

1.6 数字电影内容的 2D 到 3D 转换

摘要 :3D 立体数字电影的素材目前主要来源于双机拍摄、CGI 以及 2D 到 3D 转换。其中双机拍摄技术以及 CGI 技术已相对成熟。本文对尚处于发展阶段的 2D 到 3D 转换的发展现状进行介绍，并对其相关核心技术进行深入分析与探讨。

关键词: 双机拍摄，CGI，2D 到 3D 转换，3D 图像对，视差图，深度图，深度线索

一、3D 立体电影素材生成与 2D 到 3D 转换概况

立体视觉一般分为双眼立体视觉和单眼立体视觉，目前的 3D 放映基本上都是基于双眼的视差(Parallax)来形成立体效果。由于两只眼睛有 4-6 厘米的距离，因此有轻微不同的视角。而不同视角的图像被传送到大脑，其中的轻微不同之处（视差）被解析为深度。3D 内容的产生基本上也遵循了同样的原理。

3D 立体数字电影的素材主要来源于双机拍摄/多机拍摄，CGI(Computer Generated Image)以及 2D 到 3D 转换。

双机拍摄甚至多机拍摄均为模仿人的两只眼镜对真实的三维世界的图像摄取，例如电影《阿凡达》以及南非世界杯 3D 转播均采用双机立体拍摄。一般采用称为立体支架(Stereo Rig)的设备并在其上安装两台参数一致的摄像机。下图为世界上最早用来进行电影双机拍摄的 3D 摄像机。



图 1 最早用来进行电影双机拍摄的摄像机

CGI 本质上是对可以应用在 2D 与 3D 图像、视频领域的通过计算、模型、算法产生图像，视频的方法的统称。3D CGI 是在 2D CGI 的基础上通过所谓的 3D 图像变形 (3D Image warping) 产生立体图像对。第一部采用 3D CGI 制作的影片是皮克斯公司的《玩具总动员》。(我们将在后续的文章中对采用 CGI 制作 3D 电影的技术层面进行深入分析。可以参阅 Peter Weishar 的书籍《CGI: 3D 计算机图像生成的艺术》)。

2D 到 3D 转换作为 3D 素材的产生机制之一越来越引起科研人员的关注与重视，分析起来主要基于如下几点原因：

- *3D 电视的引进与发展；
- *3D 数字电影的发展(制片、发行与放映)；
- *3D 立体素材的匮乏；
- *双机立体拍摄的高复杂度；
- *CGI 题材的受限性；
- *存在大量可以转换为 3D 素材的 2D 素材。

经过多年的发展，2D 到 3D 转换也取得了丰硕的成果，比较典型的技术提供商包括 ILM[4]，Passmore[2]等公司，见表 1。

表 1 2D 到 3D 转换发展概况

产品或技术名称	技术所有者	说明
Make3D	Make3d.stanford.edu	深度搜索方式可以借鉴，其最终输出结果为 2D 图的 3D 建模；
T3D	Cherry Cola Studios	基于阴影与形状的深度线索搜索，采用 Shift 与 Warp 两种方式；需要人工干预；
3D Gugle	http://alfa.magia.it	可以生成包括 Anaglyphs, Stereo Pairs 在内的各种 3D 输出；
3Dfier Movie Converter	3Dfier	通过与电影播放软件结合可以实现影片的实时 2D 转 3D ,3D 效果尚可；
Zero Creative[1]	Zero Creative	对外提供 2D 到 3D 转换服务，且采用结合人工的半自动方式。
TriDef	Dynamic Digital Depth	已在 3D 电脑 ,3D 游戏以及 3D 机顶盒方面有广泛的应用；
Dimensionalization	In-Three	目前可以应用于数字电影 2D 到 3D 转换为数不多的产品之一；

Passmore[2]	PassmoreLab	目前可以应用于数字电影 2D 到 3D 转换为数不多的产品之一；
CRC	Communication Research Center, Canada	该公司已将其技术植入部分 3D 产品中，例如 3D 电视；
IF-2D3D1	JVC	是一款可以完成 2D 到 3D 转换的硬件设备；效果一般；
Image IQ 3D	HDLogix	可以应用电视，采用 DSP 或 FPGA 方案，以实现实时转换；
-	Sensio	电视，可以向电视厂商提供 IP Core 或者芯片以方便集成；
-	ILM (Industrial Light & Magic)[4]	目前可以应用于数字电影 2D 到 3D 转换为数不多的产品之一；
Moses, Trans3D	Leonis Cinema	可以将 2D 广告，2D 数字电影以及 2D CGI 数字电影转换为符合 DCI 标准的 3D DCP；并提供 3D 格式化转换器实现各种不同 3D 格式之间的转换；
-	Compression.ru[3]	为俄罗斯的一家研究机构

二、2D 到 3D 转换技术分析

Marr[17]将 3D 视觉定义为：从场景的一幅图像或者一系列图像中，推导出该场景的精确的三维几何描述，并定量的确定场景中物体的性质。并将 3D 视觉分为自下而上(重建)与自上而下(基于模型的视觉)两大类。由于数字电影内容不可能是基于某种事先预知的某种模型，因此我们主要探讨自下而上的重建方式。其主要的步骤如下：

- (1) 输入灰度图(Intensity);
- (2) 生成主轮廓(Primal sketch),表示出图像中重要物体的边缘(采用图像分割技术);
- (3) 生成深度图(亦称 2.5D sketch),表示出以观看者为中心的图像中各物体的深度;
- (4) 3D 呈现,表示出图像中各个物体的空间几何结构与关系。

