガンマ制御を搭載したテスト・パネルは、複数のLCDドライバ・メーカーやパネル・メーカーにて試作されている。また、携帯電話パネルでは既に普通に行われているケースも多い。しかし、TVの場合では12bit分解能が最大、携帯電話パネルではRGBトータルで18bit (RGB各6bit) や16bit (RGB=6,5,5bit) と言った程度であった。TVセット・メーカーの一部では「12bit程度の分解能では階調単位での色付き(後記)が発生してしまう」との指摘があり、13bitへの大きな期待が寄せられた。

これに応えるため、我々は13bit分解能によるデモ(試作)パネルを製造し、セット・メーカーやパネル・メーカーへのデモを行い、共同で効果の確認、問題点の抽出などを行うこととした。

デモ・システムを製作するに当たり、LCDドライバにはOKIが独自に開発した世界初の13bit(ソース)ドライバ、MT3100(表1)を、またT-CONには開発に際し多くの機能の見直しが予想されるため、FPGA(Field Programmable Gate Array)を活用することとした。

表1 MT3100 Spec. (概要)

Gray-Scale Level	Max. 13bit (8192 Levels)
Typical VDD (Logic / LCD)	2.7V / 16.5V
Interface	FP-LVDS / 6 Pairs
Max. Clock Rate	216MHz
Output Ports	414 / 420 / 480 / 516CH

デモ・システムの製作に当たって最も肝心なのはLCDパネル(セル)であるが、これは台湾のLCDメーカーより提供していただいた。

このパネルの仕様を表2に示す。

表2 試作パネルの概要(台湾メーカ提供)

Size	37 inches
Picture Format	W-XGA+ (1366×768)
Color Space	72% (vs NTSC)
LCD Type	VA(NB)
Gray Scale Input	8bit Compressed

13bit LevelのRGB独立階調を評価するには、決して満足の行くSpecを有しているとは言えない。たとえば本来の13bit Levelの性能を引き出すには、画素(Picture Format)はFull-HD(1920×1080)が欲しい所であるが、今回は色合い(色再現性)などの評価・確認が主目的であるため、十分であると判断した。

次にT-CONの部分であるが、ここは前記の通り回路の変更などに柔軟なFPGAを用いて設計した。図3に主な機能を示した。

つまり、入力画像データをラインで2分割し、片方(図では左)はRGB共通のガンマでタイミング調整のみを行う。一方、残り(同右)はLCDパネルのRGB透過率特性に基づいて三原色ごとにガンマ補正を行った後、出力ラインメモリに蓄えられ、ライン選択信号のタイミングにしたがってソースドライバに出力される。また、図3で分かるように、本T-CONでは同一画面上で従来方式とRGB独立ガンマ制御の画像とが比較できるような出力が可能になっている。

さらにLook Up Table(以下LUTと略す)を搭載し、ここでLCDパネルのRGB透過率特性に応じた補正ができるようになっている。この補正パラメータは、外部から容易に書き換が可能になっており、パネルが変わった場合や色々なガンマ定数(1.8, 2.2, 2.4など)に対応できるようになっている。

