

3-5 オート機能(AF, AE, AWB)

川口直樹[†], 清水秀二[†]
小橋貴志[†]

1. ま え が き

民生用ビデオカメラの普及に伴い, AF, AE, AWB (Auto Focus, Auto Exposure, Auto White Balance)は機器として必要不可欠な機能となった. またその性能も, 誰でも簡単に, かつ満足できることを目的とし, 日々発展を続けている. 本編では, これら基本機能の原理と今後の動向について解説する.

2. AF

スチルカメラに用いられている赤外線を用いた測距方式やラインセンサを用いた位相差検出方式は, ビデオカメラにおいて現在ほとんど用いられておらず, 主流は映像信号検出方式といっても過言ではない. この方式はピントが合ったフォーカス位置では, 映像信号の高周波成分が最大になるという性質を利用するものである¹⁾.

主流になった理由として以下このことが挙げられる.

- ・映像信号を直接 AF 信号として用いるので, 別に AF センサを必要としない. このため, レンズ周りがシンプル/小型軽量/ローコストにできる
- ・AF 制御ループが閉ループ構成となるため, ピントが合ったときの精度が高く, また調整箇所が少ない
- ・TTL 方式のためパララックスがなく, 高倍率ズームレンズ/マクロ撮影に対応できる

映像信号検出方式における基本的な信号処理を図1に示す. ビデオ輝度信号を HPF に通して整流したのちゲート回路を通し, 検波回路にてフィールド内の高周波成分(以下, 焦点信号と呼ぶ)を検出する. ゲート回路はフォーカシングエリアを抽出するためのもので

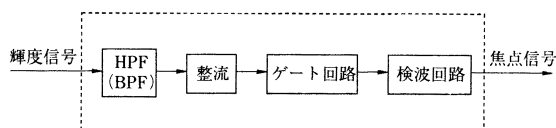


図1 AF 検波回路

ある. 検波回路としては, 平均値(積分値)検波, ピーク値検波および, 両者の中間的検波方法が用いられている.

図2には, 焦点信号とピント位置の関係を示した. 合焦位置で焦点信号は最大となり, AF においては焦点信号が最大となるよう山登り制御を行う.

AF 制御ブロックを図3に示す. CCD/カメラ信号処理回路より得られる輝度(Y)信号は AF 検波回路に入力され, その出力である焦点信号はマイクロコンピュータ(以下マイコンと記す)に入力される. マイコン内にて制御演算を行い, フォーカス駆動方向/スピードを出力しフォーカスレンズを駆動する, 閉ループ構成となっている.

以上, 簡単に原理について述べたが, この方式の原理的に難しい点を列記すると以下のようなだろう.

- (1) 実際の映像信号を用いるので, 見た目に映像が不自然とならぬようフォーカスレンズの動きに制限がある.
- (2) 焦点信号はフィールド周波数でしか得られず, かつ原理的に前ピン/後ピン情報がいないため, フォーカスレンズを動かすことにより焦点信号の傾きを求め方向検出することが必要となる. これらの遅延要素が求められる AF 性能に対し無視できない(例えば, 焦点信号を得るのに2, 方向検出に1, フォーカスレンズ駆動に1フィールド遅延とすると, 計4フィールド遅延となる).
- (3) 合焦動作を早くするために, ボケ(ピントズレ)を定量的に検出しフォーカススピードを決定できればよいが(制御におけるエラー量に相

[†] ソニー株式会社 コンシューマー AV カンパニー パーソナル AV 部門
“The Function of AF, AE and AWB” by Naoki Kawaguchi, Shuji Shimizu and Takashi Kohashi (Sony Corporation, Tokyo)

