

ДРАЙВЕР V4L2 VINC ISP VPIN/VINC 1892BM14Я. РУКОВОДСТВО ПРОГРАММИСТА

**Версия
11.03.2022**

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Введение	4
2	Поведение драйвера	5
2.1	Инициализация <i>vinc</i>	5
2.2	Деинициализация <i>vinc</i>	6
2.3	Функция <code>open()</code>	6
2.4	Обработка ошибок	6
2.5	Управление блоком Color Correction (CC)	7
2.6	Управление блоком Color Transformation (CT)	11
2.7	Управление блоком Gamma Correction (GC)	14
2.8	Управление автоэкспозицией	16
3	Поддерживаемые ioctl	18
3.1	VIDIOC_ENUM_FMT	18
3.2	VIDIOC_EXPBUF	18
3.3	VIDIOC_G_CTRL	18
3.4	VIDIOC_S_CTRL	19
3.5	VIDIOC_G_EXT_CTRL	19
3.6	VIDIOC_S_EXT_CTRL	19
3.7	VIDIOC_TRY_EXT_CTRL	19
3.8	VIDIOC_G_FMT	19
3.9	VIDIOC_S_FMT	19
3.10	VIDIOC_TRY_FMT	20
3.11	VIDIOC_G_PARM	20
3.12	VIDIOC_S_PARM	20
3.13	VIDIOC_QBUF	20
3.14	VIDIOC_DQBUF	20
3.15	VIDIOC_QUERYBUF	21
3.16	VIDIOC_QUERYCAP	21
3.17	VIDIOC_QUERYCTRL	21
3.18	VIDIOC_QUERY_EXT_CTRL	21
3.19	VIDIOC_QUERYMENU	21
3.20	VIDIOC_CREATE_BUFS	21
3.21	VIDIOC_REQBUFS	21
3.22	VIDIOC_STREAMON	21
3.23	VIDIOC_STREAMOFF	22
4	Контролы	23
4.1	Стандартные контролы	28
4.2	Нестандартные контролы	40
5	Приложение А. Контролы, реализованные в драйвере сенсора OV2715	49
5.1	V4L2_CID_AUTOGAIN	49

5.2	V4L2_CID_GAIN	49
5.3	V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO	50
5.4	V4L2_CID_EXPOSURE	50
5.5	V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE	51
5.6	V4L2_CID_HFLIP	51
5.7	V4L2_CID_VFLIP	52
6	Приложение Б. Контролы, реализованные в драйвере сенсора OV7725	53
6.1	V4L2_CID_AUTOGAIN	53
6.2	V4L2_CID_GAIN	53
6.3	V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO	54
6.4	V4L2_CID_EXPOSURE	54
6.5	V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE	55
6.6	V4L2_CID_POWER_LINE_FREQUENCY	55
6.7	V4L2_CID_HFLIP	56
6.8	V4L2_CID_VFLIP	56
7	Приложение В. Контролы, реализованные в драйвере сенсора OV5647	58
7.1	V4L2_CID_AUTOGAIN	58
7.2	V4L2_CID_GAIN	58
7.3	V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO	59
7.4	V4L2_CID_EXPOSURE	59
7.5	V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE	59
8	Приложение Г. Контролы, реализованные в драйвере сенсора OV2643	61
8.1	V4L2_CID_AUTOGAIN	61
8.2	V4L2_CID_GAIN	61
8.3	V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO	62
8.4	V4L2_CID_EXPOSURE	62
8.5	V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE	62
8.6	V4L2_CID_HFLIP	63
8.7	V4L2_CID_VFLIP	63
9	Приложение Д. Контролы, реализованные в драйвере сенсора OV2718	64
9.1	V4L2_CID_GAIN	64
9.2	V4L2_CID_EXPOSURE	65
9.3	V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE	65
9.4	V4L2_CID_HFLIP	66
9.5	V4L2_CID_VFLIP	66
9.6	V4L2_CID_RED_BALANCE	66
9.7	V4L2_CID_BLUE_BALANCE	67

1. ВВЕДЕНИЕ

Драйвер *vinc* предназначен для получения видео с видео-сенсоров и блока ISP VPIN/VINC 1892BM14Я. Драйвер предоставляет стандартный интерфейс V4L2 Video Capture (см [Video for Linux 2¹](#)). Драйвер *vinc* использует подсистему *soc_camera* в качестве интерфейса для работы с сенсором. На рисунке 1.1 представлена диаграмма использования драйвера *vinc*.

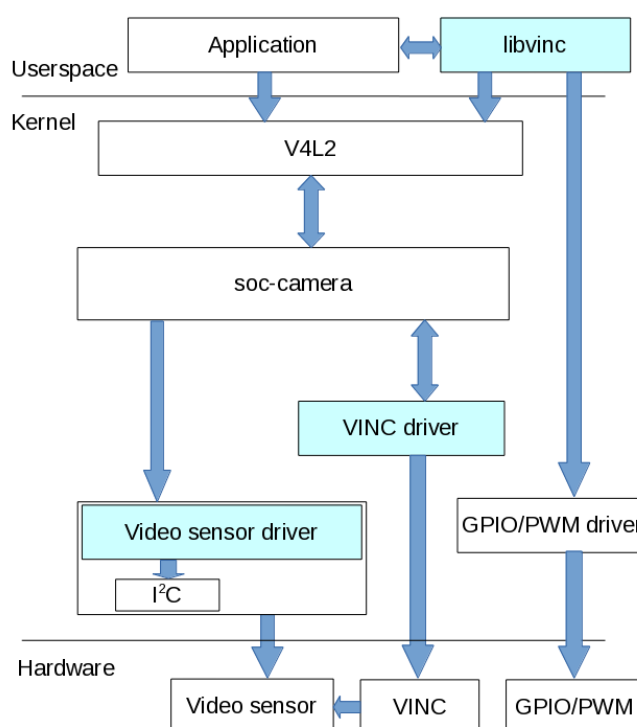


Рисунок 1.1. Диаграмма использования драйвера *vinc*

Возможности:

- Максимальное входное разрешение: 4096x4096
- Максимальное выходное разрешение: 4096x4096 (ширина кратна 8 пикселям)
- Поддерживаются сенсоры со следующими форматами выходного видео: Bayer (разрядность не более 14 бит), RGB888, YCbCr 4:4:4, YCbCr 4:2:2, Mono (реализованы Bayer, RGB888 и YCbCr 4:2:2).
- Форматы выходного видео перечислены в описании ioctl `VIDIOC_ENUM_FMT`
- Кэшируемые DMA буферы для оптимизации доступа при обработке на CPU — требуется установка параметра модуля `cacheable=1`

¹ <https://linuxtv.org/downloads/v4l-dvb-apis-new/userspace-api/v4l/v4l2.html>

2. ПОВЕДЕНИЕ ДРАЙВЕРА

2.1 Инициализация *vinc*

При инициализации устройства драйвер выполняет:

1. Печатает версию драйвера.
2. Устанавливает поле CMOS_CTR.CMOS_RESET блока VINC в 0.
3. Читает из DeviceTree значение свойства «elvees,pixel-clock-divider», определяющего во сколько раз частота синхросигнала пикселей сенсора должна быть меньше частоты синхросигнала блока VINC.
4. Читает из DeviceTree свойство «elvees,pixel-clock-over-fsync». При наличии данного свойства в качестве синхросигнала для сенсора будет использоваться вывод FSYNCO_0, в отсутствие данного свойства — вывод PCLKO_0.
5. Читает из DeviceTree граф, описывающий связи портов VINC с удаленными устройствами (сенсорами). Каждый порт графа связан с одним удаленным устройством, интерфейс подключения этого устройства определяется свойством «elvees,ifacenum». Это свойство может принимать одно из четырех значений: PInterface0 (0), PInterface1 (1), SInterface0(2), SInterface1(3).

Для удаленных устройств, подключенных к параллельному порту (PInterface0 или PInterface1), может быть определено свойство «elvees,pport-low-bits». Наличие данного свойства указывает, что сенсор, подключенный к параллельному порту, имеет разрядность компонентов пикселя меньше 12 и они подключены к младшим разрядам шины данных блока VINC. Эта информация будет учитываться при обработке данных, в частности при выполнении преобразования YCbCr->RGB.

6. Вычисляет и записывает значения полей регистров:
 - В отсутствие свойства «elvees,pixel-clock-over-fsync» свойство «elvees,pixel-clock-divider» может принимать значение, равное 1, или четное в диапазоне 2-30. Если значение равно 1, то частота синхросигнала пикселей сенсора равна частоте синхросигнала блока VINC. Нечетное значение драйвер округляет до ближайшего четного в меньшую сторону. Если значение более 30, драйвер установит его равным 30. Если свойство «elvees,pixel-clock-divider» присутствует и не равно 1, то драйвер записывает в поле CMOS0_CTR.CLK_DIV значение в 2 раза меньше, чем «elvees,pixel-clock-divider», и включает CMOS0_CTR.PCLKO_ENABLE=1.
 - Если свойство «elvees,pixel-clock-over-fsync» присутствует, свойство «elvees,pixel-clock-divider» может принимать значение, равное 2, или кратное 4 в диапазоне 4-60. При использовании FSYNCO_0 нельзя получить частоту, равную частоте синхросигнала блока VINC, поэтому если значение «elvees,pixel-clock-divider» равно 1, драйвер установит его равным 2. Если значение равно 2, то частота синхросигнала пикселей сенсора в 2 раза ниже

частоты синхросигнала блока VINC. Если значение не равно 2, оно должно быть кратным четырем, иначе драйвер выполняет округление до ближайшего младшего числа, кратного четырем. Если значение более 60, драйвер установит его равным 60. Драйвер выполняет:

1. Включение бита CMOS0_CTR.FSYNC_ENAB_EDGE.
2. Запись значения 1 в регистры CMOS0_TIMER_HIGH и CMOS0_TIMER_LOW, что обеспечивает деление частоты PCLKO на 2 (минимально возможный коэффициент деления).
3. Запись в поле CMOS0_CTR.CLK_DIV значения свойства «elvees,pixel-clock-divider», деленного на четыре.

7. Включает бит AXI_MASTER_CFG.GLOBAL_ENABLE.

2.2 Деинициализация *vinc*

Драйвер выключает биты CMOS_CTR.PCLKO_ENABLE, CMOS_CTR.FSYNC_ENAB_EDGE и AXI_MASTER_CFG.GLOBAL_ENABLE.

2.3 Функция `orep()`

Драйвер не имеет специальных функций, которые вызываются при открытии файла устройства. При вызове функции `orep()`, подсистема V4L2 вызывает функцию установки формата у драйвера (аналогично `VIDIOC_S_FMT`). Подсистема V4L2 устанавливает последнее использованное разрешение.

2.4 Обработка ошибок

В случае возникновения ошибок при получении видео с сенсора драйвер печатает сообщение об ошибке (см. таблицу 2.4) и восстанавливает нормальную работу ISP, однако в этом случае принимаемый кадр повреждается. Поврежденные кадры помечаются флагом `V4L2_BUF_FLAG_ERROR` и могут быть исключены при обработке видеопотока.

Таблица 2.1. Сообщения об ошибках при приеме видео

Сообщение	Описание
<i>Short frame/line</i>	От сенсора принята короткая строка или недостаточное количество строк
<i>DMA overflow</i>	Переполнилось FIFO канала DMA, осуществляющего запись данных в память. Происходит из-за недостаточной пропускной способности подсистемы памяти или задержках при записи данных.
<i>Bad pixel/line count</i>	Неправильные значения счетчиков пикселей и строк ² . При возникновении ошибки выполняется очистка FIFO, иначе происходит сдвиг изображения на последующих кадрах (см. также <code>rf#14541</code>).

² Причина неправильных значений счетчиков пикселей и строк в отсутствии ошибки *DMA overflow* неизвестна. Возможно, прерывание *DMA overflow* не вырабатывается из-за аппаратной ошибки.

2.5 Управление блоком Color Correction (CC)

2.5.1 Расчет матрицы коэффициентов и вектора смещения

Блок Color Correction выполняет преобразование пикселей входного изображения по формуле:

$$O = M_{CC} \times I + V_{CC}, \quad (2.1)$$

где $M_{CC} = \begin{pmatrix} M_0 & M_1 & M_2 \\ M_3 & M_4 & M_5 \\ M_6 & M_7 & M_8 \end{pmatrix}$ — матрица коэффициентов цветности,

$V_{CC} = \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$ — вектор смещений,

I — трёхкомпонентный вектор входного пикселя, O — трёхкомпонентный вектор выходного пикселя.

Блок Color Correction может принимать на вход изображения в форматах RGB и YCbCr. При входном формате RGB, вычисление пикселей выполняется по формуле:

$$O_{RGB} = M_{FX_RGB} \times (M_{RGB} \times (M_{FX_YCbCr} \times (M_{CK} \times M_{sat} \times M_{con} \times M_{hue} \times (M_{YCbCr} \times M_{WB} \times (I_{RGB} - V_{BL}) + V_{YCbCr} - V_{half}) + V_{bri} + V_{half}) + V_{FX_YCbCr}) + V_{RGB}) + V_{FX_RGB} \quad (2.2)$$

При входном формате YCbCr, вычисление пикселей выполняется по формуле:

$$O_{YCbCr} = M_{YCbCr} \times (M_{FX_RGB} \times (M_{RGB} \times (M_{FX_YCbCr} \times (M_{CK} \times M_{sat} \times M_{con} \times M_{hue} \times (I_{YCbCr} - V_{half}) + V_{bri} + V_{half}) + V_{FX_YCbCr}) + V_{RGB}) + V_{FX_RGB}) + V_{YCbCr}, \quad (2.3)$$

где используются следующие обозначения:

- V_{BL} — вектор смещений, определяемый контролем `V4L2_CID_BLACK_LEVEL_CORR`
- V_{bri} — вектор смещений, определяемый контролем `V4L2_CID_BRIGHTNESS`
- M_{con} — матрица коэффициентов, определяемая контролем `V4L2_CID_CONTRAST`
- M_{sat} — матрица коэффициентов, определяемая контролем `V4L2_CID_SATURATION`
- M_{hue} — матрица коэффициентов, определяемая контролем `V4L2_CID_HUE`
- M_{CK} — матрица коэффициентов, определяемая контролем `V4L2_CID_COLOR_KILLER`
- M_{FX_RGB}, M_{FX_YCbCr} — матрицы коэффициентов, определяемые контролем `V4L2_CID_COLORFX`

- M_{WB} — матрица коэффициентов, определяемая контролами $V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE$, $V4L2_CID_RED_BALANCE$, $V4L2_CID_BLUE_BALANCE$, $V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE$, $V4L2_CID_AUTO_WHITE_BALANCE$, $V4L2_CID_WHITE_BALANCE_CC$
- M_{RGB} — матрица перевода формата YCbCr в RGB
- M_{YCbCr} — матрица перевода формата RGB в YCbCr
- V_{RGB} — вектор смещений для перевода формата YCbCr в RGB
- V_{YCbCr} — вектор смещений для перевода формата RGB в YCbCr
- V_{half} — вектор смещений (2048; 0; 0)
- V_{FX_RGB} , V_{FX_YCbCr} — векторы смещений, определяемые контролем $V4L2_CID_COLOREX$

Матрицы и вектора перевода цветových пространств приведены в описании блока *Color Transformation*. Для входного формата YCbCr баланс белого не выполняется.

