

第三章 全景视频处理技术

3.1 全景图编辑处理软件

在将全景图拍摄制作完成以后，就涉及到对全景图的编辑处理，常用的全景图编辑软件有 Adobe 公司的 Photoshop 和一些小的全景图编辑平台。

Photoshop 是一款设计制作和编辑图像的实用工具，它的功能十分强大，是集图像扫描、编辑修改、图像制作、广告创意等功能于一体的图形图像处理软件，旧版本的 Photoshop 中（PS 2015.5 以前的版本），用户很难通过该软件编辑制作全景图，而且即使做出来，效果也不尽如人意。在 PS 的新版本中，添加了全景图处理的模块，可以在该软件中制作编辑全景图。



图 3.1 PS 开始界面

可以在初始界面直接将制作好的全景图加载进来，如下图所示：



图 3.2 加载全景图

接下来就可以创建全景操作空间：3D-球面全景-导入全景图，然后会弹出全景空间的设置项，根据需要设置相应的宽度和高度即可，完成后点击确定。



图 3.3 创建全景操作空间

随后就可以看到一个 3D 图层，并且默认是可以 360 度拖动的。这时，全景图片的处理就变得和平面图片处理一样轻松了。

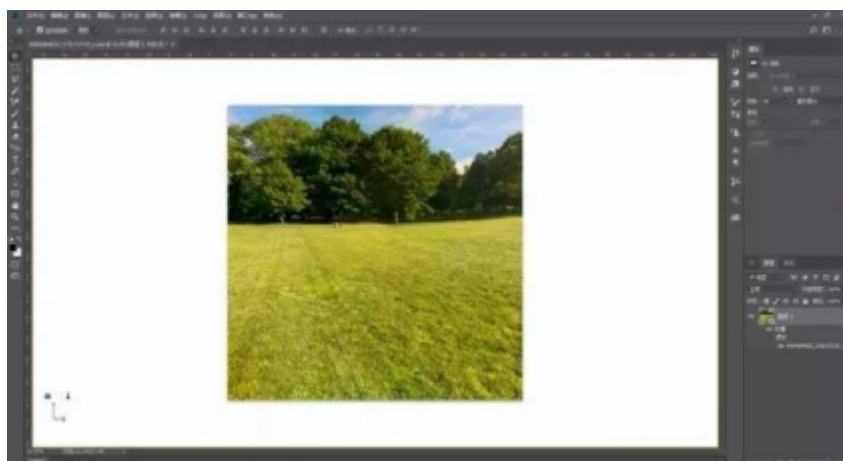


图 3.4 处理全景图片

接下来就可以进行像平面图一样的编辑操作，可以将底部或顶部的盲区调整至居中位置，然后利用仿制图章工具来修补盲区；也可以修改拼接错缝的区域，具体操作就是首先用多变形套索工具复制一层，Ctrl+T 选中复制图层，应用变形操作，用鼠标调整位置将其对齐，调整完毕后选中图层并向下合并即可；可以在全景图中添加 3D 物体，填充所需的物件，达到所想实现的效果，具体操作就不再多介绍；可以添加文字，将文字做成 3D 效果。



图 3.5 添加文字效果

全景图的编辑主要就是通过 PS 软件操作，下面是有关全景视频的编辑介绍。

3.2 全景非线性编辑软件

Premiere

首先介绍一下非线性编辑软件，它通常是指用电子手段按要求先用组合编辑将拍摄的素材按顺序编成新的连续画面，然后用插入编辑对某一段进行同样长度的替换，但是想要去除、编辑加长中间的某一段就不可能了，除非将那一段以后的画面全部重录。非线性的主要目标是提供对原素材任意部分的随机存取、修改和处理。它的真正推动力来自视频码率压缩。码率压缩技术的飞速发展使低码率下的图像质量有了很大的提高，推动了非线性编辑在专业视频领域中的应用。

前文在将 PS 的全景图编辑功能介绍以后，下面介绍 Adobe 的另一款软件 Premiere，该软件的主要用途是视频的剪辑、编码、转换格式和制作一些简单的效果，而且在较新版本中加入了 VR 的预览功能和一些 VR 效果。

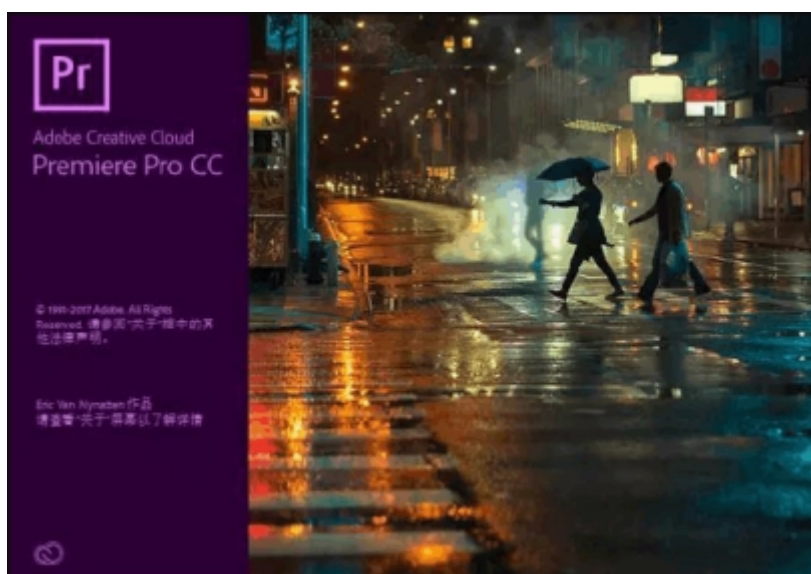


图 3.6 Pr 开始界面

首先可以将一段全景视频导入到 PR 中，在预览窗口右键找到 VR 视频并点击“启用”即可进入可拖动的全景模式，并且在窗口的下方和右侧分别由两个控制轮以及滑块显示控制，当电脑连接头显时，可以在 VR 头显中进行预览。

