

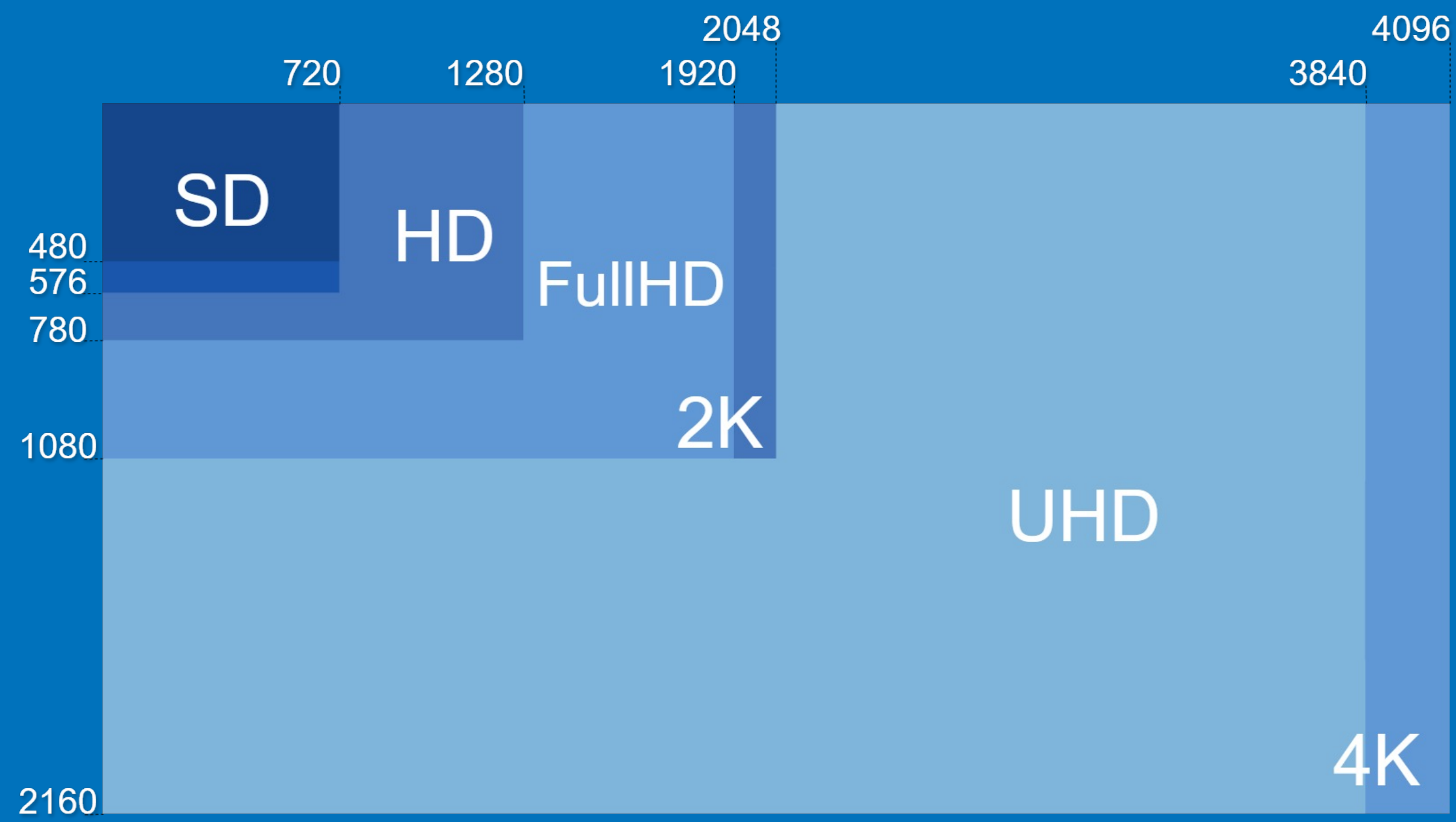
*Высокоэффективная
аппаратная реализация
видеокодера H.264/AVC*

*Автор: Стрельников Сергей,
мл. науч. сотр. ТГУ, г. Томск*

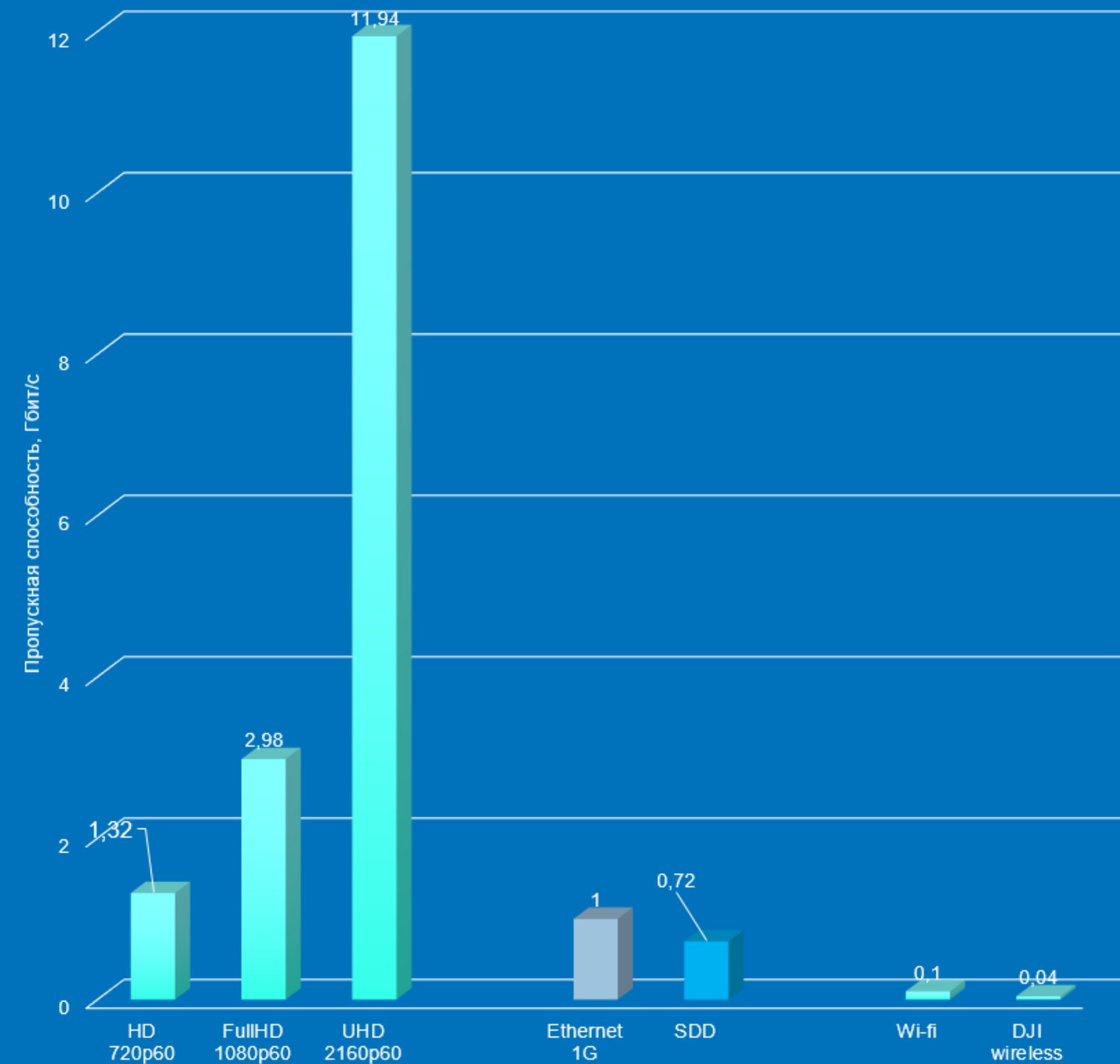
Почему нужно сжимать видео?

Формула для расчета требуемой пропускной способности для видео сигнала

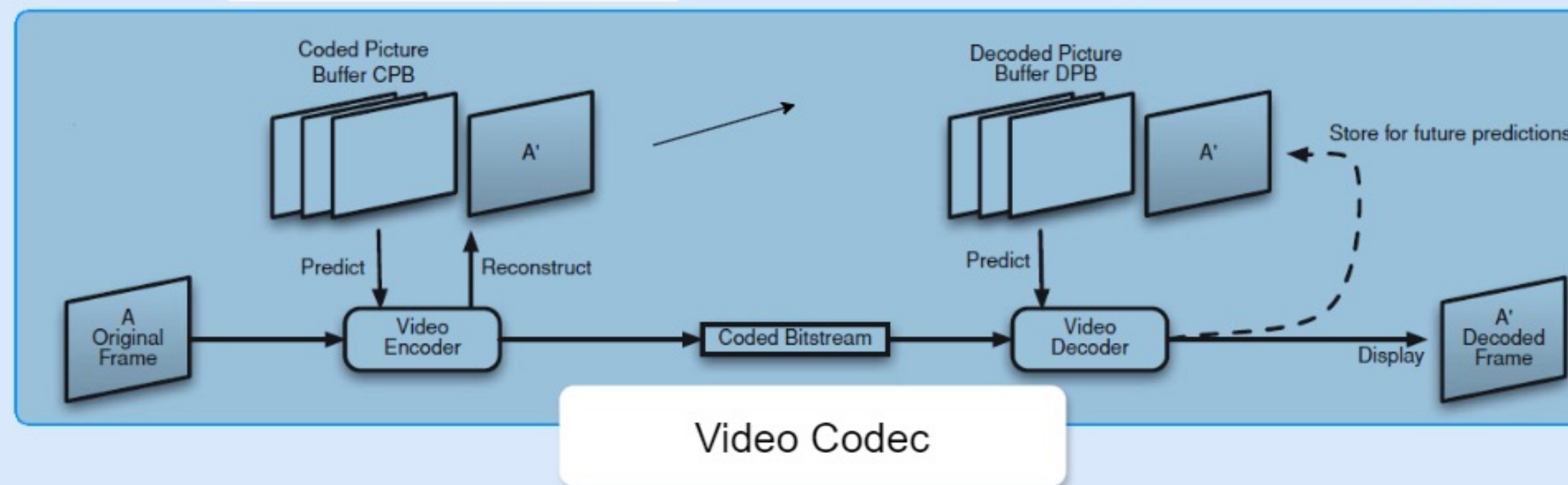
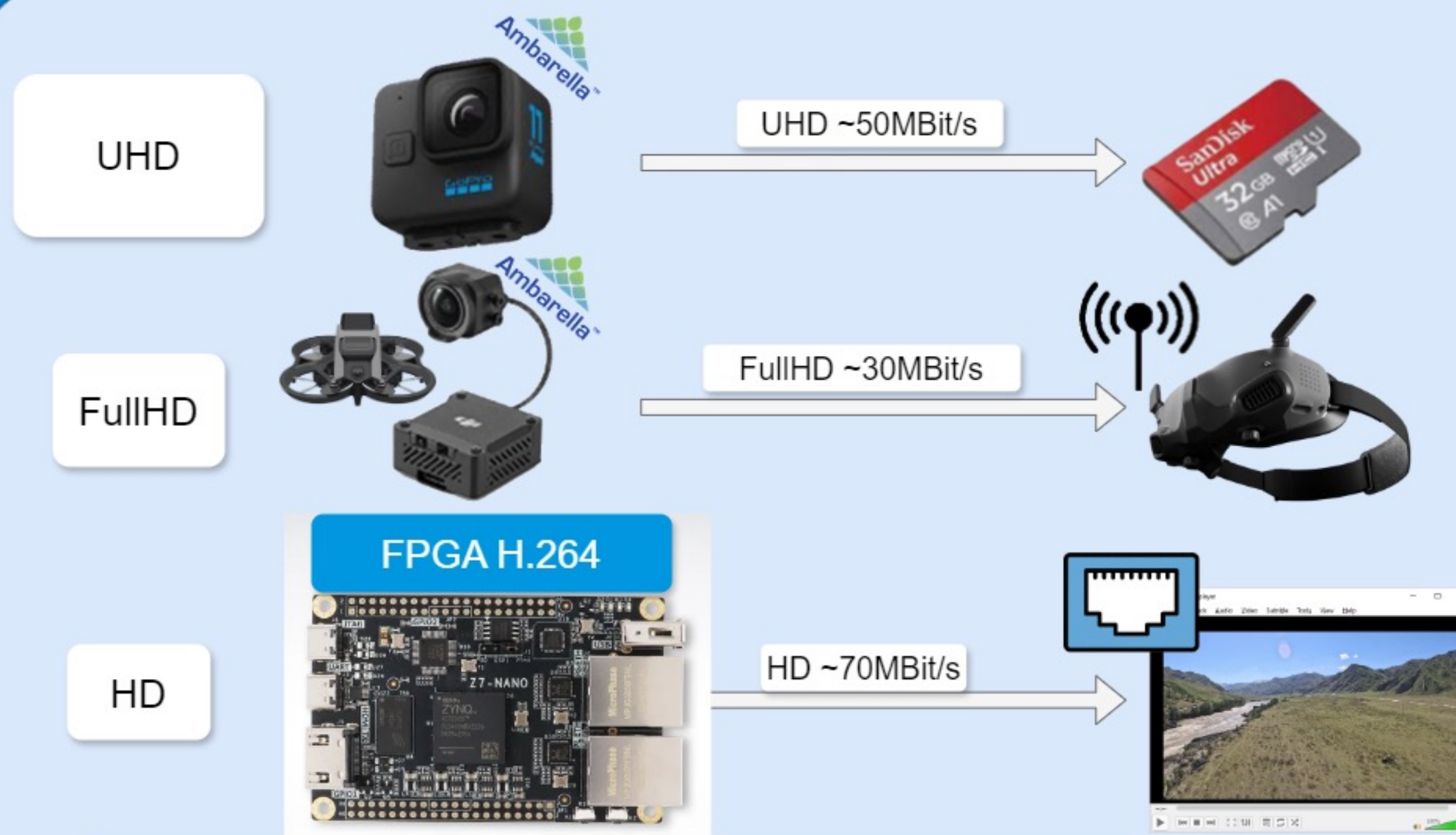
Кадр: Высота x Ширина x Частота x 24 (RGB888)



