x264视频压缩教程**完整版**

欢迎阅读！本教程面向非专业用途, 遇到看不懂的可以直接加群[691892901](https://jq.qq.com/?_wv=1027&k=5YJFXyf)问(`･ω･´)ゞ

# 部分1a: 常识啊常识（｀＾´）ノ

### 封装文件

* MP4是最通用的格式, 适合网站, 电脑, 移动端和网站播放, 对字幕的支持性一般
* MKV可封装几乎所有的已知视频/音频/字幕格式, 就是不能直接导入视频编辑软件
* FLV 是针对轻量化封装, 更适合网站, 电脑, 移动端和网站播放, 支持切分的格式
* MOV由苹果公司研发用于兼容自家软硬件, 也最适合Adobe Premiere
* M4A MPEG for Audio支持多种音频流的封装, 实现嵌入封面和详细的艺术家信息
* M3U(8)由苹果公司研发用于在线播放音频的封装(然后被用于视频封装), 8指UTF-8编码

文件, 流文件与模拟信号的打包叫

multiplex/mux

封装,

demultiplex/demux

解封装. 常由

编码

encoding,

解码

decoding操作实现. 编码即压制与转换, 解码即播放或解压缩的逆运算.

硬解

代表用低能耗用途少的专用电路嵌入或做成处理器替代

软解

. 视频硬解有libmxv, opencl, MMAL, direct3D, VDPAU等方案,

硬件视频编码

有nvenc, MMF/Venus, intel-QSV, Conexant, elgato等方案. 最常见的编解码方案位于网络调制解调器而不是显卡声卡上.

**解码压力**

与

### 带宽压力

决定播放-剪辑时解码器, 硬盘-网络传输中卡顿. 一般高压缩代表带宽低压, 解码高压

码率

就是文件体积每秒, 单位Kbps或Mbps. 10MB, 1分钟的视频, 平均是(10÷1×60)×8bit= 1333.3kbps. 10MB, 下载5分钟, 网速即10÷(5×60)=33.3kBps, ×8bit=266.7kbps

色彩

是眼睛捕获特定长度的电磁波, 再经脑补而产生的幻觉, 实际只是频率不同

滤镜工具

Premiere, After Effects, Audition, ffmpeg, DaVinci Resolve, FL Studio, Reaper, Ableton, Photoshop等等. AviSynth(+), VapourSynth严格说是带视频滤镜工具的帧服务器

压制三角形定律



是判断压缩策略和设备购置的方法. 专用编码目的单一, 越难以控制妥协损失; 通用编码目的广泛, 越容易控制妥协损失; 算力高适合通用策略，低则专用

向量

是物理概念, 指瞬间的速度+方向. 无论视频怎么动, 在每帧里各个像素都算直走

### D:\Desktop\教程v2\教程v1\可用分辨率.png宽高-展弦比

aspect ratio是视频或飞行器的宽高标准. 修改分辨率

需要按比例换算.换算时将宽/高除以其对应的比例, 再乘以临边的比例即可缩放出目标边的比例, 小数结果取最接近的偶数即可. 如高720px, 比例是18:9, 宽就是720÷9×18=1440. 图: 16:9下的各种宽和高

**GUI**

graphic user interface图形界面交互(开关旋钮滑块), 上手容易, 但有时缺功能就只能改用CLI

**CLI**

command line interface命令行交互(输命令敲回车), 上手难但越用越方便, 缺功能就改用API

**API**

app. programming interface应用编程交互(GUI/CLI套壳到程序或驱动), 排版瞎眼, 因为设计出来就是给程序用的… 一些视频编码器的修改版就是新加了CLI命令来关联到某个API的版本

单核性能

由处理器核心的设计与制造决定. 增核心面积=降良率, 缩小晶体管=挑战硅元素, 增核心数量=高功耗, 提高频率=挑战热力学. 因此虽然主要看多核性能, 单核性能的提升才是关键

录屏



是将显卡输出的画面返回给cpu压制, 或在显卡, 加速卡上跑硬件编码再存到硬盘上的过程. 相比压制, 一般录屏为了不卡会放弃了画质和文件体积

### 抖动滤镜

有[随机](https://bartwronski.com/2016/10/30/dithering-part-one-simple-quantization/), [蓝噪声, Φ](https://bartwronski.com/2016/10/30/dithering-part-two-golden-ratio-sequence-blue-noise-and-highpass-and-remap/), [Riemersma](https://www.compuphase.com/riemer.htm)等算法, 通过干扰编码器, 用分辨率/音频采样率换位深的补偿, 因此一般视音频高转低位深时用到, 或像奥博拉丁的回归[「抖动即材质](https://forums.tigsource.com/index.php?topic=40832.msg1363742" \l "msg1363742)」的ditherpunk美术. 噪点

是卤化银胶片的颗粒grain, 是增益暗场/无信号产生的雪花, 也是打印喷头与眼感光细胞分布的结果

有损, 无损, 未压缩, 图像vs视频vs音频

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 📷图像 | | 最大RGB YUV CMYK色深 | | | 动图 | HDR | 透明 |
| 有损 | jpg | 8 8 8 | 8 8 8 | 24 24 24 24 |  |  |  |
| 有~无 | gif（编码无损, 颜色少了） | 24×3中取8×3 |  |  | √ |  | 仅1bit |
| webp | 8 8 8 | 8 8 8 |  | √ |  | √ |
| jpg-XR（兼容jpg） | 32 32 32 | 8 8 8 | 16 16 16 16 | √ | √ | √ |
| avif, heif/heic, filf | 32 32 32 | 16 16 16 |  | √ | √ | √ |
| 无损 | pdf, jpg-LS, png | 16 16 16 |  | 32 32 32 32 | 仅mng |  | √ |
| 有损~无损~未压 | tif | 16 16 16 | 8 8 8 | 128 128 128 128 |  | √ | √ |
| 未压缩 | raw, bmp | 24 24 24 |  |  | 仅raw | √ | √ |
| dpx | 64 64 64 | 16 16 16 |  | √ | √ |  |
| 🎥视频 | | RGB/YUV色深 | | 编码速度 | | HDR | 透明 |
| 有~无 | qt, [hevc](https://x265.readthedocs.io), avc, vvc, vp8/9, DNxHR/HD, prores | 12 12 12 | | 慢~快 | | 除avc, vp8 | 仅prores |
| 无损 | rawvideo | 32 32 32 | | 快 | |  | [√](#_生成透明rawvideo) |
| [cineform](https://github.com/marksfink/cfenc) | 16 16 16 | | 快 | | √ |  |
| 有损~无损~未压 | flash动画 | 里面的图片决定 | | | | | |
| 🎶音频 | | 音质 | | | | | |
| 有损 | mp3, aac, ogg(vorbis/opus) | 取决于耳机/音响, 混音, 声场. 但你要是不知道HiFi和监听音频的区别, 就无需太关注这个 | | | | | |
| 无损 | flac, alac, ape, it |
| 未压缩 | wav |

色彩空间color space

如下表, 或([B](https://www.bilibili.com/video/BV1TA41147RY/), [Y](https://www.youtube.com/watch?v=FTKP0Y9MVus)站)的科普视频, 包括色度采样, 色彩平衡, 调色基础, 调色工具原理, 心理视觉原理, 多媒体色彩控制

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 🎆色彩格式 | 构成色 | 特点 | 存在原因 | 支持范围 |
| RGB | 红绿蓝 | 最常用 | 使显示器/照相机通用 | 几乎所有可视媒体 |
| ARGB | α红绿蓝 | 透明通道 | 不用抠图了 | 图片, 部分视频 |
| CMYK | 湛洋黄黑 | 减法色彩 | 多卖一盒墨 | 打印纸 |
| YCbCr (YUV, 似YPbPr) | 白蓝-黄红-绿 | 压缩 | 压缩视频图片 | 所有有损压缩 |

色度采样chroma subsampling

写作A:B:C; 每个长A的空间, 首行B个色度像素, 第二行C个

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 👾采样 | 1920x1080下宏观 | 色度微观, 宽A高2 | | | | 特点 |
| 4:4:4 | 亮度, 色度皆1920x1080 | 色素 | 色素 | 色素 | 色素 | 逐行扫描, 直接读写亮色度而不用算, 所以剪视频最快 |
| 色素 | 色素 | 色素 | 色素 |
| 4:2:2 | 亮度不变, 色度960x1080 | 色素 ← | | 色素 ← | | 逐行扫描progressive, 颜色像素靠插值interpolation还原. 直接读写亮度所以剪视频比RGB快, (反正一般看不出来) |
| 色素 ← | | 色素 ← | |
| 4:2:0 | 亮度不变, 色度半宽半高960x540 | 色素 ← ↑ ⬉ | | 色素 ← ↑ ⬉ | |
| 4:1:1 | 亮度不变, 色度1/4宽全高480x1080 | 色素 ← ← ← ← | | | | 分行扫描interlaced, 横着扫就不会把另一场的帧参考而浪费算力了. pixel aspect ratio指变宽比(原视频宽: 输出视频宽) |
| 色素 ← ← ← ← | | | |
| 4:1:1 par4:3 | 亮度3/4宽全高, 1440x1080色度3/16宽全高, 360x1080 | 色素 5.333×← | | | |
| 色素5.333×← | | | |
| 4:2:0 par4:3 | 亮度3/4宽全高, 1440x1080色度3/8宽半高, 720x540 | 色素2.667←↑ 2.848 ⬉ | | 色素2.667←↑ 2.848 ⬉ | | 逐行扫描, 非方形亮度像素, par通常是4: 3~~要不然太烧脑了~~ |

色深

color-depth代表亮度Y的明暗密度. 210代表1024, 28和子网掩码一样代表256个度; 度数不够会出现画面渐变色带banding, 以及音频低音糊掉的问题. 可用频闪或抖动来缓解

### 伽马

gamma/希腊符γ代表亮度Y值或信号强度,

### 伽马曲线

指显示器电压→亮度坐标系中, 0~max电压与亮度0~100%的曲线关系, 以及人眼最为重视低中亮度变化的特性.