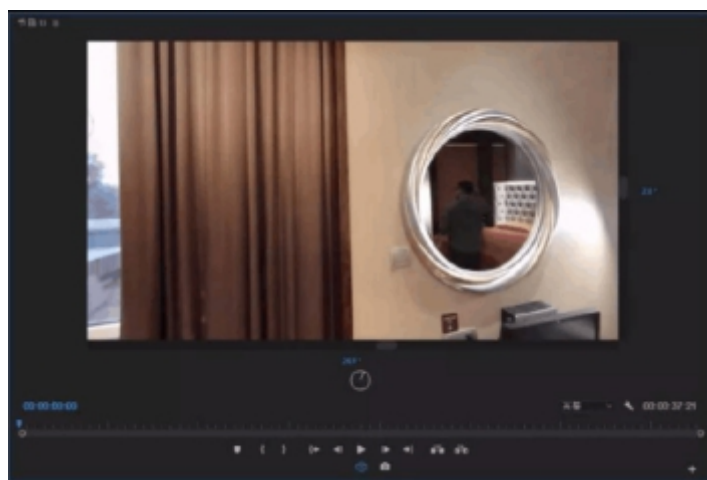


图 3.7 导入全景视频

在 PR 中，VR 编辑功能全部放在了视频效果里面，基本功能也和后面要介绍的 AE 大致相同：

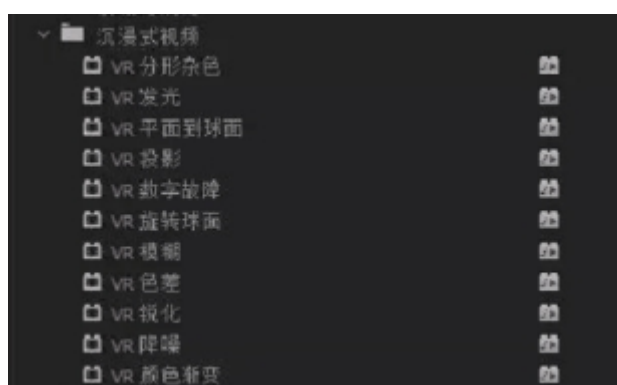


图 3.8 VR 编辑功能

当为视频增加字幕的时候，需要将视频效果中沉浸式视频的“VR 平面到球面”选项拖至字幕图层，这样在全景模式下文字就不会出现畸变效应了，然后通过调整不同的参数就能够得到不同的效果，例如可以将缩放调大（度数越大字幕越近），而且结合关键帧还可以做很多的动态字幕效果；同样的方法还能在视频中进行贴图，贴视频等操作，不过需要了解相关设置的含义，比如羽化边缘，调整旋转源以及旋转投影的数值等，关键是调整数值使得贴图与全景视频中的墙面平行贴合。

After Effect

接下来再介绍一下另一款更加强大的软件 After Effect，该软件主要是用来影视后期制作的，甚至很多大制作的电影都是用 AE 软件进行后期制作的，可以实现很多特效。



图 3.9 Ae 开始界面

在使用该软件时，直接导入想要编辑的全景视频，同样的类似 PR 在效果-沉浸式视频的选项卡中一共有 12 项 VR 编辑功能，可以将这些功能大致分为三组：

转换：VR 球面到平面，VR 平面到球面，VR 旋转球面，VR 转换器

降噪 / 锐化：VR 降噪、VR 锐化、VR 模糊

画面处理：VR 数字故障、VR 分形分色、VR 颜色渐变、VR 色差、VR 发光

下面将逐一介绍这些功能。

VR 球面到平面

这个功能就是将球形畸变的视频内容转换成平面内容，下面是它的操作面板：

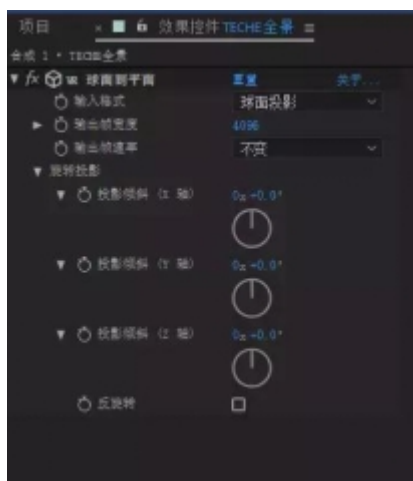


图 3.10 VR 球面到平面

预设的输入格式有三种：球形图，立方图和球面投影。输出帧宽度：有 256~16384 的可调范围，通常不超过原始素材的宽度，盲目增大并不会变清晰，和插值像素的道理一样。输出帧速率应该是帧的比率，配合上面的输出帧宽度完全就可以获得想要的平面尺寸。旋转投影是改变三个轴的旋转方向，改变以后主视角随之更改。反旋转就是将度数取反。

