白黒像の濃淡に応じて着色するスライス方式カラーディスプレイ装置

東京芝浦電気株式会社 伊 藤 健 一

東京電子工業株式会社 野 村 龍 太 郎

小 林 一 隆

X線テレビあるいは電子顕微鏡といった、本来白黒の情報しかない映像にその濃淡に応じて着色するカラーディスプレイのひとつとしてスライス方式のものを完成した。本文ではその着色原理および使用したスライス回路、カラーマトリックス、ビデオフィルタ、マグニファイア回路、シェーディング補正回路などにつき説明し、最後に本方式の誤差に言及した。

1. ま え が き

最近、医用方面においてカラーディスプレイ装置が漸次実用化されつつあり¹⁾²⁾、たとえばX線フィルム、サーモグラフィー、超音波診断装置などに応用されつつある。

また医用以外にも、たとえば照明研究³⁾⁴⁾とか電子顕微鏡⁵⁾にも応用され、単色では認識ににくい各種情報色の差異として区別、抽出し、人間が視覚識別しやすいようにしている。

このように単色の画像情報の濃淡に応じて着色するカラーディスプレイ装置の必要性が認識されるに従い、その開発が急がれているのはむしろ当然であろう。

しかしながら、濃淡に応じて違った色を対応して着色させるカラーディスプレイ装置には、いろいろの原理のものが研究開発されているが⁶⁾⁷⁾、今回カラーブラウン管を用いたスライス方式のカラーディスプレイ装置を完成したので、ここにまとめて報告するものである。

2. システムの系統

図1がスライス方式カラーディスプレイ装置の系統図である。すなわち、図1において被写体を1インチ形ビジコン(8541)で撮像し、ビジコンの信号電極電流を前置増幅器およびプロセス増幅器で増幅し、その一部はモニター端子より取り出し、普通の映像画面として監視できるようにしてある。

“Slicing-type CRT Color Display for Mono-chrome Image” by Ken-ichi Ito (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd, Kawasaki), Ryutaro Nomura and Kazutaka Kobayashi (Tokyo Electronic Industry, Co., Ltd, Tokyo)

カメラレンズとしては、Cマウント形のズームレンズ(22.5~90mm, $F1:1.5$)を使用し、最大360mm×360mmの撮影面積が得られるようにしてあり、各種各様の被写体に対応して使用できるよう考慮してある。

もちろんコイルアセンブリーとか偏向増幅器、パルスユニット、駆動パルス発生器、および偏向回路などは8章、9章で述べる事項以外はまったく普通の白黒テレビカメラと同じような機能を有してある。

図1にて二重に囲んだものがカラーディスプレイ装置のため特に付加されたものである。それらについては次章以降に順次説明するが、図1の系統図にてもわかるように、濃淡に応じて着色するための信号(R, G, B)はカラーブラウン管に加えられる。ブラウン管としては価格面を考慮、NTSC方式の家庭用カラー受像機を改造して使用した。また、単にスライス式のカラーディスプレイ以外に白黒信号(Y信号)を重ねたり、あるいは白黒の映像を単独でモニターできるようにもしてある。

3. スライス方式による着色の原理

白黒信号の濃淡に従って色をつける方法については、すでにいろいろのやり方が発表されている。たとえば映像信号の振幅レベルに従ってカラーブラウン管のR, G, Bの各グリッドに加わる電圧配分を変化させて着色させる方法⁸⁾とか、NTSC方式に使用する3.58MHzの副搬送波を位相変調する方法⁹⁾などがある。

これに対し、今回採用した方式はスライス方式といわれるものであり²⁾³⁾⁸⁾、その原理を図2~図4を用いて次に説明する。

理解しやすいように、濃淡の分布をちょうど地図の高

図1 スライス方式カラーディスプレイ装置系統図

低を表わすものと見なし、富士山のような円錐形を考えてみよう。図2(a)で示されるような図1のビデオフィルターからの白黒映像信号(アナログ信号)は、コンバーターから成るスライス回路に加えられる。図3にスライス回路の原理図、図4にその実際に使用した回路を示す。映像信号は図3および図4のスライス回路でスライスされ、デジタル信号に変換される。このスライ