### 伽马矫正

分为消除硬件缺陷, 如CRT屏要放大电压到才能显示线性灰阶; 以及"矫正"RAW画面的线性亮度于人眼看来是"漂白"两种. sRGB标准将矫正过程略作"因为显示器默认将画面黑化, 所以录制时将RAW画面白化, 显示器就能线性的显示亮度了". 因此处理RAW媒体时, 要开启"按伽马系数混合RGB颜色, 伽马值=1 (Adobe软件默认关)"才能正确显示和滤镜处理画面颜色

### **逐行扫描**

progressive按左🡪右及上🡪下的顺序刷新帧, 例如宽达4像素, 高1080像素的逐行扫描视频就和1920x1080逐行扫描视频一并叫做1080p视频.

分行/隔行/交错扫描

interlaced用4:1:1采样, 分

上场

: 奇数及

下场

: 偶数像素场(详见教程尾)

帧数

是图片数量每秒, 电影, 纪录片的帧数通常是24, 25帧, 网络视频的帧数应该是30, 60帧. 而

小数帧率

如23.976, 29.97帧不是为节省码率, 而是抗模拟信号干扰用, 网络视频用了会丢帧

视频网站定律

指对低流量作者限码, 高流量作者码率优待的国际现象, 所以想要画质就得先出名

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 🧠芯片架构 | 优 | 劣 | 用于 | 适用 |
| Reduced Instruction Set Computer  精简指令集电脑(RISC架构, CPU) | 堆软件设计, 堆核心 | 编程难优化, 同频率更慢 | 省电电脑 | 通用 |
| Complex Instruction Set Computer  复杂指令集电脑(CISC架构, CPU) | 堆硬件工艺, 堆制程, 堆核心, 性能提升困难 | | 一般电脑 | 高速+通用 |
| Application Specific Integrated Circuit  定制集成电路方案(ASIC架构, TPU) | 省电快速低延迟 | 功能+1≈设计难度×10 | 专用电脑 | 省电+专用 |
| Application Specific Standard Product  特定应用通制方案(SoC, CPU±GPU±NPU) | 什么都能往里塞 | 功耗易爆 | 一般电脑 | 按需杂糅 |
| Field Programmable Gate Array  当场可编程门阵列(FPGA架构, CPU) | 都能模拟, 高带宽低延迟 | 使用门槛高 | 搜索引擎 | 半通用+互联 |

指令集

是操作处理器与内存间读写复制粘贴计数寻址来满足软件需求的代码, 随处理器发展变迁

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 📙 编程语言语法 | 类 | 优 | 劣 |
| Fortan, C语言, Cyclone, Erlang | 底层 | 编译后快 | 程序员水平≌性能 |
| C#, C++, Rust-Haskell, Java | 双层 | OOP | |
| tcl/tk, R语言, PHP, Ruby, Python, JavaScript, Go, F#, Visual Basic等 | 上层 | 自动指针管理 | 不适合大型程序 |
| 用上层语言调用下层库的语法 | 折中 | 以上所有 | 占硬盘内存 |
| SQL, Bash, CMD, PowerShell, GNU Grub, Cisco IOS, Markup(HTML), CSS, Markdown | 论外 | 能用 | 离不开环境 |

数值格式

是计算机标准或开发系统自定的变量定义. 种类多是因为曾经内存比黄金贵

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 格式 | 说明 | 位 | 从零数最小最大 |
| Bool | True/False, 由于占二进制一位所以也分别代表1和0, 故用于开关 | 1 | 0, 1 |
| Byte | ASCII字符位, 共1~256个符号, 顺便可表示数字大小以省内存 | 8 | 0~255 |
| SByte | 将二进制下首位改为表示正负符号Sign, 正整数范围减半 | 8 | -127~127 |
| Integer | 整数, 简称int, 小数点前1位/个位. 不同语境会分别判定长/短整数为int |  |  |
| Short | 短整数, 简称int或int16 | 16 | -32768~32767 |
| Uint | 去正负号(Unsigned)的短(或长)整数, 一般为短整数(Unsigned short) | 16 | 0~65535 |
| Long | 长整数, 简称int或int32, 调用较慢 | 32 | -2³¹~2³¹-1 |
| Long64 | 长整数, 简称int或int64, 储存的整数数量最大, 调用慢 | 64 | -2⁶³~2⁶³-1 |
| Float | 单精度浮点, 精确到小数点后7位, 同时只用了32位, 调用较慢 | 32 | ±3.4×10³⁸ |
| Double | 双精度浮点, 精确到小数点后15位, 适用于低误差科学计算, 若数据量大则加内存 | 64 | ±1.7×10³⁰⁸ |
| Decimal | C#/.Net中财务计算用, 牺牲整数位数保小数位数到29位而省算力保精度 | 96 | ±7.9228×10²⁸ |
| NaN | 非数值Not a Number的缩写, 判定用户写错了或者写对了 |  |  |

# 食用方法, 注意事项

### 教程中的命令行参数说明写法:

--参数名

<开关|整数A~B|浮点A~B|其它格式, 默认值, 限制>说明信息

* **细**化说明N, 或参数值为N时细化说明或适用范围
* 格式为"开关-关"时 在CLI, API格式中皆不写, 用于保持默认, 或写对应否定参数"--no-参"或"no-参=1"
* 格式为"整数-略"时 在CLI, API格式中皆不写, 用于保持默认, 或写对应否定参数"--no-参"或"no-参=1"
* 格式为"开关-开"时 在CLI中填"--开关", API填"开关=1"
* 格式为"整数-写"时 在CLI中填"--参数 值", API填"参数=值"
* 串连多个参数时 在CLI中填"--参数 值 --开关 --参数 值", API中填"参数=值,开关=1,参数=值"

### 命令行参数Command prompt一般用法

[引用程序] C:\文件夹\x264.exe

[CLI参数] --me esa --merange 48 --keyint 100 [其它参数]

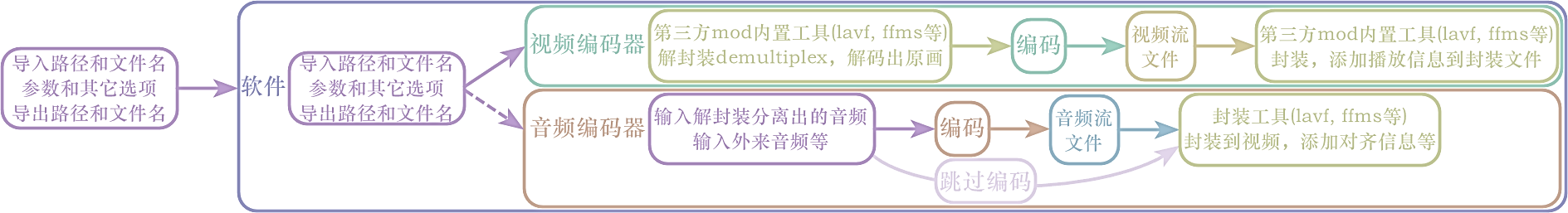
[导出, 空格, 导入] --output C:\文件夹\导出.mp4 C:\文件夹\导入.mp4

[完整CLI参数] x264.exe --me esa --merange 24 [参数] --output "导出.mp4" "导入.mp4"

### Win-CMD/Linux-bash输出log日志

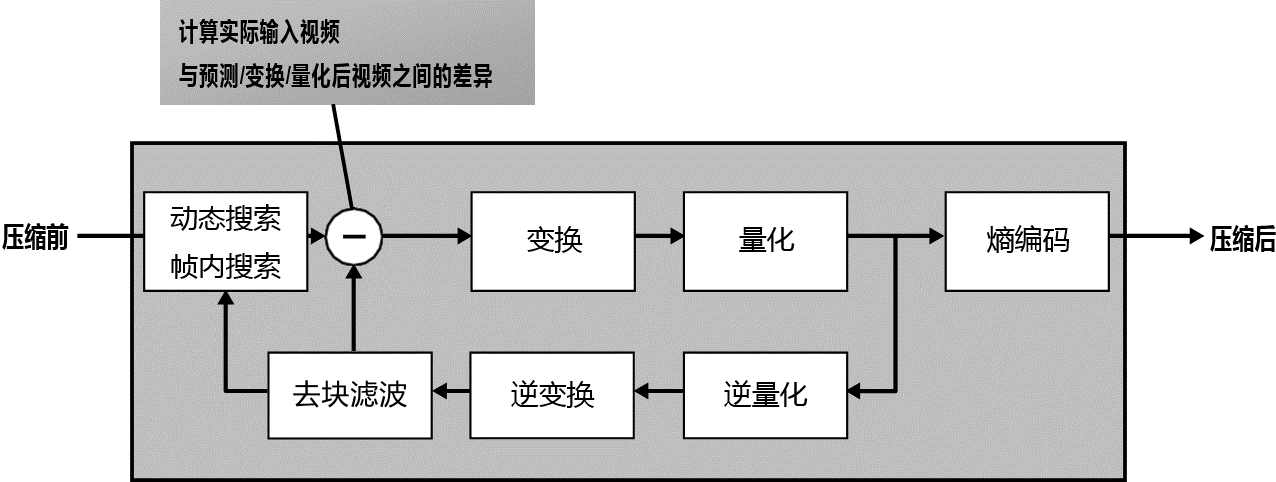
* Windows CMD: x264.exe[参数] 2>C: \文件夹\日志.txt [参数还可以写在右边]
* Linux Bash(或其它): x264 [参数] 2>&1 | tee /home/文件夹/日志.txt