另外还可以将关键帧做成环视效果，在起始位置和结束位置分别创建关键帧，然后播放即可。

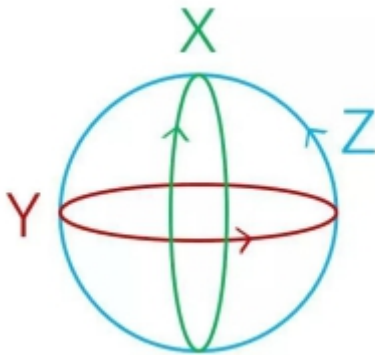


图 3.11 XYZ 轴旋转方向

VR 平面到球面

该功能使 2D 图片或者视频应用于全景空间中但不变形，下面是它的控制面板：



图 3.12 VR 平面到球面

预设有两种布局：单像和立体，普通视频选单像，3D 选立体，缩放是在全景模式下的远近，不是大小， 180° 时与观看的人位置重合， 0° 时无穷远。立体视差只有选择 3D 模式下才有效，羽化即是边缘透明度，旋转源可以理解为自转，旋转投影为公转。

VR 旋转球面

对应在全景空间中的 XYZ 轴向旋转，可以调整全景视频的水平等方向至合适的方向，以满足特定的观赏体验，下面是操作面板：



图 3.13 VR 旋转球面

VR 转换器

各种类型的媒体格式的输入输出转换，下面是它的操作面板：



图 3.14 VR 转换器

大体的操作是一样的，关键是输入和输出转换，一共有 9 种输入类型和 8 种输出类型：



图 3.15 VR 转换器的输入和输出格式

不同的输入输出组合能够产生不同的效果，可以根据自己的需求进行选择即可。

VR 降噪

降噪就是细节模糊，当光线较弱时，特别是夜景拍摄时很容易在图像中产生噪点。VR降噪大多应用于弱光环境，也可以用来调制清新柔和的视觉风格，默认的杂色级别是 0.2，可以根据实际画面自行调节。



图 3.16 VR 降噪

VR 锐化

锐化就是消除误差大的像素，能够适当的提高画面清晰度，但过度提高会造成画面失真，下面是控制面板：



图 3.17 VR 锐化

VR 模糊

模糊是一般用来做开头的片场：可以由模糊到逐渐清晰，也可以进行其他艺术创作比如通过局部模糊的方式引导观众的关注点，也可以通过调整关键帧变换视角。



图 3.18 VR 模糊

VR 数字故障

该功能是一种类似于电视信号故障的艺术表现形式，但是一般用不到这个功能。应用后的效果如下图：



图 3.19 VR 数字故障

VR 分型杂色

下面是其功能面板：

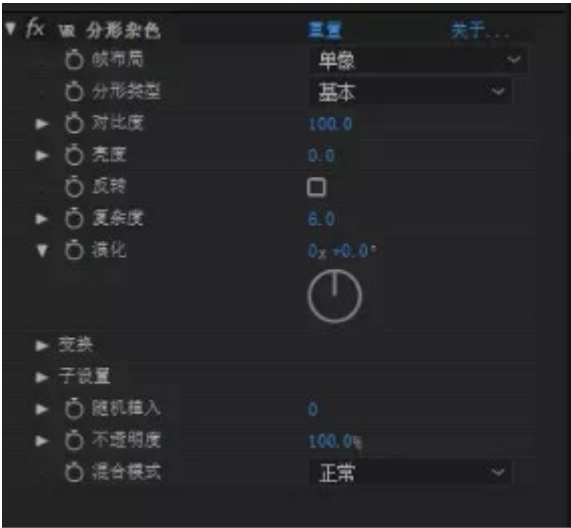


图 3.20 VR 分型杂色

分型类型总共有 4 种，具体图示如下：

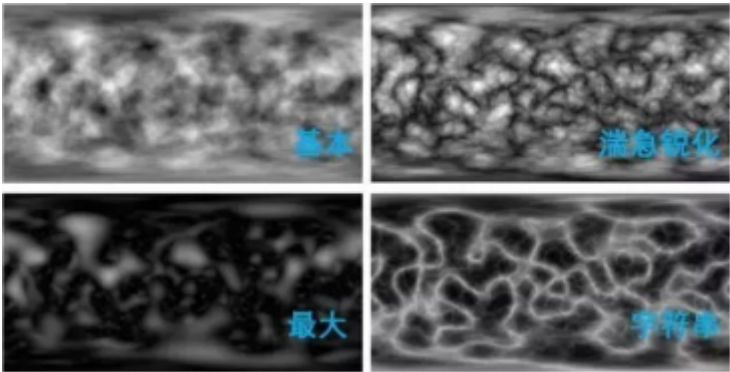


图 3.21 VR 分型类型

对比度：图中黑白反差，对比度越大，线条越清晰；

亮度：图中黑白占比，亮度越大，白色越多；

复杂度：细节越少，数值越低，分型图像越模糊；

演化：分型演化过程；
 变换：同 VR 旋转球面；
 子设置：分型自身的 XYZ 旋转；
 混合模式：两个图层的混合效果；
 根据这些设置可以做出云雾等不同的变换效果。

