

x265 视频压缩教程完整版

欢迎阅读! 若有什么不会的可以加群 [691892901](#). 本教程很难, 入门先看 [x264 视频压缩教程综合版](#). 但现在就要压视频就去拿[急用版教程](#)哦(·ω·)ゞ 用 Ctrl+F, 让电脑帮你找内容(((((*. _). 使用时注意本文在科普和参数说明上缺乏专业信息源, 故仅具备业余参考价值

ffmpeg, VapourSynth, avs2yuv 传递参数

```
ffmpeg -i <源> -an -f yuv4mpegpipe -strict unofficial - | x265 --y4m - --output
ffmpeg -i <源> -an -f rawvideo - | x265.exe --input-res <宽 x 高> --fps <整/小/分数> - --output
-f 格式, -an 关音频, -strict unofficial 关格式限制, --y4m 对应"YUV for MPEG", 两个"-是 Unix pipe 串流
VSpire 源.vpy --y4m - | x265.exe - --y4m --output
avs2yuv 源.avs -csp<色> -depth<深> - | x265.exe --input-res <宽 x 高> --fps <整/小/分数> - --output
avs2pipemod 源.avs -y4mp | x265.exe --y4m - --output
```

ffmpeg 查特定色度采样

ffmpeg -pix_fmts | findstr <或 grep 关键字>

检查/选择色深, 版本, 编译

x265.exe -V, -D 8/10/12 调整色深

多字体+艺术体+上下标.ass 字幕渲染

ffmpeg -filter_complex "ass='F\:/字幕.ass'"滤镜

中途正常停止压制, 封装现有帧为视频

输入 Ctrl+C, x265.exe 自带功能

Bash 报错自动导出+命令窗里显示

x265.exe [参数] 2>&1 | tee C:\x265 报错.txt

8bit 还是 10bit 色深

首选 10bit

目录

分块..... 1	初始化 - LOOKAHEAD 建立..... 7	率失真优化控制..... 16	线程节点控制..... 20
变换-傅里叶变换..... 2	GOP 结构..... 9	环路滤波-去块滤镜..... 17	色彩空间转换, VUI/HDR 信息, 黑边跳过..... 20
帧间-动态搜索..... 3	帧内编码..... 9	环路滤波-取样迁就偏移..... 18	IO (INPUT-OUTPUT, 输入输出)..... 21
帧间-子像素运动补偿..... 5	量化-码率质量控制模式..... 10	熵编码/残差编码/文本压缩 -CABAC..... 18	
帧间-时域架构搜索..... 6	自适应量化..... 14	SEI 补充与优化消息..... 19	
溯块向量搜索..... 6	模式决策..... 15		

分块

hevc 中, 帧下结构按面积大小列为帧→瓦 tile→条带 slice→条带段 ss→ctu→cu 单元. cu 和 cb 是 ctu 经动静态隔离, 即动态搜索 motion estimation 与运动补偿 motion compensation 所得的结果. 其中 U 即 unit, 指 YCbCr 三位一体, 而 B/block 则单指其一. ipcm-cu 代表跳过 MEMC, 直达环路滤波的 intra pulse code modulation cu (帧内编码的 pcm 波形 cu), 因为"块"本来就是一串像素值的波形, 只是通过"单元"的元数据"换行"到了二维而已. intra 代表帧内, 当提及帧内编码, 多指 GOP 建立后, 用于为 B, b, P 帧提供参考源的 IDR 和 I 帧所需要用到的完整单图, 但也包括参考帧内所含的 I 块



PU - 预测单元 prediction unit 是编码完, 用做参考源的块. 支持 cu 上对称 rectangle, 非对称 asymmetric 划分, 以更好的隔离动静态. 亮度与色度上的分裂法可以不同, 小至 4×4 像素

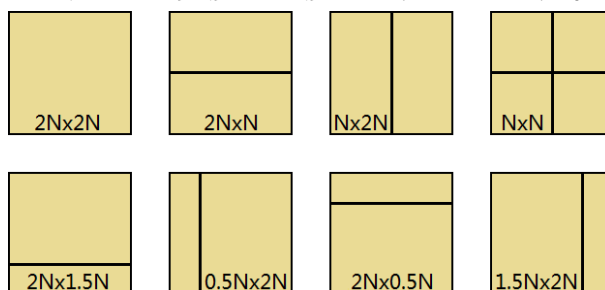


图: pu 的 4 种对称 rectangular 和 4 种不对称 asymmetric 划分



TU - 变换单元 transformation unit 的划分与 cu 而非 pu 同步, 实现变换和量化 (´ ▽ `)/

AU - 存取单元 access unit 是解码端用于启动播放的块, 一般为 IDR-AU

--ctu<64/32/16, 默认 64>指定编码树单元最大大小的参数. CTU 越大, 有损压缩效率越高+平面涂抹越高+速度越慢. 一般建议保持默认, 但考虑到动画的大平面建议辅以低量化. 考虑画质优先时建议设<32>, 当分辨率特别小时建议设<16>且调整下面的参数 (^-^*)/--min-cu-size<32/16, 默认 8>限制最小 cu 大小, 简化计算步骤, 因为使往后步骤 pu, tu 的划分也会更大. 用多一点码率换取编码速度的参数. 建议日常环境使用 16 或快速编码环境使用 32

--rect; --amp<开关, 默认关, 受 limit-modes 限制, 开 amp 需 rect>pu 的对称与不对称划分, 用更多编码时间换取码率的参数. 只建议有比较充足时间, 分辨率大于 1440x10 或通篇颗粒的视频用

变换·傅里叶变换

一维傅里叶变换 1D-FT 给出与原信号波形等高, 从最长的频率周期开始不断缩窄(增加周期)并调整相位的参考余弦. 在参考余弦波变化的过程中, 记下两条波形吻合度变化的曲线-不同波形周期的振幅, 就得到了频域信号. 反过来将频域信号所对应的波形加起来就实现了逆变换. 为将源波形中反相的余弦也

考虑在内, 所以计算过程中要取立方转正. "不断缩窄的参考余弦"在初等数学上用 $\cos(x \frac{2\pi}{T})$ 表示, 高等数学用 $\cos(x) + i\sin(x)$. 各波形/级数的振幅, 相位分别储存为 $\sqrt{FT(x)^2 + iFT(x)^2}$ 及 $\text{atan2}(iFT(x), FT(x))$ 即频域点的亮度和位移(2DFT 下是旋角). $\text{atan2}(y, x)$ 是正交坐标系算一圈 360° 或 2π 的位移/旋角, 几何坐标系中同理的 \tan^{-1} 超过 180° 或 π 会归零而不用, 见 [desmos 示 1](#), [示 2](#), [3b1b 视频](#)及[公开课](#)

二维傅里叶变换 2D-FT 宽高上单拆出线来分别进行 1DFT, 通过双求和 $\Sigma\Sigma$ 或双积分 $\int\int$ 缩写. 所以在频域中相当于每个像素的变换结果相加或干涉. 亮则振幅大, 远则频率高. FT 强在可编辑性, 是消除光盘扫图等均匀噪声的解

二维离散余弦变换 2D-DCT 预制的二维波形模具, 穷举加減列出每个频段的使用次数, 图像就从空间域转换到频域了. 比 2DFT 快但只有 8×8 种波形, 所以删高频效果比 FT 差

--limit-tu<整数 $0 \sim 4$ 默认关, tu-intra/inter-depth 大于 1>提前退出 tu 分块, 以量化/残差编码质量为代价提速. tu 大则易出现量化涂抹, 不利于暂停画质. 1 一般, 画质编码, 取分裂/跳过中花费最小的, 2 以同 ctu 内的首个 tu 分裂次数为上限, 3 快速编码取帧内帧间附近 tu 分裂平均次数为上限, 4 不推荐, 将 3 作为未来 tu 的分裂上限, 相比 0+20%速度

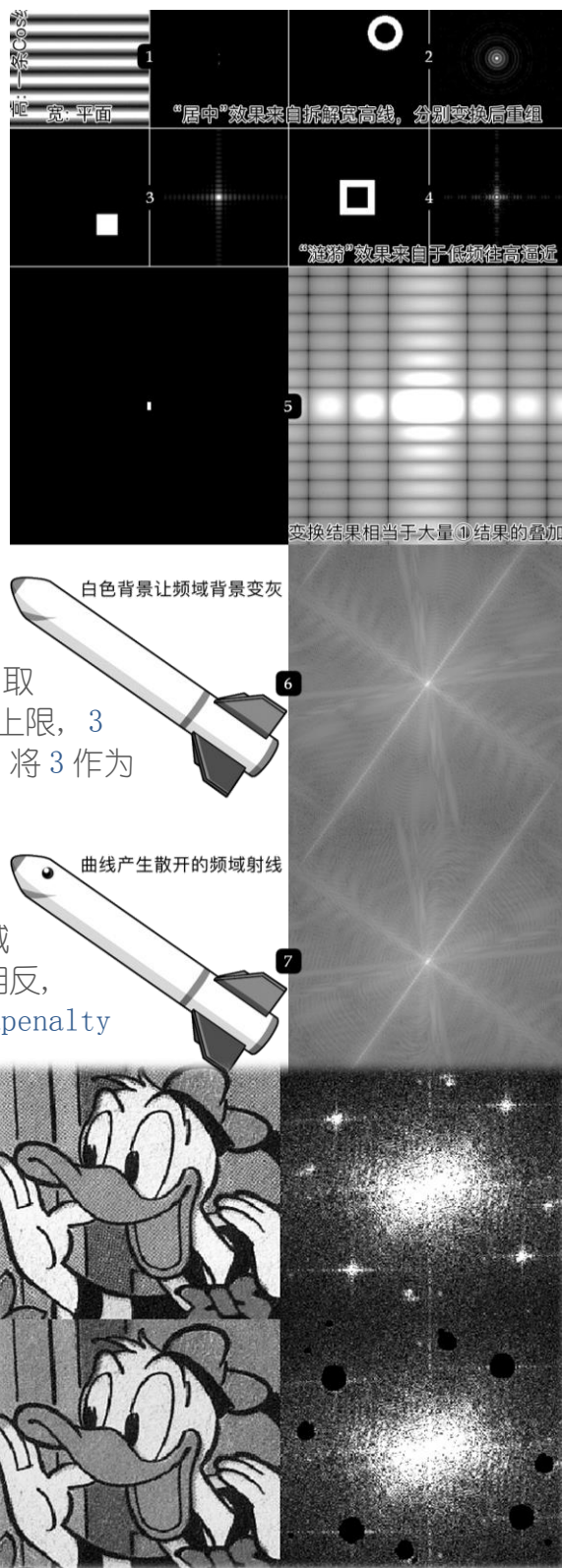
--rdpenalty<整数 $0 \sim 2$, 默认关, tu-intra-depth=1 时失效; =2 则 32×32 帧内 cu 可用; =3 才支持 64×64 帧内 cu> 强制 tu 分块以提高细节保留降低涂抹. 1 提高率失真代价而减少 32×32 tu, 或设 2 强制 32×32 tu 分块. 用途与 limit-tu 相反, 但可理解为 tu 分块的下限, 例如高 limit-tu, 高 crf 时用 rdpenalty 2 避免 32×32 tu 造成涂抹太强画面糊掉的结果

--tu-intra-depth; --tu-inter-depth<整数 $1 \sim 4$, 配合 limit-tu, 默认 1>空间域 tu 分裂次数上限, 默认只在 cu 基础上分裂一次. 决定量化质量所以建议开高. 建议日常编码设在 2, 提升画质设 $3 \sim 4$

--max-tu-size<32/16/8/4, 默认 32>更大的 tu 大小能提高压缩, 但也造成了计算量增加和瑕疵检测能力变差. 码率换时间+画质. 建议不如直接设 ctu, 因为也可减少 32×32 tu

帧间-动态搜索

于帧间逐块地找最小失真朝向 direction of minimal distortion/DMD, 组成一张张帧间矢量表的计算. 若找出的信息不足, 参考帧与分块的建立就欠缺基础. 图: [Jain&Jain/十字搜索](#), [大小菱 LS-Dia 搜索](#)