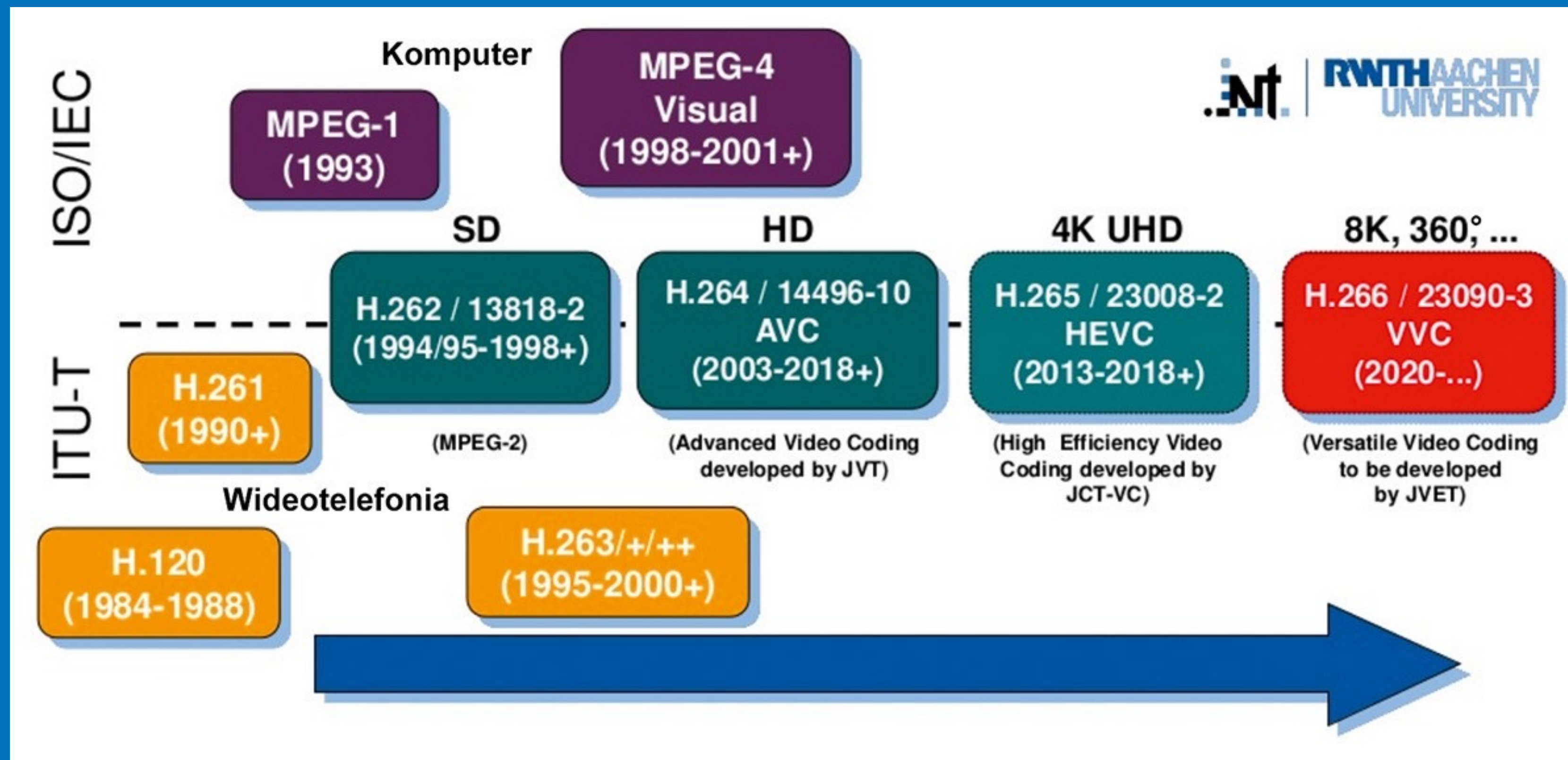
Скорость передачи данных для видео и максимальная пропускная способность



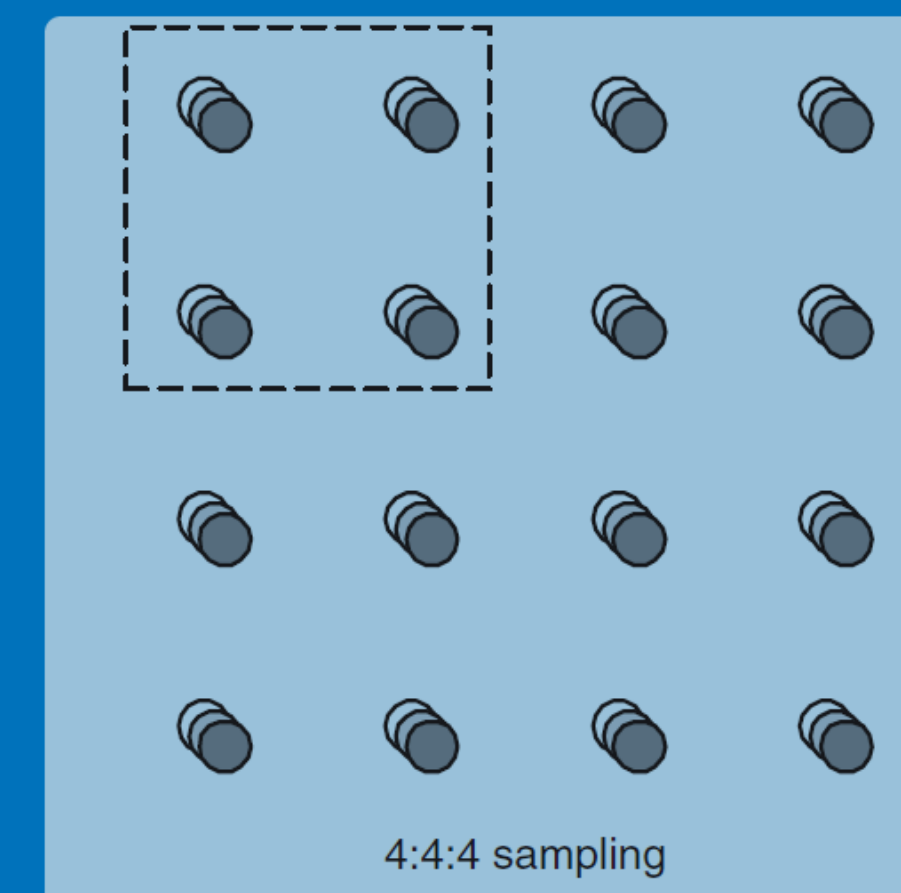
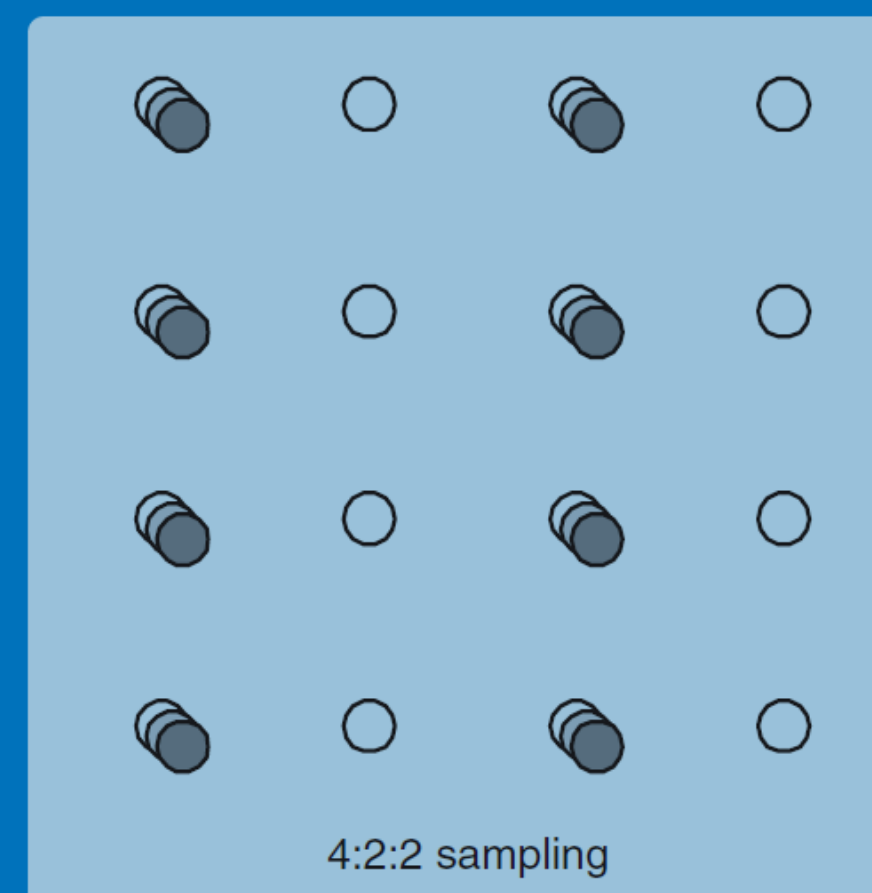
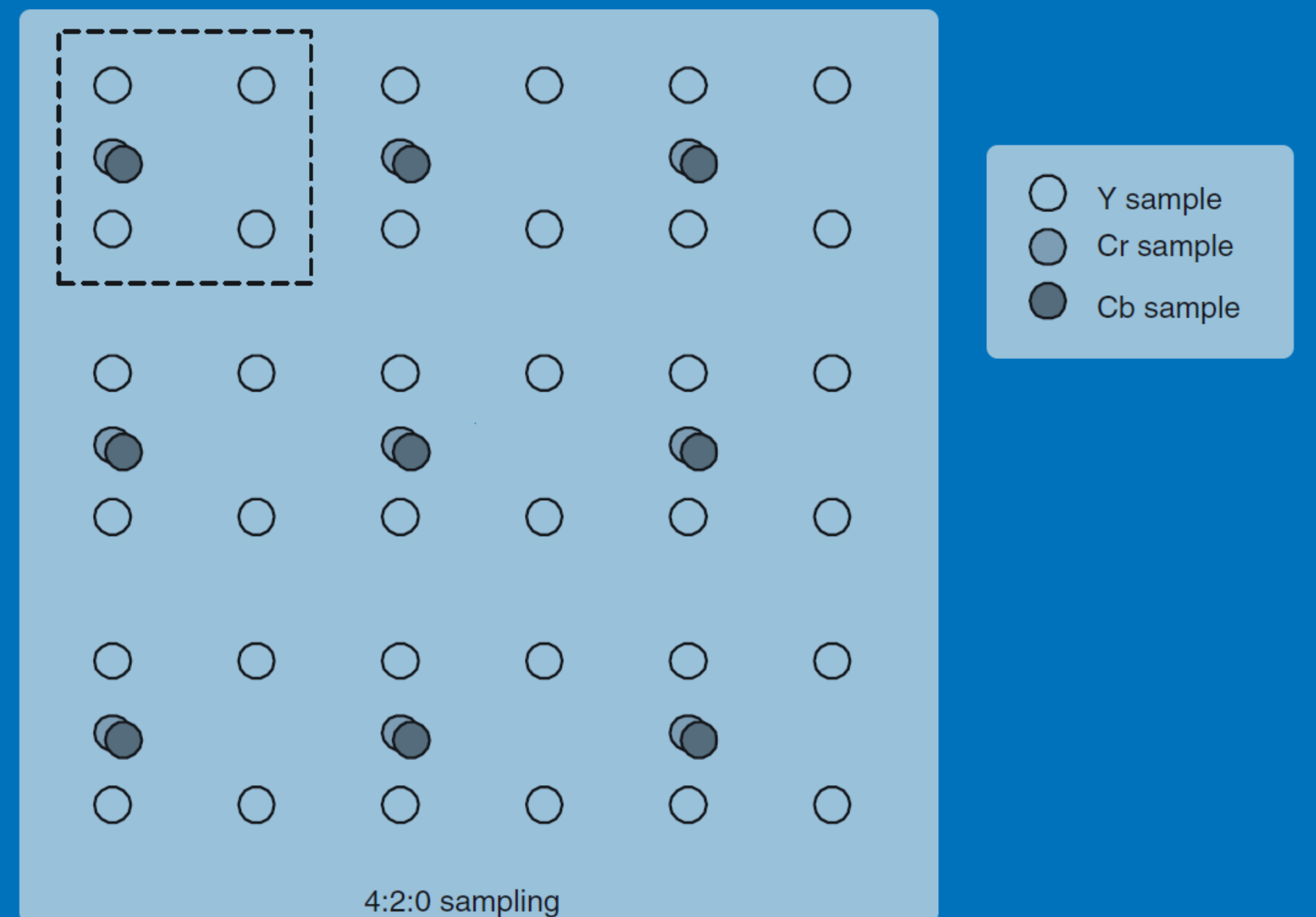
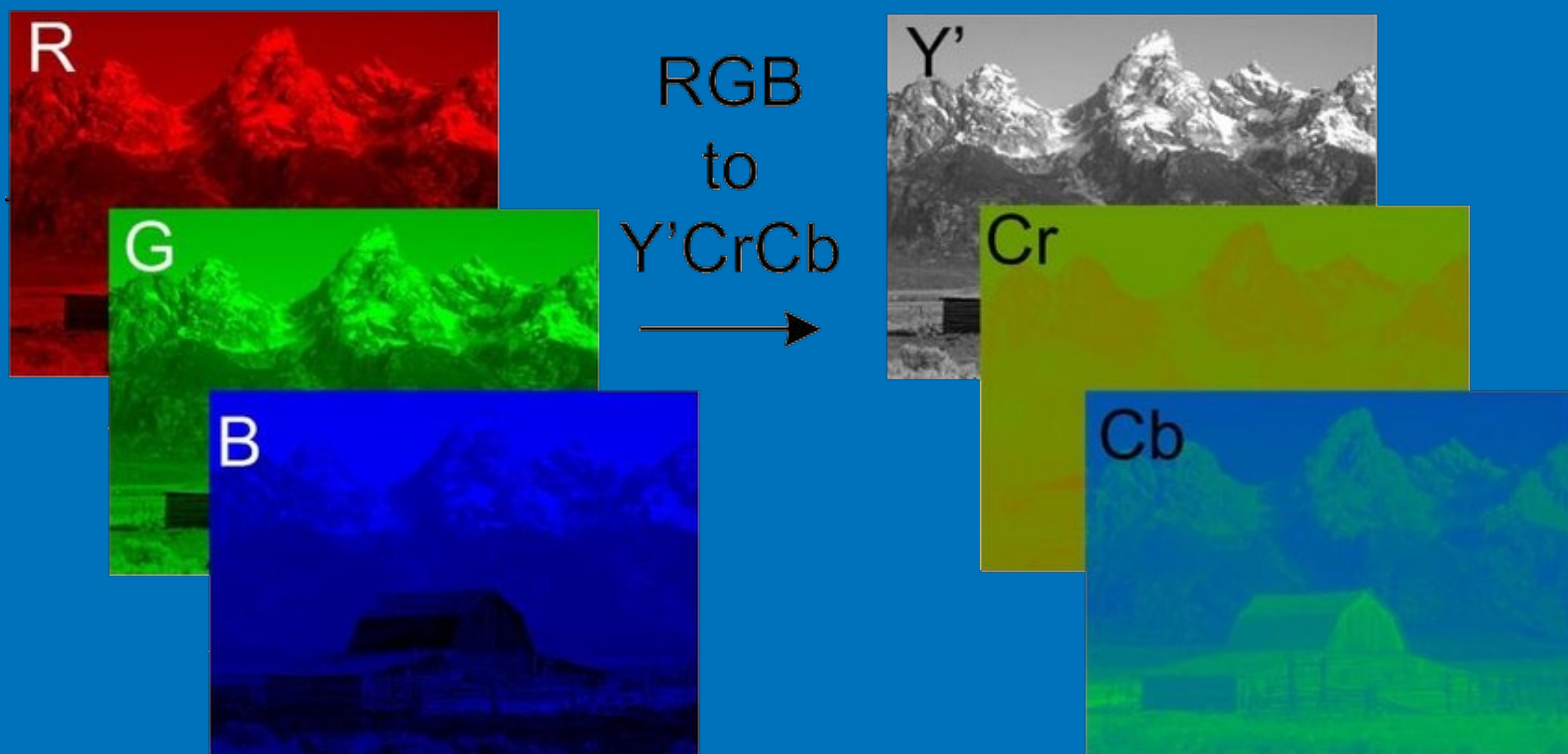
Видеокодек