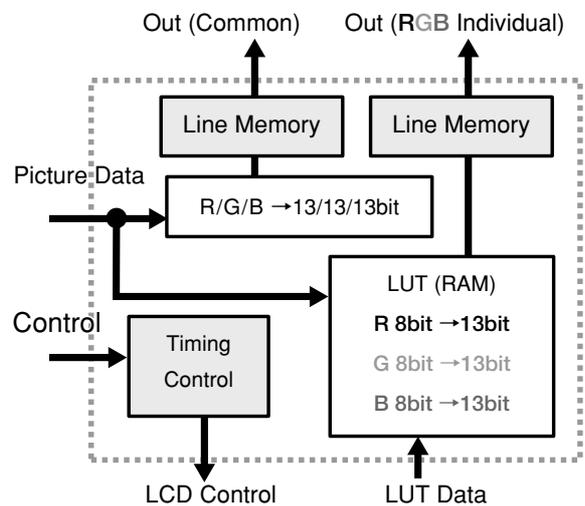


図3 T-CON (FPGA) の概略

Timing Control部分では、画面スキャンを制御するゲートドライバやソースドライバへのStart Pulseなどのコントロール信号を生成する。

デモ・パネルの概要

今回製作したデモ・パネルの外観を写真1に示す。

LCDパネル（セル）のサイズは37インチ，FormatはWide-XGA + (16 : 9 HDTV対応) である。ちなみに，このパネルに使用されている液晶はVA (Vertical Alignment) 型でありコントラストが高く取れる反面，黒色側のVT特性が急峻，つまりわずかなドライバ出力電圧変動で透過率が大きく変動する。したがって細かい分解能 (12bitよりは13bit) が必要と推定される。

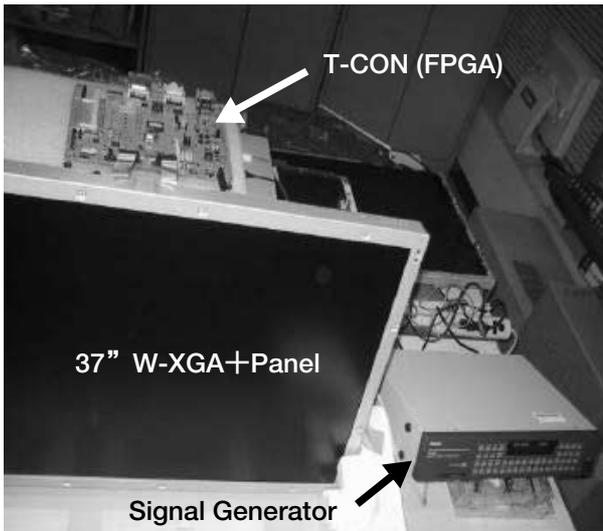


写真1 デモ・システムの外観

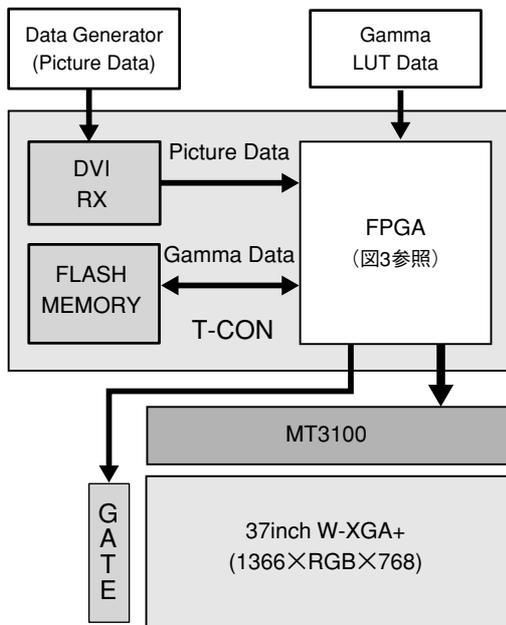


図4 デモ・システムのブロック図

T-CON (FPGA) 基板には，DVI (Digital Visual Interface) レシーバなどT-CONとして動作させるのに必要な画像処理LSIなどが配置されている。

図4は本デモ・システムのブロック構成図である。

画像データは，DVI Formatで供給される8bit情報である。これをLUT (Flash Memory) に書かれたRGBごとのガンマ補正パラメータで13bit分解能のガンマデータとして，LCDドライバへ供給する。

LUTに書き込むガンマ補正データはパネルの製造元にて測定したRGBごとの輝度データより，それぞれのVT特性に合致するように換算したものである。

このLUTをいかに精度良く作成するかがこの方式のシステムにおける最も大きなポイントである。高い輝度測定精度，さらに“輝度データ→LUTデータ”の変換アルゴリズムなどの工夫が必要である。