而对于 3D 影视应用而言，最终的 3D 表示是所谓的 3D 图像对，即两幅略微不同的图像，其中一幅称为左眼图像，另一幅称为右眼图像。

下面对几个概念给出解释：

深度线索 (depth cue)：用来提取三维信息的图像特征。

深度图(depth map)：是一个给出每个图像坐标点的深度信息的二位函数，通常情况下表示为灰度图，每个像素点的值即为该点的深度。构建灰度图的方式有两种，一种是后期计算，该功能构成了 2D 转 3D 的核心；另一种方式是通过深度摄像机(配备激光发射与接收元件的摄像机)进行拍摄，激光组件向拍摄的场景发射激光，并测量与记录反射回来的激光，从而构建出深度图。见图 2。

零视差,正视差与负视差 :零视差被定义为用来表示一个点落在银幕平面上；负视差表示一个点看起来介于银幕平面与观看者之间；正视差表示一个点看起来在银幕平面远离观看者的一边。



图 2 2D 图及其深度图

3D 图的表示方法：目前 3D 图的无损表示方法主要有两种，一种是采用双目视差图方式的 3D 立体图像对；另一种方式是采用 2D 图加深度图的方式。第一种方式可以直接用来显示并产生 3D 效果，第二种方式方便存储与传输，但是需要转化为第一种方式才能产生 3D 效果。有损的 3D 图表示方法有多种，例如各种各样的将立体图像对压缩为一幅 2D 图的表示方法。

视差图与深度图之间的关系：通过控制视差(d)我们达到控制可视深度的目的。通用的做法是将原图像作为左眼图像，并通过增加视差来产生右眼图像。其几何关系如图 3 所示。在图中 z 为物体到眼睛的距离，即为深度；B 为左眼睛(L)与右眼睛的距离，x_l 与 x_r 分别为三维世界中的点 p 在左眼图像中的银幕坐标与点 p 在右眼图像中的银幕坐标。d 为 x_r 与 x_r 之间的距离,D 为眼睛与银幕之间的

距离。

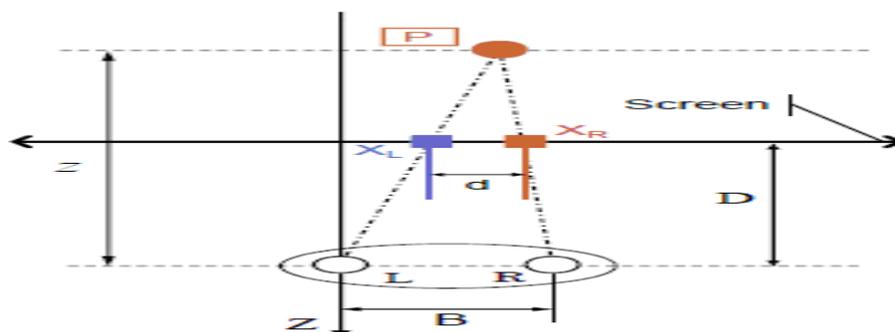


图 3 深度几何关系

对于 3D 影视中的 2D 到 3D 转换其基本的框架如图 4 所示。在本文的剩余部分我们将分别对图像分割、深度线索提取与深度赋值以及 3D 图像生成进行说明。

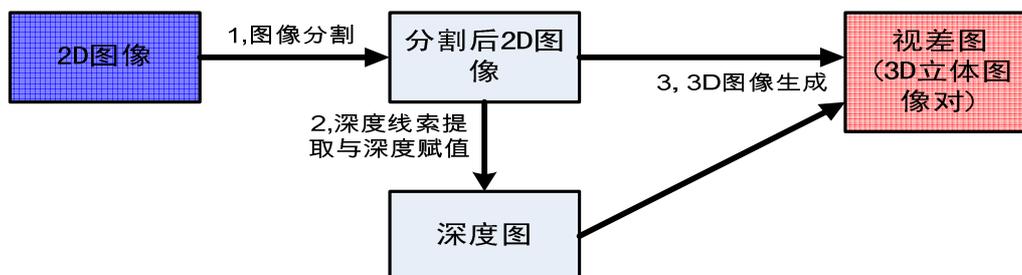


图 4 2D 到 3D 转换的基本框架

三、图像分割技术与物体 3D 建模

图像分割的主要目标是将图像划分为与其中含有的真实世界的物体或区域有强相关性的组成部分。图像分割算法一般是基于亮度值的两个基本特征之一：不连续性和相似性。目前图像分割方法主要可以划分为三大类：阈值化分割，基于边缘的分割与基于区域的分割。

阈值化分割是最简单的分割处理，计算代价小速度快，用一个被称为阈值的亮度常量来分割物体和背景。在整个图像上既可以施加单个阈值(全局阈值)，也可以使用依赖图像部分而改变的阈值(局部阈值)。

基于边缘的分割依赖于由边缘检测子找到的图像边缘，这些边缘表示出了图像在灰度、色彩、纹理等方面不连续的位置。基于边缘分割的最常见的问题是在没有边界的地方出现了边缘以及在实际存在边界的地方没有出现边缘，一般由图像噪声或者图像中不适合的信息造成。

在基于区域的分割中，每个区域可以用其封闭的边界来表示，每个封闭的边

界描述一个区域。目前存在三种基本的区域增长方法：区域归并，区域分裂以及区域分裂与归并。

四、从深度线索提取深度

基于深度提取算法所依赖的深度线索，我们可以将深度提取算法分为 12 大类。有些文献[17]形象的称这些算法为“从 X 到形状”，其中 X 可以为双目视差，阴影，运动，纹理，散焦与聚焦，以及轮廓等。其中部分方法只能估计物体的表面法相(Surface Normal)，结合特定点的深度，通过在特定曲线上对表面法相进行积分可以得出物体上其他点的绝对深度。

其中部分深度提取算法的结果是图像中一小部分像素点的 3D 坐标，因此不适合 3D 影视应用。基于连续图像的深度线索能产生更精确的结果，而基于单帧图像的深度线索算法则更灵活。基于图像内容的多样性，单一某种深度线索不能满足所有图像的 2D 转 3D 需求，因此综合各种深度线索的深度提取算法将是未来的发展方向。