### 压制软件工作流程概述



# 正片 - x264的原理及数据类型ヽ(; ▽; )ノ

AVC标准下, h264/x264编码器给出的文件由大量的图组Group of Pictures - GOP堆砌而成, 每帧从宏块开始细化到最小4x4的块



## 宏块

: AVC视频标准定义为16x16大小的初始分块结构, 在此基础上x264会根据画面继续分块

## GOP

: group of pictures, 视频中代表一组由参考帧和非参考帧组成的子视频

## 关键帧

: 由(min-)keyint参数决定, scenecut参数判断. 一般作为gop开头

* I帧是图像, 给两侧B, P, b帧做参考. 在距离IDR帧过进又因画面变化触发转场时节省设立IDR帧的算力
* IDR帧创建进度条落点access point. 使得左右割为独立的子视频, 不再相互参考, 降压缩率将编解码难度
* 将视频分割成独立GOP限制了储存或传输介质损坏波及视频的程度, 因为压缩掉的冗余信息会指向参考源, 否则一旦参考源损坏, 或者网络串流丢包就会"烂一大片"
* IDR/I帧质量为P帧的1.4倍, 即参数ipratio 1.4, 约为-3qp的量化值偏移offset

## 参考帧

: 有IDR, I, P, Pyramid-B, 以及B帧五种. 区分P, B帧由b-adapt参数决定

* P帧含I P宏块, 上下帧不同但有压缩价值时设立. 往进度条前参考, 叫prediction frame
* Pyramid-B帧含I P B宏块, 上下帧几乎一样时设立. 给左右b帧参考, 实现了更长的连续b帧. 如IbBbBbBbP
* P帧质量为B帧的1.3倍，即参数pbratio 1.3，约为-2qp的偏移

## 非参考帧

: B帧, 其中的信息完全来自参考帧. 和Pyramid B帧统称bi-prediction frame

--min-keyint

<整数, 默认25>判断新发现的转场距离上个IDR帧是否小于该值长短. 有两种设定逻辑, 而它们给出的画质都一样:

* 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

--keyint

<整数>一般设9×帧率(9秒一个落点), 影响视频解码计算难度和拖进度条的延迟

* 短视频, 不拖进度条可以设keyint -1稍微降低文件体积
* 剪辑素材, 频繁于多个视频(轨道)上访问画面, 根据画面复杂度设5~2.5秒一个, 即2.5×fps降低解码负载

--ref

<整数1~16, 推荐3或 1%×fps+3.4>溯块参考前后帧数半径, 一图流设1. 必须要在溯全尽可能多块的情况下降低参考长度, 所以推荐3

--no-mixed-refs

<开关>关闭混合溯块以提速, 增加误参考. 混合代表16×8, 8×8分块的溯帧

--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. 指定IDR/I帧qp17, P帧qp20, B/b帧qp22就填写"--qp 17 --ipratio 1.1765 --pbratio 1.1"

# 初始化与Lookahead

前瞻与分块等进程最早启动. 设定帧类型(关键帧, 参考帧), 间接影响了mbtree, VBV, 决定了ABR, CRF模式的初始数据.

x265教程中展开SPS/PPS的信息. 流程如下:

1. 从--seek参数指定处开始, 将视频帧导入Lookahead进程, 顺序和进度条一样从左往右
2. 后续步骤发现任何GOP结尾时, 当前的h->Lookahead->next->list帧列表就后移相应的帧数
3. **转场判断①:** 当输入的第0帧是AUTO/I帧, 且与之前/左侧的非B帧差距达到--scenecut阈值-触发转场时设IDR

* 设IDR(或受--open-gop限制而设I帧)后, 其前一帧强行设为P帧, min-GOP遂变GOP, Lookahead列表后移

1. **P/B区分:** 据--b-adapt指定的算法, --bframes的最大连续B帧长度区分出P/B帧. 得到如PBBBPBP的序列

* 为保证超长连续B帧可行, --b-pyramid参数让偶数的连续B帧变成参考帧

1. 单B帧/连续B帧与其后的P帧视为min-GOP
2. mbtree搜索时-空间范围内的块分布, 找出少见宏块后记下拉高量化值qp的偏移程度
3. **转场判断②:** mbtree跑完后, 计算输入帧与上个关键帧的距离, 超出--keyint阈值参数则设为IDR

* 设IDR(或受--open-gop限制而设I帧)后, 其前一帧强行设为P帧, min-GOP遂变GOP, Lookahead列表后移

1. 按--rc-lookahead参数指定的长度为一组, 通过做差大致给出一组帧的预设量化值qp备用
2. VBV进程检查rc-lookahead范围内给的qp是否能控住码率, 超码则提高这批qp备用

--scenecut

<整数, 不建议修改>Lookahead中, 两帧差距达到该参数值则触发转场

--rc-lookahead

<帧数量, 范围1~250, 推荐keyint÷2>指定mbtree的检索帧数, 常设帧率的2.5~3倍. 高则占用内存增加延迟, 低则降低压缩率和平均画质. mbtree会自动选择--rc-lookahead和max(--keyint, max(--vbv-maxrate, --bitrate)÷--vbv-bufsize×fps)中最小的值作为检索帧数

--lookahead-threads

<整数, Lookahead线程>开opencl后可据显卡算力与显存速度, 手动提高

--bframes

<整数, 0~16, 建议3~14>连续最多B帧数量, 超出则设P帧, 大则理论压缩好, 剪辑素材小则好以优化解码器的算力占用, 以及移动设备用软解时更卡更烫

## P/B帧推演-维特比最短路径算法

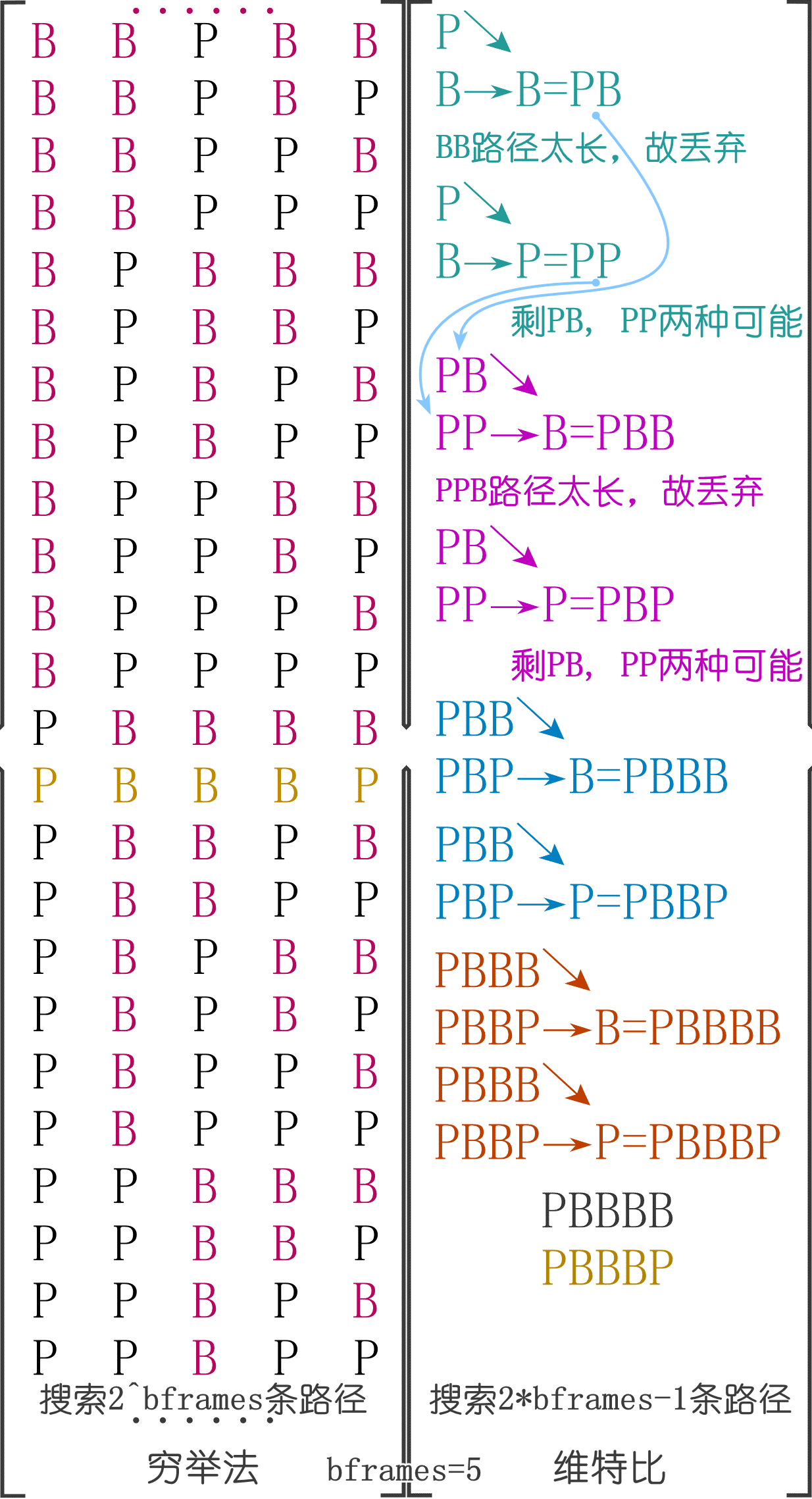
Viterbi是多起点-多终点的最短路径shortest path算法, 似A\*, Dijkstra, 推演B/P帧是多起点多终点最短的隐马尔科夫模型

图: bframes5, 每层迭代保留B/P枝梢, 每枝梢反推一次最短根路径, 得到累计距离最短(即总和帧大小最小)而获最小码率方案

--b-adapt 2

<所有情况, 整数0~2, 建议2>0代表不设B帧

## Video Buffer Verifier (VBV) - 缓冲条件控制量化

手动指定网络设备缓冲速度kbps, 以限画质保码率. 与CRF模式一并使用时为VBR双层模式

--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. bufsize÷maxrate=编码/播放时解出每GOP原画的缓冲用时(秒). 相当于要求每个编码GOP的平均大小. 编码器用到是因为模式决策需要解码出各个压缩步骤内容与原画作对比