--analyze-src-pics<开关, 默认关>允许动态搜索查找片源帧, 耗时增加压缩

--me<hex~full, 推荐 umh>

选择简单~复杂的搜索滤镜, umh 平衡, star 之后收益递减. star 四角星搜索, sea 是优化过的 esa 穷举, 浪费性能

--merange<整数搜索范围, 取决于动搜算法, 建议 4 的倍数, 最大 48 左右>简单说 hex 选 16, umh-star 选>=32. 太大会同时降低画质和压缩率, 因为找不到更好的, 找到也是错的

--hme-search<hex~full, 关 me, 待查>三份异分辨率原画分别宏-微观的搜索动态信息

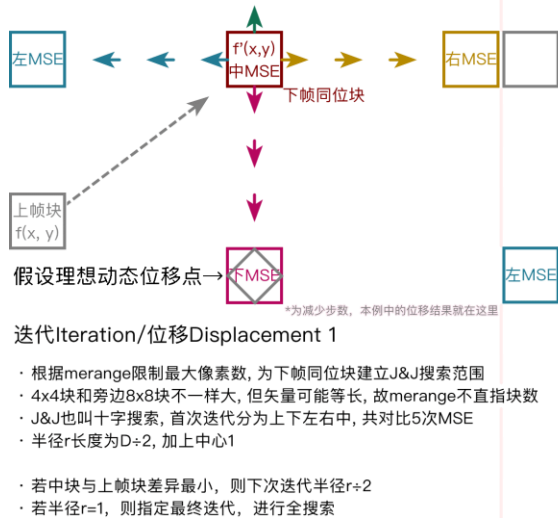
--hme-range<三个整数, 默认 16, 32, 48>对应 1/16, 1/4 和完整分辨率三个画面; 建议 16, 24, 40

x264/5 中, 六边形搜索 hex 将 LDSP 的上下左右斜 8 个外点砍成 6 个, SDSP 细化规则不变

J&J搜索

确立大致方位后逐步细化, 找出唯一块

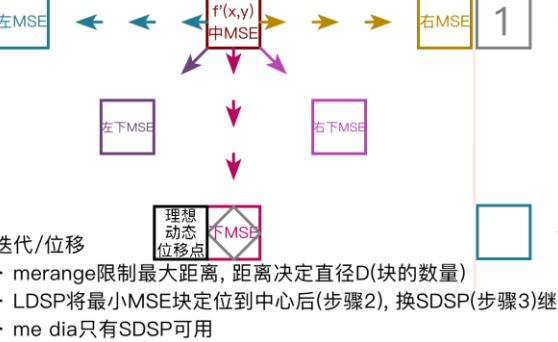
直径 $D=8$, $\leq \text{merange}$
半径 $r=D\div 2+1$

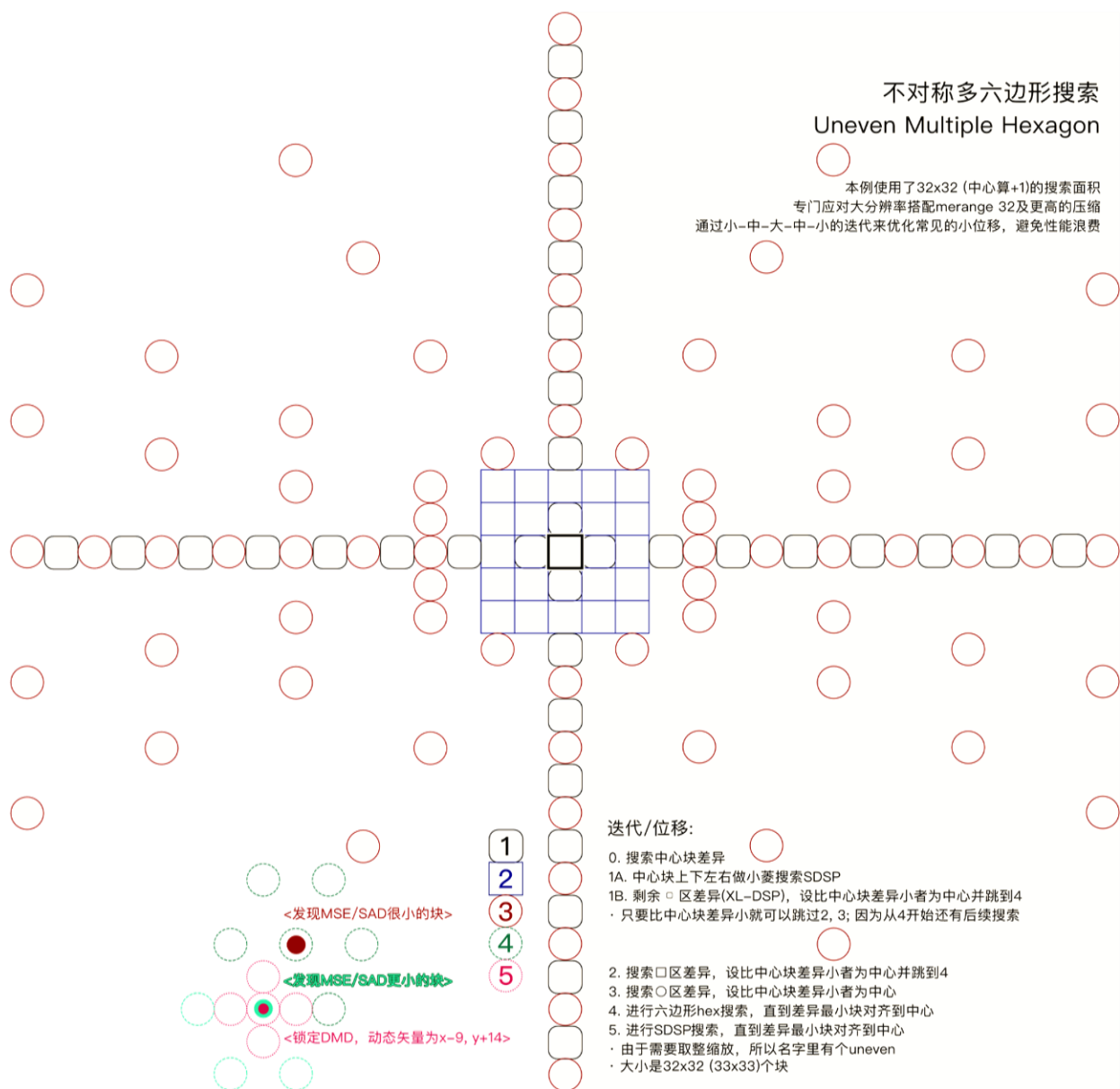


LS-Dia搜索

大菱+小菱(LDSP+SDSP)

例子中的动态矢量比十字搜索偏僻大小菱搜索的迭代次数却做到了相等虽然搜索点多则慢, 但迭代少则更快找准偏远的动态矢量才适合高分辨率





帧间-子像素运动补偿

motion compensation 将动搜所得信息做块-帧插值, 让帧间连贯起来. 防止畸变相对复杂的动态信息让块脱离参考压缩. 此处的冲激响应滤镜 impulse response filter 对超阈值的输入模拟信号出 1, 否则出 0 的滤镜. 冲激→响应与音符→频谱的关系所同. hevc 标准要求使用 7-tap 精度(1/4 像素), avc 要求 6-tap. 影响模式决策和率失真优化. SAD, SATD 计算见 x264 教程完整版

--subme<整数默认 2, 范围 1~7, 24fps=4, 48fps=5, 60fps=6, +=7>根据片源的帧率判断. 分四范围. 由于动漫片源制于 24~30fps, 因此可调低; 但同是动漫源 60fps 的虚拟主播则异. 由于性能损耗大, 所以不建议一直开满. 由于 x264 中 rdo 选项直接塞进了 subme, 所以相比 x265 偏高

推荐范围	值	½像素迭代	½像素搜索方向	¼迭代	¼搜索方向	算法
30fps 搭配 rdo	<3>	2 次	4	1	4	SATD
48fps 搭配 rdo	<4>	2 次	4	2	4	SATD
60fps 搭配 rdo	<5>	1 次	8	1	8	SATD
90fps 搭配 rdo	<6>	2 次	8	1	8	SATD
144fps 搭配 rdo	<7>	2 次	8	2	8	SATD

加权预测 weighted prediction

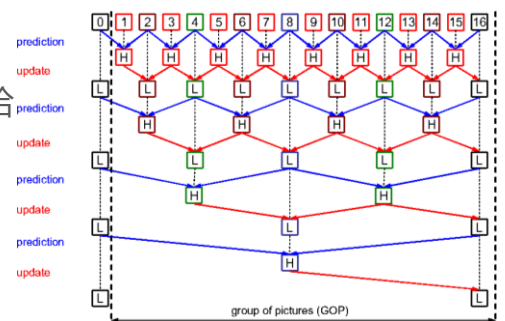


解决淡入淡出过程中部分 pu 误参考, 亮度变化不同步所制造的画面问题. 分为 P, B 条带用的显加权, 编码器直接从原画和编码过的参考帧做差; B 条带用的隐加权, 用参考帧的距离做加权平均插值

--weightb<开关, 默认关>启用 B 条带的显, 隐加权预测. 条带所在 SPS 中可见 P, B 加权开关状态, 及显加权模式下解码器须知的权重. 光线变化和淡入淡出在低成本/旧动漫中少见. 略提高压缩和画质

帧间-时域架网搜索

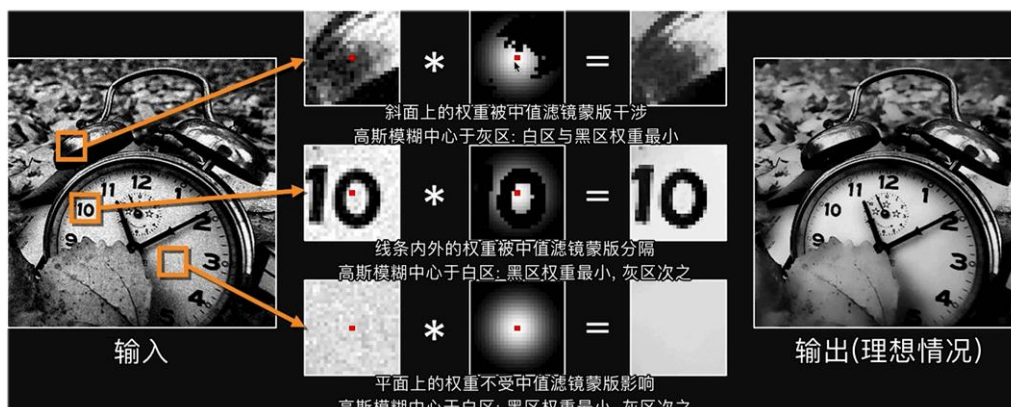
一维小波变换 1D-WT 让短波像拉链一样划过一维信号, 时间轴上给出频域信息(音频热度图), 支持更换波形以提取特征. 解决了傅里叶变换只有空-频域, 原生不支持描述信号随时间变化过程的问题, 还. 但缺点是分辨率低, 可编辑性不如傅里叶变换



时域动态补偿滤镜 MC-temporal filter/提升式小波变换 lifting-scheme 以 a-b 帧之差来预测 b-c 区别, 预测对的更新到低频 L 带, 差错更新到不再参与下轮预测的高频 H 带. 继续在 1 层($L_1 \rightarrow L_n$)向右迭代到 gop (0-1-2, 2-3-4 等帧组成第 0 层)中所有的 L 帧完成动态补偿为止. 实现了迭代 n 次即分离 2^n 帧动静态, 以及所有的预测与补偿, 故不像传统动态搜索一样受缩放性 scalability(分辨率大小)限制. 是 SVC 的核心算法. 迭代后的高低频用 $LL_1 LL_2 LH_1 LH_2$ 来表示低 \rightarrow 高频的顺序, 字母位数代表迭代次数

