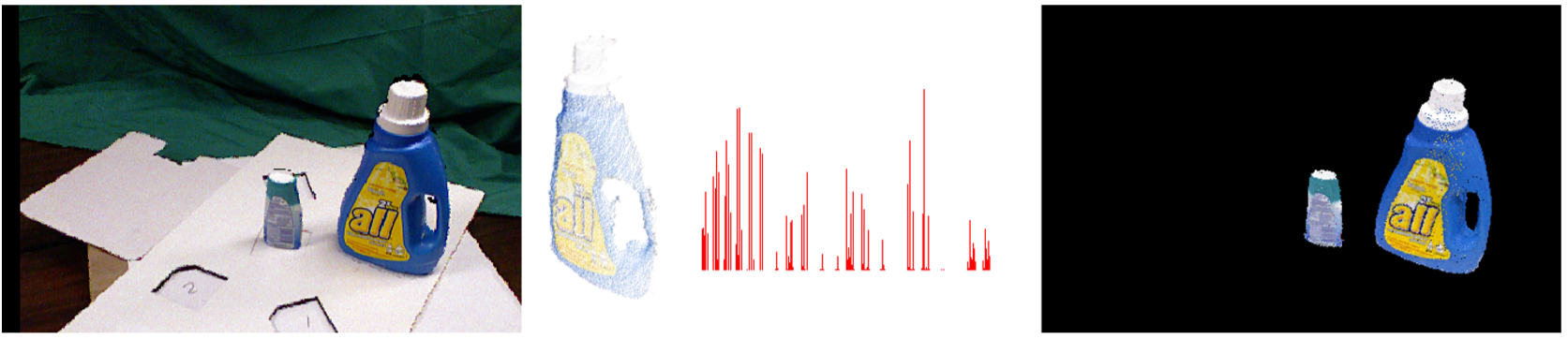
用于物体识别和姿态估计的高效全局点云描述符



图一.输入给定场景的左侧彩色点云（左侧），对象的局部视图和从中计算的全局描述符（中心）以及使用其估计姿势（右侧）渲染的给定场景中的已识别对象。

摘要 - 本文提出了一种全局点云描述符，用于高效的目标识别和姿态估计。 所提出的方法基于对表示对象实例的整个点云的参考帧的估计，该对象实例用于将其与规范坐标系对齐。 之后，基于其3D点在空间上如何分布来计算对齐点云的描述符。 这种描述符也在整个对齐点云中随着颜色分布而扩展。 匹配点云的全局对齐变换用于计算对象姿势。 所提出的方法使用公开可用的数据集进行评估，表明它在识别率和性能方面优于主流的全球描述符，并且允许精确的姿态估计。

关键词 – 点云描述符;目标识别;姿态估计

1.介绍

实时物体识别和姿态估计在许多领域都有应用，例如增强现实，机器人和人机交互。 可以利用3D点云处理来执行该任务，从而呈现出一些优点。 其中之一是提供获取待检测物体的3D模型的实用方法。 还可以自动确定候选对象实例的实际比例，这在使用其他数据类型时可能是不可能的（例如，仅RGB图像）。 除此之外，3D点云可以提供几何（3D坐标，表面法线，深度不连续边缘，高曲率区域等）和光度（颜色，颜色渐变，颜色不连续边缘，局部判别特征等）这一事实。 。）信息有助于获得优异的结果。

近年来，RGB-D传感器已成为普通用户可访问的低成本消费者设备。 这些传感器可用于实时生成给定场景表面的彩色3D点云。识别和估计对象姿势的常用方法包括将从输入场景提取的特征描述符与先前获得的对象模型进行匹配。 这种方法的一个关键优势是相对于数据库中对象数量的可伸缩性，因为可以使用近似最近邻搜索策略[1]有效地执行描述符匹配。

