

AD9880色彩空间转换器用户指南

作者: Del Jones

色彩空间转换矩阵

AD9880中的色彩空间转换矩阵(CSC)是一个 3×3 矩阵, 可提供矩阵中所有系数下的完全编程能力。每个系数均为12位宽, 以保持信号完整性。CSC可在高达150 MHz的速度下运行, 在60 Hz速率时支持1080 p。CSC支持“任意至任意”色彩空间, 支持RGB、YUV、YCrCb等格式。

CSC包含三个相同的处理通道, 其中一个如图1所示。主要输入In_A、In_B和In_C都来自每个ADC或DVI通道的8位输出。到CSC的独立通道的每个输入都要乘以每个通道的独立系数。图1中, 这些系数标为A1、A2和A3。图中标示A4的变量用作CSC中通道A的失调控制。CSC中单通道的功能框图对其他两个通道B和C重复。这些通道的系数称为B1、B2、B3、B4、C1、C2、C3和C4。

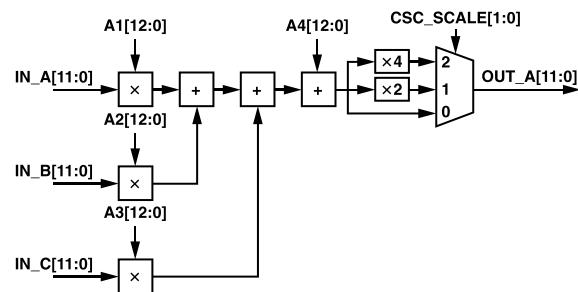


图1. 单个CSC通道

表1详细列出了这些系数及其默认I²C上电复位值。

表1. CSC系数

位	AD9880寄存器	默认值	描述
CSC_scale[1:0]	0x35位6:5	1	针对CSC公式调整
A1[12:0]	0x35 – 0x36	3154	通道A的系数
A2[12:0]	0x37 – 0x39	2048	
A3[12:0]	0x39 – 0x3A	0	
B1[12:0]	0x3D – 0x3E	-940	通道B的系数
B2[12:0]	0x3F – 0x40	2048	
B3[12:0]	0x41 – 0x42	-375	
C1[12:0]	0x45 – 0x46	0	通道C的系数
C2[12:0]	0x47 – 0x48	2048	
C3[12:0]	0x49 – 0x4A	3719	
A4[12:0]	0x3B – 0x3C	-1577	三个通道的失调
B4[12:0]	0x43 – 0x44	658	
C4[12:0]	0x4B – 0x4C	-1859	

设置CSC

由CSC计算的公式如下：

CSC通道A

$$Out_A = [In_A \times \frac{A1}{4096} + B \frac{A2}{4096} + In_C \times \frac{A3}{4096} + A4] \times 2^{CSC_scale} \quad (1)$$

CSC通道B

$$Out_B = [In_A \times \frac{B1}{4096} + B \frac{B2}{4096} + In_C \times \frac{B3}{4096} + B4] \times 2^{CSC_scale} \quad (2)$$

CSC通道C

$$Out_C = [In_A \times \frac{C1}{4096} + B \frac{C2}{4096} + In_C \times \frac{C3}{4096} + C4] \times 2^{CSC_scale} \quad (3)$$

如公式1、2和3所示，A1 – A3、B1 – B3和C1 – C3系数用于调整原边输入。A4、B4和C4值随后会以失调形式增加。CSC_scale位允许用户使用转换系数 ≥ 1 的转换公式。换言之，如果使用的公式中系数 ≥ 1 ，就可以采用CSC_scale位，以确保产生的输出代码不超过4095的12位限制。表2所示为每个CSC_scale设置时应当采用的条件。注意，如果三个CSC公式中任何一个的任何系数需要调整($CSC_scale \neq 0$)，则所有系数(包括失调值)都会调整，如公式1、2和3所示。A1 – A4、B1 – B4和C1 – C4的值等于所需转换公式中的系数乘以 $4096/2^{CSC_scale}$ 。