Приводя формулу (2.2) к виду (2.1), для входного формата RGB получаем:

$$M_{CC} = M_{FX_RGB} \times M_{RGB} \times M_{FX_YCbCr} \times M_{CK} \times M_{sat} \times M_{con} \times M_{hue} \times M_{YCbCr} \times M_{WB}$$

$$V_{CC} = M_{FX_RGB} \times (M_{RGB} \times (M_{FX_YCbCr} \times (M_{CK} \times M_{sat} \times M_{con} \times M_{hue} \times (V_{YCbCr} - V_{half} - M_{YCbCr} \times M_{WB} \times V_{BL}) + V_{bri} + V_{half}) + V_{FX_YCbCr}) + V_{RGB}) + V_{FX_RGB}$$

Приводя формулу (2.3) к виду (2.1), для входного формата YCbCr получаем:

$$M_{CC} = M_{YCbCr} \times M_{FX_RGB} \times M_{RGB} \times M_{FX_YCbCr} \times M_{CK} \times M_{sat} \times M_{con} \times M_{hue}$$

$$V_{CC} = M_{YCbCr} \times M_{FX_RGB} \times M_{RGB} \times M_{FX_YCbCr} \times (V_{bri} + (E - M_{CK} \times M_{sat} \times M_{con} \times M_{hue}) \times V_{half}) + V_{FX_YCbCr} + V_{RGB} + V_{FX_RGB} + V_{YCbCr},$$

где E — единичная матрица.

Во избежании ошибок при переполнении в блоке Color Correction вводятся ограничения на значения контролов. Если при расчете коэффициентов матрицы и вектора смещений не выполняется одно из условий:

$$\sum_{i=0}^2 M_i + \frac{V_0}{4096} < 16; \quad \sum_{i=3}^5 M_i + \frac{V_1}{4096} < 16; \quad \sum_{i=6}^8 M_i + \frac{V_2}{4096} < 16;$$

$$-4096 \leq V_0 \leq 4095; \quad -4096 \leq V_1 \leq 4095; \quad -4096 \leq V_2 \leq 4095,$$

то драйвер возвращает ошибку ERANGE и значения регистров m_i , v_i и *Scaling* не изменяются (обозначения регистров приведены согласно спецификации VINC). В остальных случаях значения регистров блока рассчитываются по формулам:

$$if \lfloor \max(|M_{CC}|) \rfloor = 0, \text{ then } Scaling = 0,$$

$$else \text{ Scaling} = \lfloor \log_2(\lfloor \max(|M_{CC}|) \rfloor) \rfloor + 1,$$

где $\max(|M_{CC}|)$ — максимальный модуль коэффициентов матрицы M_{CC} .

$$m_i = \lfloor M_i \times (1 \ll (15 - Scaling)) + 0.5 \rfloor,$$

где i — целое число и принимает значения от 0 до 8.

$$v_i = \lfloor V_i + 0.5 \rfloor,$$

где i — целое число и принимает значения от 0 до 2.

2.5.2 Состояния кластера сс

Управление блоком Color Correction осуществляется с помощью контролов кластера сс. Кластер сс включает следующие контролы: стандартные контролы `V4L2_CID_BRIGHTNESS`, `V4L2_CID_CONTRAST`, `V4L2_CID_SATURATION`, `V4L2_CID_HUE`, `V4L2_CID_COLOR_KILLER`, `V4L2_CID_COLORFX`, `V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE`, `V4L2_CID_RED_BALANCE`, `V4L2_CID_BLUE_BALANCE`, `V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE`, стандартные автоконтролы `V4L2_CID_AUTO_WHITE_BALANCE` и `V4L2_CID_AUTOBRIGHTNESS` (на диаграмме AUTO), и нестандартные контролы `V4L2_CID_CC`, `V4L2_CID_CC_ENABLE`, `V4L2_CID_BLACK_LEVEL_CORR` и `V4L2_CID_WHITE_BALANCE_CC`.

Диаграмма состояний кластера сс представлена на рисунке 2.1. Состояние кластера определяется флагами контролов и значением контрола `V4L2_CID_CC_ENABLE` (на диаграмме `CC_ENABLE`, наличие флагов указано в квадратных скобках). `STD auto` обозначает группу стандартных контролов, управляемых автоконтролом, включенном в данном состоянии кластера, `CC_STD non auto` — остальные стандартные контролы кластера `CC`. `CC_CALIB` обозначает калибровочные контролы `V4L2_CID_BLACK_LEVEL_CORR` и `V4L2_CID_WHITE_BALANCE_CC`. Нестандартный контрол `V4L2_CID_CC` устанавливает напрямую матрицу коэффициентов цветности и вектор смещений, поэтому все остальные управляющие контролы (кроме `WRITE_ONLY` контролов) должны иметь флаг `EXECUTE_ON_WRITE` после установки контрола `V4L2_CID_CC`, чтобы обеспечить возможность установить их с прежним значением. При установке `V4L2_CID_CC_ENABLE` в единицу блок Color Correction включен, при установке `V4L2_CID_CC_ENABLE` в ноль блок Color Correction выключен. Запись новых данных в регистры блока Color Correction осуществляется при изменении значения любого из контролов независимо от состояния контрола `V4L2_CID_CC_ENABLE`. Для обозначения переходов между состояниями на диаграмме используются следующие обозначения:

- «set `CC_STD`» — изменение значения стандартных контролов
- «set `CC_CALIB`» — изменение значения калибровочных контролов
- «set `CC`» — установка контрола `V4L2_CID_CC`
- «enable» — установка значения контрола `V4L2_CID_CC_ENABLE` в единицу
- «disable» — установка значения контрола `V4L2_CID_CC_ENABLE` в ноль
- «set auto» — изменение значения одного из автоконтролов (`V4L2_CID_AUTO_WHITE_BALANCE` или `V4L2_CID_AUTOBRIGHTNESS`)

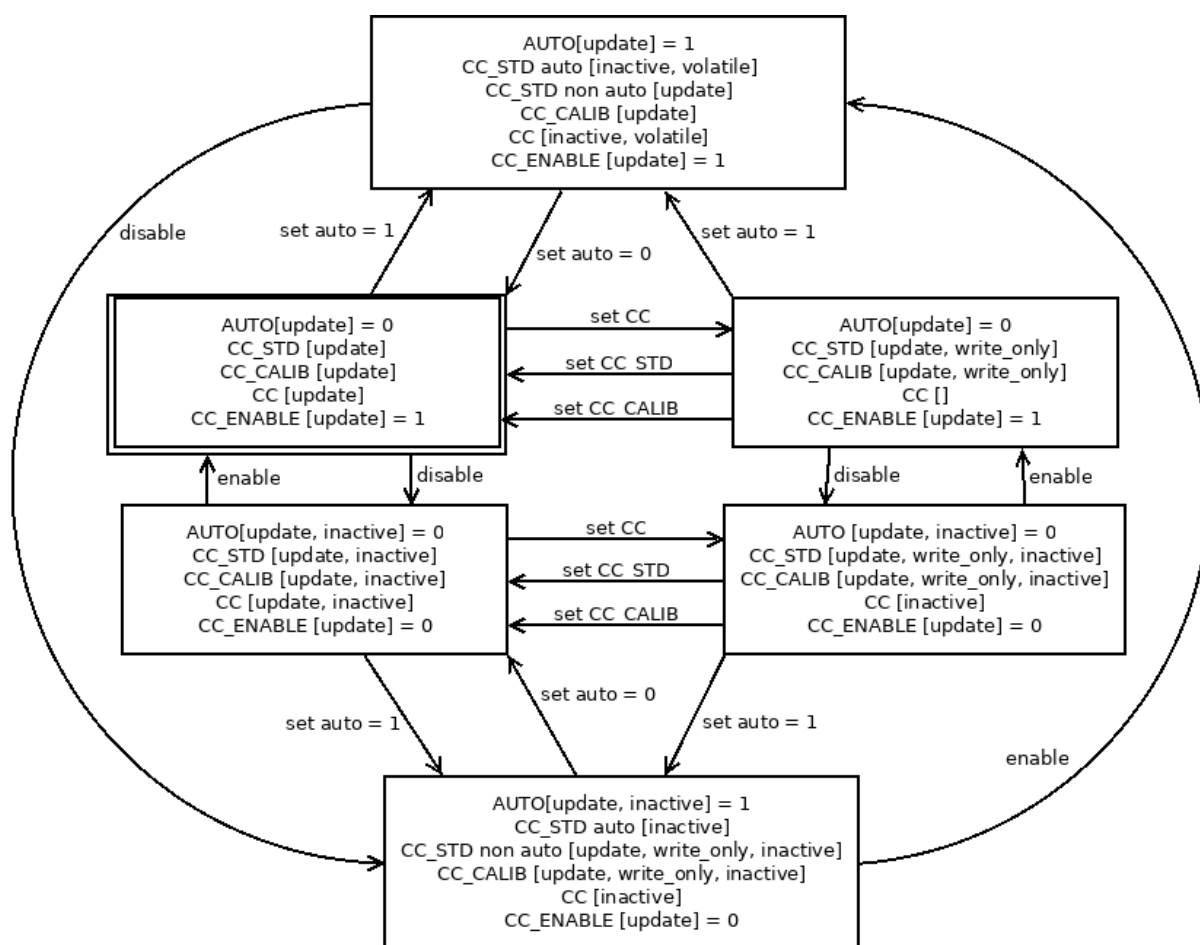


Рисунок 2.1. Диаграмма состояний кластера cc

При загрузке драйвера кластер сс устанавливается в исходное состояние, отмеченное на диаграмме двойной линией. В этом состоянии блок Color Correction включен и в регистры блока записаны значения, обеспечивающие трансляцию изображения с входа на выход без преобразования:

$$M_{CC} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, V_{CC} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Переходы между состояниями происходят при изменении значения одного из контролов. Значения контролов V4L2_CID_CC и V4L2_CID_CC_ENABLE могут быть изменены одновременно.

2.6 Управление блоком Color Transformation (CT)

Блок Color Transformation изменяет формат входного потока по формуле:

$$O = M_{CT} \times I + V_{CT},$$

где $M_{CT} = \begin{pmatrix} M_0 & M_1 & M_2 \\ M_3 & M_4 & M_5 \\ M_6 & M_7 & M_8 \end{pmatrix}$ — матрица коэффициентов цветности,

$V_{CT} = \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix}$ — вектор смещений,

I — трёхкомпонентный вектор входного пикселя, O — трёхкомпонентный вектор выходного пикселя.

Блок Color Transformation принимает на вход изображения в форматах RGB и YCbCr. Драйвер учитывает значения полей `ycbcr_enc` и `quantization` структуры `v4l2_pix_format`, которая определяет выходной формат изображения. Драйвер не учитывает поле `colospace`, то есть выходное цветовое пространство определяется входным.

Драйвер поддерживает следующие функции перевода (`ycbcr_enc`):

- V4L2_YCBCR_ENC_601
- V4L2_YCBCR_ENC_709
- V4L2_YCBCR_ENC_SYCC
- V4L2_YCBCR_ENC_BT2020

Драйвер поддерживает сжатый (V4L2_QUANTIZATION_LIM_RANGE) и полный (V4L2_QUANTIZATION_FULL_RANGE) диапазон выходных данных (`quantization`). Входные данные всегда должны быть представлены в полном диапазоне.