写真2は，デモ・システムの画像を写真撮影したものである。中央で分割した左側が従来方式，右半分がRGB独立してガンマ補正を行ったものである。

デジタルカメラの色範囲とデモ・パネルとの違い，また写真処理で画像圧縮を繰り返しているため写真上では分かり難くなってしまったが，グラデーションには明らかな差が認められる。

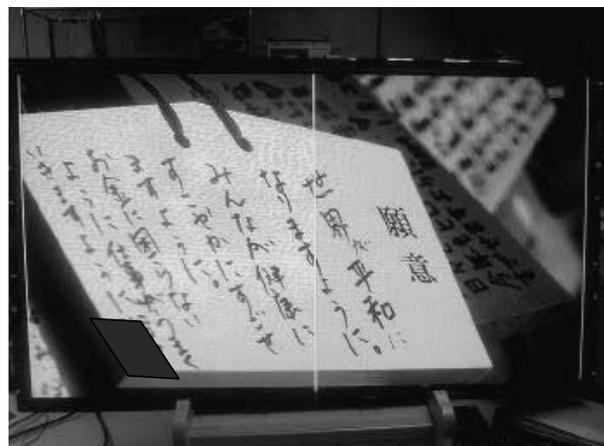


写真2 パネル上での実際の画像 (右半分がRGB独立ガンマ制御)

デモ・パネルに対する顧客の評価，コメント

デモ・システムの完成後，カスタマやTVセット・メーカーの要請を受け，日本国内，韓国，アメリカにてデモを行った。

前書きにも述べたように，このような技術は，今後重要性が極めて高いため，各社の関心は高く国内外の主要メーカーで多くのエンジニアなどと実際の画面を前に議

論を行った。各社の反応は概ね良好であり、

- 肌色のグラデーションに明らかな差が認められる。
- 色合いに、より自然さが感じられる。
- 色への感覚は個人差があるが、標準色をディスプレイできる（であろう）ことに大きな意味がある。
- エンジンでのColor Trackingの負担が減り、トータル・システムとして簡素化が期待できる。

との見解が大勢を占めた。一方で、

- デモ用としてのパネルが性能不足。狭GAMUT、狭視野角などの影響で期待ほど改善が確認できない。
- VT特性が急峻な階調での着色が見られる。従来の方式では見られなかったもの。
- 最近では12bit分解能のものが試作されているが、OKIの13bitとで差はあまりないようだ。

といった問題点も指摘された。

特にハイエンド志向のセット・メーカーからは、「Full-HD、広色域、色深度の十分なパネルを使うことで、より明らかな差が出るはずだ。」との指摘を頂き、新たなデモ・システムの製作を依頼された。

いずれにしても、指摘された問題点も、本方式への期待の裏返しであると言える。

問題点と対策の検討

デモからのフィードバックにもあるように、本方式に特有の問題として、「VT特性が急峻な階調での着色」がある。従来方式では、全階調、即ちスクリーン全体での色付き（ブルーシフトなど）の発生はあるのだが、階調単位での色付きは、RGB独立ガンマ制御特有のものである。

この現象はMicro Color Shift (MCS), つまり、マイクロ・カラー・シフト効果（以下MCS効果と略す）と名付けられ、写真3に現象を示す。黒側の一部階調で緑色の着色が認められるのが分かる。

なお、デモ・システムのパネルは、液晶分子がVA (Vertical Align) 配向方式であり、またNB (Normally Black) モードのため、特に黒側のVT特性が急峻になり、電圧変化の影響を受けやすい。