VR 色差

下图是该功能面板，当色差相等时，画面就会呈现实色，并且有一个远近关系的变化，可以用来做转场效果等。



图 3.22 VR 色差

VR 颜色渐变

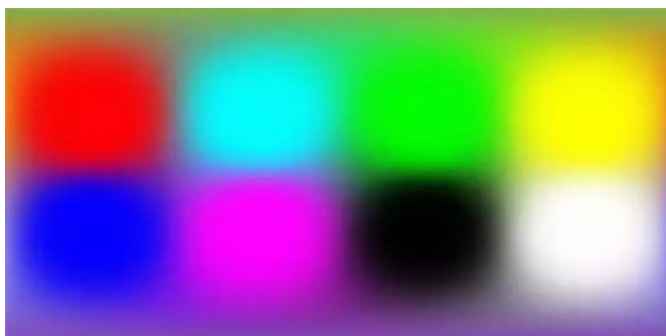


图 3.23 VR 颜色渐变中色块

点数：即上图中色块的个数；
 渐变功率：每个色块的羽化值大小；
 渐变混合：相邻颜色间的过渡范围大小；
 点：上图中每个色块的颜色；
 混合模式：同 PS；
 下面是控制面板：



图 3.24 VR 颜色渐变

VR 发光

发光就是使画面中近乎白色的部位呈现光扩散，可以通过调节亮度阈值来达到转场效果，下图是控制面板：



图 3.25 VR 发光

DaVinci Resolve

上面介绍了 Adobe 公司关于全景视频的编辑以及相关软件，编辑功能主要是对原来的视频做出一些制作者想要实现的效果。常见的非线编软件还有 DaVinci Resolve，其有强大的调色系统集与编辑功能，能够帮助用户进行视频剪辑、调色、精编和交付等处理。该软件拥有非常多的实用工具，制作速度快，稳定的兼容性以及一流的画面质量，并且是许多好莱坞电影的首选解决方案。

该软件是一个免费软件，关键是在编辑全景视频的时候确保视频的分辨率和导出时的分辨率是相匹配的，如图 3.26：

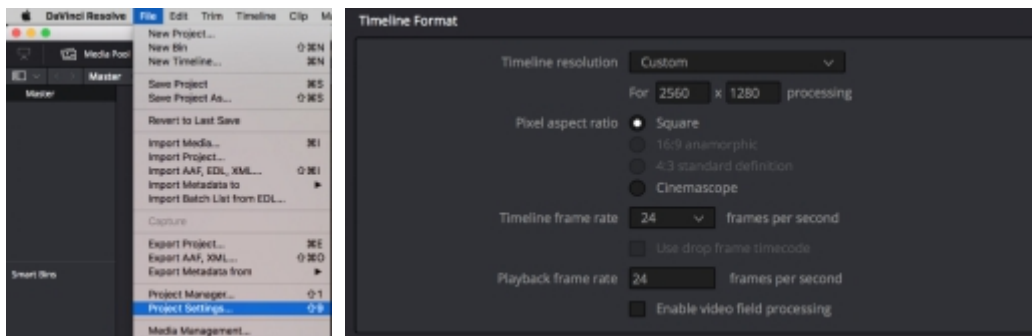


图 3.26 DaVinci 基本设置

初始设置好之后即可导入 equirectangular 视频文件，将文件添加到时间线，然后就可以像编辑其他任何视频一样进行编辑，添加制作者想要达到的效果，还可以设置视频格式和编解码器，最后渲染导出即可。

3.3 视频稳像技术

在之前章节提到过拍摄全景视频的相机或视觉系统，以及全景视频的成像原理。至于全景视频的拍摄方式，对于专业级的设备，毫无疑问都是采用固定拍摄的方式，因为在图像拼接的过程中，每个镜头获取的光场信息，图像的亮度、色调等等一定要保持一致，否则在之后的特征点匹配、视差处理、图像融合的过程中，误差逐渐放大，在生成的图片及视频中会出现明显的接缝甚至畸变。对于体验级的设备，很难去要求用户采用固定拍摄的方式，而且大多数用户也不满足于固定拍摄的效果，往往会采用手持式移动拍摄的方法。摄影者的移动以及手的抖动会引起相机的摆动，或多或少会产生上述的一些问题，除此之外，画面的抖动会非常影响视觉舒适度和眩晕感。而且，全景相机很少会像普通的相机一样加入防抖技术，

再加上在全景视频中用户可以全方位地观看视频内容，对抖动的敏感度要远高于普通的视频，所以，针对于运动条件下拍摄的全景视频，进行视频稳像的处理来降低拍摄画面的抖动是很有必要的。

视频稳像简介

视频稳像，顾名思义，就是对拍摄的视频进行稳像处理，使得原始视频中抖动的画面变得平稳，而尽量不损失画面的清晰度。稳像技术基本分为三类：机械稳像、光学稳像、电子稳像。机械稳像的主要原理是通过一些传感器如陀螺仪来获取相机的运动，相机的处理器控制图像传感器按相反的方向移动，对相机的运动做补偿；光学稳像依靠特殊的元件根据镜头的抖动方向和位移量加以补偿，以得到稳定的图像。这两种稳像方法的缺点在于代价较大、设备携带不便，且稳像效果不够好，难以满足如今视频稳像的需求。而电子稳像通过估计相机的运动路线，在计算机或者其他设备上将视频中的每一帧画面进行移动，使得输出的视频中的运动是平滑的。电子稳像具有更容易实现，更精确，更灵活，成本更低等优点，是目前视频稳像领域的主流研究方向。