人工提取信息仍然不失是一个很好的选择，借助一些图像分割技术，人工指定深度，然后通过“深度图到 3D 图像对”转换，即可完成 2D 到 3D 转换工作。

一个重要的问题是考虑深度线索以及以上介绍的深度提取算法能提供绝对深度还是相对深度，能提供稠密深度还是稀疏深度，能提供全程深度还是受限深度，能够提供实时深度提取还是非实时深度提取。表 2 对各种深度提取算法的上述特性进行了汇总。

表 2 深度提取算法参数

输入图像数	深度线索	绝对深度 /相对深度	稠密深度 /稀疏深度	实时性 /非实时性	全程深度 /受限深度	代表性算法
双目视觉 或多目视觉	双目视差	绝对	稠密	实时	<30 米	基于相关特性的一致性算法; 三角算法
	运动	绝对	稠密	实时	<30 米	光流;分解;卡尔曼滤波
	散焦	绝对	稠密	实时	NA	基于 Hermite 多项式基的图像分解;反向滤

						波；S-变换
	聚焦	绝对	稠密	非实时	NA	不同聚焦水平的图像序列及其锐利估计
	轮廓	绝对	稀疏	非实时	室内场景	基于三维像素可变型的网状模型
单目视觉	散焦	相对	稠密	实时	全程	第二高斯导数
	线性透视	相对	稠密	实时	全程	消失线检测与梯度层分配
	大气散射	相对	稠密	NA	900-8000米	光发散模型
	阴影	相对	稀疏	非实时	全程	能量最小
	模式纹理	相对	稀疏	非实时	全程	正面纹理
	对称模式	相对	稀疏	NA	全程	综合光度测量与几何约束
	闭塞					
	-曲率	相对	稠密	实时	全程	平滑曲率与等照度线
	-单变换	相对	稠密	实时	全程	最短路径
	统计模式	相对	稠密	实时	全程	基于色彩的启发式；统计估计

4.1 双目视差深度线索

当具有同一场景的两幅视角略微不同的图像时，双目视差方法可以恢复场景内物体的深度。首先找出两幅图像中的一组对应点，然后使用三角方法。

立体系统的所有参数是已知时，我们可以非常精确的获得深度信息[图 2]；当仅有内部相机参数是已知时，我们可以在一定尺度比例范围内获得深度信息。

当所有的相机参数都是未知时，我们可以在投影变换级别内获得深度信息。

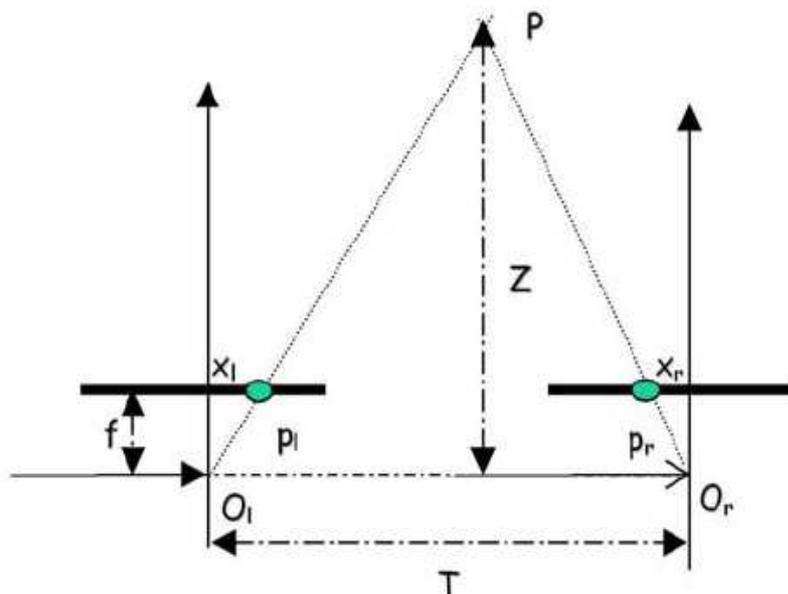


图 5 双目视差深度线索

P_l 与 P_r 是3D世界中点 P 在左图像和右图像上的投影， O_l 与 O_r 是左摄像机与右摄像机坐标系统中的原点，基于相似三角形 $\langle P, P_l, P_r \rangle$ 与 $\langle P, O_l, O_r \rangle$ ，点 P 的深度值 Z 可通过如下公式计算： $Z = f \frac{T}{d}$ ，其中 $d = x_r - x_l$ 。

基于图像对的内部二义性（例如闭塞问题），通用的立体对应问题(第一步的对应点寻找)很难解决。几个常用的约束条件包括：极线(Epi-polar)几何约束，相机标定约束，光度测量约束，顺序约束，唯一性约束，连续性约束。

关于双目视觉提取深度信息的研究由来已久，并且已有大量成熟的结果。其中一些结果不仅本身是双目视觉方面的经典，同时也是其他算法的基础或者可以借鉴到其他算法中。具体关于相机标定以及立体视觉部分请参阅[11]。

4.2 散焦与聚焦深度线索

利用散焦与聚焦提取深度信息基于如下的事实：镜头具有有限的景深，只有在正确距离处的物体才是清晰的，其他的物体和它们的距离成比例的模糊了。

在目前的技术现状下“聚焦方法”不适合数字电影应用，只能适合特定应用的特定场景。

聚焦与散焦技术的不同主要在于聚焦技术需要同一场景的不同对焦水平的系列图像(可通过调整摄像机与场景间的距离来实现)，而散焦技术仅仅需要固定物体与固定相机位置的两幅或多幅图像，只是这些图像使用不同的相机焦距设置。