Стандарты видеокодирования



Цветовое преобразование

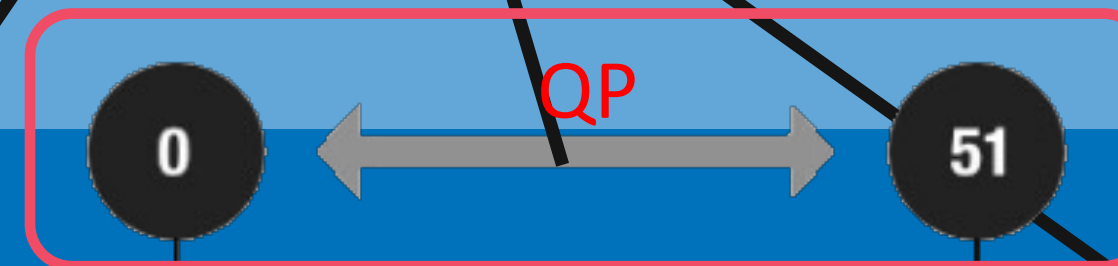
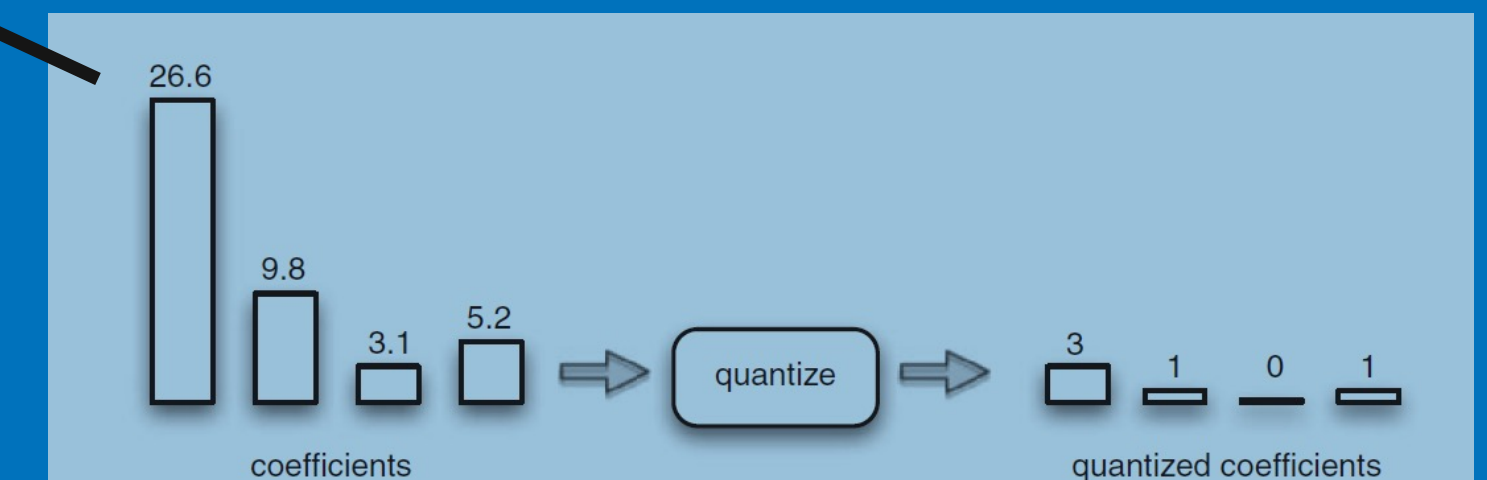
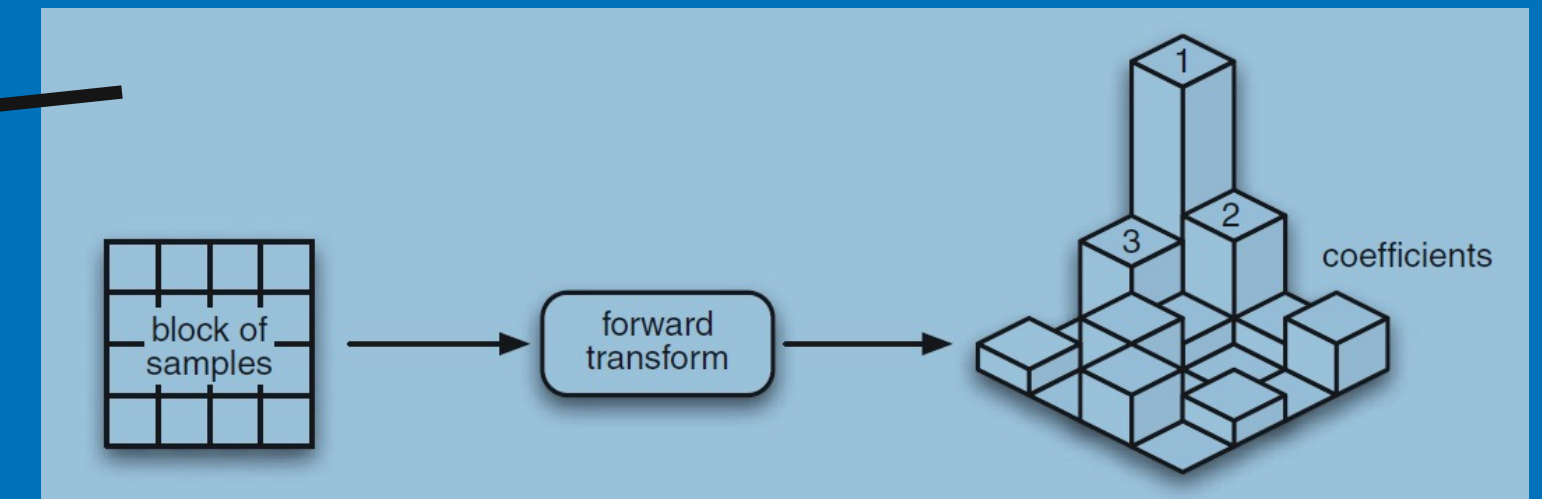
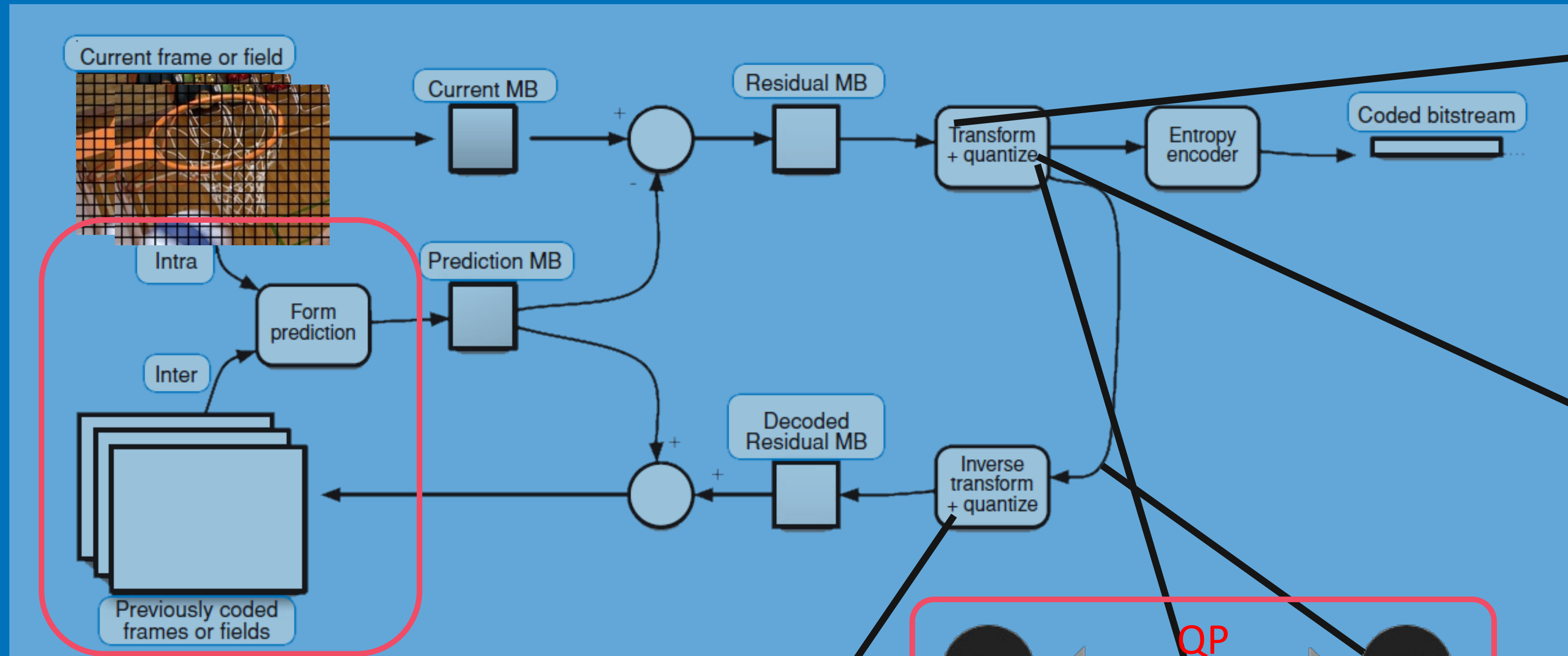


Количество бит на пиксел для разных форматов видео

RGB888	YUV444	$8+8+8 = 24$
$8+8+8 = 24$	YUV422	$8+4+4 = 16$
	YUV420	$8+2+2 = 12$

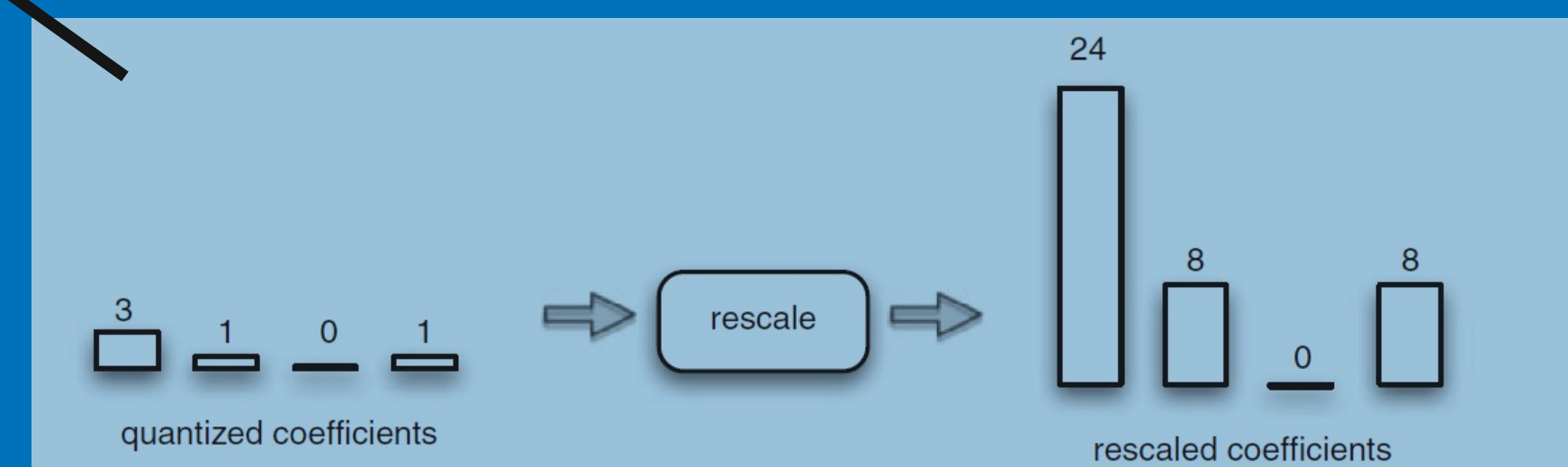
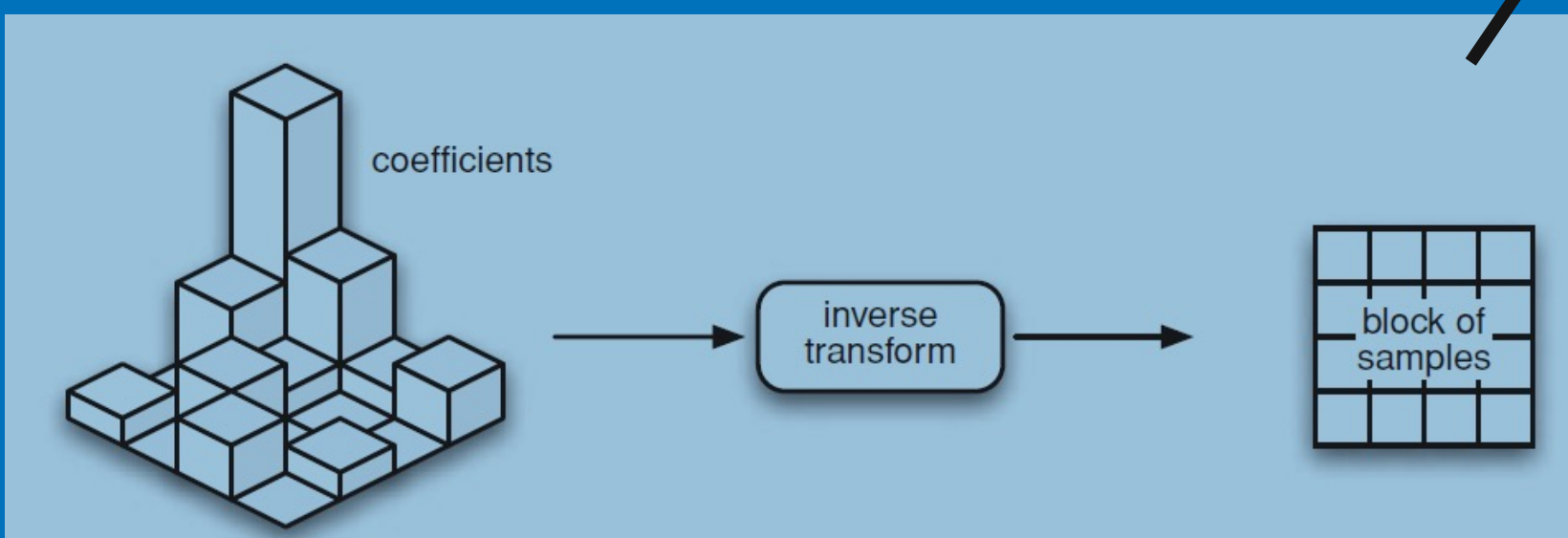
4:2:0, 4:2:2 and 4:4:4 sampling patterns (progressive)