При переводе изображения из формата RGB в YCbCr, в зависимости от функций перевода и типа диапазона выходного изображения, значения M_{CT} и V_{CT} изменяются следующим образом:

- V4L2_YCBCR_ENC_SYCC, сжатый диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.5041 & 0.0979 & 0.2568 \\ -0.291 & 0.4392 & -0.1482 \\ -0.3678 & -0.0714 & 0.4392 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 256 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_SYCC, полный диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.587 & 0.114 & 0.299 \\ -0.3313 & 0.5 & -0.1687 \\ -0.4187 & -0.0813 & 0.5 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_601, сжатый диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.5041 & 0.0979 & 0.2568 \\ -0.291 & 0.4392 & -0.1482 \\ -0.3678 & -0.0714 & 0.4392 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 256 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_601, полный диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.587 & 0.114 & 0.299 \\ -0.3313 & 0.5 & -0.1687 \\ -0.4187 & -0.0813 & 0.5 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_709, сжатый диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.6142 & 0.062 & 0.1826 \\ -0.3386 & 0.4392 & -0.1006 \\ -0.3989 & -0.0403 & 0.4392 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 256 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_709, полный диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.7152 & 0.0722 & 0.2126 \\ -0.3854 & 0.5 & -0.1146 \\ -0.4542 & -0.0458 & 0.5 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_BT2020, сжатый диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.5823 & 0.0509 & 0.2256 \\ -0.3166 & 0.4392 & -0.1227 \\ -0.4039 & -0.0353 & 0.4392 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 256 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_BT2020, полный диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.678 & 0.0593 & 0.2627 \\ -0.3604 & 0.5 & -0.1396 \\ -0.4598 & -0.0402 & 0.5 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix}$$

При переводе изображения из формата YCbCr в RGB, в зависимости от функций перевода и типа диапазона выходного изображения, значения M_{CT} и V_{CT} изменяются следующим образом:

- V4L2_YCBCR_ENC_SYCC, сжатый диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.8588 & -0.2956 & -0.6133 \\ 0.8588 & 1.5218 & 0 \\ 0.8588 & 0 & 1.2041 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 2117.3645 \\ -2860.7187 \\ -2209.9366 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_SYCC, полный диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 1 & -0.3441 & -0.7141 \\ 1 & 1.772 & 0 \\ 1 & 0 & 1.402 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 2167.3422 \\ -3629.056 \\ -2871.296 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_601, сжатый диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.8588 & -0.2956 & -0.6133 \\ 0.8588 & 1.5218 & 0 \\ 0.8588 & 0 & 1.2041 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 2117.3645 \\ -2860.7187 \\ -2209.9366 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_601, полный диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 1 & -0.3441 & -0.7141 \\ 1 & 1.772 & 0 \\ 1 & 0 & 1.402 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 2167.3422 \\ -3629.056 \\ -2871.296 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_709, сжатый диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.8588 & -0.1609 & -0.402 \\ 0.8588 & 1.5936 & 0 \\ 0.8588 & 0 & 1.3525 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 1408.8492 \\ -3007.7603 \\ -2513.8694 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_709, полный диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 1 & -0.1873 & -0.4681 \\ 1 & 1.8556 & 0 \\ 1 & 0 & 1.5748 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 1342.3586 \\ -3800.2688 \\ -3225.1904 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_BT2020, сжатый диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 0.8588 & -0.1413 & -0.4907 \\ 0.8588 & 1.6158 & 0 \\ 0.8588 & 0 & 1.2664 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 1550.3639 \\ -3053.1391 \\ -2337.6306 \end{pmatrix}$$

- V4L2_YCBCR_ENC_BT2020, полный диапазон:

$$M_{CT} = \begin{pmatrix} 1 & -0.1646 & -0.5714 \\ 1 & 1.8814 & 0 \\ 1 & 0 & 1.4746 \end{pmatrix}; V_{CT} = \begin{pmatrix} 1507.136 \\ -3853.1072 \\ -3019.9808 \end{pmatrix}$$

При выполнении преобразования из YCbCr в RGB будет учитываться наличие свойства «elvees,pport-low-bits», прочитанного из DeviceTree. При наличии этого свойства все коэффициенты цветности M_{CT} будут умножены на 4, обеспечивая сдвиг цветовых компонентов влево на 2 разряда.

Если сдвига влево на 2 разряда недостаточно для получения полного диапазона (при разрядности входных данных меньше 10), требуется коррекция значений вектора смещения. Значения вектора смещений, приведенные выше, рассчитывались исходя из разрядности компонентов $n=12$. Если разрядность входных цветовых компонентов m , значения вектора смещения при наличии свойства «elvees,pport-low-bits» должны быть пересчитаны как $V_{CT}[i]/(2^{(n-m-2)})$, где i принимает значения от 0 до 2.

Значения регистров блока Color Transformation рассчитываются по формулам (обозначения регистров приведены согласно спецификации VINC):

$$\begin{aligned} \text{if } \lfloor \max(|M_{CT}|) \rfloor = 0, \text{ then } Scaling = 0, \\ \text{else } Scaling = \lfloor \log_2(\lfloor \max(|M_{CT}|) \rfloor) \rfloor + 1, \end{aligned}$$

где $\max(|M_{CT}|)$ — максимальный модуль коэффициентов матрицы M_{CT} .

$$m_i = \lfloor M_i \times (1 \ll (15 - Scaling)) + 0.5 \rfloor,$$

где i — целое число и принимает значения от 0 до 8.

$$v_i = \lfloor 4 \times V_i + 0.5 \rfloor,$$

где i — целое число и принимает значения от 0 до 2.

2.7 Управление блоком Gamma Correction (GC)

Блок Gamma Correction выполняет табличное преобразование входного изображения. Каждому из трех цветовых компонентов пикселя (R, G, B) входного изображения соответствует таблица из 4096 элементов. Преобразование выполняется по формуле:

$$O_C = Mem_C[I_C],$$

где используются следующие обозначения:

- C — принимает одно из значений R, G, B;
- I_C — яркость цветового компонента соответствующего входного пикселя;
- O_C — яркость цветового компонента соответствующего выходного пикселя;
- Mem_C — таблица преобразования для яркости цветового компонента.

Управление блоком Gamma Correction осуществляется с помощью контролов кластера `гамма`. Кластер `гамма` включает четыре контрола: стандартные контролы `V4L2_CID_GAMMA`, `V4L2_CID_BACKLIGHT_COMPENSATION`, нестандартные контролы `V4L2_CID_GAMMA_CURVE` и `V4L2_CID_GAMMA_ENABLE`.

Диаграмма состояний кластера `гамма` представлена на рисунке 2.2. Состояние кластера определяется флагами контролов `V4L2_CID_GAMMA`,

V4L2_CID_BACKLIGHT_COMPENSATION, V4L2_CID_GAMMA_CURVE и V4L2_CID_GAMMA_ENABLE (на диаграмме GAMMA, BACKLIGHT, GAMMA_CURVE и GAMMA_CURVE_ENABLE соответственно, наличие флагов указано в квадратных скобках), значениями контролов V4L2_CID_GAMMA, V4L2_CID_BACKLIGHT_COMPENSATION и V4L2_CID_GAMMA_ENABLE и состоянием блока Gamma Correction (GC = 0 — блок выключен, GC = 1 — блок включен). Для обозначения переходов между состояниями на диаграмме используются следующие обозначения:

- «set GAMMA» — изменение значения контрола V4L2_CID_GAMMA
- «set GAMMA_CURVE» — установка контрола V4L2_CID_GAMMA_CURVE
- «set BACKLIGHT» — изменение значения контрола V4L2_CID_BACKLIGHT_COMPENSATION
- «enable» — установка значения контрола V4L2_CID_GAMMA_ENABLE в единицу
- «disable» — установка значения контрола V4L2_CID_GAMMA_ENABLE в ноль

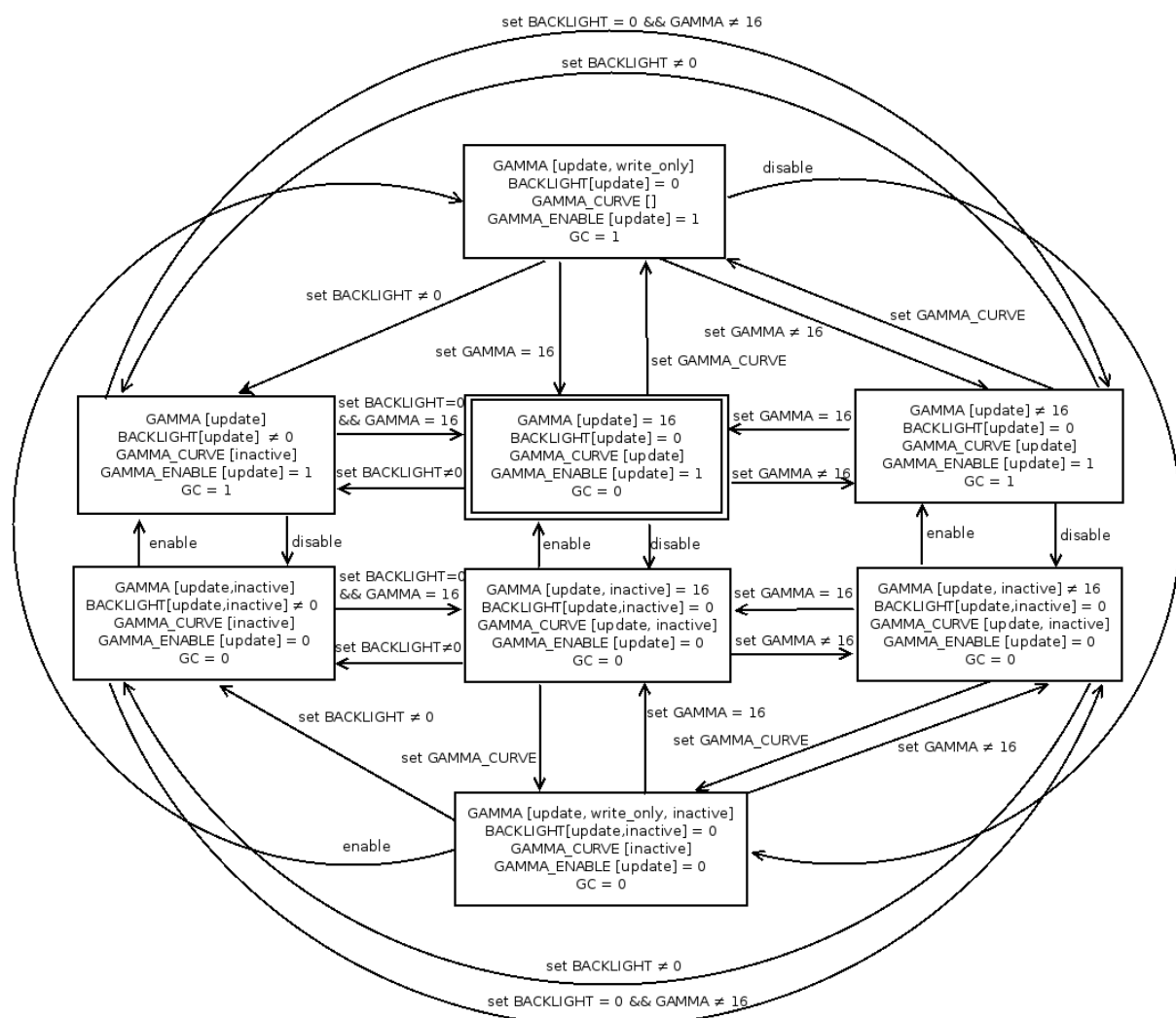


Рисунок 2.2. Диаграмма состояний кластера гамма

При загрузке драйвера кластер гамма устанавливается в исходное состояние, отме-

ченное на диаграмме двойной линией. Переходы между состояниями происходят при изменении значения одного из контролов. При одновременном изменении контролов V4L2_CID_GAMMA_CURVE и V4L2_CID_GAMMA_ENABLE приоритет имеет V4L2_CID_GAMMA_ENABLE, изменение V4L2_CID_GAMMA_CURVE игнорируется.

2.8 Управление автоэкспозицией

Управление автоэкспозицией осуществляется с помощью контролов кластера ae. Кластер ae содержит контролы:

- V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO,
- V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO,
- V4L2_CID_SENSOR_AUTOGAIN,
- V4L2_CID_AE_TARGET_LUM.

Диаграмма состояний кластера ae представлена на рисунке 2.3. На диаграмме отображено поведение контролов V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO, V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO и V4L2_CID_AE_TARGET_LUM. Контроль V4L2_CID_SENSOR_AUTOGAIN взаимодействует с V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO аналогично контролю V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO и не зависит от последнего.

Состояние кластера определяется флагами и значениями контролов V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO и V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO (на диаграмме EXPOSURE_AUTO и SENSOR_AE соответственно). На диаграмме также проиллюстрировано состояние контролов сенсора V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO и V4L2_CID_EXPOSURE (SENSOR_EXPOSURE_AUTO и SENSOR_EXPOSURE соответственно), которое зависит от контроля V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO. Для обозначения переходов между состояниями на диаграмме используются следующие обозначения:

- «set EXPOSURE_AUTO» — изменение значения контроля V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO;
- «set SENSOR_AE» — изменение значения контроля V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO.

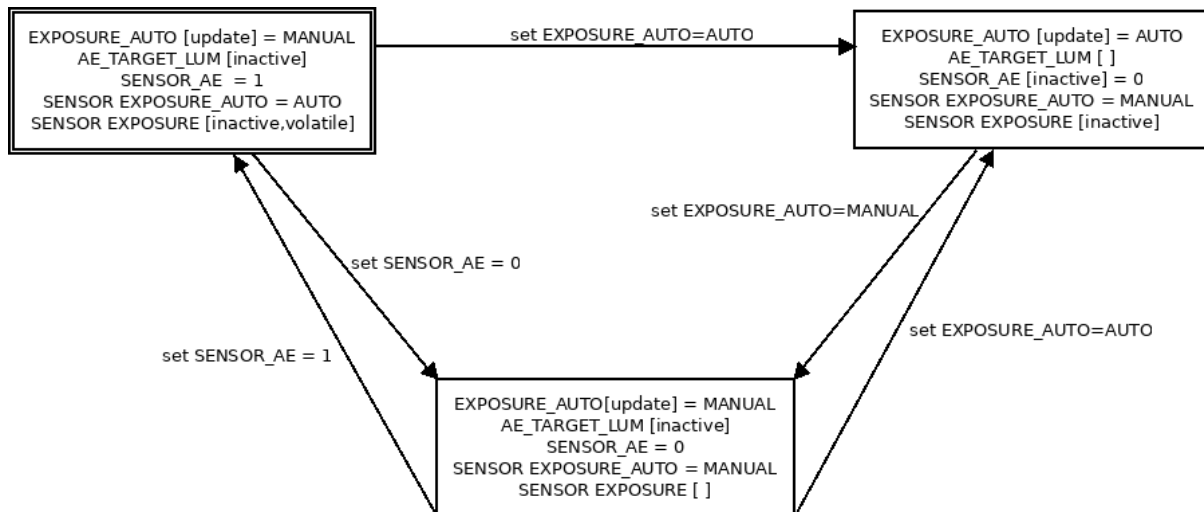


Рисунок 2.3. Диаграмма состояний кластера ае

3. ПОДДЕРЖИВАЕМЫЕ ЮСТЛ

Таблица 3.1. Поддерживаемые ioctl

Название	Описание
VIDIOC_ENUM_FMT	Получить список поддерживаемых форматов пикселей
VIDIOC_EXPBUF	Получить файловый дескриптор на буфер (не проверялось)
VIDIOC_G_CTRL	Получить значение контрола
VIDIOC_S_CTRL	Изменить значение контрола
VIDIOC_G_EXT_CTRLS	Получить значение расширенного контрола
VIDIOC_S_EXT_CTRLS	Изменить значение расширенного контрола
VIDIOC_TRY_EXT_CTRLS	Проверить правильно ли установлено значение контрола
VIDIOC_G_FMT	Получить текущий установленный формат пикселей и разрешение
VIDIOC_S_FMT	Установить новый формат пикселей и разрешение
VIDIOC_TRY_FMT	Проверить, поддерживается ли формат пикселей и разрешение
VIDIOC_G_PARM	Получить параметры стриминга
VIDIOC_S_PARM	Изменить параметры стриминга
VIDIOC_QBUF	Передать буфер драйверу для заполнения
VIDIOC_DQBUF	Запросить заполненный буфер у драйвера
VIDIOC_QUERYBUF	Запросить статус буфера
VIDIOC_QUERYCAP	Запросить информацию о возможностях устройства
VIDIOC_QUERYCTRL	Получить список поддерживаемых контролов
VIDIOC_QUERY_EXT_CTRL	Получить список поддерживаемых расширенных контролов (не проверялось)
VIDIOC_QUERYMENU	Получить список поддерживаемых меню-контролов
VIDIOC_CREATE_BUFS	Создать буферы
VIDIOC_REQBUFS	Запросить буферы
VIDIOC_STREAMON	Включить приём видео
VIDIOC_STREAMOFF	Выключить приём видео

3.1 VIDIOC_ENUM_FMT

Блок VINC поддерживает форматы:

- V4L2_PIX_FMT_BGR32
- V4L2_PIX_FMT_M420
- V4L2_PIX_FMT_NV12

3.2 VIDIOC_EXPBUF

Выполняется в подсистеме V4L2 без участия драйвера *vinc*.

