

x265 视频压缩教程综合版 c

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((((*. _.)

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 <分辨率> --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.exe <脚本>. vpy --y4m - | x265.exe - --y4m --output
VSpire/avs2yuv <脚本>. vpy - | x265.exe --input-res <宽 x 高> --fps <整/小/分数> - --output
avs2yuv.exe <脚本>. avs -raw - | x265.exe --input-res <宽 x 高> --fps <整/小/分数> - --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`

命令行报错直达桌面, 无错则照常运行 [命令行] `2> [桌面]\报错.txt`

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 x265 缩小了精度误差, 8-10 差距比 x264 小, 但 10bit 仍可减轻色带

目录

分块..... 1	关键帧..... 8	模式决策..... 15	-CABAC..... 18
变换·(附录-傅里叶变换) . 2	参考帧..... 8	率失真优化 RDO 控制 ... 16	二进制算数编码..... 18
帧间-动态搜索..... 3	帧内编码..... 9	峰值信噪比 PEAK SIGNAL-TO-NOISE RATIO/PSNR 17	SEI 维稳优化消息 19
帧间-子像素运动补偿.... 5	量化-码率质量控制模式 . 9	环路滤波-去块滤镜 17	线程节点控制..... 20
加权预测 WEIGHTED PREDICTION . 5	2PASS 转场优化..... 13	环路滤波-取样迁就偏移 18	色彩空间转换, VUI/HDR 信息, 黑边跳过..... 21
帧间-时域架网搜索..... 6	率失真优化-码率质量控制 调优..... 14	带偏移 BO 18	IO (INPUT-OUTPUT, 输入输出)..... 22
溯块向量搜索..... 6	自适应量化..... 15	熵编码/残差编码/文本压缩	
GOP 结构建立, 参数集 ... 7			

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 me-mc, 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, 只是通过每个"单元"自带的元数据"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, 可以用作参考的块. 支持 cu 上对称 rectangle, 非对称 asymmetric partition 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 划分不与 pu 对齐, 有时还大到跨越多个 pu, 二者关系不大. 在 cu 上完成划分, 变换和量化. 小块 tu 会集中出现在高频信息, 大块会出现在低频(´▽`)/

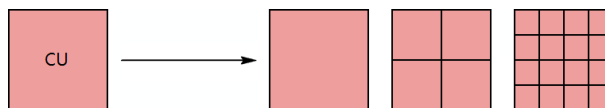


图: tu 的划分

--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<开关, 已关>pu 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 1440x810 或通篇颗粒的视频用;**--amp**<开关, 已关, 须 rect>pu 不对称划分. 用更多编码时间换取码率的参数. 只建议通篇有大量粒子/噪点, 动漫源等分块高收益的视频用

变换·(附录-傅里叶变换)

一维傅里叶变换 1D-FT

1. 给出与原信号波形等高, 从类直线开始不断缩窄频率周期的余弦
2. 取立方临时将两波形负值转正, 从而将反相的余弦也考虑在内

- 记下吻合度最高，频率最低的余弦波，然后从原波形减去它；使源的振幅降低，特征缩水
- 重复 1~3，直到原信号变成一条直线。将所有记下的余弦按频率低-高排列，就得到了频域，或一维 k 平面的信号
- 逆变换把频域值还给对应余弦，再加起来就复原了原信号

上面不断缩窄的余弦在低等数学上用 $\cos(1/Tx \cdot 2\pi)$ $\{0 \leq T \leq n\}$ 表示。高等数学用欧拉公式卷缠。由螺度代替缩窄。可见

[desmos 示 1](#), [示 2](#), 及 [3b1b 视频](#)

二维傅里叶变换 2D-FT 宽-高上每条线分别提出，像素值变化视作波形跑 1D-FT 后加到一起。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唯一解。分辨率有核磁共振最高的 256^2 ，中置声道提取滤镜的 32768^2 ，缺点是只能算空-频域。因此缺席时间相关处理

二维离散余弦变换 2D-DCT 预制的二维波形模具，通过穷举加减列出每个频段的使用次数，图像就从空间域转换到频域了。优点是快。缺点是只有 8×8 种波形，删高频比 FT 更容易删失真

--limit-tu <整数 $0 \sim 4$ ，要求 $\text{tu-intra/inter-depth} > 1$ ，默认 0 关>早退 tu 分块以量化/残差编码质量为代价提。tu 大则更容易出现量化涂抹而限码，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

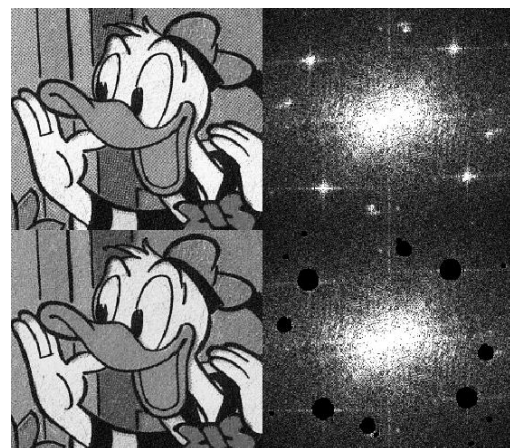
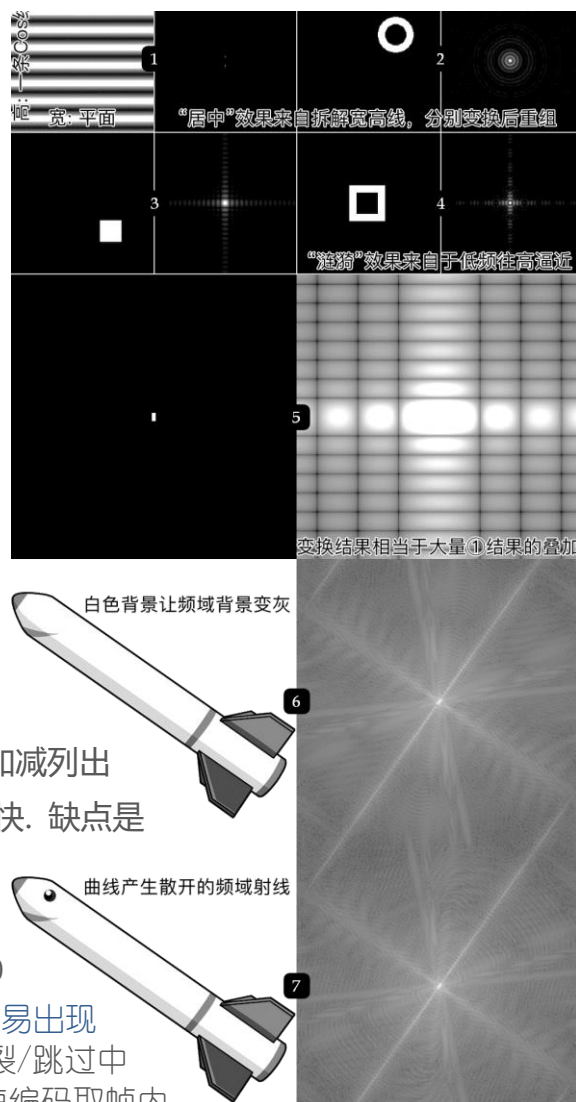
--rdpenalty <整数，默认 0 关， $\text{tu-intra-depth} = 1$ 时失效；2 则 32×32 帧内 cu 可用；3 才支持 64×64 帧内 cu>强制 tu 分块以提高细节保留降低涂抹。1 提高率失真代价而减少 32×32 tu，或设 2 强制 32×32 tu 分块。用途与 limit-tu 相反，但可理解为 tu 分块的下限，例如高 limit-tu，高 crf 时用 rdpenalty 2 避免 32×32 tu 造成涂抹太狠画面糊掉的结果

--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 dir. of min. distortion，组成一张张帧间矢量表的计算。若找出的信息不足，参考帧与动静态隔离分块的建立就欠缺基础。图：[Jain&Jain/十字搜索](#)，[大小菱 LS-Dia 搜索](#)