表2.CSC_scale设置

CSC_scale	转换系数
0	$N < 1$
1	$1 \leq N < 2$
2	$2 \leq N < 4$

注意，为使CSC能正常运作，必须遵守表3所示的通道映射。

表3.CSC端口映射

通道	AD9980输入 (模拟)	CSC通道
红色/Pr	R _{AIN}	A
绿色/Y	G _{AIN}	B
蓝色/Pb	B _{AIN}	C

输出映射取决于输出格式。详情请参见AD9880数据手册。

编程步骤

为了通过典型公式实现编程值，必须执行以下步骤：

1. 检查每个系数值。

系数的编程范围只能为 $[-0.999...+0.999]$ 。为了支持更大的系数，应采用CSC_scale功能(参见表2)。

确定CSC_scale的设置并调整系数(如有需要)。

2. 编程设置系数值。

将浮点系数乘以 $[4096/2^{CSC_scale}]$ ，将其转换为12位固定小数格式。负值时采用二进制补码转换为二进制格式。

设置A1 – A3、B1 – B3和C1 – C3

3. 设置失调值。

取决于色彩空间类型，可能需要使用转换失调。

设置A4、B4和C4。

CSC示例

下面这组公式是从HDTV YCbCr转换为RGB(12位)的示例。

$$R = Y + 1.540(Cr - 2048) = Y + 1.540 \times Cr - 3154$$

$$G = Y - 0.459(Cr - 2048) - 0.183(Cb - 2048) =$$

$$Y - 0.459 \times Cr - 0.183 \times Cb + 1315$$

$$B = Y + 1.816(Cb - 2048) = Y + 1.816 \times Cb - 3719$$

原始公式将Pr和Pb分量设为128的失调值。128的值相当于8位系统一半的范围。应当注意，AD9880的CSC应在12位范围内工作。因此，失调必须从128改为12位系统一半的范围，即2048。

检查每个系数值

每个系数本身的最大值只能在 $-4095/4096$ 至 $4095/4096$ 范围内，等于 $[-0.999755859375 .. 0.999755859375]$ 。该范围以外的值不适合用于设置系数的12位定点格式。

如果有一个或多个系数超过支持的系数范围，CSC必须采用CSC_scale位进行调整。

CSC_scale设为1时，所有系数都必须减半，以符合给定的系数范围。接着，CSC的总输出将会增加2的固定值，从而补偿已降低的系数。

在示例中，最大的系数为1.816，因此，CSC_scale位会设置为“01”。

1. 为了针对任何给定系数实现1.0的系数值，CSC_scale位应设为“1”，系数实际上应设置为0.5。否则，最大值为 $4095/4096 = 0.9997$ ，即恰好为1。由于该值可视为1，建议使用0.5的值以及CSC_scale位实现最大精度。
2. 对极大系数值(如2.58)而言，CSC_scale必须设为“2”，所有系数都必须调整为四分之一，使其适合给定的系数范围。接着，CSC的总输出将会增加4的固定值，从而补偿已降低的系数。

根据以下公式设置系数值：

$$R = 1.540 \times Cr + 0 \times Cb + 1 \times Y - 3154$$

$$G = -0459 \times Cr - 0.183 \times Cb + 1 \times Y + 1315$$

$$B = 0 \times Cr + 1.816 \times Cb + 1 \times Y - 3719$$

- 系数值以定点格式的12位精度进行设置。
- 为了转换浮点系数，必须将其乘以212 (4096)，然后四舍五入到12位。
- 负数时应使用二进制补码表示法。

In_A包含Pr或R分量，In_B包含Y或G分量，In_C包含Pb或B分量。同样，Out_A = Pr或R，Out_B + Y或G，Out_C = Pb或B。

设置失调值

设置失调值时(A4、B4、C4)，CSC_scale设为1，因此，原始公式的失调值应除以2。

表4.失调值示例

公式	原始失调	调整后的失调*	寄存器	十六进制值 (13位, 二进制补码)
红色	-3154	-1577	A4[12:0]	0x19D7
绿色	1315	657	B4[12:0]	0x0291
蓝色	-3719	-1859	C4[12:0]	0x18BD