3.3 VIDIOC_G_CTRL

Поддерживаемые контролы описаны в главе *Контролы*.

3.4 VIDIOC_S_CTRL

При каждой записи контроля подсистема V4L2 вначале вызывает функцию `try_ctrl()`. Это гарантирует, что обработчик `s_ctrl()` получает уже проверенное значение. Поддерживаемые контролы описаны в главе *Контролы*.

3.5 VIDIOC_G_EXT_CTRL

Поддерживаемые расширенные контролы описаны в главе *Контролы*.

3.6 VIDIOC_S_EXT_CTRL

При каждой записи расширенного контроля подсистема V4L2 вначале вызывает функцию `try_ctrl()`. Это гарантирует, что обработчик `s_ctrl()` получает уже проверенное значение. Поддерживаемые расширенные контролы описаны в главе *Контролы*.

3.7 VIDIOC_TRY_EXT_CTRL

Для целочисленных значений драйвер проверяет, что это значение принадлежит диапазону, указанному для данного контроля. Для массивов и указателей драйвер проверяет допустимость значений в зависимости от конкретного контроля.

3.8 VIDIOC_G_FMT

Драйвер `vinc` запрашивает размер кадра и формат у драйвера сенсора и возвращает структуру `v4l2_format`.

3.9 VIDIOC_S_FMT

Когда приложение устанавливает формат пикселей и размер кадра, драйвер `vinc` проверяет, поддерживает ли он этот формат пикселей. Если формат не поддерживается, то драйвер вернёт приложению ошибку `-EINVAL`. Драйвер `vinc` запрашивает размер кадра и формат у драйвера сенсора при помощи функции `try_mbus_fmt`. Драйвер сенсора возвращает тот размер кадра и формат пикселей, который он поддерживает.

- Если запрашиваемый размер кадра меньше размера кадра, полученного от драйвера сенсора, то драйвер `vinc` будет обрезать кадр, сохраняя положение центра кадра, получаемого от сенсора.
- В остальных случаях драйвер `vinc` будет использовать размер, полученный от драйвера сенсора

Драйвер `vinc` вызывает функцию `s_mbus_fmt`, что бы настроить сенсор на формат пикселей и размер кадра, который драйвер сенсора вернул при вызове `try_mbus_fmt`.

Драйвер настраивает блок VINC в следующей последовательности:

- Настройка входных портов.

- Настройка входного кропинга.
- Включение и настройка блоков преобразования.
- Настройка выходного кропинга.
- Настройка размера строк и кадров.
- Настройка формата сохраняемых пикселей.

Тракт преобразования и DMA остаются в выключенном состоянии.

3.10 VIDIOC_TRY_FMT

Алгоритм проверки как при *VIDIOC_S_FMT*, но внутреннее состояние драйвера, блока VINC и сенсора не изменяется.

3.11 VIDIOC_G_PARM

Драйвер *vinc* запрашивает у драйвера сенсора частоту кадров и заполняет структуру *v4l2_fract*. В поле *type* структуры *v4l2_streamparm* записывается флаг *V4L2_BUF_TYPE_VIDEO_CAPTURE*. В поля структуры *v4l2_captureparm* драйвер записывают значения:

- в *capability* флаг *V4L2_CAP_TIMEPERFRAME*
- в *capturemode* — 0
- в *extendedmode* — номер интерфейса удаленного устройства в соответствии со свойством «*elvees,ifacenum*» в DeviceTree (см *Инициализация *vinc**).

3.12 VIDIOC_S_PARM

Когда приложение устанавливает частоту кадров, драйвер *vinc* запрашивает текущую частоту у драйвера сенсора и вычисляет коэффициент децимации по кадрам как отношение текущей частоты к запрашиваемой. Коэффициент децимации устанавливается в диапазоне от 1 до 64. Если вычисленный коэффициент децимации выходит за границы диапазона, устанавливается граничное значение. Коэффициент децимации записывается в поле *FDECIM_COEFF* регистра *STREAM_INP_DECIM_CTR*.

3.13 VIDIOC_QBUF

Драйвер ставит буфер в очередь на заполнение. Если приём видео включен (см *VIDIOC_STREAMON*), но в этот момент не ведётся приём другого кадра, то драйвер включает DMA и начинается приём кадра с начала следующего кадра.

3.14 VIDIOC_DQBUF

Выполняется в подсистеме V4L2 без участия драйвера.

3.15 VIDIOC_QUERYBUF

Выполняется в подсистеме V4L2 без участия драйвера.

3.16 VIDIOC_QUERYCAP

Драйвер записывает в поля:

- в `card` строку «VINC»
- в `device_caps` — флаги `V4L2_CAP_VIDEO_CAPTURE` и `V4L2_CAP_STREAMING`
- в `capabilities` — флаги из поля `device_caps` и флаг `V4L2_CAP_DEVICE_CAPS`

3.17 VIDIOC_QUERYCTRL

Выполняется в подсистеме V4L2 без участия драйвера.

3.18 VIDIOC_QUERY_EXT_CTRL

Выполняется в подсистеме V4L2 без участия драйвера.

3.19 VIDIOC_QUERYMENU

Выполняется в подсистеме V4L2 без участия драйвера.

3.20 VIDIOC_CREATE_BUFS

Подсистема V4L2 передаёт драйверу запрашиваемый формат пикселей и размер кадров. На основе этой информации драйвер возвращает количество и размеры плеинов.

3.21 VIDIOC_REQBUFS

Подсистема V4L2 передаёт драйверу указатель на количество плеинов. Драйвер выставляет количество плеинов исходя из выбранного формата пикселей (см. `VIDIOC_S_FMT`)

3.22 VIDIOC_STREAMON

Драйвер включает приём видео: включает входной порт, канал обработки, прерывания и бит `AXI_MASTER_CFG.GLOBAL_ENABLE`. Номер канала обработки определяется свойством «`elvees,ifacenum`», определенным для удаленного устройства, с которого будет приниматься видео. Если «`elvees,ifacenum`» имеет четное значение, выбирается канал обработки 0, если нечетное значение — канал обработки 1. Драйвер записывает значение этого свойства в поле `STREAM*_INP_CFG.INPUT_INTERFACE`. При попытке запуска видео на канале обработки, который уже занят приемом видео с другого источника, `ioctl`

будет завершаться с кодом ошибки EBUSY. Включение DMA будет производиться при наличии буферов у драйвера (см `VIDIOC_QBUF`).

3.23 VIDIOC_STREAMOFF

Драйвер выключает приём видео: выключает DMA, канал обработки, прерывания и входной порт. Если в DeviceTree отсутствует свойство `clock-over-fsync` (см *Инициализация *vinc**), то драйвер выключает бит `AXI_MASTER_CFG.GLOBAL_ENABLE`.

4. КОНТРОЛЫ

Драйвер *vinc* использует контролы для настройки блока VINC или передаёт эти контролы драйверу сенсора. Если драйвер *vinc* и драйвер сенсора поддерживают одинаковые контролы, то при изменении такого контрола драйвер *vinc* будет передавать контрол драйверу сенсора.

Таблица 4.1. Поддерживаемые стандартные контролы

#	Название контрола	Расширенный контрол	Тип данных	Значение по умолчанию	Минимальное значение	Максимальное значение	Описание
1	V4L2_CID_BRIGHTNESS	Нет	integer	0	-2048	2047	Значение яркости
2	V4L2_CID_CONTRAST	Нет	integer	128	0	255	Значение контраста (усиление яркости)
3	V4L2_CID_SATURATION	Нет	integer	128	0	255	Значение насыщенности (усиление цветности)
4	V4L2_CID_HUE	Нет	integer	0	-128	127	Значение баланса цветности
5	V4L2_CID_AUTO_WHITE_BALANCE	Нет	bool	1	0	1	Разрешение автобаланса белого
6	V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE	Нет	button	–			Однократная установка коэффициентов баланса белого
7	V4L2_CID_COLOR_KILLER	Нет	bool	0	0	1	Разрешение черно-белого при слабом видеосигнале
8	V4L2_CID_GAIN	Нет	integer	1			Усиление
9	V4L2_CID_GAMMA	Нет	integer	16	1	31	Гамма-коррекция
10	V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE	Да	integer				Время экспозиции для сенсора
11	V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO	Да	enum	1	0	1	Разрешение и выбор режима автоэкспозиции
12	V4L2_CID_RED_BALANCE	Нет	integer	0	-112	112	Коэффициент баланса для красного цвета
13	V4L2_CID_BLUE_BALANCE	Нет	integer	0	-112	112	Коэффициент баланса для синего цвета
14	V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE	Нет	integer	6500	2000	9000	Баланс белого в виде цветовой температуры
15	V4L2_CID_AUTOGAIN	Нет	integer	1	0	1	Разрешение автоусиления
16	V4L2_CID_AUTOBRIGHTNESS	Нет	bool	0	0	1	Разрешение автояркости
17	V4L2_CID_POWER_LINE_FREQUENCY	Нет	enum				Включение фильтра частоты переменного тока, позволяющего избежать мерцания
18	V4L2_CID_COLORFX	Нет	enum				Выбор цветового эффекта
19	V4L2_CID_COLORFX_CBCR	Нет	integer				Коэффициенты для цветовых эффектов CbCr (биты [7:0] для Cr, биты [15:8] для Cb)
20	V4L2_CID_CHROMA_GAIN	Нет	integer				Регулировка усиления цвета

Продолжается на следующей странице

Таблица 4.1 – продолжение с предыдущей страницы

#	Название контроля	Расширенный контроль	Тип данных	Значение по умолчанию	Минимальное значение	Максимальное значение	Описание
21	V4L2_CID_BACKLIGHT_COMPENSATION	Нет	integer	0	0	10	Компенсация заднего света
22	V4L2_CID_TEST_PATTERN	Да	menu	0	0	4	Включение/выключение и выбор тестового шаблона

Таблица 4.2. Поддерживаемые нестандартные³ контролы

#	Название	Тип данных	Номер ⁴	Описание
1	V4L2_CID_BAD_CORRECTION_ENABLE	bool	0x1000	Вкл/выкл блока коррекции битых пикселей
2	V4L2_CID_BAD_PIXELS	void*	0x1001	Карта битых пикселей
3	V4L2_CID_BAD_ROWS	__u16*	0x1002	Битые строки
4	V4L2_CID_BAD_COLS	__u16*	0x1003	Битые столбцы
5	V4L2_CID_GAMMA_CURVE_ENABLE	bool	0x1004	Вкл/выкл блока гамма-коррекции
6	V4L2_CID_GAMMA_CURVE	void*	0x1005	Гамма-коррекция
7	V4L2_CID_CC_ENABLE	bool	0x1006	Вкл/выкл коррекции цвета
8	V4L2_CID_CC	void*	0x1007	Коррекция цвета
9	V4L2_CID_CT_ENABLE	bool	0x1008	Вкл/выкл преобразования цвета
10	V4L2_CID_CT	void*	0x1009	Преобразование цвета
11	V4L2_CID_DR_ENABLE	bool	0x100A	Вкл/выкл адаптации динамического диапазона
12	V4L2_CID_DR	__u16*	0x100B	Адаптация динамического диапазона
13	V4L2_CID_STAT_ENABLE	__s32	0x100C	Вкл/выкл сбора статистики
14	V4L2_CID_STAT_AF_COLOR	__s32	0x100D	Компонента автофокуса
15	V4L2_CID_STAT_AF_TH	__s32	0x100E	Пороговое значение автофокуса
16	V4L2_CID_STAT_ZONE0	void*	0x100F	Настройка зоны 0
17	V4L2_CID_STAT_ZONE1	void*	0x1010	Настройка зоны 1
18	V4L2_CID_STAT_ZONE2	void*	0x1011	Настройка зоны 2
19	V4L2_CID_STAT_ZONE3	void*	0x1012	Настройка зоны 3
20	V4L2_CID_STAT_HIST0	void*	0x1013	Гистограммы по зоне 0
21	V4L2_CID_STAT_HIST1	void*	0x1014	Гистограммы по зоне 1
22	V4L2_CID_STAT_HIST2	void*	0x1015	Гистограммы по зоне 2
23	V4L2_CID_STAT_HIST3	void*	0x1016	Гистограммы по зоне 3
24	V4L2_CID_STAT_AF0	void*	0x1017	Значения автофокуса по зоне 0

Продолжается на следующей странице

Таблица 4.2 – продолжение с предыдущей страницы

#	Название	Тип данных	Номер ⁴	Описание
25	V4L2_CID_STAT_AF1	void*	0x1018	Значения автофокуса по зоне 1
26	V4L2_CID_STAT_AF2	void*	0x1019	Значения автофокуса по зоне 2
27	V4L2_CID_STAT_AF3	void*	0x101A	Значения автофокуса по зоне 3
28	V4L2_CID_STAT_ADD0	void*	0x101B	Дополнительная статистика по зоне 0
29	V4L2_CID_STAT_ADD1	void*	0x101C	Дополнительная статистика по зоне 1
30	V4L2_CID_STAT_ADD2	void*	0x101D	Дополнительная статистика по зоне 2
31	V4L2_CID_STAT_ADD3	void*	0x101E	Дополнительная статистика по зоне 3
32	V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO	bool	0x101F	Разрешение автоэкспозиции сенсора
33	V4L2_CID_SENSOR_AUTOGAIN	bool	0x1020	Разрешение автоусиления сенсора
34	V4L2_CID_SENSOR_AUTO_WHITE_BALANCE	bool	0x1021	Разрешение авто баланса белого сенсора
35	V4L2_CID_BLACK_LEVEL_CORR	__s32	0x1022	Коррекция уровня черного
36	V4L2_CID_WHITE_BALANCE_CC	void*	0x1023	Матрицы цветокоррекции для различных цветовых температур
37	V4L2_CID_AE_TARGET_LUM	__s32	0x1024	Целевая яркость автоэкспозиции

³ Все нестандартные контролы являются расширенными.

