## 基于匹配代价卷融合和多步插值策略的立体匹配

## 1.摘要

针对双目立体匹配算法中的自适应窗口法在重复纹理区表现不好的问题提出了一种基于匹配代价卷融合的策略；在后处理步骤中，提出一种基于分割的插值策略，提高了图片左右边界处的匹配精度，并且提出一种联合三种插值策略的方法，比已有的双插值策略匹配精度更高。与其他经典立体匹配算法的对比证明了本方法在计算视差精度上的优势。

## 引言

立体匹配通过搜寻左右图片对的对应像素点来计算视差，根据三角相似性原理，从视差值可求出物体到相机的距离。立体匹配算法被广泛应用于自动驾驶，智能机器人，Slam等领域中，是计算机视觉领域的研究热点。根据\*\*的分类，立体匹配算法被分为全局立体匹配和局部立体匹配，全局算法将视差计算表述为一个能量最小化的问题，可以通过置信度传播、图割来求解，匹配精度高，但计算耗时且有大量需要人为指定的参数；局部匹配算法通过为目标像素点构建局部支持窗口，利用邻域信息来降低匹配的模糊性，具有实现简单，运行速度块的优点，一些局部算法的精度可以媲美全局算法，使得局部匹配算法广泛地应用于现实任务，尤其是实时任务中。局部立体匹配流程通常被分为四个步骤：匹配代价计算、代价聚合、视差计算/视差优化、视差细化。

匹配代价用来衡量目标像素点和候选像素点之间的相似性，常用的相似性度量函数有两类：基于相关性和基于差异。前者常见的方法有归一化互相关NCC、零均值归一化互相关ZNCC等，通过计算目标像素点和待匹配像素点各自所在支持窗口间的相关性来比较两点间的相似性，它们对于图像强度偏差和对比度改变有较高的鲁棒性、但是计算耗时；基于差异的方法是通过计算两个像素间的颜色或者灰度的欧氏距离来测量差异，有AD法、SD法等，这类方法计算简单，对纹理的感知较好，相反对弱纹理的区分度不够，且对光照变化非常敏感。非参数变换法不直接计算像素点的强度差异，而是先通过比较像素点与周围点的大小关系来获取该点的描述符，然后通过比较两个像素点的描述符计算二者的差异，Census变换是其中应用最广的方法，它对弱纹理有较好的效果，对噪声和光照的鲁班性高，并且计算相对简单，但是由于其丢失了灰度信息，在重复纹理区表现不好。考虑到AD法和Census变换的优势互补性，Mei等人提出了AD-Census度量函数，它融合了AD和Census的优势，使其在复杂纹理和弱纹理区都有较好的表现。

代价聚合通过对初始匹配代价卷上的每个像素点进行局部支持区域的代价聚合来降低匹配的歧义性，可以把它看作对匹配代价卷的每一个视差层的滤波操作。局部支持区域的选择是该步骤的关键，最简单的选择是以目标像素点为中心的形状大小固定的矩形窗口区，当该窗口内包含的区域是视差连续的时，该方法能够取得较好的聚合效果，但是当窗口中存在视差跳跃现象，即窗口包含两个值不同的视差面，聚合操作会引入误差，降低匹配精度，如何使窗口的大小和形状能够尽可能地贴合视差不连续边缘一直是研究者想要解决的问题。Zhang等人提出的基于十字交叉的支持窗口构建策略对视差边缘有较好的检测能力，该算法通过颜色和距离限制来构建目标像素点的局部支持窗口，首先，计算像素点的上、下、左、右四个方向的支持臂的长度，公式如下：

颜色限制公式

距离限制公式

再以同样的方式计算水平臂（左臂和右臂）或者竖直臂（上臂和下臂）上的每个像素点的垂直臂长或者水平臂长，完成支持区域的构建，整个过程如图1所示。

支持区域的构建图示

Mei等人在此基础上，为了增强在无纹理区域的表现，增加了支持区域的可生成范围，且为避免手臂穿过视差边缘区域，增加了手臂上的相邻点的颜色差异限制，公式如下：

新的公式

但是该方法在重复纹理区表现不好，原因是致密的纹理会阻断臂长的生长，导致支持区域过小，增大了匹配的模糊性。

## 2.相关工作

### 2.1匹配代价计算

匹配代价用来衡量目标像素点和候选像素点之间的相似性，常用的相似性度量函数有两类：基于相关性和基于差异。前者常见的方法有归一化互相关NCC、零均值归一化互相关ZNCC等，通过计算目标像素点和待匹配像素点各自所在支持窗口间的相关性来比较两点间的相似性，它们对于图像强度偏差和对比度改变有较高的鲁棒性、但是计算耗时；基于差异的的方法是通过计算两个像素间的颜色或者灰度的欧氏距离来测量差异，有AD法、SD法等，

AD、SD的公式

这类方法计算简单，对纹理的感知较好，相反对弱纹理的区分度不够，且对光照变化非常敏感。非参数变换法不直接计算像素点的强度差异，而是先通过比较像素点与周围点的大小关系来获取该点的描述符，然后通过比较两个像素点的描述符计算二者的差异，Census变换是其中应用最广的方法，其公式为：