ス電位をポテンシオメーターにより変化させ、任意のスライスレベルに設定する。このスライス回路を数段並列接続することによって、希望する段階のスライスレベルが得られる(図2では4段)。

このようにして得られたデジタル信号は、図1のようにカラーマトリックスに加えられ、そこでR、G、Bの各電子銃に与える制御信号を作り出している。

こうして濃淡に応じて着色した映像を得ることができるが、スライスすることにより元の映像に含まれている白黒情報(輝度信号分)を失ってしまう。そのためカラーで表わされた映像と対応させることがむずかしく、図形認識上いろいろやりにくことが判明した。このような欠点は図1のようにY信号(輝度信号)を挿入することにより解決した。すなわち、デジタル信号とアナログ信号を共存させる方法によったわけである。しかし純然たるデジタル信号の場合には、各色を飽和させて鮮やかな色で表示することができるが、アナログ量が混在すると色そのものの飽和度が劣化するという欠点も同時に発生することは否定できない。

4. スライス回路

スライス回路は、スライス方式によるカラーディスプレイ装置の性能を左右する最も重要な回路である。以下、図3によりその動作原理を説明する。

すなわち、ビジコンカメラから出た白黒映像信号は図1のようにビデオフィルターおよび映像増幅器を通して

図2 スライス方式カラーディスプレイの説明図

図 3 スライス回路の原理図

図 4 スライス回路

図 5 カラーマトリックス回路

TR₁ のベースに導びかれている。TR₂ はクランプ用のトランジスタであり、ベースに加えられたクランプパルスにより導通し、映像信号の黒レベルを R₁ の電位に固

定する。クランプされた映像信号は TR₃, TR₄ を経てコンパレータに導びかれる。TR₃, TR₄ のエミッタホロウは *npn* トランジスタと *pnp* トランジスタの組合

写真 1 スライス回路のレベル分解能

(a) 100 kHz の矩形波に対する出力 (1 目盛 2 μs)

(b) 1.5 MHz の矩形波に対する出力 (1 目盛 0.2 μs)

(c) 3 MHz の矩形波に対する出力 (1 目盛 0.1 μs)

写真 2 スライス回路の周波数特性

せ回路を採用し、温度変化などに対する安定度の向上につとめている。TR₅～TR₇は差動増幅器を利用したコンパレータ回路であって、TR₆のベース電圧は基準電圧として R₂により設定される。TR₅のベースにおける映

像信号の直流電位がこの基準電圧以下のときは、TR₅がオフ、TR₆がオンである。そして基準電位をこえると TR₅がオン、TR₆がオフとなる。そこで TR₆の出力を TR₇でさらに整形した後、TR₈のエミッタホロウを経て出力段へ導びかれる。

このようにして映像入力信号は R₁の電位により任意のレベルでスライスされたデジタル信号に変換される。

本装置では、図 4 のようなスライス回路を 12 個設け、映像信号を 12 段にスライスするようにしてあり、白をこれに加え合計 13 色に着色可能となっている。また、赤、緑、青の 3 色混合で得られる色の中には飽和度の低い色、色相の近寄った色などが含まれ、ブラウン管上にディスプレイした場合、識別しづらい色が出てくる。

このため本装置においては、各原色すなわち赤、青、緑および各 2 色の混合色、すなわちマゼンタ、シアン、黄の 6 色を使用し、各色とも 100% レベルの信号と 50% レベルの信号とに分けることにより明るさを変えて、見かけ上 12 色とし、これに 3 色混合で白を加え、合計 13 色としてディスプレイしている。したがって、厳密な意味では 13 色とはいえないが、便宜上 13 色といっている。また 13 色では少し色が多すぎて、かえって見にくくなる場合もあるので、6 色に白を加えて 7 色に着色できるよう、スイッチで切り替え可能にしてある。詳細は図 5 のカラーマトリックス回路に示されている。