*由于CSC_scale设为1，因此，计算得到的系数应除以2 (2^{CSC_scale})。

表5.系数计算示例

公式	公式系数		计算*	四舍五入后的结果 (-4096 ≤ N < 4096)	寄存器	十六进制值 (二进制补码)
红色	Cr	1.54	$154 \times 4096/2$	3154	A1[12:0]	0x0C52
	Y	1	$1 \times 4096/2$	2048	A2[12:0]	0x0800
	Cb	0	$0 \times 4096/2$	0	A3[12:0]	0x0000
绿色	Cr	-0.459	$0.459 \times 4096/2$	-940	B1[12:0]	0x1C54
	Y	1	$1 \times 4096/2$	2048	B2[12:0]	0x0800
	Cb	-0.183	$0.183 \times 4096/2$	-375	B3[12:0]	0x3E89
蓝色	Cr	0	$0 \times 4096/2$	0	C1[12:0]	0x0000
	Y	1	$1 \times 4096/2$	2048	C2[12:0]	0x0800
	Cb	1.816	$1.816 \times 4096/2$	3719	C3[12:0]	0x0E87

*由于CSC_scale设为1，因此，计算得到的系数应除以2。

CSC示例的寄存器设置

对CSC示例而言，AD9880的I²C寄存器必须用表6中所示的值设置。

表6. 色彩空间转换和抽取滤波器

寄存器	地址	位描述和值							十六进制值
红色/Cr 系数1	0x35	未用	CSC_scale[1:0]	A1.12	A1.11	A1.10	A1.9	A1.8	0x0C
	0x36	*	0 1	0 1	1 1	0 0	0 0	0 0	0x52
红色/Cr 系数2	0x37	未用	未用	未用	A2.12	A2.11	A2.10	A2.9	A2.8
	0x38	*	*	*	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
红色/Cr 系数3	0x39	未用	未用	未用	A3.12	A3.11	A3.10	A3.9	A3.8
	0x3A	*	*	*	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
红色/Cr 失调	0x3B	未用	未用	未用	A4.12	A4.11	A4.10	A4.9	A4.8
	0x3C	*	*	*	1 1	1 1	0 0	0 0	1 1
绿色/Y 系数1	0x3D	未用	未用	未用	B1.12	B1.11	B1.10	B1.9	B1.8
	0x3E	*	*	*	1 1	1 1	1 0	0 0	0 0
绿色/Y 系数2	0x3F	未用	未用	未用	B2.12	B2.11	B2.10	B2.9	B2.8
	0x40	*	*	*	0 0	1 0	0 0	0 0	0 0
绿色/Y 系数3	0x41	未用	未用	未用	B3.12	B3.11	B3.10	B3.9	B3.8
	0x42	*	*	*	1 0	1 1	1 1	1 0	0 1
绿色/Y 系数4	0x43	未用	未用	未用	B4.12	B4.11	B4.10	B4.9	B4.8
	0x44	*	*	*	0 0	0 0	0 0	1 0	0 1
蓝色/Cb 系数1	0x45	未用	未用	未用	C1.12	C1.11	C1.10	C1.9	C1.8
	0x46	*	*	*	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
蓝色/Cb 系数2	0x47	未用	未用	未用	C2.12	C2.11	C2.10	C2.9	C2.8
	0x48	*	*	*	0 0	1 0	0 0	0 0	0 0
蓝色/Cb 系数3	0x49	未用	未用	未用	C3.12	C3.11	C3.10	C3.9	C3.8
	0x4A	*	*	*	0 0	1 0	1 1	1 0	0 1
蓝色/Cb 失调	0x4B	未用	未用	未用	C4.12	C4.11	C4.10	C4.9	C4.8
	0x4C	*	*	*	1 0	1 1	0 0	0 0	0 0