在这种情况下，本文提出了一种新的全局描述符，名为全局对齐空间分布（GASD），它被设计用于从点云中进行有效的物体识别和姿态估计。 它基于全局参考框架和全局对齐的形状和颜色分布的概念。 所提出的方法允许以快速，准确和稳健的方式进行对象识别和姿势估计。

这项工作的贡献是：（1）基于全局参考帧估计和全局对齐的形状和颜色分布的点云描述符，适用于对象识别和姿态估计; （2）将全局参考框架概念与现有的全局描述符结合使用，作为改进其结果的一种方式; （3）关于对象识别和评估准确性的评估; （4）与现有技术相比，对所提方法的性能评估。

本文的结构如下。 第二节介绍了与点云描述相关的工作。 第III节描述了GASD描述符。 第四节详细介绍了使用所提方法获得的结果。 第五节讨论了结论和未来的工作。、

2.相关工作

主要有两种类型的描述符用于从点云进行对象识别：局部描述符，用于匹配输入点云的局部特征与对象模型的相应特征; 和全局描述符，旨在匹配之前从点云分割的整个对象或其中的重要部分。

局部点云描述符的示例是点特征直方图描述子（PFH）[2]，快速点特征直方图描述子（FPFH）[3]，方向特征直方图描述子（SHOT）[4]，颜色SHOT（CSHOT）[5]，二进制外观和形状元素（BASE）[6]和二进制稳健外观和法线描述符（BRAND）[7]。然而，为了实现实时结果，重要的是以有效的方式提取不太大的局部点云特征集，其具有高水平的可重复性和辨别力。执行此任务的现有技术（例如LocalSurfacePatches（LSP）[8]和IntraShapeSignatures（ISS）[9]）仍然无法实现此目标。最近对[10]中可用的局部3D特征检测方法的评估指出，所评估的探测器中没有一个能够在不到1秒的时间内处理由低成本RGB-D传感器产生的典型3D点云。此外，在[11]中描述的局部三维特征描述符的评估中，验证了评估的描述符与来自低成本传感器的数据呈现弱结果，表明研究应该针对本地描述符的设计作为替代。适用于低分辨率和高噪声水平的数据。

由于全局方法生成的描述符少于本地方法，因此描述符匹配通常更快，并且通常需要更少的内存资源。 关于现有的全局点云描述符，视点特征直方图（VFH）[12]由视点分量和表面形状分量组成。 视点分量包括每个点法线和中心视点方向之间的角度的直方图。 表面形状分量由每个点法线和对象质心法线之间的相对平移，倾斜和偏转角的直方图给出。 虽然VFH是真正全局的，为整个对象实例计算单个描述符，但还有其他描述符被认为是半全局的，因为它们可以使用从整个对象表面提取的聚类来计算一些描述符。

这是群集VFH（CVFH）描述符[13]的情况，其中平滑区域增长算法用于从点云提取稳定群集。 CVFH具有与VFH相同的视点和表面形状组件，但质心位置和法线是从每个群集而不是整个对象计算的。它还有一个额外的形状分布组件，它包含每个浊点和聚类质心之间的归一化距离的直方图。面向，独特和可重复的CVFH（OUR-CVFH）描述符[14]共享CVFH的相同视点和表面形状组件，但形状分布组件由点和质心之间的8个直方图代替，一个参考帧的每个八分圆。使用半全局唯一参考帧（SGURF）技术计算所提取的聚类的这种参考帧。在[15]中，OUR-CVFH在YUV空间中扩展了颜色信息，同时也考虑了簇的参考帧。最后，形状函数集合（ESF）[16]是通过将角度，点距离和区域形状函数组合到对象点云而获得的真正全局描述符。但是，正如第四部分详述的比较中所解释的那样，本文提出的GASD描述符在性能和识别结果之间提供了比上述全局描述符更好的平衡。