Census变换公式

像素点的差异通过计算汉明距离来得到：

汉明距离公式

Census法在弱纹理区有较好的效果，对噪声和关照有一定的鲁班性，并且计算相对简单，但是由于其丢失了灰度信息，在重复纹理区表现不好。考虑到AD法和Census变换的优势互补性，Mei等人提出了AD-Census度量函数，公式如下：

AD-Census函数

### 2.2 代价聚合

该步骤通过对初始匹配代价卷上的每个像素点进行局部支持区域的代价聚合来降低匹配的歧义性，可以把它看作对匹配代价卷的每一个视差层的滤波操作。局部支持区域的选择是该步骤的关键，最简单的选择是以目标像素点为中心的形状大小固定的矩形窗口区，当该窗口内包含的区域是视差连续的时，该方法能够取得较好的聚合效果，但是当窗口中存在视差跳跃现象，即窗口包含两个值不同的视差面，聚合操作会引入误差，降低匹配精度，如何使窗口的大小和形状能够尽可能地贴合视差不连续边缘一直是研究者想要解决的问题。Zhang等人提出的基于十字交叉的支持窗口构建策略对视差边缘有较好的检测能力，该算法通过颜色和距离限制来构建目标像素点的局部支持窗口，首先，计算像素点的上、下、左、右四个方向的支持臂的长度，公式如下：

颜色限制公式

距离限制公式

再以同样的方式计算水平臂（左臂和右臂）或者竖直臂（上臂和下臂）上的每个像素点的垂直臂长或者水平臂长，完成支持区域的构建，整个过程如图1所示。

支持区域的构建图示

Mei等人在此基础上，为了增强在无纹理区域的表现，增加了支持区域的可生成范围，且为避免手臂穿过视差边缘区域，增加了手臂上的相邻点的颜色差异限制，公式如下：

新的公式

但是该方法在重复纹理区表现不好，原因是致密的纹理会阻断臂长的生长，导致支持区域过小，增大了匹配的模糊性。

### 2.3 针对遮挡区域的处理策略

遮挡区是只在一侧图片存在而在另一侧图片不存在的区域，根据形成原因的不同，其可以分为两类，第一类是由于背景物体被前景物体挡住，使得一侧相机可以拍到而另一侧相机无法拍到，这类区域一般在图片的内部，第二类是由于相机所处位置的不同，使得左侧相机拍摄到的偏左的区域，而右侧相机拍摄到偏右的区域，这就造成在左图的左侧和右图的右侧各存在一块区域在另一侧图片上不存在匹配点。

针对第一类遮挡区的处理，一般是通过插值的策略，常见的有背景插值，基于区域投票的插值，合理插值等。背景插值操作简单而有效，它从不合理点向左右两侧分别寻找第一个合理点，并选择代表来自背景点，即视差值大的点的视差来填充不合理点，公式如下：

背景插值公式：

区域投票策略，首先，构建不合理点的支持窗口，该支持窗口必须尽可能只包含相同或者连续视差的点，一般通过自适应窗口法来构建，然后，通过计算支持窗口内的所有点的视差值的投票直方图，并选择投票最多的视差作为候选插值的值，公式如下

区域投票插值公式：

若满足以下两个限制则进行插值，（1）构建的支持窗口内的合理点的数目必须超过设定的阈值，（2）投票最高的视差值的得票率必须高于设定的阈值。但该算法有个问题，遮挡区域的点构建的支持窗口部分位于遮挡区，相对非遮挡区，其更可能违反限制条件(1)，其在遮挡区域的插值成功率不如背景插值高。

背景插值在非遮挡区的插值精度低于区域投票，并且对比合理插值策略其只在水平方向寻找合理视差，在规定范围内若没有找到则插值失败。合理插值通过寻找不合理点16个方向上的合理视差值，并选择其中视差最小的点作为遮挡点的填充值，这个策略保证了插值的完成率，即通过增加方向数以及加大搜索深度增大了找到填充值的概率，但同时也因为放宽搜索范围增加了错误插值的可能性。所以这步插值应该在执行完区域投票或者背景插值后再执行。

针对第二类遮挡区域的插值，一般是沿用第一类遮挡区域的插值策略，但是第二类遮挡区域一般面积更大，对于靠近边缘处的遮挡点，需要更大的搜索深度，增加了错误插值的可能。

## 3.本文算法

针对自适应窗口法在重复纹理区匹配错误率较高的问题，本文提出一种代价聚合融合的策略，利用固定窗口在重复纹理区匹配正确率相对较高的优势，来弥补自适应窗口法在这一区域的劣势；提出一种基于图像分割的插值策略，利用同一个分块中的合理视差值来填充边缘区域的视差，提高了边缘区域视差估计的精度；提出了一种联合3种插值策略的方法，进一步提高了匹配精度。