⁴ Номер указан относительно V4L2_CID_CAMERA_CLASS_BASE.

4.1 Стандартные контролы

Обозначения в описании стандартных контролов:

`max_v` – количество возможных значений компоненты пикселя.

4.1.1 V4L2_CID_BRIGHTNESS

Описание: Контрол позволяет регулировать яркость изображения.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [-2048..2048]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Контрол изменяет значение яркости изображения на заданную величину. При установке контрола рассчитывается вектор V_{bri} и обновляются значения коэффициентов блока *Color Correction*:

$$V_{bri} = \begin{pmatrix} value \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

где *value* — текущее значение контрола

4.1.2 V4L2_CID_CONTRAST

Описание: Контрол позволяет изменить контрастность изображения.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [0..255]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 128

Алгоритм:

Контрол умножает значение яркости изображения на заданную величину. При установке контрола рассчитывается матрица M_{con} и обновляются значения коэффициентов блока *Color Correction*:

$$M_{con} = \begin{pmatrix} L & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где $L = \tan\left(\frac{value \times \pi}{512}\right)$ и *value* — текущее значение контрола.

4.1.3 V4L2_CID_SATURATION

Описание: Контроль позволяет изменить насыщенность изображения.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [0..255]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 128

Алгоритм:

Контроль умножает значения цветности изображения на заданную величину. При установке контроля рассчитывается матрица M_{sat} и обновляются значения коэффициентов блока *Color Correction*:

$$M_{sat} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C & 0 \\ 0 & 0 & C \end{pmatrix},$$

где $C = \tan\left(\frac{value \times \pi}{512}\right)$ и *value* — текущее значение контроля.

4.1.4 V4L2_CID_HUE

Описание: Контроль позволяет изменить тон изображения.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [-128..127]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Контроль выполняет поворот вектора цветности на заданный угол. При установке контроля рассчитывается матрица M_{hue} и обновляются значения коэффициентов блока *Color Correction*:

$$M_{hue} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(A) & -\sin(A) \\ 0 & \sin(A) & \cos(A) \end{pmatrix},$$

где $A = \frac{value \times \pi}{128}$ и *value* — текущее значение контроля.

4.1.5 V4L2_CID_GAMMA

Описание: Контроль позволяет выполнить гамма-коррекцию изображения с использованием степенной функции.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..31]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 16

Алгоритм:

Контроль задает параметр для вычисления степени передаточной функции при гамма-коррекции. Значение степени γ вычисляется как:

$$\gamma = \frac{value/32}{1 - value/32},$$

где $value$ — текущее значение контроля.

Значение по умолчанию соответствует $\gamma = 1$. Преобразование выполняется в блоке Gamma Correction (GC). Для настройки преобразования требуется задать три таблицы из 4096 значений, по одной для каждого цветового компонента пикселя. Таблицы одинаковы для всех цветовых компонентов. Формирование таблицы осуществляется следующим образом: для каждого значения цветового компонента входного пикселя V_{IN} в диапазоне 0-4095 вычисляется значение цветового компонента выходного пикселя V_{OUT} по формуле:

$$V_{OUT} = 4095 * \left(\frac{V_{IN}}{4095}\right)^\gamma$$

Полученные таблицы записываются в ячейки каждой из трех памяти коэффициентов блока Gamma Correction.

4.1.6 V4L2_CID_COLOR_KILLER

Описание: Контроль позволяет перевести изображение в градации серого цвета.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроль обнуляет значение цветовых компонент изображения. При включении контроля рассчитывается матрица M_{CK} и обновляются значения коэффициентов блока *Color Correction*:

$$M_{CK} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - value & 0 \\ 0 & 0 & 1 - value \end{pmatrix},$$

где $value$ — текущее значение контроля.

4.1.7 V4L2_CID_COLORFX

Описание: Контроль позволяет накладывать на изображение различные цветовые эффекты.

Тип: enum

Диапазон возможных значений: [0..15]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

В зависимости от значения контроля выбираются значения матриц M_{FX_RGB} , M_{FX_YCbCr} и векторов V_{FX_RGB} , V_{FX_YCbCr} . При этом обновляются значения коэффициентов блока *Color Correction*. Цветовой эффект зависит от значения, принимаемого контролем. Если контроль выставлен в не поддерживаемое значение, то он переводится в предыдущее поддерживаемое. Если в описании эффекта нет упоминания матрицы или вектора, то они принимают значения по умолчанию:

$$M_{FX_RGB} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, M_{FX_YCbCr} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$V_{FX_YCbCr} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, V_{FX_RGB} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Список значений поддерживаемых эффектов и их описание:

- V4L2_COLORFX_NONE

Эффект отсутствует. Это исходное значение контроля. Матрицы и вектор смещения выставляются в значения по умолчанию;

- V4L2_COLORFX_BW

Изображение переводится в черно-белое. Матрица M_{FX_YCbCr} и вектор V_{FX_YCbCr} принимают значения:

$$M_{FX_YCbCr} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, V_{FX_YCbCr} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2048 \\ 2048 \end{pmatrix};$$

- V4L2_COLORFX_SEPIA

К изображению применяется эффект сепии. Матрица M_{FX_RGB} принимает значение:

$$M_{FX_RGB} = \begin{pmatrix} 0.393 & 0.769 & 0.189 \\ 0.349 & 0.686 & 0.168 \\ 0.272 & 0.534 & 0.131 \end{pmatrix};$$

- V4L2_COLORFX_NEGATIVE

Изображение переводится в негатив. Матрица M_{FX_RGB} и вектор V_{FX_RGB} принимают значения:

$$M_{FX_RGB} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, V_{FX_RGB} = \begin{pmatrix} 4095 \\ 4095 \\ 4095 \end{pmatrix};$$

- V4L2_COLORFX_VIVID

В изображении насыщаются цвета. Матрица M_{FX_YCbCr} и вектор V_{FX_YCbCr} принимают значения:

$$M_{FX_YCbCr} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1.3143 & 0 \\ 0 & 0 & 1.3143 \end{pmatrix}, V_{FX_RGB} = \begin{pmatrix} 0 \\ -643.6864 \\ -643.6864 \end{pmatrix};$$

- V4L2_COLORFX_AQUA

Изображение переводится в холодные тона. Матрица M_{FX_RGB} принимает значение:

$$M_{FX_RGB} = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.85 & 0.1 \\ 0.3 & 0.1 & 0.7 \end{pmatrix};$$

- V4L2_COLORFX_ANTIQUA

К изображению применяется эффект старого фото. Матрица M_{FX_RGB} принимает значение:

$$M_{FX_RGB} = \begin{pmatrix} 0.85 & 0.1 & 0.3 \\ 0.1 & 0.45 & 0.5 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 \end{pmatrix};$$

- V4L2_COLORFX_SET_CBCR

В изображении компоненты Cb и Cr пикселей заменяются на значения Cb_{new} и Cr_{new}, заданные контролем V4L2_CID_COLORFX_CBCR. Матрица M_{FX_YCbCr} и вектор V_{FX_YCbCr} принимают значения:

$$M_{FX_YCbCr} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, V_{FX_YCbCr} = \begin{pmatrix} 0 \\ Cb_{new} \\ Cr_{new} \end{pmatrix}.$$

4.1.8 V4L2_CID_COLORFX_CBCR

Описание: Контроль позволяет изменять компоненты Cb и Cr пикселей изображения на фиксированные значения, при использовании эффекта V4L2_COLORFX_SET_CBCR контроля V4L2_CID_COLORFX.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [0..65535]

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При установке контрола драйвер выполняет:

- изменение переменных $Cr_{new} = value[7 : 0]$ и $Cb_{new} = value[15 : 8]$, где $value$ — значение контрола.
- пересчёт вектора V_{FX_YCbCr} контрола $V4L2_CID_COLORFX$ и обновление значения коэффициентов блока *Color Correction*.

4.1.9 V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE

Описание: Контрол выполняет одновременную автонастройку баланса белого цвета изображения.

Тип: button

Диапазон возможных значений: -

Шаг между значениями: -

Значение по умолчанию: -

Алгоритм:

Преобразование выполняется только над данными в формате RGB.

При установке контрола драйвер выполняет:

- чтение значений суммы по красному, синему и зелёному цвету $sumR$, $sumG$, $sumB$ из блока статистики (STT).
- вычисление в соответствии с алгоритмом «Серый мир» коэффициентов баланса красного цвета $Kr = sumG/sumR$ и синего цвета $Kb = sumG/sumB$.
- вычисление матрицы M_{WBCC} с помощью линейной интерполяции матриц коэффициентов цветности $coeff$ из контрола $V4L2_CID_WHITE_BALANCE_CC$ исходя из отношения коэффициентов усиления красного и синего $gain_r'/gain_b' = Kr/Kb$.
- формирование матрицы M_{WB} по формуле:

$$M_{WB} = M_{WBCC} * \begin{pmatrix} Kr & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & Kb \end{pmatrix},$$

для данных в формате YCbCr матрица M_{WB} равна единичной.

- установку контролов $V4L2_CID_RED_BALANCE$ и $V4L2_CID_BLUE_BALANCE$ в соответствии с рассчитанными коэффициентами Kr и Kb .

- установку флагов WRITE_ONLY и EXECUTE_ON_WRITE для контроля V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE.
- обновление значения коэффициентов блока Color Correction.

4.1.10 V4L2_CID_RED_BALANCE

Описание: Контроль устанавливает баланс красного цвета в изображении.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [-112..112]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При установке контроля драйвер выполняет:

- вычисление коэффициента баланса красного цвета по формуле:

$$K_r = \frac{(value + 128)/256}{1 - (value + 128)/256} * K_g,$$

где *value* — текущее значение контроля, *K_g* — коэффициент баланса зеленого цвета.

Установка *value* < 0 приводит к установке *K_r* < *K_g*, минимальное значение *value* = -112 соответствует *K_r* = 0.067 * *K_g*. Установка *value* > 0 приводит к установке *K_r* > *K_g*, максимальное значение *value* = 112 соответствует *K_r* = 15 * *K_g*. При *value* = 0 *K_r* = *K_g*.

- формирование матрицы *M_{WB}* для нового значения *K_r* (см. V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE).
- установку флагов WRITE_ONLY и EXECUTE_ON_WRITE для контроля V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE.
- обновление значения коэффициентов блока Color Correction.

4.1.11 V4L2_CID_BLUE_BALANCE

Описание: Контроль устанавливает баланс синего цвета в изображении.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [-112..112]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При установке контроля драйвер выполняет:

- вычисление коэффициента баланса синего цвета по формуле:

$$Kb = \frac{(value + 128)/256}{1 - (value + 128)/256} * Kg,$$

где *value* — текущее значение контроля, *Kg* — коэффициент баланса зеленого цвета.

Установка *value* < 0 приводит к установке *Kb* < *Kg*, минимальное значение *value* = -112 соответствует *Kb* = 0.067 * *Kg*. Установка *value* > 0 приводит к установке *Kb* > *Kg*, максимальное значение *value* = 112 соответствует *Kb* = 15 * *Kg*. При *value* = 0 *Kb* = *Kg*.

- формирование матрицы M_{WB} для нового значения *Kb* (см. *V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE*).
- установку флагов *WRITE_ONLY* и *EXECUTE_ON_WRITE* для контроля *V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE*.
- обновление значения коэффициентов блока *Color Correction*.

4.1.12 V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE

Описание: Контроль устанавливает баланс белого цвета изображения в соответствии с цветовой температурой.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [2000 - 9000]

Шаг между значениями: 10

Значение по умолчанию: 6500

Алгоритм:

При установке контроля драйвер выполняет:

- вычисление коэффициентов *Kr*, *Kb* с помощью линейной интерполяции значений *gain_r*, *gain_b* из контроля *V4L2_CID_WHITE_BALANCE_CC* для заданной цветовой температуры.
- формирование матрицы M_{WB} для новых значений *Kr*, *Kb* (см. *V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE*).
- установку контролей *V4L2_CID_RED_BALANCE* и *V4L2_CID_BLUE_BALANCE* в соответствии с рассчитанными коэффициентами *Kr* и *Kb*.
- сброс флагов *WRITE_ONLY* и *EXECUTE_ON_WRITE*
- обновление значения коэффициентов блока *Color Correction*.

4.1.13 V4L2_CID_AUTO_WHITE_BALANCE

Описание: Контроль включает/выключает автонастройку баланса белого цвета изображения.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроль выполняет настройку баланса белого цвета после каждого чтения статистических данных по алгоритму, описанному в главе `V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE`. Для контролей `V4L2_CID_CC`, `V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE`, `V4L2_CID_RED_BALANCE`, `V4L2_CID_BLUE_BALANCE`, `V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE` устанавливается флаг `INACTIVE`, для всех вышеперечисленных контролей кроме `V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE` — флаг `VOLATILE`.