下图展示了聚焦方法的主要原理。

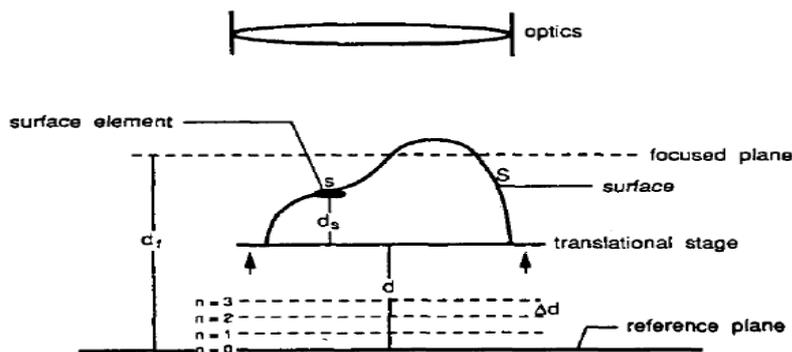


图 6 聚焦深度线索

被拍摄的不规则形状的物体被放置在可移动平台上从参考位置向像机镜头移动。像机定义了聚焦位置，即其上面所有的点均可在摄像机上被聚焦。假设 s 为物体表面上的一个点，当移动平台向聚焦位置移动时， s 变的越来越聚焦，当他到达聚焦位置时将获得最大的锐度。对物体上所有的点采用同样的程序，并记录下每次移动的距离，则该物体的深度图即可完全被建立起来。

散焦方法建立在如图 7 所示的“薄透镜”模型与 Pentland 公式之上的，

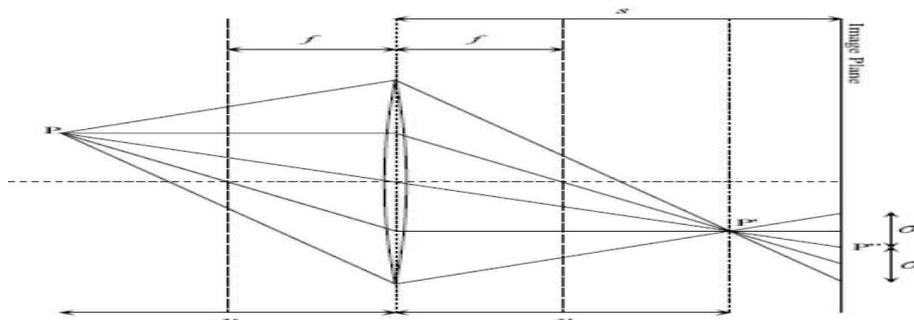


图 7 散焦深度线索

其中现实世界中的 P 点被投影成像， u 为深度， v 是镜头与最优聚焦之间的距离， s 是镜头与成像平面之间的距离， f 是焦距。 σ 是 p 点的模糊半径。

Pentland 给出了深度 u 与 σ 之间的关系：

$$u = \begin{cases} \frac{fs}{s - f - kf\sigma} & \text{if } u > v \\ \frac{fs}{s - f + kf\sigma} & \text{if } u < v \end{cases}$$

其中 k 是由镜头系统决定的常数，并且可以由相机标定完成。因此深度计算完全由 σ 估计决定，而模糊半径的估计可以依赖反向滤波，S-变换以及使用 Hermite 多项式为基的图像分解。

4.3 轮廓深度线索

所谓图像中某物体的轮廓线是指将物体与背景进行区别的轮廓。基于轮廓线

提取深度信息或者构建物体的 3D 模型需要同一场景从不同角度进行拍摄的图像。建立在精确的相机标定与目标分割之后,我们将轮廓线投影到 3D 空间中去,从而产生一个锥形空间。多个锥形空间的交汇形成目标物体的 3D 结构。其方法原理示意图见图 8。

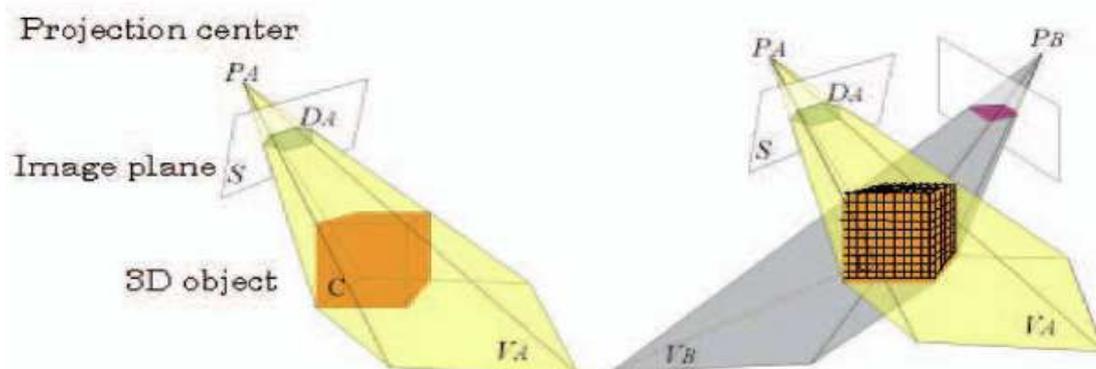


图 8 轮廓深度线索

4.4 大气散射深度线索

光线在大气中的传输被大气中的微小粒子辐射扩散从而改变其方向与能量的现象称为大气散射,其导致的视觉效果既是:越远处的物体看起来越模糊,尤其是有雾的情况。目前的算法适合提取室外包含天空场景的图像的深度信息。经过对复杂物理模型的化简之后,图像的散射情况与深度之间可以由如下公式表示:

$$\tilde{C} = C_0 e^{-\beta z} + S(1 - e^{-\beta z}),$$

其中 \tilde{C} 是一物体的测量强度,而 C_0 是没有大气散射条件下的测量强度, z 是物体的深度, S 与 β 是两相关参数。

4.5 阴影深度线索

人类的大脑能够非常好的利用阴影及一般情况下的明暗度提供的线索。检测到的阴影不仅明确地指示了隐藏边缘的位置和与他们邻近的表面的可能方向,而且一般的敏感度性质对于导出深度信息有重要的价值。一个典型的例子是人脸的照片,从直接的 2D 表示,我们的大脑可以很好的猜出其可能的照明模型,进而推断出人脸的 3D 性质。

