



第5章 ITUが定める有効画素数や量子化レベル、接続タイミングの標準

JPEG/MPEG/NTSCエンコーダの入力信号フォーマット

岩澤 高広
Takahiro Iwasawa

CCDイメージ・センサ用のカメラ信号処理ICやCMOSイメージ・センサの後段に接続されるJPEG/MPEG/NTSC/PALエンコーダ(図1)の標準的な入力フォーマットは、ITU-R BT.601で規定されるデジタルYCrCb信号です。

ここでは、最も基本的なデジタル信号の出力フォーマットであるITU-R BT.601とBT.656について、ITUの規格書をもとに解説していきます。

ITUとは、International Telecommunication Union(国際電気通信連合)の略で、通信方式の標準化団体として三つの部会から成り立っています。

- -R…Radio Communication(無線通信部門)
- -T…Telecom Standardization(通信標準化部門)
- -D…Telecom Development(通信開発部門)

BT.601, BT.656も-Rの無線通信部門に属している規格です。

有効画素数や量子化レベルの規定

■ ITU-R BT.601とは

BT.601は標準テレビ信号のスタジオ機器向けに制定された規格です。スタジオで使われる機器の整合性を高め、NTSC/PALの両方式に対応します。これにより、テレビ放送で使われるコンテンツの共用化を実現できました。また、BT.601の信号レベルの規定は、JPEG/MPEGといった画像圧縮/伸張方式の規格にも採用され、標準化に貢献しています。

現在、携帯電話用に開発されているCCD/CMOSカメラ・モジュールについても、YUV形式で出力される場合は、BT.601方式に準拠していることが多いです。しかし、出力される信号の周波数、ブランキング期間、有効ライン数、インターレース方式かプログレ

ッシブ・スキャン方式の出力になるかは、センサの駆動方式に依存する 경우가多く、BT.601に準拠していない場合が多いようです。特に携帯電話用カメラなどの信号周波数は、センサのフレーム・レートに依存する 경우가多く、規格に準拠した周波数やブランキング期間のタイミングで使うことはあまりありません。

現在のBT.601は、BT.601-5として規定されており、アスペクト比が4:3と16:9の両方をサポートした規格になっています。サンプリング周波数も13.5 MHzと18 MHzの二つの規定を含みます。

■ デジタルYCrCbを得るための変換式

● アナログRGB, アナログYUV, デジタルRGBからデジタルYCrCbを得る

BT.601の信号変換の式は、アナログRGB信号(E_r, E_g, E_b), アナログYUV信号($E_y, E_r - E_y, E_b - E_y$), デジタルYCrCb信号(Y, Cr, Cb)で記載されています。それぞれはマトリックス変換が可能で、信号レベルの規定を行っています。

アナログ信号 E_r, E_g, E_b は、信号振幅を1.0~0として正規化して扱います。デジタル信号 $Y, Cr,$

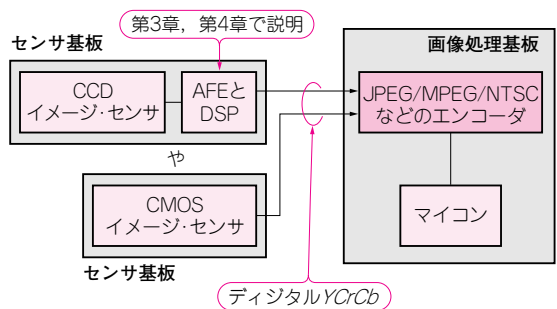


図1 JPEG/MPEG/NTSCエンコーダとイメージ・センサの接続例

Keywords

ITU-R BT.601, ITU-R BT.656, デジタルYUV, アナログRGB, アナログYUV, デジタルRGB, ITU規格

Cbは8ビットで量子化して扱います。規格の中には一部、10ビットの記載がありますが、8ビットを整数部、残り2ビットを小数部として扱っています。

● **アナログ RGB→アナログ YUV**

まず、アナログ信号 E_r, E_g, E_b をアナログ信号 $E_y, E_r - E_y, E_b - E_y$ へ変換します。ここで輝度信号を E_y 、色差信号を $E_r - E_y, E_b - E_y$ とします。