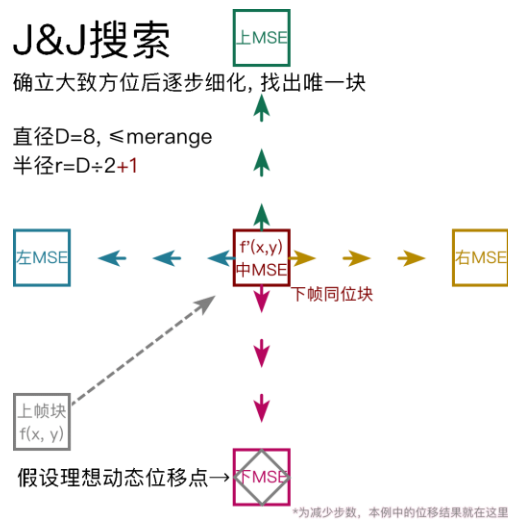


J&J搜索

确立大致方位后逐步细化, 找出唯一块

直径 $D=8$, $\leq \text{merange}$

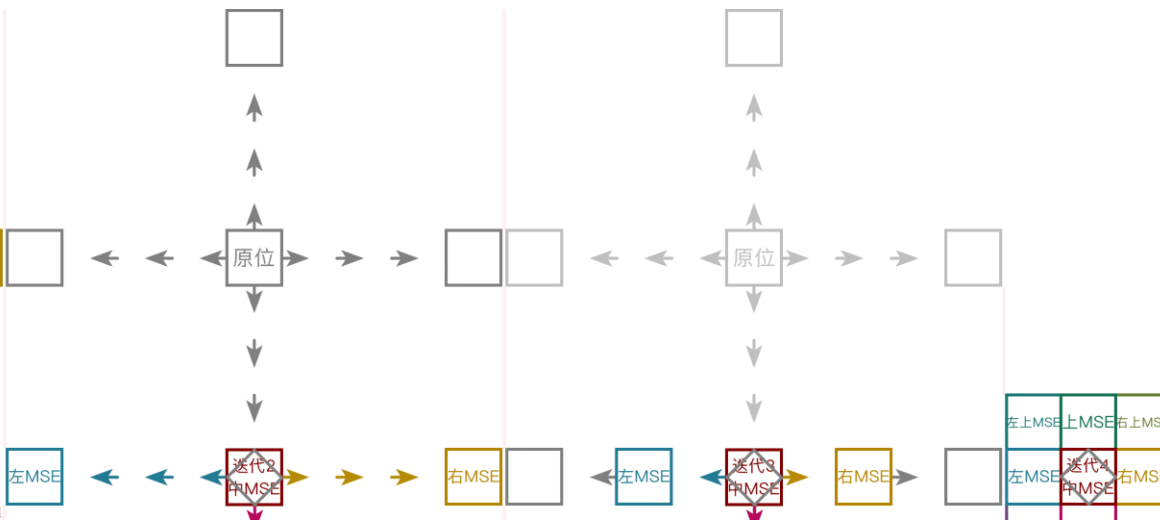
半径 $r=D \div 2 + 1$



迭代Iteration/位移Displacement 1

- 根据merange限制最大像素数, 为下帧同位块建立J&J搜索范围
- 4×4 块和旁边 8×8 块不一样大, 但矢量可能等长, 故merange不直指块数
- J&J也叫十字搜索, 首次迭代分为上下左右中, 共对比5次MSE
- 半径 r 长度为 $D \div 2$, 加上中心1

- 若中块与上帧块差异最小, 则下次迭代半径 $r \div 2$
- 若半径 $r=1$, 则指定最终迭代, 进行全搜索



迭代Iteration/位移Displacement 2

- 中块与上帧块差异最小, 下次迭代时 $r \div 2$
- 半径 $r > 1$, 不进行全搜索

迭代/位移 3

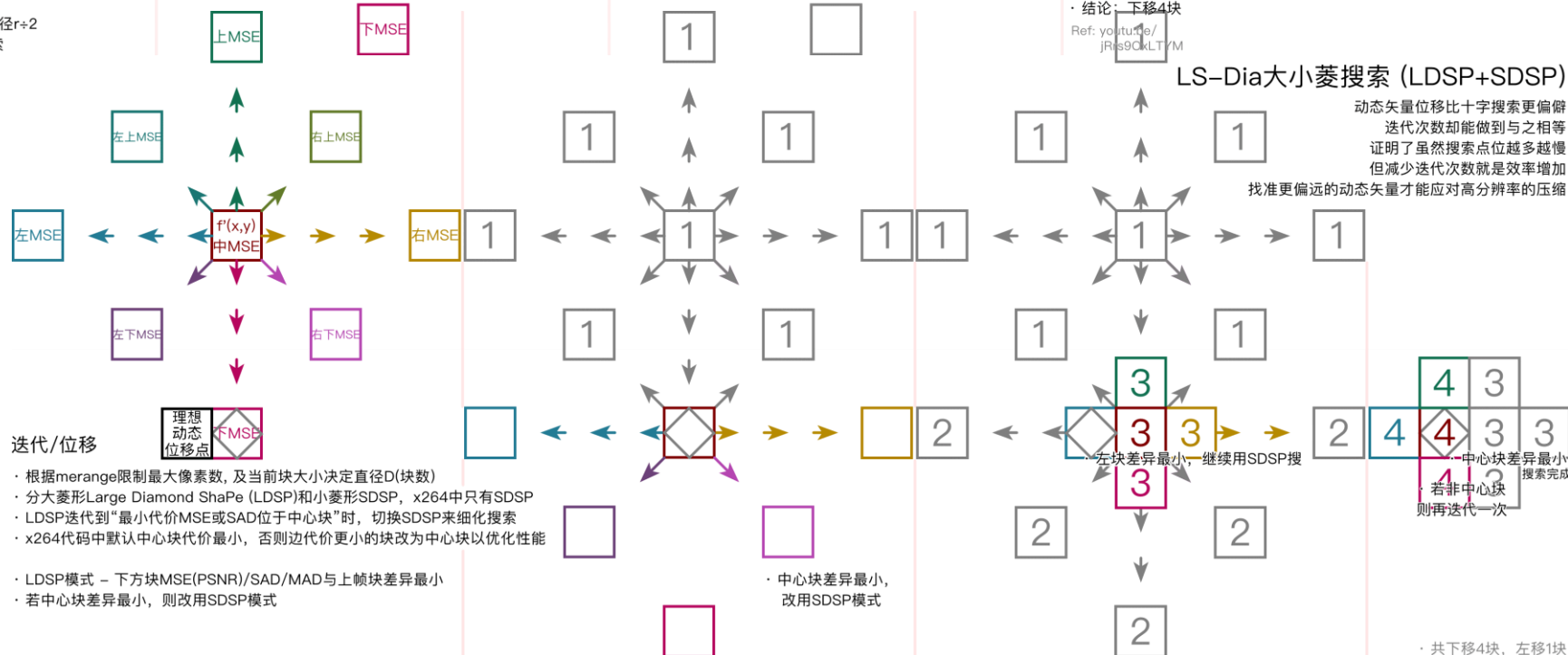
- 中块与上帧块差异最小, 下次迭代时 $r \div 2$
- 半径 $r > 1$, 不做全搜索

迭代/位移 4

- 半径 $r=1$, 做全搜索
- 结论: 下移4块

Ref: youtube/
jRes9CkLT/M

六边形 hexagonal 搜索将 LDSP 的上下左右斜, 共 8 个外点砍成 6 个, SDSP 细化规则不变, 相比 LS-dia 和 SSSP-LDSP-SDSP(四角星形 star 搜索)在 merange 16 的范围里效率更高



迭代/位移

- 根据merange限制最大像素数, 及当前块大小决定直径 D (块数)
- 分大菱形Large Diamond ShaPe (LDSP)和小菱形SDSP, x264中只有SDSP
- LDSP迭代到“最小代价MSE或SAD位于中心块”时, 切换SDSP来细化搜索
- x264代码中默认中心块代价最小, 否则边代价更小的块改为中心块以优化性能