4.6 线性透射深度线索

线性透视指平行线(例如火车轨道)随着距离的增大而汇聚直至在水平线汇聚为一点。两条线汇聚的越近他们看起来离拍摄点就越远。首先对图像实施边缘检测算法找出图像中的显著线。然后找出这些线之间的交汇点。并确定出“消失点”与“消失线”。在每对相邻的消失线间指定相应的梯度层,每层对应一定的深

度水平。离消失点近的像素被指定相对大的深度。如图 9 所示，

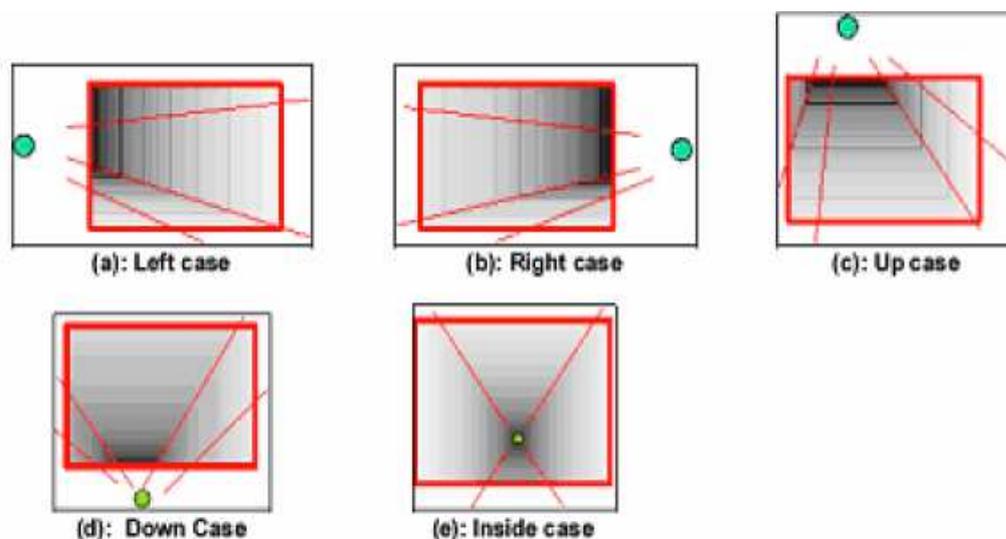


图 9 线性透视深度线索

4.7 模式纹理深度线索

模式纹理可以有效的提取深度信息，基于两点：单个纹理元素的变形与纹理元素变形的速度。后者也称为纹理梯度。深度信息提取充分利用了透视变形(远离摄像机的纹理元素相对要小)与缩短变形(与摄像平面不平行的纹理元素要短)。其原理示意图如图 10 所示。

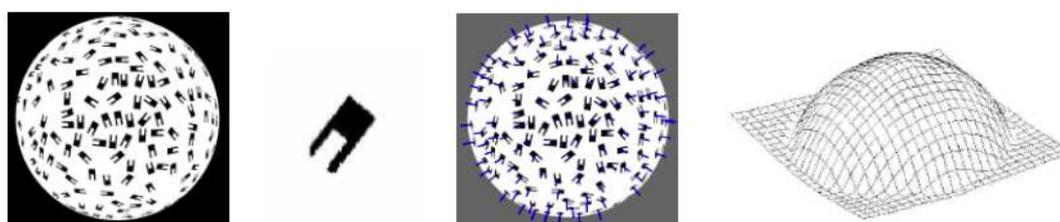


图 10 模式纹理深度线索

4.8 双边对称模式深度线索

对称模式常出现在自然与人造的场景中。面部，动物，或者各种人造的物体都符合对称模式。基于双边对称模式进行 3D 信息提取的思想来源于单幅双边对称图像可以被看做是同一物体从不同角度拍摄出的两幅图像，因此传统的基于双目视差的理论可以用来提取深度信息。

4.9 遮挡深度线索

基于遮挡提取深度信息的原理在于遮挡或者部分遮挡其他物体的物体一般距离摄像机或者人眼更近。曲率与简单变换时两种基于遮挡提取深度信息的主要线索。曲率方法充分利用了等照度线进行区域划分从而分配深度，简单变化方法

通过对像素灰度值直接进行变换从而构建深度图。

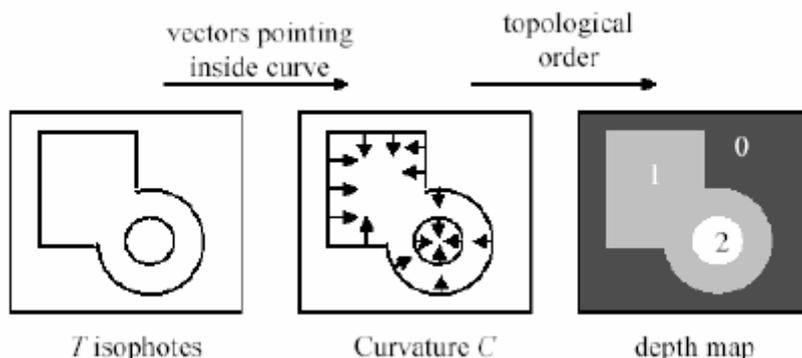


图 11 遮挡深度线索

4.10 其他深度线索

其他深度线索包括统计模式深度线索，运动深度线索等。其中统计模式是图像中多次出现的元素，此种情况适合机器学习发挥作用。运动深度线索指摄像机与场景之间的相对运动为深度感知提供了重要的线索：近处的物体移动速度快于远处的物体。