$$E_y = 0.299 E_r + 0.587 E_g + 0.114 E_b$$

$$(E_r - E_y) = E_r - 0.299 E_r - 0.587 E_g - 0.114 E_b$$

$$= 0.701 E_r - 0.587 E_g - 0.114 E_b$$

$$(E_b - E_y) = E_b - 0.299 E_r - 0.587 E_g - 0.114 E_b$$

$$= -0.299 E_r - 0.587 E_g + 0.886 E_b$$

表1にそれぞれの色におけるマトリックス係数をまとめています。

● **アナログ YUV→正規化されたアナログ YUV**

アナログ信号 E_r, E_g, E_b が、正規化された1.0~0の信号であるとする、輝度信号 E_y は1.0~0の値を取るのに対し、 $E_r - E_y, E_b - E_y$ はそれぞれ、+0.701~-0.701、+0.886~-0.886の値を取るようになります。

このままではデジタル信号に変換する際に不都合が生じるため、+0.5~-0.5に収まるように係数を乗じ正規化します。その正規化するための変換係数は、

$$K_r = 0.5/0.701 = 0.713$$

$$K_b = 0.5/0.886 = 0.564$$

となります。

この正規化された色差信号は、 E_{cr}, E_{cb} として別の記号で示されます。

$$E_{cr} = K_r(E_r - E_y)$$

$$= 0.500 E_r - 0.419 E_g - 0.081 E_b$$

$$E_{cb} = K_b(E_b - E_y)$$

$$= -0.169 E_r - 0.331 E_g + 0.500 E_b$$

● **正規化されたアナログ YUV→デジタル YCrCb**

ここで、アナログ信号をデジタル信号へ変換します。デジタル信号は8ビット(0~255)で量子化され、信号レベルが規定されています。

4:2:2システムでは、1~254レベルを映像信号として使うことができますが、同期データを含めると0~255レベルが使用できます。

輝度信号 E_y は16~235が映像信号として使われず、色差信号 E_{cr} と E_{cb} は16~240が映像信号として使われます。ただし、色差信号 E_{cr}, E_{cb} の無彩色時の信号は128とされ、オフセット・バイナリ形式で表現されています。その変換式は、

$$Y = 219 E_y + 16$$

$$Cr = 224 \{0.713(E_r - E_y)\} + 128$$

$$Cb = 224 \{0.564(E_b - E_y)\} + 128$$

となり、単純化すると、

$$Cr = 160(E_r - E_y) + 128$$

$$Cb = 126(E_b - E_y) + 128$$

となります。

● **デジタル RGB→デジタル YCrCb**

BT.601では、デジタル信号としてのRGB信号が

表1 BT.601のマトリックス係数

	E_r	E_g	E_b	E_y	$E_r - E_y$	$E_b - E_y$
白	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0
黒	0	0	0	0	0	0
赤	1.0	0	0	0.299	-0.701	-0.299
緑	0	1.0	0	0.587	-0.587	-0.587
青	0	0	1.0	0.114	-0.114	0.886
黄色	1.0	1.0	0	0.886	0.114	-0.886
シアン	0	1.0	1.0	0.701	-0.701	0.299
マゼンタ	1.0	0	1.0	0.413	0.587	0.587

表2 サンプリング周波数13.5 MHz時のITU-R BT.601の詳細(YUV = 422)

パラメータ		525ライン, 60フィールド/s(NTSC)	625ライン, 50フィールド/s(PAL)
信号 Y, Cr, Cb		$E_y, (E_r - E_y), (E_b - E_y)$ から得られる	
サンプリング総画素数	Y	858	864
	Cr, Cb	429	432
サンプリング構成		色差信号は輝度信号の奇数サンプル(1番目, 3番目, 5番目など)と同じ位置でサンプリング	
サンプリング周波数	Y	13.5 MHz	
	Cr, Cb	6.75 MHz	
符号化方式		8ビット(0~255)量子化。オプションで10ビットも可能	
サンプリング有効画素数	Y	720	
	Cr, Cb	360	
アナログ⇔デジタル水平同期信号相関		16T (1TはY信号サンプリング1周期)	12T
ビデオ信号レベルと量子化レベルの関係	信号範囲	0~255	
	輝度信号 Y	220レベル(16~235), 16は黒, 235は白	
	色差信号 Cr/Cb	225レベル(16~240), 128は中心レベルでそこから±112レベル	
符号の割り当て		<ul style="list-style-type: none"> 0, 255は、同期信号に使用 1~254を映像信号として使える 	