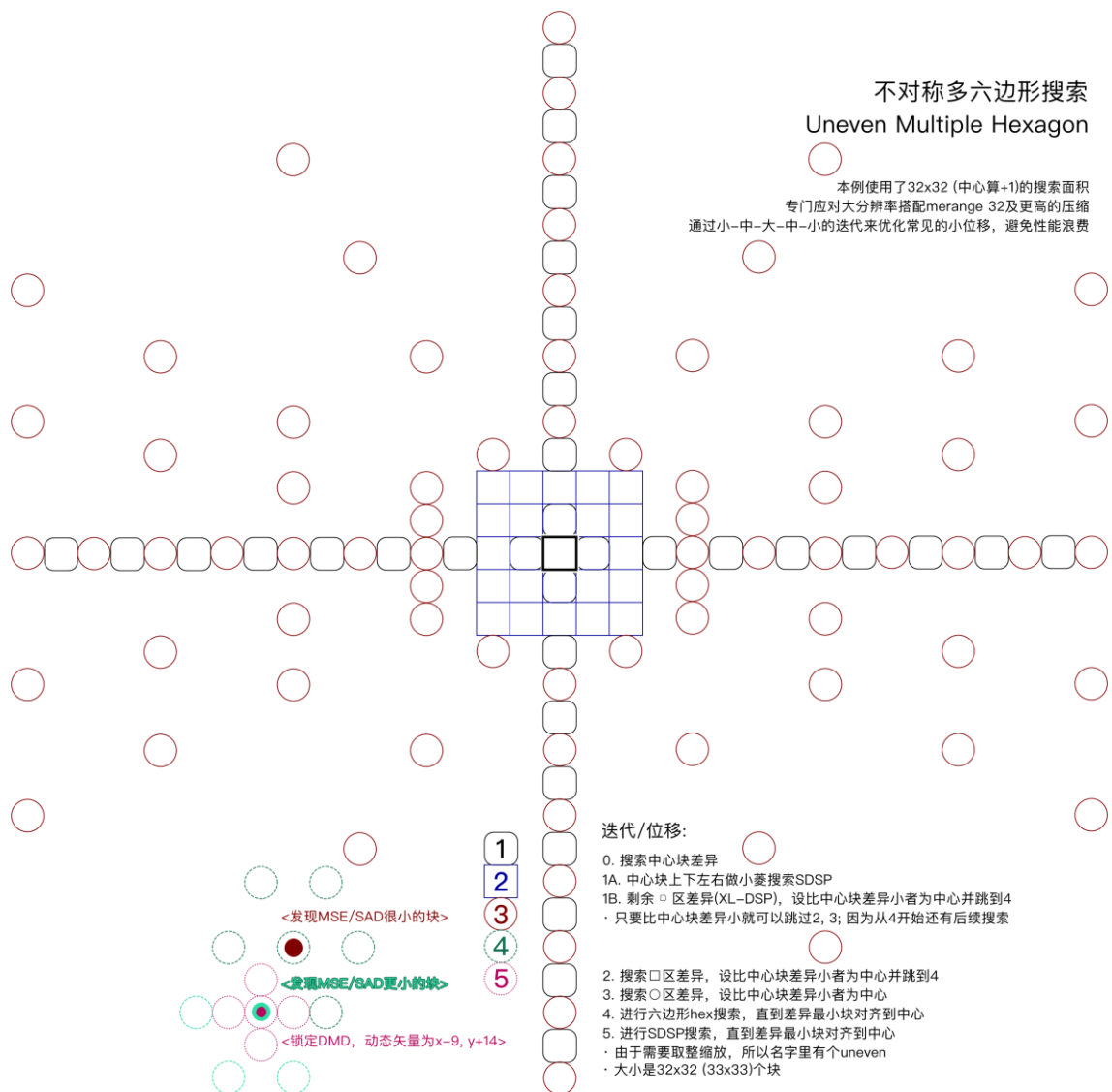
- LDSP模式 - 下方块MSE(PSNR)/SAD/MAD与上帧块差异最小
- 若中心块差异最小, 则改用SDSP模式

LS-Dia大小菱搜索 (LDSP+SDSP)

动态矢量位移比十字搜索更偏僻
迭代次数却能做到与之相等
证明了虽然搜索点位越多越慢
但减少迭代次数就是效率增加
找准更偏远的动态矢量才能应对高分辨率的压缩

中心块差异最小, 搜索完成
若非中心块, 则再迭代一次

· 共下移4块, 左移1块



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.** 冲激响应滤镜 imp. 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~波形的关系所同.** 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; 但同是动漫源的 60fps 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	HPel 迭代	HPel 搜索方向	QPel 迭代	QPel 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

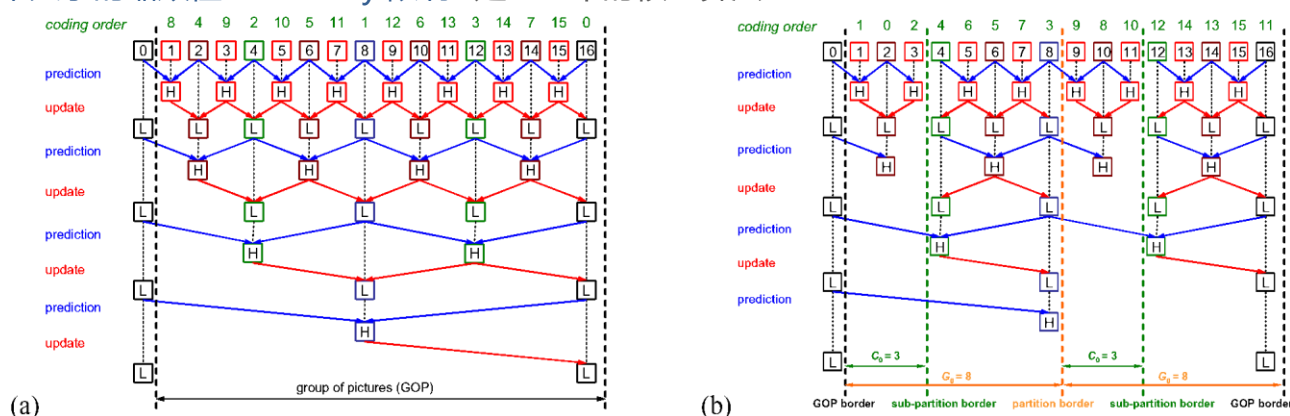


x264 首发, 修复了少数淡入淡出过程中部分 pu 误参考, 亮度变化不同步的瑕疵. 分为 P, B 条带用的显加权 explicit WP<编码器直接从原画和编码过的参考帧做差>与 B 条带用的隐加权 implicit WP<用参考帧的距离插值>插值计算在帧内编码板块有说明

--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

帧间-时域架网搜索

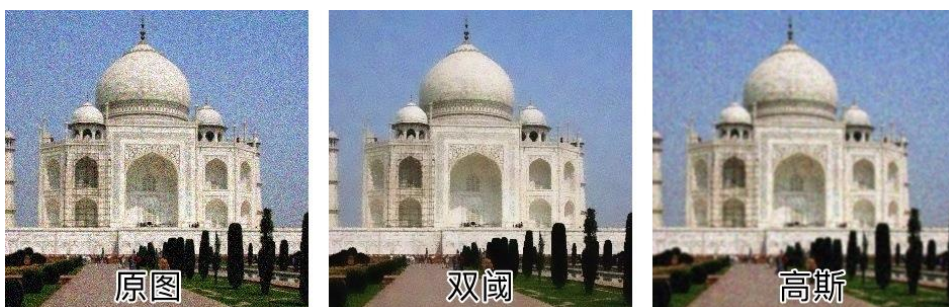
motion-compensated temporal filter 基于快而简单的提升式小波变换 lifting-scheme. 只需前后信息通过 1-2 之差来预测 2-3 的区别, 出现残差则更新到高频分区, 没预测错的更新到低频分区. 视频编码中就是照奇-偶-奇帧推演, 从 gop 开始的 0-1-2 帧, 2-3-4, 4-5-6, 直到末尾组成第零层网络, 通过分离低频段预测 L 和高频段残差 H 得到第一层网络. 一层的低频段预测 L 再前后重排为 0-1-2L, 2-3-4L 等, 再算奇-偶-奇推演, 就得到更远的动静态区间, 以及低-低预测 LL 和低-高残差 LH 的第二层网络了. 该结构能做到迭代 n 次即分离 2^n 帧的动静态, 以及所有的预测与残差, 故不像传统动态搜索一样受分辨率大小的缩放性 scalability 限制. 是 svc 中的核心算法



一维小波变换就是让频率不同的短波像拉链一样划过音频, pwm 或函数信号, 照重合强度提高对应时-频域热度的变换算法. 解决了傅里叶变换只有空-频域, 不能处理时域信号的缺陷, 还可以像拉链一样更换样式, 以在噪声中识别特定潜水艇型号. 加上 mctf 对预测和残差的追踪后就可以分析视频了

--mctf<开关, 等待官方发布>mctf 帧上应用双边滤镜, 是迭代到最后的 L 帧?