目前大部分的电子稳像都属于基于运动的算法，适用于抖动较为平缓的场景，比如平移运动、小角度的旋转运动等；亦或是视频中运动物体目标较小，容易跟踪。算法主要分为三个步骤：全局运动估计、运动补偿和图像生成，如下图所示。全局运动指的是处于主导地位的像素运动，也可以表示为相机的运动，根据如何估计全局运动可以将算法分为 2D 稳像和 3D 稳像两类。运动补偿是算法的核心，指的是从较为抖动的全局运动中分离出抖动和主观运动，并从中分离出主导运动。图像生成指的是将原始视频做处理，输出稳定后视频的过程。

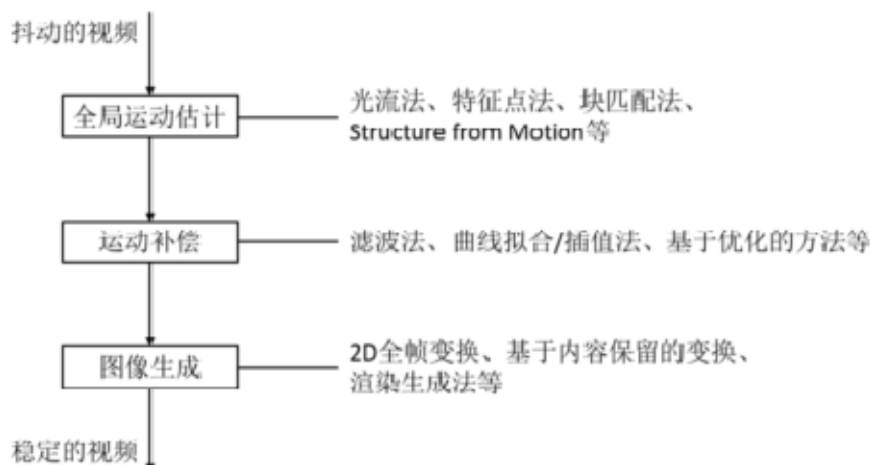


图 3.27 基于运动的电子稳像算法的基本处理流程图

2D 稳像算法通过相邻帧之间的运动模型来表示相机在二维平面内的全局运动，常用的方法是特征点法。这些方法仅考虑二维平面内的相机运动轨迹，与实际相机的运动可能会有些许偏差；3D 稳像算法主要依靠 Structure-from-Motion (SfM) 进行，通过 2D 图像序列来计算图像中物体的 3D 结构的技术，这种算法复杂度非常大，且适用场景较少，比如视频中缺少视差信息，拍摄中镜头有缩放等情况，很难计算出有效的三维结构。

稳像算法

以前述基本原理为基础，研究人员不断提出性能更优的视频稳像算法。代表性的算法之一是 Grundmann 等人 2011 年提出的基于 L1 范数的视频稳像算法，该算法性能突出，复杂度不高，后来被集成应用于 Youtube 上载视频的在线编辑软件中，成为当前视频稳像算法研究的 benchmark。性能继续的提升方向有多种途径：一个思路是设计更合理的路径和优

化目标，如用 $L1+L2$ 范数代替 $L1$ ，可以保留更多的场景内容，减少黑边；另外一个思路是利用与视频同步的位置/姿态传感器数据，直接估计出运动参数，进而降低 SfM 的难度，该类技术特别适用于智能手机上的视频稳像。

然而，一般的视频稳像算法并不适用于全景视频，因为全景视频覆盖水平垂直 360° 的内容，然后用 Equirectangular 投影方式（ERP）将三维球形画面映射到二维平面上。所以说 ERP 投影得到的视频中的抖动并不能表示相机的运动，无法得到准确的全局估计。因此，针对全景视频的稳像技术研究是一项重要且具备挑战性的研究。

针对移动多相机平台的全景视频稳像算法

实际上，多相机系统在拍摄全景视频时，不仅仅产生全局运动，同时还会因各相机间的差异以及视差引起的深度错觉而产生较为独立的抖动。针对这一特点，Ameer Hamza 等人提出了一种针对移动多相机平台的全景视频稳像算法。该算法将拼接的视频帧和相应的混合掩模（Blend mask）作为输入，并最小化由所有三种类型抖动所引起的视频质量下降的程度。

