

博士論文

単板カラーカメラの相関方向判別色分離方式に関する研究

村田 治彦

2001 年 2 月 5 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報処理学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学)授与の要件として提出した博士論文である。

村田 治彦

審査委員： 千原 國宏 教授
横矢 直和 教授
湊 小太郎 教授
眞鍋 佳嗣 助教授

単板カラーカメラの相関方向判別色分離方式に関する研究*

村田 治彦

内容梗概

民生用カラーカメラの中心である単板式撮像方式では、3原色情報を得るために CCD 画素上に色フィルタを配している。この色フィルタの配列は、モザイクフィルタ方式とストライプフィルタ方式の2つに大別される。前者は横 2×縦 2 の4種類のフィルタを組み合わせたもので、後者は横 3×縦 1 のフィルタを組み合わせたものである。現在では、縦横の解像度のバランスが良く、高解像度化に適した前者が主流となっている。このモザイクフィルタ方式における色信号処理方式は、CCD が発明されて以来、その色フィルタ構成と共に盛んに研究開発が行われてきた。近年、デジタルカメラが普及し、半導体の微細加工技術の進展に伴う高集積 ASIC の一般化により複雑な処理アルゴリズムの実装が容易となったため、モザイクフィルタ方式の CCD から得られる情報をできる限り有効に利用して画質向上を図る取り組みが本格化している。

本論文は、モザイクフィルタ方式の単板式カラーカメラの画質を改善するための相関方向判別色分離方式の提案と、その評価をまとめたものである。相関方向判別色分離方式は、ベイヤー配列(G市松RB線順次モザイク配列)の色フィルタを配した全画素独立読み出し CCD (PS-CCD:Progressive Scan CCD) 用の色分離方式であり、CCD から出力された撮像信号の局所領域における画像の相関性を利用して、(1)CCD 上の対象画素とその周辺の相関方向を検出し、(2)検出した相関方向に応じて適応的に処理方法を変更しながら、不足する色信号を内挿する手法である。本方式の研究により、従来の信号処理方式に対して、過渡特性の改善による解像度の向上と偽色信号の低減の両立を実現することができた。この優れた性能により、本方式はベイヤー配列色フ

* 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 博士論文，
NAIST-IS-DT9961026，2001 年 2 月 5 日。

フィルタの CCD の信号処理方式としてその地位を築きつつあり、引き続き今後のデジタルスチルカメラやビデオカメラの高画質化に寄与していくことが期待できる。

本論では、本研究の背景と目的について述べた後、従来の PS-CCD 用色分離方式として2つの色分離方式についてその手法を述べる。さらに、単板式カラーカメラの色分離の際に発生する課題のうち最も問題となる、①画像の鮮鋭感・解像度向上の基礎となる色分離信号の過渡特性、②偽色信号の発生、について考察する。次に、従来技術の課題を解決する2つのライン相関色分離方式を提案し、①過渡特性、②偽色信号、③対ノイズ特性、について考察する。さらにライン相関色分離方式の性能を引き出すための鍵となるアルゴリズムとして、CCD から出力された撮像信号において局所領域毎の画像の状態に応じてその場所の相関方向を検出する相関方向判別方式について提案する。この相関方向判別においては、被写体の色により発生する判別精度の低下を補償する手法として、彩度に応じて適応的に相関方向判別に用いる信号を変更する彩度適応相関方向判別の必要性を示す。そして、上述の色分離方式と相関方向判別を利用して、相関方向の判別結果に応じて適応的に色信号内挿方向を変更して色分離を行う相関方向判別色分離方式について提案する。

最後に、画像シミュレーション手法により従来の色分離方式と本方式を比較し、その評価結果を示すとともに、この評価から彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式が最も良好な結果を得ることを述べ、本論文の結論をまとめるとともに今後の展開について考察する。

キーワード

CCD, ビデオカメラ, 原色フィルタ, 補間, 相関, 偽色信号

A Study on Correlative Directional Interpolation for Single-CCD Color Video Camera *

Haruhiko Murata

Abstract

A single-CCD color video camera for consumer uses generally employs either of two types of color filter array on a CCD. One is stripe color filter array, and the other is mosaic color filter array. The former consists of three color filters vertically aligned by stripes. The latter consists of three or four color filters arranged two rows by two columns. Recently the latter has become a mainstream, because it realizes better balance between horizontal resolution and vertical resolution. Research and development of color signal processing method and color arrangement of mosaic filter array has been carried out after an invention of CCD. Furthermore, complicated processing algorithms using digital signal processing techniques have been actively researched to improve an image quality of a color video camera using single CCD with mosaic color filter array.

In this paper, a Correlative Directional Interpolation methodology that realizes improvements of luminance signal resolution and pseudo-color reduction is proposed for progressive scan CCD (PS-CCD) with Bayer color filter array, which consists of checkered G filters and line-alternated R and B filters. This methodology uses a correlation between a target pixel signal and its adjacent pixel signals. First, a correlative

*Doctor's Thesis, Department of Information Processing, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT9961026, Feb. 5, 2001.

direction on a target pixel is detected by calculating horizontal and vertical correlations between the target pixel and its adjacent pixels. Next, according to the correlative directions, two primary color signals that are not the target pixel's color signals are interpolated as follows. The one on the correlative directional line is interpolated using fact that a color-difference signal for the target pixel is almost the same as an averaged color-difference signal on the target line in the correlative direction. The other one not on the correlative directional line is interpolated using fact that the color-difference signal gradually changes toward any direction, even one with no correlation.

Performance of this methodology is verified by software simulation. Result of software simulation indicates that this method has better transient characteristics and less pseudo-color than conventional method. These superior efficiencies have been performing this methodology a mainstream of signal processing for color video camera with a Bayer-filtered PS-CCD.

Keywords:

CCD, Video camera, Primary color filter, Interpolation, Signal processing, Pseudo-color

目次

1	序論	1
1.1	ビデオカメラ創生期 ～ 撮像管の時代～	1
1.2	ビデオカメラ成長期 ～ 固体撮像素子の時代～	3
1.3	ビデオカメラ成熟期 ～ デジタル信号処理の適用～	6
1.4	ビデオカメラ新時代 ～ 静止画用途の拡大～	7
1.5	ビデオカメラの課題 ～ インターレースCCDによる限界～	8
1.6	提案の概要 ～ PS - CCDにおける相関方向判別色分離～	9
2	PS - CCDの色分離方式とその課題	11
2.1	はじめに	11
2.2	CCDと色フィルタ配列	12
2.2.1	IS - CCDによる単板カラー化方式	13
2.2.2	IS - CCDにおける課題	16
2.2.2.1	垂直解像度の劣化	16
2.2.2.2	水平解像度の劣化	17
2.2.3	単板カラー化方式における偽色信号の発生	18
2.2.4	PS - CCDの原理	19
2.2.5	ベイヤー配列色フィルタの特徴	20
2.3	近傍同色画素平均化色分離方式	22
2.3.1	本方式の原理	22
2.3.2	本方式における課題	24
2.3.2.1	本方式の過渡特性	24
2.3.2.2	本方式の偽色信号	25
2.4	エリア原色相関色分離方式	26
2.4.1	本方式の原理	26
2.4.2	本方式における課題	28
2.4.2.1	本方式の過渡特性	28
2.4.2.2	本方式の偽色信号	29
2.5	おわりに	30

3	彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式	31
3.1	はじめに	31
3.2	ライン相関色分離方式	33
3.2.1	ライン原色相関色分離方式	33
3.2.1.1	本方式の原理	33
3.2.1.2	本方式の過渡特性と偽色信号	37
3.2.1.3	本方式の対ノイズ特性	38
3.2.2	ライン色差相関色分離方式	39
3.2.2.1	本方式の原理	39
3.2.2.2	本方式の過渡特性と偽色信号	41
3.2.2.3	本方式の対ノイズ特性	42
3.2.3	ライン相関色分離方式における周波数特性	43
3.3	彩度適応相関方向判別	44
3.3.1	相関値演算と相関方向判別	44
3.3.2	彩度適応相関方向判別	46
3.3.3	相関方向判別色分離後の偽色信号	50
3.4	彩度適応相関方向判別・ライン色差相関色分離方式	51
3.4.1	実装方法	51
3.4.2	L S I 化	54
3.5	おわりに	56
4	評価実験	57
4.1	はじめに	57
4.2	本方式の利点	58
4.3	本方式の欠点	59
4.4	C Z P チャートによる評価	60
4.5	R E T M A チャートによる評価	61
4.6	肌色チャートによる評価	62
4.7	電子ズーム画像の評価	62
4.8	評価結果	67
4.9	おわりに	70

5 結論	71
謝辭	73
参考文献	75
研究業績	79

図目次

1	3板式撮像方式	2
2	単板式撮像方式	2
3	単板式撮像方式における色フィルタ配列	4
4	映像信号の走査方式	5
5	フィールド蓄積垂直画素混合読み出し法	14
6	フレーム蓄積全画素独立読み出し法	14
7	フィールド蓄積全画素独立読み出し法	14
8	色差線順次色フィルタ	15
9	単板カラーCCD信号のスペクトル概念図	17
10	単板式CCDカメラ光学系の構成	18
11	IS-CCD	19
12	PS-CCD	19
13	ベイヤー配列色フィルタ	22
14	近傍同色画素平均化色分離後の過渡特性と偽色信号	24
15	エリア原色相関色分離後の過渡特性と偽色信号	28
16	ライン相関色分離後の過渡特性と偽色信号	35
17	ライン原色相関色分離におけるノイズ強調	38
18	ライン色差相関色分離におけるノイズ低減	42
19	相関方向判別により再現できる空間周波数領域	43
20	相関方向判別の原理	45
21	空間周波数領域における相関方向判別結果	46
22	画像の有彩色 / 無彩色判別方法	48
23	有彩色時と無彩色時の再現空間周波数領域	49
24	斜め方向に相関が強い映像における偽色信号	50
25	垂直相関色分離ブロック図	52
26	水平相関色分離ブロック図	52
27	彩度適応相関値演算ブロック図	53
28	彩度適応相関方向判別色分離方式全体ブロック図	53
29	相関方向判別色分離LSI	54

3 0	L S I 評価基板	54
3 1	L S I 全体ブロック図	55
3 2	システムブロック図	55
3 3	E W S で生成した正弦波 C Z P チャートでの評価	63
3 4	フレーム蓄積白黒 C C D による R E T M A チャートでの評価 .	64
3 5	フレーム蓄積白黒 C C D による肌色チャートでの評価	65
3 6	I S - C C D と P S - C C D の電子ズーム画像の比較評価 . .	66

表目次

1	相関方向判別色分離 L S I の緒言	54
2	画像シミュレーション評価結果	69
3	各色分離方式の評価結果	69

第1章 序論

1.1 ビデオカメラ創生期 ～撮像管の時代～

遠く離れた場所の映像を見たいという要求は, Bell による電話の発明とその後の普及に伴って高まり, ついに1925年, 英国の J.L. Baird と米国の C.F. Jenkins によって世界で初めて行われた白黒テレビの公開実験で, 実現に向かって歩み出した[1]. 一方日本でも, これに遅れることなく実験が開始されていた. 昭和の初め, 浜松高等工業学校の高柳健次郎によってブラウン管に映し出された映像が「イ」の文字であったことはあまりにも有名な話である[2]. 残念ながらこの映像はビデオカメラで撮影されたものではなかった. 正確に言うと, まだビデオカメラもその心臓部の撮像デバイスすらもなかった. 1930年になると, 光電変換された電荷を蓄積して取り出すという蓄積原理の特許が高柳(日本), Zworykin(米国)らによってそれぞれ独立に出願された[3][4]. この原理を使った撮像管「アイコノスコープ (Iconoscope)」が1933年 RCA により開発され[5][6], これにより初めて屋外の風景の撮影が可能となり, 遠く離れた場所を居ながらにして見るための技術基盤が確立された. 1940年には米国 NTSC(National Television System Committee)が白黒テレビ方式標準化の活動を開始し, 翌年フレームあたり走査線数 525 本, フィールド周波数 60 Hz インターレース方式という原案を FCC(Federal Communications Commission)に提案するに至った[7]. それから僅か8年後の 1949 年には放送局数 107, 受像機台数 1050 万台に達し, 米国における白黒テレビ放送は急速に発展していった[1].

白黒放送時代のビデオカメラでは, アイコノスコープ, イメージオルシコン[8], ビジコン[9][10]などの撮像管と呼ばれる真空管が撮像デバイスとして使

われていた。その後、日本でカラー放送が開始された昭和 35 年においても、撮像デバイスは撮像管であった。撮像管は、入射してきた光を光電変換膜上で電子(もしくはホール)に変換し、電子ビームで読み出すデバイスである。そのカラー化は、レンズから入射した光を波長分離フィルタやダイクロイックプリズムにより赤・緑・青(以降 RGB と記載)の3原色に分解し、それぞれを3つの撮像管で信号化することで実現された[11]。今日でもレンズから入射した光を3原色に分解し、3つの撮像デバイスで信号化する3管式／3板式撮像方式(図 1)は、高画質な撮像を実現するための中心的手法である。しかし、光を3原色に分解するための波長分離素子と3つの撮像デバイスが必要といった制約があり、大型化とコストアップが避けられないため、放送用・業務用といったハイエンドを中心とした利用にとどまっている。3管式／3板式撮像方式における大型化とコストアップという制約を打破し、小型軽量化と低コスト化を実現するために、1つの撮像デバイスでカラー化を実現する単管式／単板式撮像方式(図 2)が検討された。米国でカラーテレビ放送が始まった1954年の翌年、撮像管の光電変換膜の前にRGBストライプフィルタを配した単管カラーカメラ用撮像管「3色ビジコン」が発表された[12]。また、1963年には複数の垂直ストライプフィルタを相互に少し傾けて配置することで色成分を変調信号として撮像信号より取り出す初の周波数分離方式単管カラーカメラ用撮像管が発表された[13]。しかし、当然のことながら単管式撮像方式では、解像度、色再現性、偽色信号(色モワレ)、感度といった大きさとコスト以外の画質面全てにおいて3管式撮像方式の方法よりも劣っていた。そのため単管式／単板式撮像方式は、低コストの要求が強い家庭用向けビデオカメラや小型形状への要求が強い監視用途に用いられるだけであった。

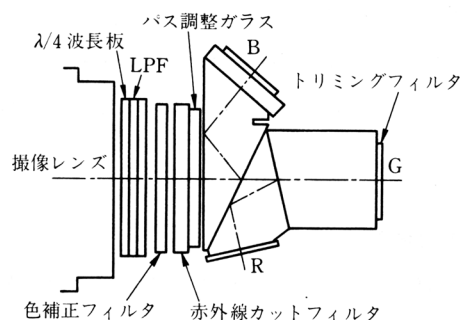


図1 3板式撮像方式[14]

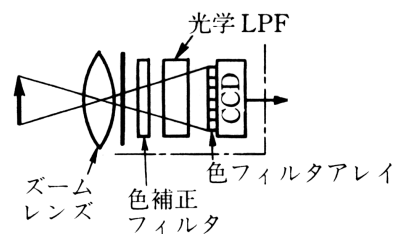


図2 単板式撮像方式[14]

1.2 ビデオカメラ成長期 ～固体撮像素子の時代～

1949 年の Shockley による接合型トランジスタの理論発表[15]から遅れること 18 年の 1967 年, 初代の固体撮像デバイスとして MOS 型イメージセンサの発表が行われた[16]. その3年後の 1970 年, ベル研の Boyle によって CCD (Charge Coupled Device)が発表された[17][18]. CCD は, 撮像管のように光電変換された電荷を電子ビームで走査して読み取る真空管ではなく, シリコンチップ上で光電変換された電荷を, 電極に印可された電圧により生成されたポテンシャル井戸の移動によって転送し, 出力段のフローティング・ディフュージョン・アンプで電流電圧変換し, 信号として読み出す固体撮像デバイスである. そのため, その発明当初から, 真空管がトランジスタに置き換えられたように将来撮像管も CCD に取って替わると大きく期待されていた. そして CCD は, 日本メーカーを中心に実用化が進められ, 期待通り, 今では完全に撮像管に取って替わったと言っても過言ではない.

CCD の単板カラー化方式は CCD の実用化とほぼ併行して研究が行われた. CCD のカラー化は撮像管のカラー化と大きく異なる. 撮像管では, 光電変換された電荷は, 高抵抗の光電変換膜上で横方向に拡散されずに保持(蓄積)され, 電子ビームによって混ざり合うことなく読み出される. したがって, 光電変換された電荷は, 光が当たった場所に対してポアソン分布状に保持され, ガウス分布状の広がりを持つ電子ビームにより読み出される[11]. 一方, 固体撮像素子ではイオン注入で形成された電荷障壁によって明確な画素が形成されている. そのため, カラー化のための色フィルタは, 撮像管で主に用いられる周波数変調のようにアナログ的に考えるのではなく, 各画素上に特定の色フィルタを配置するというように全くデジタル的に考えることができる[19]. この特徴を活かして, CCD の開発当初から解像度, 感度, 色再現性といったいろいろな要素を考慮した数々の色フィルタ配列が考案されていった[20]～[38] (図 3). しかし, CCD のカラー化が検討された70～80年代は, まだアナログ信号処理が主流であったため, CCD から出力される信号をアナログ信号処理で色分離しやすいような色フィルタ配列と信号処理方式が考案の中心であった. また, ビデオカメラの用途は NTSC / PAL(Phase Alternation Line)方式といった標準テレビ信号の映像信号取得しかなかった.

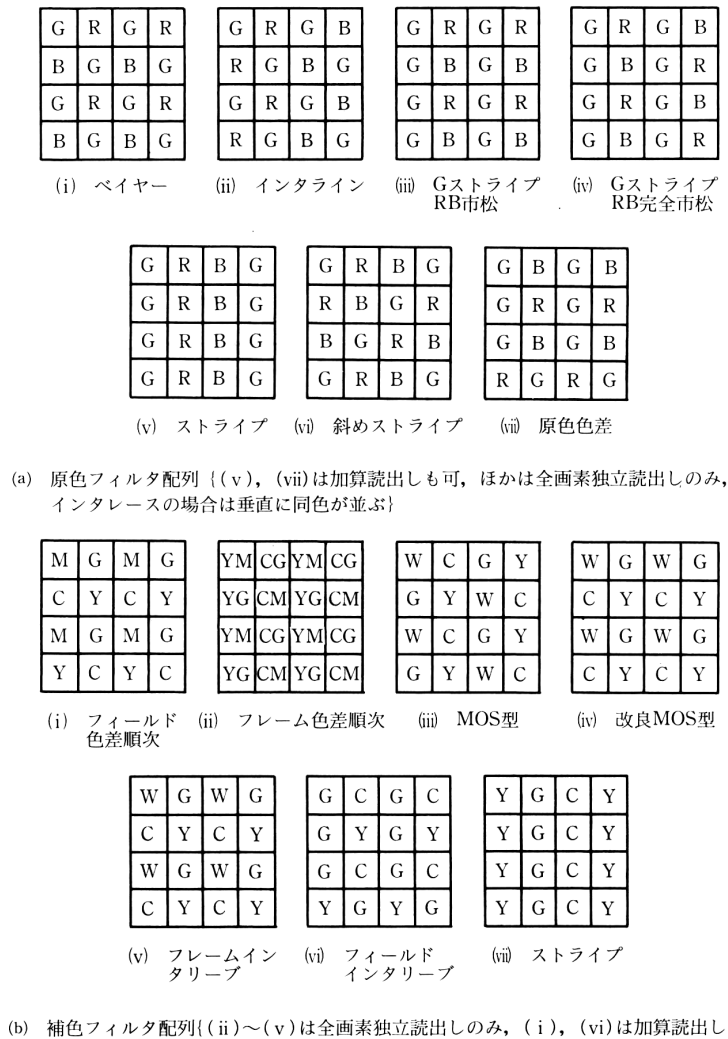


図3 単板式撮像方式における色フィルタ配列[14]

NTSC/PAL方式は、動画像を狭い信号帯域で伝送することを目的として開発されたインターレース走査(図4)を採用しており、色(色差)信号帯域も輝度信号の1/8~1/3とかなり狭い[39]. そのため、CCDの駆動方式と色分離方式はこのインターレース信号を供給し、狭い色信号帯域に適合することを前提に、解像度、感度、色再現性、偽色信号といった要素に対してその時々で優先順位をつけて開発が進められた.