--mcstf<开关, 默认关, 会关闭多线程>mctf+双阈滤镜(作用于空间域), 基础上增加了自动降噪能力

高斯模糊 gaussian blur 利用了正态分布函数面积不变的特性, 通过设定偏差程度 σ 决定正态分布钟的梯度: σ 大则钟扁/滤镜中心分到的权重/面积越被更多分到权/面积的旁像素冲淡/模糊掉, 设计行业常用. **中值滤镜 median filter** 和高斯, 卷积滤镜一样用 $n \times n$ 的滤镜格子逐像素扫图, 区别是将滤镜中心替换为旁像素的中值. 如此一来线条边缘会在旁像素两端重复, 使替换中值失效, 噪点/颗粒遭涂抹, 生成仅有平/斜面 and 完整线条边缘的"模糊"结果. **双边滤镜 bilateral filter** 将后者输出作为高斯的权重蒙版(数学上矩阵点除); 平面/斜面/线条决定高斯模糊的正态分布钟在对应位置被保留/干涉/隔断

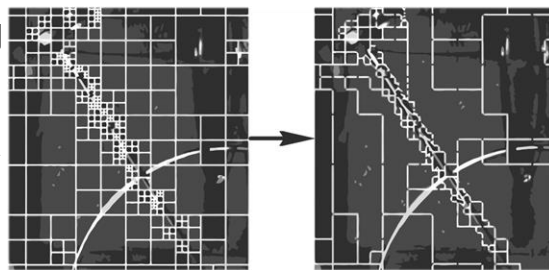


溯块向量搜索

与帧内编码并行, 给动态搜索提供溯块向量(cu 帧内/帧间朝向, 大小)的步骤. 由于移动的物件会跨越多个 PU. 所以将涉及同物的 PB 合到一起就能冗余大批 PU 的动态向量. hevc 与 avc 一样用 ref 参数于时域上划区, 逐 pu 创建 List0 和 List1 左右两排参考列表. 差别是 hevc 在 avc direct auto 的基础上升级了 AMVP 与 merge mode 两种方案. **高级向量预测** Advanced Motion Vector Prediction 用相对繁琐精确的几步为最初的几个块找出动态信息, 写成向量:

- 在帧内看当前 pu 左下的邻 pu, 优先匹配向量往帧内指的邻 pu
- 参考那些向量往它帧指的临 pu; 并等比缩放, 对齐到邻 pu 已按帧间差异对齐好的向量
- 若以上步骤没找到参选向量, 就把同样的步骤于当前 pu 右上角进行一次
- 若应了如早批 pu 刚开始算, 找不到参选向量的情况下就直接从时域搜索: 照帧间参考图像变化的内容差异做缩放调整, 从右下角的相邻 pu 找参选
- 若仍不可用, 就找当前 pu 中心位置的其它同位 pu. 若最后没凑不齐两个参选向量, 代入 $v=0,0$

然后用相对简单含糊的**合并搜索** merge mode 接手剩余块的向量, 从时域, 空凑出五个参选块 candidate, 两个备选少服从多地统一动态向量实现合并 merge. 计算过程会跳过 pu 边缘, 忽略 pu 当前向量以提速



--max-merge<整数 $0 \sim 5$, 默认 2>重设 merge mode 被选数量. 用更多时间换取质量的参数. 建议高压编码设<4>, 其它可设<2, 3>(+_+)

--early-skip<开关默认关, 暂无建议>先查 $2n \times 2n$ merge 被选, 找不到就关 AMVP

初始化 - Lookahead 建立 GOP 结构

[过程见 x264 教程](#). 最先启动, 给视频帧分段并最终整合成 gop 内树叉状的参考结构后, 将其中的关键帧递给下一步帧内编码. 一来冗余, 二来防止参考错误蔓延(照顾丢包人)

--scenecut<整数> Lookahead 进程触发转场的阈值, 或**--hist-scenecut**<开关, 默认关, 推荐 8bit 下开, 12bit 源会导致压制中途崩溃>亮度平面边缘+颜色直方图 SAD 阈值触发转场. v3.5+69 后编码彩色视频, 尤其 [HDR 源](#)中超越传统转场近 20%, 降低了正误判(设 I 帧, closed-gop 下帧间冗余效益降低)和负误判(不设 I 帧, 分为多个带 I 块的 P 帧, 帧内编码效益降低), 因此[除黑白视频外](#)推荐. 目前以上推荐停留于理论. 注: hist-threshold 于 v3.5+69 被删

--rc-lookahead<帧数量, 范围 $1 \sim 250$, 推荐 $\text{keyint} \div 2$ >指定 cutree 的检索帧数, 通常设在帧率的 $2.5 \sim 3$ 倍. 高则占用内存增加延迟, 低则降低压缩率和平均画质. cutree 会自动选择 --rc-lookahead 和 $\max(\text{--keyint}, \max(\text{--vbv-maxrate}, \text{--bitrate}) \div \text{--vbv-buFSIZE} \times \text{fps})$ 中最小的值作为检索帧数

--no-cutree<开关>关闭少见 CTU 量化增强偏移. 只有近无损, 可能 crf 小于 17 才用的到

P/B 帧推演: 算法见 [x264 教程](#)

--b-adapt 2<所有情况, 整数 $0 \sim 2$, 建议 $2 > 0$ 代表不设 B 帧

--bframe-bias<整数 $-90 \sim 100$, 推荐默认>设立 B 帧判定偏移, 增大的同时搭配低 pbratio 可增加 B 帧数量, 用负值搭配高 pbratio 可以减少 B 帧数量

参数集

在网络抽象层单元/Network abstraction layer unit 中表现为含解码配置(profile, level)的数据包

- 视频参数集 video parameter set
- 序列参数集 sequence parameter set (分枝-负责播放时间戳, 显加权与其它特定解码要求)
- 图参数集 picture parameter set (分枝-负责解码信息)
- 条带段 slice segment (分枝-负责防止 ctu 中的错误传播到整个条带, ctu 以上最小的单位)

--opt-qp-pps; --opt-ref-list-length-pps<开关, 默认关. 已知兼容性问题故不推荐>据上个 GOP 改动当前 PPS 中默认的 qp/ref 参数值. [应该用`hev1`而非`hvc1`封装进 ISO-BMFF](#)>

--repeat-headers<开关, 默认关>在流未封装的情况下提供 SPS, PPS 等信息, 正常播放 h. 265 源码

VBV - 基于缓冲条件的量化控制

手动指定网络/设备下所允许的缓冲速度 kbps 以控制 CRF/ABR 模式. 与 CRF 一并使用时叫 VBR

--vbv-buFSIZE<整数 kbps, 默认关=0, 小于 maxrate>编码器解出原画后, 最多可占的缓存每秒.

$\text{buFSIZE} \div \text{maxrate} = \text{编码与播放时解出每 gop 原画帧数的缓冲用时秒数}$. 值的大小相对于编完 GOP 平均大小. 编码器用到是因为模式决策要解码出每个压缩步骤中的内容与原画作对比用

--vbv-maxrate<整数 kbps, 默认关=0>峰值红线. 用“出缓帧码率-入缓帧码率必须 \leq maxrate”的要求, 让编码器在 GOP 码率超 buFSIZE, 即缓存用完时高压出缓帧的参数. 对画质的影响越小越好. 当入缓帧较小时, 出缓帧就算超 maxrate 也会因缓存有空而不被压缩. 所以有四种状态, 需经验判断

- 大: $\text{GOP 大小} = \text{buFSIZE} = 2 \times \text{maxrate}$, 超限后等缓存满再压, 避开多数涨落, 适合限平均率的串流
- 小: $\text{GOP 大小} = \text{buFSIZE} = 1 \times \text{maxrate}$, 超码率限制后直接压, 避开部分涨落, 适合限峰值的串流
- 超: $\text{GOP 大小} < \text{buFSIZE} = 1 \sim 2 \times \text{maxrate}$, 超码率限制后直接压, 但因视频小/crf 大所以没啥作用
- 欠: $\text{GOP 大小} > \text{buFSIZE} = 1 \sim 2 \times \text{maxrate}$, 超码率限制后直接压, 但因视频大/crf 小所以全都糊掉
- 由于 gop 多样, 4 种状态常会出现在同一视频中. buf/max 实际控制了这些状态的出现概率

--crf-max<整数 0~51>防止 vbv 把 crf 拉太高, 可能适合商用视频但会导致码率失控

关键帧

IDR 刷新解码帧 instant decoder refresh

- 自身储存完整图片, 但同时还负责 GOP 间划界分段, 播完令解码器清理前 GOP 缓存的大写 I 帧
- 清缓存是为了防止参考/内存错误传播, 错误可能源自内存/主板/CPU/数据/解码器/网络/操作系统/电子战

RAP/随机访问点 random access point

- “访问”代表播出画面前获取数据的过程
- “任意”代表拖进度条, 打开直播, 使进度条上任意一点都要正常解码的目的, 增加码率提升体验

CRA 净任意访问 clean rand. access

- open-gop 状态下指定包括 GOP 间划界, GOP 内帧间参考, 自身储存完整图片的 i 帧
- 附近的 rasl/radl 帧与之相对应

DRA 脏任意访问 dirty rand. access

- 含 i 块, 需要全部解码才能重建出 i 帧的一组 P 帧. 压缩更高但比 i 帧更易出现解码错误

BLA 断链访问帧 broken link access

- open-gop 间划界, 访问不相关/不相连 GOP 的特殊 CRA 帧. 用于不暂停播放的分辨率切换

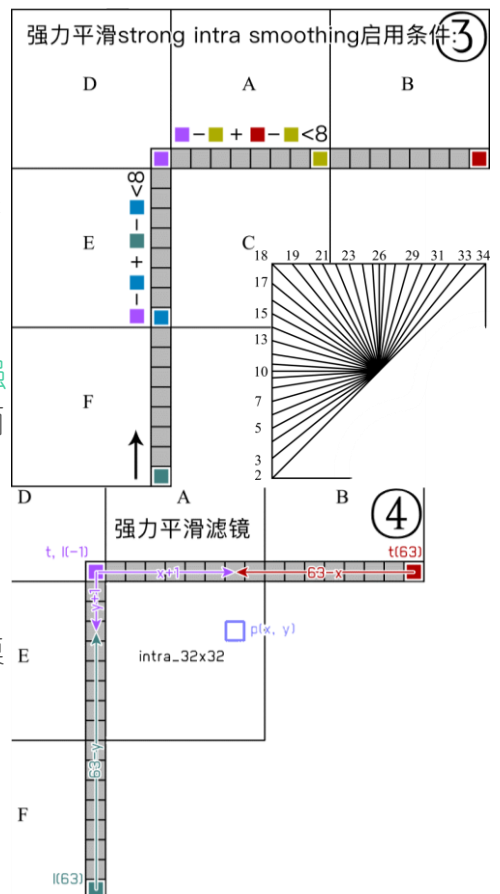
--no-open-gop<开关, 默认关, 建议开>不用 cra/bla, 增加码率增加兼容, 适合长 GOP 策略

夹角将 PB 内的渐变对齐到参考点的梯度, 只保存角度 θ 实现冗余. 要求 PB 中所有像素的夹角一致. 由④处穷举所有 $p(x,y)$ 的角度, 使垂直/横向对齐的 $t(x)/l(y)$, 以及差异最小的点 $t(x\pm n)/t(y\pm n)$ 构成直角三角, 用三角函数 $\frac{opp}{adj} = \tan\theta$ 得到 θ . 过程中要计算多个 $p(x,y)$, 来确保角度准确. 若角度落于两个参考点间则对比其加权插值/渐变色修正夹角. **DC** 即直流, 此处代表以 CB 和 PB 的平均值判断为平面

--no-strong-intra-smoothing<开关, 不推荐>32x32 的 PB 禁用**强力平滑滤镜**, 改用 3-tap. 因筛选条件苛刻, 同时平滑的是参考点而非 pu, 所以难以影响画质. 没 64x64 是因为 pu 最大仅 32x32