Общая архитектура видеокодера H.264/AVC

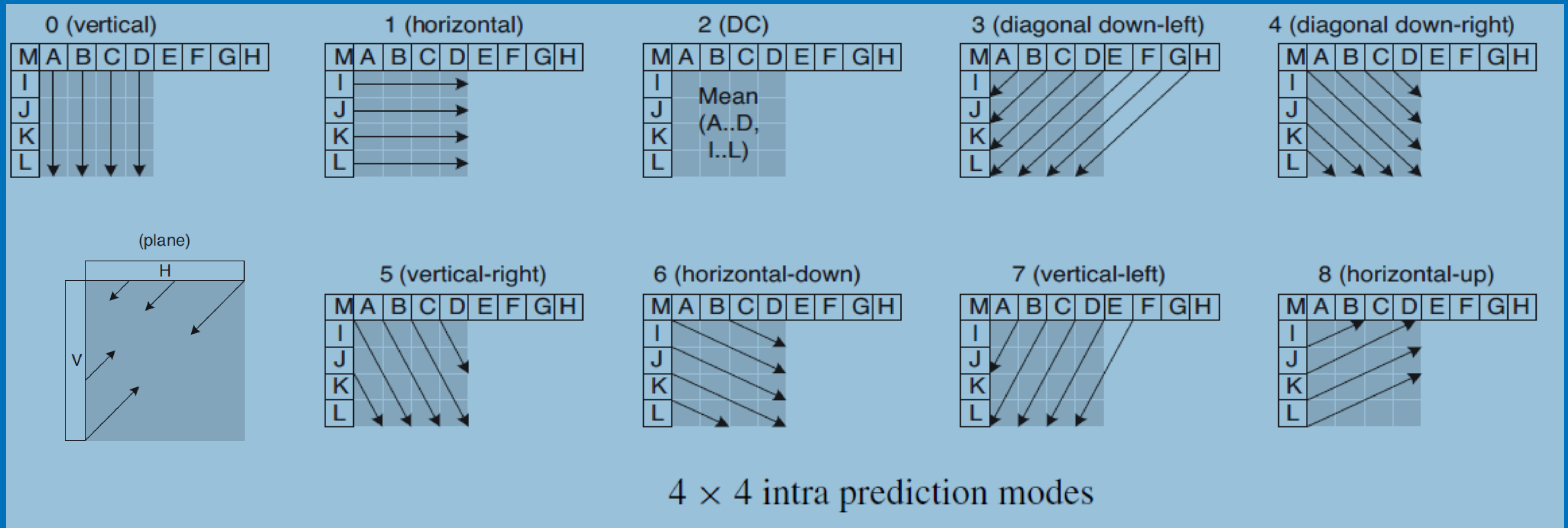


- High bandwidth
- Low compression
- High quality

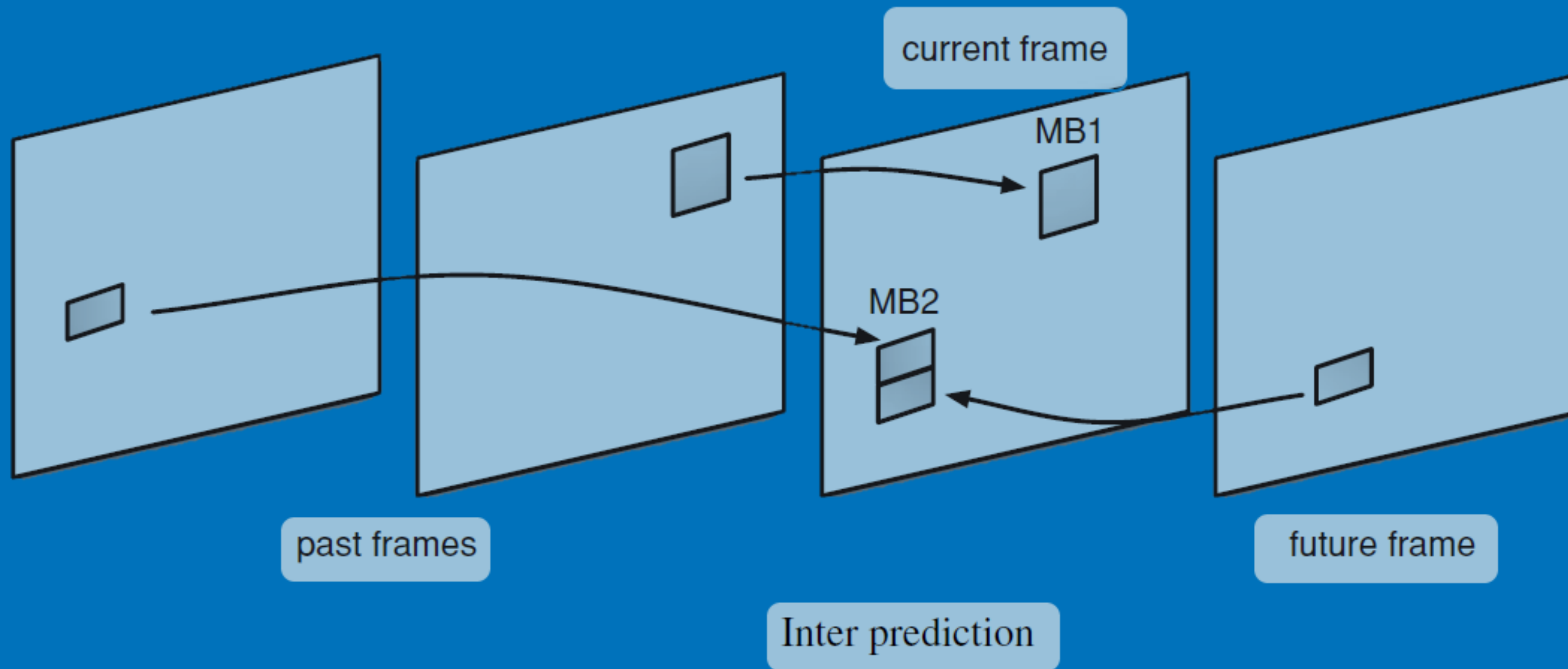
- Low bandwidth
- High compression
- Low quality



Пространственное предсказание



Временное предсказание



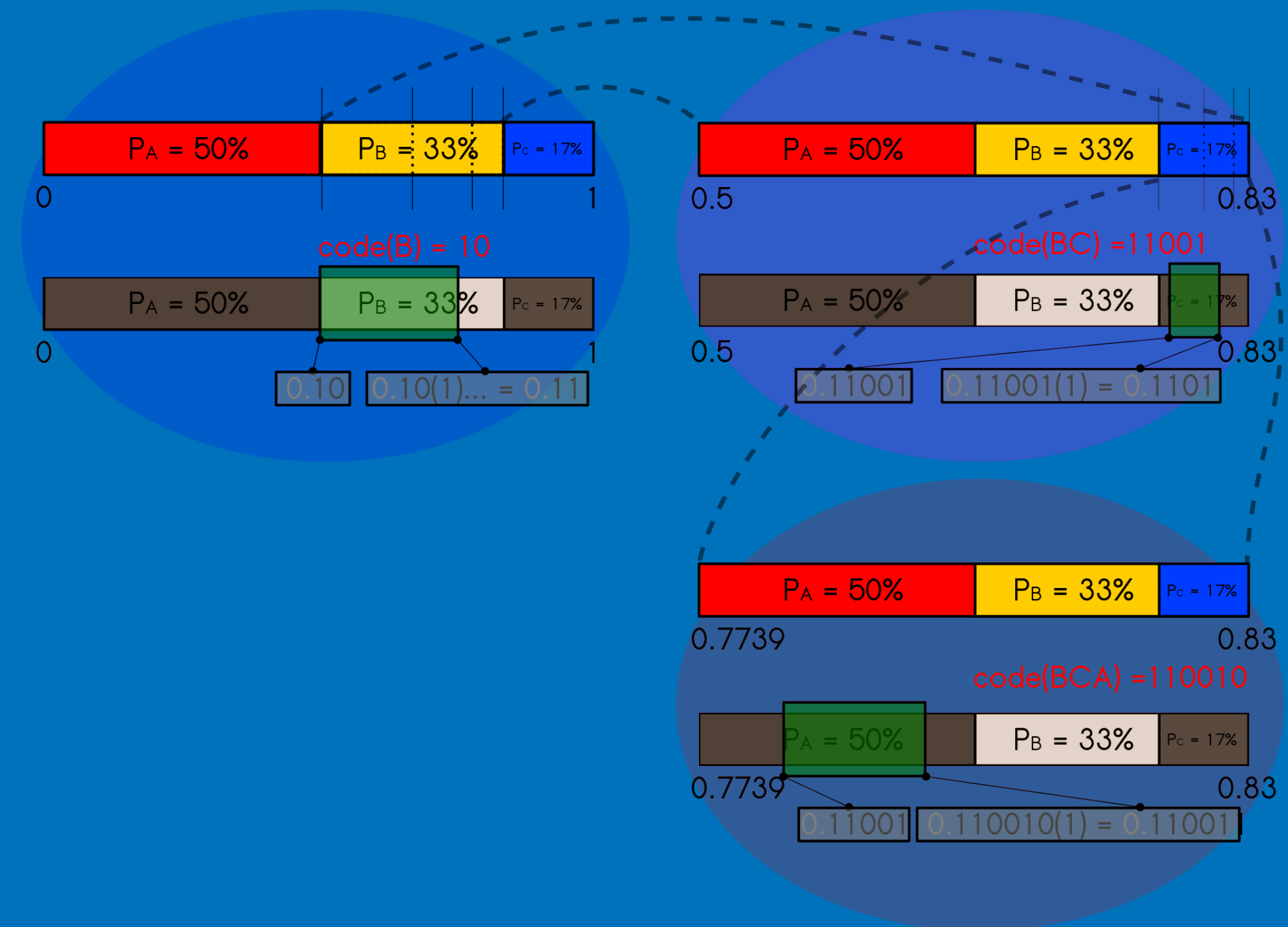
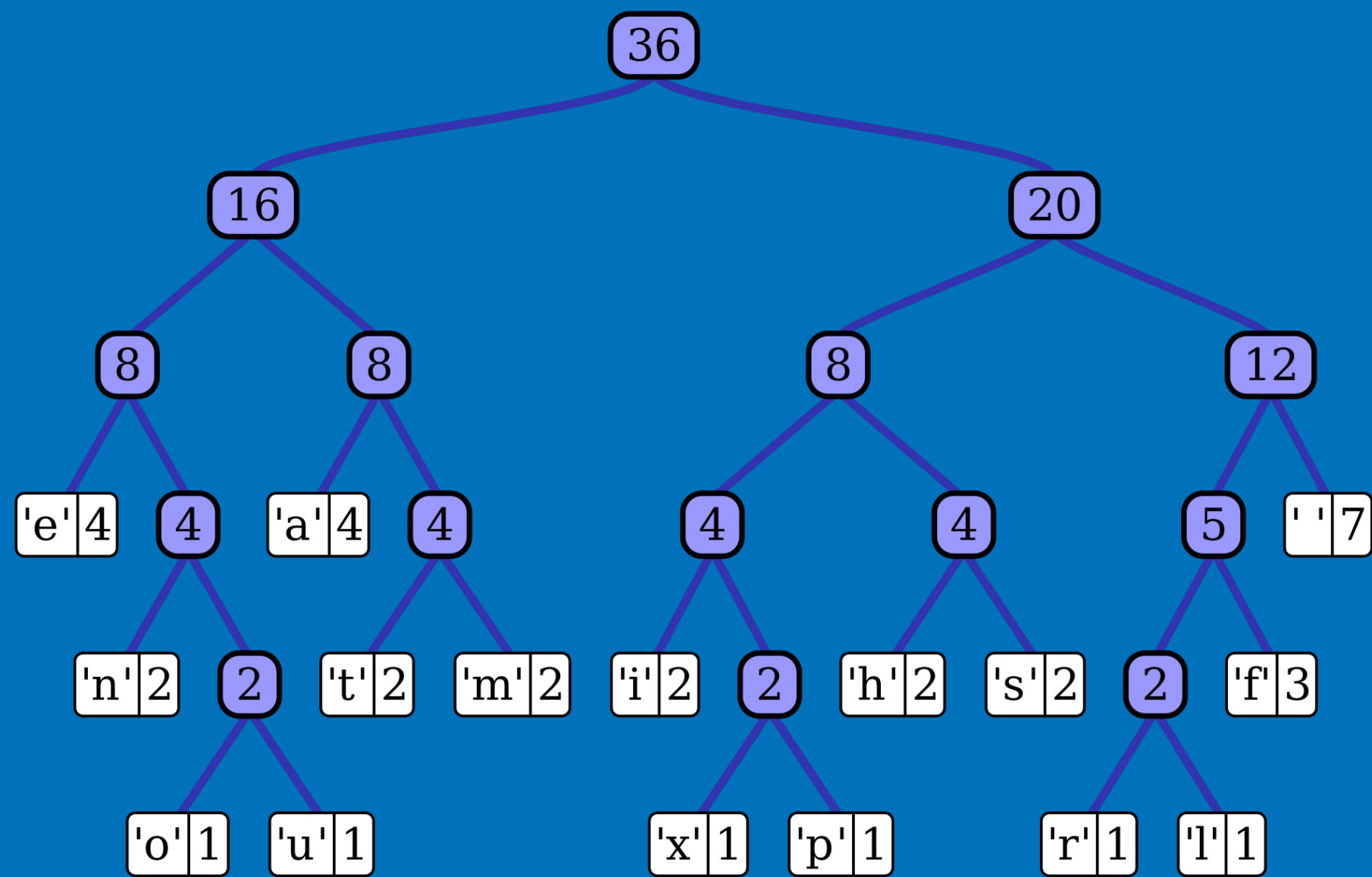
Энтропийное кодирование

CAVLC (baseline)