そして、インターレース方式に適したCCDの駆動方式として開発されたのが、垂直画素混合読み出し方式である[14][40]. フィールド蓄積方式とも呼

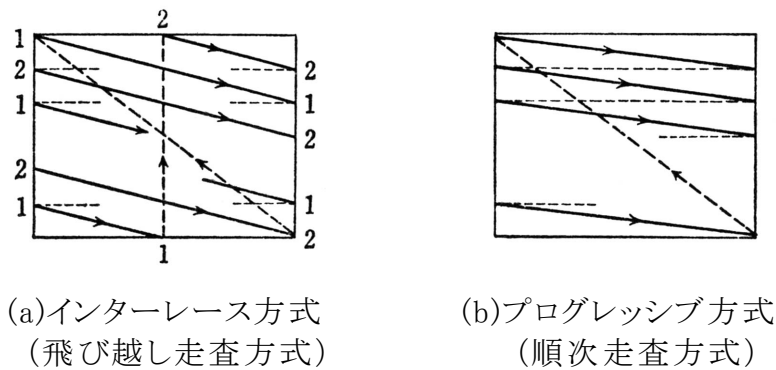


図4 映像信号の走査方式[42]

ばれるこの方式は、CCD から電荷を読み出す際に垂直方向に2画素の電荷信号を混合して読み出す方式である。そのため、感度面で非常に有利なもの、垂直方向の解像度が低くなるという欠点がある。しかし、この欠点は、混合する画素をインターレース走査に合わせてフィールド毎に垂直に1画素ずつ移動することで軽減された。その結果、フィールド画像としては垂直方向の解像度が低いものの、フレーム画像としては改善され、かつラインフリッカも軽減された。

一方、CCD カラーカメラの単板化に不可欠な色フィルタ配列は、8mm ビデオムービーによってビデオカメラの普及が本格的に始まった80年代後半には、黄色、緑、マゼンタ、シアンの4色の色フィルタ配列をモザイク状に配した色差線順次方式が全盛となった[31][32]。色差線順次色フィルタは、垂直画素混合読み出し CCD 駆動方式に適合した色フィルタで、補色系の色フィルタであるため感度が高く、かつ得られる色信号が色差信号であるため偽色信号が比較的少ないという特徴を持つ。そのため、これらを組み合わせて使う方法は、動解像度が良い、ラインフリッカが少ない、感度が高いという利点を持ち、インターレース映像のための CCD 駆動方式／色フィルタ方式として主流となり、現在でも広く利用されている。

この方法は、インターレース方式の信号生成には非常に良く適合するものの、フィールドあたりの垂直解像度が低い、色再現性が原色フィルタ方式に比べて悪い、という欠点もある。しかし、標準テレビの入力用途として利用するのであれば、フィールドあたりの垂直解像度が低いという欠点はさほど大きな問題ではなかった。また色再現性が悪いという問題も、どうしてもこれを改善したい用途では3板式撮像方式が用いられていた[42]。

1.3 ビデオカメラ成熟期 ～デジタル信号処理の適用～

一方、信号処理の世界では 1980 年代後半、半導体デバイスの微細加工技術の進歩と高集積化技術の進展により、これまで大学などの研究機関を中心に研究が進められていた画像処理技術が民生機器へ応用され始めた。この先駆けとなったものは、NHK の開発した MUSE(Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding)方式[43]のハイビジョンと、ビデオカメラであった。実用化時期はハイビジョンの方が先行したものの、一般家庭へのデジタル信号処理機器の普及といった面では、ビデオカメラの方が先行したと言える。撮像デバイスに CCD を使ったビデオカメラでは、CCD 駆動のためにデジタルパルス信号が必要であり、CCD から出力される信号も離散的なので、デジタル信号処理との親和性が高い。しかし、CCD が 8mm ビデオムービーに使われ出した当初はまだデジタル信号処理にかかるコストが高く、かつデジタル信号処理回路の小型・低消費電力化も難しかった。そのために、当初は CCD の駆動のみデジタルで行われ、信号処理はアナログで行われた。その後、1990 年になって初めて電子手ぶれ補正というデジタル信号処理を搭載したビデオカメラが登場した[44][45]。電子手ぶれ補正を実現するこのビデオカメラでは CCD から出力された信号の色分離処理もデジタルで行われていたが、その処理方法は従来からのアナログ信号処理の焼き直しであった[46][47]。筆者らもデジタル信号処理ならではの特長を生かし、一歩進んだ色分離処理を盛り込んだ同様の開発を行った[48]～[50]。その開発の中で実現した要素技術の 1 つ、電子ズーム技術の研究が本研究にきっかけの 1 つになった[50]。

1. 4 ビデオカメラ新時代 ～静止画用途の拡大～

NTSC/PAL 方式といった標準テレビ方式向けの動画用ビデオカメラの研究開発が進められていく一方、フィルムカメラの置き換えを狙った静止画記録専用ビデオカメラの研究開発も併行して行われていた。1981 年には2インチのフロッピディスクに静止画を記録する電子スチルカメラの試作品が発表され[51]、一躍話題になった。その後、国内外32社が電子スチルカメラ懇談会を発足し、1988 年には2インチのフロッピディスクに最大50枚の静止画を記録再生できる規格が制定され[40]、各社から電子スチルカメラが発表[52]、発売された。これらは、記録した映像をテレビ画面上で再生表示する NTSC/PAL 方式の規格であったために、画質面で動画用のビデオカメラと大差なく、また記録方式自体もアナログ記録のためか、ほとんど普及しなかった。

その後、1990 年代に入り、パソコンが一般家庭へ普及し始めた。パソコンの普及に合わせて登場したのが、半導体記録方式の電子スチルカメラ、いわゆるデジタルスチルカメラである。デジタルスチルカメラでは、静止画をフラッシュメモリなどの半導体にデジタル情報として記録する。1995 年春初めて民生用として商品化された製品では、画素数が水平 320 画素、垂直 240 画素の合計 8 万画素弱しかなかったが、記録したデジタル画像を手軽にパソコンに取り込むことができ、容易に加工、修正できることから、急速に普及し始めた。そして、遂に 2000 年末には銀塩写真のサービス版の印画画質相当と言われる 300 万画素を越える 400 万画素のデジタルスチルカメラが開発されるに至り、画素数の増加に比例するかのように普及が加速している。

これらのデジタルスチルカメラで得られる画像は、標準テレビ方式で採用されているインターレース方式ではなく、プログレッシブ(ノンインターレース)方式であり、パソコンとの親和性が高い。近年のパソコンはその処理能力の向上により、パソコン上でフルカラーの静止画や動画を手軽に視聴したり、編集したりできるようになってきた。そのため、ビデオカメラは映像を単に記録し、再生するという動画像のタイムシフトという目的から、パソコンを使った拡大・縮小・切り出しなどの加工や編集、銀塩フィルムカメラの代用としての静止画記録という新しい用途で使われ始めている。

1.5 ビデオカメラの課題 ～インターレース CCD による限界～

前述の通り、動画に適した方式として開発された色差線順次色フィルタと垂直画素混合読み出し方式を組み合わせる方法は、インターレース方式の信号生成には非常に良く適合するものの、垂直解像度が低い、色再現性が悪いといった欠点がある。静止画用途では、求められる信号がプログレッシブ方式であり、標準テレビ信号に比べて高い垂直解像度が要求される。しかし、インターレース映像に最適化された垂直画素混合読み出し方式では、高い垂直解像度を得ることができない。

40 万画素 CCD (水平 768 画素 × 垂直 480 画素) を使ったこの方式のビデオカメラの垂直解像度は 330TV 本、水平解像度は 480TV 本である[14]。電子的に映像を拡大する電子ズーム処理は、デジタル信号処理の普及により比較的容易に実現できるようになった。しかし、拡大のための元映像は当然のことながらインターレース信号であるため、フィールドあたり 240 画素しかない信号を元にして拡大処理を行うこととなる。その結果、十分な画質を確保することができない。その上、画面上の垂直走査線の位置が 1 フィールド (約 1/60 秒) 毎に上下に移動するため、垂直方向に周波数の高い部分では奇数フィールドと偶数フィールドの拡大映像がかなり異なるものとなり、かつ元映像に含まれていたラインフリッカも拡大され、見苦しい映像となってしまう。放送を行う際の伝送帯域の低減と、動解像度の改善には効果の高かったインターレース方式も、電子ズームを行う場合には非常に都合が悪く、拡大倍率と拡大後の垂直解像度の関係は全く比例関係にならない上に、拡大倍率が 1 倍を僅かでも超えると画質がかなり劣化するという課題を持つ。

一方、色フィルタなしの 40 万画素白黒 CCD で垂直画素混合読み出しを行わず全画素独立読み出しを行えば、垂直解像度は 480TV 本、水平解像度は 560TV 本の映像を得ることができる。ところが、色差線順次色フィルタを配した 40 万画素 CCD では、それらが元の約 70% と約 83% の 330TV 本と 480TV 本しか得ることができない。しかし、いくら色フィルタの妨害があるとはいえ、CCD としては本来これだけの能力があるのにその 70～80% しか利用できていないのはおかしいと考えた。

1.6 提案の概要 ～PS-CCD における相関方向判別色分離～

以上のきっかけや時代背景を受けて、本研究では、ベイヤー配列色フィルタを有する PS-CCD (Progressive Scan CCD: 全画素独立読み出し CCD) 信号の局所領域での相関方向を判定し、その方向に応じて最適な色分離処理を行う相関方向判別色分離方式を提案する[53]. PS-CCD は、ちょうど本研究の開始と前後して発表された CCD[54]で、1フィールド毎に全画素信号を独立で読み出せるため、本方式に使用する CCD として最適なものである。この時発表された CCD は白黒であったので、この相関方向判別色分離処理方式の性能を最大限に発揮する色フィルタ配列も併せて検討し、ベイヤー配列色フィルタ(G市松RB線順次モザイクフィルタ)を配した PS-CCD が最も適していることも提案する。

本論では、まず第2章で、PS-CCD とベイヤー配列色フィルタの特徴を述べた後に、一般的な PS-CCD 用色分離方式として近傍同色画素平均化色分離方式とエリア原色相関色分離方式について述べる。併せて、単板式カラーカメラの色分離の際に発生する課題のうち最も問題となる、(1)画像の鮮鋭感・解像度向上のための色分離信号の過渡特性、(2)偽色信号の発生、についてこれら2つの手法毎に考察する。

第3章では、上記の課題を解決するための2つのライン相関色分離方式を提案し、それらの方式における過渡特性、偽色信号の特性、対ノイズ特性について考察する。次に、これらの色分離方式の良好な特性を引き出すためのアルゴリズムとして、CCD から出力された撮像信号において局所領域毎の画像の状態に応じてその場所の相関方向を検出する相関方向判別方式を提案する[55]。そして、相関方向判別方式をベイヤー配列色フィルタ CCD に適応した場合に問題となる、被写体色により発生する判別精度の低下を補償する方式として、彩度に応じて方向判別に用いる信号を適応的に変更する彩度適応相関方向判別の必要性を示す。最後に、これらのライン色差相関色分離方式と彩度適応相関方向判別を利用し、相関方向の判別結果に応じて適応的に色信号内挿方向を変更して色分離を行う本方式を LSI 化するためのシステム構成を提案する。

第4章では、画像シミュレーション手法により、一般的な色分離方式と本方

式を比較した評価実験結果を示し、本方式が良好な結果を得ることを述べる。併せて、電子ズーム画質の比較評価結果も示す。

最後に、本論文の結論を述べ、今後の展開について考察する。

相関方向判別色分離方式は、画像信号が局所領域において強い相関性を持つという特徴[56]を利用しており、CCD の性能を最大限に発揮できる色分離処理として期待できる。本方式が実現できれば、単板カラーCCD 撮像方式の根本的な課題である偽色信号の発生、処理信号の鮮鋭感の欠如（垂直・水平両解像度が悪い）、等の課題解決を図ることが可能となる。さらに PS-CCD の採用とベイヤー配列色フィルタを用いたカラー化により、従来のインターレース対応 CCD の課題であった垂直解像度が低い、色再現性が悪いといった欠点の改善が可能となり、従来に比べて大幅な画質改善が期待できる。さらに、電子ズーム時の画質改善にも寄与できる。

なお、従来ビデオカメラにおける色分離とは、CCD 信号から輝度信号と色信号を分離、生成する処理を表したが、現在では CCD 信号から全画素位置の RGB 信号を生成する処理を表すようになり、補間、内挿といった言葉も多く使われるようになった。しかし、本論文では、従来通りこの処理を色分離と記述する。

第2章 PS-CCDの色分離方式とその課題

2.1 はじめに

本章では、本研究で取り扱う対象となる単板式カラービデオカメラ用 CCD の構造と色フィルタ配列、および一般的な PS-CCD 用色分離方式の考え方とその課題について述べる。

単板式カラービデオカメラでは、第1章で述べた通り、(1)画像の鮮鋭感・解像度向上の基礎となる色分離後の信号の過渡特性が良くない、(2)偽色信号が発生する[19][41]、という2つの大きな問題がある。これらを解決し、より一層の画質改善を図るためには、色フィルタによる輝度信号への妨害の低減、CCD の信号読み出し方式の変更、色分離方式の改善による偽色信号の低減、を同時に実現するシステム構成と信号処理アルゴリズムの研究開発が必要である。

本章ではまず、これらの課題の発生原因を明確化するために、CCD の動作モードと色フィルタ配列、そしてその組み合わせが引き起こす画質面での課題を考察し、その課題を改善できる可能性を持った PS-CCD とベイヤー配列色フィルタの構成について述べる。そして、ベイヤー配列色フィルタを有する PS-CCD の一般的な色分離方式として近傍同色画素平均化色分離方式[22]を示し、その課題を述べる。また、補色フィルタ用に考案された新輝度信号生成方式[57]をベイヤー配列色フィルタに適応したエリア原色相関色分離方式を示し、その課題について述べる。

2. 2 CCD と色フィルタ配列

第2.1節で述べた(1)の過渡特性が良くないという課題では、現在の標準テレビ方式である NTSC/PAL 方式で利用されているインターレース走査に起因する垂直解像度悪化と、CCD の色フィルタと色分離方式による水平解像度の制限、が主たる原因である。(2)の偽色信号発生という課題は、CCD にモザイク色フィルタを張り合わせることで発生する「CCD の画素間隔に近い無彩色の明暗の変化と、有彩色を撮影した時に CCD から出力される変調信号が区別できない」という原理的なものと、CCD の色フィルタ配列と色分離方式に起因するものの2つに大別できる。

これらの課題を解決し、画質改善を図るためには、

- ①CCD の電荷信号読み出し方式の変更による垂直解像度の向上
 - ②色フィルタの輝度信号への妨害の低減による水平解像度の改善
 - ③色分離に伴い発生する偽色信号の低減、
- の3点を同時に実現するシステム構成と信号処理アルゴリズムの研究開発が必要である。

本節では、インターレース信号を出力する IS-CCD (Interlace Scan CCD) の原理と垂直・水平解像度劣化の要因、CCD における偽色信号の発生原理、PS-CCD の原理、ベイヤー配列色フィルタ(G市松RB線順次モザイクフィルタ)の特徴について述べるとともに、ベイヤー配列色フィルタを配した PS-CCD が高画質化に最も適していることを提案する。

2. 2. 1 IS-CCD による単板カラー化方式

IS-CCD は光電変換を行うフォトダイオードの垂直画素数の半分の画素信号を一度に出力できる CCD で、動画用途では垂直2画素のフォトダイオードの信号を混合して読み出す。NTSC 用の IS-CCD は垂直方向に 480 画素のフォトダイオードと 240 画素×4 相分の垂直転送 CCD を有しており、フィールド蓄積垂直画素混合読み出し法(フィールド蓄積フィールド順次読み出し法とも呼ばれる)[14]と呼ばれる方法でインターレース駆動される。この駆動方法では、図 5 のように信号を混合する画素ペアを垂直方向に1フィールド毎に1画素移動する。この動作により、CCD から奇数フィールド、偶数フィールドとも全垂直画素の 1/2 にあたる 240 ライン分の信号がインターレース信号として出力される。

CCD にインターレース信号を出力させる方法としては、このフィールド蓄積垂直画素混合読み出し法以外にも、図6のフレーム蓄積全画素独立読み出し法や図 7 のフィールド蓄積全画素独立読み出し法がある[19]。しかし、動解像度が良い、感度が高い、ラインフリッカが少ないといった点でフィールド蓄積垂直画素混合読み出し方式が他よりも勝るために、'90 年代前半にはほぼ全ての単板式カラービデオカメラがこの駆動方式を採用し、現在でも多くのビデオカメラが利用している。

フィールド蓄積垂直画素混合読み出し法で駆動される CCD のカラー化方式は各方面で研究が為されていた[19]が、感度、解像度、偽色信号などの点で優れた色差線順次方式[31]と呼ばれる色フィルタ配列が主流となった。色差線順次色フィルタは、マゼンタ(M)、緑(G)、シアン(C)、黄色(Y)の4色の色フィルタをモザイク状に配置し、MとGのフィルタの位置が垂直2ライン毎に入れ換わった図 8 のような配列である(CとYが入れ換わった配列もある)。このフィルタ配列の CCD がフィールド蓄積垂直画素混合読み出し法で駆動されると、CCD からは1ライン毎にM+CとG+Y、もしくはG+CとM+Yが点順次で出力される。これらの点順次信号は、加算することによりM+C+G+Y、もしくはG+C+M+Yとなり、減算することによりM+C-G-Y、もしくはG+C-M-Yとなる。Y、M、Cは各々R+G、R+B、G+Bと等価であると考えられるので、上記加算結果は2R+3G+2B、もしくは2R+3G+

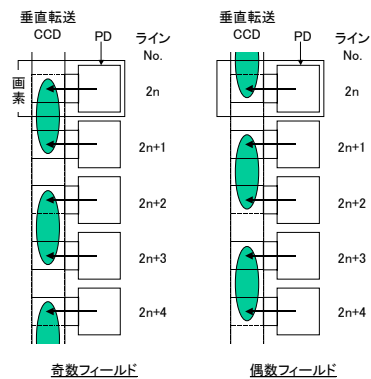


図5 フィールド蓄積垂直画素混合読み出し法

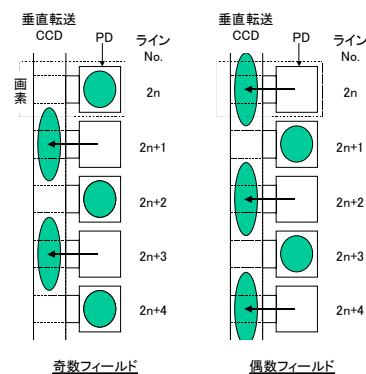


図6 フレーム蓄積全画素独立読み出し法

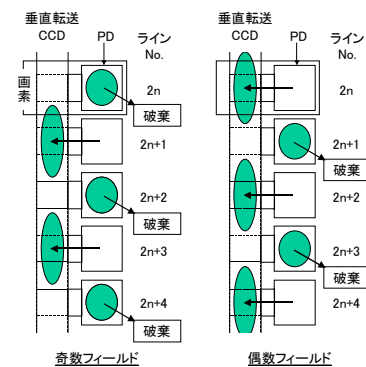


図7 フィールド蓄積全画素独立読み出し法

2B, 減算結果は $2B - G$, もしくは $G - 2R$ となる. ここで $2R + 3G + 2B$ を輝度信号と考えると, 全ライン信号から輝度信号が得られ, 1ライン毎に $2B - G$, もしくは $G - 2R$ という色差信号が得られることとなる. これがこのフィルタ配列を色差線順次方式と呼ぶ所以である.

このフィルタ配列では、線順次信号として得られる2種類の色差信号をラインメモリ等によって同時化することで RGB 全ての信号を算出することができ、輝度信号も CCD 出力信号を水平方向に平均化するだけで生成できる。加えて、解像度・感度に影響の大きいG成分の光を多く取り込む色フィルタ構成であることから、解像度・感度が高い。さらに、色信号成分を色差信号という形で得ることができるので、偽色信号の発生が最も目立つ無彩色画像において偽色信号が発生しにくいという特徴を有している。そのため、比較的偽色信号の発生が少ない色フィルタ配列としてその地位を確立しており、これが現在でも本方式が数多く利用されている理由である。

M	G	M	G	M
C	Y	C	Y	C
G	M	G	M	G
C	Y	C	Y	C
M	G	M	G	M

M: マゼンタ
G: 緑
C: シアン
Y: 黄

図8 色差線順次色フィルタ

2. 2. 2 IS-CCD における課題

2. 2. 2. 1 垂直解像度の劣化

IS-CCD では、前述の通り CCD からは1フィールドあたり、240 ラインの信号しか出力されない。また、その信号は垂直方向に混合（加算）処理されている。これは、インターレース方式で信号を扱う限り適度な垂直解像度の低下によるラインフリッカの低減という効果をもたらす。そして、フィールド毎に混合する画素を垂直に移動することで、出力信号の空間的な垂直位置を1画素分移動させ、その結果フレーム画像として垂直解像度 330TV 本を得ることができるようにしている。これを動画像として利用する場合には大きな問題はなく、インターレース走査により伝送信号帯域を削減できるといった利点の方が大きかった。しかし、ビデオカメラの高機能化に伴って利用されるようになった電子ズーム機能において、弊害が現れた。電子ズーム動作では、電子的に画像を拡大するために、特定のフィールド画像を所定の倍率まで拡大し、その次のフィールドにおいても同様の走査を繰り返す必要がある。そのため、拡大に使用する信号はフィールド信号となり、垂直方向の限界解像度は 240TV 本しかない。その上、信号は垂直方向に画素混合されているため、垂直方向の限界解像度近くの MTF(Modulation Transfer Function)が低下している。さらに、インターレース動作によって信号の空間的な垂直位置がフィールド毎に1画素分、すなわち相対的に 180° 位相がずれている。これらの要因により、本来1倍ズームすなわちズームなしの時の垂直解像度は 330TV 本あったものが、1倍強のズーム倍率の時には垂直位置によって一気に 240TV 本以下まで低下し、画質劣化の大きな要因となっていた。

また、近年普及が加速しているデジタルスチルカメラでは、高画質な静止画像の記録が求められる。ところが、フィールド蓄積垂直画素混合読み出し法を用いた IS-CCD では垂直方向に画素信号を混合しているため、静止画像として見た場合、垂直解像度は CCD 上の画素数の $1/2$ しか得ることができない。

したがって、ビデオカメラの垂直解像度面での画質改善においては、CCD の動作モードの見直しが不可欠である。

2. 2. 2. 2 水平解像度の劣化

IS-CCD で単板カラー化を実現する色差線順次色フィルタ方式 CCD では, CCD 信号を水平方向に平均化することで, 全てのラインで輝度信号が得られることを第 2. 2. 1 項にて述べた. しかし, 実際にはできるだけ高い限界水平解像度を確保したいために, 水平方向に画素単位で平均化処理したり, 奇数画素と偶数画素の信号を単純加算したりすることは行わずに, CCD 出力信号に対して若干の帯域制限を行うだけで対応している. また, 次項で説明する光学的な偽色信号(色モワレ)を低減させるために, 水晶の複屈折効果を利用した光学的な空間 LPF(光学 LPF)[58][59]を CCD とレンズの間に配置しており[14], この光学 LPF によっても帯域制限が施されている.

実際には, 色差線順次方式単板カラー CCD 信号は図 9 のような信号スペクトルを有している. 色差信号は, CCD の水平画素数によって決まる搬送周波数(f_s)を中心とした変調信号として得ることができる. 輝度信号は, 色差信号の搬送周波数を遮断する電氣的フィルタによって帯域制限されるが, 実際には図 9 のカットオフ周波数より少し高めにすることで, 変調色差信号による多少の折り返し成分の混入を許している. これによって, できる限り高い限界解像度を得ている. 40 万画素の色差線順次方式単板カラー CCD(水平 768 画素×垂直 480 画素)では, 同じ画素数の白黒 CCD で得られる 560TV 本(限界周波数約 7MHz)の限界水平解像度に対して, 光学 LPF と電氣的 LPF によって約 83%の 480TV 本(限界周波数約 6MHz)程度の水平解像度を得られている[14].

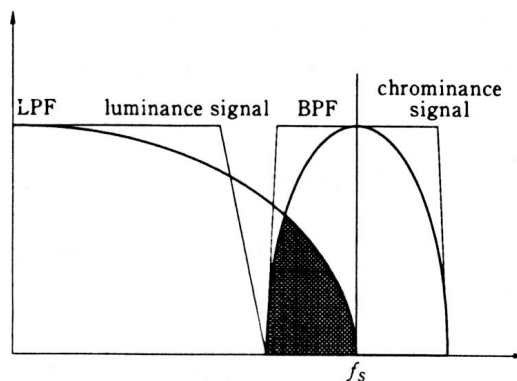


図9 単板カラー CCD 信号のスペクトル概念図[40]

2. 2. 3 単板カラー化方式における偽色信号の発生

CCD は撮像レンズで結像した被写体の光学像を CCD の画素によってサンプリングするデバイスである. 色差線順次色フィルタのようなモザイクカラーフィルタを用いた単板カラー CCD では, CCD に入射する光学像が持つ繰り返し周期と色フィルタの繰り返し周期の $1/2$ が一致した場合, CCD 出力信号が輝度の明暗の縞によるものか, 色成分によるものかを判断できず, 正確に輝度信号成分と色信号成分を分離できない. そのために, ナイキスト周波数 (サンプリング周波数の $1/2$) 付近では, 輝度信号に対する色の妨害と色信号に対する輝度信号の妨害が発生する. これらの妨害のうち後者により発生する妨害が偽色信号と呼ばれ, 発生すると著しく画質を損ねることになる. 特に無彩色画像 (白黒画) を撮影した際の細かい模様の部分や輪郭部分で偽色信号が発生し, 本来色がないものに色が付くため非常に見苦しくなる.