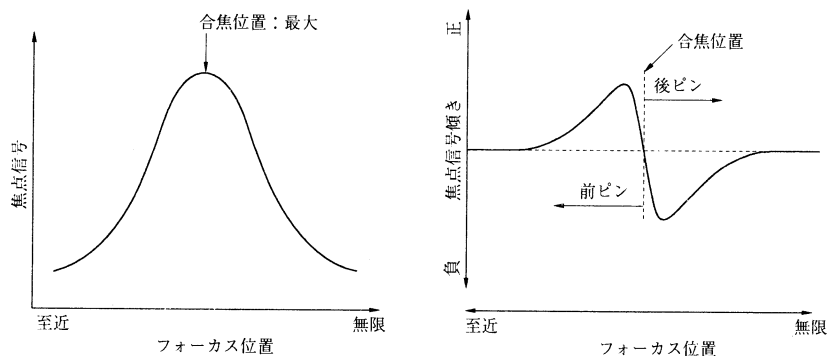


図 2 焦点信号とピント位置

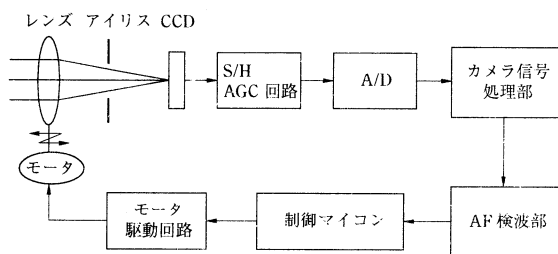


図 3 AF 制御ブロック図

当する), 焦点信号の山の高さ, 形は被写体のコントラスト, 空間周波数などにより大きく変化するため, 一意的に決めることができない。

- (4) 被写体の動き, 手ぶれ, パン/チルト, ズーミング等により焦点信号は大きく変動する。すなわち外乱要因が大きいため, AF 動作の迷い, 合焦点のふらつきを生じる。

これらの問題点に対し, (1)についてはインナーフォーカスレンズ¹⁾の採用が大きく貢献している。このレンズは, 従来まで用いられていた前玉フォーカスレンズと比べ, 映像信号検出 AF と相性の良いレンズといえる。また, (2), (3), (4)に関しては, 技術的ノウハウの蓄積とそれを実現するためのマイコンの性能向上 (ROM/RAM 容量, 処理速度) により, 実使用上不満のないレベルまで改善されてきたというのが現状であろう。

今後の課題としては, まずレンズのズーム高倍率化がさらに進むと予想され, それに伴うフォーカス移動量の増大により, 今まで以上に合焦動作の向上と安定性という, 相反する性能が要求されるであろう。これを解決するためには, AF 検波回路, フォーカスアクチュエータを含めた改善が必要となるであろう。次に, いかなる AF 方式でも悩まされる, フォーカシン

グエリアをどこに設定するかという基本的問題がある。映像検出方式の場合, フォーカシングエリアの移動が他の方式に比べ容易にできるという利点はあるものの, 何の情報に基に移動させるかが課題である。これについては近年, 動きベクトル³⁾や視線検知⁴⁾を用いるものが研究/実用化されており, 今後, よりインテリジェント化が進むものと思われる。

3. AE

AE の基本動作は, アイリス/電子シャッター/AGC アンプなどを制御することで撮像素子より出力される撮像信号を調整し, 安定にして信号処理部に伝送することである。その制御は, かつては映像信号を LPF に通したものを露光制御信号とし, 露光基準値と比較器で比較してフィードバック制御していたが, 最近では図 4 に示すように映像信号を A/D 変換した値を積分器で検波し, 制御マイコンで処理して露光制御する方法が一般的となっている。

AE の基本機能は, 大きく分けて検波特性と応答特性の 2 つが挙げられる。以下にその概要を述べる。

3.1 検波特性

被写体の輝度のダイナミックレンジに比べ, 撮像素子のダイナミックレンジは極めて狭いため, あらゆる

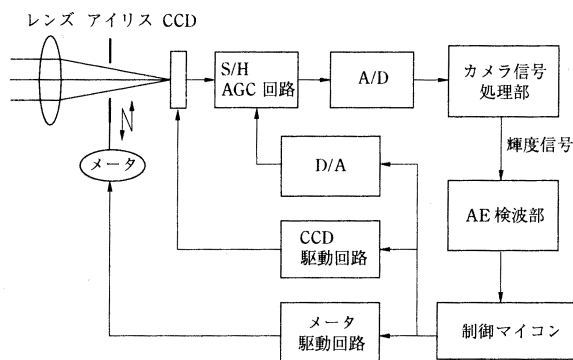


図 4 AE 制御ブロック図

状況下において常に信号処理部に最適の撮像信号を伝送できるように露光制御することは極めて難しい。検波特性をどのようにするかによって、被写体の撮像信号が常に最適値になるかどうか左右される。

AE の基準となる露光基準値は、使用する撮像素子/信号処理回路などのレベルダイヤにより決定されており、例えば、画面内の画素の輝度積分値を画面の画素数で割ったものを露光制御信号として用いる場合、輝度成分が一樣である被写体ではおおよそ問題ないが、一般的な被写体では輝度分布が一樣でないことの方が多く、検波が画面内の輝度積分値の大きい部分に引かれてしまうため、逆光/過順光といった状態を招きやすい。

このような検波特性を改善するために、図 5 に示すように画面を多分割して、それぞれのエリアに重みを付けた結果を露光制御信号として用いる手段がある。例えば、画面上部には空が入ることが多く、輝度積分値が大きくなる可能性が高いので重みを小さくしておく、といった具合である。画面の分割方法、重みの付け方は各社各様であり、AE 検波部を、各エリアごとの輝度平均値や輝度ピーク値などを検波値として出力