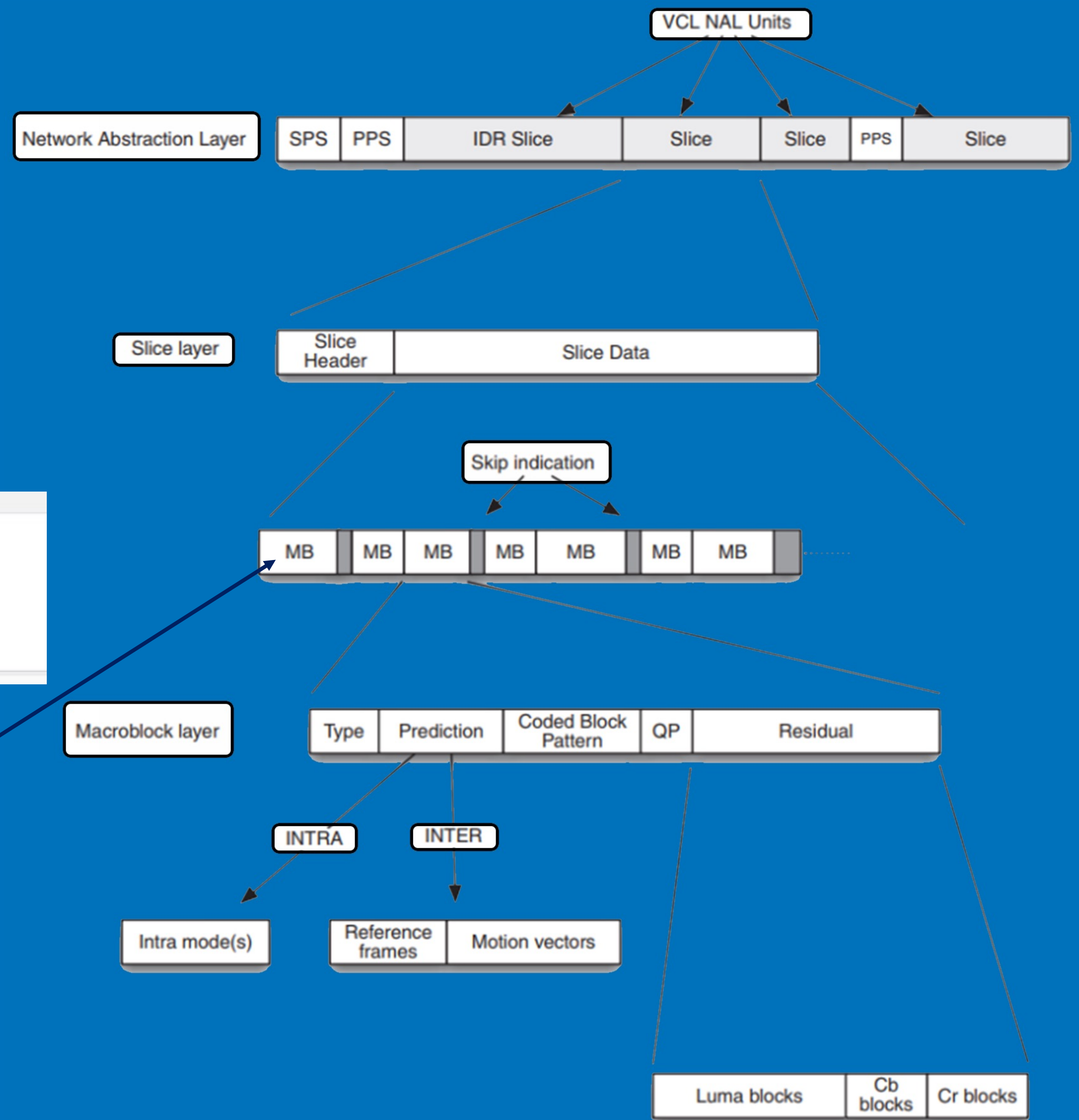
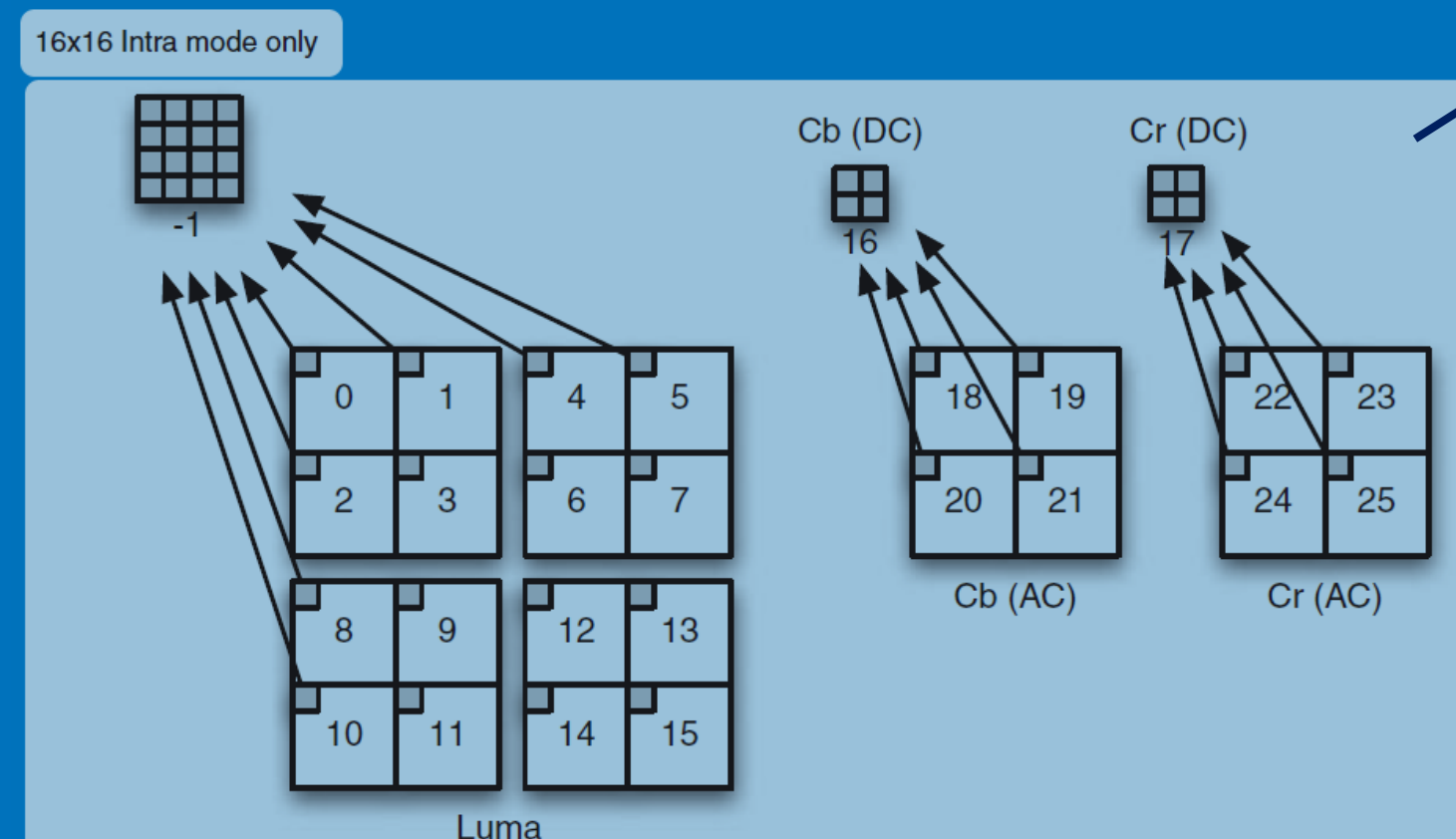
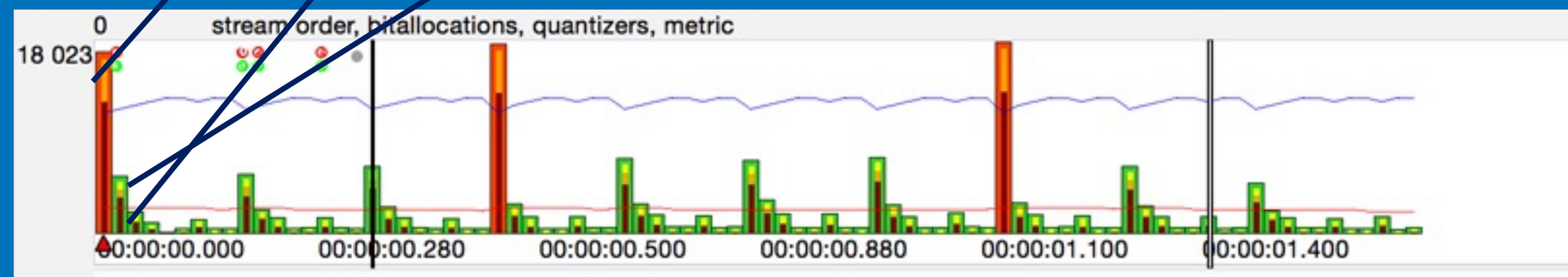
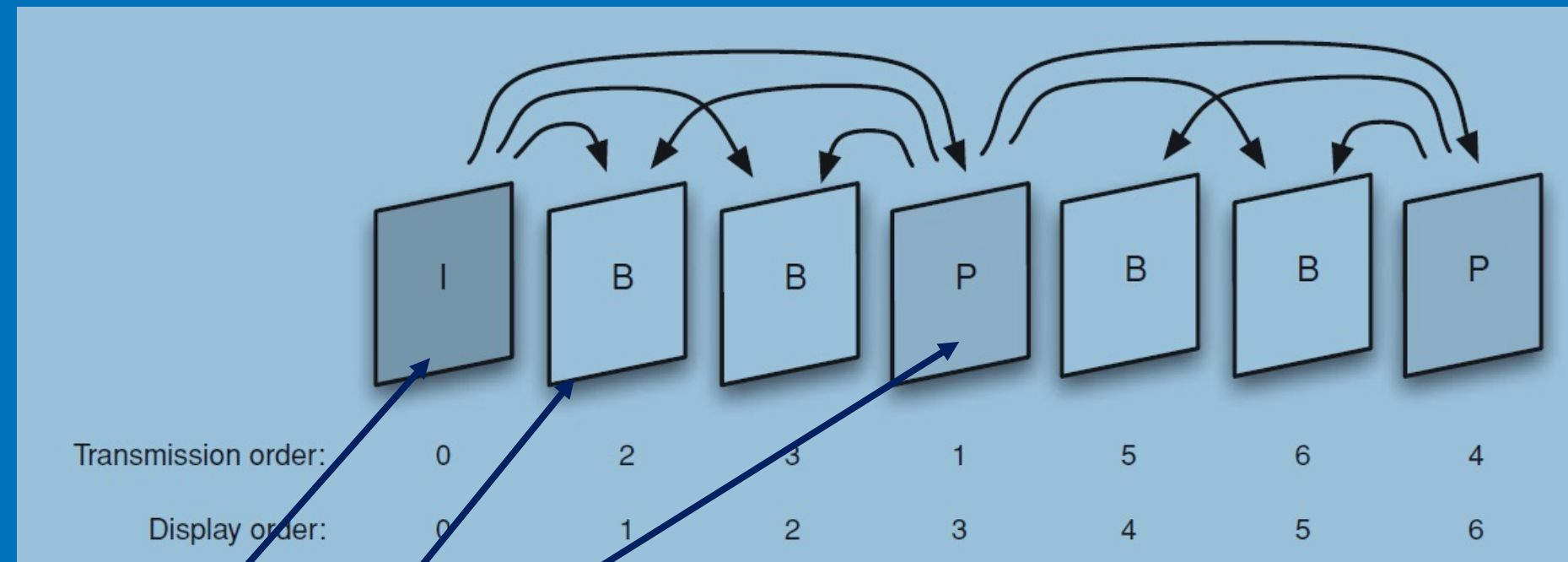
~10-15% CABAC (main/..)

Код Хаффана

Двоичное арифметическое кодирование



Структура битового потока



Куда смотреть?



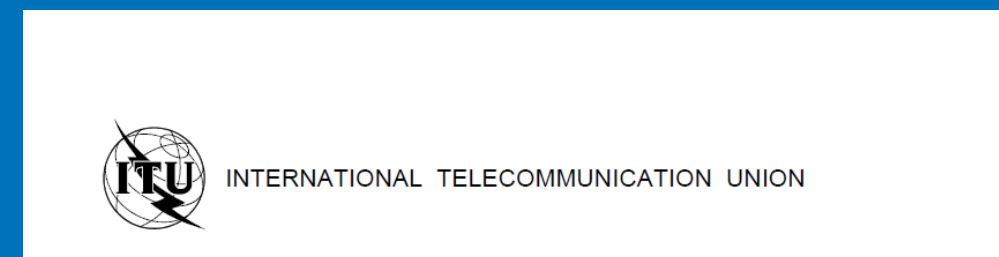
Fraunhofer
Heinrich Hertz Institute

Программная модель
кодека H/264/AVC: JM



X264

Библиотека x264 с открытым
исходным кодом



INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION

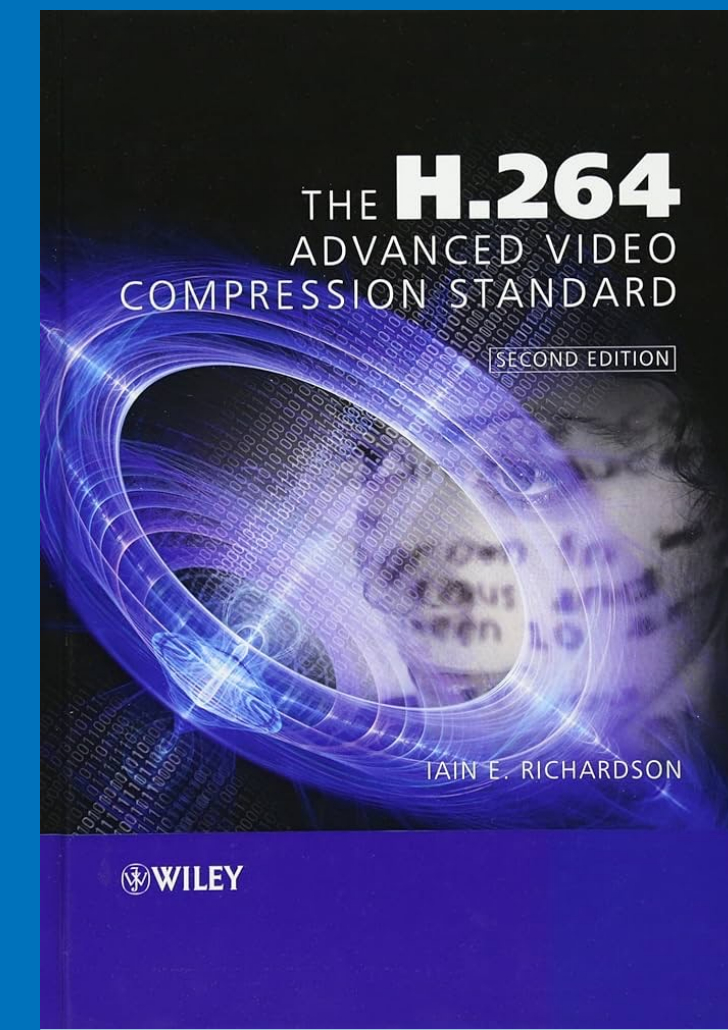
ITU-T **H.264**
TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU (05/2003)

SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS
Infrastructure of audiovisual services – Coding of moving video

Advanced video coding for generic audiovisual services

ITU-T Recommendation H.264

Стандарт H.264

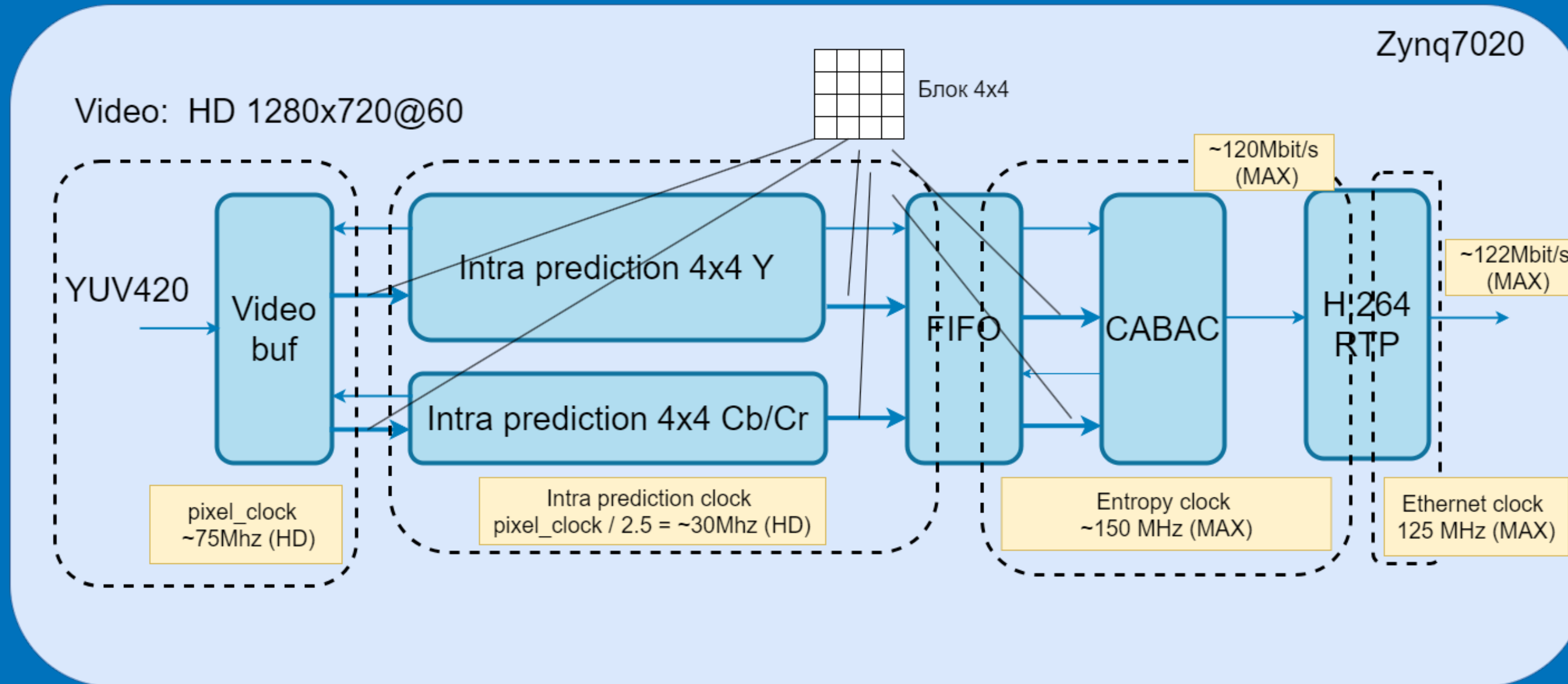


THE H.264
ADVANCED VIDEO
COMPRESSION STANDARD
[SECOND EDITION]
JAIN E. RICHARDSON

WILEY

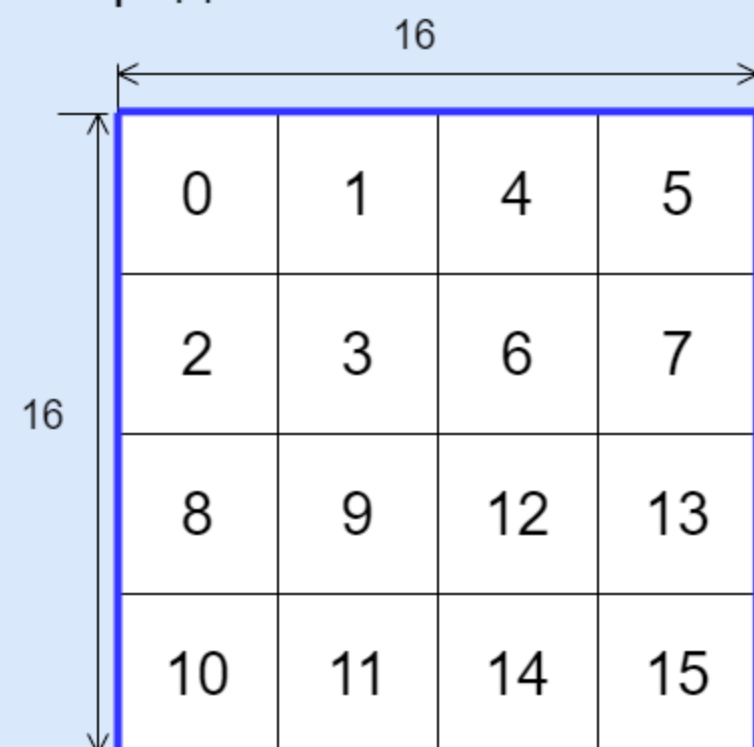
Книга

Архитектура H.264 на ПЛИС

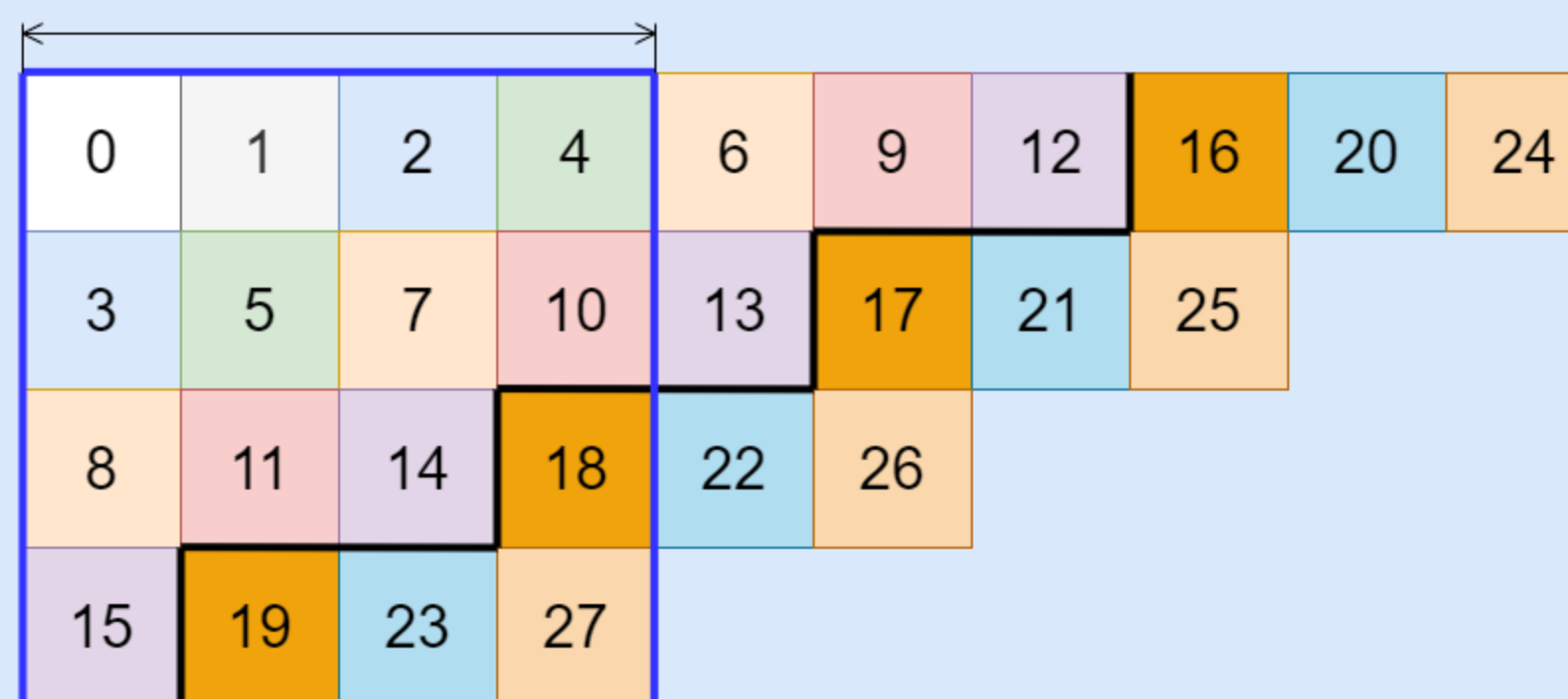


Высокоэффективный *intra* encoder

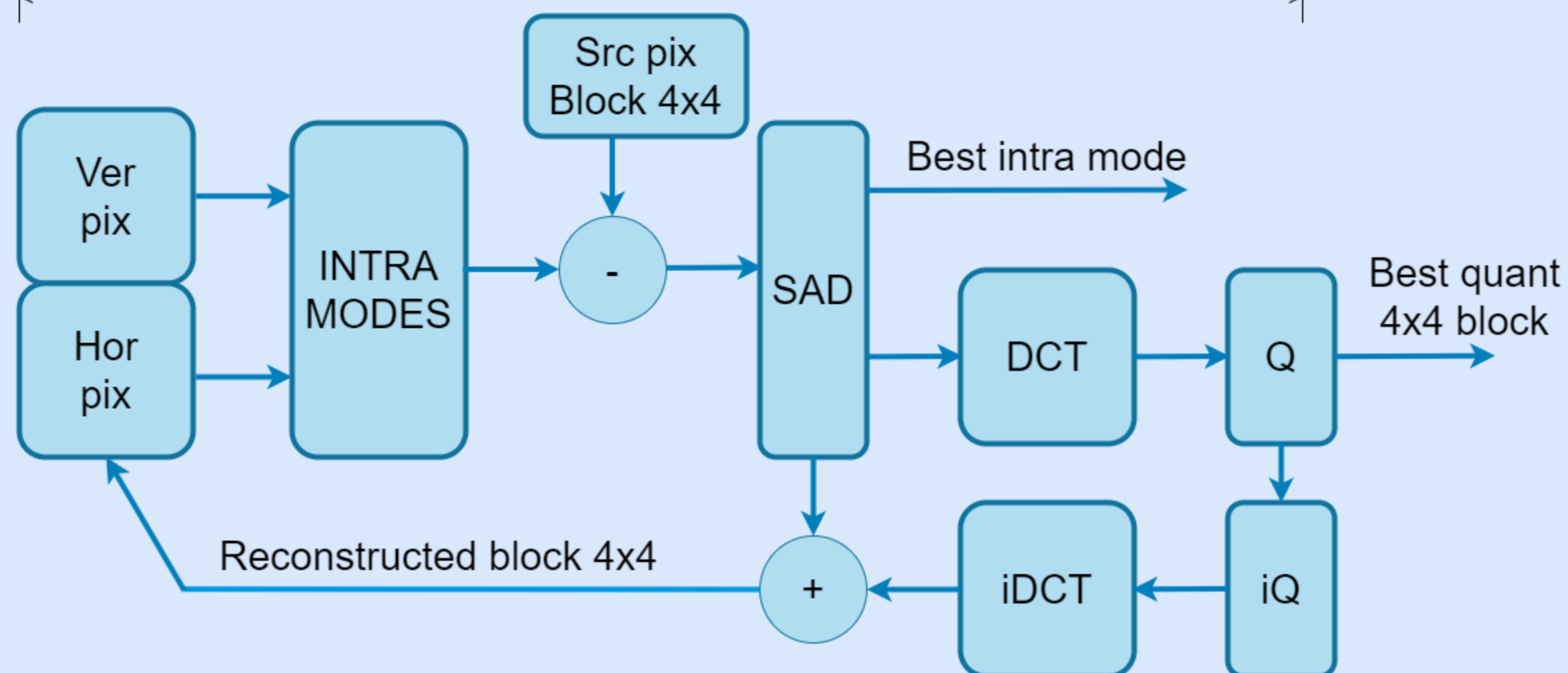
Порядок блоков 4x4 в макроблоке



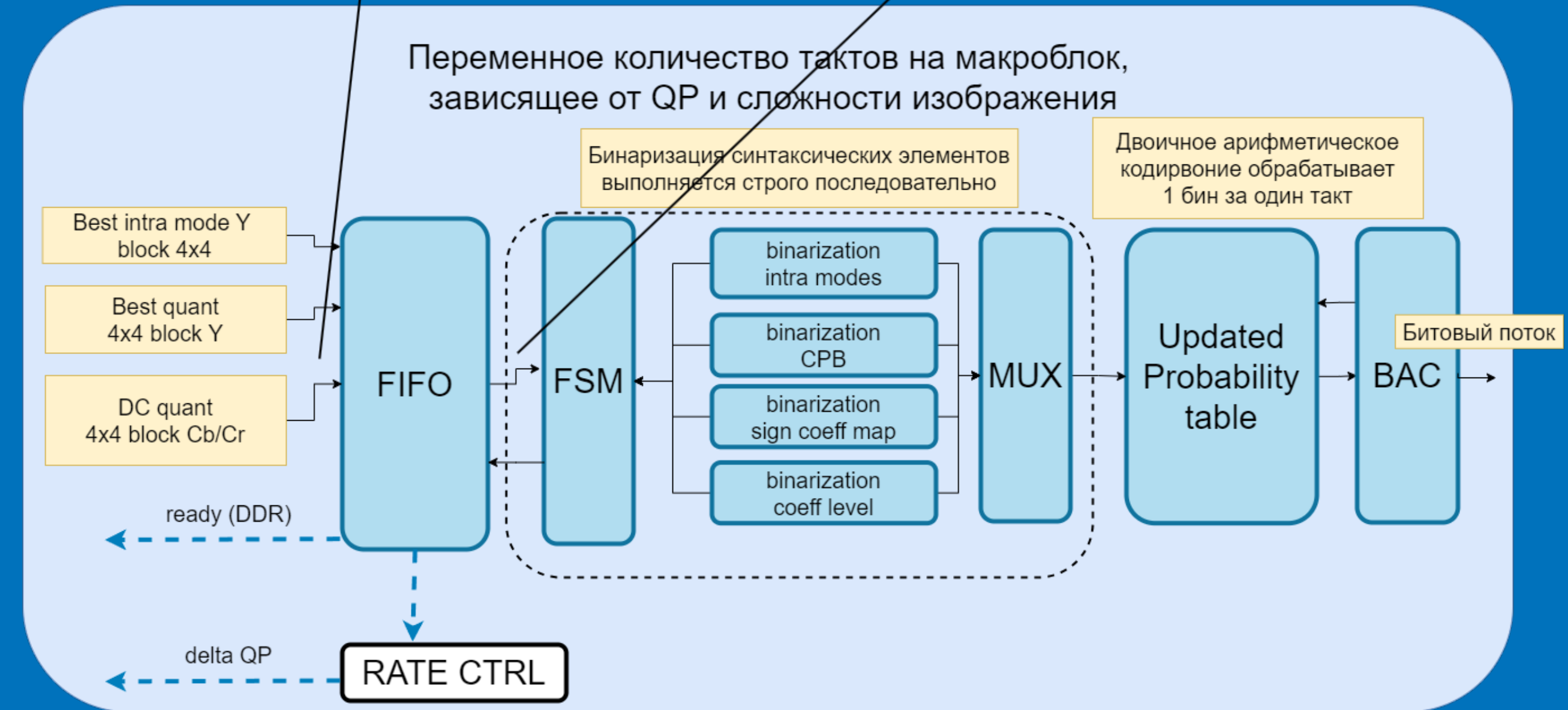
Порядок интра кодирования блоков 4x4



Период = 26 тактов, для конвейерной обработки 4-х блоков 4x4

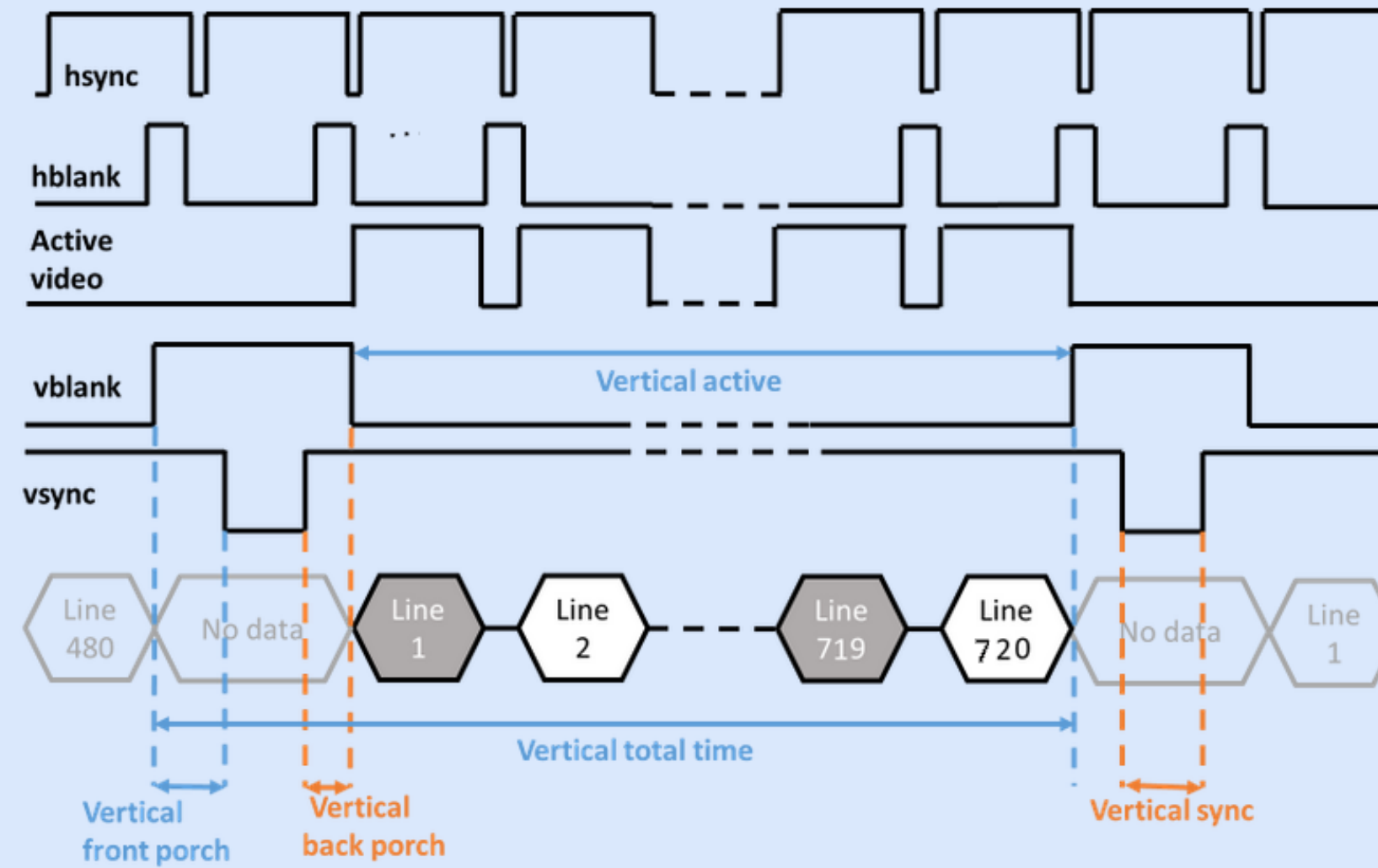


Аппаратная реализация CABAC+FIFO

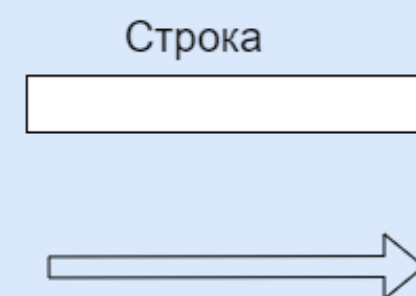


Входной видео сигнал и видеобуфер

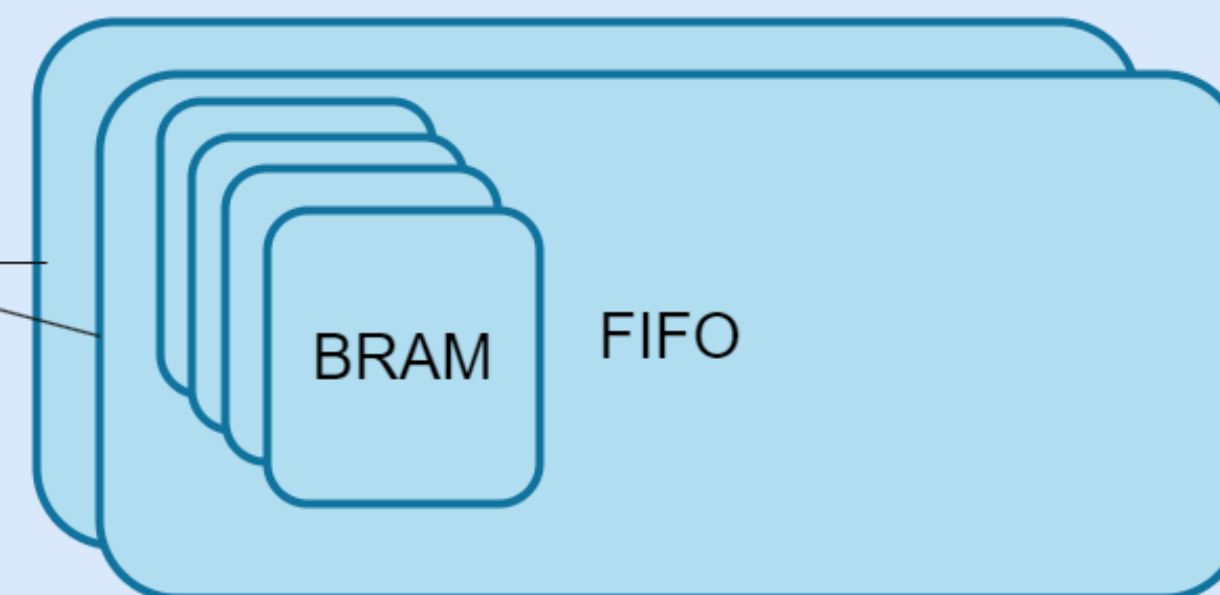
Видео сигнал
1280x720@60



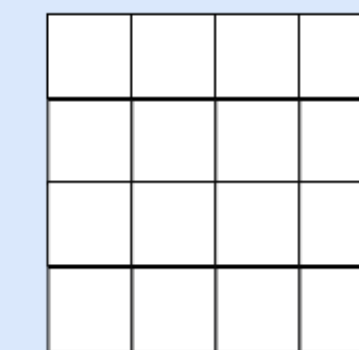
Видео буфер



Буфер на 16 строк



Блок 4x4



Как проверить и показать?

Пакетирование в RTP

Пример RTP потока с вложенным H.264, упакованный в UDP протокол

The screenshot displays the rtp_dump_ethernet.pcap application interface. The top pane shows a list of captured packets with columns for No., Time, Source, Destination, Length, Protocol, and Info. Packet 13 is highlighted, showing it is an RTP packet of type 96 (Dynamic RTP) with a length of 87 bytes. The info field indicates it is a STAP-A SPS PPS packet.

The bottom pane provides a detailed view of packet 13, showing the following structure:

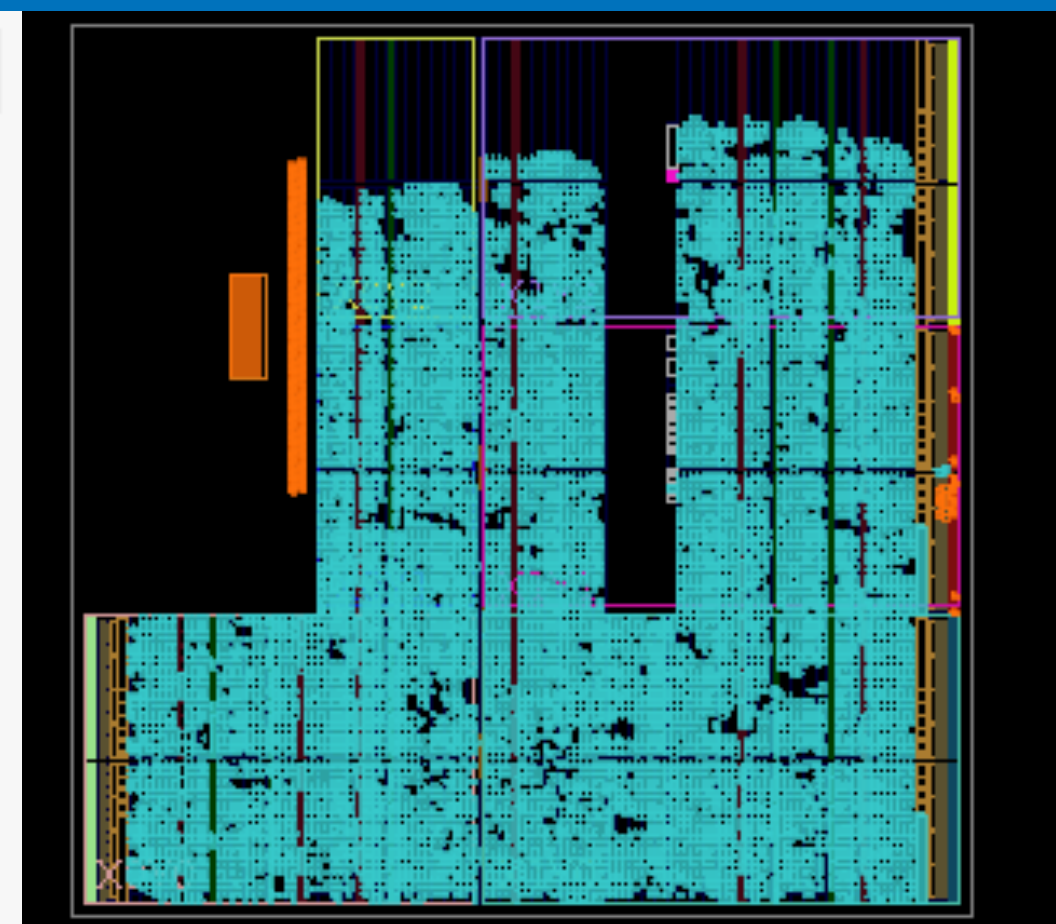
