

ラズパイで体験!

ご購入はこちら

CMOSイメージセンサ性能の測定評価

第19回

映像の自然さを左右する
イメージセンサのゲイン制御

米本 和也



今回取り上げる性能項目はゲインです。これはイメージセンサの信号量を内部で適切な大きさにして出力するための信号を増幅する利得(ゲイン)のことで、性能というからにはゲインがそれに含まれるかどうか不思議に思うかもしれません。しかし、これも性能項目の1つであることを詳しく解説します。

露出とゲインの制御

● 露出制御におけるゲインの役割

ビデオ・カメラに使われるイメージセンサは、撮像する被写体の明るさが常に変化する状況にも対応する必要があります。そのために自動露出AE(Auto Exposure)が被写体の明るさに応じて適切に露出制御します。この露出制御は、

- レンズの F 値
- イメージセンサの蓄積時間(シャッタースピード)
- イメージセンサの内部ゲイン
- 信号処理のデジタル・ゲイン

で行われます。注目すべきポイントは、 F 値、蓄積時間^{注1}はほぼ滑らかに露出の増減を制御できますが、内部ゲイン、デジタル・ゲインの制御は滑らかでない場合があることです。

● ゲイン制御が滑らかでない映像が不自然に見える

被写体が暗い状況では、 F 値とシャッタースピードがそれぞれ最小と最大にはりつき、内部ゲイン、デジタル・ゲインでしか露出制御できない状況が発生することがあります。その場合、明るさの変化に応じて適正露出のために内部ゲインの調整が行われますが、その制御の粗さ次第で、キャプチャした画像の明るさが段階的に変化してしまうことが考えられます。

明るさが段階的に変化すると映像が不自然に見えるので、用途に応じて不自然にならない程度に内部ゲイン制御の滑らかさ、つまり細かさが要求されます。

注1：厳密にはイメージセンサの1行を走査する期間が蓄積時間増減の最小単位。

CMOSイメージセンサの
内部ゲイン制御

● 列ADCの仕組みをうまく使って制御する

ほとんどのCMOSイメージセンサは図1(a)に示すような列ADC(A-Dコンバータ)が使われています⁽¹⁾。内部ゲインの制御は列ADCの仕組みをうまく利用して行われます。画素から出力され列信号線に現れるアナログの画素信号は、列ADCの入力段にあるコンパレータで参照電圧と比較されます。この参照電圧は全体構成左下に示すRamp DAC(D-Aコンバータ)から発生しますが、図1(b)に示すように、電圧が単調に変化するのこぎり波になっています。画素信号と電圧が一致するタイミングでコンパレータの出力が反転し、それに接続されているカウンタを停止します。カウンタは、のこぎり波の立ち下がり始めるタイミングに合わせ、リセット(RST)により初期値からクロック(CK)をカウントし始めるので、コンパレータの反転で停止したカウンタ値が画素信号に比例したデジタル値になる仕組みです。

● ゲイン制御の原理

内部ゲインは、こののこぎり波の振幅を大きくすればゲインが低くなり、小さくすればゲインが高くなります。つまり、のこぎり波の始点終点がカウンタの最小最大に相当し一定なので、のこぎり波のカバーする電圧範囲を変えることでゲインが制御できるという簡単な仕組みです。

このこぎり波は図1(a)のRamp DACから発生します。このこぎり波がきれいな直線の波形を維持し、かつその振幅を10倍以上の範囲で調整できるようにするには、D-Aコンバータ単独ではD-Aコンバータのビット数が増加するので利得調整回路と組み合わせる仕組みが通常使われます。

ゲイン制御の例

● 2種類のゲイン制御

画像の明るさがどんな状況で段階的に変化してしまうのか、内部ゲインの制御を図2の2つの例について