するように設計し、それらを用いて制御マイコンで、ファジィ理論⁵⁾/ニューラルネットワーク⁶⁾などを応用した処理により、各エリアの重み付け量を決定するのが研究/実用化されている。また、画面内の輝度分布を用い、その分布状態によって逆光/過順光状態を判断し露光基準値を補正する方法なども実用化されている⁷⁾。

このような逆光/過順光状態の改善以外に、暗いところは暗く、明るいところは明るく見せるといったような肉眼の特性に似せた自然な露光制御や、黒レベルシフト/可変ガンマカーブ制御などの技術により、見かけのダイナミックレンジの拡大が試みられている。

3.2 応答特性

露光制御系、すなわちアイリス/電子シャッター/AGC アンプは、被写体の明るさの変化に応じて動作し、信号処理部に常に安定した映像信号を供給することが基本である。しかしながら、民生用ビデオカメラは主に連続した映像を記録する用途に用いられるため、被写体の移動などによる微妙な明るさの変化のたびに露光制御系が敏感に応答してしまうと、記録される映像がかえって見苦しくなってしまふことがある。

これを改善するために、露光制御信号と露光基準値の差の大きさ(エラー量)や、ズームレンズの移動情報などを用いて制御系の応答時定数を変化させることにより、応答特性を最適化することが実現されている。

以上のような検波特性/応答特性の改善により、AE の性能は明らかに向上してきているが、あらゆる撮影状況/照度状態に対してフルオートで満足しうる性能を得るにはまだ問題が多い。例えば、撮像素子のダイナミックレンジが狭い、ユーザが撮影したい被写体を特定できないため画面内のどの部分を最適露出に設定すればよいかわからない、といった問題などである。しかしこれらの問題も、撮像信号出力を入射光量

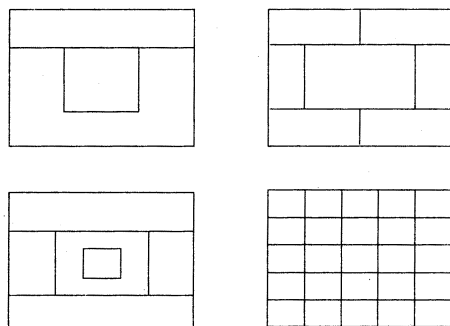


図 5 AE 検波部における画面分割例

に対して対数的に出力する撮像素子の開発（現時点では CCD ラインセンサである）、視線検知技術による検波エリアの被写体追尾、被写体部分の輝度情報の抽出など、問題解決に有効と思われる技術開発が報告されており、将来これらを利用することによって、より AE の高性能化が進むものと思われる。

4. AWB

ビデオカメラにおいて、正確な色再現を得るための基本となるのがホワイトバランスである。ホワイトバランスをとるということは、光源の分光分布（相關色温度）に応じてカメラの分光特性を変え、白い被写体が白く撮像されるようにするということである。具体的には、白い被写体を撮像したときに三原色（R, G, B）の比が 1:1:1（すなわち色差信号（R-Y, B-Y）が零）になるように R と B のゲインを補正する。その補正量を正確に得るためには、画面全体に白い被写体を撮像した状態でホワイトバランスをとればよい。しかしながら、それでは通常の撮影状態でホワイトバランスをとることができず、ホワイトバランスの自動追尾機能（AWB）は実現できない。

現在、実用化されている AWB の方式は大きく 3 つに分けられる。外部センサ方式と画像処理方式およびそれらの併用方式である。

外部センサ方式は、撮像素子とは別にセンサを設け、その情報を基に相關色温度を検出するものである。一例を図 6 に示す。この方式は、被写体に当たる光とセンサに当たる光が同じ場合には正確なホワイトバランスが得られるが、そうでない場合には誤動作する。とくに、ズームレンズが高倍率になるほど、そのような誤動作の可能性が大きくなる。また、撮像素子とは別のセンサを用いるため、センサとカメラの分光感度特性の合わせ込みが必要である、小型化に向かない/コストがかかる、などの難点がある。それらのことから、近年はあまり用いられていない。

画像処理方式は、撮像素子から得られる画像信号を基に画像処理によって相關色温度を検出するものである。一例を図 7 に示す。この方式で正確にホワイトバランスを合わせるためには、画像信号から無彩色のデータを抽出しなければならない。その基になるのは、「画面全体を積分すると（多くの色を混ぜ合わせると）無彩色になる」という仮定である。したがって、画面内で特定の色相の色が大面積を占める場合には、原理的に誤動作の可能性がある。しかし、特別なセンサを必要としないため、小型化に適している/コストが安いなどの利点があるため、現在ではほとんどすべての