五、从深度图进行 3D 图生成

从深度图到立体图像对生成，实际上是从原始图像结合“深度图”生成“左眼图像”与“右眼图像”。而左右眼图像是通过分割后物体的平移操作获得的，而平移量的多少依据公式：

$$\text{Parallax} = M \cdot (1 - \text{depth_value} / N) [29]。$$

其中 B 为人双目之间的平均距离，depth_value 为以 8 位灰度值表示的深度值，N 为 8 位灰度值能表示的最大深度值 (255)。

在获得 Parallax 值之后，我们将通过如下几何关系获得“左眼图像”与“右眼图像”。

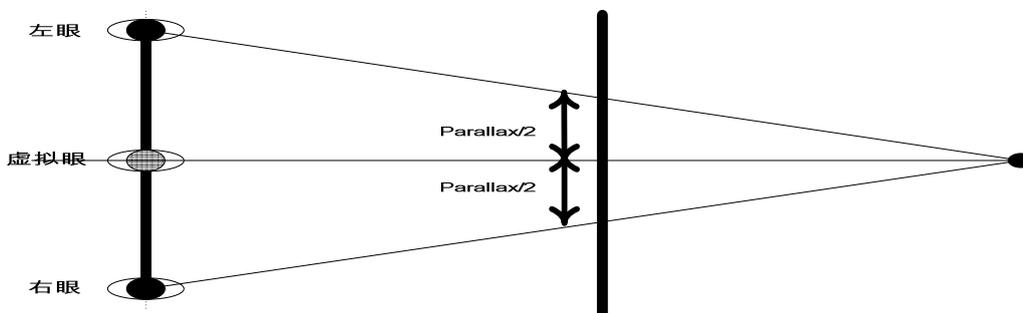


图 12 从深度图到 3D 图像生成

该部分要处理由于不同物体深度不同平移量不同所造成的遮挡以及无数据

的问题，典型的方法是模糊化处理 (Blurring) 与填充处理 (Filling) [27]。

六、实时转换与非实时转换，制作，发行以及放映阶段转换

非实时转换可以应用于数字电影以及电视的后期，其典型的技术提供商包括: In-Three, PassmoreLab, DDD, CRC , Leonis Cinema 等。

实时转换适用于电视以及其他移动手持设备，作为真实 3D 内容的一个有益补充。其典型的技术提供商包括：JVC, DDD, HDlogix, CRC 等。由于实时处理对于速度要求比较苛刻，因此对于 2D 到 3D 转换的步骤上也大有不同。例如非实时一般采用图像分割、深度赋值、平移物体(Warp 处理)以及填充、模糊处理等步骤；但是对于实时转换可能就不需要这么复杂的步骤，而仅仅采用深度产生、深度图编辑、立体图像对产生等简单的三个步骤。

就目前而言在数字电影播放服务器中植入实时的 2D 到 3D 转换处理能力尚不现实，因为对于电影的 2D 到 3D 转换需要双向处理以解决被遮挡的表面可见的问题。

2D 到 3D 转换可以在后期处理阶段(Post-production)完成，也可以在发行阶段(Distribution /Broadcast)完成，还可以在终端放映阶段(TV-Set 或者放映设备中集成)完成。在不同处理阶段完成直接影响整个产业链的处理模式，例如在内容制作阶段完成 2D 转 3D 处理则首选内容传输以及内容放映均需要具备 3D 传输与播放能力。

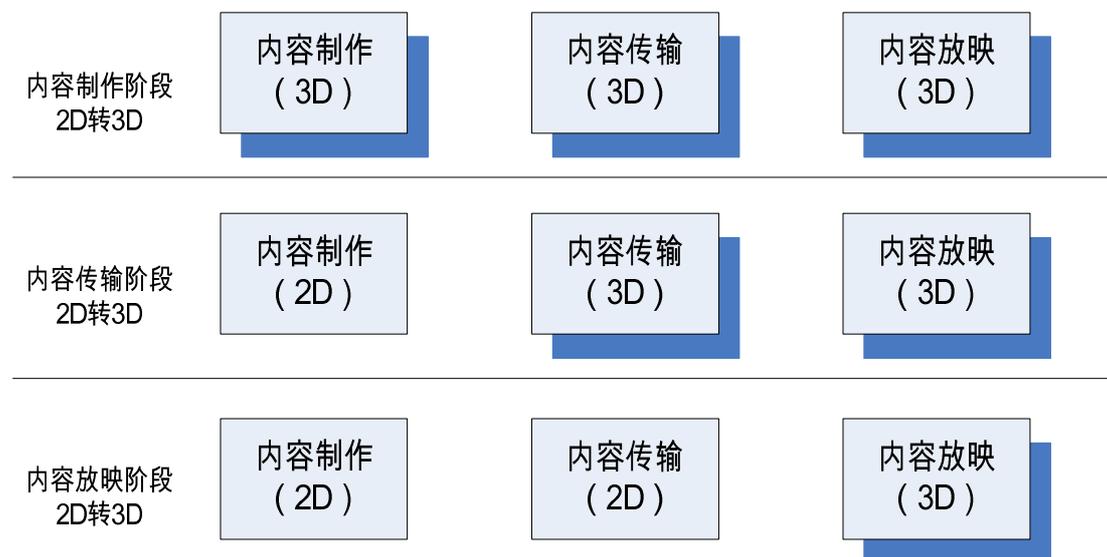


图 13 不同阶段的 2D 转 3D

按照 2D 转 3D 的自动化程度可以分为四种：全手工、半自动、自动非实时、

自动实时转换。他们分别适用于不同的场合或者不同的转换阶段，例如终端放映阶段转换的唯一选择为自动实时转换。当然从全手工到自动实时转换质量也不同，其中全手工的转换质量最高。

七、结合 3D 建模以及图像变形的 2D 到 3D 转换

分割的程度取决于要解决的问题，或者说要解决问题的程度。也就是说，在实际应用中，当感兴趣的对象已经被分离出来时，就停止分割。对于 2D 到 3D 转换应用而言，图像分割的越细致则通过后期的深度提取与深度赋值产生的 3D 世界越具有深度感。但是由于图像分割的局限性，只能将物体分离出来，但是物体本身内部的结构却很难再深入进行处理。一种有效的解决方式是基于先验知识进行物体内部的 3D 建模。