偽色信号を軽減させるために, 光学像の画素周期成分を遮断する光学 LPF が図 10 のように CCD と撮像レンズの間に配置される. しかし, 偽色信号の発生を光学 LPF のみで抑えようとする, CCD から出力される輝度信号の帯域も光学的に大幅に制限することとなり, 限界解像度が大幅に低下してしまう. すなわち, 光学 LPF は色偽信号低減と輝度信号帯域確保のトレードオフを決定するものだといえる. 実際の色差線順次方式単板カラー CCD を用いたビデオカメラでは, やや解像度を優先する光学 LPF が用いられている. そのため偽色信号が発生するが, これは電氣的な抑圧処理を施すことで対応している. この処理は, 輝度信号の垂直と水平の輪郭信号を用いて偽色信号が発生しそうな部分を検出して, この部分の色信号利得を下げることで実現されている[14]. しかし, 強く抑圧しすぎると色の輪郭部分でも色が完全になくなり, 逆に抑圧を弱くすると無彩色の輪郭部分に偽の色が残るという不十分なものであった.

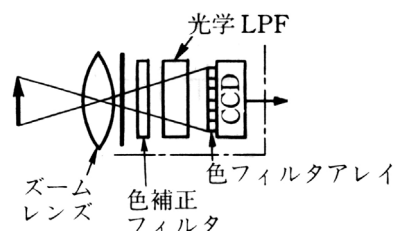


図10 単板式 CCD カメラ光学系の構成[14]

2. 2. 4 PS-CCD の原理

IS-CCD における画素混合に起因した垂直解像度劣化を解決し、垂直解像度を改善するためには、NTSC/PAL 方式に最適化されてきたフィールド蓄積垂直画素混合読み出し法という CCD の信号読み出し方式自体を見直す必要がある。

ちょうど本研究を開始したのと同時期の 1993 年に白黒 PS-CCD (Progressive Scan CCD) の試作発表が行われた[54]. この PS-CCD では、図 11 の IS-CCD のように CCD デバイス上で垂直 2 画素の信号を混合せずに、図 12 のように 1 フィールド毎に全ての画素信号を独立に CCD から読み出すことができる. そのため、毎フィールド 480 ライン分の信号を出力することが可能になり、信号処理手法次第で垂直解像度向上できる可能性がある. また、各色信号を完全に独立して取り出すことができるために、信号処理手法次第で偽色信号も大幅に軽減できる可能性がある. 一方、PS-CCD は同時に垂直方向に転送するための垂直転送 CCD の画素数が IS-CCD の 2 倍必要となる(480 画素×4 相 or 3 相). そのために垂直転送 CCD の占める面積が大きくなり、その結果光電変換が行われるフォトダイオードの面積が低下し、感度が落ちるという弊害がある. しかし、この問題は CCD のフォトダイオードひとつひとつの上にオンチップレンズ[40]と呼ばれるマイクロレンズを配することで解決されつつある.

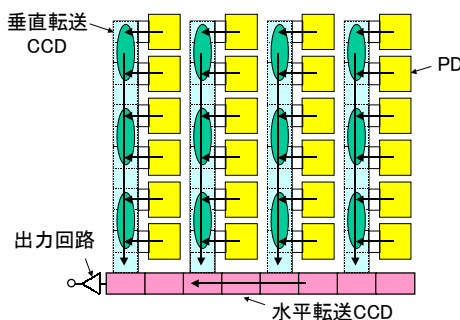


図 11 IS-CCD

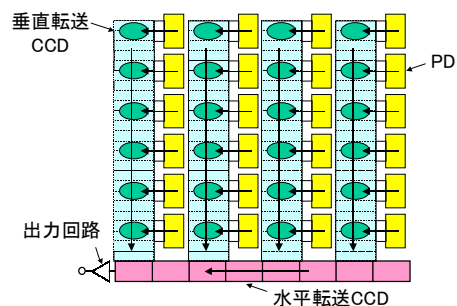


図 12 PS-CCD

2. 2. 5 バイヤー配列色フィルタの特徴

単板式カラーカメラを実現するための色フィルタ配列としては4頁の図3のようにいろいろ構成のものが考案されている。感度，解像度，色再現，偽色信号などのカメラ性能は色フィルタ配列の種類毎に異なるが，一般的には補色色フィルタを使った配列は感度，解像度が良いが，色再現性が良くなく，原色フィルタを使った配列はその逆である。その中でも図3(b)(i)の色差線順次方式の色フィルタ配列は，白黒画像撮像時において偽色信号が少ないため，前述の通り，主流となっている。しかし，色差線順次色フィルタ配列は，色再現性が良くないという補色フィルタ特有の課題を有している。

PS-CCDで単板式カラーカメラを実現するための色フィルタ配列を決定するにあたっては，従来の単板式カラーカメラにおける

- ①垂直解像度，水平解像度が良くない，
- ②偽色信号が発生する，

という課題を解決することが最も重要である。

そこで，第3章で提案する相関方向判別色分離方式の性能を最大限に発揮する色フィルタ配列に不可欠な以下の3項目を色フィルタ配列決定の要件とすることとした。

- (1) バランスの良い垂直・水平解像度が得られ易いモザイク色フィルタ配列であること
- (2) 感度・解像度を向上させるために，できる限りG成分を多く含むこと
- (3) 相関方向の判別が行いやすいこと

これらの要件を検討し，図3(a)(i)のバイヤー配列色フィルタ(G市松RB線順次モザイク色フィルタ)を採用することとした。バイヤー配列は原色色フィルタであるため，感度面で補色フィルタに劣る。しかし，オンチップレンズなどのデバイス面の改良によりCCDデバイス自体の感度アップも見込まれることから，高画質化を目指し，フィルムカメラ並の色再現性を実現できる本フィルタ配列を採用することに決定した。

バイヤー配列は，Gフィルタを市松状に配し，RフィルタとBフィルタを1ライン毎に線順次に配したモザイク配列の色フィルタである[20]。Gフィルタが，RフィルタやBフィルタの2倍の密度で，かつ均一・対称に配されているのが特

徴である．そのため，G信号のみを用いて画像の相関方向を検出する際にも都合が良く，R・Bの配置も均一かつ対称であるため，検出した相関方向を用いて処理を施しやすい．

本論文では，以上のような特徴を持つベイヤー配列色フィルタを配したPS-CCDを利用して，従来の単板式カラーカメラの各種課題を解決する相関方向判別色分離方式を提案する．

2.3 近傍同色画素平均化色分離方式

本節では、ベイヤー配列色フィルタを用いた CCD における一般的な色分離方式として、対象画素近傍の画素信号を用いて、必要な色成分をもつ画素信号を加算・平均化することで対象画素の色信号を生成する近傍同色画素平均化色分離方式について述べる。

2.3.1 本方式の原理

近傍同色画素平均化色分離方式では、対象画素の周囲に存在する同色の画素信号の平均値を用いて対象画素の色信号を求める。例えば、図 13 において対象画素の色フィルタが G である G_{33} の位置では、R 信号と B 信号を生成する必要がある。この R、B 信号 (r_{33} , b_{33}) はともに式(1)(2)の通り、周囲の同色画素のフィルタリングによる平均値で内挿する。輪郭部での偽色信号の発生を少しでも低減することができるように、色分離後の G 信号 (g_{33}) についても r_{33} および b_{33} と周波数特性を近づける。すなわち、G 信号 (g_{33}) も式(3)の通り周囲の G 信号も使ったフィルタリングによる平均値で内挿する。

G 11	R 12	G 13	R 14	G 15
B 21	G 22	B 23	G 24	B 25
G 31	R 32	G 33	R 34	G 35
B 41	G 42	B 43	G 44	B 45
G 51	R 52	G 53	R 54	G 55

図 13 ベイヤー配列色フィルタ

$$r_{33} = \frac{(R_{12} + R_{14}) + 2 \times (R_{32} + R_{34}) + (R_{52} + R_{54})}{8} \quad \dots(1)$$

$$b_{33} = \frac{(B_{21} + 2 \times B_{23} + B_{25}) + (B_{41} + 2 \times B_{43} + B_{45})}{8} \quad \dots(2)$$

$$g_{33} = \frac{(G_{22} + G_{24}) + 4 \times G_{33} + (G_{42} + G_{44})}{8} \quad \dots(3)$$

対象画素 G_{33} の位置の色フィルタがRかBの場合には、対象画素の色をP, 対象画素以外の色をGとQとすると、対象画素の信号は式(4)～(6)のように内挿される.

$$p_{33} = \frac{P_{13} + (P_{31} + 4 \times P_{33} + P_{35}) + P_{53}}{8} \quad \dots(4)$$

$$q_{33} = \frac{(Q_{22} + Q_{24}) + (Q_{42} + Q_{44})}{4} \quad \dots(5)$$

$$g_{33} = \frac{G_{23} + (G_{32} + G_{34}) + G_{43}}{4} \quad \dots(6)$$

$$\therefore \begin{cases} p_{ij} = r_{ij}, q_{ij} = b_{ij} \text{ の時, } P_{ij} = R_{ij}, Q_{ij} = B_{ij} \\ p_{ij} = b_{ij}, q_{ij} = r_{ij} \text{ の時, } P_{ij} = B_{ij}, Q_{ij} = R_{ij} \end{cases}$$

2. 3. 2 本方式における課題

2. 3. 2. 1 本方式の過渡特性

近傍同色画素平均化色分離方式は構成が単純なため、回路規模は小さいが、水平方向や垂直方向に明暗が急峻に変化し CCD 出力信号が急激に変化する部分で、輝度信号の過渡特性が悪くなるという課題がある。CCD 出力信号が図 14-A のような場合、本方式での色分離後の rgb 信号はそれぞれ図 14-B~D のようになる。その結果、色分離後の輝度信号は図 14-E, F のように入力信号と比べて過渡特性が悪化し、限界解像度近くの MTF が低下する。これは、色信号を式(1)~(6)に示した単純な空間 LPF で内挿するため発生する。

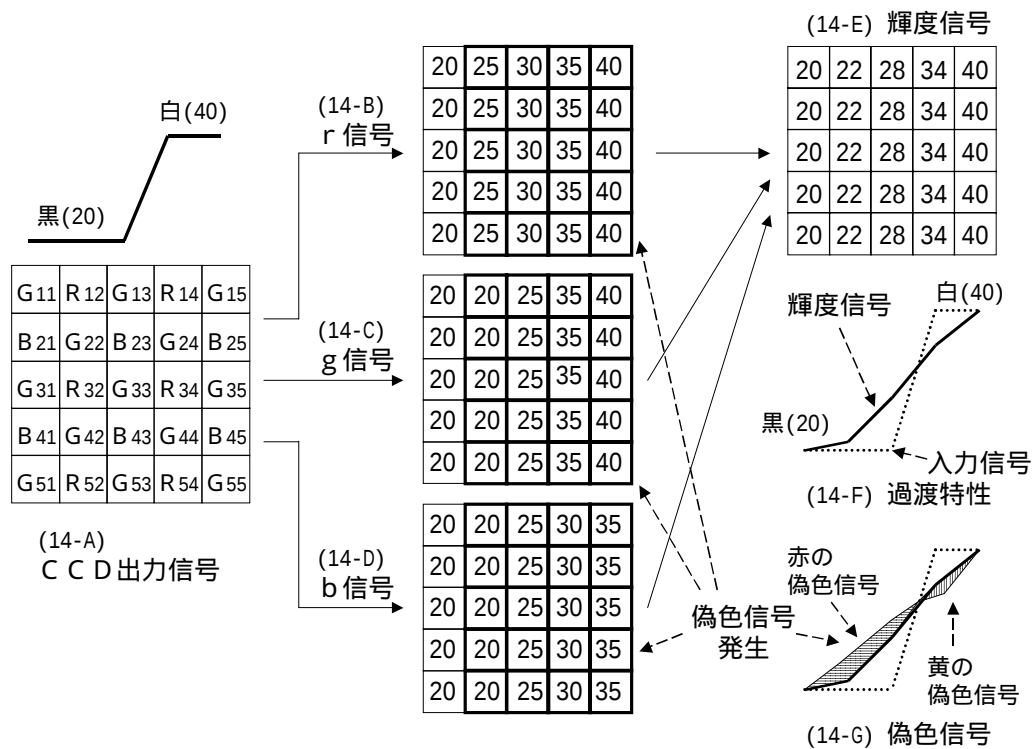


図14 近傍同色画素平均化色分離後の過渡特性と偽色信号

2. 3. 2. 2 本方式の偽色信号

水平方向や垂直方向に明暗が急峻に変化し CCD 出力信号が急激に変化する部分におけるもう1つの課題として、偽色信号が発生するという問題がある。CCD 出力信号が図 14-A のような場合、本方式の色分離後の rgb 信号はそれぞれ図 14-B～D のようになるため、図 14-G のように入力画像が無彩色画像にもかかわらず、明暗が水平方向に急峻に変化する前後2画素の間で rgb 信号各々の値が一致しない部分が発生する。これが偽色信号で、本来色がない無彩色部分に色が付くことになり、大きな画質劣化を引き起こす。偽色信号の発生は、画素上にない色信号を内挿する式(1)～(6)に示した空間 LPF の特性が一致していないことと、各色信号のサンプリング位相、すなわち空間的な位置が異なることに起因している。

2. 4 エリア原色相関色分離方式

本節では，一般的な画像においては「局所領域（エリア）内では色の相関が強い」という特徴がある[56]ことを利用して，対象画素の持つ色信号以外の2つの色信号を生成するエリア原色相関色分離方式について述べる．この方式は，補色フィルタ用に考案された新輝度信号生成方式[55]をベイヤー配列色フィルタに適応したものである．

2. 4. 1 本方式の原理

本方式では，対象画素の周辺領域における3つの原色信号の低域成分と対象画素の原色信号の比がほぼ等しいという画像の相関性を利用して，対象画素の持つ色信号以外の2つの色信号を生成する．

対象画素の色フィルタがGである画素 G_{33} の位置におけるR，B信号(r_{33} ， b_{33})は式(10)'，(11)'のように内挿する．

$$R_{LPF} = \frac{(R_{12} + R_{14}) + 2 \times (R_{32} + R_{34}) + (R_{52} + R_{54})}{8} \quad \dots(7)$$

$$B_{LPF} = \frac{(B_{21} + 2 \times B_{23} + B_{25}) + (B_{41} + 2 \times B_{43} + B_{45})}{8} \quad \dots(8)$$

$$G_{LPF} = \frac{(G_{22} + G_{24}) + 4 \times G_{33} + (G_{42} + G_{44})}{8} \quad \dots(9)$$

$$\frac{r_{33}}{G_{33}} = \frac{R_{LPF}}{G_{LPF}} \quad \dots(10) \quad \rightarrow \quad r_{33} = \frac{R_{LPF}}{G_{LPF}} \times G_{33} \quad \dots(10)'$$

$$\frac{b_{33}}{G_{33}} = \frac{B_{LPF}}{G_{LPF}} \quad \dots(11) \quad \rightarrow \quad b_{33} = \frac{B_{LPF}}{G_{LPF}} \times G_{33} \quad \dots(11)'$$

$$g_{33} = G_{33} \quad \dots(12)$$

ここで R_{LPF} , G_{LPF} , B_{LPF} は局所領域内の RGB 信号の低域成分を表す.

本方式では局所領域内での色の相関性に基づいて, 「ある領域内では色の変化が少ない」と仮定している. この場合, 対象画素の色信号の比 (R_{33}/G_{33}) とそれらの信号における低域成分の比 (R_{LPF}/G_{LPF}) を等しいと考えることができるので, 式(10)が成り立つ. 同様に式(11)も成り立つ.

対象画素 G_{33} の位置の色フィルタがRかBの場合には, 対象画素の色をP, 対象画素以外の色をGとQとすると, 対象画素信号の低域成分は式(13)～(15)のようになる. 式(10)～(11)’において, 式(7)～(9)の代わりに式(13)～(15)を使用することでR, B信号 (r_{33} , b_{33}) を内挿できる.

$$P_{LPF} = \frac{P_{13} + (P_{31} + 4 \times P_{33} + P_{35}) + P_{53}}{8} \quad \dots(13)$$

$$Q_{LPF} = \frac{(Q_{22} + Q_{24}) + (Q_{42} + Q_{44})}{4} \quad \dots(14)$$

$$G_{LPF} = \frac{G_{23} + (G_{32} + G_{34}) + G_{43}}{4} \quad \dots(15)$$

$$\therefore \begin{cases} p_{ij} = r_{ij}, q_{ij} = b_{ij} \text{ の時, } P_{LPF} = R_{LPF}, Q_{LPF} = B_{LPF}, P_{ij} = R_{ij}, Q_{ij} = B_{ij} \\ p_{ij} = b_{ij}, q_{ij} = r_{ij} \text{ の時, } P_{LPF} = B_{LPF}, Q_{LPF} = R_{LPF}, P_{ij} = B_{ij}, Q_{ij} = R_{ij} \end{cases}$$

2. 4. 2 本方式における課題

2. 4. 2. 1 本方式の過渡特性

本方式を用いて、明暗が水平方向に急峻に変化する無彩色画像を色分離した結果を図 15 に示す．図 15-E, F のように図 14 に比べて輝度信号の過渡特性が改善されている．一方，図 15-B～E のように水平方向の輝度変化部分において、信号の変化する位相がライン毎に左右に移動するという問題が発生する．この原因は、式(7)～(9)、式(13)～(15)で実現される各色の空間周波数特性が一定でないことと、各色フィルタが1画素毎にあり、それらの位相が相互に1画素分移動していることにある．これは色信号の低域成分を抽出する LPF の周波数特性を近づければ低減できる．しかし、画素密度が異なるGとR、Bにおいてこれらのフィルタ特性を合わせるためには、フィルタのタップ長を空間的にかなり広げる必要があり[57]、回路規模の大幅な増加を伴うため、実用的とはいえない．

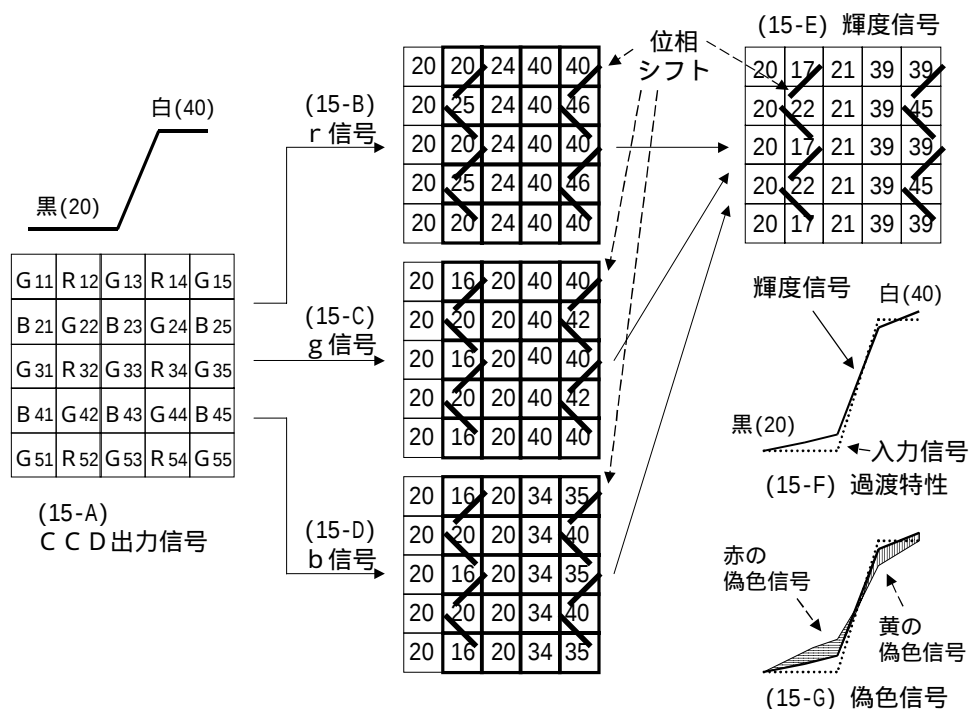


図15 エリア原色相関色分離後の過渡特性と偽色信号

2. 4. 2. 2 本方式の偽色信号

本方式を用いて明暗が水平方向に急峻に変化する無彩色画像を色分離する際に発生する偽色信号は、図 15-G のように図 14-G に比べて若干改善される。しかし、その改善は充分ではない。さらに、本方式をハードウェア化するには、色信号の比を求めるための除算回路が多数必要となる。多数の除算回路の使用は回路規模の増大をもたらすため、実用的とは言えない。

2.5 おわりに

本章では、本研究で取り扱う対象の単板式カラービデオカメラに必要な CCD の構造と色フィルタ配列、および PS-CCD の色分離方式の考え方とそれらの課題について述べた。

単板式カラービデオカメラ用の CCD の構造や色フィルタ配列は CCD が発明された直後から多くの方式が研究されてきたが、今では IS-CCD と色差線順次方式の色フィルタの組み合わせと、PS-CCD とベイヤー配列色フィルタの組み合わせが主流となっている。撮影画質の高精細化・高画質化に対する要望が高まりつつある現在、PS-CCD とベイヤー配列色フィルタの組み合わせが IS-CCD と色差線順次方式の色フィルタの組み合わせを凌駕しつつあり、一層の高画質化への期待も大きい。特に静止画用途においては、撮影画像のパソコン上での加工・編集が広く行われるようになり、画像の拡大や切り出しが頻繁に行われるようになった。このような状況においては、画像の微細な部分の不具合も目立つようになるため、偽色信号の低減は重要な課題である。

ベイヤー配列色フィルタの歴史は古いものの、PS-CCD と組み合わせで画像処理により画質改善を図る研究は、まだ歴史が浅い。しかし、ここ数年非常に活発化している。

本研究は、PS-CCD とベイヤー配列色フィルタの組み合わせたビデオカメラの画質の改善を目指したものである。この目的のために、本章では (1)色分離後の信号の過渡特性が良くない、(2)偽色信号が発生する、という課題の発生過程を、近傍同色画素平均化色分離方式とエリア原色相関色分離方式を用いて分析し、明確化した。

第3章 彩度適応相関方向判別を利用した

ライン色差相関色分離方式

3.1 はじめに

本章では，単板式カラービデオカメラの課題である色分離信号の過渡特性の改善と偽色信号の低減を実現するため，彩度適応相関方向判別を利用したライン相関色分離方式を提案する．

本色分離方式は，画像各部の相関方向を判別することを前提として色分離後の信号の過渡特性改善と偽色信号の低減を実現するライン相関色分離方式と，ベイヤー配列色フィルタの CCD で相関方向判別を実現する彩度適応相関方向判別からなる．

ライン相関色分離方式では，まずベイヤー配列色フィルタの CCD から出力された信号を垂直方向のみ，もしくは水平方向のみにフィルタリングすることによって，同一ライン上の2つの低域色信号を算出する．画像の局所領域における色（色差）の相関性に基づいて，2つの低域色信号から対象画素のライン上に存在するもう1つの色信号を算出する．垂直，水平の1ラインから色分離できるのは対象のライン上に存在する色信号のみである．そこで，対象画素のライン上に存在しない色信号は，隣接するラインの信号から色信号の相関性を利用して内挿する．以上の処理で，垂直，水平それぞれに相関性が強い場合に利用できる2種類の3原色信号を分離できる．ここでは，ライン原色相関色分離方式とライン色差相関色分離方式を提案する．

彩度適応相関方向判別では，ライン相関色分離で算出された2種類の3原色信号のうちどちらの信号を使うかを決めるために，ベイヤー配列色フィル

タの CCD から出力された信号の各部分部分での相関の強い方向, すなわち信号変化の少ない方向を判別する. この判別精度を上げるために, CCD が撮影した映像の色情報の多い部分と少ない部分で判別方法を適応的に変更している. これにより, 画面各部の色の濃さに応じた相関方向判別を実現している.