--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≤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:GOP大小=bufsize=2×maxrate, 码率超+缓存满后压缩, 避多数码率涨落, 适合限均码率串流
* 小:GOP大小=bufsize=1×maxrate, 码率超限后压缩, 避部分码率涨落, 适合限峰值码率串流
* 超:GOP大小<bufsize=1~2×maxrate,超码超限后压缩, 但因视频小/crf大所以没啥作用
* 欠:GOP大小>bufsize=1~2×maxrate,码率超限后压缩, 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

--ratetol

<浮点, 百分比, 默认1>ABR/2pass/VBR的码率超限容错tolerance, 参数值代表允许误差码率对比maxrate设定的超限%

# 动态搜索Motion Estmation

查找帧间的移动变化信息, 以冗余掉帧间重复块. 剪辑软件中偏移1~5帧重叠两层所同视频, 用相减混合模式即可实现. 所得结果可以用减淡-添加混合模式作动态强化层用, 简称ME. 进一步和源视频对比, 使动态向量可精确到亮度块的1/2或1/4像素位置

--me

<dia,hex,umh,esa, 推荐umh>算法从左到右依次复杂化, umh之前会漏掉信息, 之后收益递减

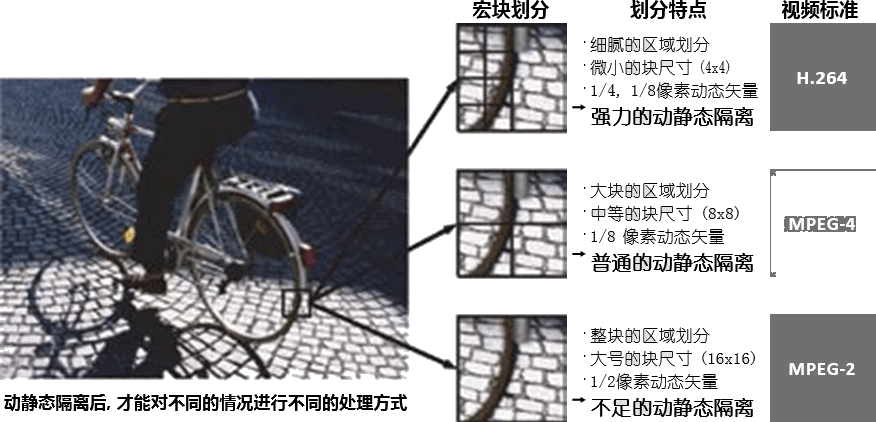
--merange

<整数>越大越慢的动态搜索范围, 建议16, 32或48. 由于是找当前动态向量附近有没有更优值, 所以太大会让编码器在动态信息跑不到的远处找或找错, 造成减速并降低画质

--no-fast-pskip

<开关>关闭跳过编码p帧的功能. 建议在日常和高画质编码中使用

--direct auto



<开关, 默认spatio>指定动态搜索判断方式的参数, 除直播外建议auto

--non-deterministic

<开关, 对称多线程>让动态搜索线程得知旧线程实际搜素过, 而非参数设定区域. 理论上能帮助找到正确的动态矢量以增强画质, 增加占用, "deterministic"代表完算性, 即"算完才给出结果的程度", 反之是"欠算性"

--no-chroma-me

<开关, 建议直播/录屏用>动态搜索不查色度平面, 以节省一点算力加速压制

# 运动补偿Motion Compensation

动态搜索预测让块间精确到整数像素地连起来, 而补偿是对齐到1/4亮度及1/8色度子像素以保细节. 简单说是检查动态预测块的向量分量, 若为整数, 如(+1, +1); (+0, -1), 则说明动态信息和源对齐而无需补偿; 否则计算帧间插值并用小范围的动态搜索取

**绝对差异和Sum of Absolute Difference**

或

**绝对变换差异和Sum of Absolute Transformed Diff.**

精确对齐向量并得到高画质的补偿块

* ∑x=0🡪Tx代表块宽度求和范围, f()和f'()分别代表参考块和参考源
* ∑y=0🡪Ty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

--subme

<x264中影响模式决策和率失真优化. 整数范围0~10, 60fps=9, -=8, +=10>根据片源的帧率判断. 分四个范围. 由于动漫片源制于24~30fps, 因此可节省一些算力; 但同是动漫源的60fps虚拟主播则异. 主流120Hz的手机录屏目前最高也不够用. 由于性能损耗大, 所以不建议一直开满

* <1>逐块1/4像素SAD一次, <2>逐块1/4像素SATD两次
* <3>逐宏块1/2像素SATD一次, 再逐块1/4像素SATD一次
* <4>逐宏块1/4像素SATD一次, 再逐块1/4像素SATD一次
* <5>+增加双向参考b块
* <6>+率失真优化处理I, P帧; <7>+率失真优化处理I, P, B, b帧
* <8>+I, P帧启用rd-refine; <9>I, P, B, b帧启用rd-refine
* <10, 边际效应等于压缩, trellis 2, aq-strength大于0>+子像素上跑me hex和SATD比找参考源
* <11, 边际效应大于压缩>+关闭所有10中的跳过加速, 不推荐. 原本是为了trellis 3设计的

## 加权预测weighted prediction / 帧内编码:

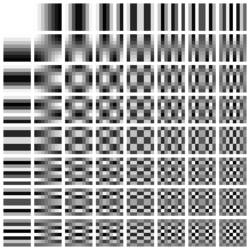
详见x265教程

--weightb

<开关, 默认关, 推荐开>启用B条带的显隐加权预测, 提高全屏明暗变化的编码质量

# 变换

将音量, 亮度, 温度, 压力等信号整理为低频到高频的分量, 模拟信号转数字信号的主要步骤

具体是在宏块上用

## 二维离散余弦变换2D-DCT

, 即「预制的二维波形模具」, 通过穷举加减将源的内容一点点抽薪成平面, 攒出的各系子波形强度level合成为变换块, 其"像素"叫做

## 系子coefficients

, 而强度本身可以是负值, 代表反相的波形; 也可以是小数, 代表强度低的波形(但很少见, 因为计算机不擅长浮点计算, 当然人也不擅长); 左上角的平面波形叫做直流DC, 其余为交流AC

# 量化

用一种低通滤镜减少变换块的高频分量, 保留低频分量实现压缩

具体是根据不同量化强度, 不同块类型(亮度, 色度, 16x16, 8x8, 4x4), 给出对应变换块的量化除法表, 所有除法表都是高频除数大; 低频除数小; 每个DCT系子一对一点除, 实现高频分量的减少. x264通过将量化值Quantization Parameter (qp)决定整数量化强度, 映射到除法表中除数的增量步长Quantization Step-size (qStep). qp每增1则qStep加0.125; 每增6则qStep翻一倍, 使其越往后增量越大. 乘进变换-量化表格以根据当前qp缩放其中值的大小:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| qp | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 |
| qStep | 0.625 | 0.6875 | 0.8125 | 0.875 | 1 | 1.125 | 1.25 | 1.375 | 1.625 | 1.75 | 2 | 2.5 | 3.25 |
| qp | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40… |
| qStep | 4 | 5 | 6.5 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 26 | 32 | 40 | 52 | 64… |

在x264中, 变换与量化合并为一个矩阵表格以节省步骤, 如4x4亮度块下为:

得到qp为0, 1, 2, 4, 5下的4x4亮度变换-量化矩阵分别为:

, , , ,

回到量化本身, 如jpeg 8x8亮度变换块的量化, 为源矩阵÷量化矩阵=量化块:

量化值qp大致上存在于以下几处:

* crf/abr → 逐帧qp (或cqp → 全局qp)
* I-P比例 I-P Ratio → P帧qp
* P-B比例 P-B Ratio → B帧qp
* 自适应量化 → 逐块qp
* (率失真优化)模式决策 → 逐块qp
* 率失真优化量化 → 逐块qp
* 色度块qp偏移 → 亮度与色度块qp

# 码率控制模式

据CPU算力, 片源与压制的目的而妥协省时, 清晰或低码. 简单说一般默认crf, 直播算力够用则crf或vbr, 直播节省算力用abr, 码率限制下用2pass-abr, 测试用cqp

### 平均码率 / Average Bitrate / ABR上层模式

### --bitrate

<整数kbps, 指定则关crf>若视频易压缩且码率给高, 就会得到码率更低的片子; 反过来码率给低了会强行提高量化, 强制码率达标. 一般推流用的"码率选项"即ABR, 快但妥协了压缩与画质

### 质量呼应码率 / Constant Rate Factor / CRF上层模式

--crf

<浮点0~69, 默认23>据"cplxBlur, mbtree, B帧偏移"等内部参数实现每帧分配各自qp的固定目标质量模式, 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

### 恒定量化值 / Constant Quantizer Parameter / CQP上层模式

--qp

<整数0~69, 禁用crf/abr+模式决策+率失真优化>直接设定全局量化强度. 影响其后的, 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

### 常用下层模式

--qpmin

<整数, 范围0~51>最小量化值, 仅在高压环境建议设14~16;

--qpmax

<同上>在要用到颜色键, 抠图要物件边缘清晰时设--qpmax 16以保护录屏时物件的边缘, 但其它情况永远不如no-mbtree

--chroma-qp-offset

<整数, 默认0>h.264规定CbCr的码率之和应=Y平面, 所以x264会拉高CbCr的量化. 用psy-rd后, x264会自动给qp-2至-4. 不用psy-rd时, 4:2:0的视频可手动设-2至-4

### 不常用: zones下层模式 **-** crf-zones及abr-zones两种搭配

--zones

<开始帧,结束帧,参数A,参数B…>手动在视频中划区, 采用不同上层模式来实现如提高压制速度, 节省平均码率, 提高特定画面码率等用途(一般用来"处理"片尾滚动字幕). zones内的me, merange强度/大小不能超zones外. 可用参数有b=, q=, crf=, ref=, scenecut=, deblock=, psy-rd=, deadzone-intra=, deadzone-inter=, direct=, me=, merange=, subme=, trellis=

1. 参数b=调整码率比率, 可以限制zones内的场景使用当前0~99999%的码率, 100%相当于不变
2. 参数q=即QP值, 可以用来锁死zones内场景使用无损压缩(任何rate factor)以做到素材用编码