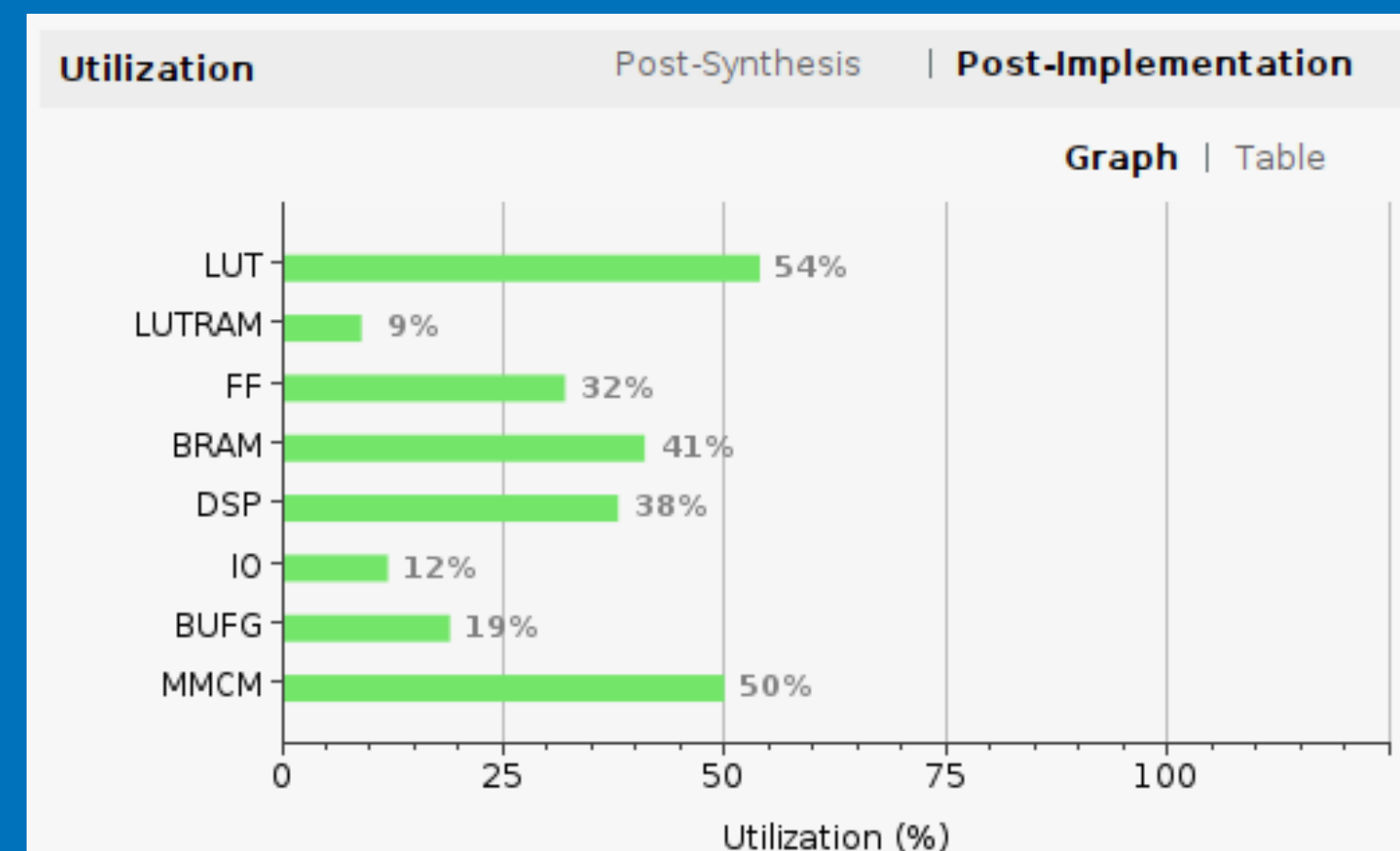
- Frame 13: 87 bytes on wire (696 bits), 87 bytes captured (696 bits) on interface \Device\NPF_{9F4A80CB-5BF6-4BC9-88FB-C33849E2B738}, id 0
- Ethernet II, Src: Xilinx_00:01:02 (00:0a:35:00:01:02), Dst: Speedora_0b:83:04 (00:13:3b:83:04)
- Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.2.10, Dst: 192.168.2.100
- User Datagram Protocol, Src Port: 49163, Dst Port: 45000
- Real-Time Transport Protocol
- H.264
 - NAL unit header or first byte of the payload
 - 0... = F bit: No bit errors or other syntax violations
 - .00. = Nal_ref_idc (NRI): 0
 - ...1 1000 = Type: Single-time aggregation packet A (STAP-A) (24)
 - H264 NAL Unit Payload
 - NAL Unit Size: 24
 - H.264
 - NAL unit header or first byte of the payload
 - > H264 NAL Unit Payload
 - NAL Unit Size: 4
 - H.264
 - NAL unit header or first byte of the payload
 - 0... = F bit: No bit errors or other syntax violations
 - .11. = Nal_ref_idc (NRI): 3
 - ...0 1000 = Type: NAL unit - Picture parameter set (8)
 - H264 NAL Unit Payload
 - 1... = pic_parameter_set_id: 0
 - .1. = seq_parameter_set_id: 0
 - ..1. = entropy_coding_mode_flag: 1
 - ...0 = pic_order_present_flag: 0
 - 1... = num_slice_groups_minus1: 0
 - 1.. = num_ref_idx_l0_active_minus1: 0
 -1. = num_ref_idx_l1_active_minus1: 0
 -0 = weighted_pred_flag: 0
 - 00.. = weighted_bipred_idc: 0
 - ..1. = pic_init_qp_minus26: 0
 - ...1 = pic_init_qs_minus26: 0
 - 1... = chroma_qp_index_offset: 0
 -0. = deblocking_filter_control_present_flag: 0
 -0. = constrained_intra_pred_flag: 0
 -0 = redundant_pic_cnt_present_flag: 0
 - 1... = rbsp_stop_bit: 1
 - .000 0000 = rbsp_trailing_bits: 0