图例： ■ 依据寄存器表的位名称

■ 位值示例

■ 寄存器值示例

附录

标准色彩空间转换的寄存器设置

表7.HDTV YCrCb (0 – 255)至RGB (0 – 255)*

寄存器	地址	值
红色/Cr系数 1	0x35	0x0C
	0x36	0x52
红色/Cr系数 2	0x37	0x08
	0x38	0x00
红色/Cr系数 3	0x39	0x00
	0x3A	0x00
红色/Cr系数失调	0x3B	0x19
	0x3C	0xD7
绿色/Y系数 1	0x3D	0x1C
	0x3E	0x54
绿色/Y系数 2	0x3F	0x08
	0x40	0x00
绿色/Y系数 3	0x41	0x3E
	0x42	0x89
绿色/Y系数失调	0x43	0x02
	0x44	0x91
蓝色/Cb系数 1	0x45	0x00
	0x46	0x00
蓝色/Cb系数 2	0x47	0x08
	0x48	0x00
蓝色/Cb系数 3	0x49	0x0E
	0x4A	0x87
蓝色/Cb系数失调	0x4B	0x18
	0x4C	0xBD

*该转换和示例一样。系数为AD9880的默认设置。

表8.HDTV YCrCb (16 – 235)至RGB (0 – 255)

寄存器	地址	值
红色/Cr系数 1	0x35	0x47
	0x36	0x2C
红色/Cr系数 2	0x37	0x04
	0x38	0xA8
红色/Cr系数 3	0x39	0x00
	0x3A	0x00
红色/Cr系数失调	0x3B	0x1C
	0x3C	0x1F
绿色/Y系数 1	0x3D	0x1D
	0x3E	0xDD
绿色/Y系数 2	0x3F	0x04
	0x40	0xA8
绿色/Y系数 3	0x41	0x1F
	0x42	0x26
绿色/Y系数失调	0x43	0x01
	0x44	0x34
蓝色/Cb系数 1	0x45	0x00
	0x46	0x00
蓝色/Cb系数 2	0x47	0x04
	0x48	0xA8
蓝色/Cb系数 3	0x49	0x08
	0x4A	0x75
蓝色/Cb系数失调	0x4B	0x1B
	0x4C	0x7D

表9. SDTV YCrCb (0 – 255)至RGB (0 – 255)

寄存器	地址	值
红色/Cr系数 1	0x35	0x2A
	0x36	0xFA
红色/Cr系数 2	0x37	0x08
	0x38	0x00
红色/Cr系数 3	0x39	0x00
	0x3A	0x00
红色/Cr系数失调	0x3B	0x1A
	0x3C	0x84
绿色/Y系数 1	0x3D	0x1A
	0x3E	0x6A
绿色/Y系数 2	0x3F	0x08
	0x40	0x00
绿色/Y系数 3	0x41	0x1D
	0x42	0x50
绿色/Y系数失调	0x43	0x04
	0x44	0x23
蓝色/Cb系数 1	0x45	0x00
	0x46	0x00
蓝色/Cb系数 2	0x47	0x08
	0x48	0x00
蓝色/Cb系数 3	0x49	0x0D
	0x4A	0xDB
蓝色/Cb系数失调	0x4B	0x19
	0x4C	0x12

表10. SDTV YCrCb (16 – 235)至RGB (0 – 255)

寄存器	地址	值
红色/Cr系数 1	0x35	0x46
	0x36	0x63
红色/Cr系数 2	0x37	0x04
	0x38	0xA8
红色/Cr系数 3	0x39	0x00
	0x3A	0x00
红色/Cr系数失调	0x3B	0x1C
	0x3C	0x84
绿色/Y系数 1	0x3D	0x1C
	0x3E	0xC0
绿色/Y系数 2	0x3F	0x04
	0x40	0xA8
绿色/Y系数 3	0x41	0x1E
	0x42	0x6F
绿色/Y系数失调	0x43	0x02
	0x44	0x1E
蓝色/Cb系数 1	0x45	0x00
	0x46	0x00
蓝色/Cb系数 2	0x47	0x04
	0x48	0xA8
蓝色/Cb系数 3	0x49	0x08
	0x4A	0x11
蓝色/Cb系数失调	0x4B	0x1B
	0x4C	0xAD