При выключении контроля флаги `INACTIVE` и `VOLATILE` для вышеперечисленных контролей сбрасываются.

4.1.14 V4L2_CID_AUTOBRIGHTNESS

Описание: Контроль включает/выключает автонастройку яркости и контраста изображения.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При загрузке драйвера:

- определяется зона 3 (с наименьшим приоритетом) для вычисления статистических данных (см. `V4L2_CID_STAT_ZONE0-3`).
- разрешается вычисление гистограмм по зоне 3 блоком статистики (STT).

При включении контроль выполняет после каждого чтения гистограмм красного, зелёного и синего цвета `histR`, `histG`, `histB` (для данных в формате RGB) или гистограммы яркости `histY` (для данных в формате YCbCr) из блока статистики (STT) следующую последовательность действий:

- вычисление для данных в формате RGB суммарной гистограммы по красному, синему и зеленому цвету $hist[i] = histR[i] + histG[i] + histB[i]$, где $i=0-255$; для данных в формате YCbCr используется гистограмма по яркости $hist[i] = histY[i]$.
- построение кумулятивного распределения по суммарной гистограмме: $acc[0] = hist[0]$, $acc[i] = acc[i - 1] + hist[i]$, где $i=1-255$.

- определение минимального и максимального значения для обрезки гистограммы по краям таким образом, чтобы в обрезанные участки гистограммы попадало по 1% от общего количества пикселей в изображении (нормализация гистограммы). Минимальное i_{min} и максимальное i_{max} значения должны выбираться таким образом, чтобы только для $i \leq i_{min}$ и только для $j \geq i_{max}$ выполнялись следующие условия:

$$acc[i] < N * 0.1, acc[j] \geq N * 0.99,$$

где N — количество пикселей в выходном изображении.

- определение входного диапазона после нормализации гистограммы как $range_{in} = i_{max} - i_{min}$
- установку нового значения контраста с целью получения максимального выходного диапазона: $L = 255/range_{in}$, где L — коэффициент матрицы M_{con} (см. `V4L2_CID_CONTRAST`).
- установку нового значения яркости с целью получения нулевой нижней границы выходного диапазона: $value = -L * min$, где $value$ — коэффициент вектора V_{bri} (см. `V4L2_CID_BRIGTHNESS`).
- обновление значения коэффициентов блока *Color Correction*.

При включении контроля для контролов `V4L2_CID_CONTRAST` и `V4L2_CID_BRIGTHNESS` устанавливаются флаги `INACTIVE` и `VOLATILE`. При выключении контроля флаги `INACTIVE` и `VOLATILE` для вышеперечисленных контролов сбрасываются.

4.1.15 V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO

Описание: Контрол устанавливает режим автонастройки значения выдержки.

Тип: enum

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 1

Алгоритм:

При загрузке драйвера:

- определяется зона 3 (с наименьшим приоритетом) для вычисления статистических данных (см. `V4L2_CID_STAT_ZONE0-3`).
- разрешается вычисление дополнительной статистики по зоне 3 блоком статистики (STT).

Управление значениями экспозиции и усиления осуществляется драйвером через контролы драйверов сенсора `V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE` и `V4L2_CID_GAIN`.

При установке значения контрола в V4L2_EXPOSURE_AUTO(0) контрол выполняет после каждого чтения сумм по красному, синему и зелёному цвету $sumR$, $sumG$, $sumB$ (для данных в формате RGB) или суммарной яркости $sumY$ (для данных в формате YCbCr) из блока статистики (STT) следующую последовательность действий:

- вычисление значения средней яркости изображения для формата RGB:

$$Y_{avg} = (M_0 * sumR + M_1 * sumG + M_2 * sumB) / N$$

или формата YCbCr:

$$Y_{avg} = sumY / N,$$

где M_{0-2} — коэффициент матрицы M_{CT} (см. *Color Transformation*), N — количество пикселей в выходном изображении.

- вычисление коэффициента подстройки экспозиции $adj = TH / Y_{avg}$, где TH является параметром алгоритма и выбирается в зависимости от требуемого значения средней яркости (в текущей реализации $TH = 110$). Значение adj должно находиться в диапазоне от 1/16 до 4, при выходе за пределы диапазона значение ограничивается нижней или верхней границей диапазона.
- чтение текущих значений экспозиции и усиления и вычисление нового значения искомой яркости:

$$brightness = exp_{cur} * gain_{cur} * (SMOOTH + adj * (1 - SMOOTH)),$$

где $SMOOTH$ — коэффициент сглаживания, позволяющий избежать резкого изменения значений экспозиции и усиления, который является параметром алгоритма (в текущей реализации $SMOOTH = 0.5$).

- определение новых значений экспозиции exp и усиления $gain$ с учетом параметров алгоритма $EXPmax$, $GAINmax$, которые соответствуют максимальным значениям контролов сенсора V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE и V4L2_CID_GAIN:

$$exp = \begin{cases} EXPmax & \text{if } brightness > EXPmax, \\ brightness & \text{if } brightness \leq EXPmax. \end{cases}$$

$$gain = \begin{cases} brightness / EXPmax & \text{if } brightness > EXPmax, \\ 1 & \text{if } brightness \leq EXPmax. \end{cases}$$

Если полученное значение $gain > GAINmax$, $gain$ устанавливается равным $GAINmax$.

- запись новых значений экспозиции exp и усиления $gain$ в контролы сенсора.

Если контрол устанавливается в V4L2_EXPOSURE_AUTO, контролы V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO и V4L2_CID_SENSOR_AUTOGAIN

устанавливаются в значение 0 и для них устанавливается флаг INACTIVE. Если контрол устанавливается в V4L2_EXPOSURE_MANUAL, контролы V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO и V4L2_CID_SENSOR_AUTOGAIN устанавливаются в значение 1 и флаг INACTIVE сбрасывается.

Когда контрол находится в состоянии ручного управления экспозицией, контролы V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO и V4L2_CID_SENSOR_AUTOGAIN могут быть установлены в значение 0.

4.1.16 V4L2_CID_BACKLIGHT_COMPENSATION

Описание: Контрол устанавливает режим автонастройки компенсации заднего света.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [0..10]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При загрузке драйвера:

- определяется зона 3 (с наименьшим приоритетом) для вычисления статистических данных (см. V4L2_CID_STAT_ZONE0-3).
- разрешается вычисление гистограмм по зоне 3 блоком статистики (STT).

При установке значения контрола в 0 автонастройка компенсации заднего света отключена.

При установке ненулевого значения контрола после каждого чтения гистограмм красного, зелёного и синего цвета $histR$, $histG$, $histB$ (для данных в формате RGB) или гистограммы яркости $histY$ (для данных в формате YCbCr) из блока статистики (STT) выполняется следующая последовательность действий:

- вычисление для данных в формате RGB суммарной гистограммы по красному, синему и зеленому цвету $hist[i] = histR[i] + histG[i] + histB[i]$, где $i = 0 - 255$; для данных в формате YCbCr используется гистограмма по яркости $hist[i] = histY[i]$.
- построение кумулятивного распределения по суммарной гистограмме: $acc[0] = hist[0]$, $acc[i] = acc[i - 1] + hist[i]$, где $i = 1 - 255$.
- вычисление таблицы преобразования изображения $HE(i)$ методом эквализации гистограммы:

$$HE(i) = 255 * \frac{acc[i]}{N},$$

где N — количество пикселей в выходном изображении, $i = 0 - 255$.

- вычисление коэффициента линейной модификации таблицы преобразования $n = value/10$, где *value* — текущее значение контрола.
- модификация таблицы преобразования изображения с помощью коэффициента:

$$HE_{LIN}(i) = (1 - n) * i + n * HE(i), i = 0 - 255.$$

- вычисление таблицы преобразования $V_{OUT}(i)$ по формуле:

$$V_{OUT}(i) = HE_{LIN}(i/16), i = 0 - 4095.$$

- запись таблиц преобразования в блок Gamma Correction (GC). Таблицы одинаковы для всех цветовых компонентов.

Если контрол устанавливается в ненулевое значение, контрол `V4L2_CID_GAMMA_CURVE` переходит в неактивное состояние (устанавливается флаг `INACTIVE`). Преобразование, задаваемое контролом `V4L2_CID_GAMMA`, выполняется после преобразования, заданного контролом `V4L2_CID_BACKLIGHT_COMPENSATION`.

4.1.17 V4L2_CID_TEST_PATTERN

Описание: Контрол выбирает тестовый шаблон, генерируемый блоком `VINC`.

Тип: `menu` (`__s32`)

Класс расширенного контрола: `V4L2_CTRL_CLASS_IMAGE_PROC`

Диапазон возможных значений: `[0..4]`

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Таблица 4.3. Возможные значения контрола

Значение	Название	Описание
0	Disabled	Тестовый шаблон выключен. Видео поступает с видео-сенсора
1	Vertical bars	Цветные вертикальные полосы
2	Diagonal stripes	Цветные диагональные двигающиеся полосы
3	Horizontal bars	Цветные горизонтальные полосы
4	Increment	Поочерёдное увеличение значений цветовых компонент

4.2 Нестандартные контролы

4.2.1 V4L2_CID_BAD_CORRECTION_ENABLE

При значении 0 драйвер отключает блок коррекции битых пикселей. При значении 1 — включает.

Если при выключенном блоке коррекции битых пикселей драйверу будет передан список битых пикселей (`V4L2_CID_BAD_PIXELS`), битых строк (`V4L2_CID_BAD_ROWS`) или битых столбцов (`V4L2_CID_BAD_COLS`), то все эти списки будут автоматически записаны в блок при его включении.

4.2.2 V4L2_CID_BAD_PIXELS

Драйвер принимает массив структуры `struct vinc_bad_pixel`. Массив должен состоять из 4096 элементов:

```
struct vinc_bad_pixel {
    __u16 x;
    __u16 y;
}
```

Координаты дефектных пикселей должны быть записаны в память в порядке возрастания координат пикселя: слева-направо, сверху-вниз. Чтобы пиксель не исправлялся, его координаты следует установить в значение `0xFFFF`.

4.2.3 V4L2_CID_BAD_ROWS

Драйвер принимает массив из 16 значений типа `__u16`. Значения массива состоят из номеров битых строк. Значение `0xFFFF` означает, что строку не нужно исправлять.

4.2.4 V4L2_CID_BAD_COLS

Драйвер принимает массив из 16 значений типа `__u16`. Значения массива состоят из номеров битых столбцов. Значение `0xFFFF` означает, что столбец не нужно исправлять.

4.2.5 V4L2_CID_GAMMA_ENABLE

При значении 0 драйвер отключает блок гамма-коррекции. При значении 1 — включает.

При выключении блока следующие контролы становятся неактивными:

- `V4L2_CID_GAMMA`

4.2.6 V4L2_CID_GAMMA_CURVE

Драйвер принимает структуру `struct vinc_gamma_curve`:

```
struct vinc_gamma_curve {
    __u16 red[4096];
    __u16 green[4096];
    __u16 blue[4096];
};
```

Если установка контрола выполняется при выключенном блоке гамма-коррекции, то структура будет автоматически записана в блок при включении контрола `V4L2_CID_GAMMA_ENABLE`.

4.2.7 V4L2_CID_CC_ENABLE

При значении 0 драйвер отключает блок коррекции цвета *Color Correction*. При значении 1 — включает. При выключении блока становятся неактивными все контролы, управляющие блоком.

4.2.8 V4L2_CID_CC

Драйвер принимает структуру `struct vinc_cc`:

```
struct vinc_cc {
    __u16 coeff[9];
    __u16 offset[3];
    __u8 scaling;
};
```

Таблица 4.4. Описание полей структуры `vinc_cc`

Поле	Описание
coeff	Коэффициенты преобразования цветности
offset	Смещение цветовых компонент
scaling	Коэффициент масштабирования

4.2.9 V4L2_CID_BLACK_LEVEL_CORR

Драйвер устанавливает значение уровня черного.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [0 - 4095]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При установке контрола драйвер выполняет:

- сброс флагов `WRITE_ONLY` и `EXECUTE_ON_WRITE`
- обновление значений коэффициентов блока *Color Correction*.

4.2.10 V4L2_CID_WHITE_BALANCE_CC

Драйвер принимает структуру `struct vinc_wb_cc`:

```
struct vinc_wb_cc {
    __u16 temp[5];
    __u16 gain_r[5];
    __u16 gain_b[5];
    __s16 coeff[5][9];
};
```

Таблица 4.5. Описание полей структуры vinc_wb_cc

Поле	Описание
temp	Массив значений цветовых температур
gain_r	Коэффициент усиления красного для каждой температуры
gain_b	Коэффициент усиления синего для каждой температуры
coeff	Коэффициенты преобразования цветности для каждой температуры

Массивы gain_r, gain_b и coeff хранят числа с фиксированной точкой с выделением 12 бит под дробную часть. Данные для температуры с нулевым значением игнорируются. По умолчанию структура заполнена нулями — в этом случае формируется единичная матрица M_{WBCC} (см. V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE).

Алгоритм:

При установке контроля драйвер выполняет:

- формирование матрицы M_{WB} для текущих значений K_r , K_b (см. V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE).
- сброс флагов WRITE_ONLY и EXECUTE_ON_WRITE
- обновление значений коэффициентов блока *Color Correction*.

4.2.11 V4L2_CID_CT_ENABLE

При значении 0 драйвер отключает блок преобразования цветовой модели (Color Transformation). При значении 1 — включает.

При установке формата BGR32 драйвер изменит значение контроля на 0. При установке любого формата, отличного от BGR32, драйвер изменит значение контроля на 1. При выключении блока следующие контролы становятся неактивными: (TBD)

4.2.12 V4L2_CID_CT

Драйвер принимает структуру struct vinc_cc (см. V4L2_CID_CC).

При установке любого формата, отличного от BGR32, драйвер изменит содержимое контроля (запишет коэффициенты преобразования из RGB в YCbCr).