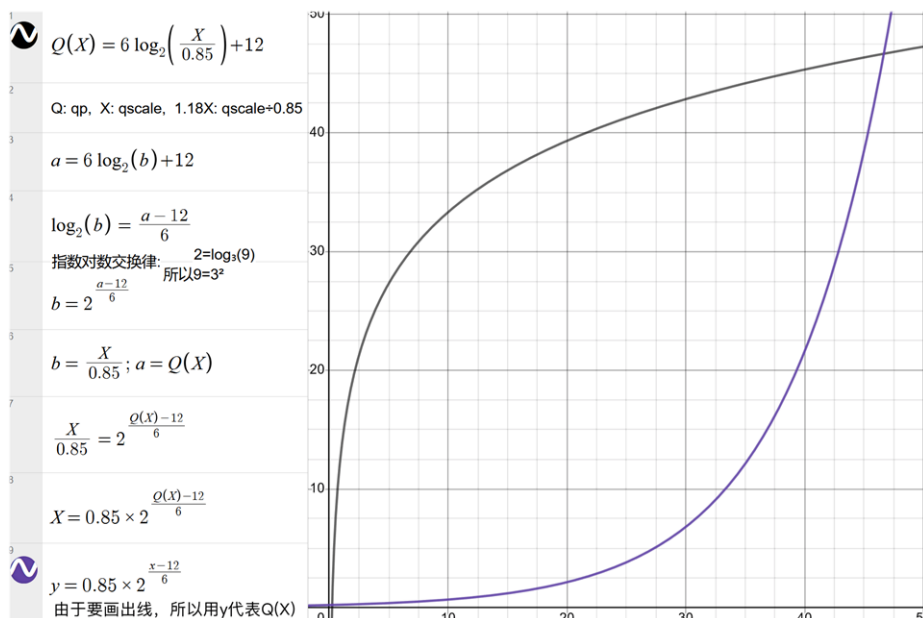
--constrained-intra<开关, 默认关, 不可备份+长期存档>缺生成参考点的 CB 时用帧内块或默认值, 不用帧间块生成参考点, 降低参考错误传播距离, 降低压缩率和速度换取数据寿命

--fast-intra; --b-intra<开关, rd 大于 4 时关, 推荐开>先查夹角模式 2, 10, 18, 26, 34, 再加一倍精度到模式 5, 15, 21, 31, 最后解锁最高精度(共搜索 10 种), 关闭则逐一搜索全部 33 种夹角造成浪费, 推荐开. b-intra 代表 B 分片同样进行帧内编码压缩



量化-码率质量控制模式

对数log(x)复刻了人类五感的非线性强度感知, 包括画质. 乘除交换率可通过log(x)用到指数-对数的关系上, 构成路程=速度×时间; $9=3^2$ $3=2^{\sqrt{9}}$ $2=\log_3(9)$ 对应 $6=2\times 3$, $3=6\div 2$, $2=6\div 3$ 的关系. 量化值 qp 大致在 17~25 范围外会出现码率暴增, 或画质骤降的情况. 图: 紫 qp-qScale, 黑 qScale-qp 的对数映射



由于当前帧未编码, 所以只能用之前的编码帧预测复杂度, 因此叫推演复杂度/模糊复杂度. 而量化是有损压缩, 所以复杂度由当前量化值下, 已编码帧的失真程度推演, crf/abr 高低决定复杂度而反直觉. 所以 cplxBlur 的精确度偏向取决于帧率. 虽然基本上不准, 但 qp 波动变小, 码率变化更稳

cplxSum: $\frac{\text{cplxSum}[\text{上帧}]}{2} + \text{SATD}[\text{上帧}]$ 初始=半数宏块 ÷ CTU, 逻辑是 $\text{SATD}[\text{当前}] = \text{SATD}[\text{旧}] + \text{SATD}[\text{当前}]$. 查不出为何要除以 2

cplxCount: $\frac{\text{cplxCount}[\text{上帧}]}{2} + 1$	<初始 0>当前帧数计数, 用于逐帧对 cplxBlur 加权. +2 是与 cplxSum 同步, 加权是为了推演越往后参考冗余越好, 压缩越强的规律
cplxBlur: $\frac{\text{cplxSum}}{\text{cplxCount}}$	据帧所处位置推演加权的新 SATD. 近 100%则说明当前帧复杂度往高推演, 画面复杂度呈涨势. 可扭转 cplxCount 默认的跌势
qScale: $0.85(2^{((qp - 12) \div 6)})$	<GOP 内累计>已编码帧的 qp 转 qScale, 方便其它参数修改更新
ABR_rate_factor: $\frac{\text{target_rate_window}}{\text{cplxSum}}$	<GOP 初始值>abr 下的 qScale 转 qp
ABR_newqScale: $\frac{\text{qscale} \times \text{overflow}}{\text{ABR_rate_factor}}$	据 abr 控制更新一遍 qScale
cplxBase: $\text{ctu_count} \times (\text{bframe} ? 120 : 80)$	<恒定值> crf 模式默认的复杂度. 若用 B 帧编码则 CTU 或宏块数量 $\times 120$, 否则 $\times 80$. 注: a?b:c 是 C++ 中 if a:b else:c 的缩写
CRF_rate_factor: $\frac{\text{cplxBase}^{1-\text{qcomp}}}{\text{qScale} \times (\text{crf} + \text{cutree} + \text{bframe_offset})}$	<GOP 内累计>最终经 cutree, b 帧偏移乘进 qScale 后得到实现质量-码率控制值 crf rate factor. 1-qcomp 是为和 CRF_qScale 对齐, 因为运算仅在 cplxBase, cplxBlur 而非整个算式中发生.
CRF_newqScale: $\frac{\text{cplxBlur}^{1-\text{qcomp}}}{\text{CRF_rate_factor}}$	据 crf rate factor 更新此帧的 qScale
New_qp: $6 \log_2 \frac{\text{qscale_new}}{0.85} + 12$	qScale 经调整后得到当前帧的量化值 qp

最终, 实现了帧内画面简单, qp 值(压缩)高; 反过来越复杂 qp 越低的压缩理念. 这种质量判断只有两帧, 不宏观(abr 模式更严重), 所以引出了率失真优化量化的步骤

CRF 上层模式

--crf<浮点范围 0~51, 默认 23>据“cplxBlur, cutree, B 帧偏移”给每帧分配各自 qp 的固定目标质量模式, 或简称质量呼应码率模式, 统称 crf. 素材级画质设在 16~18, 收藏~高压画质设在 19~20.5, YouTube 是 24. 由于动画和录像的内容差距, 动画比录像要给低点. 理论上 crf 高=量化损失多, 率失真优化也就越慢; 但测试出来是 crf+2, 4k4:4:4 12bit 会快~0.5fps

--qpmin<整数, 0~51>最小量化值. 由于画质和优质参考帧呈正比, 所以仅高压环境建议设 14~18

--qpmax<同上>在要用到颜色键, 颜色替换等需要清晰物件边缘的滤镜时, 可以设--qpmax 26 防止录屏时物件的边缘被压缩的太厉害, 其他情况永远不如关 cu/mbtree (*~▽~)

--qcomp<浮点范围 0.5~1, 一般建议默认 0.6>cplxBlur 迭代值每帧能迭代范围的曲线缩放. 越小则复杂度迭代越符合实际状况, crf, mb-cutree, bframes 越有用, 搭配高 crf 能使直播环境可防止码率突增. 越大则 crf, mb-cutree, bframes 越没用, 越接近 cqp. 曲线缩放原理见 [desmos 互动示例](#)

--rc-grain<开关, tune grain 时开启>通过 cplxBlur 抑制 qp 判断被噪声带偏, 胶片颗粒片源用

--cplxblur<浮点 0~100, 默认 20>第-1 帧不存在, 无法算出第 0 帧的 cplxBlur 所以直接指定

xrceq<仅 x264, 字符串, 默认 $\text{cplxBlur}^{(1-\text{qComp})}$ >可以少算一步 qcomp, cplxBase 还需 qcomp, 但不写 qcomp 就是推荐的 0.6, 所以不用写也行

ABR 上层模式

编码器自行判断量化程度, 尝试压缩到用户定义的平均码率 average bitrate 上, 速度最快

--**bitrate**<整数 kbps>平均码率. 若视频易压缩且码率给高, 就会得到码率比设定的片子; 反过来低了会不照顾画质强行提高量化, 使码率达标. 如果给太低则会得到码率不达标, 同时画质差的片子. 平均码率模式, 除 2pass 分隔, 一般推流用的“码率选项”就是这个参数, 速度快但同时妥协了压缩

SBRC 下层模式 - 可搭配 CRF/ABR/CRF-VBR/ABR-VBR

--**sbrc**<启用分段式率控制 segment based rate control, 实现 DASH, M3U8 串流用的功能, 要求 **min-keyint=keyint**, **no-open-gop**>由于提高了初始 crf 值的利用率, 所以建议搭配--cplxblur=crf 使用

CQP 双层模式

--**qp**<整数, 范围 0~69>恒定量化. 每 ± 6 可以将输出的文件大小减倍/翻倍. 直接指定 qp 会关 crf, 影响其后的模式决策, 综合画质下降或码率暴涨, 所以除非 yuv4:4:4 情况下有既定目的, 都不建议

2pass-ABR 双层模式

先用 crf 模式分析整个视频总结可压缩信息, 后根据 abr 模式的码率限制统一分配量化值. 有 pass 2 给特别高的平均码率, 输出最小损失的最小体积近无损模式, 以及 pass2 给码率硬限的全局整体压缩模式

--**pass 1** <导出 stats>; --**pass 2** <导入 stats>; --**stats** <文件名>默认在 x265 所在目录下导出/入的 qp 值逐帧分配文件, 一般不用设

--**slow-firstpass**<开关>pass1 里不用 fast-intra no-rect no-amp early-skip ref 1 max-merge 1 me dia subme 2 rd 2, 也可以手动覆盖掉

Analysis-2pass-ABR 双层模式

在普通 2pass 基础上让 pass1 的帧内帧间分析结果 pass 到 pass2, 减少计算量

--**analysis-save**, --**analysis-load**<“文件名”>指定导入/出 analysis 信息文件的路径, 文件名

--**analysis-save-reuse-level**, --**analysis-load-reuse-level**<整数 1~10, 默认 5>指定 analysis-save 和 load 的信息量, 配合 pass1 的动态搜索, 帧内搜索, 参考帧等参数. 建议 8/9

- <1>储存 lookahead
- <2==4>+同时储存帧内/帧间向量格式+参考
- <5==6>+rect/amp 分块
- <7>+8x8cu 分块优化
- <8==9>+完整 8x8cu 分块信息
- <10>+所有 cu 分析信息(^..^)/

--**dynamic-refine**<开关, 默认关>自动调整 refine-inter, x265 官方建议搭配 **refine-intra 4** 使用, 相比手动设定提高了压缩率

--**refine-inter**<整数 0~3, 默认 0>限制帧间块的向量格式, 取决于 pass1 分析结果是否可信

- <0>完全遵从 pass1 的分块深度和向量格式
- <1>分析所有 pass2 中与 pass1 相同分块的向量格式, 除 2pass 中比 1pass 更大的分块
- <2>一旦找出最佳的动态向量格式就应用于全部的块, 2Nx2N 块的 rect/amp 分块全部遵从 pass1, 仅对 merge 和 2Nx2N 划分的块的动态向量信息进行分析
- <3>保持使用 pass1 的分块程度, 但搜索向量格式

--refine-intra<整数 0~4, 默认 0>限制帧内块的向量格式, 取决于 pass1 分析结果是否可信

- <0~2>同上, <3>保持使用 pass1 的分块程度, 但优化动态向量; <4>=pass1 丢弃不用

--refine-mv<1~3>优化分辨率变化情况下 pass2 的最优动态向量, 1 仅搜索动态向量周围的动态, 2 增加搜索 AMVP 的顶级候选块, 3 再搜索更多 AMVP 候选