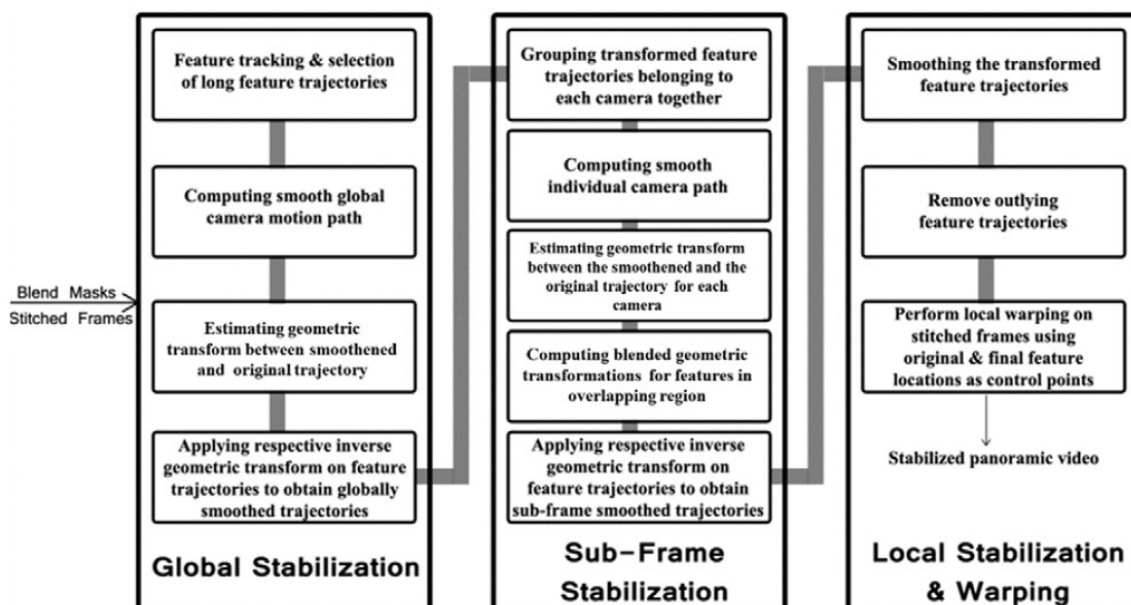


图 3.28 全景视频稳像算法流程图

图 3.28 提供了该算法的流程图。假设对一个由 C 个摄像机拍摄的 K 帧全景视频进行处理，算法则需要全景帧（ $P_0, P_1 \dots P_K$ ）和 C 个混合掩模（ Bm^1, Bm^2, \dots, Bm^C ）作为输入。我们首先从全景视频帧中提取显著特征轨迹，并使用它们来估计多个步骤的各类变换，以最终呈现出平滑运动的视频。

首先，从完整全景区域提取的特征轨迹是平滑的，并用于估计全景视频帧的全局几何变换。虽然在这个阶段会对每个像素应用计算的变换，但是这些几何变换仅是用于处理全局抖动的，仍需要进一步的变换来处理其他两种类型的抖动。由于后续步骤需要对特征轨迹进行处理，因此中间过程的变换均会被集中到最后一步进行，以避免在每个中间稳定步骤之后重新计算轨迹。因此，每个全景帧的全局变换仅应用于特征轨迹而不是应用于所有像素。

在第二个步骤中，这些变换的轨迹根据相应的摄像机运动进行分组，并且用于估计各个摄像机捕捉区域的几何变换。然后根据相应估计的变换来转换每个相机组的轨迹。要注意的是，每块全景重叠区域中的轨迹具有两个估计的变换，分别用于两个相邻的相机。因此，将混合掩模加权变换应用于这些轨迹可以确保两个相机空间的平滑过渡。

此时，变换轨迹中剩余的主要残余抖动源是由视差引起的抖动。为了处理这一抖动，每

个轨迹独立地进行平滑，接着是对各轨迹进行聚类，形成经历类似抖动并因此属于相同深度平面或具有相同移动属性的特征组。不符合任何这些组的特征轨迹被标记为错误轨迹。最终使用非错误特征轨迹的原始位置和变换位置来扭曲原始帧，即有效地共同应用所有三个稳定变换以产生稳定的全景视频。

Facebook 3D-2D 算法

针对全景视频的稳像，Facebook Research 的 Johannes Koef 提出了一种混合的 3D-2D 算法：利用 3D 分析估计出适当间隔的关键帧的相对旋转；然后恢复关键帧之间的相对旋转，用内插计算对内部帧进行调整；最后对内部帧的旋转进行 2D 优化，最大化特征点轨迹的平滑度。这种算法针对全景视频，结合了 2D 稳像算法和 3D 稳像算法的优点，有着不错的效果。并且，相较于其他的稳像算法，这种算法有着如下的优点：

- (1) 准确性：用 3D 分析的方法估计关键帧之间的相对旋转，不会混淆旋转/平移运动和非静态异常特征等。
- (2) 鲁棒性：关键帧被间隔开，使得帧与帧之间有着足够的运动，可以让 3D 估计有着更可靠的结果。
- (3) 正则化：关键帧之间的真实相对旋转为内部帧的 2D 优化提供正则化基础。这限制了变形旋转运动模型，防止产生新的摆动伪影，并且对收敛具有强的积极效果。
- (4) 速度：虽然算法对内部帧使用非线性优化方法，但问题具有良性误差函数，良好初始化，并快速收敛。

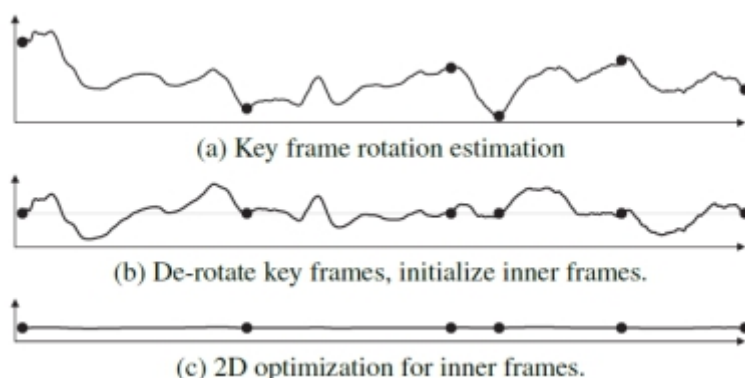


图 3.29 混合 3D-2D 算法示意图

与其他稳像算法类似，混合的 3D-2D 算法第一步是从跟踪特征点的运动开始。因为全景视频的输入多为 Equirectangular 投影方式（ERP），这种投影方式在南北两极的地方会产生无限的尺寸拉伸，所以需要将视频帧转换为较少失真的 CubeMap 投影方式（立方图投影），进行特征点的提取和跟踪。整个过程使用 256x256 像素的立方体面，独立于输入分辨率，并且只使用亮度平面进行跟踪。算法使用 Kanade - Lucas - Tomasi feature tracker（KLT tracker）作为特征点的提取程序，并使用金字塔形 Lukas-Kanade 跟踪算法进行特征点的跟踪。