双阈滤镜 bilateral filter 是改自高斯模糊, 在 Photoshop, GIMP, Python cv2 模块可用的滤镜. 相比仅靠范围内核调整模糊直径的高斯模糊多了空间内核来限制最小纹理强度, 唯小于空间内核阈值的像素才会被越小越强的平滑滤镜模糊. 所以高斯模糊是单阈滤镜



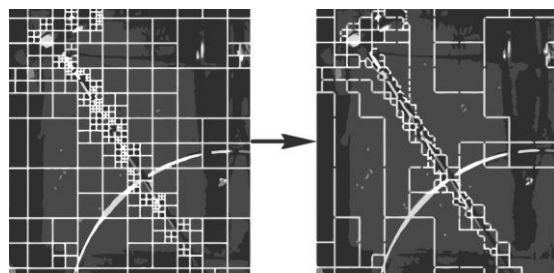
溯块向量搜索

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. 所以将涉及同物件的块匹配到一起就能冗余一大批 pu 的动态向量了. 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` 的基础上升级了高级向量预测 **AMVP**; 并合搜索 **merge mode** 两种方案. 其中 `adv. motion vector prediction` 的任务是找出向量信息, 分以下几步:

1. 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
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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 $v=0, 0$

`merge` 简单粗暴, 从时空域凑五参两被. 漏算 pu 边缘且不顾 pu 当前向量以提速, 所以可看做是打下手的

`--ref`<整数 $-0.01 \times \text{帧数} + 3.4$, 范围 $1 \sim 16$ >向量溯块前后帧数半径, 一图流设 1. 要在能溯全所有块的情况下降低参考面积, 所以一般设 3 就不管了



`--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

GOP 结构建立, 参数集

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, 照顾丢包人士, 三来搭建 NALU 为基础传输 **ss** 的网络串流架构

1. 按 IDR 帧间隔(keyint)分区, 同时 scenecut 分配额外关键帧
2. 按 open/closed-gop 标记 gop 间预设, 同时 gop 内的帧拆为条带 slice
3. 条带一样要拆开来以降低解码错误的影响, 叫做条带段或 **ss**

视频参数集 **video parameter set**→(分枝-播放时间戳, 显加权与其它特定解码要求)**序列参数集**

sequence parameter set→(分枝-解码信息)**图参数集** **picture parameter set**→(分枝-ctu 以上最小单位)**条带段** **slice segment**

`--opt-qp-pps`<开关, 默认关>据上个 GOP 改动当前 PPS 中默认的 qp 值.`--opt-ref-list-length-pps`<开关, 默认关>据前 GOP 改当前 ref 值, 而且是前后帧独立改动. <暂停推荐: 播放器默认 PPS 跨 GOP 不变, 造成解码兼容性错误. [应该用`hev1`而非`hvc1`封装进 ISO-BMFF?>](#)

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

`--scenecut`<整数>设 $x264/5$ 设 I 帧的敏感度

--hist-scenecut<开关, 默认关, 推荐开>亮度平面边缘+颜色直方图 SAD 阈值触发转场. 在 x265v3.5+69 后在彩色视频中超越了近 20%, 尤其是 **HDR 源**比 scenecut 降低了正误判(设 I 帧)和负误判(不设 I 帧), 因此**除黑白视频外**推荐.**--hist-threshold**<0~2.0, 默认 0.01>标准化 SAD 阈值

关键帧

idr 刷新解码帧 instant decoder refresh

- gop 间划界分段, 令解码器清缓存的完整图片的 I 帧, 清缓存是为了防治参考/内存错误(↖_↖)/

cra 净任意访问 clean rand. access

- open-gop 间划界, 带帧内参考, gop 内帧间参考可越界的 I 帧, 一般直接叫 cra 帧

dra 脏任意访问 dirty rand. access

- 一组含 i 块, 全解码才重建出 i 帧的 P 帧. 压缩更高但比 i 帧更易出错. 需要低 min-keyint

bla 断链访问帧 broken link access

- open-gop 间划界, 访问并加载出异分辨率, 帧率视频流用的特殊 cra 帧(↖_↖)↗

参考帧

rap/随机访问点 random access point "访问"代表播出画面前读数据的过程; "任意"代表拖进度条, 打开直播, 使进度条上任意一点都要能解出视频的需求, 增加码率提升体验

rasl 任访略前导, radl 任仿解前导 random access skipping/decoding lead

1. 正常播过来没它们事, 但进度条落在 cra 附近(缺参考)时指定解码/略过的前导帧. 防止拖进度条让 gop 崩坏

--no-open-gop<开关, 默认关, 建议长 gop 用>不用 cra/bla, 增加码率增加兼容

--radl<整数默认 0, 小于连续 B 帧, 建议 2~3>原理见上

--min-keyint<整数>指定最小 IDR 帧间隔. 防止编码器在 closed-gop 里将两个 IDR 帧挨太近, 导致 P 和 B 帧参考距离受限而设计的. 两种选择, **给出画质一样**

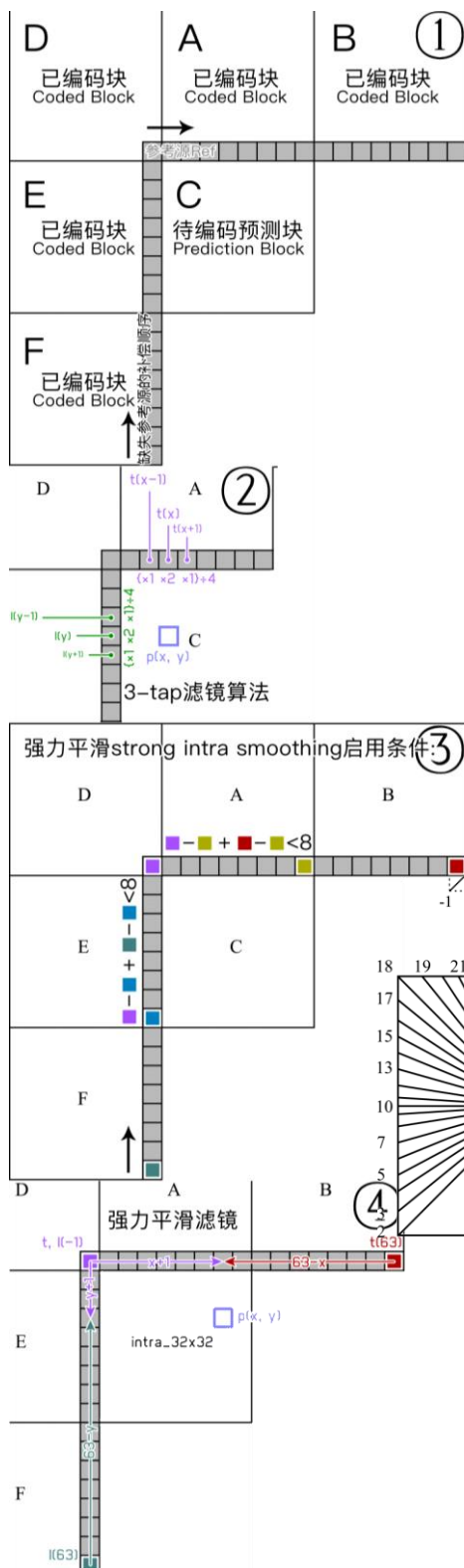
- 设 5 或更高, 省了设立一些 IDR 帧拖慢速度. **快速编码/直播环境直接设=keyint ^(>_<^)**
- 设 1 来增加 IDR 帧, 一帧被判做转场本来就意味着前后溯块的价值不高. 而 P/B 帧内可以放置 I 宏块, x264 会倾向插 P/B 帧. 好处是进度条落点在激烈的动作场面更密集, 画质编码用

--keyint<整数>指定最大的 IDR 帧间隔, 单位为帧. 由于 min-keyint 有设立 IDR 帧的能力, 建议照不精确索引下拖动进度条的偏移延迟 vs 码率设置. **--keyint -1** 即 infinite. 在长度短到不需要拖动进度条, 或者用户一定不会拖动进度条的视频可以使用以降低码率(●_●)

--fades<开关, 默认关>找流中的虚实渐变 fade-in, 给小到帧间条带(slice, 一组横向 ctu), 整个帧间范围改用 I 条带, 并根据渐变后最亮的帧重设码率控制历史记录, 解决转场致模糊的问题

--pbratio<浮点, 默 1.3>P, B 帧的 qp 值待遇差(如 B 块至少是 P 块 1.3 倍 qp). B 帧双向参考能从更多帧中找到参考源, qp 更高也能通过参考来达到相同画质. 真人录像片源中保持默认即可. 动漫片源中 B 帧的出现几率增多, 导致很多 B 帧因找不到合适的参考信息损失画质. 所以编码画质的动漫时要通过降低 B 帧的 qp 值分配来保护其画质, 通常使用<1.2>或更激进