4.2.13 V4L2_CID_DR_ENABLE

При значении 0 драйвер отключает блок адаптации динамического диапазона (Dynamic Range). При значении 1 — включает.

При выключении блока следующие контролы становятся неактивными: (TBD)

4.2.14 V4L2_CID_DR

Драйвер принимает массив из 4096 значений типа __u16. Значения массива состоят из коэффициентов коррекции динамического диапазона.

Если установка контроля выполняется при выключенном блоке адаптации динамического диапазона, то структура будет автоматически записана в блок при включении контроля `V4L2_CID_DR_ENABLE`.

4.2.15 V4L2_CID_STAT_ENABLE

Драйвер принимает значение типа `__s32`. В значении кодируется битовая маска включенных блоков сбора статистики:

- `0x1` — включен блок сбора гистограмм
- `0x2` — включен блок автофокуса
- `0x4` — включен блок дополнительных статистических данных

Если в значении недопустимая маска, то вызов контроля завершается с кодом ошибки `-ERANGE`.

4.2.16 V4L2_CID_STAT_AF_COLOR

Драйвер принимает значение типа `__s32`. В значении закодирован номер компоненты цвета, по которой рассчитывается фильтр Собеля:

- `0` — R для RGB или Cr для YCbCr
- `1` — G для RGB или Y для YCbCr
- `2` — B для RGB или Cb для YCbCr

Если в значении недопустимый номер компоненты, то вызов контроля завершается с кодом ошибки `-ERANGE`.

4.2.17 V4L2_CID_STAT_AF_TH

Драйвер принимает 12-битное пороговое значение для фильтра Собеля типа `__s32`.

4.2.18 V4L2_CID_STAT_ZONE0-3

Драйвер принимает структуру `struct vinc_stat_zone` зоны сбора статистики:

```
struct vinc_stat_zone {
    __u16 enable;
    __u16 x_lt;
    __u16 y_lt;
    __u16 x_rb;
    __u16 y_rb;
};
```

Таблица 4.6. Описание полей структуры vinc_stat_zone

Поле	Описание
enable	Включение/выключение зоны: 0 — зона выключена, любое другое значение — зона включена
x_lt	Координата x левого верхнего угла зоны
y_lt	Координата y левого верхнего угла зоны
x_rb	Координата x правого нижнего угла зоны
y_rb	Координата y правого нижнего угла зоны

Согласно спецификации VINC при определении координат зоны должны выполняться следующие условия:

- $x_lt > 0$
- $y_lt > 0$
- $x_rb < HSIZE-1$
- $y_rb < VSIZE-1$,

где HSIZE — размер изображения по горизонтали, VSIZE — размер изображения по вертикали.

Зона 3 (с наименьшим приоритетом) зарезервирована для использования драйвером. Размеры зоны устанавливаются на 1 пиксель меньше размера выходного изображения со всех сторон (см. также `gf#2159`). Для зоны включен сбор гистограмм и дополнительной статистики. Статистика используется контролами `V4L2_CID_DO_WHITE_BALANCE`, `V4L2_CID_WHITE_BALANCE_TEMPERATURE`, `V4L2_CID_AUTO_WHITE_BALANCE`.

Приложение может переопределить размеры зоны 3, но при этом вышеперечисленные контролы будут работать некорректно.

4.2.19 V4L2_CID_STAT_HIST0-3

Контроль только для чтения. Драйвер заполняет структуру `struct vinc_stat_hist`:

```
struct vinc_stat_hist {
    __u32 red[256];
    __u32 green[256];
    __u32 blue[256];
};
```

Таблица 4.7. Описание полей структуры vinc_stat_hist

Поле	Описание
red	Гистограмма по красному цвету (Cr в случае YCbCr)
green	Гистограмма по зелёному цвету (Y в случае YCbCr)
blue	Гистограмма по синему цвету (Cb в случае YCbCr)

Значения определены только если включен блок сбора гистограмм (см. `V4L2_CID_STAT_ENABLE`)

4.2.20 V4L2_CID_STAT_AF0-3

Контроль только для чтения. Драйвер заполняет структуру `struct vinc_stat_af`:

```
struct vinc_stat_af {
    __u32 hsobel;
    __u32 vsobel;
    __u32 lsobel;
    __u32 rsobel;
};
```

Таблица 4.8. Описание полей структуры `vinc_stat_af`

Поле	Описание
hsobel	Значение фильтра Собеля по горизонтальному направлению
vsobel	Значение фильтра Собеля по вертикальному направлению
lsobel	Значение фильтра Собеля по диагонали слева сверху вправо вниз.
rsobel	Значение фильтра Собеля по диагонали справа снизу влево вверх.

Значения определены только если включен блок автофокуса (см. `V4L2_CID_STAT_ENABLE`)

4.2.21 V4L2_CID_STAT_ADD0-3

Контроль только для чтения. Драйвер заполняет структуру `struct vinc_stat_add`:

```
struct vinc_stat_add {
    __u64 sum2_r;
    __u64 sum2_g;
    __u64 sum2_b;
    __u32 sum_r;
    __u32 sum_g;
    __u32 sum_b;
    __u8 min_r;
    __u8 min_g;
    __u8 min_b;
    __u8 max_r;
    __u8 max_g;
    __u8 max_b;
};
```

Таблица 4.9. Описание полей структуры vinc_stat_add

Поле	Описание
sum2_r	Сумма квадратов по красному цвету (Cr в случае YCbCr)
sum2_g	Сумма квадратов по зелёному цвету (Y в случае YCbCr)
sum2_b	Сумма квадратов по синему цвету (Cb в случае YCbCr)
sum_r	Сумма по красному цвету (Cr в случае YCbCr)
sum_g	Сумма по зелёному цвету (Y в случае YCbCr)
sum_b	Сумма по синему цвету (Cb в случае YCbCr)
min_r	Минимальное значение по красному цвету (Cr в случае YCbCr)
min_g	Минимальное значение по зелёному цвету (Y в случае YCbCr)
min_b	Минимальное значение по синему цвету (Cb в случае YCbCr)
max_r	Максимальное значение по красному цвету (Cr в случае YCbCr)
max_g	Максимальное значение по зелёному цвету (Y в случае YCbCr)
max_b	Максимальное значение по синему цвету (Cb в случае YCbCr)

Значения определены только если включен блок дополнительных статистических данных (см. `V4L2_CID_STAT_ENABLE`)

4.2.22 V4L2_CID_AE_TARGET_LUM

Описание: Контроль устанавливает целевую яркость для алгоритма автоэкспозиции.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: `[0..255]`

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 50

Алгоритм:

Алгоритм автоэкспозиции настраивает экспозицию таким образом, чтобы средняя яркость изображения соответствовала целевой яркости.

4.2.23 V4L2_CID_SENSOR_EXPOSURE_AUTO

Описание: Контроль разрешает работу алгоритма автоэкспозиции в сенсоре.

Тип: `bool`

Диапазон возможных значений: `[0..1]`

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 1

Алгоритм:

При значении 1 включается автоэкспозиция в драйвере сенсора, контролы сенсора `V4L2_CID_EXPOSURE`, `V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE` становятся неактивными.

При значении 0 автоэкспозиция в драйвере сенсора выключается, контролы сенсора `V4L2_CID_EXPOSURE`, `V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE` доступны для изменения.

4.2.24 V4L2_CID_SENSOR_AUTOGAIN

Описание: Контроль разрешает работу алгоритма автоусиления в сенсоре.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 1

Алгоритм:

При значении 1 включается автоусиление в драйвере сенсора, контроль сенсора V4L2_CID_GAIN становится неактивным.

При значении 0 автоусиление в драйвере сенсора выключается, контроль сенсора V4L2_CID_GAIN доступен для изменения.

4.2.25 V4L2_CID_SENSOR_AUTO_WHITE_BALANCE

Описание: Контроль разрешает работу алгоритма автобаланса белого в сенсоре.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 1

Алгоритм:

При значении 1 включается автобаланс белого в драйвере сенсора.

При значении 0 автобаланс белого в драйвере сенсора выключается.

Примечание: Алгоритм баланса белого в драйвере *vinc* *V4L2_CID_AUTO_WHITE_BALANCE* всегда работает над изображением, которое пришло с сенсора, вне зависимости от *V4L2_CID_SENSOR_AUTO_WHITE_BALANCE*.

5. ПРИЛОЖЕНИЕ А. КОНТРОЛЫ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ В ДРАЙВЕРЕ СЕНСОРА OV2715

5.1 V4L2_CID_AUTOGAIN

Описание: Контрол устанавливает режим автонастройки значения усиления.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контрола устанавливается режим автоматической настройки усиления, при выключении — режим ручной настройки усиления. В режиме автоматической настройки значения контрола `V4L2_CID_GAIN` не может быть изменено, а при его чтении выдается текущее значения усиления.

5.2 V4L2_CID_GAIN

Описание: Контрол позволяет изменять чувствительность матрицы сенсора.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [0..95]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Значения усиления передаются в условных единицах. Диапазон значений контрола соответствует диапазону реального усиления [1..62]. Формула перевода условного усиления в реальное усиление:

$$gain = 2^{\lfloor value/16 \rfloor} * ((value \bmod 16)/16 + 1),$$

где *value* — текущее значение контрола, *gain* — реальный коэффициент усиления.

Значение контрола не может быть изменено, если включен режим автонастройки усиления (контрол `V4L2_CID_AUTOGAIN` включен). При чтении контрола будет выдано текущее значение усиления.

Таблица 5.1. Соответствие значений контроля V4L2_CID_GAIN реальному усилению

value	gain	value	gain	value	gain	value	gain
0	1	1	1.0625	2	1.125	3	1.1875
4	1.25	5	1.3125	6	1.375	7	1.4375
8	1.5	9	1.5625	10	1.375	11	1.6875
12	1.75	13	1.8125	14	1.875	15	1.9375
16	2	17	1.125	18	2.25	19	2.375
20	2.5	21	2.625	22	2.75	23	2.875
24	3	25	3.125	26	3.25	27	3.375
28	3.5	29	3.625	30	3.75	31	3.875
32	4	33	4.25	34	4.5	35	4.75
36	5	37	5.25	38	5.5	39	5.75
40	6	41	6.25	42	6.5	43	6.75
44	7	45	7.25	46	7.5	47	7.75
48	8	49	8.5	50	9	51	9.5
52	10	53	10.5	54	11	55	11.5
56	12	57	12.5	58	13	59	13.5
60	14	61	14.5	62	15	63	15.5
64	16	65	17	66	18	67	19
68	20	69	21	70	22	71	23
72	24	73	25	74	26	75	27
76	28	77	29	78	30	79	31
80	32	81	34	82	36	83	38
84	40	85	42	86	44	87	46
88	48	89	50	90	52	91	54
92	56	93	58	94	60	95	62

5.3 V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO

Описание: Контроль устанавливает режим автонастройки значения выдержки.

Тип: enum

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Установка контроля в V4L2_EXPOSURE_AUTO(0) включает режим автоматической настройки экспозиции, установка в V4L2_EXPOSURE_MANUAL(1) — режим ручной настройки экспозиции. В режиме автоматической настройки значения контролей V4L2_CID_EXPOSURE и V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE не могут быть изменены, а при их чтении выдаются текущие значения выдержки.

5.4 V4L2_CID_EXPOSURE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..17600]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 17280

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 1/16 строки. Минимальное значение контроля соответствует 1/16 строки. Значение по умолчанию соответствует количеству строк в кадре максимального размера, поддерживаемого сенсором (1080). Максимальное значение соответствует максимально возможному значению, превышающему размер кадра, при котором изображение стабильно. Значение контроля не может быть изменено, если включен режим автонастройки выдержки (контроль *V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO* установлен в 0). При чтении контроля будет выдано текущее значение выдержки.

5.5 V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..332]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 326

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 100 мкс. Максимальное значение и значение по умолчанию соответствует значениям контроля *V4L2_CID_EXPOSURE* для изображения в формате 1920x1080@30fps. Значение контроля не может быть изменено, если включен режим автонастройки выдержки (контроль *V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO* установлен в 0). При чтении контроля будет выдано текущее значение выдержки.

5.6 V4L2_CID_HFLIP

Описание: Контроль позволяет выполнить зеркальное отображение по горизонтали.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроля изображение отображается зеркально относительно вертикальной оси (по горизонтали).

5.7 V4L2_CID_VFLIP

Описание: Контрол позволяет выполнить зеркальное отображение по вертикали.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроля изображение отображается зеркально относительно горизонтальной оси (по вертикали).

6. ПРИЛОЖЕНИЕ Б. КОНТРОЛЫ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ В ДРАЙВЕРЕ СЕНСОРА OV7725

6.1 V4L2_CID_AUTOGAIN

Описание: Контрол устанавливает режим автонастройки значения усиления.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контрола устанавливается режим автоматической настройки усиления, при выключении — режим ручной настройки усиления. В режиме автоматической настройки значения контрола `V4L2_CID_GAIN` не может быть изменено, а при его чтении выдается текущее значения усиления.

6.2 V4L2_CID_GAIN

Описание: Контрол позволяет изменять чувствительность матрицы сенсора.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [0..79]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Значения усиления передаются в условных единицах. Диапазон значений контрола соответствует диапазону реального усиления [1..31]. Формула перевода условного усиления в реальное усиление:

$$gain = 2^{\lfloor value/16 \rfloor} * ((value \bmod 16)/16 + 1),$$

где *value* — текущее значение контрола, *gain* — реальный коэффициент усиления

Значение контрола не может быть изменено, если включен режим автонастройки усиления (контрол `V4L2_CID_AUTOGAIN` включен). При чтении контрола будет выдано текущее значение усиления.