3. 2 ライン相関色分離方式

本節では、近傍同色画素平均化色分離方式における画質低下の要因である「色分離後の信号の過渡特性悪化」と「偽色信号の発生」、エリア原色相関色分離方式の欠点である「水平方向の輝度変化部分での信号変化位相のライン毎の左右変動」という問題を解決し、エリア原色相関色分離方式による画質改善以上の効果を実現する2種類のライン相関色分離方式について提案する。

3. 2. 1 ライン原色相関色分離方式

本項では、エリア原色相関色分離方式における「水平方向の輝度変化部分での信号変化位相がライン毎に左右に変動する」という問題を解決するために、エリア単位で原色信号の低域成分と対象画素の原色信号との相関を取るのではなく、垂直方向もしくは水平方向のみのライン単位のフィルタリングと原色信号の相関性を使うことで、エリア原色相関色分離方式と同等以上の効果を得るライン原色相関色分離方式について述べる。

3. 2. 1. 1 本方式の原理

本方式では、まず垂直方向のみのライン単位のフィルタリング、あるいは水平方向のみのライン単位のフィルタリングによって同一ライン上の2つの低域色信号を算出する。緩やかに変化する信号においては、各画素の色信号の比とそれらの低域信号の比がほぼ等しいことを利用して、同一ライン上の2つの低域色信号の比と対象画素の色信号から、そのライン上に存在するもう1つの色信号を算出する。縦、横の1ラインから色分離できるのは対象のライン上に存在する色信号のみである。そこで、そのライン上に存在しない色信号

は隣接するラインの信号と対象画素のG信号から色の相関性を利用して内挿する.

以下に, 垂直方向の相関が強い場合に適応する色分離について説明する(図 16).

対象画素 G_{33} の垂直ライン上のもう1つの色フィルタはBであるから, 対象画素の色信号Gの低域成分 G_{VLPF3} は式(16)を, 対象画素の色でないもう1つの色信号Bの低域成分 B_{VLPF3} は式(17)を用いて求める.

対象画素 G_{33} の位置におけるB信号 (b_{33}) は, 式(16)と式(17)によって得られた G_{VLPF3} と B_{VLPF3} を用いて, 式(18)'のように内挿する. 対象画素の色信号(この場合, G_{33})は, 式(19)のように元信号をそのまま使用する.

$$G_{VLPF3} = \frac{G_{13} + 6 \times G_{33} + G_{53}}{8} \quad \dots(16)$$

$$B_{VLPF3} = \frac{B_{23} + B_{43}}{2} \quad \dots(17)$$

$$\frac{b_{33}}{G_{33}} = \frac{B_{VLPF3}}{G_{VLPF3}} \quad \dots(18) \quad \rightarrow \quad b_{33} = \frac{B_{VLPF3}}{G_{VLPF3}} \times G_{33} \quad \dots(18)'$$

$$g_{33} = G_{33} \quad \dots(19)$$

ここで, 式(16), (17)の周波数特性はできる限り近い方が望ましい. しかし, 前述の通り, フィルタ特性を合わせるためにはフィルタのタップ長をかなり広げる必要があり, 大幅な回路規模の増加を伴うため実用的とはいえない. そこで, この処理では相関性が強い方向の低域色信号成分を求めている点に着目し, ナイキスト周波数の 1/2 までの低域部分を重視して, その低域部分の周波数特性が近くなり, かつフィルタのタップ数を短くできるように上記係数を採用した.

以上の処理を第1の内挿とする. なお, 対象画素 G_{33} の位置の色フィルタがRやBの場合でも, 対象画素の色信号の低域成分は式(16)の係数を, 対象画素の色でないもう1つの色信号の低域成分は式(17)の係数を用いて求める. 以上の処理によりG信号はすべての位置に内挿され, R, B信号は点

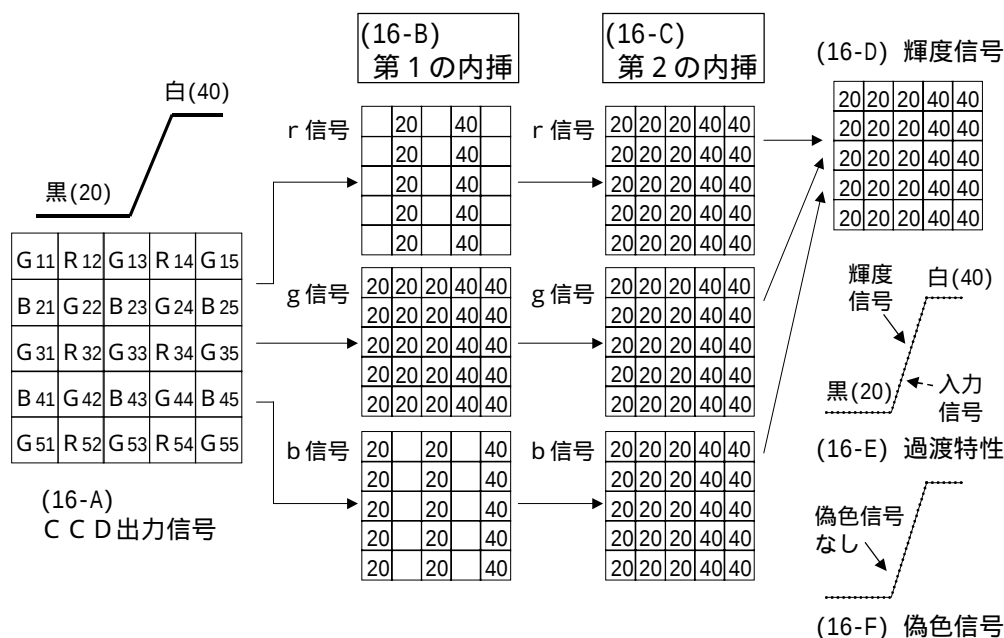


図 16 ライン相関色分離後の過渡特性と偽色信号

順次信号として1列毎に内挿される(図 16-B)。

次に水平方向の色の相関性を利用して、すべての位置で内挿されたG信号に基づいてR, B信号が存在していないラインのR, B信号を内挿する. すなわち、第1の内挿後、 G_{33} の位置ではR信号が存在していない. そこで、対象画素の存在するラインの両隣のラインにおいて算出した g_{32} , g_{34} と R_{32} , R_{34} , G_{33} を用いて r_{33} を求める. まず式(18)と同様に式(20)が成り立つ. 次に、本方式では局所領域内における色の相関性に基づいて、「画像の相関が低い方向(ここでは水平方向)においても色の比の変化が小さい」と仮定している. この場合、対象画素と隣接画素のG信号に対するRB信号の比は等しいと考えることができるので、式(21)が成り立つ. しかし、水平方向は相関が低い方向であるため、式(21)'の通り、両水平隣接画素の色信号の比を平均することにより、相関の低さを補償する. この第2の内挿により、R, B信号もすべての位置で内挿され、RGBすべての色信号が分離できる(図 16-C)。

$$\frac{r_{33}}{G_{33}} = \frac{r_{VLPF3}}{G_{VLPF3}}, \frac{R_{32}}{g_{32}} = \frac{R_{VLPF2}}{G_{VLPF2}}, \frac{R_{34}}{g_{34}} = \frac{R_{VLPF4}}{G_{VLPF4}} \quad \dots(20)$$

$$\frac{r_{33}}{G_{33}} = \frac{R_{32}}{G_{32}} = \frac{R_{34}}{G_{34}} \quad \dots(21)$$

$$\frac{r_{33}}{G_{33}} = \left(\frac{\frac{R_{32}}{G_{32}} + \frac{R_{34}}{G_{34}}}{2} \right) \dots(21)', \quad r_{33} = \left(\frac{\frac{R_{32}}{G_{32}} + \frac{R_{34}}{G_{34}}}{2} \right) \times G_{33} \quad \dots(21)''$$

このように垂直方向のフィルタリング処理によって得た低域色信号と対象画素の色信号の比を利用した処理, 及び水平方向の色の相関性を利用した処理によってすべての色信号を分離できる.

また, 水平方向の相関が強い場合もフィルタリングの方向を水平方向とすることで同様に色分離できる.

3. 2. 1. 2 本方式の過渡特性と偽色信号

ここでは、偽色信号が最も目立ち、輝度信号の過渡特性の影響が判別しやすい無彩色画像での過渡特性と偽色信号の評価について述べる。

明暗が水平方向に急峻に変化する無彩色画像を、垂直方向の相関が強い場合に適応する処理で色分離した結果は、第3. 2. 1. 1項の図 16-D, Eの通りとなる。これを見れば明らかなように、輝度変化部分においても第1の内挿によりG信号とRB点順次信号は忠実に再現される。また、無彩色画像では水平方向に輝度変化があっても色分離後のRGB信号も同じように変化するので、第2の内挿により残りのR, B信号も忠実に再現される。したがって急峻に輝度信号が変化する部分においても偽色信号が発生せず、水平の限界解像度まで信号を再現できる。

同様に、水平方向の相関が強い場合についても、方向が変わるだけで同様に処理できる。すなわち、第1の内挿として水平方向のみのフィルタリング処理によって得た低域色信号と対象画素の色信号の比を利用した処理を行い、第2の内挿として垂直方向の色の相関性を利用した処理を行った場合でも、無彩色の横縞の画像に対しては偽色信号が発生せず、垂直の限界解像度まで信号を再現できる。

これらの処理によって得た色信号のうち、垂直、水平どちらの処理結果を使うかを決定するのが相関方向判別である。相関方向判別については第3. 3節にて説明する。

有彩色画像においては、式(18)と式(20)が成立する時、すなわちG信号に対するR, B信号の比が一定ならば偽色信号は発生しない。具体的には、無彩色からG成分を含む特定の色に変化する部分では偽色信号はほとんど発生しないが、G成分の変化とR, B成分の変化が異なる部分では偽色信号が発生する。

3. 2. 1. 3 本方式の対ノイズ特性

本方式の欠点として、ハードウェアに実装する際には、色信号の比を求めるための除算回路が多数必要となり、回路規模が増大するという問題がある。また画像の暗い部分にノイズがある場合、図 17 のようにノイズが強調され、ドットノイズが発生するようになる。CCD 信号にノイズが重畳されている場合、内挿される画素信号(r)は式(22)のようにその周囲画素信号の平均値の比(R_{LPP}/G_{LPP})とノイズのある画素信号($G + \text{Noise}$)の積で算出される。式(22)を変形した式(22)'が示すように G/G_{LPP} 信号が小さい場合や、 R_{LPP}/G_{LPP} 、 B_{LPP}/G_{LPP} 信号が大きい場合にノイズの影響が大きくなり、内挿される信号のノイズが強調される。

$$r = \frac{R_{LPP}}{G_{LPP}} \times (G + \text{Noise}) \quad \dots(22)$$

$$r = \frac{G}{G_{LPP}} \times R_{LPP} + \text{Noise} \times \frac{R_{LPP}}{G_{LPP}} \quad \dots(22)'$$

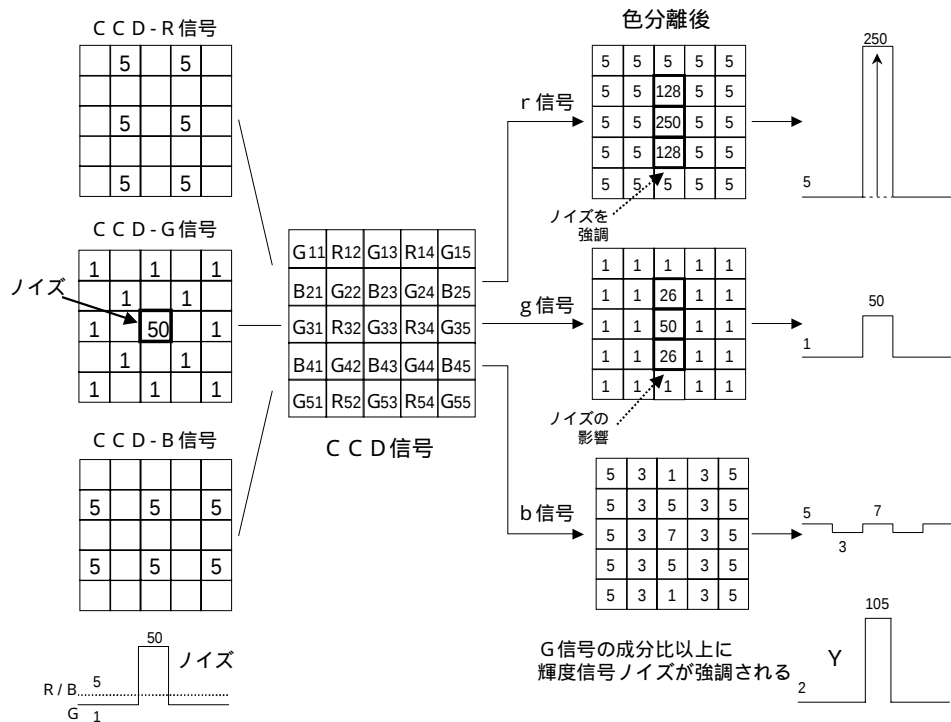


図 17 ライン原色相関色分離におけるノイズ強調

3. 2. 2 ライン色差相関色分離方式

本節では、ライン原色相関色分離方式における多数の除算回路使用に伴う回路規模の増加とノイズの強調という2つの課題を克服するライン色差相関色分離方式を提案する。

本方式は、ライン原色相関色分離方式が色の比を用いるのに対して、色差信号を使って除算回路を用いずに色分離を行う方法で、エリア原色相関色分離方式による画質改善以上の効果を実現する。

3. 2. 2. 1 本方式の原理

本方式では、「局所領域での色差信号の変化は小さい」という色差の相関性を利用して色分離を行う。以下に、垂直方向の相関が強い場合に適応する色差相関を利用した色分離について説明する。

まず、式(23)、(24)のように、相関性の強い垂直方向のみのフィルタリング処理によって同一ライン上の2つの低域色信号を算出する。緩やかに変化する信号においては、各画素の色信号の差とそれらの低域信号の差がほぼ等しいことを利用して、対象画素の色差信号($B_{33} - G_{33}$)と対象画素上の垂直低域色差信号($B_{VLPF3} - G_{VLPF3}$)が等しいと仮定すると、式(25)が成り立つ。その結果、 b_{33} は式(25)'の通りに求めることができる。対象画素の色信号(この場合、 G_{33})は、式(26)のように元信号をそのまま使用する。

$$G_{VLPF3} = \frac{G_{13} + 6 \times G_{33} + G_{53}}{8} \quad \dots(23)$$

$$B_{VLPF3} = \frac{B_{23} + B_{43}}{2} \quad \dots(24)$$

$$b_{33} - G_{33} = B_{VLPF3} - G_{VLPF3} \quad \dots(25)$$

$$b_{33} = B_{VLPF3} - G_{VLPF3} + G_{33} \quad \dots(25)'$$

$$g_{33} = G_{33} \quad \dots(26)$$

この処理を第1の内挿とする．この処理によりG信号はすべての位置で内挿され，R，B信号は点順次信号として1列毎に内挿される．

次に，相関性の低い水平方向に対して，局所領域内における色差の相関性に基づいて，「画像の相関が低い方向（ここでは水平方向）においても色差の変化が小さい」と仮定して，第1の内挿により得られたG信号と点順次のR，B信号から，残りのR，B信号の内挿を行う．すなわち，色差信号($R_{33} - G_{33}$)とその画素の位置における相関が高い方向の低域色差信号($R_{VLPF3} - G_{VLPF3}$)及びその近傍における同方向の低域色差信号の比($R_{VLPF2} - G_{VLPF2}$ ， $R_{VLPF4} - G_{VLPF4}$)は等しいと考える．すると，式(27)が成り立つ．しかし，水平方向は相関が低い方向である．そこで，式(28)の通り，対象画素の水平両隣の低域色差信号を平均することにより，相関の低さを補償する．これにより，第1の内挿後 G_{33} の位置に存在しない r_{33} を求めることができる．同様にB信号も算出する．この第2の内挿処理により，R，B信号はすべての位置で内挿され，すべての色信号が分離できる．

$$r_{33} - G_{33} = R_{32} - G_{32} = R_{34} - G_{34} \quad \dots(27)$$

$$\therefore r_{33} - G_{33} = R_{VLPF3} - G_{VLPF3}$$

$$R_{32} - G_{32} = R_{VLPF2} - G_{VLPF2}$$

$$R_{34} - G_{34} = R_{VLPF4} - G_{VLPF4}$$

$$r_{33} - G_{33} = R_{VLPF3} - G_{VLPF3} \quad \dots(28)$$

$$r_{33} = R_{VLPF3} - G_{VLPF3} + G_{33} \quad \dots(28)'$$

$$r_{33} = \frac{(R_{32} - G_{32}) + (R_{34} - G_{34})}{2} + G_{33} \quad \dots(28)''$$

以上のように垂直方向のフィルタリング処理によって得た低域色差信号と，対象画素の色差信号の相関性及び水平方向の色差信号の相関性を利用することによって，すべての色信号を分離できる．

また，水平方向の相関が強い場合もフィルタリングの方向を水平方向とすることで同様に色分離できる．

3. 2. 2. 2 本方式の過渡特性と偽色信号

ここでも、第3. 2. 1. 2項と同じ条件での過渡特性と偽色信号の評価について述べる。明暗が水平方向に急峻に変化する無彩色画像を、本方式の前項で述べた垂直方向の相関が強い場合に適応する処理で色分離した結果は、前節で述べたライン原色相関色分離方式と同じ図 13 の通りとなる。すなわち、輝度変化部分においては、水平の限界解像度まで信号を再現でき、偽色信号も発生しない。同様に、水平方向の相関が強い場合についても方向が変わるだけで同じ結果を得ることができる。これらの処理により得た色信号を相関方向判別結果に応じて使い分けることも、ライン原色相関色分離方式と同じである。

有彩色画像においては、式(25)と式(28)が成立する時、すなわち色差信号の変化が一定ならば偽色信号は発生しない。具体的には、無彩色から線形に色が変化する部分では偽色信号は発生しないが、色が非線形に変化する部分では偽色信号が発生する。

3. 2. 2. 3 本方式の対ノイズ特性

本項では、ライン原色相関色分離方式の課題であった対ノイズ特性について述べる。入力信号にノイズがある場合のライン色差相関色分離による対ノイズ特性を図 18 に示す。このようにノイズの影響は図 14 のライン原色相関方式の 1/2 以下となりノイズを強調することがない。

また、本方式では第1の内挿として垂直もしくは水平の1ライン単位でライン内のフィルタリング処理を行う。1ライン単位の処理ではGとR、Bを等しい画素密度で処理できるので、エリア原色相関方式に比べて容易にフィルタ特性を近づけることができ、回路規模を小さくすることが可能となる。また、第2の内挿においても色の比を求める必要がなく色差信号の平均を求めるだけでよい。この結果、除算回路ではなく加減算回路でハードウェアを実現でき、回路規模を抑えることが可能となる。

このように本方式では、前節で述べたライン原色相関色分離方式における回路規模の増大とノイズの強調という2つの課題を解決できる。

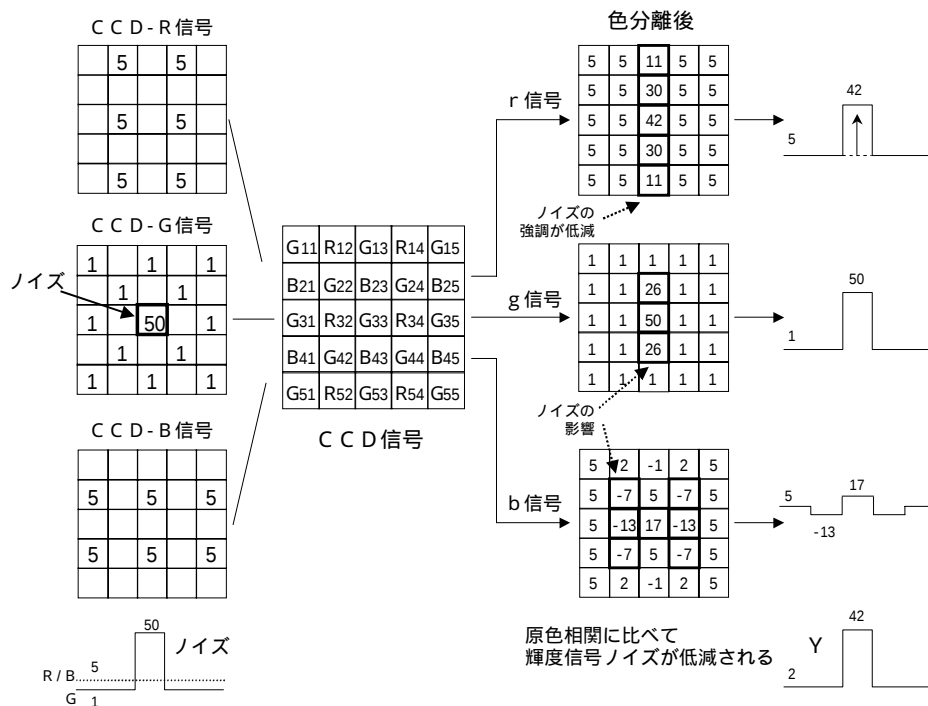


図 18 ライン色差相関色分離におけるノイズ低減

3. 2. 3 ライン相関色分離方式における周波数特性

本節では、ライン相関色分離方式で得られる信号の周波数特性について考察する。

まず垂直方向のフィルタリング処理を基本に第1の内挿を行い、次に水平方向の相関性を利用して第2の内挿を行うという、垂直方向に相関が強い場合の色分離では、図 19-A のように水平方向は水平画素ピッチによって決まる水平ナイキスト周波数(f_h)まで再現できるが、垂直方向は垂直画素ピッチによって決まる垂直ナイキスト周波数(f_v)の $1/2$ 以上で偽色信号が発生する。

同様に、まず水平方向のフィルタリング処理を基本に第1の内挿を行い、次に垂直方向の相関性を利用して第2の内挿を行うという、水平方向に相関が強い場合の色分離では、図 19-B のように水平方向は水平ナイキスト周波数(f_h)の $1/2$ 以上で偽色信号が発生するが、垂直方向は垂直ナイキスト周波数(f_v)まで再現できる。

ここで、図 19-C のように注目する画素において相関の強い方向を検出できれば、相関の強い方向に応じて色分離方向を選択することにより、図 19-D のように再現周波数範囲が広く、偽色信号の少ない色分離を実現できることがわかる。

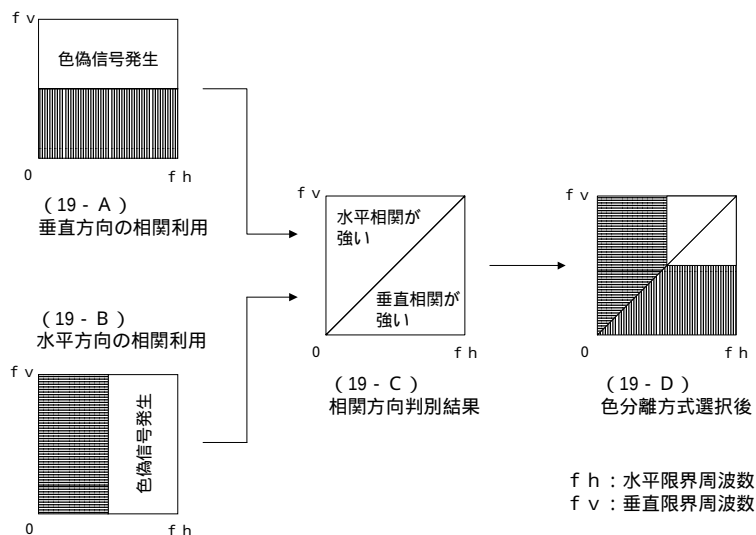


図19 相関方向判別により再現できる空間周波数領域

3.3 彩度適応相関方向判別

前節にて，提案した2つのライン相関色分離方式では画像の相関方向に応じて適応的に処理を行うことで，輝度信号の過渡特性の改善と解像度の向上，及び偽色信号の低減を行うことを想定している．すなわち，これらの処理においては，相関方向を検出する相関方向判別が必要となる．

本節では，ライン相関色分離方式における輝度信号の過渡特性の改善と偽色信号の低減という画質改善効果を引き出すことを目的とした，画像各部の相関方向を検出するための相関演算と相関方向判別について述べる．そして，ベイヤー配列色フィルタの CCD で相関方向判別を実現する彩度適応相関方向判別について提案する．

3.3.1 相関値演算と相関方向判別

図 20 のように入力画像が水平方向に黒から白に変化している画像は，水平方向に変化が大きく垂直方向に変化が小さい．このような垂直方向に相関の強い画像では，水平方向に変化の大きい部分で水平の微分信号が大きくなる．すなわち，水平の微分信号が大きい部分は垂直方向に相関が強いと考えることができる．これは垂直方向に変化が大きい画像においても同様であるから，垂直，水平の微分信号を比較することで画像の相関方向を判別できる．そこで，式(29)のように水平の微分信号の絶対値を垂直方向の相関値 K_v とし，同様に式(30)のように垂直の微分信号の絶対値を水平方向の相関値 K_h とする．これら2つの相関値を比較することで，水平相関値が大きければ水平方向に相関が強く，垂直相関値が大きければ垂直方向に相関が強いことを検出できる．そこで式(31)のように水平／垂直相関方向判別値 K を導入し，対象画素における周辺画素との相関方向を示す変数とする．この相関方向判別値 K の大小により垂直／水平の相関方向を判別する．

$$K_V = |S'(h)| \quad \dots(29)$$

$$K_H = |S'(v)| \quad \dots(30)$$

$$K = \frac{K_V}{K_V + K_H} \quad \dots(31)$$

ここでSは入力画像信号を, h , v は各々水平, 垂直の軸を示している.