将图像分割技术与物体 3D 建模有机的结合才能产生最优的 3D 效果，其区别如图 15 所示，

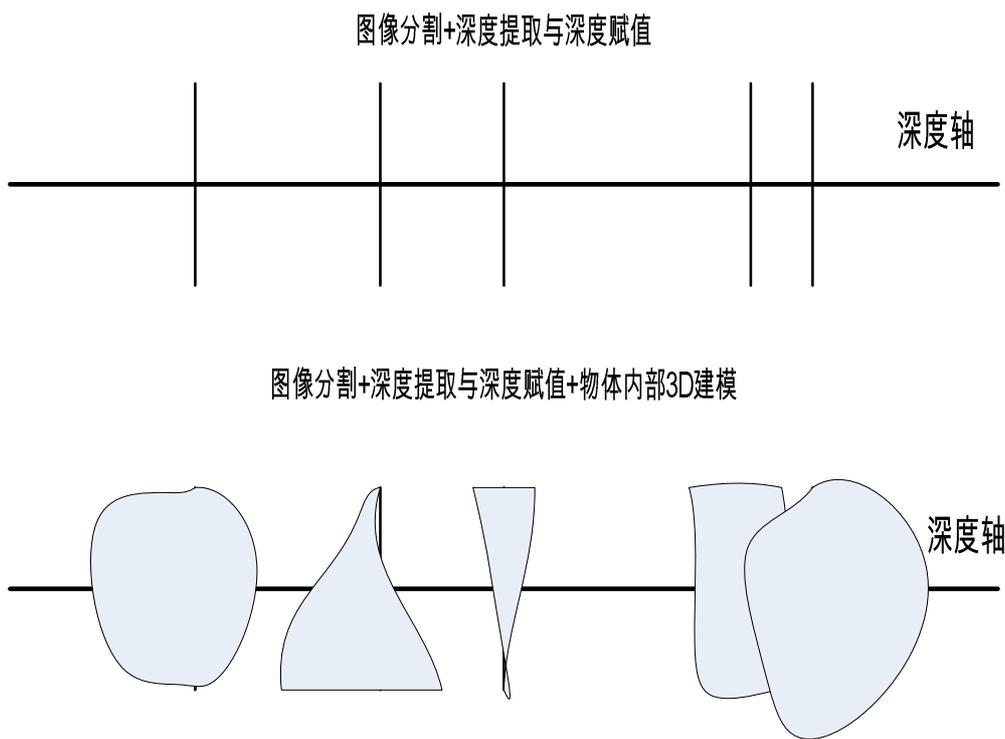


图 14 结合 3D 建模与图像分割的 2D 转 3D

以上讨论的2D转3D均为基于平移的方式（先执行图像分割或者3D建模，然后再执行深度赋值，并依据深度值对分割的物体进行平移）；通过对2D图像执行图像变形处理也可以得到很好的3D效果。将来的2D转3D应该是结合平移以及图像变形的方式以达到最大的3D效果。

下面四副图分别为采用不同程度的图像变形(Warp)处理以及未使用图像变

形(Warp)处理的结果。



图 15 不同 warp 值的处理结果

图 17 给出了结合图像分割、3D 建模、填充与模糊处理的 2D 转 3D 流程图。关于图像变形进行 2D 转 3D 我们将在后续的文章中进行说明。

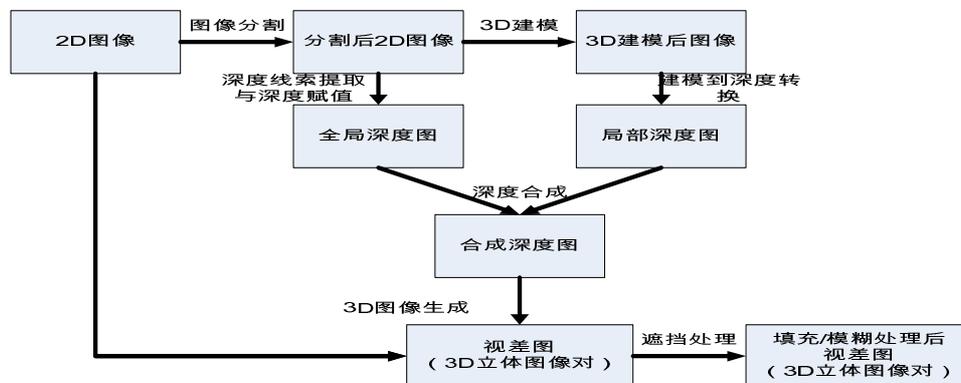


图 16 2D 转 3D 的流程图

八、评测标准与结论

2D 到 3D 转换的评测标准实际上也是其他两种 3D 内容产生方法(双机拍摄于 CGI 3D) 的评测标准。我们建议建立 2D 到 3D 转换标准图像(集合各种不同特点的图像)，以实现针对不同 2D 转 3D 技术算法的性能评判。好的 3D 内容需要达到是高亮度、强的 3D 效果、稳定的清晰度、帧间深度量的连续性以及较小的深度粒度 (深度精细度)。

对于帧间深度量的连续性我们构造出如下几个考核指标：最大正深度曲线，最大负深度曲线，物体深度连续曲线以及深度图直方图。

图像的深度直方图(depth histogram)给出图像中深度值 z 出现的频率，一幅有 L 个深阶的深度图的直方图由具有 L 个元素的一维数组表示。集中典型的深度直方图如图 19 所示。