* 多分区用'/'隔开: --zones 0,449,crf=32,me=dia,bframes=10/450,779,b=0.6,crf=8,trellis=1

### 不常用: **2pass-CRF-ABR特殊模式**

首遍用crf总结可压缩信息, 再用abr的码率限制统一分配量化值. 除非有码率硬限, 否则用crf模式

|  |
| --- |
| --pass 1 --crf 20 --stats "D:\夹\qp.stats" [参数] --output NUL "输入.mp4" |
| --pass 2 --bitrate x --stats "D:\文件夹\qp.stats" [参数] --output "输出.mp4" "输入.mp4" |

**--stats**

<文件名>默认在x264所在目录下导出/入的qp值逐帧分配文件, 一般不用设置

**--output NUL**

<不输出视频文件>;

**--pass 1**

<导出qp.stats>;

**--pass 2**

<导入qp.stats>

### 不常用: FTQP手动模式

--qpfile

<文件导入>手动指定特定帧类型; closed-gop下K帧的frame type qp下层模式. 文件内含"号位 帧类型 QP值(换行)". 指定qp值为-1时使用上层的crf/abr/cqp

# 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再根据其信息复杂度来区分高低两种频率, 实现细化到块上的量化值qp. AQ与VAQ存在混淆.

## 方差

variance代表差→方→和→均的计算顺序. 将数据样本逐个与整体平均做差, 以偏差之和窥数据之衡. 乘方是为方便正负数一起求和计算(算式左的σ也乘方, 优化了正负号在二进制中的额外占用):

VAQ中, 样本即宏块内像素, 所比的平均值为宏块范围的平均像素值. 求和∑因为差异平方和SSE, 以及差异和SAD算过了所以不写, 样本量N就是宏块范围的像素数量. 通过计算像素值的方差, 就能看出哪些宏块含高频信号多, 就实现vaq了

高压缩下, aq强度不足则纹理边缘的码率不足; 过高则平面/暗处的码率不足, 造成涂抹失真; 无损/快速编码时, aq强度低则好, 总的说强度要随CRF/ABR而动. 由于aq不计算帧间关系, 所以aq给出的结果往后还要用mbtree, lookahead, 率失真优化量化(rdoq)来宏观地重分配

--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+0.1~0.2, 画面全是纹理时可再加. 注意低成本动漫的平面多过纹理, 因此码率不足时反而要妥协纹理

# 环路滤波

修复高量化时宏块间出现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, 最高值
* **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, <0~1>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>

# 模式决策

mode decision (MD)整合动态搜索所得信息, 宏观定制分块参考量化等细分方案. 因为选码率最小的压缩方案不平衡, 画质容易崩坏. 注意片源含明显边缘失真时反而要减少决策优化

--deadzone-inter

<整数0~32, 默认21, trellis=2时无效, 小于2自动开启>简单省算力的帧间量化, 细节面积小于死区就糊掉, 大就保留. 一般建议8, 高画质建议

--deadzone-intra

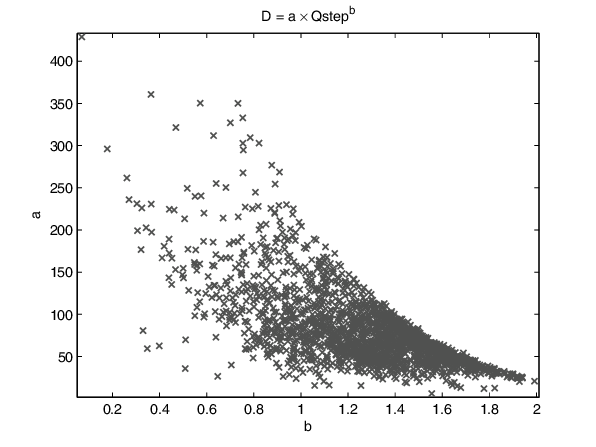
<整数, 范围0~32, 默认11>这个顾及帧内. 一般建议5, 高画质建议4

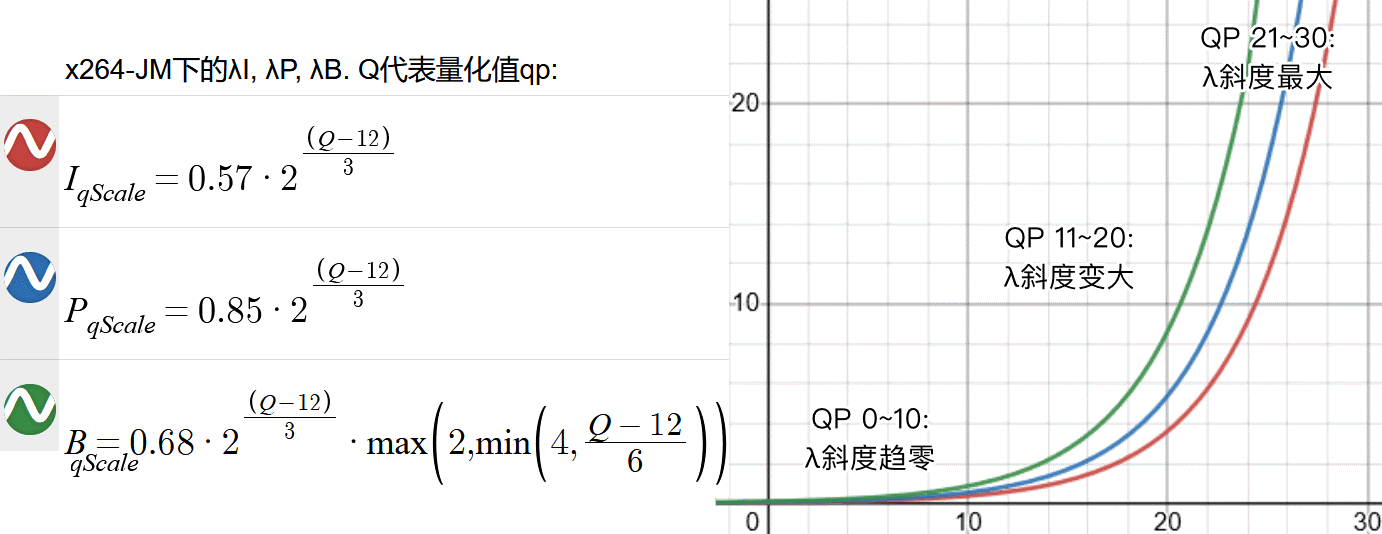
# 率失真优化RDO控制

心理视觉phycological visual是对体感清晰度的研究.

率失真优化

rate distortion optimization穷举测算失真(动态预测, 变换量化, 模式决策等前后差异)点, 挑低于率-失真曲线的方案(开销=失真+λ·码率; J = D + λ⋅R)实现模式决策. 失真D用差异平方和SSE和总差异SAD判断. SSE多取一步平方, 使较大的差异呈指数增长, 进而分到更多码率实现补偿. 取平方的负值转正效果是良性副作用

x264 差异平方和



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. λ=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则代价趋失真, 即压缩一截下去不会影响多少画质, 稍微给点码率意思意思; λ远大于0则代价>失真, 提升画质的收益>压缩率降低的收益(保画质). x264还有直接根据噪声容忍度判断失真的算法. 但libx264, x265都不支持

高频加权总差方

--fgo

<整数默认关, 推荐15左右>改用NSSE, 显著提高噪点和细节保留能力, 难以控制码率

--psy-rd

<a:b浮点, 默认1:0>心理学优化设置. a保留纹理, b在a的基础上保留噪点细节. ab值据画面复杂度拉高. 动漫范围<0.4~.6:0.1~.15>, no-mbtree时可设b为0; 录像<0.7~1.3:0.12~.2>

--no-psy

<开关>若视频量化很低纹理很清楚, 右图毛刺对画质不好就关. 录像中这些毛刺很重要

## 量化值曲线缩放优化qcomp与宏块树率失真优化mbtree

源自libavcodec: 复杂动态场景的帧间参考少而应提高压缩, 分码率给参考多而远的简单动态场景, 实现同码率下整体画质更高的结果. 缺点则是动漫场景等「背景不动前景动」的场景被误压缩. 说到底是处理精度低而非错误, [应逐宏块应用这套逻辑](https://web.archive.org/web/20150224032942/http:/x264dev.multimedia.cx/archives/98), 就有了Macroblock-Tree. 量化值曲线缩放quantizer curve compression则被贬为控制mbtree等一系列qp分配的缩放, 见[desmos互动例](https://www.desmos.com/calculator/aa7rsjuxkr)

1. (ABR模式)根据宏块量与qcomp设置初始复杂度百分比:
2. 获取当前场景的长度及帧间绝对变换差之和SATD, 合成为图像
3. 模糊SATD图像以得到模糊复杂度blurred complexity
4. (关mbtree)转换到质量衡q, 以换算出(ABR或其它上层模式下的)单帧qp
5. (开mbtree)据I帧在当前片段的权重设单帧qp 注: 基准单帧用时÷当前场景用时×I帧用时÷帧率

强度strength, 帧内参考模式成本intra\_cost, 帧间参考模式成本inter\_cost, 当前块传播成本propagate\_in, 传播成本propagate\_cost五个参数. 若一宏块作帧间参考码率比帧内参考下低70%, 则该块可视做30%无帧间参考+70%帧间参考两部分.详见[x264率控制算法](http://lazybing.github.io/blog/2021/06/22/h264-rate-control-algorithm/)及[mbtree\_paper](https://huyunf.github.io/blogs/2017/12/06/x264_slice_type_decision/MBtree%20paper.pdf)

1. 帧内参考成本, 帧间参考成本: 尝试用于帧间和帧内两种模式编码宏块, 累计SATD(误差)得到
2. 帧间参考成本只能<=帧内参考成本, 若帧间参考成本更大则设=帧内参考成本, 类似于P帧码率不可大于I帧
3. **传播成本比率**
4. **宏块信息成本和** , 包括lookahead范围内所有溯该块的宏块
5. **传播信息量** , 即估计传播到下游溯块宏块的信息量=信息成本和×传播成本比率
6. 传播信息量需根据传播到下游不同宏块的像素总数(如块的大小)而删减调整, 如因为动态变化导致参考宏块的范围平移到被下游共4个宏块共享, 此时每个宏块各会参考自身所占的部分