--scale-factor<开关, 要求 analysis-reuse-level 10>若 1pass 和 2pass 视频的分辨率不一致, 就使用这个参数

--refine-mv-type avc 读取 API 调用的动态信息, 目前支持 avc 大小, 使用 analyse-reuse 模块就用这个参数+avc

--refine-ctu-distortion<0/1>0 储存/1 读取 ctu 失真(内容变化)信息, 找出 pass2 中可避的失真

2pass 转场优化(内容已落后, 待更新)

--scenecut-aware-qp<整数默认关, 2 仅转后, 1 仅转前, 推荐 3 前后降低, 仅 pass2 用>转场前/后拉低默认 5 qp 以增加画质. 原理是转场本身就缺参考源, 所以提高已有参考源的画质

--masking-strength<逗号分隔整数>于 sct-awr-qp 基础上定制 qp 偏移量. 建议根据低~高成本动漫, 真人录像三种情况定制参数值. scenecut-aware-qp 的三种方向决定了 masking-strength 的三种方向. 所谓的非参考帧就是参考参考帧的帧, 包括 B, b, P 三种帧... 大概

- sct-awr-qp=1 时写作<转前毫秒(推 500)>, <参考±qp>, <非参±qp>
- sct-awr-qp=2 时写作<转后毫秒(荐 500)>, <参考±qp>, <非参±qp>
- sct-awr-qp=3 时写作<转前毫秒>, <参考±qp>, <非参±qp>, <转后毫秒>, <参考±qp>, <非参±qp>
- scenecut-window, max-qp-delta, qp-delta-ref, qp-delta-nonref<被 x265 v3.5 移除>

--analysis-reuse-file<文件名, 默认 x265_analysis.dat>若使用了 2pass-ABR 调优, 则导入 multi-pass-opt-analysis/distortion 信息的路径, 文件名

Analysis-Npass 间调优

在 Analysis-pass1~2 之间加一步优化计算. 实现比普通 2pass 更精细的码率控制, 1~N 也行

--multi-pass-opt-analysis<开关, 默认生成 x265_analysis.dat>储存/导入每个 CTU 的参考帧/分块/向量等信息. 将信息优化, 细化并省去多余计算. 需关闭 pme/pmode/analysis-save|load

--multi-pass-opt-distortion<开关, 进一步分析 qp>根据失真(编码前后画面差). 需关闭 pme/pmode/analysis-save|load

--multi-pass-opt-rps<开关, 默认关>将 pass1 常用的率参数集保存在序列参数集 SPS 里以加速

Analysis-pass2-ABR 天梯模式

--abr-ladder<实验性的[苹果 TN2224](#)/官方表示 bug 已修复, 文件名.txt>编码器内部实现 analysis 模式 2pass abr 多规格压制输出. 方便平台布置多分辨率版本用. 可以把不变参数写进 pass1+2, 变化的写进 txt. 格式为"[压制名:[analysis-load-reuse-level:analysis-load](#)] <参数 1+输出文件名>"

x265.exe --abr-ladder 1440p8000_2160p11000_2160p16000.txt --fps 59.94 --input-depth 8 --input-csp i420 --min-keyint 60 --keyint 60 --no-open-gop --cutree

1440p8kb_2160p11kb_2160p16kb.txt {

[1440p:8:Anld 存档 1] --input 视频.yuv --input-res 2560x1440 --bitrate 8000 --ssim --psnr --csv 9.csv --csv-log-level 2 --output 1.hevc --scale-factor 2

[2160p1:0:nil] --input 视频.yuv --input-res 3840x2160 --bitrate 11000 --ssim --psnr --csv 10.csv --csv-log-level 2 --output 2.hevc --scale-factor 2

[2160p2:10:Anld 存档 3] --input 视频.yuv --input-res 3840x2160 --bitrate 16000 --ssim --psnr --csv 11.csv --csv-log-level 2 --output 3.hevc --scale-factor 0 } analysis-load 填 nil(不是 nul)代表略过

近无损压缩, 真无损压缩双层模式

--lossless<开关>跳过分块, 动/帧/参搜索, 量/自适应量化等影响画质的步骤, 保留率失真优化以增强参考性能. 直接输出体积非常大的原画, 相比锁定量化方法, 这样能满足影业/科研用, 而非个人和一般媒体所需, 真无损导出有几率因为参考质量提升, 会比近无损小

--tskip<开关, 默认关, 需 $rd>2$ >4x4 tu 上跳过 DCT 变换, 可保留深度分块/纹理密集处的放大细节

--cu-lossless<开关, 默认关>将“给 cu 使用无损量化(qp 4)”作为率失真优化的结果选项之一, 只要码率管够(符合 $\lambda=R/D$)就不量化. 用更多码率换取原画相似度, 无损源能提高参考冗余

自适应量化

CRF/ABR 设定每帧量化/qp 后, 方差自适应量化 variance adaptive quantizer 再根据复杂度判断高低频信号, 来实现精确到宏块的 qp 分配过程. 讨论时注意 aq 与 vaq 的混淆

--aq-mode<整数 0~3>据原画和 crf/abr 设定, 以及码率不足时(crf<18/低码 abr)如何分配 qp

- <1>标准自适应量化(急用, 简单平面)
- <2>+启用 aq-variance, 自动调整 aq-strength 强度(录像-电影以及 crf<17 推荐)
- <3>+码率不够用时倾向保暗场(接受更明显的涂抹失真, 慎用)
- <4>+码率不够用时更加倾向保纹理(接受平面上的涂抹失真, 实验性, 慎用)

--aq-strength<浮点>自适应量化强度. 搭配 aq-mode, 如动漫 1:0.8, 2:0.9, 3:0.7 用. 录像上可加 0.1~0.2, 画面混乱/观众难以注意平面时可再增加. 注意低成本动漫的平面居多, 因此码率不足时反而要妥协纹理

--hevc-aq<开关>以 1/4-tile 而非边缘适应量化. 据测试 1, 2 比 aq 4 快且适合动漫, 而 aq 4 更适合录播(?) 目前学术方-官方-第三方间信息割裂, 所以暂无适解

--aq-motion<开关, 实验性>根据动态信息微调自适应量化的效果 mode 和强度 strength

--qg-size<64/32/16/8, 需 $\geq \text{min-cu-size}$ >最小支持自适应量化的 cu. 默认 64 可换取更多速度. 高画质/平衡都建议设在 32~16. 用途不明的<最浅, 最深>格式能自定义范围, 如 32, 16 代表仅这两种 cu

--cbqpoffs, --crqpoffs<整数>调整蓝, 红色平面相比亮度平面的 qp 值差异, 负值降低量化. 若当前版本 x265 的算法把色度平面的量化变高, 可以用这两个参数补偿回来. 由于编码器一直不擅长处理红

色，而人眼又对红光敏感所以为了画质建议比 cb 面设更低(△-3 左右)的值

x265 jpsdr-mod 参数:

--aq-auto<对应下表 8bit 四开关的十进制，默认 0 关>. **--aq-mode 5**<开关>启用 aq-auto 的条件值

值	逐帧 aq	延迟逐帧 aq (hysteresis)	HDR 兼容	aq-mode 5
1	✓			
2, 3	✓	✓		
4	✓		✓	
8	✓			✓
6	✓	✓	✓	
10	✓	✓		✓
12	✓		✓	✓
14	✓	✓	✓	✓

--aq-fast-edge<开关，需 aq-mode4, 5>边缘检测跳过高斯模糊过滤，不适合脏片源

--aq-bias-strength<浮点，默认 1，需 aq-mode3, 5>aq-strength 偏给暗场的程度

--aq-strength-edge<浮点 0~3，默认=aq-strength，需 aq-mode4, 5>偏给纹理的 aq-strength

--aq-bias-strength-edge<浮点，默认=aq-bias-str.，需 aq-mode5>aq-s-edge 偏给暗场的程度

模式决策

mode decision 整合搜来的信息，宏观上定制分块，参考，跳过，编码，量化方案。因为选码率最小的压缩方案不平衡，画质容易崩坏

--rd<1/2/3/5，默认 3，大则慢>优化参与 md 的程度。<1>优化帧内参考，并块/跳过决策 <2+分块决策> <3+帧间决策> <5+向量/帧间方向预测决策>建议快速用 1, 2; 高压用 3, 5 比 3 慢上一倍，原画画质一般还难以看出提升

--limit-modes<开关>用附近的 4 个子 CU 以判断用 merge 还是 AMVP，会大幅减少 rect/amp 的效果，明显提速。会增大或减少体积，微降画质但难以察觉

--limit-refs<整数 0~3，默认 3>限制分块用信息可参考性。<0 不限>压缩高且慢；<1>用 cu 分裂后的信息+差异信息描述自身(推荐)；<2>据单个 cb 的差异信息建立 pu；<3=1+2>

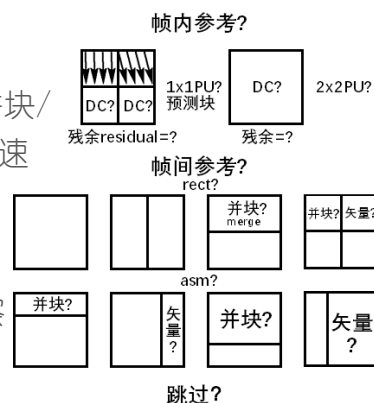
--rskip<整数 0~2>前 cu 分块被跳过时，判断后 cu 接着搜索分块还是提前退出的参数。画面越接近录屏/低成本动漫就用得越多

- <0>继续分析。适合信噪比差，噪声高的源。原画很干净则不如<1>
- <1>rd0~4 下据临 cu 是否细分而定；rd5~6 下看附近 2Nx2N cu 分块难度而定，高压和一般情况推荐
- <2>直接对比 cu 纹理密度 edge density，快且不比前者差，但存在对源的画质要求及客观判断“画质”能力的要求



--rskip-edge-threshold<0~100 默认 5: 趋向于分块，需 rskip 大于 1>用 Sobel 算法获取 cu 纹理密度，除以块所占面积的百分比值。纹理密度>阈值=分块。量化强度越高越关键，与 x264 deadzone 略像。8×8 或 16×16 块下默认 5%即含 3 或 12 个子就分

- <像素风>据像素变大的程度决定。如画面除以 2 回到 1x1 像素大小，则使默认值乘以 2 以提速



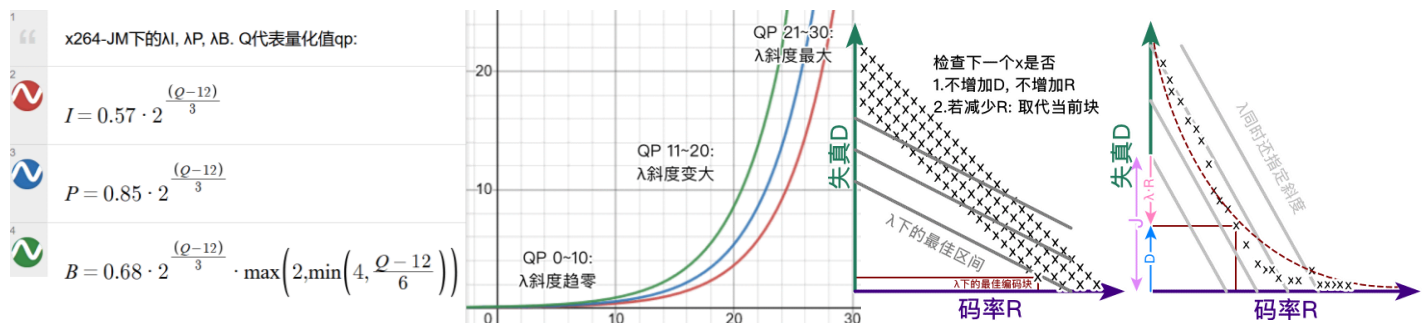
- <抗涂抹> `rskip 2 rskip-edge-threshold 3`, 即“有一点不平就分块”. 比 `rskip 0` 快, 用于已知要保留雪景等全屏大量动态信息的源的情况下, 节省传统分块计算时间用. 可以在不添噪点的情况下达成抗涂抹的目的