Характеристики видекодера

- Кодировает HD видео в режиме реального времени
- Обеспечивает низкую задержку в ~0.5мс
- Битрейт до ~90 М/бит, Intra-only

Name	Slice LUTs (53200)	Slice Registers (106400)	F7 Muxes (26600)	F8 Muxes (13300)	Slice (13300)	LUT as Logic (53200)	LUT as Memory (17400)	Block RAM Tile (140)	DSPs (220)
> axi_clock_reset (hdmi_axi_clock_reset)	14	26	0	0	6	13	1	0	0
> axi_dma_0 (hdmi_axi_dma_0_1)	1153	2392	0	0	623	1081	72	1	0
> axi_smc (hdmi_axi_smc_5)	2804	3691	0	0	1025	2205	599	0	0
> axis_subset_converter_0 (hdmi_axis_s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> clk_wiz_0 (hdmi_clk_wiz_0_0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> dvi2rgb_0 (hdmi_dvi2rgb_0_0)	430	467	8	0	162	406	24	0	0
▼ encoder_h264i_0 (hdmi_encoder_h264i_0)	18300	18069	250	37	6505	17732	568	42.5	75
▼ U0 (encoder_h264i_v1_0)	17575	18069	250	37	6468	17007	568	42.5	75
encoder_h264i_v1_0_S_AXI_CTRL	857	2013	224	32	640	857	0	0	0
encoder_h264i_v1_0_S_AXI_INTR	52	59	0	0	25	52	0	0	0
> U_FIFO (xpm_fifo_sync_paramet)	25	61	0	0	22	25	0	1	0
> U_H264ENC (hw_enc_top)	16634	15888	26	5	5782	16066	568	41.5	75
U_VIC0NV (convertert)	8	48	0	0	17	8	0	0	0

Используемые ресурсы H.264/AVC
на плате Z7-NANO, xc7z020clg400-1

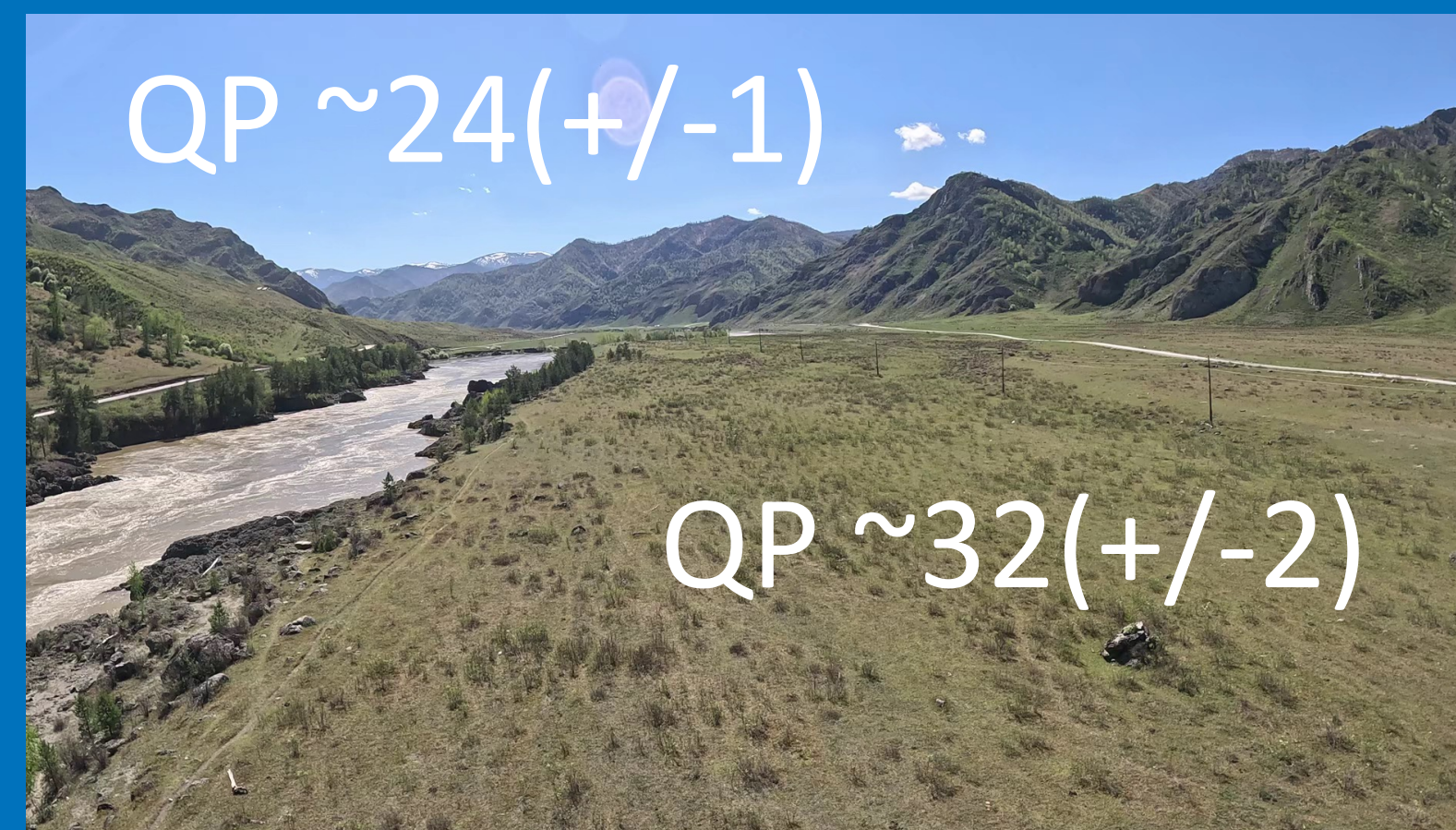


Используемые ресурсы дизайна с H.264AVC
на плате Z7-NANO, xc7z020clg400-1

Сравнение видекодеров



DJI o3 H.264, FullHD 60,
PSNR > 40 dB,
bitrate ~30Mbit/s (I, P),
bitrate ~120Mbit/s (Intra only)



GoPro mini 11, H.265, UHD 60,
PSNR ~40 dB,
bitrate ~50Mbit/s (I, P)
bitrate ~267Mbit/s (Intra only)



Ref. FPGA H.264, FullHD 60,
PSNR 41 dB,
bitrate ~122Mbit/s Intra only



Ref. FPGA H.264, FullHD 60,
PSNR ~34,9 dB,
bitrate ~52Mbit/s Intra only

Заключение

Разработка и подготовка к демонстрации проводилась при участии:

- Доцента кафедры радиофизики ТГУ, канд. физ.-мат. наук Пономарев О.Г.
- Специалистов компании Minerva Technology, <https://minerva-tech.com/>

Достоинства

- + Низкая задержка
- + Сравнительно малое количество используемых ресурсов ПЛИС и легко разводится при стандартных параметрах простых ПЛИС;
- + Возможность поддержки UHD за счет пониженной частоты работы интра-кодера даже на недорогих ПЛИС;
- + Гибкая архитектура, предоставляющая возможность разработки декодера и позволяющая использовать энтропийный кодер CAVLC;

Недостатки:

- Только блоки 4x4
- Фиксированный параметр квантования на кадр и макроблок

Планы:

- / Добавление Rate control + DDR
- / Добавление Inter coding
- / Поддержка более высоких разрешений FullHD and UHD

В перспективе:

- ~ Hardware Decoder H.264
- ~ Hardware Encoder H.265/H.266
- ~ Hardware Decoder H.265/H.266



Генеральный партнёр конференции FPGA-Systems 2024.1

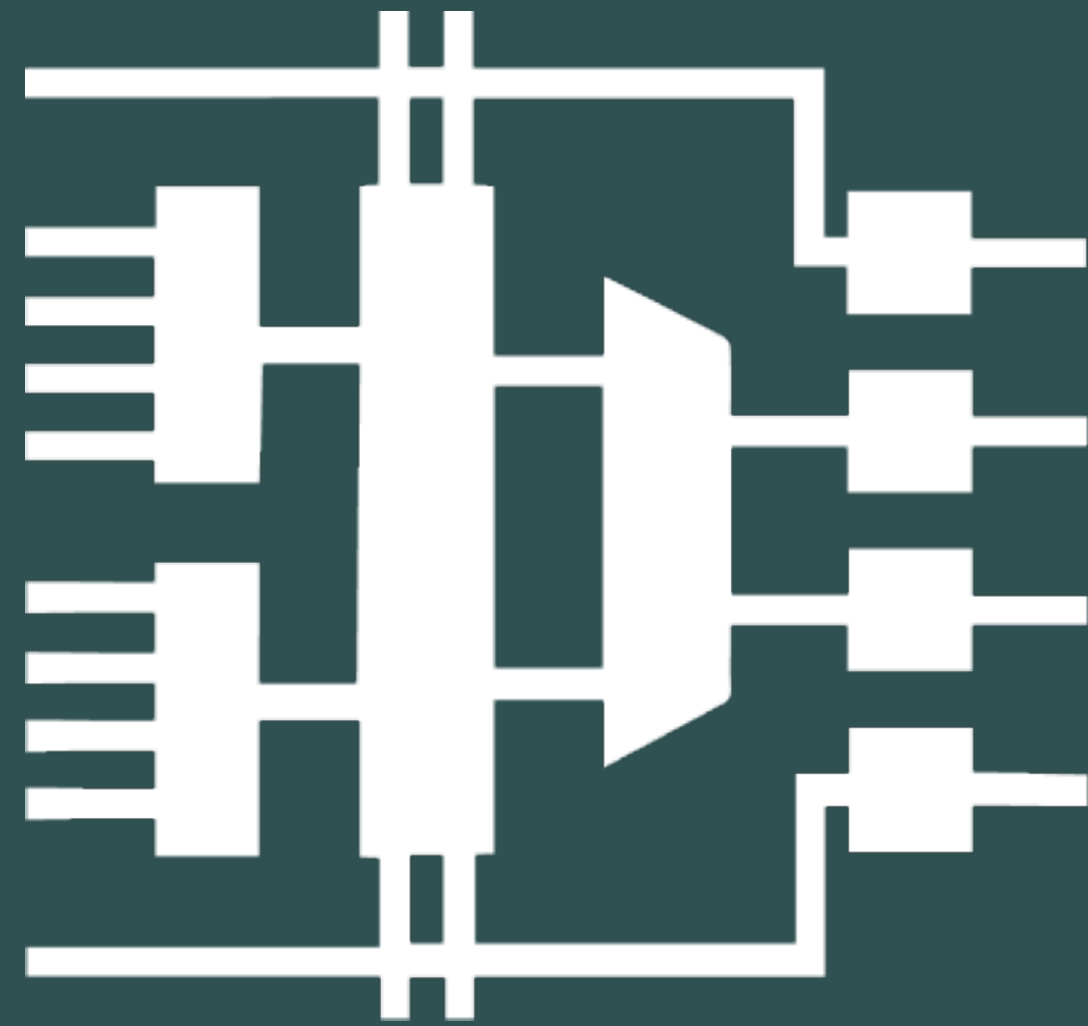


Первая современная отечественная САПР,
реализующая сквозной цикл проектирования печатных плат



www.eremex.ru

Где найти FPGA / RTL / Verification комьюнити?



FPGA-Systems.ru

Сайт комьюнити

[FPGA-Systems Magazine \(FSM\)](#)

Первый журнал о программируемой логике

[@fpgasystems](#)

Телеграм чат

admin@fpga-systems.ru

Электронная почта

Youtube.com/c/fpgasystems

Youtube канал