整个算法的流程如下：

整个算法的流程图：

### 3.1匹配代价卷融合

首先，利用AD-Census代价函数计算初始匹配代价卷。通过公式（上文）计算左右图的每个点的四个臂长。求左图每个点在每个视差下和右图对应点交的臂长，公式如下

（\*）交臂长求取公式

先利用宽高分别为9和7的固定窗口和构建的自适应窗口分别对初始匹配代价卷进行代价聚合操作, 公式如下：

代价聚合公式

生成固定窗口的匹配代价卷（V0）和自适应窗口的匹配代价卷（V1）。然后，检测匹配代价卷每个位置对应的臂长，如果满足条件（\*）

双臂长限制() 单臂长限制() 代价值限制()

则取Vo对应位置的代价值来替换V1中的对应位置，生成匹配代价卷（V2）。施加双臂长限制，是因为重复纹理区的点的水平和垂直臂长通常都较短，所以可通过双臂长总和阈值来表征这部分的点的一个特征，并且水平和垂直臂长通常相差较小，而相差较大的情况经常会发生在视差不连续区，所以施加单臂长限制能降低视差不连续区的点被替换为固定窗口的聚合代价而引入误差的可能，匹配代价值限制的目的与此相同，因为固定窗口在视差不连续区的聚合的匹配代价通常高于自适应窗口。

对V2进行3次自适应窗口的代价聚合迭代。生成最终的匹配代价卷（V3）。之所以只进行一次代价卷的融合，是因为融合在降低重复纹理区的误匹配时，也会给增加视差不连续区的误差，而后面三次迭代可以消除一次融合在视差不连续区域引入的误差。

进行自适应窗口的代价聚合时，也采用了原论文中的积分图的方法来加快计算速度。

之后，利用WTA策略生成初始视差图，公式如下,

WTA公式

### 3.2多步插值策略的后处理

初始视差图中存在许多错误的视差点，为了处理这部分点，利用左右一致性检测将其标记出来，公式如下：

左右一致性检测公式：

对于标记出的错误点，检测其是否存在右图的极限上，即利用公式如下

右左一致性检测公式：

若存在，则将此点标记为误匹配点，否则标记为遮挡点。

3.2.1 针对特点区域的插值策略

针对误匹配点，使用区域投票的插值策略，公式如下：

区域投票插值

针对遮挡点，使用背景插值策略，公式如下：

背景插值策略

另外，对于左视差图的左侧边界，采用一种基于图像分割的插值策略，流程图如下：

基于图像分割的插值策略流程图：

这里要指定图像的边界范围，本文设为20px。因为只在20px的范围内执行分割算法和插值，所以时间消耗上

，一致性检测是最常用的检测方式，公式如下

左右一致性检测公式：

算法的流程图如下：

分割插值的流程图

首先，根据事先指定的视差范围D，划定图像边缘区域，对于左图，我们选编号为0-2D的列作为边缘区域，并且指定0-4D的列范围为分割区。

然后，利用漫水填充算法对左图分割区域进行分割，算法需要设置种子点和上下阈值，种子点每隔x行y列依次选取，上下分别用m和n表示，整个过程可用如下公式表示：

漫水填充公式

接着，按找如下的算法对边缘区域的内被检测为遮挡点的点进行插值：

将详细的算法步骤写在下面：

1. XX
2. Xxx
3. 。。。。

3.2.2 合理插值（这边还可以有个改进，即对于遮挡点，其寻找方向可以限制为向左侧寻找，而不合理点，则不用限制寻找的方向）

在进行完第一部分插值后，还有许多标记为错误点的点没能得到插值，运用合理插值策略对这部分点进行插值，先去分别寻找目标点周围16个方向上的在一定距离内的第一个合理点Ax，若此目标点为遮挡点，则从Ax中选择视差最大的点，即最可能来自背景区的点作为填充值，若目标点为误匹配点，则从Ax中选择点在原图上的像素点与该误匹配点在原图上的像素点的颜色差最小的点的视差值作为填充值，颜色差公式如下：

颜色差公式

进行完上两步插值后，对视差图进行亚像素增强，降低由于视差离散化带来的误差，公式如下：

亚像素增强公式

最后，进行核为3的中值滤波：

合理

这个算法的流程图如下：

算法流程图

## 4.实验结果与分析

实验平台配置为Intel(R) Core(TM) i5-7300U CPU，2.60GHz，8GB内存，64位操作系统，Visual Studio 2019。数据集选用了MiddleBurry2上的基准测试集，teddy、cones、venus、tsukuba。

4.1 匹配代价卷融合的有效性

为了能够排除其他步骤的影响，只保留代价计算、代价聚合、WTA三个步骤，并对比自适应窗口代价聚合和融合匹配代价卷的代价聚合。结果如下，

两个方法的精度表

结果图

时间对比

对结果进行讨论

4.2 针对特定区域插值策略的有效性

4.2.1 背景插值和基于区域投票的联合插值策略的有效性

对比联合插值策略和区域投票的结果

4.2.2 基于图像分割的图片左边缘插值的有效性

在上一个步骤后，跟这个步骤，对比两者的结果

4.3 总的结果的对比

对比该方法和其他经典方法的结果，数据的和图片的

## 5.结论