--tskip-fast<开关, 默认关>跳过 4×4 tu 的变换, 忽略部分系数 coefficients 来加速, CbCr-tu 也取决于 Y 块是否被跳过. 在全屏小细节的视频中有显著加速效果. 建议除高压以外的任何环境使用

率失真优化控制

率失真优化 rate distortion optimization 据多码率下测得的失真程度(编码前后像素值差异)点, 挑出低于 RD 曲线的值. 其中拉格朗日代价函数(开销=失真+ λ ·码率; $J = D + \lambda \cdot R$ 实现**模式决策**. 失真 D 用均差异平方 MSE 判断: $\text{Mean Squared Err} = \frac{1}{xy} \sum_{x_0 \rightarrow T_x} \sum_{y_0 \rightarrow T_y} |f(x, y) - f'(x, y)|^2$

x264 差异平方和 $\text{Sum of Squared Err} = \sum_{x_0 \rightarrow T_x} \sum_{y_0 \rightarrow T_y} |f(x, y) - f'(x, y)|^2$



D·Shikari 高频加权总差方 $\text{NSSE} = \sum_{x_0 \rightarrow T_x} \sum_{y_0 \rightarrow T_y} [|N(x, y) - N'(x, y)| \cdot \text{fgo}] + |f(x, y) - f'(x, y)|^2$

- $\sum_{x_0 \rightarrow T_x}$ 代表块宽度求和范围, $f()$ 和 $f'()$ 分别代表参考块和参考源
- $\sum_{x_0 \rightarrow T_y}$ 代表块高度求和范围, x, y 代表块中的像素坐标, $||$ 求绝对值以便求和
- MSE 相比 SSE 精度有提升, 但多算了一步平均使其更慢; Noise SSE 更强调高频信号(细节纹理或噪声)的权重

拉格朗日值 λ 从 qp 值得出, 即 crf, abr 指定的率失真斜率区间. qp 越大斜度越小. $\lambda=0$ 则无斜度, 即代价=失真, 给多少码画面都一样(允许最大压缩). λ 趋 0 则开销趋失真, 即压缩一截下去不会影响多少画质, 稍微给点码率意思下; λ 远大于 0 则开销>失真, 提升画质的收益>压缩率降低的收益(保画质)

优化量化

--rdoq-level<整数, 范围 0 关~2, 大则慢>解决 abr/crf 粗暴分配量化值所造成的失衡问题

- <1>每个分块的量化值进行率失真优化, psy-rdoq 开启则倾向于低量化
- <2>对比 4×4 块高频信息/残差是否有利于整个编码组(CTU 内分块)画质, 同时对所有系数进行同类分析, 造成大批 4×4 块被抹除, 降低 psy-rdoq 效果, 适合一般及高压压缩用途

--psy-rdoq<浮点 0~50, 默认 0 关>心理视觉往高影响量化块的能量 J, 使量化偏好低强度/保留细节. 1080p 设<2.3~2.8>给中低成本动漫, <3~4.8>给电影-高成本动漫, <7~12+psy-rd 3, tskip, tskip-fast, ipratio 1.2, no-sao>留噪. 保留的细节面积越小设得越高

- 常用: psy-rdoq 和 psy-rd 功能冲突, 所以保留 rdoq-level 1, 关 psy-rdoq, 开 psy-rd
- 高码: 有颗粒的情况下同时用低强度的 psy-rdoq 和 psy-rd, rdoq-level 2
- 少用: 目前 x265 psy-rd 还没写 cpu 指令集(慢, 待跟进), 所以关 psy-rd, 开 psy-rdoq
- 取决于分辨率, 画面细节少则取决于表现画面细节所需的最低分辨率

--nr-intra, --nr-inter<整数 0 关~2000, 默认 0, [1920x1080 下最高不建议超 250](#)>基于 MC 给量化前变

换完的信号降噪. 其中帧内 intra 不如用第三方降噪滤镜. 但帧间/时域上降噪的 nr-inter 和 x264 的 hqdn3d 类似, 可以拉近参考源和参考帧的差距/残差, 实现在 rc-grain 上进一步稳定 qp 计算, 且在噪点源中相比模糊掉纹理更容易破坏噪点, 结果类似低配双阈滤镜

优化模式决策

--psy-rd<浮点 0~50 默认 2, 需 rd3, 默认 0 关, 和 x264 不同, 搭配 psy-rdoq>心理视觉优化往高影响量化块的能量 J, 使模式决策偏好保留细节. <0.2>高压, 动漫据纹理设<0.5~2>. 录像设<1.5~2.5>, 星空与 4k+ 级别的细节量设<2.8>或更高. 值随分辨率大小变化. 注意噪声和细节都是高频信息, 所以开太高会引入画面问题. 图: 复杂度对真人录像的重要性, 但这些点点毛刺在低成本/大平面动漫里就很难看了

--rd-refine<开关, 需 rd 5, 有图中斜面上出现的随机块失真>率失真优化分析完成帧内搜索 cu 的最佳量化和分块结果, 耗时换压缩率和画质. x264 中直接嵌入 subme 8 中, 还多一个最优动态向量分析

--dynamic-rd<整数, 范围 0~4>给 VBV 限码的画面调高率失真优化以止损. 1~4 对应 VBV 限码的画面的 rd 搜索面积倍数, 越大越慢

--splitrd-skip<开关, 默认关>启用以在“所有当前 CU 分割致失真程度之总和”大于“任意同帧 CU 分割致失真程度之总和”时, 不跟随当前 CU 分割之结果来独立计算 rd 值以加速

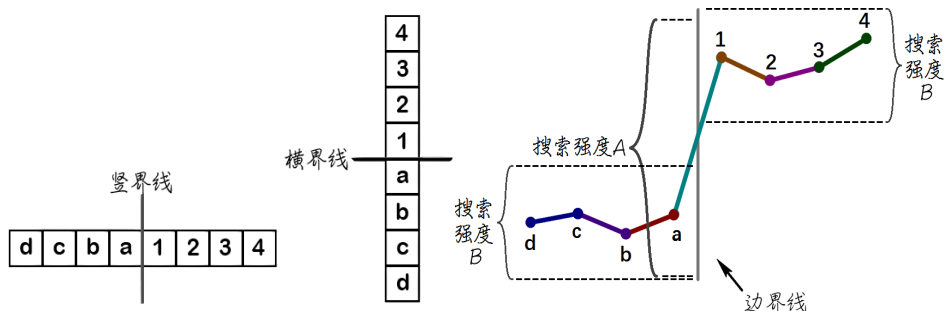
--qp-adaptation-range<浮点 1~6, 默认 1>psy 参数改 qp 的最大范围, 宏观影响大, 等待测试数据

峰值信噪比 peak signal-to-noise ratio/PSNR

信号强度用分贝 decibel/dB 表示. 信噪比 SNR 就是信息量÷噪声, 用于测量数字信号压缩, 模拟信号传输, CMOS 经光压变换后的所剩. 分贝用对数线 $y = \log(x)$ 显示. 对数 log 存在同样是为了突出重点范围内的变化, 而信噪比太好/差的数据也没什么好比的. 指数增长应用于信噪比中, 如信号增长 1dB=音量/光压×2. 峰值更适合有实际最大值的数字信号. 转 dB 的算式即 $PSNR(8bit) = 10 \log_{10} \frac{2^{8bit}-1}{MSE} (dB)$. -1 代表从 0 开始数, \log_{10} 对齐十进制

环路滤波-去块滤镜

修复高量化时宏块间出现明显横纵割痕瑕疵的平滑滤镜. 编码器内



做去块能用到压缩待遇信息而减少误判. 码率跟不上就一定会出现块失真, 所以除直播关掉以加速外, 任何时候都应该用; 但去块手段目前仍是平滑滤镜, 因此要降低强度才适用于高码视频, 动漫, 素材录屏等锐利画面. 边界强度 boundary strength(去块力度判断): 取最小 8x8 块间的界线举例. (不是 4x4)

- 平滑 4: a 与 1 皆为帧内块, 且边界位于 CTU/宏块间, 最强滤镜值
- 平滑 3: a 或 1 皆为帧内块, 但边界不在 CTU/宏块间
- 平滑 2: a 与 1 皆非帧内块, 含一参考源/已编码系子
- 平滑 1: a 与 1 皆非帧内块, 皆无参考源/已编码系子, 溯异帧或动态向量相异
- 平滑 0: a 与 1 皆非帧内块, 皆无参考源/已编码系子, 溯同帧或动态向量相同, 滤镜关

--deblock<平滑强度:搜索精度, 默认 1:0, 推荐 0:0, -1:-1, -2:-1>两值于原有强度上增减

- 平滑< ≥ 1 >时用以压缩, < $0 \sim 1$ >时略微降低锐度, 适合串流
- 平滑< $-2 \sim -1$ >适合锐利视频源, 4k 电影, 游戏录屏. 提高码率且会出现块失真
- 平滑< $-3 \sim -2$ >适合高码, 高锐动画源和高画质的桌面录屏. 高码率, 增块失真, 但高码动漫观感还是比 1 好
- 搜索<大于 2>易误判, <小于 -1>会遗漏, 建议保持< $0 \sim -1$ >, 除非 qp>26 时设<1>

环路滤波-取样迁就偏移

sample adaptive offset 滤镜. 逐 CTB 划分. **界偏移 EO** 缓解纹理边缘因"高频波形的遮盖因强量化或去块丢失"的问题. 可能分以下几步. 算法略像帧内搜索的趋平滤镜, 但是是强制的. 适合修复纹理量化出振铃的损失. 关闭则遮不住平面的蠕虫失真

- CTB 内据分块结果建立一批 3×3 像素 d 采样域
- 由 3×3 排列规律找出三个像素排成一排的横 0, 纵 1, 左倾 2 和右倾 3 四种可能
- 中心像素值要符合小于/大于旁像素且等于任意一边像素的条件, 否则不是边界
- 确保 3×3 间的边界连续性, 实现边界验证和性能优化(?)



带偏移 BO 是一种对比源+补偿编码差异的平面 CTB 滤镜. 方法是 1.划分 32 条色深带来均分当前色深下的像素值, 2.分为 24~31, 0~7 的明带, 暗带; 以及 8~23 的中间带. 限制最大只能补偿 4 条相连的色深带, 以确保 CTB 中色深差异不会大到触发 EO, 同时涵盖足够大的斜面渐变, 然后率失真优化找出所谓的补偿值: 每条色深带的偏移值. 因此适合补偿平面, 斜面和曲面渐变 CU, 适合修复平面量化的损失

- 共有 0=无, 1=横 EO, 2=纵 EO, 3=左倾 EO, 4=右倾 EO, 5=中间带, 6=明暗带, 共 7 种补偿方案
- 共有 0=无, 1=Y, 2=Y+Cr, 3=Y+Cb, 4=YCbCr, 5=Cr, 6=Cb, 7=CbCr 种平面补偿开关

融合 merge 将相邻两个 CTB 的 sao 信息(补偿方案, 平面补偿开关等)根据参数决定直接用上/左块, 还是对比像素趋势更接近哪个. 和选择 BO, EO 具体的偏移值一样由率失真优化决定

--no-sao<关闭--sao, 默认开 sao>由于针对的是强量化环境, 所以高画质源+crf<17 的情况下可以关

--sao-non-deblock<开关>启用后, 未经由 deblock 分析的内容会被 sao 分析. . .