Таблица 6.1. Соответствие значений V4L2_CID_GAIN реальному усилению gain

value	gain	value	gain	value	gain	value	gain
0	1	1	1.0625	2	1.125	3	1.1875
4	1.25	5	1.3125	6	1.375	7	1.4375
8	1.5	9	1.5625	10	1.375	11	1.6875
12	1.75	13	1.8125	14	1.875	15	1.9375
16	2	17	1.125	18	2.25	19	2.375
20	2.5	21	2.625	22	2.75	23	2.875
24	3	25	3.125	26	3.25	27	3.375
28	3.5	29	3.625	30	3.75	31	3.875
32	4	33	4.25	34	4.5	35	4.75
36	5	37	5.25	38	5.5	39	5.75
40	6	41	6.25	42	6.5	43	6.75
44	7	45	7.25	46	7.5	47	7.75
48	8	49	8.5	50	9	51	9.5
52	10	53	10.5	54	11	55	11.5
56	12	57	12.5	58	13	59	13.5
60	14	61	14.5	62	15	63	15.5
64	16	65	17	66	18	67	19
68	20	69	21	70	22	71	23
72	24	73	25	74	26	75	27
76	28	77	29	78	30	79	31

6.3 V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO

Описание: Контроль устанавливает режим автонастройки значения выдержки.

Тип: enum

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Установка контроля в V4L2_EXPOSURE_AUTO(0) включает режим автоматической настройки экспозиции, установка в V4L2_EXPOSURE_MANUAL(1) — режим ручной настройки экспозиции. В режиме автоматической настройки значения контролей V4L2_CID_EXPOSURE и V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE не могут быть изменены, а их при чтении выдаются текущие значения выдержки.

6.4 V4L2_CID_EXPOSURE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..510]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 480

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 1 строке. Минимальное значение контроля соответствует 1 строке. Значение по умолчанию соответствует количеству строк в кадре максимального размера, поддерживаемого сенсором (480). Максимальное значение соответствует максимально возможному значению, превышающему размер кадра, при котором изображение стабильно. Значение контроля не может быть изменено, если включен режим автонастройки выдержки (контроль `V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO` установлен в 0). При чтении контроля будет выдано текущее значение выдержки.

6.5 V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [1..166]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 156

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 100 мкс. Максимальное значение и значение по умолчанию соответствует значениям контроля `V4L2_CID_EXPOSURE` для изображения в формате 640x480@60fps. Значение контроля не может быть изменено, если включен режим автонастройки выдержки (контроль `V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO` установлен в 0). При чтении контроля будет выдано текущее значение выдержки.

6.6 V4L2_CID_POWER_LINE_FREQUENCY

Описание: Контроль позволяет указать частоту мерцания освещения для подавления [фликкер-шума](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фликкер-шум)⁵ в режиме автонастройки значения выдержки.

Тип: `enum`

Диапазон возможных значений: [0..2]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 1

Алгоритм:

⁵ <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фликкер-шум>

В зависимости от значения контрола устанавливается шаг, с которым может изменяться значение выдержки в режиме автонастройки выдержки, и максимальное количество шагов. Шаг определяется как количество строк кадра:

$$s = \frac{rh}{2f},$$

где s — шаг изменения выдержки, r — частота кадров, h — количество строк в кадре, f — частота мерцания освещения.

Максимальное количество шагов определяется в зависимости от частоты кадра:

$$s_{max} = \frac{2f}{r},$$

где s_{max} — максимальное количество шагов, f — частота мерцания освещения, r — частота кадров,

Поддерживаются следующие значения контрола:

- V4L2_CID_POWER_LINE_FREQUENCY_DISABLED(0)

Шаг изменения выдержки не зависит от частоты мерцания освещения;

- V4L2_CID_POWER_LINE_FREQUENCY_50HZ(1)

Шаг изменения выдержки определяется исходя из частоты мерцания освещения, равной 50 Гц (Европа);

- V4L2_CID_POWER_LINE_FREQUENCY_60HZ(2)

Шаг изменения выдержки определяется исходя из частоты мерцания освещения, равной 60 Гц (США).

6.7 V4L2_CID_HFLIP

Описание: Контрол позволяет выполнить зеркальное отображение по горизонтали.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контрола изображение отображается зеркально относительно вертикальной оси (по горизонтали).

6.8 V4L2_CID_VFLIP

Описание: Контрол позволяет выполнить зеркальное отображение по вертикали.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроля изображение отображается зеркально относительно горизонтальной оси (по вертикали).

Примечание: При выполнении отображения по вертикали сенсором ov7725 меняется маска Байера.

7. ПРИЛОЖЕНИЕ В. КОНТРОЛЫ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ В ДРАЙВЕРЕ СЕНСОРА OV5647

7.1 V4L2_CID_AUTOGAIN

Описание: Контрол устанавливает режим автонастройки значения усиления.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контрола устанавливается режим автоматической настройки усиления, при выключении — режим ручной настройки усиления. В режиме автоматической настройки значения контрола `V4L2_CID_GAIN` не может быть изменено, а при его чтении выдается текущее значения усиления.

7.2 V4L2_CID_GAIN

Описание: Контрол позволяет изменять чувствительность матрицы сенсора.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [1..256]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 32

Алгоритм:

Значения усиления передаются в условных единицах. Диапазон значений контрола соответствует диапазону реального усиления [1..256]. Формула перевода условного усиления в реальное усиление:

$$gain = value,$$

где *value* — текущее значение контрола, *gain* — реальный коэффициент усиления.

Значение контрола не может быть изменено, если включен режим автонастройки усиления (контрол `V4L2_CID_AUTOGAIN` включен). При чтении контрола будет выдано текущее значение усиления.

7.3 V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO

Описание: Контроль устанавливает режим автонастройки значения выдержки.

Тип: enum

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Установка контроля в V4L2_EXPOSURE_AUTO(0) включает режим автоматической настройки экспозиции, установка в V4L2_EXPOSURE_MANUAL(1) — режим ручной настройки экспозиции. В режиме автоматической настройки значения контролов V4L2_CID_EXPOSURE и V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE не могут быть изменены, а при их чтении выдаются текущие значения выдержки.

7.4 V4L2_CID_EXPOSURE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..17600]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 17280

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 1/16 строки. Минимальное значение контроля соответствует 1/16 строки. Значение по умолчанию соответствует количеству строк в кадре размера 1920x1080, поддерживаемого драйвером сенсора. Максимальное значение соответствует максимально возможному значению, превышающему размер кадра, при котором изображение стабильно. Значение контроля не может быть изменено, если включен режим автонастройки выдержки (контроль V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO установлен в 0). При чтении контроля будет выдано текущее значение выдержки.

7.5 V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..332]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 326

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 100 мкс. Максимальное значение и значение по умолчанию соответствует значениям контроля *V4L2_CID_EXPOSURE*. Значение контроля не может быть изменено, если включен режим автонастройки выдержки (контроль *V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO* установлен в 0). При чтении контроля будет выдано текущее значение выдержки.

8. ПРИЛОЖЕНИЕ Г. КОНТРОЛЫ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ В ДРАЙВЕРЕ СЕНСОРА OV2643

8.1 V4L2_CID_AUTOGAIN

Описание: Контрол устанавливает режим автонастройки значения усиления.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контрола устанавливается режим автоматической настройки усиления, при выключении — режим ручной настройки усиления. В режиме автоматической настройки значения контрола `V4L2_CID_GAIN` не может быть изменено, а при его чтении выдается текущее значения усиления.

8.2 V4L2_CID_GAIN

Описание: Контрол позволяет изменять чувствительность матрицы сенсора.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [1..16]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 1

Алгоритм:

Значения усиления передаются в условных единицах. Диапазон значений контрола соответствует диапазону реального усиления [1..16]. Формула перевода условного усиления в реальное усиление:

$$gain = value,$$

где *value* — текущее значение контрола, *gain* — реальный коэффициент усиления.

Значение контрола не может быть изменено, если включен режим автонастройки усиления (контрол `V4L2_CID_AUTOGAIN` включен). При чтении контрола будет выдано текущее значение усиления.

8.3 V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO

Описание: Контроль устанавливает режим автонастройки значения выдержки.

Тип: enum

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Установка контроля в V4L2_EXPOSURE_AUTO(0) включает режим автоматической настройки экспозиции, установка в V4L2_EXPOSURE_MANUAL(1) — режим ручной настройки экспозиции. В режиме автоматической настройки значения контролей V4L2_CID_EXPOSURE и V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE не могут быть изменены, а при их чтении выдаются текущие значения выдержки.

8.4 V4L2_CID_EXPOSURE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..1227]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 128

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 1 строке. Минимальное значение контроля соответствует 1 строке. Значение по умолчанию позволяет получить корректное изображение при дневном свете. Максимальное значение соответствует максимально возможному значению, превышающему размер кадра (1600x1200), при котором изображение стабильно. Значение контроля не может быть изменено, если включен режим автонастройки выдержки (контроль V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO установлен в 0). При чтении контроля будет выдано текущее значение выдержки.

8.5 V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..665]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 69

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 100 мкс. Максимальное значение и значение по умолчанию соответствует значениям контроля *V4L2_CID_EXPOSURE*. Значение контроля не может быть изменено, если включен режим автонастройки выдержки (контроль *V4L2_CID_EXPOSURE_AUTO* установлен в 0). При чтении контроля будет выдано текущее значение выдержки.

8.6 V4L2_CID_HFLIP

Описание: Контроль позволяет выполнить зеркальное отображение по горизонтали.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроля изображение отображается зеркально относительно вертикальной оси (по горизонтали).

8.7 V4L2_CID_VFLIP

Описание: Контроль позволяет выполнить зеркальное отображение по вертикали.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроля изображение отображается зеркально относительно горизонтальной оси (по вертикали).

9. ПРИЛОЖЕНИЕ Д. КОНТРОЛЫ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ В ДРАЙВЕРЕ СЕНСОРА OV2718

Поддерживаемые разрешения сенсора OV2718:

- 1920x1080@30fps, 12-bit, 4 MIPI CSI lanes.
- 1280x720@30fps, 12-bit, 4 MIPI CSI lanes.

9.1 V4L2_CID_GAIN

Описание: Контроль позволяет изменять чувствительность матрицы сенсора.

Тип: `__s32`

Диапазон возможных значений: [0..95]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

Значения усиления передаются в условных единицах. Диапазон значений контроля соответствует диапазону реального усиления [1..62]. Формула перевода условного усиления в реальное усиление:

$$gain = 2^{\lfloor value/16 \rfloor} * ((value \bmod 16)/16 + 1),$$

где *value* — текущее значение контроля, *gain* — реальный коэффициент усиления.

Таблица 9.1. Соответствие значений контроля V4L2_CID_GAIN реальному усилению

value	gain	value	gain	value	gain	value	gain
0	1	1	1.0625	2	1.125	3	1.1875
4	1.25	5	1.3125	6	1.375	7	1.4375
8	1.5	9	1.5625	10	1.375	11	1.6875
12	1.75	13	1.8125	14	1.875	15	1.9375
16	2	17	1.125	18	2.25	19	2.375
20	2.5	21	2.625	22	2.75	23	2.875
24	3	25	3.125	26	3.25	27	3.375
28	3.5	29	3.625	30	3.75	31	3.875
32	4	33	4.25	34	4.5	35	4.75
36	5	37	5.25	38	5.5	39	5.75
40	6	41	6.25	42	6.5	43	6.75
44	7	45	7.25	46	7.5	47	7.75
48	8	49	8.5	50	9	51	9.5
52	10	53	10.5	54	11	55	11.5
56	12	57	12.5	58	13	59	13.5
60	14	61	14.5	62	15	63	15.5
64	16	65	17	66	18	67	19
68	20	69	21	70	22	71	23
72	24	73	25	74	26	75	27
76	28	77	29	78	30	79	31
80	32	81	34	82	36	83	38
84	40	85	42	86	44	87	46
88	48	89	50	90	52	91	54
92	56	93	58	94	60	95	62

9.2 V4L2_CID_EXPOSURE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..17600]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 17280

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 1/16 строки. Минимальное значение контроля соответствует 1/16 строки. Значение по умолчанию соответствует количеству строк в кадре максимального размера, поддерживаемого сенсором (1080). Максимальное значение соответствует максимально возможному значению, превышающему размер кадра, при котором изображение стабильно.

9.3 V4L2_CID_EXPOSURE_ABSOLUTE

Описание: Контроль позволяет изменять значение выдержки сенсора.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [1..332]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 326

Алгоритм:

Значение выдержки сенсора задается в единицах, равных 100 мкс. Максимальное значение и значение по умолчанию соответствует значениям контрола *V4L2_CID_EXPOSURE* для изображения в формате 1920x1080@30fps.

9.4 V4L2_CID_HFLIP

Описание: Контроль позволяет выполнить зеркальное отображение по горизонтали.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроля изображение отображается зеркально относительно вертикальной оси (по горизонтали).

9.5 V4L2_CID_VFLIP

Описание: Контроль позволяет выполнить зеркальное отображение по вертикали.

Тип: bool

Диапазон возможных значений: [0..1]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

При включении контроля изображение отображается зеркально относительно горизонтальной оси (по вертикали).

9.6 V4L2_CID_RED_BALANCE

Описание: Контроль устанавливает баланс красного цвета в сенсоре.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [-112..112]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

В сенсоре устанавливается коэффициент усиления красного цвета по формуле:

$$Kr = \frac{(value + 128)/256}{1 - (value + 128)/256},$$

где *value* — текущее значение контроля.

Установка *value* < 0 приводит к установке *Kr* < 1, минимальное значение *value* = -112 соответствует *Kr* = 0.067. Установка *value* > 0 приводит к установке *Kr* > 1, максимальное значение *value* = 112 соответствует *Kr* = 15. При *value* = 0 *Kr* = 1.

9.7 V4L2_CID_BLUE_BALANCE

Описание: Контроль устанавливает баланс синего цвета в сенсоре.

Тип: __s32

Диапазон возможных значений: [-112..112]

Шаг между значениями: 1

Значение по умолчанию: 0

Алгоритм:

В сенсоре устанавливается коэффициент усиления синего цвета по формуле:

$$Kb = \frac{(value + 128)/256}{1 - (value + 128)/256},$$

где *value* — текущее значение контроля.

Установка *value* < 0 приводит к установке *Kb* < 1, минимальное значение *value* = -112 соответствует *Kb* = 0.067. Установка *value* > 0 приводит к установке *Kb* > 1, максимальное значение *value* = 112 соответствует *Kb* = 15. При *value* = 0 *Kb* = 1.