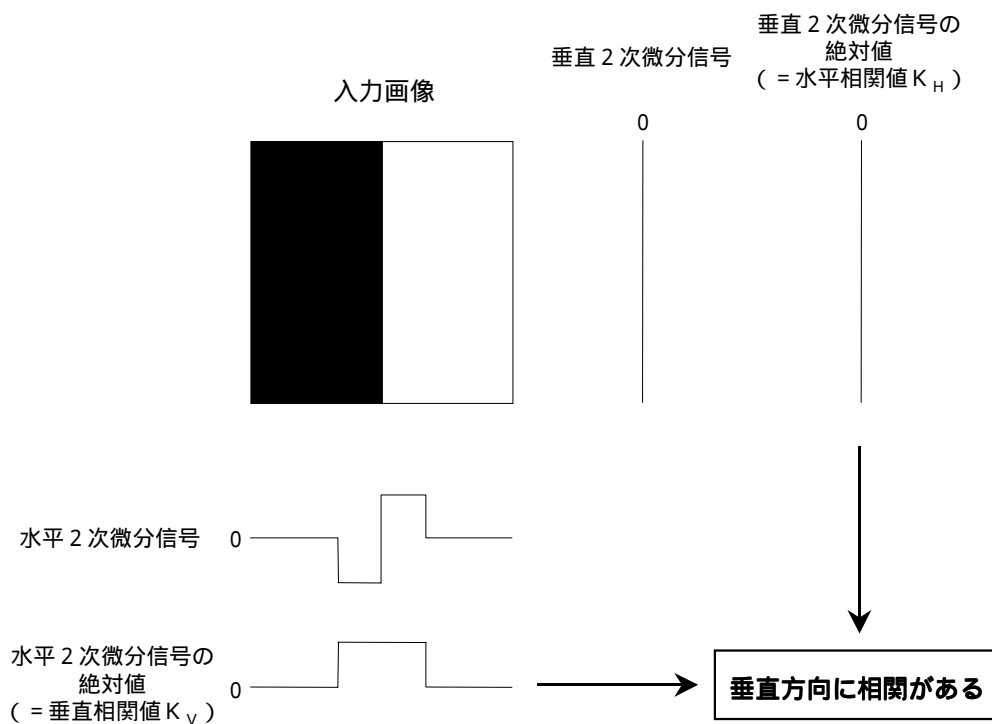


図20 相関方向判別の原理

3.3.2 彩度適応相関方向判別

前節の相関値演算と相関方向判別を、ベイヤー配列色フィルタの CCD で実現する方法が彩度適応相関方向判別である。図 21-A が求めたい相関方向判別結果である。無彩色画像では $R=G=B$ となるので、ベイヤー配列色フィルタの CCD の画素位置すべてから得られる CCD 全画素信号は、白黒信号と等価だと考えることができる。したがって CCD 全画素信号を用いて相関値を算出することで、図 21-B の通り図 21-A と同じ結果を得ることができる。この時の相関値 K_v 、 K_h は、式(32)、(33)のようになる。以降の式で用いられる信号 S_{ij} は、図 13 に示す CCD の色フィルタの色成分にかかわらず、その位置の信号成分を意味する。

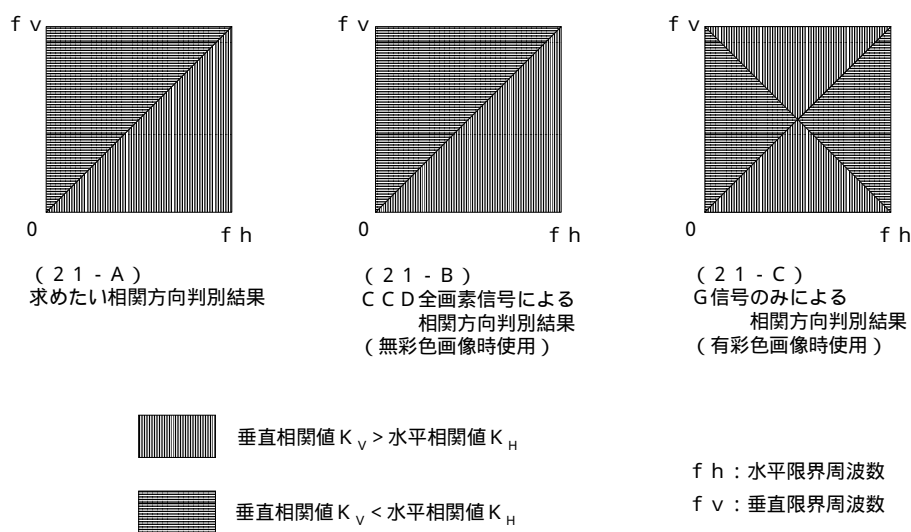


図21 空間周波数領域における相関方向判別結果

$$K_V = \left| \frac{(S_{22} + 2 \times S_{23} + S_{24})}{4} - \frac{(S_{32} + 2 \times S_{33} + S_{34})}{4} \right| \quad \dots(32)$$

$$+ \left| \frac{(S_{32} + 2 \times S_{33} + S_{34})}{4} - \frac{(S_{42} + 2 \times S_{43} + S_{44})}{4} \right|$$

$$K_H = \left| \frac{(S_{22} + 2 \times S_{32} + S_{42})}{4} - \frac{(S_{23} + 2 \times S_{33} + S_{43})}{4} \right| \quad \dots(33)$$

$$+ \left| \frac{(S_{23} + 2 \times S_{33} + S_{43})}{4} - \frac{(S_{24} + 2 \times S_{34} + S_{44})}{4} \right|$$

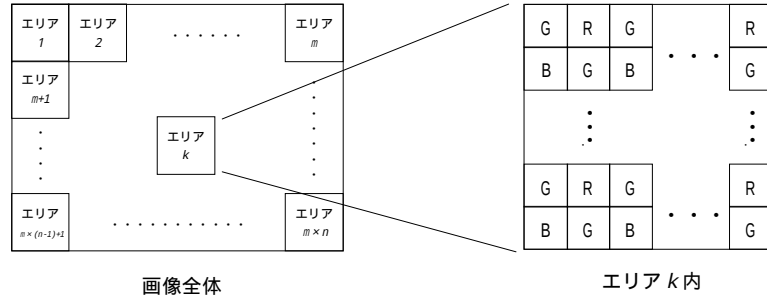
しかし、有彩色画像では被写体色によって、ベイヤー配列色フィルタの CCD から出力される RGB 各々の信号比率が異なる。そのため被写体色による妨害が発生し、CCD 全画素信号を使った相関方向判別結果の精度は悪くなる。そこで有彩色画像では、式(29)(30)に入力する信号 S_{ij} を市松状に配置された G 信号のみとする。対象画素が G の時の K_V , K_H は式(34), (35)の通りとし、対象画素が G 以外の時の K_V , K_H は式(36), (37)の通りとする。

$$K_V = \left| \frac{(S_{22} + S_{24})}{2} - \frac{(S_{42} + S_{44})}{2} \right| \quad \dots(34)$$

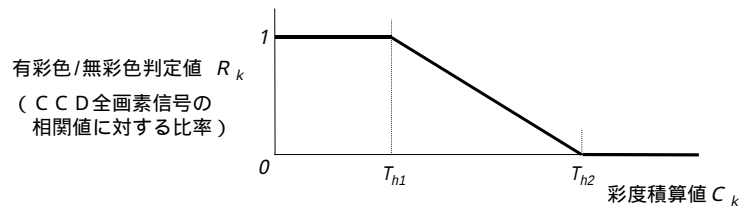
$$K_H = \left| \frac{(S_{22} + S_{42})}{2} - \frac{(S_{24} + S_{44})}{2} \right| \quad \dots(35)$$

$$K_V = |S_{23} - S_{43}| \quad \dots(36)$$

$$K_H = |S_{32} - S_{34}| \quad \dots(37)$$



(22-A) 彩度積算エリア



(22-B) C C D全画素信号 / G信号比率制御

図22 画像の有彩色／無彩色判別方法

この場合図 21-C のように水平，垂直とも周波数が高い領域では相関方向判別結果が反転する．そのため問題のない限り全画素を使った相関方向判定結果を使用できる方が望ましい．そこで，式(38)のように図 22-A の彩度検出エリアkにおいて全画素信号から画像の色の付き具合を彩度積算値 C_k として検出し，図 22-B のように彩度積算値 C_k に基づいて有彩色／無彩色判定値 R_k を決定する．そして，式(39)のように，この R_k に応じて CCD 全画素信号から検出した相関方向判別値 K_{CCD} とG信号から検出した相関方向判別値 K_G を使い分けるようにした．図 22-B における閾値 $Th1$ ， $Th2$ は，システム化する際に不可欠な光学 LPF の特性も関係するため，実験的にその値を検討し，決定している．

$$C_k = \left| \sum_k G - \sum_k R \right| + \left| \sum_k G - \sum_k B \right| \quad \dots(38)$$

$$K = R_k \times K_{CCD} + (1 - R_k) \times K_G \quad \dots(39)$$

この有彩色／無彩色判別によって、あるエリアが無彩色に近い時には CCD の全画素信号を使い、有彩色の場合には G 信号のみを使うという適応的な相関方向の判別が可能となった。その結果、特に偽色信号が目立ち易い無彩色時にはより適切な色分離方式を選択ができるようになり、充分な偽色信号の低減が実現できるようになった。

また、有彩色時には G 信号のみを使うために判別結果は図 21-C の通り斜め高域部分反転する。その結果、色分離方式選択後に再現される空間周波数領域は、図 23-C の通りとなる。本来、ベイヤー配列色フィルタの CCD が持つ空間周波数領域の再現範囲は、G 信号では図 23-A の通りであり、R、B 信号では図 23-B の通りである。したがって、有彩色時においても R、B 信号の再現範囲が G 信号と同じ範囲まで拡大され、無彩色時には全ての信号が図 23-D の範囲まで拡大されるようになった。

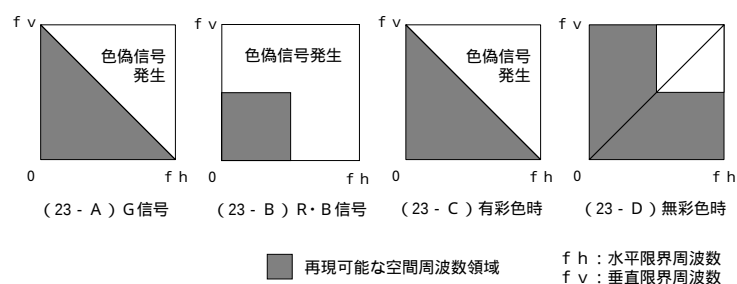


図23 有彩色時と無彩色時の再現空間周波数領域

3. 3. 3 相関方向判別色分離後の偽色信号

前述の通り, ライン相関色分離方式では水平及び垂直方向に相関が強い部分が正確に判定できれば, 水平及び垂直方向に相関が強い部分の色偽信号が抑圧できる. ここでは, 斜め方向に相関が強い時, すなわち斜め方向に明暗が変化する場合の偽色信号について考察する.

CCD 出力信号が図 24-A の場合を考える. このように左斜め下方向が暗く, 右斜め上方向が明るい映像では, どの色分離方式でもほぼ変わらない量の偽色信号が発生する. 図 24-B~E はそれぞれ近傍同色画素平均化色分離方式, エリア原色相関色分離方式, ライン原色相関色分離方式, ライン色差相関色分離方式によって色分離した結果として得られる色差信号と, 元信号(図 24-A)との差分を示している. 各図の下に数字は, この差分をノイズエネルギーとして見た場合の総和を示している. この数字が示すように, 斜め方向の偽信号は, どの色分離方式でも大差ないことがわかる.

<table border="1"> <tr><td>G11</td><td>R12</td><td>G13</td><td>R14</td><td>G15</td></tr> <tr><td>B21</td><td>G22</td><td>B23</td><td>G24</td><td>B25</td></tr> <tr><td>G31</td><td>R32</td><td>G33</td><td>R34</td><td>G35</td></tr> <tr><td>B41</td><td>G42</td><td>B43</td><td>G44</td><td>B45</td></tr> <tr><td>G51</td><td>R52</td><td>G53</td><td>R54</td><td>G55</td></tr> </table>	G11	R12	G13	R14	G15	B21	G22	B23	G24	B25	G31	R32	G33	R34	G35	B41	G42	B43	G44	B45	G51	R52	G53	R54	G55	<table border="1"> <tr><th colspan="5">R-Y</th></tr> <tr><td>-4</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-2</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-3</td><td>-4</td></tr> </table>	R-Y					-4	-3	-2	0	0	-3	-4	-3	-2	0	0	-3	-4	-3	-2	0	0	-3	-4	-3	0	0	0	-3	-4	<table border="1"> <tr><th colspan="5">R-Y</th></tr> <tr><td>-5</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td><td>-2</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td></tr> </table>	R-Y					-5	-3	-2	0	0	-2	-5	-3	-2	0	0	-2	-5	-3	-2	0	0	-2	-5	-3	0	0	0	-2	-5	<table border="1"> <tr><th colspan="5">R-Y</th></tr> <tr><td>-4</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-4</td><td>-4</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-4</td><td>-4</td></tr> </table>	R-Y					-4	-1	-1	0	0	-2	-5	-3	0	0	-2	-4	-4	-1	-1	-1	-1	-2	-5	-3	0	0	-2	-4	-4	<table border="1"> <tr><th colspan="5">R-Y</th></tr> <tr><td>-4</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-5</td><td>-4</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-4</td></tr> </table>	R-Y					-4	-1	-1	0	0	-2	-5	-3	0	0	-2	-5	-4	-1	-1	-1	-2	-2	-5	-3	0	0	-2	-5	-4
G11	R12	G13	R14	G15																																																																																																																																																	
B21	G22	B23	G24	B25																																																																																																																																																	
G31	R32	G33	R34	G35																																																																																																																																																	
B41	G42	B43	G44	B45																																																																																																																																																	
G51	R52	G53	R54	G55																																																																																																																																																	
R-Y																																																																																																																																																					
-4	-3	-2	0	0																																																																																																																																																	
-3	-4	-3	-2	0																																																																																																																																																	
0	-3	-4	-3	-2																																																																																																																																																	
0	0	-3	-4	-3																																																																																																																																																	
0	0	0	-3	-4																																																																																																																																																	
R-Y																																																																																																																																																					
-5	-3	-2	0	0																																																																																																																																																	
-2	-5	-3	-2	0																																																																																																																																																	
0	-2	-5	-3	-2																																																																																																																																																	
0	0	-2	-5	-3																																																																																																																																																	
0	0	0	-2	-5																																																																																																																																																	
R-Y																																																																																																																																																					
-4	-1	-1	0	0																																																																																																																																																	
-2	-5	-3	0	0																																																																																																																																																	
-2	-4	-4	-1	-1																																																																																																																																																	
-1	-1	-2	-5	-3																																																																																																																																																	
0	0	-2	-4	-4																																																																																																																																																	
R-Y																																																																																																																																																					
-4	-1	-1	0	0																																																																																																																																																	
-2	-5	-3	0	0																																																																																																																																																	
-2	-5	-4	-1	-1																																																																																																																																																	
-1	-2	-2	-5	-3																																																																																																																																																	
0	0	-2	-5	-4																																																																																																																																																	
<table border="1"> <tr><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr> <tr><td>20</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td><td>40</td><td>40</td><td>40</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>40</td><td>40</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>20</td><td>40</td></tr> </table>	40	40	40	40	40	20	40	40	40	40	20	20	40	40	40	20	20	20	40	40	20	20	20	20	40	<table border="1"> <tr><th colspan="5">B-Y</th></tr> <tr><td>-4</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-3</td><td>-2</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>-3</td><td>-4</td><td>-3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-3</td><td>-4</td></tr> </table>	B-Y					-4	-3	-2	0	0	-3	-4	-3	-2	0	0	-3	-4	-3	-2	0	0	-3	-4	-3	0	0	0	-3	-4	<table border="1"> <tr><th colspan="5">B-Y</th></tr> <tr><td>-5</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td><td>-2</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td><td>-2</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td></tr> </table>	B-Y					-5	-3	-2	0	0	-2	-5	-3	-2	0	0	-2	-5	-3	-2	0	0	-2	-5	-3	0	0	0	-2	-5	<table border="1"> <tr><th colspan="5">B-Y</th></tr> <tr><td>-5</td><td>-3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-5</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-2</td><td>-5</td><td>-3</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-5</td></tr> </table>	B-Y					-5	-3	0	0	0	-5	-3	-1	-1	0	-1	-2	-5	-3	0	0	-2	-5	-3	-1	0	-1	-1	-2	-5	<table border="1"> <tr><th colspan="5">B-Y</th></tr> <tr><td>-5</td><td>-4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-6</td><td>-3</td><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>-5</td><td>-4</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>-2</td><td>-6</td><td>-3</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td><td>-5</td></tr> </table>	B-Y					-5	-4	0	0	0	-6	-3	-1	-1	0	-2	-1	-5	-4	0	0	-2	-6	-3	-1	0	-1	-2	-1	-5
40	40	40	40	40																																																																																																																																																	
20	40	40	40	40																																																																																																																																																	
20	20	40	40	40																																																																																																																																																	
20	20	20	40	40																																																																																																																																																	
20	20	20	20	40																																																																																																																																																	
B-Y																																																																																																																																																					
-4	-3	-2	0	0																																																																																																																																																	
-3	-4	-3	-2	0																																																																																																																																																	
0	-3	-4	-3	-2																																																																																																																																																	
0	0	-3	-4	-3																																																																																																																																																	
0	0	0	-3	-4																																																																																																																																																	
B-Y																																																																																																																																																					
-5	-3	-2	0	0																																																																																																																																																	
-2	-5	-3	-2	0																																																																																																																																																	
0	-2	-5	-3	-2																																																																																																																																																	
0	0	-2	-5	-3																																																																																																																																																	
0	0	0	-2	-5																																																																																																																																																	
B-Y																																																																																																																																																					
-5	-3	0	0	0																																																																																																																																																	
-5	-3	-1	-1	0																																																																																																																																																	
-1	-2	-5	-3	0																																																																																																																																																	
0	-2	-5	-3	-1																																																																																																																																																	
0	-1	-1	-2	-5																																																																																																																																																	
B-Y																																																																																																																																																					
-5	-4	0	0	0																																																																																																																																																	
-6	-3	-1	-1	0																																																																																																																																																	
-2	-1	-5	-4	0																																																																																																																																																	
0	-2	-6	-3	-1																																																																																																																																																	
0	-1	-2	-1	-5																																																																																																																																																	
	18.7	19.3	18.4	18.9																																																																																																																																																	
(24-A) C C D 出力信号	(24-B) 近傍同色画素 平均化色分離	(24-C) エリア原色 相関色分離	(24-D) ライン原色 相関色分離	(24-E) ライン色差 相関色分離																																																																																																																																																	

図 24 斜め方向に相関が強い映像における偽色信号

3. 4 彩度適応相関方向判別・ライン色差相関色分離方式

本節では、ここまでに述べたライン色差相関色分離方式と彩度適応相関方向判別を組み合わせることで、従来のビデオカメラの課題である色分離信号の過渡特性改善と偽色信号低減を実現する「彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式」について、その具体的な実現手法を提案する。併せて、本研究の成果として開発した相関方向判別色分離 LSI を紹介する。

3. 4. 1 実装方法

彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式の具体的な処理手順は以下のようになる。

- (1) 垂直相関が強い部分の色分離のために使用する $r_v g_v b_v$ 信号を図 25 の垂直相関色分離ブロックで算出する。
- (2) 水平相関が強い部分の色分離のために使用する $r_h g_h b_h$ 信号を図 26 の水平相関色分離ブロックで算出する。
- (3) 画像各部の色の付き具合に応じた垂直相関値 K_v と水平相関値 K_h を図 27 の彩度適応相関値演算ブロックで算出する。
- (4) 図 28 の全体ブロック図のように彩度適応相関値演算ブロックから算出された垂直相関値 K_v と水平相関値 K_h に基づいて、上記(1)で算出した $r_v g_v b_v$ 信号と(2)で算出した $r_h g_h b_h$ 信号を相関方向に応じて加重加算し、RGB 信号を生成する。