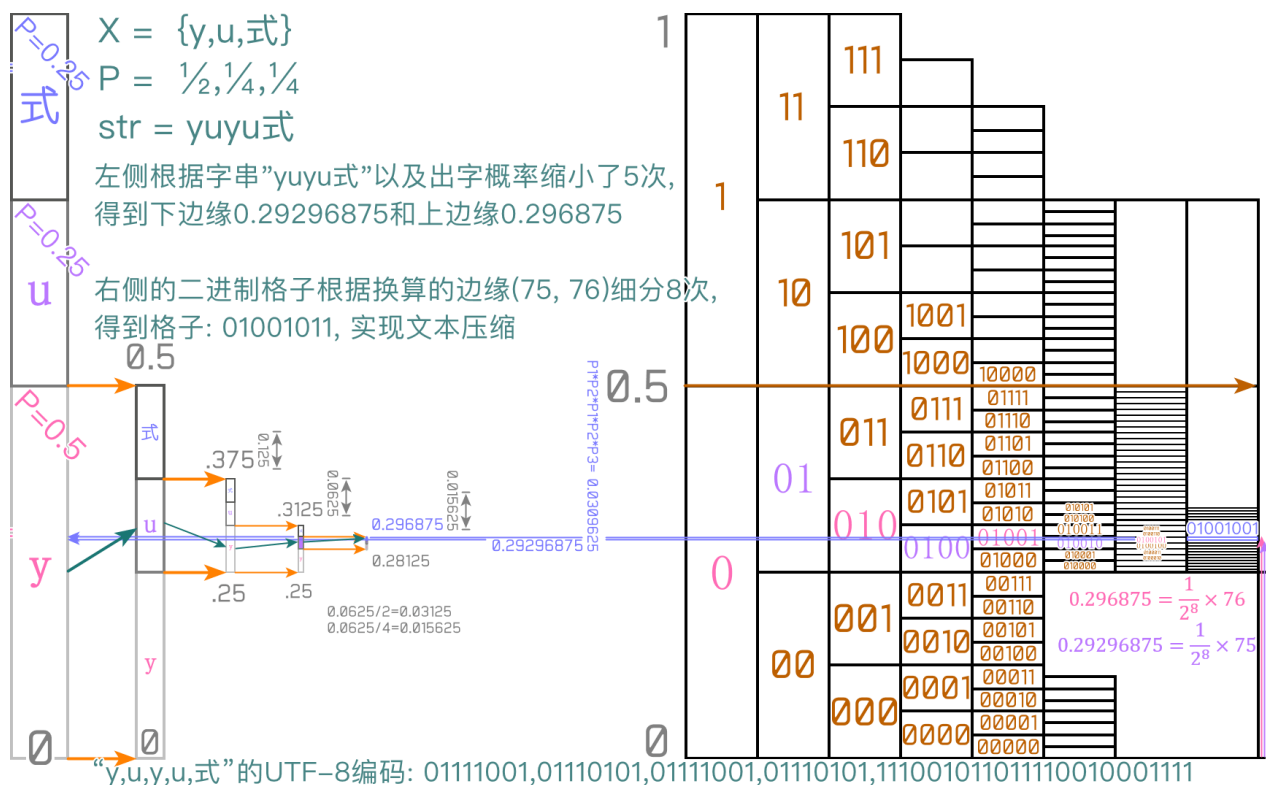
--no-sao-non-deblock<默认>sao 分析跳过视频右边和下边边界(/)u(\)

--limit-sao<开关, 默认关>对一些计算采用提前退出策略, 不是改善画质的, 但 crf ≈ 18 , cutree 和 bframes 16 下可以开, 以保留一定影响

--selective-sao< $0 \sim 4$, 默认 0>从条带(横向一组 CTU)角度调整 sao 参数, 1 启用 I 条带 sao, 2 增加 P 条带, 3 增加 B 条带, 4 所有条带. 可看作新的 sao 控制方式, 或搭配 limit-sao 的新方法

熵编码/残差编码/文本压缩-CABAC

这个步骤接受游程编码排序成一串字符的块/条带, 因此适宜找个文本压缩算法编码. x264/5 中有基于**二进制算数编码** BAC 的上下文自适应二进制算数编码 context adaptive binary arithmetic coding. 自带能根据**出字概率 P**来细分精度, 不像霍夫曼编码一遍遍地除以二的模具(下图左), 用字典**x**, 出字**P**及内容**Str**压缩. 例如**x**={y, u, 式}三符; 出字**Str**=yuyu 式中的概率 **P**=**.25, .25, .5** 故照上图规律得到比



UTF-8 源码短好几倍的信号. CABAC 在 BAC 的基础上增加了上下文词典编录能力, 即根据游程编码给的块, 比如 $x=\{\text{ng}, \text{a}, \text{b}, \text{b}, \text{b}, \text{b}, \text{be}, \text{a}, \text{b}, \text{qs}, \text{q}, \dots, \text{EOF}\}$, 让算法自己根据上下文清点概率, 每个阵列适配 0~1 模具, 就是所谓的 cabac 了. 率失真优化要解码检查每道压缩, 所以要经历多次熵编码

SEI 补充与优化消息

supplemental enhance info 记录每帧的补充信息. 主要有正确打开新 gop 用的缓冲 sei, 解码卡时间的 pic timing sei, 让显示主控切边的 sei, cc 字幕 sei, HDR-sei 等等. 缓冲 sei 记录对应 sps 的号; 待解码图像缓冲 coded picture buffer/cpb 的延迟安全区等信息; 时戳 sei 记录哪些帧上/下场优先的变化; 连帧/三连帧的位置等信息

--hrd<开关, 默认关, 开 vbv>开启后将假设对照解码参数 hypothetical ref. decoder param. 在无丢包和延迟的假想下算好瞬间码率, 写在每段序列参数集 sps 及辅助优化信息 sei 里, 对专门配置了网络串流, NAS 播放自动缓冲的播放器有好处? 但应该没啥用

--hash<整数 0~3 分别代表默认的关, checksum, crc 和 md5>sei 里加效验码, 播放时可用以对图像重建纠错来减少失真, md5 播放所需算力较高, checksum 最快但有忽略概率, crc 平衡

--single-sei<开关>只写一个装全部 sei 信息的大 NALU 而非每 gop 都写, 提高很小一点压缩率

--film-grain<文件名>将如 libfgm 提取的纹理细节模型 film grain model 写进 SEI, 将编码压缩掉的细节另存档, 兼容解码器播放时恢复的功能

--idr-recovery-sei<开关>sei 里写进 idr 帧, 串流时防止整个 gop 都找不到参考帧而崩坏的机制

--frame-dup<开关默认关, 必须开 vbv 和 hrd, 有 bug>将 2~3 面近似的连续帧换成同一帧

--dup-threshold<整数 1~99, 默认 70>相似度判定值, 默认达 70%重复就判为相似

线程节点控制

自 pugetsystems.com: Cinebench, 虚幻 5 上 5800X 比 X3D 快近 10% 反映了持续计算下 5800X 频率高的优势; Lightrooms 等单图处理上 5800X3D 跑过了 5800X, Photoshop 上 5900X, X3D, X 同时打平(优化?); 剪辑视频并非持续高负载, 因此 AfterFX, PR, DaVinci 上 X3D 和 X 打成平手. 所以选择时首先看生产力软件的优化, 其次看任务类型. 3D 缓存处理器比同型号更慢的原因是目前视频编码对内存带宽需求不大, 更高频率才是优势. 但若有一堆内存读写间歇, 3D 缓存处理器就能用读写赢回速度

--pools<整数/加减符,,, 默认+,+,+,+>x264 中--threads 的升级版. 如--pools +,-,-,-表明 pc 有 4 个节点, 仅占用第一个. +代表全部处理器线程. 这样能防止多处理器系统上跑一个 x265 时, 所有处理器访问第一个节点的内存而造成延迟等待. 应该是跑和节点一样多的 x265, 每个节点各自运行. 单 cpu 系统直接作--threads 用, 如--pools 8 指该 pc 有 1 个节点, 占用该节点上处理器的 8 个线程
不要企图设置大于实际线程数的 pools/threads 提速. 会因为处理器随机并发的特性从任务数量上冲淡参考帧建立等要之前的步骤算完才能开始的时间窗口. 否则编码器只能跳过参考压缩, 造成处理器占用降低, **码率增加以及压制变慢的副作用**

TR1000~2000 系处理器是用多个节点拼出来的, 所以单处理器的内部要按多个节点分开算, 特例是 2990WX, 2970WX, 核心组 1 和 3 没有内存控制器, 0 和 2 有内存控制器, 所以 1, 3 不能用

--pmode<开关, 官方建议 rd 3/5 占不满算力的情况下开>多线程模式决策, 有难以应付噪点的问题

--asm<avx512>avx512 was a mistake - Intel engineer

多线程 vs 多参考

用多线程一次编码多帧来占满算力, 还是一次只编一帧, 确保所有参考画面可用的决策. 确保所有帧同时吞吐 $\circ(\cdot \times \cdot)$. 虽然 x265 有 tile 这种集合多个分片的并行化. 造成多线多参考帧困难的原因有:

- ctu 比宏块大, 相似性降低了
- 参考前要等环路滤波和率失真优化, 还有已编码信息的依赖, 使得很多参考(特别是高 ref)来不及找而被跳过
- 参考帧的波前编码 wavefront parallel process (压制/播放的多线程改进版)因一行参考 ctu 的存在而卡死, 重启波前编码等没了多余算力

--pme<开关, 默认关. [任意年代=16 核处理器](#)>使用平行动态搜索 parallel ME. 解决了单核性能不足导致 me 后的编码步骤等待, 占用降低速度变慢的问题. 让旧服务器超多核中低频处理器变得更有编码性价比. 而达到 16 核的处理器也能提速

--frame-threads<整数 0~16~线程数/2, 默认 0 自动>同时压多少帧, 设 1 能让前后整帧可参考, 非 1 就只给 ctu 下方的一行 ctu. 设 1 的代价是 cpu 占用显著降低, 压制减速(-, -)

--lookahead-threads<整数 0~16~线程数÷2, 默认 0(关闭)>分出多少线程专门找参考, 而非与帧编码一同占线程, 可能只有开 frame-threads 1 时手动启用以增加 cpu 占用, pme 和 pmode 同理

色彩空间转换, VUI/HDR 信息, 黑边跳过

纯元数据, 写错或忘写也可以改. HDR 电视只读取 maxcll 和 maxfall, 所以可不写 master-display. 光强/光压的单位是 candela (1cd=1nit). 由于 bt601, bt709, HDR-PQ, HLG 标准重用的亮度范围不一(偏亮或偏暗), 所以在编码, 心理学优化算法, 编码器参数上其实都要调整适配, 所以出现了适配不当的可能. 因为 HDR 相当于音响能发出很大和很小的声音, 所以好屏幕比 HDR 参数更重要

--max-cll<最大内容光强, 最大平均光强>压 HDR 一定照源视频信息设, 找不到不要用, 例子见图

```
Bit depth           : 10 bits
Bits/(Pixel*Frame)  : 0.120
Stream size         : 21.3 GiB (84%)
Default             : Yes
Forced              : No
Color range         : Limited
Color primaries     : BT.2020
Transfer characteristics : PQ
Matrix coefficients : BT.2020 non-constant
Mastering display color primaries: R: x=0.680000 y=0.320000,
G: x=0.265000 y=0.690000, B: x=0.150000 y=0.060000, White point: x=0.312700 y=0.329000
Mastering display luminance: min: 0.0000 cd/m2, max: 1000.0000 cd/m2
Maximum Content Light Level: 1000 cd/m2
Maximum Frame-Average Light Level: 640 cd/m2
White point: x=0.312700 y=0.329000
```

位深: 10 位

数据密度【码率/(像素*帧率)】: 0.251

流大小: 41.0 GiB (90%)

编码函数库: ATEME Titan File 3.8.3 (4.8.3.0)

Default: 是

Forced: 否

色彩范围: Limited

基色: BT.2020

传输特质: PQ

矩阵系数: BT.2020 non-constant

控制显示基色: Display P3

控制显示亮度: min: 0.0050 cd/m2, max: 4000 cd/m2

最大内容亮度等级: 1655 cd/m2

最大帧平均亮度等级: 117 cd/m2

图 1: cll 1000, 640. master-display 由 G(13250...开头, L(10000000, 1) 结尾

--colorprim<字符>播放用基色, 指定给和播放器默认所不同的源, 查看视频信息可知: bt470m, bt470bg, smpte170m, smpte240m, film, bt2020, smpte428, smpte431, smpte432. 如图为 bt.2020

图 2: cll 1655, 117/L(40000000, 50)/colorprim bt2020/colormatrix bt2020nc/transfer smpte2084