写真 1 はスライス回路のレベル分解能を示し、定格映像信号 1 V_{p-p} に対し 1% 以下の分解能で、他のシェーディングなどによる残留誤差数 % にくらべて充分低く、満足できる値である。写真 2 はその周波数応答を示し、3 MHz 以上まで応答しており、X 線テレビなどに使用する場合の分解能からも充分で、初期の目的を達した。

5. カラーマトリックス回路

カラーマトリックス回路は、12 チャンネルのスライサー出力信号を受け、カラーブラウン管を駆動するために必要な R、G、B の信号に変換するデコーダ回路である。図 5 にその接続図を、また図 6 にその動作波形図を示す。以下図に従ってその動作を説明する。

V_{I1N}～V_{I2IN} はスライサーの出力信号であり、この信号を IC₁～IC₁₁ に極性反転し、図 6 の ①～⑪ なる波形を得る。以下 13 色および 7 色着色の場合に分けて説明する。

(1) 13 色着色の場合は IC₁₂～IC₂₂ の NAND ゲートで ⑫～⑳ のように変換される。この出力信号は IC₂₈～IC₃₀ および IC₃₄～IC₃₆ でそれぞれ R、G、B の 3 色

(図中で○で囲った数字は図5の各部の波形を示す)

図6 カラーマトリックスの波形図

信号にデコードされる。このままでは各色の出力信号が2系統になってしまうので、IC37～IC48の回路で合成し、R、G、Bの出力信号に変換する。ここですべての信号を同一レベルで合成すると6色表示になってしまうので、IC34～IC36の出力レベルがIC28～IC30の出力レベルの1/2となるように合成される。

(2) 7色着色の場合は、IC23～IC27のNANDゲートで図6の②③～②⑦のように変換した後、IC31～IC33で3色信号にデコードされ、各色の出力増幅器で増幅しモニターに送り出される。この場合、13色用のデコーダ出力はインヒビットされて出力に現れない。

6. ビデオフィルター

前章で述べたスライス回路は、電源電圧とか温度が変化してもスライスレベルが一定で変わらぬものができれば理想的であり、なるべくその理想に近い回路として図4に示した回路を使用したわけである。しかし、実はここにスライス回路の根本的な問題として信号中の雑音について考える必要が生じてくる。

すなわち、スライス回路が完全であっても雑音が映像

図7 スライス回路の入力映像信号と雑音

信号中に含まれていると、境界線が“波うったように”きたなくなる。以下図7によってこれを説明しよう。

同図(a)のように雑音がない場合には、ある色から別の色に変わる境界線ははっきりした線となり、気持のよい画像が得られる。しかし(b)のように雑音があってスライスレベルを飛び出してしてしまうものと、その部分のみが一段上のレベルの色に着色するので、境界線付近で色がにじんだような見にくい映像となってしまう。

このように見にくい映像の原因となる雑音の影響を軽減させるために使用するのが、ビデオフィルターである。このフィルターは低域フィルターで、遮断周波数が1、3、4、5MHzのものと、6MHzまで平坦特性のものが、スイッチで選択できるようになっている。

色の境界線をすっきりさせたいときには1MHzのフィルターを用い、高い周波数成分を多く含んでいる雑音を除去する。しかしその場合、映像の細部が犠牲になるのは止むを得まい。一方、色の境界線付近に現われる雑音については目をつぶって我慢してもよいから映像の詳細部を見たいときには、6MHzの平坦特性に切りかえて使用する。

一般に、被写体の濃度変化がゆるやかで映像信号中における周波数成分が比較的低く、高い周波数成分の少ない場合には、その境界線が問題となるが、細部はあまり問題とならない場合が多い。したがって、その場合にはフィルターを1MHzとか3MHzといった狭い帯域に切りかえて雑音を軽減して使用する。その反対に濃淡変化が急しゅんで比較的高い周波数成分を多く含んでいるような被写体では、細部を見たいが境界線は被写体の性質上自然にはっきり識別でき、したがって雑音の影響を受けにくいので広い帯域に切りかえて使用する。