このように、彩度適応相関値演算ブロックから出力される水平および垂直相関値に応じて、水平と垂直の色差相関色分離の出力信号を適応的に加重加算することにより、相関方向に応じた色分離を行う。

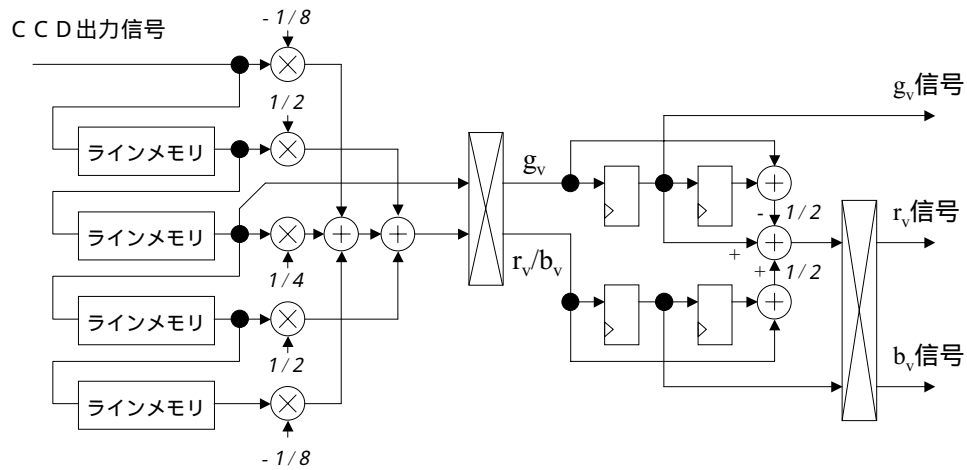


図25 垂直相関色分離ブロック図

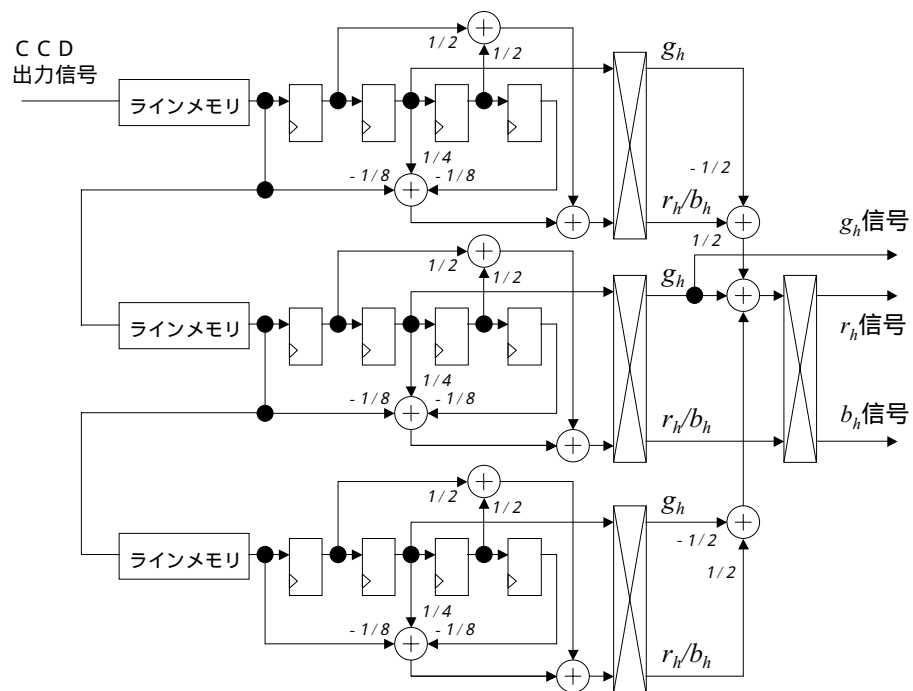


図26 水平相関色分離ブロック図

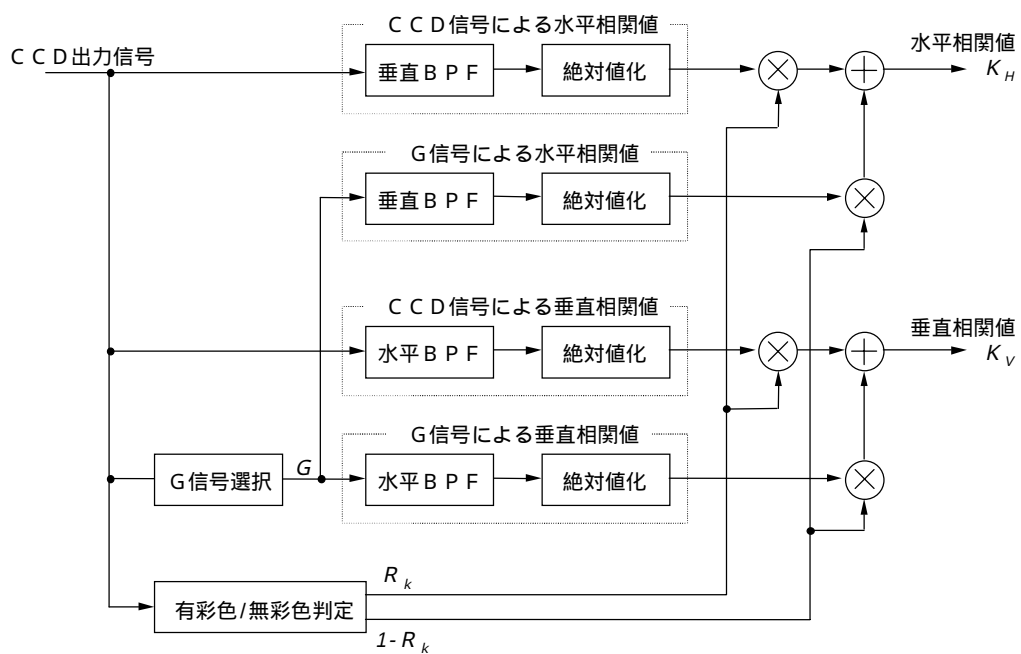


図27 彩度適応相関値演算ブロック図

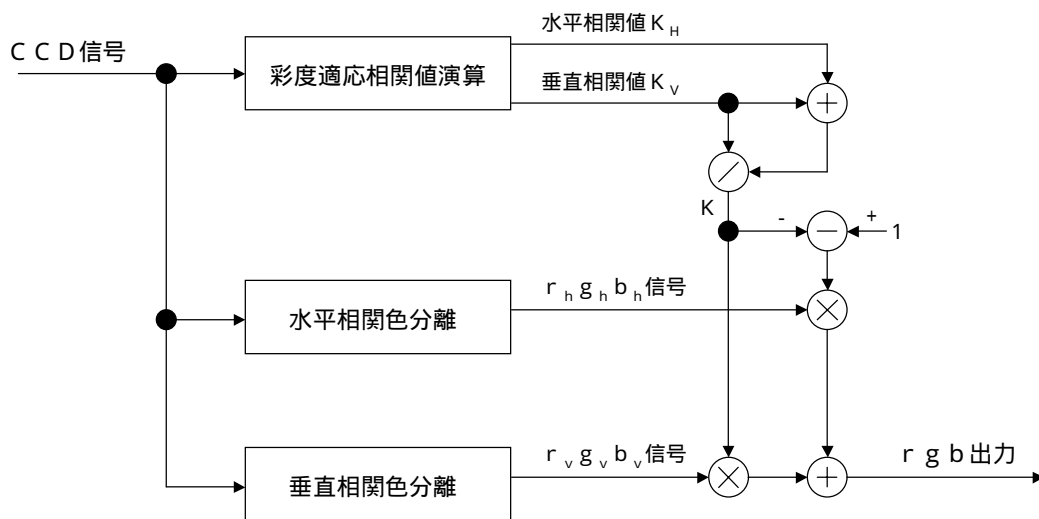


図28 彩度適応相関方向判別色分離方式全体ブロック図

3. 4. 2 LSI化

本項では, 本研究の成果として開発した相関方向判別色分離 LSI(図 29)を紹介する[60]. LSI の緒言を表1に示す. 本LSIは 1995 年に開発したもので, $0.5\mu\text{m}$ CMOSプロセスで開発した. 図 30 に本LSIの評価基板を示す.

本LSIは, 相関方向色分離以外のカメラ信号処理に必要な処理回路も内蔵している. 本LSIの全体ブロック構成を図 31 に, 本LSIを使ったカメラ信号処理全体のシステムブロック図を図 32 に示す.

表1 相関方向判別色分離LSIの緒言



図29 相関方向判別色分離LSI

ゲート規模	95K gates
メモリサイズ	35K bits
駆動電圧	3.3V $\pm$ 10%
対応CCD	PS-CCD with Bayer NTSC: 720x480 PAL: 720x576 VGA: 640x480
パッケージ	144pin SQFP
プロセス	$0.5\mu\text{m}$

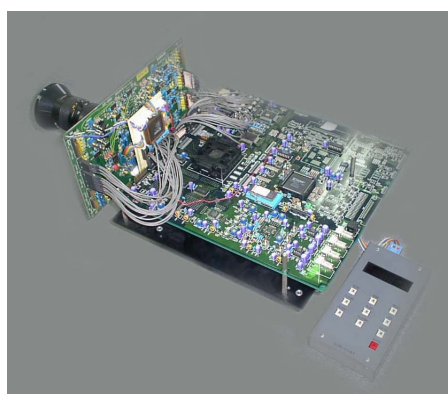


図30 LSI評価基板

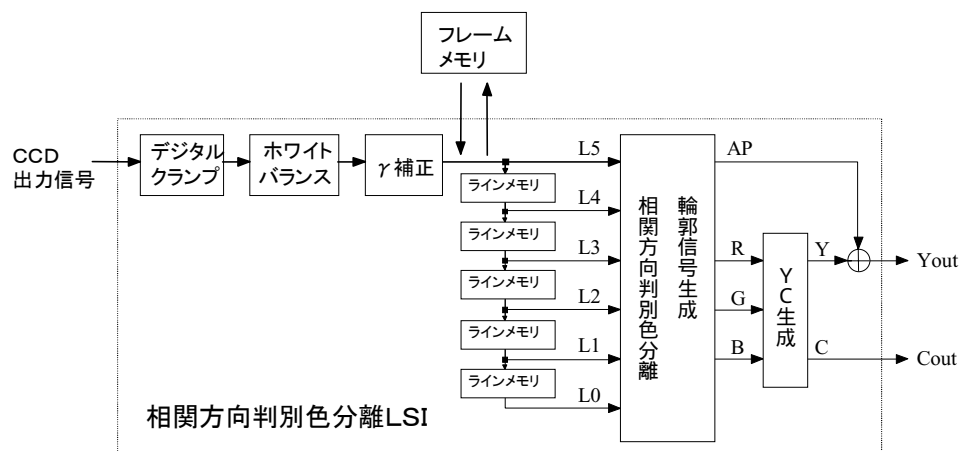


図31 LSI全体ブロック図

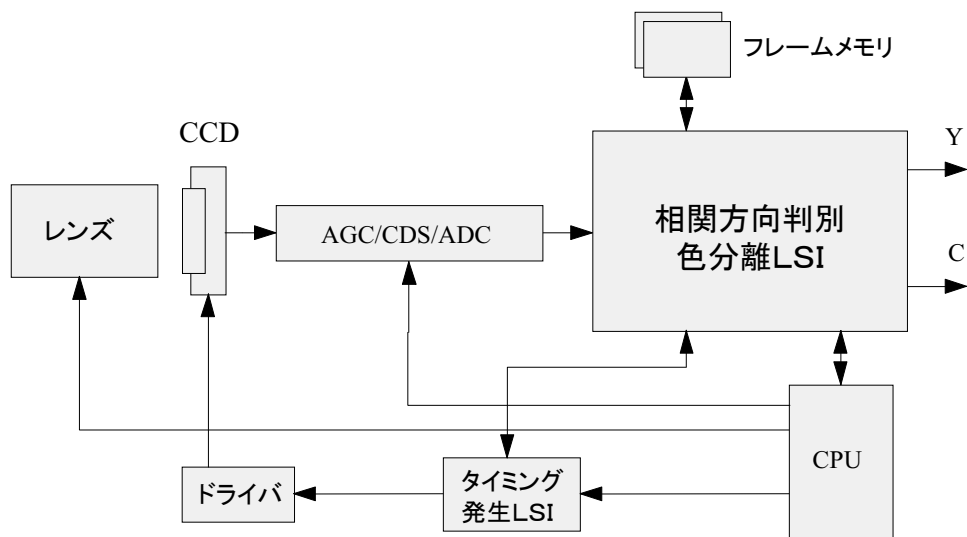


図32 システムブロック図

3.5 おわりに

本章では，単板式カラービデオカメラの課題である色分離信号の過渡特性改善と偽色信号低減を実現する，彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式を提案した．

本色分離方式は原理的には水平，垂直とも色フィルタのない CCD が持つナイキスト周波数まで再現できる方式であり，再現できないのは斜め方向のナイキスト周波数成分付近のみである．そのため，従来の色分離方式に比べて，大幅な信号過渡特性の改善が期待でき，それにより大幅な画質向上も期待できる．また偽色信号に関しても，従来の色分離手法に比較すると，大幅な改善が期待できる理論性能を有することが明らかになった．

本方式を実システムに実装する際の課題である回路規模に関しても，回路規模が大きい除算回路の使用が1つと，比較的小規模な回路構成で本システムが実現できることを明らかにした．その上で，本方式を実現する LSI を開発し，その緒言を明らかにした．

第4章 評価実験

4.1 はじめに

本章では、彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式の利点と欠点を明確にした上で、理論通りの特性が実現できるかを確認する。そのために、一般的な色分離方式である近傍同色画素平均化色分離方式と本相関方向判別色分離方式をソフトウェアシミュレーションで実現し、評価実験を行う。

本評価実験では、

- ① 本方式の実装が理論通りに行われており、その特性も理論通りとなっているか
 - ② 実撮影時に、垂直、水平の解像度がどれくらい改善できるか
 - ③ 実撮影時に、偽色信号の発生が低減されるか
 - ④ ライン色差相関色分離方式の欠点である色の輪郭部での偽色信号が低減されるか
 - ⑤ 電子ズーム時の画質が改善されるか
- を確認する。

4.2 本手法の利点

彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式には次の利点がある.

- ①無彩色画像においては, 周波数の高い斜め方向のエッジ部分を除き, 偽色信号が全く発生せず, 水平および垂直限界周波数まで再現可能となる.
- ②輝度に対する寄与率の多いG信号は, 相関方向に適した処理で内挿されるため, 広帯域な信号を得ることができる. このため輝度信号の過渡特性が改善し, 解像度も向上する.
- ③入力信号のノイズが色分離後の信号に与える影響が少ない.
- ④一般の画像では局所領域における色の相関性を利用しているため, 偽色信号の発生量が少ない.
- ⑤相関方向に適した処理を行っているため, 斜め方向の急峻な輝度変化部分や色の変化部分以外では偽色信号が発生しない.

このように本色分離方式では, 相関方向に応じた処理を施すため, 輝度信号の過渡特性が改善し, 画像の鮮鋭感が向上する. またノイズの影響を抑え, 偽色信号の発生量と発生範囲を少なくすることができる.

4.3 本手法の欠点

彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式には、前項にて述べた利点があるものの、まだいくつかの欠点も残っている。

本方式では、画像の各部分部分における色信号や色差信号の広帯域信号成分と低域信号成分の比が一定であるとして色分離を行っている。したがって、この条件が成り立たない場合には偽色信号が発生する。特にライン色差相関色分離方式においては、ライン原色相関色分離方式で原理的に発生しない急峻な色相の変化部分、例えば赤い花など彩度が高い被写体の縁部分で偽色信号が発生する可能性がある。この偽色信号の発生に関しては、光学系の特性や入力映像との関係が大きいとため、一概に問題となるかは判断できない。そこで、この偽色信号を評価するために、様々な一般画像に対してソフトウェアシミュレーションを行った。次節以降にその評価と結果を示す。

4. 4 CZP チャートによる評価

本節では、本方式の実装が理論通りに行われており、その特性も理論通りとなっているかを検証する目的で、CZP(サーキュラーゾーンプレート)チャート信号を入力信号としたシミュレーションを行う。

CZP チャート信号は、EWS(Engineering WorkStation)で生成した正弦波信号のものを利用した。ビデオカメラの周波数特性の評価では、一般に印刷で作られた矩形波状の光学式 CZP チャートが用いられるが、ここでは実装の正確性とその特性(偽色信号と周波数特性の相関関係)を確認することを目的としているので、余計な折り返しが発生しない正弦波形の CZP チャートを EWS で発生させてシミュレーションに利用した。

図 33(a)は、入力信号として使用した画像の一部を拡大したもので、EWS にて発生させた正弦波形 CZP チャートの第1象限である。この画像の左下を原点として右と上に行くほど空間周波数が高くなっており、この画像の右端が CCD の水平ナイキスト周波数、上端が CCD の垂直ナイキスト周波数に一致している。図 33(b)は、図 33(a)を入力信号として、近傍同色画素平均化色分離を施した結果の画像である。図 33(c)は、図 33(a)を入力信号として、彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離を施した結果の画像である。これらの評価結果は第4. 8節にてまとめる。

4. 5 RETMA チャートによる評価

本節では、実撮影時に垂直、水平の解像度がどれくらい改善されるか、また無彩色画像における偽色信号の発生がどれくらい低減されるかを検証する目的で、RETMA(解像度)チャート画像を入力信号としたシミュレーションを行う。

ここでは、従来の単板式カラービデオカメラ(色差線順次色フィルタのIS-CCDを使ったビデオカメラ)における色分離と本方式の比較を行うために、有効水平画素数 768×有効垂直画素数 480 の 40 万画素白黒 CCD をフレーム蓄積モードにて動作させ、レンズの前に RGB の色ガラスフィルタを順に配して、RGB それぞれ全画素数の CCD データを採取した後に、ベイヤー配列色フィルタを有した CCD 出力信号相当の信号を合成して作成した仮想 CCD データを使用した。

図 34(a)は、入力信号として使用した画像の一部を拡大したもので、RETMA(解像度)チャートのほぼ中央部である。図 34(b)は、図 34(a)を入力信号として、近傍同色画素平均化色分離を施した結果の画像である。図 34(b)の右図は、図 34(c)と比べて最も差が出ている領域を見易くするために、図 34(b)左図の代表部分を拡大したものである。図 34(c)は、図 34(a)を入力信号として、彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離を施した結果の画像である。図 34(c) 右図は、図 34(b)右図の拡大部分と同じ場所を、比較のために拡大したものである。これらの評価結果も第4. 8節にてまとめる。

4. 6 肌色チャートによる評価

本節では、ライン色差相関色分離方式の欠点である色の輪郭部での偽色信号が実撮影時にどれくらい発生するかを検証する目的で、肌色チャート画像を入力信号としたシミュレーションを行う。

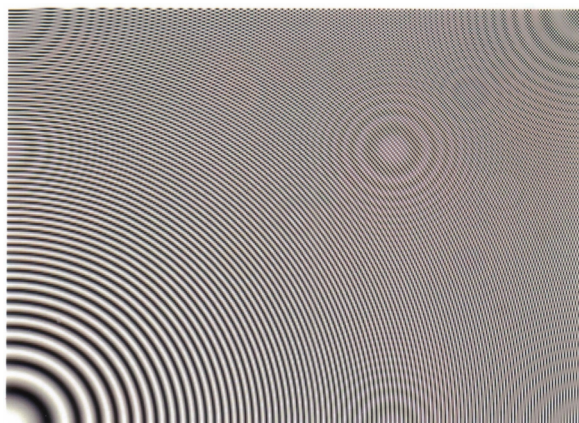
ここでは、従来の単板式カラービデオカメラにおける色分離と本方式の比較を行うために、前節の RETMA(解像度)チャート画像と同様の方法で作成した仮想 CCD データをシミュレーションの入力として使用した。

図 35(a)は、入力信号として使用した画像の一部を拡大したもので、肌色チャートのほぼ中央部である。図 35(b)は、図 35(a)を入力信号として、近傍同色画素平均化色分離を施した結果の画像である。図 35(b)右図は、図 35(c)と比べて最も差が出ている領域を見易くするために、図 35(b)左図の代表部分を拡大したものである。図 35(c)は、図 35(a)を入力信号として、彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離を施した結果の画像である。図 35(c) 右図は、図 35(b)右図の拡大部分と同じ場所を、比較のために拡大したものである。これらの評価結果も第4. 8節にてまとめる。

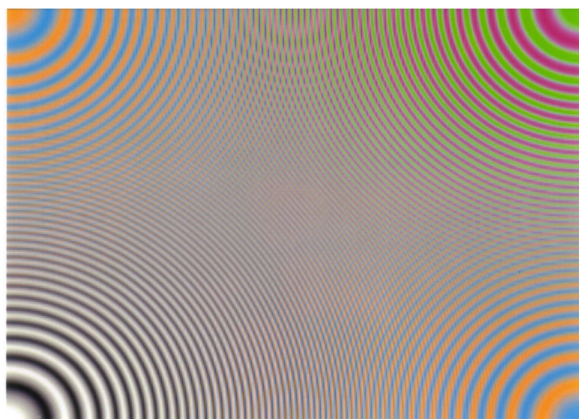
4. 7 電子ズーム画像の評価

本節では、従来方式の欠点である電子ズーム時の画質劣化が、本方式使用時にどの程度改善するかを検証する目的で、RETMA チャート画像を入力信号としたシミュレーションを行う。

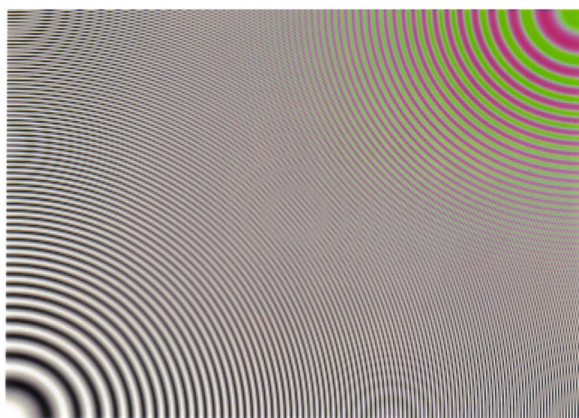
図 36(a)は、色差線順次色フィルタ配列の IS-CCD を垂直画素混合読み出し方式で駆動したカメラにおいて、約 1.1 倍の電子ズームを施した画像である。図 36(a) ～(d)の右図は、差を見易くするために水平の楔部分を拡大したものである。図 36(b)は、本方式で作成した画像に対して約 1.1 倍の電子ズームを施した画像である。図 36(c), 図 36(d)は、図 36(a), 図 36(b)と同条件の画像でズーム倍率を 2.01 倍に変更した場合の結果である。これらの評価結果も第4. 8節にてまとめる。