--colormatrix<字符>播放用矩阵格式/系数: fcc, bt470bg, smpte170m, smpte240m, GBR, YCgCo, bt2020nc, bt2020c, smpte2085, chroma-derived-nc, chroma-derived-c, ICtCp, 不支持 bt2020nc

--transfer<字符>传输特质: bt470m, bt470bg, smpte170m, smpte240m, linear, log100, log316, iec61966-2-4, bt1361e, iec61966-2-1, bt2020-10, bt2020-12, smpte2084, smpte428, arib-std-b67, 上图 PQ 即 st. 2084 的标准, 所以参数值为 smpte2084

--master-display<G(x, y)B(,)R(,)WP(,)L(,)>写进 SEI 信息里, 告诉解码端色彩空间/色域信息用, 搞得这么麻烦是因为 HDR 作为新标准不敢确定播放硬件需要什么信息, 所以就把 master-display 写成必须参数了. 绿蓝红 GBR 和白点 WP 指马蹄形色域的三角+白点 4 个位置的值 × 50000. 光强 L 单位是 candela × 10000

SDR 视频的 L 是 1000, 1. 压 HDR 视频前一定要看视频信息再设 L, 见下

- DCI-P3 电影业内: G(13250, 34500)B(7500, 3000)R(34000, 16000)WP(15635, 16450)L(?, 1)
- bt709: G(15000, 30000)B(7500, 3000)R(32000, 16500)WP(15635, 16450)L(?, 1)
- bt2020 超清: G(8500, 39850)B(6550, 2300)R(35400, 14600)WP(15635, 16450)L(?, 1)

RGB 原信息 (对照小数格式的视频信息, 然后选择上面对应的参数):

- DCI-P3: G(x0.265, y0.690), B(x0.150, y0.060), R(x0.680, y0.320), WP(x0.3127, y0.329)
- bt709: G(x0.30, y0.60), B(x0.150, y0.060), R(x0.640, y0.330), WP(x0.3127, y0.329)
- bt2020: G(x0.170, y0.797), B(x0.131, y0.046), R(x0.708, y0.292), WP(x0.3127, y0.329)

--display-window<←, ↑, →, ↓>指定黑边宽度以跳过加速编码, 或者用 --overscan crop 直接裁掉

IO(input-output, 输入输出)

--seek<整数, 默认 0>从第 x 帧开始压缩**--frames**<整数, 默认全部>一共压缩 x 帧

--output<字符串, 路径+文件名, 有空格则两边带双引号>

--input-csp<i400/i422/i444/nv12/nv16>在输入非默认 i420 视频时需要的参数, rgb 需转换

--dither<开关>使用抖动功能以高质量的降低色深(比如 10bit 片源降 8bit), 避免出现斑点和方块

--allow-non-conformance<开关>不写入 profile 和 level, 绕过 h.265 标准的规定, 只要不是按照 h.265 规定写的命令行参数值就必须使用这个参数 ☹ (¬_¬") ☹

--force-flush<整数 0~2, 默认 0>性能不足录屏用. 当编码不过来就跳过几帧的措施(?):

- <0>等全部帧输入再编码
- <1>不等全部帧输入完就编码
- <2>取决于条带种类, 调整 slicetype 才能用

--field<开关>输入分行扫描视频时用, 自动获取分场视频的帧率+优先场, 替代了 --interlaced 参数

--input-res<宽 x 高>在使用 x265 时必须指定源视频的分辨率, 例如 1920x1080

--fps<整数/浮点/分数>在使用 x265 时必须指定源视频的帧率, 小数帧填小数, 勿四舍五入

--chunk-start, --chunk-end<开关, no-open-gop>chunk-start 允许跨 GOP 制作数据包(?), 改由 chunk-end 参数将数据包结尾和剩下的视频帧断开(?). 据描述看, 由于数据包接收顺序一定会被打乱, 所以只可参考其之前, 而不可参考之后的内容, 跟 http 的数据包编码协议有关 Σ (¬_¬)

--temporal-layers<开关, 默认关>使 x265 更兼容 svc 标准, 将非参考 b 帧(相当于空信息)分离到另一层视频流中, 解码器可以选择跳过而降低性能损耗, 可能会造成兼容性问题

编解码图像序列: 见 x264 教程完整版

下载 附录与操作

[LigH](#)

.hevc GCC10 [单文件 8-10-12bit] 附 x86, Windows XP x86 版 附 libx265.dll

[jpsdr](#)

.hevc GCC12.2+MSVC_Illvm 1928 [8-10-12bit] 附 Broadwell 版 支持 aq-mode 5

[Rigaya](#)

.hevc GCC 9.3 [8-10-12bit] 附 x86 版

[Patman](#)

.hevc GCC 11+MSVC1925 [8-10-12bit]

[ShortKatz](#)

arm64~64e 加 x86 版 [?] 需 macOS 运行编译命令文件 ?

[DJATOM-aMod](#)

opt-Intel 架构与 zen1~2 优化 [10bit], opt-znver3 代表 zen3 优化 [10-12bit] GCC 10.2.1+GCC10.3

[MeteorRain-yuuki](#)

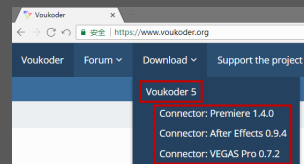
ismash.mkv/mp4 或 .hevc [能封装, 但传说 lavf 不如 pipe 可靠] GCC 9.3+ICC 1900+MSVC 1916 [8][10][12bit]+[8-10-12bit]

[ffmpeg](#) 多系统兼容, 备用地址 ottverse.com/ffmpeg-builds

[mpv 播放器](#) 比 Potplayer 好在没有音频滤镜, 不用手动关; 没有颜色偏差, 文件体积小

x265GuiEx (Rigaya) 日本語, auto-setup 安装, [教程点此](#)

Voukoder; V-Connector 免费 Premiere/Vegas/AE 插件, 直接用 ffmpeg 内置编码器, 不用帧服务器/导无损再压/找破解. 只要下两个压缩包, 放 Plug-Ins\Common 文件夹就行了



gcc 是什么, 为什么同版同参的编码器速度不同

把源码编成程序的软件即编译器. x265 有 mingw(gcc 套件), 套件版本新旧影响编出程序的效率, msvc 体积更小, 但需要 VCRUNTIME140_1.dll; icc 需要 libmmd.dll; Clang 需要...?

速度不一样还可能源自内建函数. 函数即等待变量输入的算式. 由于 8bit x265 中有大量开发组手动编写的内建函数, 所以不同编译器给出的程序速度也不等. 而 10bit x265 完全没有手动编写的内建函数, 所以编译器只有优化源码. 同样, 速度测试应以 10bit x265 为基准(¬_¬)

rc 指 release candidate

有的 x265 编译的文件名上有 rc, 指已修复所有被提出的问题 且编译器认为 ok 的版本、(・ω・ゞ)

杜比视界 dolby vision/DV

有两种格式, 单流/DV-MEL 和双流/DV-FEL, 两者都带有 RPU, 双视频流有 base layer 视频层和 enhance layer 强化层, EL 可被一般的 hevc 解码器丢弃而正常播放, 单视频流就只有私有解码器/有特定芯片+固件的设备能播放, 如果开源播放器能播放 DV-MEL 则是假源; 如果支持 DV-FEL 的设备丢弃 EL, 只播放 BL 则是假设备. 参考单元 reference picture unit 是含有动态元数据的特殊 NALU, 类似(到现在还没几个播放器能正常解码的)--opt-qppps, opt-ref-list-length-pps 的功能

样式	编码	BL:EL 分辨率	x265 支持	伽马	色彩空间
4	10bit hevc	1:1/4		SDR	YCbCr
5		仅 BL (DV-MEL)	✓		ICtCp
7		4K=1:1/4; 1920x1080=1:1		UHD 蓝光	YCbCr
8.1			✓	HDR10	
8.2		仅 BL (DV-MEL)	✓	SDR	
8.4				HLG	
9	8bit avc	仅 BL (DV-MEL)		SDR	YCbCr

--dolby-vision-profile<选择 5/8.1 (HDR10)/8.2 (SDR)>8.1 需要写 master-display 和 HDR10-opt

--dolby-vision-rpu<路径>导入 RPU 二进制文件(.bin)用

CMD 操作技巧 color 08

将原本黑景白字改成黑景灰字的单行命令, 降低视疲劳

cmd 窗口操作技巧%~dp0

"%~"是填充字的命令(不能直接用于CMD). d/p/0 分别表示 drive 盘/path 路径/当前的第 n 号文件/盘符/路径, 数字范围是 0~9 所以即使输入 "%~dp01.mp4" 也会被理解为命令 dp0 和 1.mp4

这个填充展开后可能是"C:\"+ "...\"+ 1.mp4, 路径取决于当前.bat 所处的位置, 这样只要.bat 和视频在同一目录下就可以省去写路径的功夫了. 若懒得改文件名参数, 可以用%~dpn0, 然后直接重命名这个.bat, n 会将输出的视频, 例子: 文件名=S.bat → 命令=--output %~dpn01.mp4 → 结果=1.mp4 转输出"S.mp4" (/·ω·)/^

ffmpeg 批量压制 mp4, 音频拷到新文件:

```
chcp 65001 && @ for %%3 in (*.mp4) do (ffmpeg -i '%%3' -c:v copy -i '%%~n3.aac' -c:a copy '%%~n3.mp4')
```

chcp 65001 会让 cmd 以 Unicode 形式读取, @是不打出输了什么命令进去, %%~n1 是%%1 去掉了文件后缀 o(-_^)

Worm effect 瑕疵 原因未知, x265 低码+no-sao 可复现的噪点横向拉伸效果

--preset	superfast	veryfast	faster	fast	medium	slow	slower	Very slow	placebo
ctu	32	64							
最小 cu	8								
连续 B 帧数 bframes	3	4					8		
B 帧筛选 b-adapt	0			2					
cu 树向后 rc-lookahead	10	15		20	25	40		60	
lookahead-slices	8				4	1			
参考帧 ref	1	2		3		4	5		
参考帧限制 limit-refs	0	3					1	0	
动态搜索算法 me	hex					star			
动搜搜索范围 merange	57								92
子像素搜索/MC subme	1		2			3	4		5
长矩形分块 rect	0					1			
非矩分块 amp	0						1		
分块模式快选 limit-modes	0					11		0	
合并模式数量 max-merge	2					3	4	5	
合并提前退出 early-skip	1			0	1	0			
cu 再分裂跳过 rskip	1								0
帧内夹角编码优化	1			0					
B 带帧内搜索 b-intra	0						1		
取样迁就偏移 sao	关	开							
P 帧权重 weightp	0	1							
B 帧权重 weightb	0						1		
自适应量化 aq-mode	0	2							
cutree	开								
率失真优化 rd	2			3		4	6		

心率失优程度 rdoq-level	0	2			
tu 帧内/间上限 tu-intra-depth	1	3		4	
tu 分裂上限 tu-inter-depth	0	4	0		

tune zerolatency 去延迟

连续 B 帧数 bframes	0
B 帧筛选 b-adapt	关
cu 树 cutree	关
转场 scenecut	关
多线程压制帧数 frame-threads	1

tune grain 最高画质

自适应量化 aq	0
cutree	关
I-P 帧压缩比 ipratio	1.1
P-B 帧压缩比 pbratio	1
QP 赋值精度 qp-step	1
取样迁就偏移 sao	关
优化模式决策 psy-rd	4
优化量化 psy-rdoq	10
cu 再分裂跳过 rskip	0

tune animation 动画片

优化模式决策 psy-rd	0.4
自适应量化强度 aq-strength	0.4
去块 deblock	1:1
cutree	关
连续 B 帧数 bframes	<preset> +2

tune fastdecode 解码加速

B 帧权重 weightb	关
P 帧权重 weightp	关
去块 deblock	关
取样迁就偏移 sao	关

tune psnr 峰值信噪比

自适应量化 aq	关
率失真优化 rd	关
cutree	关