写真3はビデオフィルターを使用した場合、雑音がどのように変わるかを示した実例である。これにより帯域が広いほど当然のことながら雑音の影響が現われ、境界ははっきりしなくなるのがわかる。

このように、実際の被写体の性格から考えてこの低域フィルターはきわめて有効であり、映像のもっている情報と雑音の性質をうまく使い分けることにより、より良いカラー像を得ることができるのである。

(a) 矢印の枠部分を拡大撮影したのが (b), (c), (d)
 (b) 低域フィルターを使用しない場合
 (c) 遮断周波数 4.5 MHz の低域フィルターを通した場合
 (d) 遮断周波数 1 MHz の低域フィルターを通した場合

写真 3 ビデオフィルターを使用した場合の効用を示す実例
 (帯域が狭くなるほどスライスの境界線がきれいになっている)

なお、前章で述べた 13 色表示方式と雑音の関係について、ちょっと付言しておく。13 色でなく 25 色でも 37 色でもスライス回路のレベル数を増加して行きさえすれば、いくらでも色数を増すことが可能のように思えるが、図 7 にてもわかるように、極端に言えば雑音電圧よりも小さい電圧までスライスしてもまったく意味がない

わけで、現在の技術レベルでは一応 13 色程度が限界ではないかと考えるものである。

7. マグネフィア回路

実際に被写体の濃淡に応じて着色してみると、ある部分だけを特によく見たいといったような要求が非常に多いことがわかった。特に医用方面で癌の診断などにカラーディスプレイ装置を利用する場合、切実な要求となってくる。このような目的のために設けられたのがマグネフィア回路である。この回路を使用すると、不用な部分は白か黒に着色させてしまい、希望する濃淡の範囲内のみを着色させることが可能である。

図 8 が原理図である。リレーによって増幅器の利得を切り替え、普通を使用している場合には利得を 6 dB 下げておき、一番明るい所と暗い所との間を 100% に対応させておく。しかし、細部を部分的に見たいときには、6 dB 利得を上げると同時にクリッパーによって 100% を越える信号分をクリップしている。そして元の被写体の濃淡の 50% に相当する部分のみを残し、他は白か黒に着色させる。この 50% の部分はペDESTAL の位置を変えることにより原信号の 20~70% にすることもできるし、35~85% の部分に選択し、その範囲の濃淡にのみ対応して着色させることもできる。

8. シェーディング

濃淡をカラー表示する場合、スライス方式ばかりでなく他のどんな原理にもとづくものであっても、一番大切な、しかもむずかしい問題がシェーディングであろう。

たとえば、真白な紙を図 1 のカメラで写したとしよう。もしシェーディングがなければ、カラーディスプレイは全面が赤とか黄とか、何か 1 色になるはずである。

ところがカメラにはシェーディングが必ずあり、たとえば最高級の放送用カメラでも 2% 程度のシェーディングが許容されている。このように、シェーディングのあるカメラで真白な紙を写し、スライスレベルを変化させてみると、全面一様な色になるべきものが左側は赤、右側は黄色になってディスプレイされるようなことになってしまう。これはもちろん好ましくないことであり、極力シェーディングの少ないカメラ系を作らねばならないわけである。

シェーディングの原因としては、

- (1) 光源の不均一性 (上の例では真白い紙を照明する光源の均一性)
- (2) レンズ系の不均一性 (中央と周辺部の光の吸収の度合いの相違など)
- (3) カメラのコイルアセンブリーの機械的ならびに

(a) マグニファイア回路原理図

(b) マグニファイア動作図

図 8 マグニファイア回路

電気的不均一

(4) ビジコン管の感光面の感度の不均一

(5) 偏向回路の非直線性

などが考えられる。

これらの原因のうち、(1)~(4)は電気回路以外で発生するものであり、それらを完全に除去することはとうてい不可能である。このため、逆に電気回路によって補正することが行なわれており、それがシェーディング補正回路である。