--bframes<整数 0~16>最多可连续插入的 B 帧数量. <3~9>快速, <12 左右>正常, 若播放设备配置偏高的话可放心的设在<13 左右>. **--b-adapt**<整数 0 关, 1 快 2 精确, 推荐 2>B 帧适应性算法



① 帧内编码

组成参考源+参考帧的结构后, 对参考源做类 jpg, png 的单图压缩

1. 补齐因 PB 位置不好而缺失的编码块 CB

a) ①: 缺 EDAB 块就拿 F 块最上面的参考源填; 如果全缺就拿像素平均值填, 8bit 下是 127

2. 参考源数据平滑预处理

a) ②**3-tap 滤镜**也叫 $(1\ 2\ 1) \div 4$ 滤镜, 按每个预测值 p 给横纵轴对应的参考源做 $1\ 2\ 1$ 权平均计算

b) ③④**强力平滑滤镜**从最近两参考源线性插值出每个 $p(x,y)$ 对应的参考源

c) 自动在 DC, 垂直, 横向或角度近似垂/横的情况跳过

3. 用**趋平模式/夹角模式/DC 模式**编码

趋平代表从左-上做双线 bilinear 插值到右-下边形成平面. 图: 底 \times 高+底 \times 高就有了“三角形”随 $h(x,y)$ 高的移动而变化的面积; 再除以 pb 边长底就插值出了预测像素值 $h(x,y)$; 同类计算用在横轴 $t(x)$ 上就插值出了 $v(x,y)$; 两者取平均即新的 $p(x,y)$

夹角中, 角度分 $026 \sim 34, -018 \sim 25, 010 \sim 17, -02 \sim 9$ 四大类. 因为三角函数 $\tan\theta = opp \div adj$, 所以 $\tan\theta$ 再乘以新临边 adj 得出新的远边 opp , 也就得到 p 在新角度下对应到横轴, 纵轴上的确切参考位了. 因小数差异, 角度常落在两参考■间, 要加权插值出该角度下的 p 投影, 穷举出参考结果; 才能取最像 PB 的■为新 CB. 当然为了省算力, 常态是不会算完 33 种 θ 的 **DC** 即直流大平面, 以全 CB, PB 的平均判断

--**fast-intra**<开关, $rd > 4$ 时关>5 个夹角跳着判断夹角模式. 理论上纹理复杂则有效提速. --**b-intra**<默认关>B slice 也查帧内格式, 高压编码建议. --**constrained-intra**<默认关, 实验性>帧内条带不参考帧间像素. 高压编码减少误参考

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

量化-码率质量控制模式

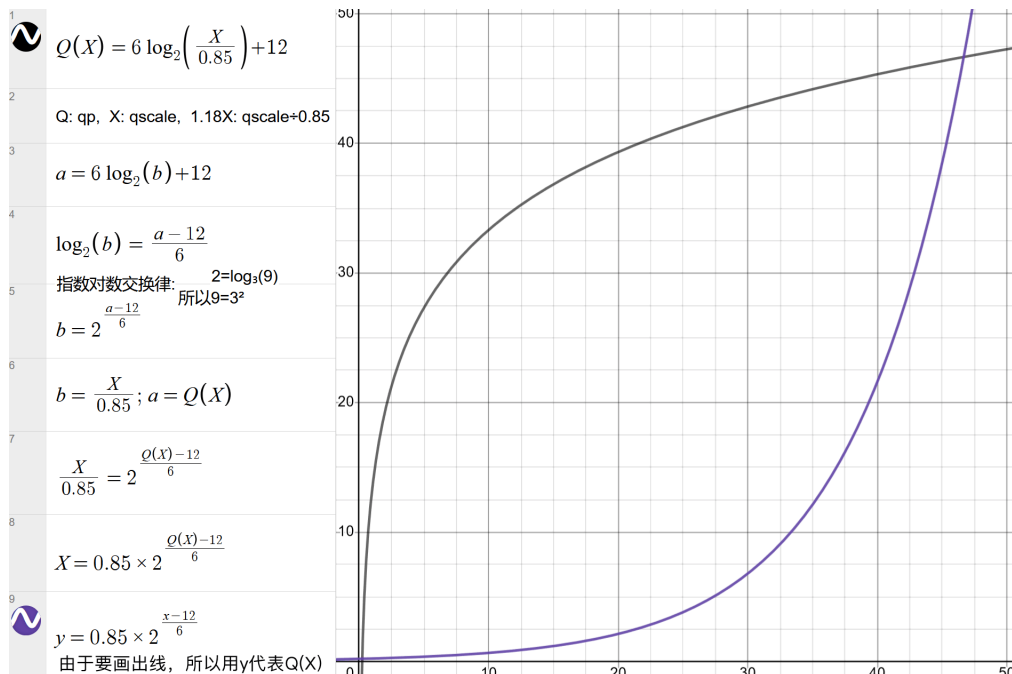


图: 紫 qp- qScale, 黑 qScale-qp 的对数映射

对数 $\log(x)$ 是为方便乘除法交换律, 即路程=速度×时间关系实现到指数关系上, 构成 $9=3^2, 3=2^{\sqrt{9}}, 2=\log_3(9)$ 对应 $6=2 \times 3, 3=6 \div 2, 2=6 \div 3$ 关系. 编码器用 \log 算 qp 值, 因为 qp 是对数, 对应着指数变化的量化强度, crf18~23 外的码率画质变化中能体会到

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 的精确度一般取决于帧率. 虽然基本上不准, 但避免了 qp 波动, 码率变化更稳定

`cplxSum`<迭代值 $0.5 \text{ cplxSum}[\text{上帧}] + \text{SATD}[\text{上帧}]$, 初始=半数宏块/CTU >当前 SATD+=旧 SATD, 没人说为什么要 $\div 2$ 所以翻文献翻不出来

`cplxCount`<迭代值 $0.5 \text{ cplxCount}[\text{上帧}] + 1$, 初始 0>当前帧数+=1, 用于逐帧对 cplxBlur 加权, $\div 2$ 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`<迭代值 $\text{cplxSum} \div \text{cplxCount}$, 初始--cplxblur 20>据帧位置推演加权后的 SATD. 接近 100% 则说明推演的当前帧复杂度应当越高, 说明画面复杂度处于上升趋势. 可以扭转 cplxCount 的趋势

`qScale`<迭代值 $85\% (2^{((qp - 12) \div 6)})$ >已编码帧的 qp 算回到 qScale 并不断更新

`ABR_rate_factor`<迭代值, 初始 $\text{target_rate_window} \div \text{cplxSum}$ >平均码率模式下做 qScale 转 qp 逆运算所用, 以实现质量-码率控制的值

`ABR_qScale_new`< $\text{qscale} \times \text{overflow} \div \text{ABR_rate_factor}$ >据 abr 控制更新一遍 qScale

`cplxBase`< $\text{ctu_count} \times (\text{bframes} ? 120 : 80)$ >crf 模式设为默认恒定值/常数的复杂度. 设--bframes 参数则宏块/CTU 数量乘以 120, 否则乘以 80. $a?b:c$ 是 C++ if a:b else:c 缩写

`CRF_rate_factor`<多参数值 $\text{cplxBase}^{(1-\text{qcomp})} \div (\text{qScale} \times (--\text{crf} + \text{cutree_offs} + \text{bframe_offs}))$ >此 $^{(1-\text{qcomp})}$ 是为和 CRF_qScale 对齐, 因为运算单在 cplxBase, cplxBlur 上而非整个算式中发生. 最终经 cutree, b 帧偏移再乘进 qScale 后得到实现质量-码率控制的值

`CRF_qScale_new`< $\text{cplxBlur}^{(1-\text{qcomp})} \div \text{CRF_rate_factor}$ >据 crf 控制更新一遍 qScale

qp<目标值 $6\log_2(qscale_new \div 85\%) + 12$ >qScale 经调整后算出当前帧 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. 然而这种质量判断只有两帧, 不够宏观(abr 模式更严重), 所以还有率失真优化量化的必要

CRF 上层模式

--crf<浮点范围 0~69, 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 23. 由于动画和录像的内容差距, 动画比录像要给低点

虽然相比于 x264 的量化一样. 但 crf 越高, 率失真优化的需求也越高, 速度越慢

--qpmin <整数, 范围 0~51>最小量化值. 由于画质和优质参考帧呈正比, 所以仅在高压环境建议设 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 mbtree (*~▽~)