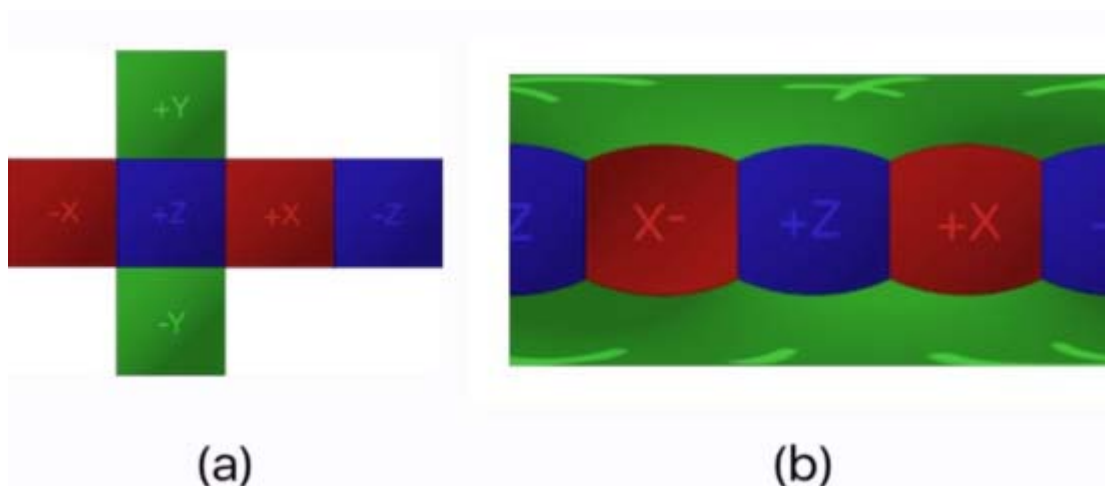


图 3.30 ERP 投影和 CubeMap 投影的对应位置关系

算法当中有一个“关键帧”的概念，它们发挥非常重要的作用，因为整个算法的基础就是估计它们之间的相对旋转，然后形成用于后续 2D 优化的正则化基础。至于如何选取关键帧，算法使用 Shi-Tomasi 算法生成特征点列表，通过递减特征强度排序，排查列表，当一个特征远离任何先前选择或主动跟踪的特征超过 2° 时，将其设为关键帧，并产生一个新的轨道，用于后续的跟踪。

下一步是估计连续关键帧之间的相对旋转。这里利用 OpenGV 库实现了 Nister 和 Kneip 的五点算法：给点两台摄像机拍摄画面对应匹配的五个点，可以估计出摄像机之间的相对旋转和平移。使用这种 3D 分析的方法，可以从平移运动中区分出真实的旋转，使得估计的结果更加接近实际的运动。

现在关键帧之间的旋转得到了补偿，接下来固定它们之间的旋转，研究内部帧之间的旋转。之前有提到过，这里不再采用 3D 分析的方法，而是使用 2D 优化的方法来稳定内部帧之间的旋转。优化的目标是对于非关键帧，找到最理想的旋转，最大化特征点轨迹的平滑度。在优化过程中，保持关键帧的旋转固定，它们为正则化提供了基础并增加了收敛性。算法将整个优化过程抽象化为非线性最小二乘问题，然后使用 Ceres 库解决它。

完成上述的优化过程，可以消除大部分的相机抖动，但是由于一些小的平移运动、视差、镜头校准、拼接伪影、卷帘快门摆动等，处理后的结果往往还会有一部分残余的抖动。此时需要为运动模型添加一些灵活性来解决这个问题，使得它可以适应并消除轻微的图像变形。同时，模型也不能变得过于灵活，所以需要适当地被约束。该算法设计了一个“变形-旋转”模型来处理上面提到的一些问题。在这个模型中，在单位球体上均匀分布 6 个顶点，分别相差 90° 并将整个球体分割成 8 个全等的球面三角形，每个八分圆一个。对于每个顶点，记录下它的旋转值，然后利用球面重心坐标插值计算这些顶点的旋转，并将其集成到原始的旋转中。最后，将新的运动模型置于稳定优化问题当中，得到最终的稳像结果。

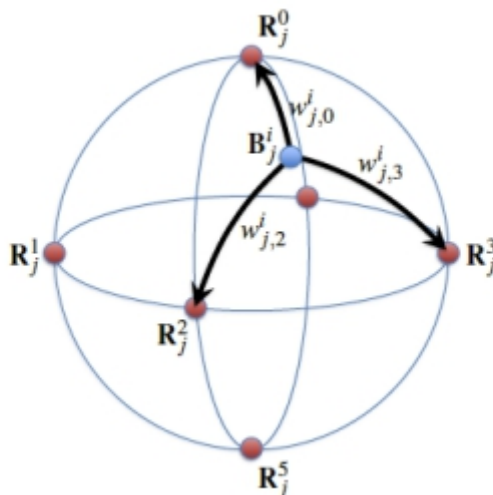


图 3.31 “变形-旋转”运动模型

稳像算法除了处理效果，运行时间也是研究的关键。该算法不像大多数稳像算法一样采用 GPU 加速来减少处理时间，而是仅通过 CPU 来进行处理。虽然 CPU 在计算变换坐标时比较慢，但是整个变换过程是平稳的，为了得到更好的效果，代码实现的过程中作者并未采用 GPU 加速，而是通过计算每个 8x8 像素的变换坐标，然后对其进行双线性插值的方法优化了计算变换坐标的过程。实验采用的 CPU 为 Intel Core i7-5930K CPU，主频 3.5GHz，整个稳像过程的耗时如下图所示，可以看出，对于每一帧，稳像过程仅需要 20 多毫秒即可完成。在一般的播放器中，每一帧大约需要 30 毫秒来播放，可以预测，再经过一些算法上的改进，整个稳像过程甚至可以做到低延迟实时稳像。