普通、シェーディング補正回路を原理的に分類すると、

(1) 重畳シェーディング補正

(2) 変調シェーディング補正

の2通りになり、いずれも広く採用されている。

たとえば、ITV のように低価格のカメラでは、主として簡単な重畳シェーディング補正が採用されているが、放送用のように高性能を要求されるものは、性能の良い変調シェーディング補正が用いられている。しかし、これ

(a) シェーディング補正をまったく行なわない場合

(c) 変調シェーディングのみ

(b) 重畳シェーディングのみ

(d) 重畳と変調シェーディングを併用

写真 4 重畳シェーディングと変調シェーディングを併用した効果

によっても前述のように2%以下にすることには相当な努力を必要とする。重畳シェーディング補正では、映像の暗い部分の補正を行なった場合には、明るい部分が暗い部分の補正を行なった分だけ、かえって悪くなり、逆に明るい部分の補正を行なった場合には、その逆に暗い部分が悪くなる。また、変調シェーディング補正の場合には、暗い部分の補正にはほとんど効かず、明るい部分のみ補正できる性質を持っている。

このようなことから、特にきびしい性能が要求されるカラーディスプレイ装置であることを考え、本装置では重畳ならびに変調シェーディング補正方式を併用し、より完全な補正を行なっている。もちろん補正すべき波形としては、パラボラ波と、のこぎり波の2通りを用意した。

写真4はその効果を示すデータであり、効果を誇張するために光源からカメラに至る系の入力シェーディングを極端に悪くした場合の効果を示す。実際には系のシェーディングはこれほど極端に悪くはないので、画面周辺部のごく一部を除いて映像信号レベルの2%程度まで補正することができた。この値は現在のところ撮像装置としては限界性能であり、十分な値とはいえないが、一応目標が達せられた。

(a)

(b)

図9 各種波形ひずみ

クランプ回路の入力信号

クランプ回路の出力信号
 (a) クランプ回路の入出力波形 (1)

クランプ回路の入力信号

クランプ回路の出力信号
 (b) クランプ回路の入出力波形 (2)

写真5 クランプ回路によるサグの発生

9. サグ、ストリーキング、スミヤ等の 波形のひずみ

濃淡に対応した色をつけるカラーディスプレイ装置において、シェーディングとともに問題となるのが、サグ、ストリーキング、スミヤなどの各種波形ひずみである。

たとえば図9(a)のように白黒がはっきりした中間調のないものを写した場合、サグなどの波形ひずみがなければ、スライスレベルをいかに変えても、たとえば白の部分が赤、黒の部分は青といったようにカラーディスプレイされる。しかし、同図(b)のように各種の波形ひずみがあると、たとえば図の点線の所でスライスしたとすると、上記の例のように白の部分が赤、黒の部分が青といった工合にぴたりと2色にならず、黄とか茶色とかスライスレベルを変えることにより、2色以外の色が出てくる。

このような不都合を防ぐためにも、波形ひずみは極力小さくおさえることが必要となってくる。特に低い周波数における特性が悪いと発生するサグについては注意する必要がある。このため、普通のカメラでは2%以下という規格となっているが、本装置では特にこれを1%以下になるよう設計調整した。

このため、特にサグに関連して、クランプ回路について写真5に示すような特性の改善を行なった。すなわち、クランプ回路に入る前の信号にサグがあると、クランプすることによりサグはもちろん除去できるが、クランプ段の低域過渡ひずみにより映像信号の黒レベル部分にへこみを生じ、特性が写真5(a)のようになってしまう現象についてである。この現象は、クランプ段以前の低域(60~500 Hz)サグを極力小さく、あるいは補正することにより、写真5(b)のように改善された。

次に、中域から高域にかけての周波数レスポンスが悪いと発生するストリーキング、スミヤについては、映像

写真6 カメラ系の $\sin^2$ 波特性

表 1

誤差の原因	目 標 値
シェーディング	2%
スライスレベルの変動	みとめられず
サグ	1%
ストリーキング	みとめられず
スミヤ	みとめられず
信号対雑音比	46 dB p-p/rms (p-p/p-p で 30dB)