* 对于双向参考的B帧, 传播信息则一分为二, 分别置于连续B帧的两端, 再传播给B帧从而保证压缩率
* 对于加权预测B帧, 传播信息则不等分, 而是权重多的B帧的一端参考帧分到的信息量更多

1. **传播成本** lookahead范围从远到近的溯块宏块累计传播信息量信息越多成本/码率越高, 距离越近成本/码率越高
2. **宏块树强度** qcomp控制mbtree分配qp的强度
3. **宏块qp偏移**  最后根据(每宏块自身信息成本+传播成本)÷帧内模式成本, 缩放到qp值范围, qcomp调整强度, 给每个宏块分配宏块树qp偏移offset

* 大部分情况下mbtree偏移值为零, 因为宏块无溯块信息可用

--qcomp

<浮点0~1, 默认0.6>blurred\_complexity迭代值每次能迭代范围的曲线缩放, 更改ABR模式的初始质量判断, 限制mbtree偏移qp强度的三用, x264会自动根据aq-strength增加qcomp

* <小于0.5>中~强mbtree; CRF, ABR低延迟逐帧迭代qp; 画面主前景动时用, 允许mbtree导致零星宏块欠码
* <0.5~0.7>中mbtree; CRF, ABR中延迟逐帧迭代qp, 画面含背景动, 或混合情况用, 平衡优先
* <大于0.7>中~弱mbtree; CRF, ABR中~高延迟逐帧迭代qp, 保留重噪点, 或FPS/STG游戏录屏场景用
* <关mbtree, 小于0.5>画面不分前背景, 如静态图像, PPT/桌面录屏节约性能用
* <关mbtree, 大于0.5>动态画面, 不分前背景时节约性能用
* <0>(触发if判定)启用固定码率模式
* <1>(触发if判定)启用固定qp模式

**--no-mbtree**

<开关, 不推荐>逐宏块分配前景变背景不变画面的码率(如动漫, 录播)

# 熵编码/文本编码

从像素上看, 变换-量化后的频域块是矩阵, 宜跑文本压缩

## 霍夫曼编码-仅科普

查找全文(pass1)以获取待编码文本各字的出现次数并排序, 合成出字次数最少二字为含其下各出字次数之和, 连接树梢两字的分支heap; 接着合成出字次数最少二字时, 若该支点与另一个字, 或另一个支点的出字次数加起来最少, 则继续合成为「连接两分支的新分支」, 同样作为一个新的可编码文本, 含其下各分支的出字次数之和; 如此反复直到全文被编为霍夫曼树为止. 图解见[geeksforgeeks](https://www.geeksforgeeks.org/huffman-coding-greedy-algo-3/).

结果是出字次数最高的字离树根最近, 解码据树枝代号, 从树根开始0左1右地走到树梢上, 因此需传输的数据多了一个原文各字对应树枝代号的表格. x264使用效率更好的可变长度编码VLC, 及上下文自适应二进制算术编码CABAC, 统称为熵编码, 详见x265教程

## 软判决优化CABAC/CAVLC的率失真再量化

简单说, 限制变换-量化后块中

## 系子coefficients

(转至频域后各频域点的分量)强度level; 甚至偏移当前系子的强度值到临近系子, 实现画质相对更高的等效压缩. 同码率下略提画质, 详见x265教程

--trellis

<整数, 范围0~2, 推荐2>软判决优化CABAC的率失真再量化. <1>调整模式决策md处理完的块, 快速压制用, <2>+帧内帧间参考和分块

# 色彩信息

光强/光压的单位是candela. 1 candela=1 nit

--master-display

<G(x,y)B(,)R(,)WP(,)L(最大,最小), 与x265的格式不一样>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)

--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, 例子见下

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

# 灰度/色深, x264压制log

--fullrange



<开关, 7mod x264自动>启用范围更广的显示器0~255色彩范围, 而不是默认的旧电视色彩范围16~235, 由于16~235的颜色管理更准确且码率更小, 所以能不用Fullrange就不用

# 其他命令行参数

--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

--fps

<整数, 特殊情况>告诉x264帧数

## 线程

--threads

<整数, 建议默认1.5倍线程>参考帧步骤要等其之前的步骤算完才开始, 所以远超默认的值会因为处理器随机算的特性而降低参考帧的计算时间, 使码率增加, 画质降低, 速度变慢

--sliced-threads

<开关, 默认关, 仅建议录屏画面卡顿时用>x264 r607版本从默认"每核心分别处理一条带"变成"一帧", r1364后条带线程模式作为低延迟模式的可选开关重新引入. 开启后导致

1. 熵编码中, CABAC(见x265教程)的模具因为内容不连续所以要经常重设, 降低压缩率
2. 动态信息的动态矢量长度被限制到条带分片内部, 干扰动态补偿, 降低压缩率
3. 帧内冗余降级为条带内冗余, 降低帧内编码压缩率
4. 增加了相当一部分(多余条带与NAL封包的)文件头
5. 大量条带的并行提高了编码单帧的速度, 降低延迟

--slices

<整数, 开sliced-threads, 默认自动>并行条带/线程数量

## 裁剪, 加边, 缩放/更改分辨率, 删除/保留视频帧, 降噪, 色彩空间转换

--vf

crop: ←,↑,→,↓/pad: ←,↑,→,↓/resize: 宽,高,变宽比,装盒,色度采样,缩放算法/select\_every: 步,帧,帧…

/crop: 左,上,右,下

指定左上右下各裁剪多少, 最终必须得出偶数行才能压制

/resize: 宽,高,,,

更改输出视频的宽高, 建议搭配缩放算法后使用

/resize: ,,变宽比,,,

减少宽度上的像素, 剩下的伸成长方形来达到压缩的参数. 任何视频网站都不支持, 但网盘/商用的视频可以用这种压缩方法. 格式为源宽度:输出宽度

宽从1920到1060, 就是96:53(约分后), 就是resize:1060,高,96:53,,,缩放算法

/resize: ,,,,色度采样,

有i420, i422, i444和rgb四种, 默认i420. 在缩小视频分辨率, 或者处理无损源视频时可以尝试使用已获得更好的大屏幕体验. 注意, 被压缩掉色彩空间的视频就不能再还原了

### /resize: ,,,,,缩放算法

/select\_every: 步,帧1,帧2…

通过少输出一些帧以加速压制, 用于快速预览结果, 如:

1. 8帧一步, 输出其中第0, 1, 3, 6, 8号帧: --vf select\_every: 8,0,1,3,6,8
2. 90帧一步, 输出其中第0~25号帧(最大100帧/步): --vf select\_every: 90,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25

(仅7mod-降噪) /hqdn3d:

空域亮度降噪,空域色度降噪,时域亮度降噪,时域色度降噪

默认值是4,3,6,4.5 若是编码画面模糊的源可以尝试默认值1到1.7倍. 若一定要用此参数来降低码率, 可以考虑使用视频编辑软件的模糊滤镜

(仅7mod-加边) /pad:

←,↑,→,↓,改宽(不和加边混用),改高(不和加边混用)

用例(帧率减半, 降噪):

--vf select\_every:2,0/hqdn3d:0,0,3,1.5

## 分场扫描:

--tff

<开关>上场优先.

--bff

<开关>下场优先.

--nal-hrd

<开关, 默认关, 开vbv>开启假想对照解码参数hypothetical ref. decoder param. 零丢包零延迟环境中判断解码器额外所需信息, 写进每段序列参数集sps及辅助优化信息sei里, 适合串流

# 部分3: 开工 - 软件下载与使用(((￣へ￣井)

|  |
| --- |
| **[ffmpeg](http://ffmpeg.org/download.html)** 多系统兼容, 备用地址 ottverse.com/ffmpeg-builds |
| [**mpv播放器**](https://mpv.io/installation/)开源免费强大便携的现代软件, [安装配置教程见网页](https://nazorip.site/archives/1052/), 无色彩错误, 体积小 |
| [**Voukoder**; **V-Connector**](https://www.voukoder.org/)免费Premiere/Vegas/AE插件, 用ffmpeg内置编码器, 不用帧服务器/导无损再压/破解. 只要解两个压缩包, 放Plug-Ins\Common即可 |
| **[OBS直播与录屏](https://obsproject.com/zh-cn/download)** 支持AVS滤镜, 设置复杂但强大, 去[x264教程急用版](https://nazorip.site/archives/334)照着设置 |
| X2[**x264 by Patman**](https://www.mediafire.com/folder/arv5xmdqyiczc), [**LigH**](https://www.mediafire.com/?bxvu1vvld31k1)√lavf编解码, 合并8~10bit |
| [**x264 tMod by jspdr**](https://github.com/jpsdr/x264/releases/)√lavf编解码, 支持MCF线程管理库([比posix和win32性能更好](https://forum.doom9.org/showthread.php?p=1902336#post1902336)) |
| **x264 7mod**[**谷歌盘**](https://drive.google.com/drive/folders/1kFCeNGA_wiiLt-DSeI3cyY8vxlffgQcy?usp=sharing)/[**百度云**](https://pan.baidu.com/s/1sbz8WztGTz3lcLzirHW_2w) √lavf编解码, √hqdn3d降噪 |
| [**Voukoder**; **V-Connector**](https://www.voukoder.org/)免费Premiere/Vegas/AE/达芬奇插件, 用ffmpeg内置编码器, 不用导无损再压/破解. 只要解两个压缩包, 放Plug-Ins\Common即可 |
| [**ShanaEncoder**](https://shana.pe.kr/shanaencoder_download) ffmpeg-CLI或GUI控制少量选项, 高级功能(水印, 高级字幕)用ffmpeg参数控制, 上手需要时间. ffmpeg内嵌编码器, 不能替换文件 |
| D:\Desktop\2017-08-30_181840.png[**Simple x264 Launcher**](https://bitbucket.org/muldersoft/simple-x264-launcher/downloads/) 英文软件, 适合批量压制, 需自行封装音频. 只能压视频, 但处理封装与压制音频, 查看媒体元数据不如小丸工具箱, 上手速度快.  **[小丸工具箱](https://pan.baidu.com/s/1VHonGHoZ0DmQBNZaRjML2A" \l "/)** 提取码"crhu" 中文软件, 压缩音视频, 渲染字幕等, 操作简单. 导入视频, 点击自定义, 将参数拷入, 选好输出格式与滤镜就可以压制了, 网上能搜到详细教程. 内嵌MediaInfo, mp4box, Mkvtoolnix可查看媒体元数据, 封装/解封装, 最适合新手前两个小时 |
| [**MediaInfo**](https://mediaarea.net/zh-CN/MediaInfo)开源免费勤更新方便的GUI媒体元数据/视音频格式读取器, 用于配置正确的压制参数 |
| [**ffprobe**](http://ffmpeg.org/download.html)和ffmpeg同源的CLI媒体元数据/视音频格式读取器, 见[网页教程](https://nazorip.site/archives/169/), 以及[搭配Excel的视频数据可视化](https://nazorip.site/archives/1068/)(于下载ffmpeg的压缩包内) |