(a) 原画像 (第1象限)

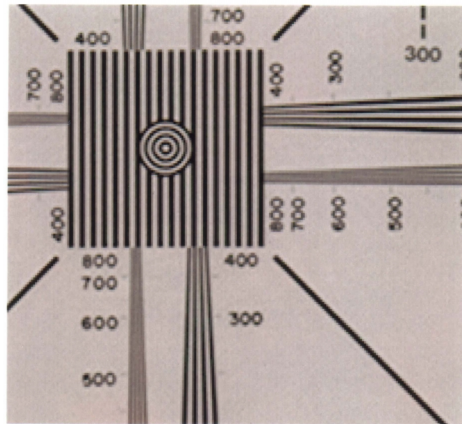


(b) 近傍同色画素平均化色分離方式

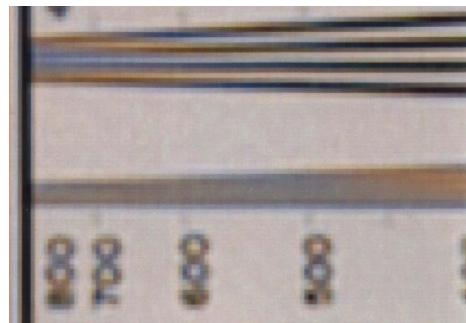
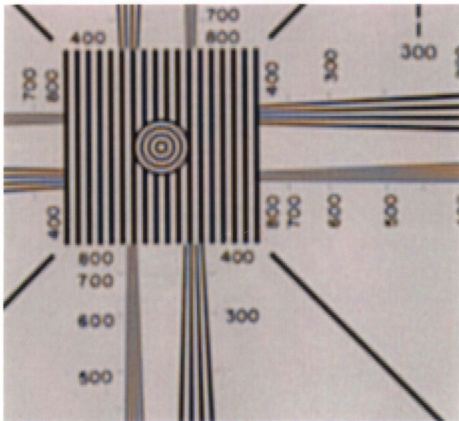


(c) 相関方向判別色分離方式

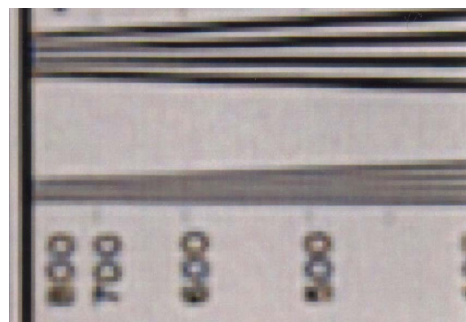
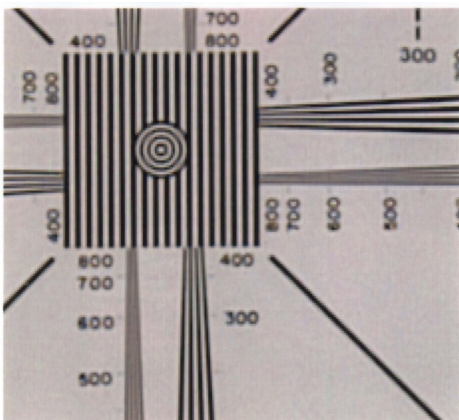
図33 EWSで生成した正弦波CZPチャートでの評価



(a) 原画像(中央付近)



(b) 近傍同色画素平均化色分離方式 (右図は左図の部分拡大)



(c) 相関方向判別色分離方式 (右図は左図の部分拡大)

図34 フレーム蓄積白黒CCDによるRETMAチャートでの評価



(a) 原画像

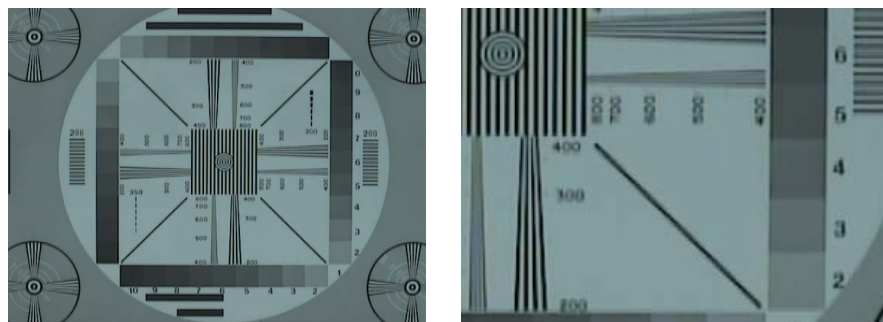


(b) 近傍同色画素平均化色分離方式（右図は左図の部分拡大）

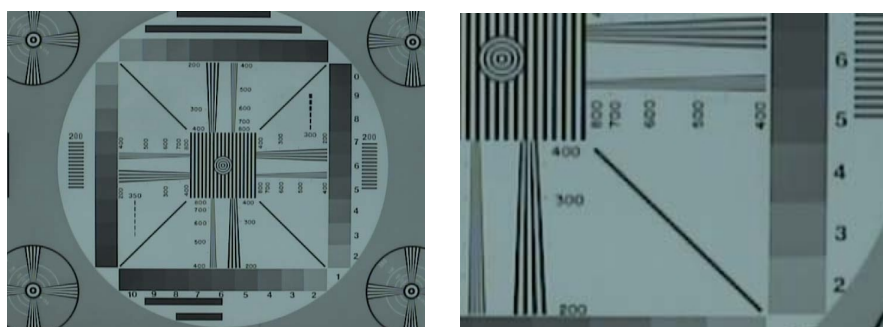


(c) 相関方向判別色分離方式（右図は左図の部分拡大）

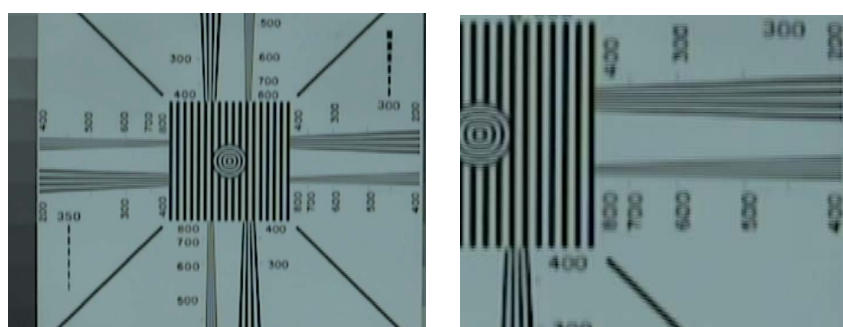
図35 フレーム蓄積白黒CCDによる肌色チャートでの評価



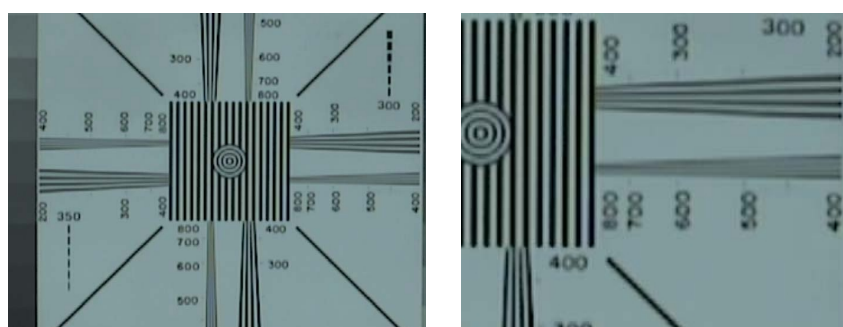
(a) IS-CCD での 1.1 倍電子ズーム画像（右図は左図の部分拡大）



(b) PS-CCD での 1.1 倍電子ズーム画像（右図は左図の部分拡大）



(c) IS-CCD での 2.01 倍電子ズーム画像（右図は左図の部分拡大）



(d) PS-CCD での 2.01 倍電子ズーム画像（右図は左図の部分拡大）

図36 IS-CCDとPS-CCDの電子ズーム画像の比較評価

4. 8 評価結果

本節では、第4. 4節から第4. 7節で行った評価実験の結果をまとめる。

第1に、図 33 から明らかなように本方式の実装については理論通りに行われており、その特性も理論通りとなっていることが確認できた。図 33(c)の相関方向判別色分離方式では、図 33(b)の近傍同色画素平均化色分離方式に比べて、水平、垂直各々の限界解像度まで偽色信号が発生することなく正確に色分離できていることがわかる。一方、斜め方向の周波数の高い(垂直、水平が同時に周波数が高い)部分では偽色信号が発生していることも確認できる。この偽色信号は本方式では理論的に低減できない偽色信号で、実際にビデオカメラで使用する際には、斜め方向の空間周波数特性を制限する光学 LPF を使用することで、その発生を抑制する。

第2に、実撮影時における垂直、水平の解像度の改善と偽色信号発生の低減について、RETMA(解像度)チャート画像を入力信号としたシミュレーションで確認した。図 34(a)の入力信号に対して得られる結果の図 34(c)は、図 34(b)の従来方式に比較して、輝度信号の過渡特性の改善に伴い垂直や水平の輪郭部で鮮鋭感が向上しており、解像度の向上も確認できる。具体的には、垂直解像度 470TV 本、水平解像度 520TV 本が得られている。また、垂直や水平の限界周波数付近における偽色信号の抑圧効果もはっきりと表れている。このように、RETMA チャートのような無彩色画像において偽色信号が発生せず、十分な改善効果を確認できた。

第3に、色差相関色分離方式の欠点である色の輪郭部での偽色信号の発生について、肌色チャート画像を入力信号としたシミュレーションで確認した。図 35 (c)のように顔の輪郭部において、偽色信号の抑圧効果を確認できる。一方、斜めの輪郭部では偽色信号が残っていることも確認できる。しかし、斜め方向に周波数が高い映像を撮影した際に偽色信号が発生することは、第3. 3. 3項に記したように理論的にも判明している。実際にシステム化する際には、この斜め方向の偽色信号の発生を抑制するために、斜め方向のナイキスト周波数成分を除去する光学 LPF を挿入する。したがって、垂直と水平の偽色信号を信号処理でこの程度まで低減できれば、実用上問題ない。

最後に、電子ズーム画像の評価を行った。図 36 を見れば明らかなように、

従来方法に比較して画質がよく、ズーム時の垂直解像度を大幅に改善できた。

以上のシミュレーションの評価結果を表2にまとめる。また、本論文で説明したすべての色分離方式を画質および回路規模の視点から評価した結果を表3に示す。これらの表からわかるように本相関方向判別色分離方式は、解像度、偽色信号、回路規模の点で優れた色分離方式である。

表2 画像シミュレーション評価結果

	近傍同色画素平均化色分離方式	相関方向判別色分離方式
図3 3	水平，垂直限界周波数の1 / 2以上のところで偽色信号発生	水平，垂直限界周波数まで偽色信号なし
	水平及び垂直限界周波数の部分（斜め右上）では偽色信号が発生するが，CCDに入力される前に光学フィルタでカットする帯域であり，問題ない．	
図3 4	水平解像度460TV本 垂直解像度410TV本 偽色信号あり	水平解像度520TV本 垂直解像度470TV本 偽色信号なし
	補色モザイクフィルタCCD（色差線順次方式）では，水平解像度470～480TV本，垂直解像度340TV本	
図3 5	解像感不足 偽色信号多い	原画像に近い解像感 偽色信号少ない
	目の横あたりの肌と髪境界部，カーネーションの茎と部分で偽色信号低減の効果がわかる	
図3 6	垂直解像度が劣化している 不自然さがある	垂直解像度の劣化が少ない 自然な拡大画像
	水平のくさび部分での画質の違いがわかる	

表3 各色分離方式の評価結果

色分離方式 \ 評価項目	画質評価1 (偽色信号)	画質評価2 (解像度)	回路規模
近傍同色画素平均化	×	×	小
エリア原色相関			極めて大
ライン原色相関			大
ライン色差相関			中

4.6 おわりに

本章では、彩度適応相関方向判別を利用したライン色差相関色分離方式の利点と欠点を明確にした上で、ソフトウェアシミュレーションによりその性能を明らかにした。ソフトウェアシミュレーションにおいては、理想的な CZP 信号を EWS で作成して、処理アルゴリズム自体が正確に実装されているか、処理アルゴリズムの持つ特性が理論通りになっているか、という点を確認した。また、実際にシステムに近い状態の検証として、40 万画素の白黒 CCD を使って仮想的にベイヤー配列色フィルタを配した CCD 信号を作り出し、より実機に近い状態を再現した上で、得られる特性をシミュレーションで確認した。また、電子ズーム時の画質改善についてにもその効果をシミュレーションで確認した。

その結果、本方式は従来の単板式カラービデオカメラの欠点である信号の過渡特性の劣化と偽色信号の発生を克服し、かつデジタル信号処理に伴う対ノイズ特性の悪化のない、高画質な画像を得ることができる色分離アルゴリズムであることが確認できた。

第5章 結論

本論文では、回路規模の大幅な増加なく、解像度の向上と偽色信号の低減を実現するライン色差相関色分離方式と、対象画素と対象画素周辺の信号との相関方向を判別する彩度適応相関方向判別からなる相関方向判別色分離方式を提案した。

ライン色差相関色分離方式とは、ベイヤー配列色フィルタの CCD から出力された信号を、対象画素上の垂直方向のみ、もしくは水平方向のみにフィルタリングすることにより算出した2つの低域色信号の比と対象画素の色信号から同一ライン上のもう一方の色信号を算出し、対象画素上のライン上に存在しない色信号を隣接するラインの信号から色差の相関性を利用して内挿する色分離方式である。

彩度適応相関方向判別とは、ライン色差相関色分離で得られた方向別2種類の3原色信号のどちらを使うかを定めるために、画面各部の色の強さに応じて方向判別に用いる信号を適応的に変更しながら、相関の強い方向を判別する方法である。

本論文で提案した、ライン色差相関色分離方式と彩度適応相関方向判別からなる相関方向判別色分離方式は、原理的に、斜め方向のナイキスト周波数成分付近を除き、色フィルタのない白黒 CCD が持つ垂直、水平ナイキスト周波数まで再現できる方式であり、従来の色分離手法に比べて大幅な信号過渡特性の改善と偽色信号の発生低減を実現できる可能性がある。この可能性を検証するために、ソフトウェアシミュレーションによりこの有効性についての評価を行った。その結果、本相関方向判別色分離方式が、

①これまでの 40 万画素色差線順次方式 CCD カラーカメラの水平解像度

470TV 本に対して約1割アップの 520TV 本を確保でき、輝度信号の過渡特性改善により解像感が向上する

② 水平、垂直の輪郭部に発生する偽色信号の低減により、単板式ビデオカメラの画質が向上する

という従来の色分離の課題を克服する性能を有することを示した。

本相関判別色分離方式は、ベイヤー配列色フィルタの CCD の信号処理方式としてその地位を築きつつあり、引き続き今後のデジタルスチルカメラやビデオカメラの高画質化に寄与していくことが期待できる。

一方、本方式もまだ充分でない部分が残されている。本論中にも示した通り、斜め方向に相関が強い時、すなわち斜め方向に明暗が変化する場合に、偽色信号が発生する。この偽色信号を抑えるために現在は光学 LPF を使うことのみで対応しているが、今後は斜め方向の相関性も検出する Multi-Directional な相関方向判別へと進化させる必要がある。併せて、色分離自体も Multi-Directional な相関方向判別に対応できるように拡張しなければならない。また、高彩度部の相関判別精度も充分ではない。この精度向上にむけては、領域毎に RGB 信号のレベル補正を行うことで一段の精度向上が期待できる。今後、これらの課題に対して取り組むことにより、ビデオカメラ画質の一層の向上を目指したい。

ビデオカメラの信号処理における画像処理アルゴリズムの重要性は、デジタル信号処理の普及とともに、日に日に増している。また、昨今のビデオカメラを取り巻くデバイス、特に高画素数の CCD 開発の進展には、目を見張るものがある。画像処理アルゴリズムとデバイスの進展が相乗効果を呼び、デジタルスチルカメラ、デジタルビデオカメラの性能、機能の向上は日進月歩となっており、世の中の期待は非常に高まっている。本研究の成果が、今後のデジタルカメラなどの画像入力機器の発展に寄与できれば幸いである。

謝辞

本論文は、奈良先端科学技術大学院大学在学中に、研究発表、学会論文誌投稿した研究内容を論文としてまとめたものである。

同大学院大学の千原國宏教授には、執筆にあたり数々の有益なご教示と同時に、心暖まる激励をいただきましたことに深甚の謝意を表します。

横矢直和教授、湊小太郎教授には、ご多忙中にもかかわらず御助言、審査いただき感謝致します。

さらに、論文作成などに対して懇切丁寧なご教示、数多くのご助言をいただきました眞鍋佳嗣助教授に心から御礼申し上げます。また、ミーティングを通して、適切なご指導をいただきました大城理助教授、土居元紀助手、黒田知宏助手に感謝致します。

本研究は、筆者が三洋電機株式会社研究開発本部ハイパーメディア研究所にて行ったものをまとめたものであり、研究の遂行、ならびに論文をまとめる機会を与えてくださいました三洋電機株式会社研究開発本部の寺田房夫本部長、ハイパーメディア研究所の虎沢研示所長、宮武正典企画課長、ディスプレイシステム研究部の船造康夫部長、岸本俊一担当部長、小山田健二課長(現三洋電機メディカシステム(株))、放送マルチメディア研究部の松平盛夫部長、マルチメディアカンパニーマルチメディア商品開発研究所の伊藤和夫部長、小林昭男担当課長に深く感謝致します。

また、研究活動はもとより論文の作成にあたり、多大な協力いただきました森幸夫主任、前中章弘主任、岡田秀史主任をはじめ多数の方々に厚く御礼申し上げます。

最後に，筆者の研究活動に対して暖かく見守ってくれた親愛なる家族に感謝します．

参考文献

- [1] 日本放送協会(編):放送技術双書 カラーテレビジョン, 日本放送出版協会, 1961.
- [2] 高柳健次郎:テレビ事始め イの字が映った日, 有斐閣, Jan. 1986.
- [3] 高柳:日本特許 第 93465 号, 1931.
- [4] V.K.Zworykin:日本特許 第 96709, 100714 号, 1932.
- [5] V.K.Zworykin:Proc. IRE, 22, pp.16-32, Jan. 1934.
- [6] V.K.Zworykin, G.A.Morton and L.E.Flory : Proc. IRE, 25, pp.1071-1092, Aug. 1937.
- [7] 塚本, 和久井, 堀之内:電子メディアの近代史, ニューメディア, 1996.
- [8] A.Rose, P.K.Weimer and H.B.Law:Proc. IRE, 34, 7, pp.424, Jan. 1946.
- [9] P.K.Weimer, S.V.Forgue and R.R.Goodrich:Electronics, 23,5, 1950.
- [10] B.H.Vine, R.B.Janes and F.S.Veith:RCA Rev., 13, 1, pp.3-10, 1952.
- [11] 二宮, 長谷川, 和久井:撮像工学, コロナ社, 1975.
- [12] P.K.Weimer et al.:The Tricolor Vidicon, Proc. IRE, 43, 1955.
- [13] 1963 年に日本コロンビア長原が初の周波数分離方式1インチV単管カラーカメラ開発, テレビジョン学会誌, 28, 11, 1974.
- [14] 竹村:CCD カメラ技術入門, コロナ社, 1997.
- [15] W.Shockley:The Theory of PN Junction in Semiconductors and PN Junction Transistors, B.S.T.J., 28, July 1949.
- [16] G.P.Weckler:Operation of p-n Junction Photodetectors in a Photon Flux integration Mode, IEEE J. Solid-State Circuits, SC-2,

- pp.65-73, 1967
- [17] W.S.Boyle and G.E.Smith:Charge Coupled Semiconductor Devices, Bell Syst. Tech. J., 49, pp.587-593, Apr. 1970.
 - [18] G.F.Amelio, et al.:Experimental Verification of the Charge Coupled Semiconductor Devices Concept, Bell Syst. Tech. J., 49, pp.593-600, Apr. 1970.
 - [19] 竹村:CCD カメラ技術, ラジオ技術社, 1986.
 - [20] B.E.Bayer : Color Imaging Array, U.S.Patent, 3971065, July 20, 1976.
 - [21] P.L.P.Dillon, et al.:Color Imaging System using a Single CCD Area Array, IEEE Trans. Electron Devices, ED-25, 2, pp.102-106, Feb. 1978.
 - [22] 森下, 田中:CCD 単板カラーカメラの実験的検討, テレビジョン学会誌, 33, 7, pp.530-535, July 1979.
 - [23] 梅本, 他:単一撮像坂カラーテレビカメラ, テレビジョン学会誌, 33, 7, pp.554-559, July 1979.
 - [24] 長原, 他:小型MOS型単板カラーカメラ, テレビジョン学会誌, 34, 12, pp.1088-1095, Dec. 1980.
 - [25] H.Nabeyama, et al:All Solid State Color Camera with Signal-Chip MOS Imager , IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-27, 1, pp.40-45, Feb. 1981.
 - [26] Y.Takemura and K.Ooi:New Frequency Interleaving CCD Color Television Camera, IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-28, 4, pp.618-624, Nov. 1982.
 - [27] 箕谷, 他:クロスゲート構造FTCCD 固体撮像素子および単板カラー化方式, テレビジョン学会誌, 37, 10, pp.769-775, Oct. 1983.
 - [28] 増田, 他:PAL 方式 MOS 型単板カラーカメラ, テレビジョン学会誌, 37, 10, pp.840-846, Oct. 1983.
 - [39] Y.Takizawa, et al.:Field Integration Mode CCD Color Television Camera using a Frequency Interleaving Method, IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-29, 3, pp.358-364, Aug. 1983.