--rc-grain<开关, tune grain 时开启>通过 cplxBlur 抑制过噪, 搭配画面噪点, 胶片颗粒片源使用

--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

--qcomp<浮点范围 0.5~1, 一般建议默认 0.6>cplxBlur 迭代值 **每次能迭代范围**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-lookahead<整数, 范围 1~250>指定 cutree 的检索帧数, 通常设在帧率的 2.5~3 倍, 若通篇的画面场景非常混乱则可以设在帧率的 4 到 5 倍通常在 180 之后开始增加计算负担

--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

--rceq<仅 x264, 字串, 默认 $cplxBlur^{(1-qComp)}$ >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

CQP 上层模式

--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

--ipratio<浮点, 默认 1.4>P 帧相比 IDR/i 帧; **--pbratio**<浮点, 默认 1.3>B/b 帧相比 P 帧的偏移. 例: 指定 IDR/I qp17, P qp20, B/b qp22 时填写 --qp 17 --ipratio 1.1765 --pbratio 1.1

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, 就会得到码率更低的片子; 反过来低了会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**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. 因此算力够的直播建议用 crf~vbr 模式, 码率>画质, 但画质也抓的压片用 1pass-crf+2pass-abr

VBR 下层模式

--**vbv-bufsize**<整数 kbps, 小于 maxrate>编码器解出原画的每秒最大码率缓存. $\text{bufsize} \div \text{maxrate}$ = 编码与播放时解出每 gop 原画帧数的缓冲秒数, 值的大小关联编完 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, bufsize 的 x 倍>峰值红线. 防止多个>bufsize GOP 连续累积, 给出缓帧启用高压的参数. 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 GOP 大小(“▽”)

- 大: $\text{GOPsize} = \text{bufsize} = 2 \times \text{maxrate}$, 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: $\text{GOPsize} = \text{bufsize} = 1 \times \text{maxrate}$, 超码率限制后直接压, 避开部分涨落, 适合限峰值的串流
- 超: $\text{GOPsize} < \text{bufsize} = 1 \sim 2 \times \text{maxrate}$, 超码率限制后直接压, 但因视频小/crf 大所以没起作用
- 欠: $\text{GOPsize} > \text{bufsize} = 1 \sim 2 \times \text{maxrate}$, 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. $\text{buf} \sim \text{max}$ 实际控制了这些状态的出现概率

--**crf-max**<整数>防止 vbv 把 crf 拉太高, 可能适合商用视频但会导致码率失控; --**crf-min**<整数>用途不明, 可能是反留白习惯所致, 目前--qpmin 足以[-_] 卩

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, 一般不用设置

--**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 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, 已关闭>`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 (°-°;)ノ`

--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` (原文解释的太模糊, 且未测试)

--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

--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, 已关>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

--abr-ladder<实验性的苹果 TN2224/据说整出一堆 bug, 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:AnId 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:AnId 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, 真无损压缩上层模式

--lossless<开关>跳过分块, 动/帧/参搜索, 量/自适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, 已关>不在 tu 上使用 DCT 变换 $\sim (\cdot, \cdot, -)$

--cu-lossless<开关, 已关>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

率失真优化-码率质量控制调优

存在原因见"量化-码率质量控制模式"版块

--rdoq-level<整数, 范围 0~2>率失真优化控制量化的分块深度. 0=关; 1=不分 tu; 2=4x4, 慢

--psy-rdoq<浮点 0~50, 默认 0 关>心理视觉优化偏移率失真优化的程度, 提高能量 J 以改变 rdoq 的用途, 使其更不愿消除系数, 避免模式决策遇到差选项. 类似 crqpoffs

1080p 高码率下设<2.3~2.8>给动漫, <3~4.8>给电影. 分辨率高低, 画面颗粒影响了系数数量和密度, 所以要改参数值

- 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

自适应量化

根据源图像的复杂度来判断 qp 值分配的计算，防止 x265 往细节分配太多码率而造成平面的质量亏损。对防止图像变得模糊有一定作用（￣～￣；）

--aq-mode<范围 0~4, 0 关>aq 只在码率不足以还原原画时启动，建议<1>标准(简单平面)；<默认 2>+启用 variance 调整 aq-strength，适合录像；<3>+欠码时码率多给暗场些；<4>+让不足以还原原画情况的码率多给边缘些(高锐多线条多暗场少平面)

--hevc-aq<开关, "aq-mode 5">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-第三方信息较为割裂，所以暂无适解**

--aq-strength<浮点>自适应量化强度。据 VCB-s 建议，动漫的值太高则浪费码率。动漫中 aq-mode / strength 给<1 对 0.8>，<2 应 0.9>，<3 和 0.7>较为合理，在真人录像上可以再增加 0.1~0.2，画面越混乱就给的越高，在 aq-mode 2 或更高下可以更保守的设置此参数

--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≥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

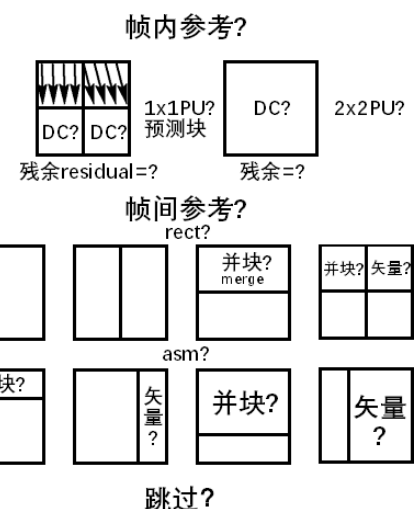
--cbqpoffs, --crqpoffs<整数>调整蓝，红色平面相比亮度平面的 qp 值差异，负值降低量化。若当前版本 x265 的算法把色度平面的量化变高，可以用这两个参数补偿回来。由于编码器一直不擅长处理红色，而人眼又对红光敏感可能因为祖先晚上生火所以为了画质建议比 cb 面设更低(△-3 左右)的值

模式决策

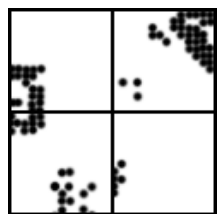
mode decision 整合搜来的信息，宏观上重新定制分块，参考，跳过，编码，量化方案。因为选码率最小的压缩方案常常不平衡

--rd<1/2/3/5, 默认 3>率失真优化参与 md 的程度，越大越慢。<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>建议快速编码用 1, 2；日常/高压使用 3，其他情况(包括高画质高压编码)使用 3, 5

--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 块的存在感，明显提速。会增大或减少体积，微降画质但难以察觉



--limit-refs<0/1/2/3, 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> 彡(-_-;)



--rskip<0/1/2/3>找不到残余向量/宏观上出现 cu 再分块被跳过时, 判断后面 cu 接着搜索分块还是提前退出的参数. 和 merge-AMVP 的区别是管辖 cu 内部的再分块. <0 不跳>费时费电换一点压缩; <rd=0~4 下 1>看附近 cu 是不是也分不了; <rd=5~6 下 1>看附近 2Nx2N cu 分块难度, 推荐; <2>统计 cu 内纹理决定分块, 推荐; <3>在 2 基础上

直接跳过底部块

--rskip-edge-threshold<0~100, 默认 5, rskip 大于 1>sobel 算子检测 cu 纹理密度 edge density, 对比块面积的百分比. 若密度超过值就分块, 越小分块越多

--tskip-fast<开关, 已关>跳过 4x4 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 RDO 控制

率失真优化 rate distortion optimization 据多个码率下测得的失真程度点, 挑出低于率失真曲线的值, 再根据码率/crf 做**模式决策**. x264/5 用拉格朗日代价函数 $J = D + \lambda \cdot R$. 即"开销 = 失真+ λ ·码率". x265 中失真 distortion 用 MSE 判断