このMCS効果は、RGB個別に且つ階調ごとにガンマ補正を行っているが故に発生する。

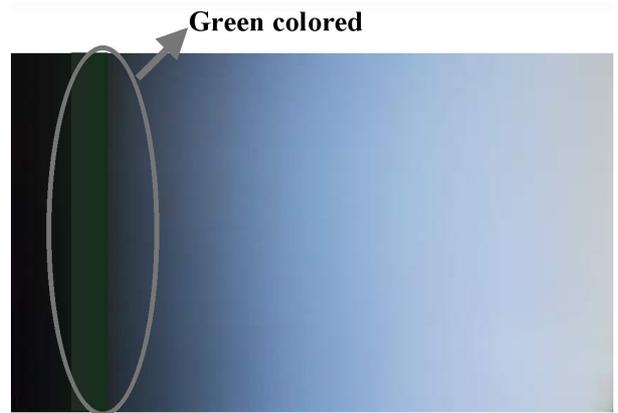


写真3 マイクロ・カラー・シフト (MCS) 効果

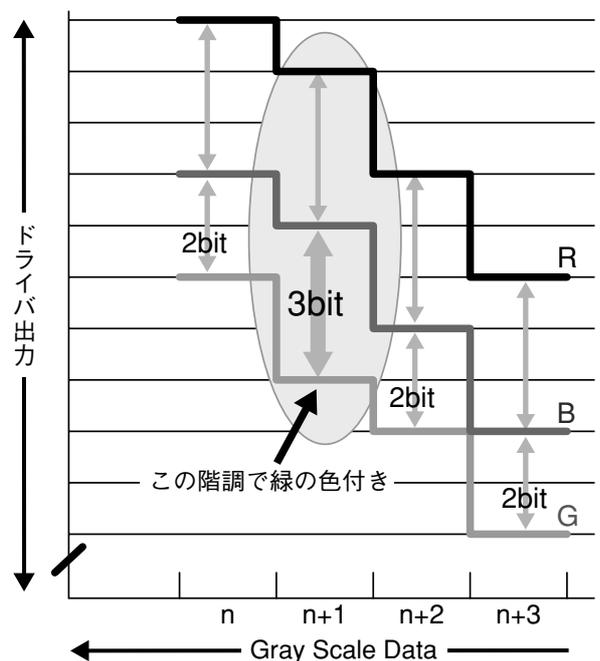


図5 MCS効果（緑の色付き原因）

図5は、これを模式的に表したものである。n+1の階調 (Gray Scale Data) におけるG (緑) のB (青) に対する出力電圧差が、その前後の階調に比べて1bit分ずれている。これは、ガンマの独立制御を行った際に、ある特定階調においてRGBのバランスが取れていないことによるもので、特定の色が強調されてしまう現象である。

考えられる原因としては、

- パネルでのRGB輝度測定における測定バラツキ
- T-CONのLUTに書き込むデータの算出エラー（たとえば最下位bitの変換誤差）

●VT特性の曲線をデジタル階調化する際の近似誤差

などが挙げられる。

我々は13bit化により、この現象を軽減しようとし、ある一定の効果をセット・メーカーと一緒に確認したが、まだ不十分であるとの指摘を頂いている。しかし、言い換えれば、他社の提唱している12bitの分解能では不十分であるということでもある。

結論と今後の検討

T-CON, ソース・ドライバによる、13bit分解能(8192 Levels)を持つRGB独立ガンマ制御は今後のLCDモニターやTVにおいて必要不可欠な技術である。

今後、現行システムの改善や新たな高品位パネルによるシステムを検討し、LCD-TV, ハイエンド・モニター向ドライバ, T-CONにおけるColor Managementの技術リーダーとなる。

一方で、本方式特有のMCS効果の対策を進め、技術の成熟化を図る。

また13bit化により、T-CONとソース・ドライバ間のデータやClock信号の転送密度は飛躍的に高くなり、EMI (Electro Magnetic Interference) など伝送に関する問題がクローズアップされて来る。現在はFP-LVDSやmini-LVDSで対応できているが、Digital Cinemaなどの登場を見越して、Clock Embedded方式などの新しい技術も検討していく。 ◆◆

●筆者紹介

加納行: Hideki Kanou. シリコンマイクロデバイスカンパニー
ディスプレイドライバビジネス本部 ビジネス開拓部