- [30] 小滝, 瀧澤, 竹村: CCD を用いたフィールド蓄積周波数インターリーブ撮像方式, テレビジョン学会誌, 37, 10, pp.833-839, Oct. 1983.
- [31] 曾根, 他: フィールド蓄積モード CCD の単板カラー化方式, テレビジョン学会誌, 37, 10, pp.855-862, Oct. 1983.
- [32] 森村, 他: 改良型色差線順次単板カラー方式, テレビジョン学会誌, 37, 10, pp.847-854, Oct. 1983.
- [33] T.Watanabe, et al.: A CCD Color Signal Separation IC for Single-Chip Color Imagers, IEEE Trans. Electron Devices, ED-312, pp.183-188, Feb. 1984.
- [34] M.Onga, et al.: Single Processing ICs Employed in a Single-Chip CCD Area Color Camera, IEEE Trans. Consumer Electronics, CE-30, 3, pp.374-380, Aug. 1984.
- [35] 内原, 長谷川: フィールド反転型色差順次方式を用いたCPD単板カラーカメラ, National Technical Report, 31, 1, pp.2128, Feb. 1985.
- [36] 河野, 他: 完全色差線順次単板カラー化方式, テレビジョン学会技術報告, TEBS101-1, Feb. 1985.
- [37] Y.Takemura, et al.: New Field Integration Frequency Interleaving Television Pickup System for Single-Chip CCD Camera, IEEE Trans. Electron Devices, ED-32, 8, pp.1402-1406, Aug. 1985.
- [38] T.Kumesawa, et al.: High Resolution CCD Image Sensors with Reduced Smear, IEEE Trans. Electron Devices, ED-32, 8, pp.1451-1456, Aug. 1985.
- [39] 日本放送協会編: NHKカラーテレビ教科書(上), 日本放送出版協会, 1977.
- [40] 映像情報メディア学会(編): テレビジョンカメラの設計技術, コロナ社, 1999.
- [41] 吹抜: 画像のデジタル信号処理, 日刊工業新聞社, 1981.
- [42] M.F.Tompsett: Charge-Coupling Improves its Image, Challenging Video Camera Tubes, Electronics, pp.162, Jan. 1973.
- [43] 二宮, 他: MUSE 方式の開発, NHK技研, 39, 2, pp.76-111, 1987.
- [44] 魚森, 他: ビデオカメラの自動電子手ゆれ補正方式, 第20回画像工

- 学コンファレンス, 6-3, pp.177-180, 1989.
- [45] 川村, 他: 画面揺れ補正装置の開発, テレビジョン学会全国大会, 16-5, pp.377-378, July 1987.
 - [46] 田村, 他: 単板ビデオカメラのデジタル信号処理, テレビジョン学会技術報告, 15, 7, pp.37-42, 1991.
 - [47] 樫木, 他: CCD カメラのデジタル信号処理, テレビジョン学会技術報告, 20, 55, pp.7-12, 1996.
 - [48] 村田, 前中, 森, 松平, 朝枝, 川上: CCD 信号のディジタルクランプ方式, テレビジョン学会全国大会, 24-1, pp.455-456, July 1992.
 - [49] 森, 前中, 村田, 松平, 朝枝: 色偽信号のディジタル抑圧処理, テレビジョン学会全国大会, 24-2, pp.457-458, July 1992.
 - [50] 前中, 森, 村田, 松平, 朝枝: 電子ズームにおける垂直補間方式, テレビジョン学会全国大会, 24-6, pp.465-466, July 1992.
 - [51] 木原, 他: マビカシステム, テレビジョン学会技術報告, TEBS80-5, July 1982.
 - [52] 村田, 沖野, 金山, 堀内, 宮永: 小型電子スチルカメラの開発, テレビジョン学会技術報告, 12, 57, pp.31-36, Dec. 1988.
 - [53] 前中, 森, 村田, 岡田, 井出: "PS-CCD における相関判別色分離方式", 映像情報メディア学会誌, 55, 1, pp.110-122, 2001.
 - [54] 石上, 他: 1/2 インチ全画素読み出し方式 CCD 撮像素子, テレビジョン学会誌, 48, 2, pp.178-183, Feb. 1994.
 - [55] 前中, 森, 村田: ビデオカメラの相関判別色分離方式, テレビジョン学会年次大会, pp.113-114, Feb. 1994
 - [56] 小寺, 他: 色の相関を利用した単色画像からのフルカラー画像の表示方式, 昭和 63 画電学会大, 16, 20, pp.83-86, 1988.
 - [57] 杉浦, 他: 単板カラービデオカメラ用新輝度信号生成方式, テレビジョン学会誌, 48, 2, pp.210-216, Feb. 1994.
 - [58] 藤田: CCD カメラの性能と画質, 放送技術, 41, 12, 1988.
 - [59] 安藤, 他: 固体撮像素子の基礎, 日本理工出版会, pp.55-61, 1999.
 - [60] 岡田, 他: 相関判別色分離方式によるビデオカメラ用ディジタル信号処理 LSI の開発, 1995 年テレビ年次大, pp.9-10, 1995.

研究業績

[研究論文]

村田治彦, 森幸夫, 前中章弘, 岡田秀史, 千原國宏: "PS-CCD における相関判別色分離方式", 映像情報メディア学会誌, Vol.55, No.1, pp.110-122, 2001.

寺田克美, 村田治彦, 山下周悟, 森幸夫, 岸本俊一, 佐藤宏介, 千原國宏: "2D/3D映像変換システムの開発", 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.3, pp.391-398, 1998.

[解説論文]

村田治彦: "2D/3D変換技術", 映像情報メディア学会誌, Vol.53, No.3, pp.391-398, 2000.

森幸夫, 村田治彦, 山下周悟, 前中章弘, 岡田誠司: "新方式2D/3D変換マルチパーパス LSI", SANYO TECHNICAL REVIEW Vol.30 No.2, pp27-35, Nov. 1998.

[国際会議]

Haruhiko Murata, Yukio Mori, Akihiro Maenaka, Hidefumi Okada and Kunihiro Chihara: "Correlative Directional Interpolation for Single-CCD Color Video Camera", in World Multiconference on Systemics, Cybernetics

and Informatics (SCI 2000) Proceedings Vol.VI Image, Acoustic, Speech and Signal Processing: Part II, pp.134-137, July 25, 2000.

Toshiya Iinuma, Haruhiko Murata, Shugo Yamashita, and Kenji Oyamada:"Natural Stereo Depth Creation Methodology for a Real-time 2D-to-3D Image Conversion", in 2000 SID International Symposium Digest of Technical Papers, Vol.XXXI, pp1212-1215, May 18, 2000.

Haruhiko Murata, Yukio Mori, Seiji Okada, S. Ishizuka, T. Takebishi. and Kunihiro Chihara: "Digital Image Processing Technology for Surveillance Camera", in The Third International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT2000), Jan.14, 2000.

Haruhiko Murata, Yukio Mori, Shugo Yamashita, Akihiro Maenaka, Seiji Okada, Kenji Oyamada, and Shun-ichi Kishimoto:"A Real-Time 2-D to 3-D Image Conversion Technique Using Computed Image Depth", in 1998 SID International Symposium Digest of Technical Papers, Vol.XXIX, pp919-922, May 21, 1998.

Toshiyuki Okino, Haruhiko Murata, Kenji Taima, Toshiya Iinuma, and Kazunobu Oketani:"New television with 2D/3D image conversion technologies", in SPIE, Vol.2653, pp95-103, Jan. 1996.

Haruhiko Murata, Toshiyuki Okino, Toshiya Iinuma, Shugo Yamashita, Susumu Tanase, Katsumi Terada, and Keiichi Kanatani:"Conversion of Two-Dimensional Images to Three Dimensions", in 1995 SID International Symposium Digest of Technical Papers, Vol.XXVI, pp859-862, May 25, 1995.

[国内発表]

村田治彦, 森幸夫, 岡田誠司, 石塚貞義, 竹菱尚弘: "監視カメラ用デジタル信号処理 LSI の開発", ITE'99 6-7, pp.88-89, Aug.23, 1999.

寺田克美, 村田治彦, 佐藤宏介, 千原國宏: "立体画像変換システムの評価", 第162回画像電子学会研究会, pp.17-22, 1998.

寺田克美, 村田治彦, 佐藤宏介, 千原國宏: "立体映像変換システム", 3次元映像のフォーラム 第43回研究会, 12, 1, pp.6-12, 1998.

山下周悟, 村田治彦, 森幸夫, 前中章弘, 岡田誠司, 小山田健二, 岸本俊一: "リアルタイム2D/3D変換技術", 電気関係学会連合大会 S68, 画像電子学会研究会予稿 98-03-06, pp.33-37, Nov.11, 1995.

小林昭男, 岡田秀史, 井出廣一, 宅間正男, 伊藤和夫, 村田治彦: "高速撮像ビデオカメラの開発", ITEJ Technical Report, 29, 21, pp.7-12, Mar.15, 1996

岡田秀史, 井出廣一, 山本徹, 小坂渉, 小林昭男, 伊藤和夫, 村田治彦, 松田誠司: "相関判別色分離方式によるビデオカメラ用デジタル信号処理 LSI の開発", ITE'95 1-5, July 26, 1995, pp.9-10

寺田克美, 村田治彦, 沖野俊行, 飯沼俊哉, 金谷経一: "2D/3D自動ソフト変換技術の開発", 3次元映像のフォーラム, pp.9-12, 1995.

前中章弘, 森幸夫, 村田治彦, 岡田秀史, 井出廣一: "ビデオカメラの相関判別色分離方式", ITE'94 8-2, pp.113-114, July 29, 1994.

村田治彦, 前中章弘, 森幸夫, 松平盛夫, 朝枝徹, 川上聖肇, "CCD 信号のデジタルクランプ方式", ITEC'92 24-1, pp.455-456, July 1992.

森幸夫, 前中章弘, 村田治彦, 松平盛夫, 朝枝徹, “色偽信号のデジタル抑圧処理”, ITEC'92 24-2, pp.457-458, July 1992.

前中章弘, 森幸夫, 村田治彦, 松平盛夫, 朝枝徹, “電子ズームにおける垂直補間方式”, ITEC'92 24-6, pp.465-466, July 1992.

村田治彦, 沖野俊行, 金山秀行, 堀内浩, 宮永明, “小型電子スチルカメラの開発”, ITEJ Technical Report, Vol.12, No.57, pp.31-36, Dec.22, 1988.

[工業所有権(特許)]

出願者 (発明者)	公開番号	発明の名称	出願日
村田治彦 他	特開 2000-287182	動き検出装置及び映像変換装置	平 11. 3.31
村田治彦 他	特開 2000-152253	ビデオカメラ	平 10.11. 4
村田治彦 他	特開 2000-152258	ビデオカメラ	平 10.11. 4
村田治彦 他	特開 2000-101872	映像補間回路	平 10. 9.17
村田治彦 他	特開平 11-146423	2次元映像を3次元映像に変換する装置および方法	平 9.11.10
村田治彦 他	特開平 11-110180	二次元画像を三次元画像に変換する方法及び装置	平 9.10. 3
村田治彦 他	特開平 11-95186	液晶シャツタ眼鏡	平 9. 9.24
村田治彦 他	特開平 11-98531	2次元映像を3次元映像に変換する装置及び方法	平 9. 9.24
村田治彦 他	特開平 11-98536	液晶シャツタ眼鏡	平 9. 9.24
村田治彦 他	特開平 11-98537	立体視用眼鏡	平 9. 9.24
村田治彦 他	特開平 11-98538	液晶シャツタ眼鏡の駆動装置	平 9. 9.19
村田治彦 他	特開平 11-98539	液晶シャツタ眼鏡用の空間伝送信号送出装置	平 9. 9.19
村田治彦 他	特開平 11-98540	液晶シャツタ眼鏡システム用LSI	平 9. 9.19
村田治彦 他	特開平 11-88911	3次元映像信号生成装置	平 9. 9. 5
村田治彦 他	特開平 11-69382	2次元映像を3次元映像に変換する方法	平 9. 8.27
村田治彦 他	特開平 11-32323	スチル画像による監視システム	平 9. 7. 8
村田治彦 他	特開平 10-336511	カメラ装置	平 9. 6. 5
村田治彦 他	特開平 11-45379	監視システム	平 9. 6. 5

村田治彦 他	特開平 10-322677	デジタル放送システムにおける使用料金確認方法	
	平 9. 5.16		
村田治彦 他	特開平 10-322726	プラズマディスプレイパネルを用いた時分割メガネ方式の立体映像表示方法	平 9. 5.15
村田治彦	特開平 10-276161	デジタル放送システム	平 9. 3.27
村田治彦	特開平 10-276421	デジタル放送システム	平 9. 3.27
村田治彦 他	特開平 10-191399	立体映像表示装置における液晶シャツタメガネ	平 8.12.26
村田治彦 他	特開平 10-164448	テレビ放送システムにおける映像再生方法およびテレビ放送システムにおける映像再生装置	平 8.12. 2
村田治彦	特開平 10-150608	デジタル放送システムのユーザ側端末	平 8.11.19
村田治彦 他	特開平 10-108220	2次元映像を3次元映像に変換する装置	平 8. 9.26
村田治彦 他	特開平 10-93993	2次元／3次元映像変換装置	平 8. 9.11
村田治彦 他	特開平 08-331598	立体映像表示装置	平 8. 3. 6
村田治彦 他	特開平 09-200605	デジタルビデオカメラ	平 8. 1.12
村田治彦 他	特開平 09-138384	立体画像観察用眼鏡の制御方法	平 7.11.15
村田治彦 他	特開平 09-116928	2次元映像を3次元映像に変換する方法	平 7.10.20
村田治彦 他	特開平 09-116929	2次元映像を3次元映像に変換する方法	平 7.10.20
村田治彦 他	特開平 09-116931	時分割立体映像信号の左右映像識別方法	平 7.10.18
村田治彦 他	特開平 08-289331	2次元映像を3次元映像に変換する方法	平 7. 9. 5
村田治彦 他	特開平 09-46599	固体撮像装置	平 7. 7.31
村田治彦 他	特開平 08-149514	2次元映像から3次元映像を生成する方法	平 7. 5.30
村田治彦 他	特開平 08-331599	時分割方式立体映像信号検出方法, 時分割方式立体映像信号検出装置および立体映像表示装置	平 7. 5.29
村田治彦 他	特開平 08-289330	3次元映像変換方法	平 7. 4.17
村田治彦 他	特開平 08-149517	2次元映像から3次元映像を生成する方法	平 7. 4.13
村田治彦 他	特開平 08-149513	2次元映像を3次元映像に変換する方法	平 7. 4.11
村田治彦 他	特開平 08-149512	2次元映像を3次元映像に変換する方法	平 7. 3.17
村田治彦 他	特開平 08-248328	立体内視鏡	平 7. 3.14
村田治彦 他	特開平 08-205196	2次元映像を3次元映像に変換する方法	平 7. 2.17
村田治彦 他	特開平 07-319446	立体映像表示装置	平 6.12.27
村田治彦 他	特開平 08-171371	非線形特性補正回路	平 6.12.20
村田治彦 他	特開平 08-163599	動きベクトル検出装置	平 6.11.30
村田治彦 他	特開平 08-149515	立体撮像装置	平 6.11.18
村田治彦 他	特開平 07-287773	3次元映像ソフト変換方法	平 6. 9.22
村田治彦 他	特開平 09-107562	2次元映像を3次元映像に変換する方法及び3次元映像信号生成装置	平 6. 9.22
村田治彦 他	特開平 08-70474	立体撮像装置及び立体画像記録再生装置	平 6. 8.29
村田治彦	特開平 08-65713	立体画像信号変換装置	平 6. 8.23
村田治彦 他	特開平 08-62533	立体表示装置	平 6. 8.19
村田治彦 他	特開平 08-1922	立体静止画像のプリント方法	平 6. 6.21
村田治彦 他	特開平 08-1923	立体静止画像のプリント方法	平 6. 6.21
村田治彦 他	特開平 08-7125	3次元画像信号処理装置	平 6. 6.21

村田治彦	他	特開平 08-9421	立体映像装置	平 6. 6.20
村田治彦	他	特開平 08-9424	立体画像撮像制御装置	平 6. 6.20
村田治彦	他	特開平 07-72384	立体撮像装置及び立体画像記録再生装置	平 6. 5.25
村田治彦	他	特開平 07-287772	3次元映像ソフト変換方式	平 6. 4.28
村田治彦	他	特開平 07-298275	ビデオカメラの信号処理回路	平 6. 4.26
村田治彦	他	特開平 07-236147	単板式カラービデオカメラの色分離回路	平 6. 4.18
村田治彦	他	特開平 07-287191	立体効果発生メガネ	平 6. 3.31
村田治彦	他	特開平 07-274214	立体ビデオカメラ	平 6. 3.30
村田治彦	他	特開平 07-274216	立体映像表示装置	平 6. 3.30
村田治彦	他	特開平 07-274209	2次元画像を3次元画像に変換する方法及び装置	平 6. 3.28
村田治彦	他	特開平 07-274210	2次元画像を3次元画像に変換する方法及び装置	平 6. 3.28
村田治彦	他	特開平 07-274213	立体ビデオカメラ	平 6. 3.28
村田治彦	他	特開平 07-264631	2次元画像を3次元画像に変換する方法及び装置	平 6. 3.24
村田治彦	他	特開平 07-264633	立体ビデオカメラ	平 6. 3.24
村田治彦	他	特開平 07-244343	立体写真	平 6. 3. 3
村田治彦	他	特開平 07-234460	3次元画像信号処理方法	平 6. 2.24
村田治彦	他	特開 2000-101937	高速撮影装置	平 6. 1.28
村田治彦	他	特開平 07-212657	高速撮影装置及び記録再生装置	平 6. 1.27
村田治彦	他	特開 2000-32375	記録再生装置	平 6. 1.27
村田治彦	他	特開平 07-111610	立体撮像装置	平 5.10.13
村田治彦	他	特開平 07-107517	立体撮像装置	平 5. 9.30
村田治彦	他	特開平 07-67018	ビデオ信号処理回路	平 5. 8.26
村田治彦	他	特開平 07-95623	立体撮像装置	平 5. 6.25
村田治彦	他	特開平 07-7655	高精細撮像装置	平 5. 6.18
村田治彦		特開平 06-225195	撮像装置	平 5. 1.28
村田治彦		特開 2000-101897	撮像装置	平 5. 1.28
村田治彦	他	特開平 06-22223	フレームトランスファ型固体撮像素子のスミア除去回路	平 4. 7. 2
村田治彦	他	特開平 06-46446	デジタルビデオカメラ	平 4. 4.16
村田治彦	他	特開平 06-46306	映像信号処理回路	平 4. 4. 6
村田治彦	他	特開平 06-292211	カラービデオカメラの色偽信号抑圧回路	平 4. 3.26
村田治彦	他	特開平 05-130632	映像信号処理回路	平 4. 3.10
村田治彦	他	特開平 07-255000	映像信号処理回路	平 4. 3.10
村田治彦	他	特開平 05-252530	点順次信号用フィルタ装置	平 4. 3. 6
村田治彦	他	特開平 06-46317	映像信号処理回路	平 4. 3. 2
村田治彦	他	特開平 05-244459	デジタルビデオカメラ	平 4. 2.28
村田治彦	他	特開平 05-244460	可変ガンマ補正回路	平 4. 2.28
村田治彦	他	特開平 05-244482	デジタルカメラのキャラクタ挿入回路	平 4. 2.28
村田治彦	他	特開平 05-244490	デジタルカメラ信号処理回路	平 4. 2.28

村田治彦 他	特開平 05-244491	デジタルカメラ信号処理用集積回路	平 4. 2.28
村田治彦 他	特開平 05-244492	デジタルビデオカメラ	平 4. 2.28
村田治彦 他	特開平 05-244496	デジタルフュード回路	平 4. 2.28
村田治彦 他	特開平 05-244623	デジタルカメラ信号処理回路	平 4. 2.28
村田治彦 他	特開平 05-304629	映像信号処理回路	平 4. 2.28
村田治彦 他	特開平 06-14340	ビデオカメラ回路	平 4. 2.28
村田治彦 他	特開平 06-46311	ビデオカメラ	平 4. 2.28
村田治彦 他	特開平 06-46305	ビデオカメラの垂直補間回路	平 4. 2.27
村田治彦 他	特開平 06-46309	ビデオカメラ	平 4. 2.27
村田治彦 他	特開平 05-244612	カラービデオカメラの原色信号作成回路	平 4. 2.26
村田治彦 他	特開平 05-236312	ビデオカメラ	平 4. 2.25
村田治彦 他	特開平 06-46431	カメラ信号処理回路	平 4. 2.24
村田治彦 他	特開平 05-232461	液晶パネル	平 4. 2.19
村田治彦 他	特開平 05-211626	オートフォーカス装置	平 4. 1.31
村田治彦 他	特開平 05-211653	デジタルカメラ	平 4. 1.31
村田治彦 他	特開平 05-207329	デジタルビデオカメラの信号処理回路	平 4. 1.30
村田治彦 他	特開平 05-145807	カラービューファインダ	平 3.11.20
村田治彦 他	特開平 05-103350	液晶立体プロジェクタ	平 3.10. 3
村田治彦 他	特開平 04-167884	デジタルカメラ用集積回路	平 2.10.31
村田治彦 他	特開平 04-126477	デジタルCCDカメラ	平 2. 9.17
村田治彦 他	特開平 04-123030	投写型液晶表示装置	平 2. 9.14
村田治彦 他	実開平 04-55084	投写型液晶表示装置	平 2. 9.14
村田治彦 他	特開平 03-252278	電子スチルカメラの露光制御方法	平 2. 2.28
村田治彦	特開平 03-117275	オートフォーカスカメラ	平 1. 9.29
村田治彦	特開平 03-117276	オートフォーカスカメラ	平 1. 9.29
村田治彦	特開平 03-117277	オートフォーカスカメラ	平 1. 9.29
村田治彦	特開平 03-106273	オートフォーカスカメラ	平 1. 9.20
村田治彦 他	特開平 03-96178	オートフォーカス装置	平 1. 9. 8
村田治彦	特開平 03-85875	オートフォーカスカメラ	平 1. 8.29
村田治彦 他	特開平 03-70272	オートフォーカスカメラ	平 1. 8. 9
村田治彦 他	特開平 03-70273	オートフォーカスカメラ	平 1. 8. 9
村田治彦	特開平 03-68280	オートフォーカスカメラ	平 1. 8. 8
村田治彦 他	特開平 03-60580	オートフォーカスカメラ	平 1. 7.28
村田治彦 他	特開平 03-44175	電子カメラ	平 1. 7.11
村田治彦 他	実開平 03-12573	電子スチルカメラ	平 1. 6.20
村田治彦 他	特開平 02-243070	オートフォーカスカメラ	平 1. 3.15
村田治彦 他	特開平 02-219379	固体撮像素子の駆動方法	平 1. 2.20
村田治彦 他	実開平 02-95324	ズーム機能付カメラ	平 1. 1.19
村田治彦 他	特開平 02-166428	外部測光式カメラ	昭 63.12.20
村田治彦	特開平 02-50592	カラービデオカメラの自動白バランス調整回路	昭 63. 8.11
村田治彦 他	実開平 02-17704	カメラ	昭 63. 7.20
村田治彦 他	実開平 02-17724	カメラ	昭 63. 7.18

村田治彦 他	特開平 01-78082	電子スチルカメラの自動露光制御方法	昭 62. 9.18
村田治彦 他	特開平 01-51876	高速撮映回路	昭 62. 8.24
村田治彦 他	特開昭 63-261331	カメラ用の発光色温度制御方法	昭 62. 4.20
村田治彦	実開昭 63-102383	カラー撮像装置	昭 61.12.20
村田治彦	特開昭 63-119390	フレーム静止画撮像方法	昭 61.11. 7
村田治彦 他	特開昭 63-69393	モアレ防止回路	昭 61. 9.11
村田治彦 他	特開昭 62-202682	オートフォーカス機構	昭 61. 5. 9
村田治彦 他	特開昭 62-176377	白色欠陥補償回路	昭 61. 1.30
村田治彦	実開昭 62-85955	電子スチルカメラの駆動電源選択回路	昭 60.11.19
村田治彦 他	特開昭 62-114382	欠陥補正回路	昭 60.11.13
村田治彦 他	実開昭 62-49372	固体撮像素子の欠陥補正回路	昭 60. 9.17
村田治彦	特開昭 61-265988	電子カメラ	昭 60. 5.20