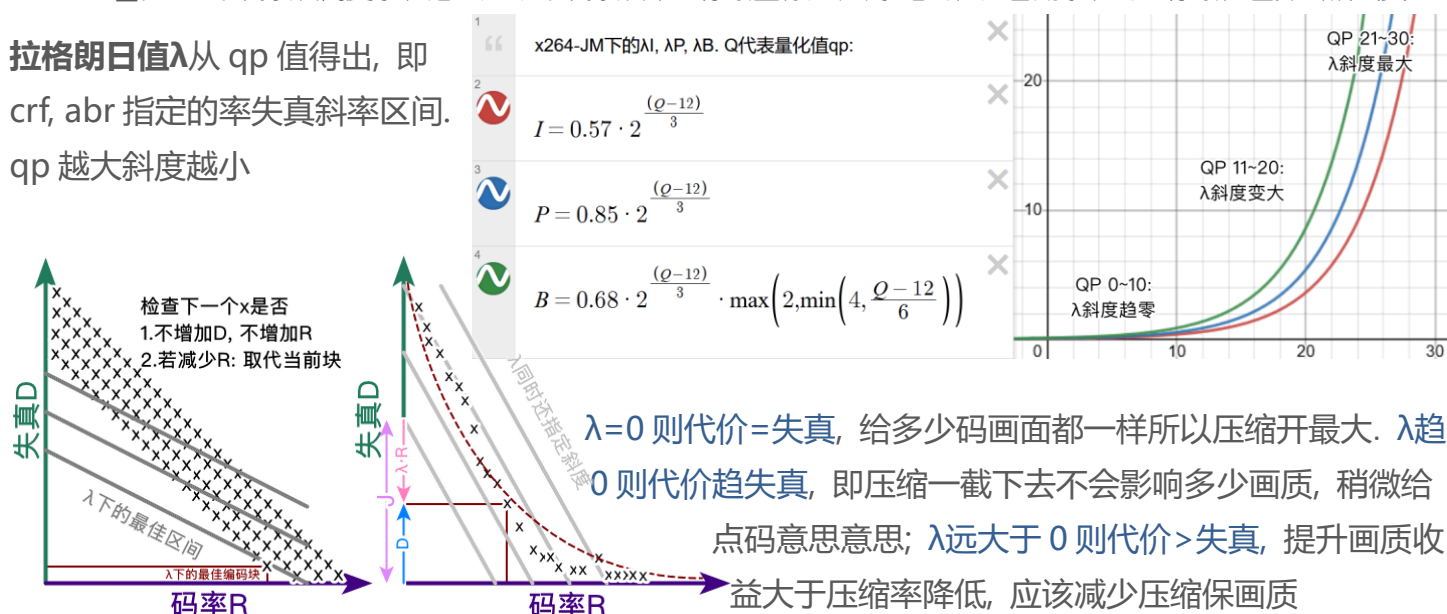
$$(x265) \text{ Mean Squared Error} = 1 \div \text{宽高} \sum_{x=0 \rightarrow T_x} \sum_{y=0 \rightarrow T_y} |f(x,y) - f'(x,y)|^2$$

$$(x264) \text{ Sum of Squared Err} = \sum_{x=0 \rightarrow T_x} \sum_{y=0 \rightarrow T_y} |f(x,y) - f'(x,y)|^2$$

$$(x264 \text{ fgo}) \text{ NSSE} = \sum_{x=0 \rightarrow T_x} \sum_{y=0 \rightarrow T_y} |[N(x,y) - N'(x,y)] \cdot \text{fgo}| + |f(x,y) - f'(x,y)|^2$$

- $\sum_{x=0 \rightarrow T_x}$ 代表块宽度求和范围, $f()$ 和 $f'()$ 分别代表参考块和参考源
- $\sum_{y=0 \rightarrow T_y}$ 代表块高度求和范围, x, y 代表块中的像素坐标, $|$ 求绝对值, 否则求和时正像素值差异会减去负

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



--psy-rd<浮点 0~50 默认 2, 需 rd3, 默认 0 关, 和 x264 不同>心理视觉优化影响率失真优化的程度, 增加量化块的能量, 抗拒帧内搜索, 使模式决策 mode decision 遇不到差选项. 注意搭配 psy-rdoq 使用. <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

参数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, 建议开, 需 rd 5>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, 已关>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

峰值信噪比 peak signal-to-noise ratio/PSNR

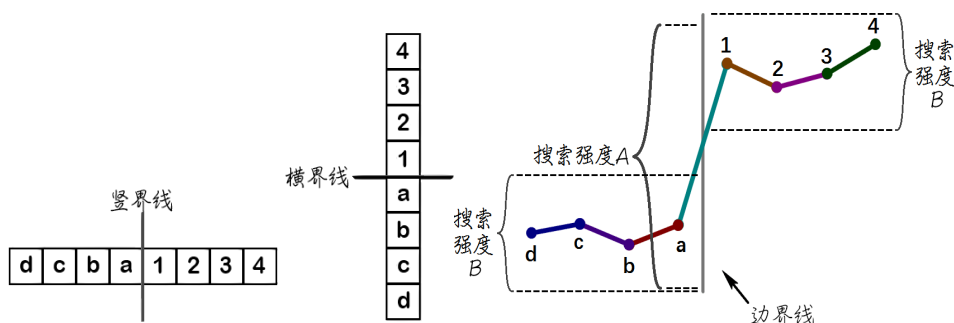
信号电压声音强度都用分贝表示, 因为分贝通过信号值越大/越小, 电平增长越弱的对数线 $y=\log(x)$ 显示. 功率转 dB 的算式即

PSNR=10log₁₀(最大÷当前). 最大÷当前即最大像素值÷MSE; 8bit 下 256÷MSE; 10bit 下则 1024÷MSE

环路滤波-去块滤镜

修复高量化 qp>26 时宏块间出现明显横纵割痕瑕疵的平滑滤镜. 编码器内去块相比于外部滤镜能得知压缩待遇信息(两个相邻块的量化, 参考待遇差异是否过大)从而避免误判原画纹路. 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/已编码系数
- 平滑 1: a 与 1 皆非帧内块, 皆无参考源/已编码系数, 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/已编码系数, 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, <0~1>时略微降低锐度, 适合串流
- 平滑<-2~-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~-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~-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像素大小的 3x3 采样域
- 由 3x3 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
- 中心像素的值同时小于旁像素, 同时大于旁像素, 等于任意一边像素的条件, 否则视作非边界
- 确保 3x3 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 E0, 2=纵 E0, 3=左倾 E0, 4=右倾 E0, 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

参数融合 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<0~4, 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

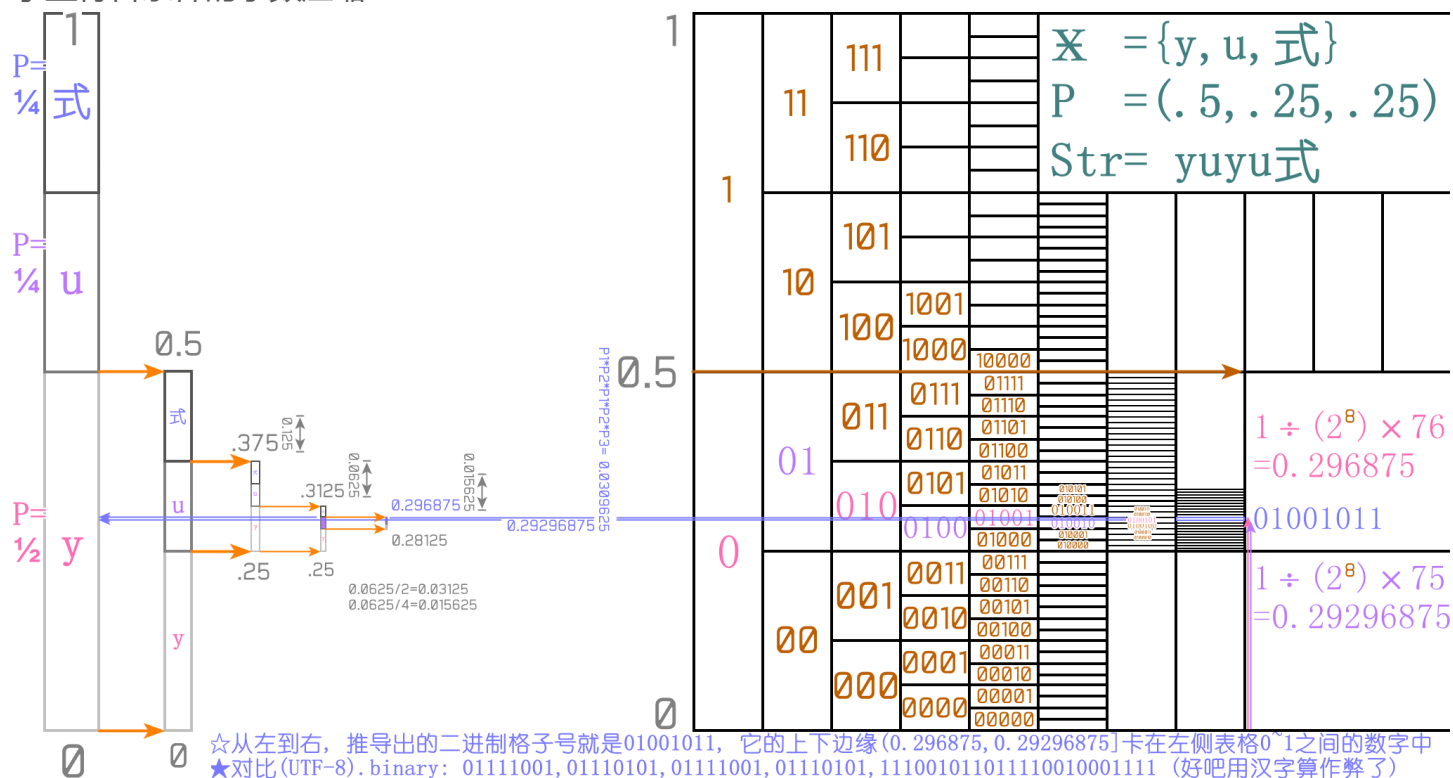
游程编码将降维后的块/条带丢给熵编码(率失真优化要解码检查每道压缩, 所以要经历多次熵编码).