表11.RGB (0 – 255)至HDTV YCrCb (0 – 255)

寄存器	地址	值
红色/Cr系数 1	0x35	0x08
	0x36	0x2D
红色/Cr系数 2	0x37	0x18
	0x38	0x93
红色/Cr系数 3	0x39	0x1F
	0x3A	0x3F
红色/Cr系数失调	0x3B	0x08
	0x3C	0x00
绿色/Y系数 1	0x3D	0x03
	0x3E	0x68
绿色/Y系数 2	0x3F	0x0B
	0x40	0x71
绿色/Y系数 3	0x41	0x01
	0x42	0x27
绿色/Y系数失调	0x43	0x00
	0x44	0x00
蓝色/Cb系数 1	0x45	0x1E
	0x46	0x21
蓝色/Cb系数 2	0x47	0x19
	0x48	0xB2
蓝色/Cb系数 3	0x49	0x08
	0x4A	0x2D
蓝色/Cb系数失调	0x4B	0x08
	0x4C	0x00

表12.RGB (0 – 255)至HDTV YCrCb (16 – 235)

寄存器	地址	值
红色/Cr系数 1	0x35	0x07
	0x36	0x06
红色/Cr系数 2	0x37	0x19
	0x38	0xA0
红色/Cr系数 3	0x39	0x1F
	0x3A	0x5B
红色/Cr系数失调	0x3B	0x08
	0x3C	0x00
绿色/Y系数 1	0x3D	0x02
	0x3E	0xED
绿色/Y系数 2	0x3F	0x09
	0x40	0xD3
绿色/Y系数 3	0x41	0x00
	0x42	0xFD
绿色/Y系数失调	0x43	0x01
	0x44	0x00
蓝色/Cb系数 1	0x45	0x1E
	0x46	0x64
蓝色/Cb系数 2	0x47	0x1A
	0x48	0x96
蓝色/Cb系数 3	0x49	0x07
	0x4A	0x06
蓝色/Cb系数失调	0x4B	0x08
	0x4C	0x00

表13.RGB (0 – 255)至HDTV YCrCb (0 – 255)

寄存器	地址	值
红色/Cr系数 1	0x35	0x08
	0x36	0x2D
红色/Cr系数 2	0x37	0x19
	0x38	0x27
红色/Cr系数 3	0x39	0x1E
	0x3A	0xAC
红色/Cr系数失调	0x3B	0x08
	0x3C	0x00
绿色/Y系数 1	0x3D	0x04
	0x3E	0xC9
绿色/Y系数 2	0x3F	0x09
	0x40	0x64
绿色/Y系数 3	0x41	0x01
	0x42	0xD3
绿色/Y系数失调	0x43	0x00
	0x44	0x00
蓝色/Cb系数 1	0x45	0x1D
	0x46	0x3F
蓝色/Cb系数 2	0x47	0x1A
	0x48	0x93
蓝色/Cb系数 3	0x49	0x08
	0x4A	0x2D
蓝色/Cb系数失调	0x4B	0x08
	0x4C	0x00

表14.RGB (0 – 255)至HDTV YCrCb (16 – 235)

寄存器	地址	值
红色/Cr系数 1	0x35	0x07
	0x36	0x06
红色/Cr系数 2	0x37	0x1A
	0x38	0x1E
红色/Cr系数 3	0x39	0x1E
	0x3A	0xDC
红色/Cr系数失调	0x3B	0x08
	0x3C	0x00
绿色/Y系数 1	0x3D	0x04
	0x3E	0x1C
绿色/Y系数 2	0x3F	0x08
	0x40	0x11
绿色/Y系数 3	0x41	0x01
	0x42	0x91
绿色/Y系数失调	0x43	0x01
	0x44	0x00
蓝色/Cb系数 1	0x45	0x1D
	0x46	0xA3
蓝色/Cb系数 2	0x47	0x1B
	0x48	0x57
蓝色/Cb系数 3	0x49	0x07
	0x4A	0x06
蓝色/Cb系数失调	0x4B	0x08
	0x4C	0x00