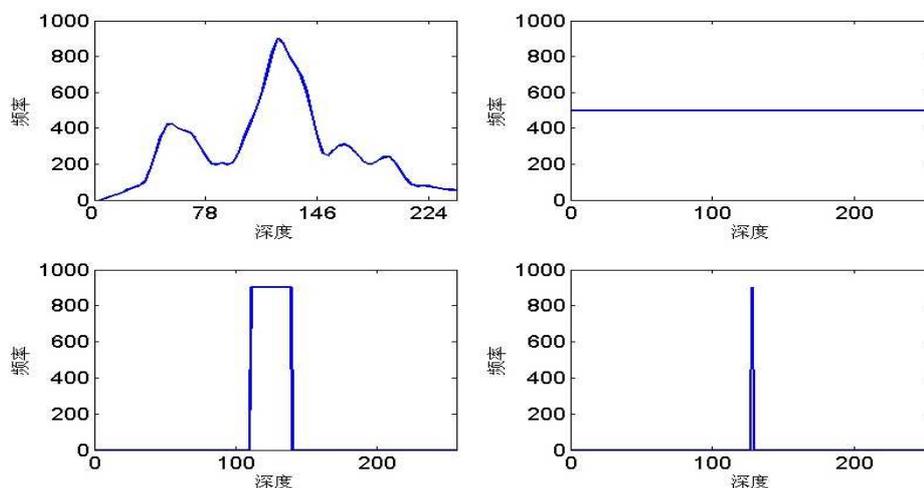


图 17 深度直方图

2D 到 3D 是一种技术与艺术相结合的课题，是 3D 内容的主要来源之一，对于 3D 的普及与发展起着至关重要的作用。在本文的最后我们总结如下几点：

(1) 不能采用单一的深度线索，应综合各种深度线索提取深度图，并结合人工的方式才能产生最优的效果。

(2) 2D 转 3D 不仅可以应用于 3D 影片，也可以应用于数字电影的可选择性内容，例如 3D 广告。同时可以将 2D CGI 的内容提供给 2D 到 3D 转换完成 3D 电影的产生。

(3) 对于数字电影 2D 转 3D 应用而言，需要强化图像分割技术与 3D 建模从而将全局深度与局部深度结合产生精细深度图。

(4) 如何有效利用模糊处理技术以及填充技术来处理图像遮挡造成的内容真空将直接影响 2D 转 3D 的质量。

(5) 对于数字 3D 电影一个很重要的的发展方向是：依据深度图和观看环境自动生成适合的 3D 立体图像对。从而可以针对各种不同的观看环境产生最佳的 3D 观看效果。

九、参考文献

[1] Zero Creative, <http://www.zerocreative.com>

[2] Passmore Lab, <http://www.passmorelab.com>

- [3] http://compression.ru/video/3d_display_video/depth_map_generation_en.html
- [4] Industrial Light & Magic, US 7573475 B2, 2D to 3D Image Conversion, Aug 11, 2009
- [5] Fraunhofer HHI, <http://www.hhi.fraunhofer.de/>
- [6] Carlos Vázquez and Wa James Tam, Introduction to 2D to 3D conversion, Techniques, Challenge and the future, SMPTE PDA Now, 12-August, 2010
- [7] Qing Qing Wei, Converting 2D to 3D: A Survey
- [8] Bernard Mendiburu, 3D Movie making: Stereoscopic digital cinema from script to screen
- [9] Insight Media, 2010 NAB 3D Stereoscopic Review
- [10] 2020 3D Media, <http://www.20203dmedia.eu/resources.htm>
- [11] Emanuele Trucco, Alessandro Verri, Introductory Techniques for 3D Computer vision, Chapter 6, Camera Calibration, Chapter 7, Stereopsis, Prentice Hall
- [12] Dr. Roberta Piroddi, Stereoscopic 3D Technologies, white paper of Snell 2010
- [13] Ning Qian, Binocular Disparity and the Perception of Depth, Neuron, 1997 Mar; 18(3):359-68.
- [14] Bao et al, Non-linear view interpolation, Computer Graphics and Application, pacific graphic'98 sixth pacific conference, 1998, pp.61-69, 225
- [15] Chen and Williams, View interpolation for image synthesis, proc. Of the 20th annual conference on computer graphics and interactive techniques, 1993, 279-288
- [16] Fu et al, An accelerated rendering algorithm for stereoscopic display, Computers & Graphics
Volume 20, Issue 2, March-April 1996, Pages 223-229
- [17] Milan Sonka, Caclav hlavac, Roger Boyle, Image processing, analysis and machine vision, third edition, chapter 9, 3D vision, geometry, and radiometry; chapter 10, Use of 3D vision
- [18] Boguslaw Cyganek, J. Paul Siebert, An Introduction to 3D Computer vision techniques and algorithm, March 2009
- [19] Yi Ma, Stefano Soatto, Jana Kosecka, Shankar S. Sastry, An Invitation to 3D vision, from images to Geometric Models
- [20] Berthold Horn, Robot Vision, 1986
- [21] Minglun Gong, Yee-Hong Yang, Genetic-Based Stereo Algorithm and Disparity Map Evaluation, International Journal of Computer Vision

- [22] Wa James Tam, Liang Zhang, 3D-TV content generation: 2D-to-3D conversion
- [23] Bernard Mendiburu, Fundamentals of Stereoscopic Imaging
- [24] Depth map generation by image classification, SPIE Proc. Vol 5302, EI2004 conference-Three-dimensional image capture and application VI
- [25] Saxena, Learning depth from single monocular images, Processing, 19th Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2005)
- [26] US Patent 6927769 B2, Stereoscopic Image Processing On a Computer System
- [27] US Patent 7573489, Infilling for 2D to 3D image conversion
- [28] Van Pernis, Andrew P.; DeJohn, Matthew S., Dimensionalization: converting 2D films to 3D, Stereoscopic Displays and Applications XIX. Edited by Woods, Andrew J.; Holliman, Nicolas S.; Merritt, John O. Proceedings of the SPIE, Volume 6803, pp. 68030T-68030T-5 (2008).
- [29] 3D Stereoscopic Image Pairs by depth-map generation: the depth map is then used to generate strereo paires.
- [30] S.Curti, D.Sirtori, F.Vella, 3D Effect Generation from Monocular View, in IEEE Proc. of -3DPVT'02 International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, pp. 550-553, 2002