# 去可变帧率

片源去VFR

: 防止录像抽干手机电池过快用, 但编辑前需转换. 高端机建议录制恒定帧率

Pipe

:传递一般数据的pipe只要

|

, 如md5sum→awk→sort:

for txt in \*.txt; do md5sum $txt; done | awk '{print $2, $1}' | sort -bn

; 传递文件则使用

- | -

, 首个

-

代表输出, 第二个

-

代表输入. 而

- | - | - | -

即同文件串联多个程序, 但因调度复杂所以一般不用, 如下:

|  |
| --- |
| (仅pipe) ffmpeg -i 输入 -f yuv4mpegpipe - | x264 [参数] - --demuxer y4m --output 输出 |
| (去vfr) ffmpeg -i 输入 -y -vf fps=60 -f yuv4mpegpipe - | x264 [参数] - --demuxer y4m --output 输出 |

-f **yuv4mpegpipe**

<预设字符>ffmpeg pipe输出封装格式, 此处设为yuv for mpeg

-i

<字符>ffmpeg输入参数,

-y

<开关>不询问, 直接覆盖掉同名的文件

-hide\_banner

<开关>ffmpeg不显示banner信息, 减少cmd窗口阅读量

--demuxer **y4m**

<预设字符>x264 pipe解封装格式, y4m是yuv for mpeg

# 其它

### Potplayer音量忽大忽小

~~右键🡪声音/音讯🡪声音处理🡪反勾选标准化/规格化~~, 推荐换mpv播放器

### CMD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, 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"

### .bat脚本技巧

命令最后换行写上cmd /k可以保持CMD输入窗口, 或pause

.bat文件存不了UTF-8字符

在另存为窗口底部选择UTF-8格式

UTF-8 .bat文件中文乱码

开头加上chcp 65001, 打开cmd--右键标题栏--属性--选择

.bat文件莫名其妙报错

Windows记事本会将所有保存的文件开头加上0xefbbbf, 要留空行避开

CMD操作技巧:

换色, 试试这些命令: color B0; color E0; color 3F; color 6F; color 8F; color B1; color F1; color F6; color 6; color 17; color 27; color 30; color 37; color 67

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

生成透明rawvideo:

ffmpeg -f lavfi -i "color=c=0x000000@0x00:s=sntsc:r=1:d=1,format=rgba" -c:v copy output.avi

PowerShell的 pipe:

由于PowerShell内部跑完整个pipe再导出结果的机制不适用于程序间的pipe操作, 因此还是得靠CMD实现, 用cmd /s /c --%以在PS内部调用CMD, 例:

cmd /s /c --% "D:\ffmpeg.exe -loglevel 16 -hwaccel auto -y -hide\_banner -i `".\导入.mp4`" -an -f yuv4mpegpipe -strict unofficial -pix\_fmt yuv420p - | D:\x265.exe --preset slow --me umh --subme 5 --merange 48 --weightb --aq-mode 4 --bframes 5 --ref 3 --hash 2 --allow-non-conformance --y4m - --output `".\输出.hevc`""

# 处理图像序列

一组格式不限的连续图像. 自带lavf的x264/5可根据Win/Linux中的序号表达式, 设定输入

文件名+%0Nd

序号范围实现文件导入,

0

指编号前有空白补位0;

N

即位数. Win/Linux区别仅为路径:

* x264.exe [参数] --fps 30 --output /home/tmp/导出视频.mp4 /home/tmp/图片%02d.png

ffmpeg还可用image2解码器搭配起始序号

start\_number

和表达式类型

pattern\_type

编解图像序列; 其中sequence还是%0Nd, glob改用通配符\*

* ffmpeg.exe -r 30 -f image2 -start\_number 0 -pattern\_type sequence -i F:\图%02d.jpg "F:\视.mp4"
* ffmpeg.exe -r 30 -f image2 -start\_number 0 -pattern\_type glob -i F:\片\*.bmp "F:\频.mp4"

Win系统支持

%0Nd

略差, 批量改文件名也有风险, 此时可用ffmpeg concat滤镜. 首先创建txt列表:

* #Concat格式: 只能用正斜杠以及单引号, 用#注释, Win/Linux区别仅路径
* #可用gif格式的单图, 可混用图片格式, 分辨率一样就行, pdf没试过
* file 'F:/2013/IMG\_20130411\_182854.jpg'
* file 'F:/2013/IMG\_20130412\_125214.png'
* file 'F:/2013/IMG\_20130412\_125307.tif'
* file 'F:/2013/IMG\_20130508\_155625.bmp'
* file 'F:/Asset/2013/IMG\_20130508\_155819.dpx'
* file 'F:/Asset/2013/IMG\_20130613\_133840.jpg'
* file 'F:/Asset/2013/IMG\_20130727\_191243.ext'
* file 'F:/Asset/2013/IMG\_20130727\_191255.isa'

帧率未知, 以及不确定能不能跑通时, 就做一个长10帧左右的列表副本来生成一段未压缩视频流排查

* ffmpeg.exe -loglevel 16 -hwaccel auto -y -hide\_banner -f concat -safe 0 -r 帧率 -i "C:\导入图片列表.txt" -video\_size 2560x1440 -an -pix\_fmt yuv420p "C:\导出视频帧列表\_帧率x.yuv"

-f concat

选择滤镜,

-safe 0

支持绝对路径(从根目录开始),

-r

帧率,

-video\_size

决定分辨率(大多图片格式支持奇数分辨率, 而视频不支持),

-an

关音频编码,

-pix\_fmt

选择和图片格式匹配的色彩空间. 一般情况下可以直接用视频播放器打开, 且应正确显示帧率上方命令跑通, 或确认了帧率后就能用ffmpeg-libx264/5, 从急用版教程里找到对应参数来编码了

* ffmpeg.exe -loglevel 16 -hwaccel auto -y -hide\_banner -f concat -safe 0 -r 15 -i "C:\导入图片列表.txt" -video\_size 2560x1440 -an -pix\_fmt yuv420p -x264-params "rc-lookahead=33: me=umh:bframes=12:b-adapt=2: subme=9:merange=48:fast-pskip=0:direct=auto:weightb=1:keyint=230:min-keyint=3:ref=3: crf=19:qpmin=9:chroma-qp-offset=-3:aq-mode=3:aq-strength=1.1:trellis=2:deblock=0,-1:psy-rd=0.5:0.3:nr=4" "C:\导出视频帧列表\_x264\_帧率15.mp4"
* ffmpeg.exe -loglevel 16 -hwaccel auto -y -hide\_banner -f concat -safe 0 -r 15 -i "C:\导入图片列表.txt" -video\_size 2560x1440 -an -pix\_fmt yuv420p -x265-params "ctu=64:tu-intra-depth=4:tu-inter-depth=4:limit-tu=1:me=star:subme=3:merange=48:weightb=1:ref=3:max-merge=4:open-gop=0:min-keyint=3:keyint=230:fades=1:bframes=8:b-adapt=2:radl=3:constrained-intra=1:b-intra=1:crf=22.8:qpmin=8:crqpoffs=-3:ipratio=1.2:pbratio=1.5:rdoq-level=2:aq-mode=4:aq-strength=1:qg-size=8:rd=3:limit-refs=0:rskip=0:rc-lookahead=33:rect=1:amp=1:psy-rd=2:qp-adaptation-range=3:deblock=0,-1:limit-sao=1:sao-non-deblock=1:selective-sao=3:hash=2:allow-non-conformance=1" "C:\导出视频帧列表\_x265\_帧率15.mp4"

若导出图片序列, 则用ffmpeg-image2解码器导入, 指定图片格式导出:

* ffmpeg.exe -loglevel 16 -hwaccel auto -y -hide\_banner -i 导入视频.avi -r 1 -f image2 -start\_number 0 -pattern\_type sequence -fps\_mode cfr /home/tmp/图片%03d.jpg

# 反交错转逐行与IVTC

播放/检查分行交错扫描源的属性时, 所谓的帧数fps值其实是2×fps的场数fields per second. 逐行→交错视频的变换统称叫Interlacing. 反则Deinterlacing. 进一步修复有去梳Decomb和降噪来后处理剩余的梳状横纹Combing失真. 一般用自动滤镜组解决, 或播放器逐帧查看手动辨别(如mpv逗句号键), 找出原生交错/pulldown电影/VFR/PIP/适应蓝光标准的假pulldown等情况. 若源经由传媒组织多级剪辑, 则常存在编程意义上的"屎山", 即以上所有情况复数出现的视频

### Pulldown

直译为向后拉伸, 因为胶片放映机从上往下曝光胶卷, 即「下等于后」. 反则pullup

### A:B Pulldown

以电影24fps标准逐行→分行→上或下场重复出一定的「一帧三场」以拉伸场率到NTSC 60fps/PAL 50fps场率, 理论上有无限种实现. 又名telecine