増幅器の中域から高域に至る周波数レスポンスの偏差を極力小さくした結果、Tパルス2乗正弦波信号で写真6のような良好な特性が得られ、矩形波信号によるテストでは、サグ、スミヤは1%以下で、所期の目的を達成できた。

10. 測定系としての誤差

以上、述べたように、ブラウン管によるカラーディスプレイ装置によって濃淡をカラー表示するには、原理的な誤差を含んでいることがわかったが、これらを一括まとめてみると、表1のようになる。

以上のように、誤差の要因はいろいろあるが、本装置の系全体としての誤差は、これらの合成値となり、シェーディング2%、サグ1%、その他を1%として、およそ4%程度となる。

しかし、最近急速に発展してきたカラーフィルムを用いる方法、特にカラーX線写真法⁹⁾などと比較して考えた場合、誤差という点から考えると、いずれの方法もあまり差がないように考えられる。すると現像装置などが不必要なテレビを用いたカラーディスプレイ装置によって簡単にカラー表示され、カラーによって直接人間の視覚にうたえて鮮かな印象を与え、濃淡の中から新しい情報を取り出しうることを考えれば、この程度の誤差で充分ではないかと考える。これ以上の精度を要求しても撮像管の不規則なシェーディング特性など、電気回路で容易に補正し得ない残留誤差が誤差の大半を占めるうえ、信号処理回路の精度をこれ以上あげてもあまり意味がないように感ずる。

11. 本装置の実例

写真7(a)(b)は医療用の目的で撮影した白黒のX線フィルムを本装置によって着色し、診断を容易にしようという目的で作った装置である。

本装置は、スライスレベルをいろいろ変化させて見る以外に、照明装置自身の明るさを変えて見たり、カメラレンズの絞りを変えてみたりすることにより、単にスライスレベルだけを変えた場合に比較して濃淡の度合いがより明瞭に認識できる。

ディスプレイモニター フィルム資料台
(a) 被写体がフィルムの場合

(b) 被写体が陰画紙の場合

写真 7

12. む す び

医学の進歩に非常に貢献した X 線フィルムによる診断方法につき、最近カラー撮影とか立体撮影の技術が盛んに導入されつつある。

筆者らも X 線フィルムの原板の濃度によって着色し、白黒テレビでは見分けがつきにくい腫瘍などの病変が、ずっとよく判別できるようにとの医師からの要求を満たすため、本スライス方式カラーディスプレイ装置を開発したものである。

しかし、当初簡単に考えていた事柄も案外に製品化してみるとむずかしい点もあり、特に光源むらによる誤差はむずかしい問題であったが、光源に 16 本の蛍光灯を使用したほか、オパールガラスで散光させ解決できた。本装置の特徴は、スライス方式により等輝度分布が色で

表示できる点にあり、今後この方面に大いに利用されるものと期待している。

(昭和 46 年 12 月 8 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 的崎, 降矢: テレビを応用した線量分布測定装置, テレビ全大予, 10-11 (1971)
- 2) 伊藤, 金子, 松井: フィルム濃度のカラーディスプレイ, 東芝レビュー, 26, 2 (1971) 183-186
- 3) 藤井, 高橋: 輝度分布撮像装置と輝度パターン, 東芝レビュー, 25, 10 (1965) 1237-1240
- 4) 藤井: 視野輝度分布撮像装置, 電波時報, 25, 3 (1970)
- 5) 細木, 奥村: 走査形電子顕微鏡像のカラーテレビ表示, テレビ学会産業応用研委 (第 20 回)
- 6) 樋渡: 画像工学, テレビ誌, 25, 9 (1971) 674-680
- 7) 三輪: ディスプレイデバイスの現状と将来, テレビ誌, 25, 9 (1971) 681-697
- 8) 竹佐, 石橋, 岡野: 色パターン発生器, 昭 44 年電気四学会連大予, 2248
- 9) 松村: X 線写真のカラー化, さくら X 線写真研究 No. 87, 22, 1 (1971)