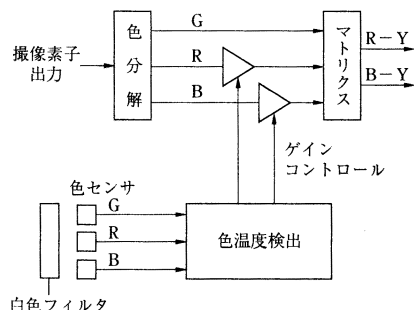


図 6 外部センサ方式 AWB ブロック図

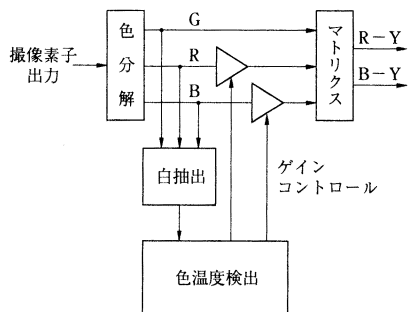


図 7 画像処理方式 AWB ブロック図

ビデオカメラでこの方式が採用されている。

併用方式は、これら 2 つの方式の良いところを生かそうとする試みであるが、小型化に向かないことやコストが高いことなどがあり、採用機種は限られている。

これら 3 方式のうち、原理的な欠点を持つにもかかわらず画像処理方式が主流と成り得たのは、上記の理由のほかに、制御アルゴリズムの改善により欠点かなりの部分まで克服され、実用上ほぼ問題のないレベルに達してきたということがある。

ここで、画像処理方式の性能改善の手法について述べる。そのポイントは、画像信号から抽出する無彩色のデータの精度をどのように改善するかということと、抽出した結果のデータの信頼度をどのように判断するかということである。前者については、画像信号を積分するときになるべく白に近い部分だけを積分するように、積分範囲を制限するという手法が取られている。白に近いという判断基準としては、輝度レベルが高い/色差が零に近い、などがある。後者については、そうして得られた結果に、被写体の照度やズーム位置などの環境情報を加味して、正しく無彩色のデータが抽出されているかどうかを判断し、正しく抽出さ

れていれば光源の種類(太陽光/蛍光灯/白熱灯)などを推測し、それに応じて最適な補正を行っている。

最後に、今後の動向としては、ホワイトバランスの範疇にとどまらず、色再現の向上が望まれる。冒頭に述べたように、ホワイトバランスは正確な色再現の基本であるが、白が合っているでも光源の種類によって色再現が変わってくる。そこで、光源の種類に応じて色差マトリクスなどを制御し、光源ごとにより好ましい色再現が得られるようにする手法の開発が進んで行くものと思われる。

5. む す び

民生用ビデオカメラにおける、AF、AE、AWB機能のここ数年間の進化には著しいものがあり、充分オートと呼べる性能に到達していると思われる。しかしながら、ビデオカメラのトイジーオペレーション化が進むにつれ、その機能の重要性/性能に対する要求はますます高まってきている。今後とも、これまで以上に大きく発展を遂げて行くことであろう。

(1994年9月26日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 石田ほか：“山登りサーボ方式によるテレビカメラの自動焦点装置”，NHK 技術研究, 17, 1 (1965)
- 2) 久我ほか：“高速・高精度オートフォーカスレンズシステム”，

National Technical Report, 37, 3 (1991)

- 3) 西田ほか：“動きベクトル検出を用いた被写体追尾 AF”，信学技報, MR 91-17 (1991)
- 4) 粟津：“視線検知を利用したオートフォーカス”，写真工業, No. 7 (1989)
- 5) 春木ほか：“ファジィ理論を用いたオートアイリスシステム”，テレビ学技報, 14 (1990)
- 6) 山中ほか：“ニューラルネットワークを応用したムービーのオートアイリス”，テレビ学技報, 16 (1992)
- 7) S. Shimizu, et al.: “A new algorithm for exposure control based on fuzzy logic for VCR”, IEEE Trans. on CE, 38, 3 (1992)



かわぐち なおき
川口 直樹 昭和 58 年、慶応義塾大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了。同年、ソニー(株)入社。電子ステルカメラおよび 8 ミリビデオカメラの開発に従事。



しみず しゅうじ
清水 秀二 昭和 58 年、富山工業高等専門学校電気工学科卒業。同年、ソニー(株)入社。8 ミリビデオカメラの開発に従事。



こはし たかし
小橋 貴志 昭和 59 年、東京工業大学電気電子工学科卒業。同年、ソニー(株)入社。8 ミリビデオカメラの開発に従事。