Performance	
Stage	Time / frame
Video decoding (ffmpeg, luma only)	7.91 ms
Equirect to cube conversion	0.73 ms
Pyramid construction	0.87 ms
Feature generation (at key frames)	0.10 ms
Translational Lucas-Kanade tracking	2.19 ms
Rotation estimation (at key frames)	0.10 ms
Pure-rotation optimization (inner frames)	2.20 ms
Deformed-rot optimization (inner frames)	1.84 ms
Warp coordinate computation	3.46 ms
Frame warping	2.20 ms
Total	21.60 ms
Frame duration: 33.00ms	

图 3.32 混合 3D-2D 算法的运行时间（每一帧）

除了运行时间，该算法在降低比特率方面也有着很好的效果，下图分析了以 H.264/MPEG-4 AVC 格式编码的视频，设置相同的质量参数时比特率的降低。可以看出经过稳像算法处理后，比特率的降低基本是稳定的，大约在 10%到 20%中间。图中还可以看出较为平缓的视频（右图）得到的结果更加稳定，可能是由于经过稳像过程，场景变得近乎静止，存在冗余的信息。



图 3.33 稳像算法带来的比特率的降低

该算法有着很好的稳像效果，但是仍然存在着一些缺陷。比如当面对比较强的滚动快门变形的时候，尤其是频率大于帧速率的高频变形时，该算法的“变形-旋转”模型不能很好地表示这种变形，这样的话，这些变形不会被完全消除掉，使得最终的结果有些许瑕疵。此外，“变形-旋转”模型在实际的运行中偶尔会引入一些轻微的摆动，这种摆动相对平滑，在成果视频中也能够观察到。最后，对于一些包含标志或是静态文字的视频，该稳像算法在稳定抖动的背景时，会使这些静态的标志或文字产生摇摆。

延时摄影算法

由于 Facebook 的新算法使得全景视频看起来较为平滑，所以也可以用来创建加速延时视频。创建一个延时摄影 360 视频需要删除完整拍摄内容的一部分，并把每帧序列连接起来。然而，延时摄影拍摄与普通拍摄的一个共同点是需要平稳的平衡相机速率。例如，在拍摄一个滑雪视频时，滑雪者时而加快速度，时而停下休息，相机速率也在不断变化。为了模拟一个不断移动的延时摄影镜头，便需要暂时地平衡速度，并跳过休息的部分。

要做到这一点，首先用二维近似和平均运动矢量，估计每一帧的相机速率。然后，利用时间中位数和低通滤波器对视频进行二次处理。通过相机预估速率，就可以改变原视频的时间戳。这样一来，就可以创建加速视频，把冗长的视频缩短。

Facebook 表示，这项新算法还在测试当中，希望能够得到用户的反馈。用户现在可以试着上传 360 度视频，把高质量，且观感更舒适的视频与大家分享。接下来，Facebook 将致力于改进延时摄影算法，希望在不久的将来，能用到实时 360 视频中。

小结

全景视频是现阶段 VR 的核心、本质，但仍存在着一些问题和难关。除了分辨率不足的大方向，还有就是现如今大多数的全景视频都是固定拍摄的，给人们的体验有些乏味。针对提升分辨率的方向，很多研究者都在着手于对高分辨率全景视频流的编码、传输等方面的研究；而对于运动条件拍摄的全景视频，会引起强烈的抖动是限制其广泛传播的一大原因。Facebook Research 的 Johannes Koef 提出了一种针对与全景视频稳像的混合的 3D-2D 算法，有着不错的效果。这也给了我们一些启示和今后的研究方向，值得我们学习。

本章参考资料：

[1]http://www.360doc.com/content/18/0508/10/5109282_752096194.shtml

- [2]<https://wenku.baidu.com/view/fe7f934b0622192e453610661ed9ad51f01d5485.html>
- [3]<http://baijiahao.baidu.com/s?id=1599885711498451402&wfr=spider&for=pc>
- [4]<https://docs.unrealengine.com/en-us/Engine/MediaFramework/HowTo/FileMediaSource>
- [5]<https://blog.csdn.net/caozhaodan/article/details/77647847>
- [6]M. Grundmann, V. Kwatra, I. Essa, Auto-directed video stabilization with robust L1 optimal camera paths[C], IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2011: 225-232.
- [7]H. Qu, Li Song, Video stabilization with L1 - L2 optimization[C], IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2013: 29-33.
- [8]Accelerometer/gyro-facilitated video stabilization, Apple Patent, US8558903, 2013.10
- [9]J. Kopf, 360° video stabilization [J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2016, 35(6):195.
- [10]<https://code.facebook.com/posts/697469023742261/360-video-stabilization-a-new-algorithm-for-smoother-360-video-viewing/>
- [11]<http://www.ifanr.com/644385>
- [12]<http://blog.csdn.net/u013816144/article/details/53635299>
- [13]<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262885615000311>