x264/5 中用 context adapt. binary arithmetic coding. 相比于 cavlc 和霍夫曼编码, cabac 的压缩率更好.

二进制算数编码 bac 在 0~1 的模具中, 用匹配符(阵列), 出字概率(次数)及待压内容压缩. 例如

$x=\{y, u, \text{式}\}$ 三种符; 出字 yuyu 式中的概率 $P=.25, .25, .5$ 故照下图规律, 经 8 层细分后给出二进制格

子里符合条件的小数压缩:



在此基础上增加上下文词典编录能力, 即根据游程编码给的块, 比如 $\mathbb{X}=\{\text{ng, a, b, b, b, b, be, a, b, qs, q, ..., EOF}\}$, 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

上图例子若用 0.419, 0.11 这样的出字概率, 算数编码仍能精确的压缩, 但是我不想算饶了我吧. 但霍夫曼编码的精度会被分支一次只能 $\div 2$ 的限制挡住, 所以尽管自带词典, 但因为压缩率根本比不上所以被淘汰了

SEI 维稳优化消息

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<md5, crc, checksum, 默认无>sei 里加效验码, 播放时可用以对图像重建纠错来减少失真, 三种方式中 md5 播放时所需算力较高, 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溃的机制

--frame-dup<开关默认关，必须开 vbr 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

参自 [pugetsystems.com](#): Cinebench, 虚幻 5 上 5800X 比 5800X3D 快近 10%反映了持续计算下 5800X 频率更高的优势; 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, Premiere, 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. 因此压制的视频越长性价比越低. 但中间若有一堆内存读写间歇, 3D 缓存处理器就能用低延迟读写赢回速度

--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>使用平行帧内搜索, 目前出现了难以应付噪点, 会造成画质下降, 码率提高的问题

--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 $O(\cdot \times \cdot)$. 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:

1. ctu 比宏块大, 相似性降低了
2. 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 设定下来不及找就跳过
3. 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>使用平行动态搜索 parallel ME, 已关. 多开几个动态搜索, 榨干所有剩余的 CPU 算力 (如 frame-threads 1 时). 若已占用 100%则别用(@ -Д -@;)

--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 应用早期因制定方猜不出元数据主次, 所以制定主 master-display, 次 maxcll. 但现在...hdr 电视只读取"次要"的 maxcll 和 maxfall, 并且忽略"主要"的 master-display. 另外光强/光压的单位是 candela (1cd=1nit)

由于 bt601, bt709, HDR-PQ, HLG 标准所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

--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, 搞得这么麻烦大概是因为业内公司太多. 默认未指定. 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)

--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          max-cll 1000,640. master-display 由 G(13250...开头,
Stream size        : 21.3 GiB (84%) L(10000000,1)结尾
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
```

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

--hdr10<自动开关>当 master-display, max-cll 启用就在 sei 中指示 hdr10 相关参数, 原本参数名叫--hdr (和 hdr-opt 一样), 改名是为了指明它能优化新的 hdr10, 而非旧的 hdr

--hdr10-opt<开关, 已关>逐块为 10bit bt2020, smpte2084 视频做亮度色度优化, 其它视频无效

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

--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 等, 如→图的 bt.2020

--colormatrix<字符>播放用矩阵格式/系数: GBR bt709 fcc bt470bg smpte170m smpte240m YCgCo bt2020nc bt2020c smpte2085 ictp, 如上图的 bt2020 non-constant

--transfer<字符>传输特质 transfer characteristics: bt709 bt470m smpte170m smpte240m linear log100 log316 bt2020-10 bt2020-12 smpte2084 smpte428, 上图 PQ 是 smpte st.2084 的标准, 所以写 smpte2084(⊙.⊙)

ffprobe 会将三个信息并一行写: Stream #0:0(und): Video: prores (XQ) (ap4x / 0x78347061), yuv444p12le (tv, bt2020nc/bt2020/smpte2084, progressive)

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, 两边带双引号>例: --output "输出文件地址+文件名" "输入文件地址+文件名"

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

--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>录像, 录屏和损坏源用. 当输入帧速度慢且常迸发很多帧时的措施:

- <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×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 (¬_¬)

下载 附录与操作技巧

[LigH](#)

[Rigaya](#)

[Patman](#)

[ShortKatz](#)

[DJATOM-aMod](#)

[MeteorRain-yuuki](#)

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

.hevc GCC 9.3 [8-10-12bit] 附 x86 版

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

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

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

lsmash.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·`Σ)

杜比视界 dolby vision 不深入研究

有两种 dv 格式, 单视频流和双视频流, 双视频流有视频层和 db 强化层, 强化层可被一般的 hevc 解码器丢弃, 单视频流就只有私有解码器能播放. 作者认为 dolby vision 还不如光线追踪. 内容和设备生产方要各交各钱合作, 所以用户只能交大钱才能达到标准体验. 而多数用户因剧情而非试听购买设备, 所以更方便的平板电脑, 笔记本电脑还是追剧主力. 另外, 在本教程写出的几年时间里该技术如上述所料, 已经变得没人讨论了

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·)/^

cmd for 循环批量压制(确保文件名无重复, 预先分离出音频, 预先将视频套滤镜渲染好)

给出 bat 文件所在目录下完整 pdf 路径+文件名: for %%a in (*.pdf) do echo '%~dp0%%a'

批量压 mkv: chcp 65001

@ for %1 in (*.mkv) do (x265 [参数] --output 'D:\文件夹\%%~n1.mp4' '%~dp0%1' & qaac [参数] -o 'D:\文件夹\%%~n1.aac' '%~dp0%~n1.flac')

ffmpeg 批量压 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(-_^)

LSMASHWorks 崩溃 0xc0000005 可能是内存问题

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	3	4			8
B 帧筛选	0		2		
cu 树向后 rc-lookahead	10	15	20	25	40 60
lookahead-slices	8			4	1
参考帧	1	2	3	4	5
参考帧限制 limit-refs	0	3		1	0
动态搜索	hex			star	
动搜索范围	57				92
子像素搜索	1		2	3	4 5
矩形分块	0			1	
非矩分块	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
帧内动态跳过 fast-intra	1		0		
B 带帧内搜索 b-intra	0				1
取样迁就偏移	关	开			
P 帧权重	0	1			
B 帧权重	0				1
自适应量化	0	2			
cu 树	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	1				3 4
tu 分裂上限	0			4	0

tune zerolatency 去延迟

连续 B 帧	0
B 帧筛选	关
cu 树	关
转场	关
多线程压制帧数	1

tune grain 最高画质

自适应量化	0
cu 树开关	关
I-P 帧压缩比	1.1
P-B 帧压缩比	1
QP 赋值精度 qp-step	1
取样迁就偏移	关
心理率失真优化程度 psy-rd	4
心率失优可用 psy-rdoq	10
cu 再分裂跳过 rskip	0

tune animation 动画片

心理率失真优化程度 psy-rd	0.4
自适应量化强度	0.4
去块	1:1
cu 树	关
B 帧数量	<preset> +2

tune fastdecode 解码加速

B 帧权重	关
P 帧权重	关
去块	关
取样迁就偏移	关

tune psnr 峰值信噪比

自适应量化	关
率失真优化 rd	关
cu 树	关