### Inverse Telecine (IVTC)

由于当今显示设备皆逐行, 所以老影片恢复到「一帧二场」. 注意原生录制的交错源转逐行不全算IVTC, 因为帧率应保持原样而不恢复到电影标准24fps

### 2:2:2:4/2:2:4:2/2:4:2:2/4:2:2:2(24d)

「一帧四场」卡顿而不常见

### 3:2/3:2:3:2 pulldown(24t)

第一帧拷上场, 第三帧拷下场. IVTC即每10场删除场3, 8(从零数2, 7)

### 2:3/2:3:2:3 pulldown



相比3:2 pulldown延后到5, 10场(从零数设4, 9)

### 2:2/2:2:2:2 (not) pulldown

据PAL制式直接播放的视频会略快于音频. 故当心音频流被加速(二压)以匹配视频的问题. 若是游戏机原生渲染, 则找到并关闭逐行转分行滤镜即完美"转逐行", 滤镜可能位于游戏机的软硬件, 也可能要反编译游戏以从内部关掉

### 5:5/5:5:5:5 pulldown

「一帧五场」注意音频流被减速二压以匹配视频的可能

### 0.5:0.5 (not) pulldown(60i, 30i)

「一帧半场/一场占一帧」原生录制的交错源

### 2:2:2:2:2:2:2:2:2:2:2:3 (Euro)

电影每12帧拷一上场, 每24帧拷一下场, 加快25/24x得50场/秒的PAL视频. IVTC即每50场删除场23, 48(从零数设22, 47)

### PIP pulldowns

画中画picture in picture的特效/前景背景telecine所异的情况

### VFR pulldowns

多种分行视频源被拼接到一起所产生的"可变帧率"危险品

## 去交错的算法与滤镜

* Half-sizing上下场各作半高的逐行视频播放, 保原生交错0.5:0.5(not)pulldown源的帧率但纵向分辨率减半
* Weaving上下场简单拼成一帧, 处理原生交错0.5:0.5(not)pulldown源会导致时域信息丢失及梳状横纹combing
* Blending上下帧位置上对应的场在播放时临时混成一帧, 由于混的帧与另半场不匹配所以导致鬼影ghosting
* Bobbing在Half-sizing的基础上把图拉回原高, 搭配好的插值/补帧滤镜能产出非常好的结果
* EDI: 边缘定向插值Edge-directed interpolation, 断线内两端定向连起而插值, 差在仅处理空间域而略时域

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ♟滤镜 | 简介 | √ |
| [**fieldmatch**](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#toc-fieldmatch) | IVTC的关键滤镜, 基本是AviSynth场匹配脚本的[TFM](http://avisynth.nl/index.php/TIVTC/TFM). 少另半或处理后仍combed的场则糊上并留标记给下列插值滤镜修补 | 支持ffmpeg, AviSynth(+) VapourSynth |
| [**decimate**](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#toc-decimate-1) | 删除重复帧的简单滤镜, 严格说唯独fieldmatch+decimate=IVTC, 原生交错的源不存在pulldown拉出的重复场所以单纯反交错时不加 |
| [**yadif**](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#toc-yadif-1) | 同时参考时域空域临近像素的经典插值滤镜, 还有[yadif\_cuda](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html" \l "toc-yadif_005fcuda) |
| [**bwdif**](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#toc-bwdif-1) | 基于yadif、[w3fdif](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html" \l "w3fdif), 强在帧内+帧间参考以及[\_cuda](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#toc-bwdif_005fcuda), [\_vulkan](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#toc-bwdif_005fvulkan)的GPU加速版 |
| [**nnedi3**](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html#toc-nnedi) | 神经网络插值的bobbing-edi滤镜, 但因EDI特性而只参考帧内, 动态复杂时可能在帧间连贯上劣于bwdif |
| [**QTGMC**](https://github.com/HomeOfVapourSynthEvolution/havsfunc/blob/master/havsfunc/havsfunc.py#L2005) | 调用nnedi3等多种反交错滤镜+mvtools动态补偿反交错脚本, SuperFast及更慢下用nnedi3, Slower及更慢下做色度动态搜索, 设置EZKeepGrain以(据个人喜好)留噪 | AviSynth(+) VapourSynth |
| [**ivtc\_txt60mc**](http://avisynth.nl/index.php/IVTC_txt60mc), [**例**](https://www.nmm-hd.org/newbbs/viewtopic.php?t=1367) | 用于上述的PIP情况, 如24t/24d, 60i/30p两两混合等需手动测量并标记的段落 |

## ffmpeg IVTC用例

fieldmatch整理并标记场, yadif不用

-deint=all

而用

-deint=interlaced

以跟踪fieldmatch标记

* -vf "yadif=deint=all"
* -vf "fieldmatch=mode=pc\_n\_ub:combmatch=full,yadif=deint=interlaced,decimate" -vsync 0 -r 24
* p/c/n代表尝试匹配当前场另一半的前一previous/同一current/后一next半场, 否则尝试u/b: 反从另半场尝试匹配uǝxʇ和bɹǝʌᴉons, 建议[看文档](https://ffmpeg.org/ffmpeg-filters.html" \l "p_002fc_002fn_002fu_002fb-meaning)

原生交错的场率=帧率故不用

-r

, bwdif不用

-deint=all

而用

-deint=interlaced

以跟踪fieldmatch标记, 用

send\_field

设定场率=帧率:

* -vf "fieldmatch=combmatch=full,bwdif=mode=send\_field:parity=auto:deint=interlaced" -vsync 0

pulldown下, 用

send\_frame

IVTC, 帧率从NTSC恢复到电影标准而用

-r 24

, decimate删多余场:

* -vf "fieldmatch=mode=pc\_n\_ub:combmatch=full, bwdif=mode=send\_frame:parity=auto:deint=interlaced,decimate" -vsync 0 -r 24
* -vf "fieldmatch=mode=pc\_n\_ub:combmatch=full:blockx=16:blocky=24:combpel=128,nnedi=weights=C:\[点击下载训练数据\nnedi3\_weights.bin](https://github.com/dubhater/vapoursynth-nnedi3/blob/master/src/nnedi3_weights.bin):field=af:nns=n32:qual=slow:etype=mse,decimate" -vsync 0 -r 24

### AviSynth的手动VFR IVTC（仅展示）

* # SeparateFields换帧为场, 隔四场删一场做3:2或2:3 pullup, waving拼合即IVTC
* # 顺便展示124546帧至片尾后展示Euro pullup示例

1. Trim(0, 579).SeparateFields().SelectEvery(10, 1,2,3,4, 6,7,8,9).Weave() +\
2. Trim(580, 51891).SeparateFields().SelectEvery(10,0,1,2,3, 5,6,7,8 ).Weave() +\
3. Trim(51892, 70278).SeparateFields().SelectEvery(10,0,1,2, 4,5,6,7, 9).Weave() +\
4. Trim(70279, 112304).SeparateFields().SelectEvery(10,0,1, 3,4,5,6, 8,9).Weave() +\
5. Trim(112305,124545).SeparateFields().SelectEvery(10,0, 2,3,4,5, 7,8,9).Weave() +\
6. Trim(124546, 0).SeparateFields().SelectEvery(50,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23, 24,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49).Weave()

### AviSynth的自动VFR IVTC

1. LWLibavVideoSource("<源>")
2. # pass1指定模式4仅导出反交错分析及导出log位置
3. tdecimate(mode=4,output="<导出tdec.log>")
4. # 进行qtgmc反交错
5. QTGMC(TFF=True,FPSDivisor=2,Preset="Very Slow",Border=True)
6. # pass2指定模式5(VFR+pass=2, 需hybrid=2+cycleR=1)
7. # conCycleTP是模式5下可用的特殊conCycle, 设置hybrid大于0时的最少检测任意视频段的循环次数
8. # hybrid=2 指定视频段处理方法为导出为mkv时间码文件
9. # vfrDec=0 删除循环中最为相似的帧
10. # vfrDec=1删除循环中连续重复最长的帧, 适用于动画
11. # conCycleTP控制删帧强度. 最小值2. 值越大循环检查次数越多, 删帧次数越多
12. tdecimate(mode=5,vidDetect=1,hybrid=2,vfrDec=0,conCycleTP=5,input="导入tdec.log",mkvOut="导出时间码.txt")

### AviSynth-TIVTC

指7个IVTC相关滤镜的组合, 见[Github](https://github.com/pinterf/TIVTC/tree/master), [说明文档](https://github.com/pinterf/TIVTC/tree/master/Doc_TIVTC), [IVTC示例](https://www.nmm-hd.org/d/index.php?title=TIVTC&variant=zh-mo).

### VapourSynth IVTC脚本（演示QTGMC调用, AviSynth也可调用实现）:

* 关于VapoutSynth基础用法, 见VCB[基础[5]](https://guides.vcb-s.com/basic-guide-05)教程

1. import vapoursynth
2. from vapoursynth import core
3. import havsfunc as haf
4. import mvsfunc as mvf
5. # 使用L-SMASH-Works导入源
6. src = core.lsmas.LWLibavSource("<源>")
7. # 指定输入源, 上场优先(1), p/c+n+u/b模式匹配(3)
8. match = core.vivtc.VFM(src, 1, mode=3)
9. # QTGMC反交错, 指定输入已匹配场的源, 上场优先, 帧率=0.5场率, 低速预设，边缘预填充防抖
10. deint = haf.QTGMC(match, TFF=True, FPSDivisor=2, Preset="Very Slow", Border=True)
11. # 对VFM选出含\_Combed标记的帧, 替换为QTGMC反交错过的帧.
12. # FilterCombed清除所有\_Combed标记, 而后处理源(post-processed\_clip)记做非交错源.
13. pp\_clip = mvf.FilterCombed(match, deint)
14. # Decimate删重复帧, res.set\_output(), pp\_clip.set\_output()可预览
15. res = core.vivtc.VDecimate(pp\_clip)