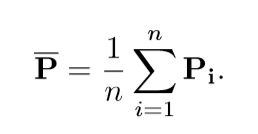
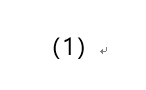
3. 全局一致的空间分布描述子特征

所提出的全局描述方法将3D点云视为输入，该3D点云表示给定对象的局部视图（图1中心）。 第一步是估计点云的参考帧，它允许计算使其与规范坐标系对齐的变换，使描述符姿势不变。 在对齐之后，基于3D点的空间分布计算点云的形状描述符。 还可以考虑沿着点云的颜色分布以获得具有更高辨别力的形状和颜色描述符（图1中心）。 然后通过匹配部分视图的查询和训练描述符来执行对象识别。 每个识别对象的姿势也是根据匹配查询和列车局部视图的对齐变换计算出来的（图1）。所有这些过程都在下面的小节中详细说明。

1. 参考框架估计

用于估计对象局部视图的参考帧的方法基于[17]中描述的DARC技术的法线和姿势估计步骤。 然而，DARC将平面轮廓作为输入并且旨在纠正它们，而当前方法处理自由曲面并且打算将它们与规范坐标系对齐以供稍后描述。 参考帧估计方法也类似于[14]中详述的SGURF技术。 然而，SGURF从输入部分视图中提取平滑点集群并估计每个集群的参考帧，而当前方法估计表示部分视图的整个点云的单个参考帧。 此外，SGURF使用当前方法未使用的表面法线信息。

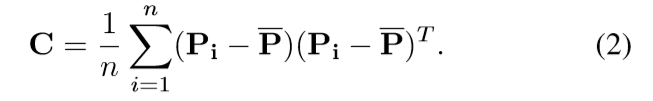
使用主成分分析（PCA）方法估计参考系。 给定一组3D点Pi表示对象的局部视图，其中i∈{1，...，n}，第一步是计算它们的质心通过



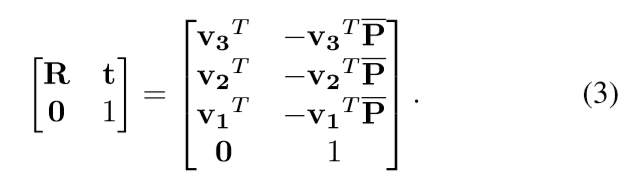
从3D点云估计的参考系，其表示给定对象的局部视图：x轴（红色），y轴（绿色）和z轴（蓝色）。

参考帧的原点由P给出。然后从Pi和P计算协方差矩阵C，如下所示：



之后，获得C的特征值λj和对应的特征向量vj，其中j∈{1,2,3}，使得Cvj =λjvj。 考虑到特征值按升序排列，与最小特征值相关联的特征向量v1用作参考帧的z轴。 如果v1与观察方向之间的角度在[-90°，90°]范围内，则取消v1。 这确保了z轴始终指向观察者。 参考帧的x轴是与最大特征值相关联的特征向量v3。 y轴由v2 = v1×v3给出。 针对给定局部视图估计的参考帧在图2中示出。

从参考系中，可以计算使其与规范坐标系对齐的变换[R | t]。 然后用[R | t]变换局部视图的所有点Pi，其定义如下：



1. 形状描述

一旦使用参考帧对齐点云，就可以从中计算出姿势不变的全局形状描述符。 在所提出的方法中，针对整个点云计算单个描述符。 它也不依赖于表面法线，这允许更快的计算。

描述符基于云中3D点的分布。 以原点为中心的点云轴对齐的边界立方体被划分为ms×ms×ms规则网格，如图3和图4所示。对于每个网格单元，存储属于它的点的数量，形成直方图。

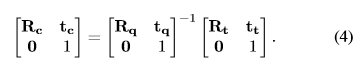
每个样本对直方图的贡献相对于云中的总点数进行归一化。可选地，可以使用三线性插值来将每个样本的值分配到相邻单元中，以试图避免当样本从一个单元内转移到另一个单元时可能导致直方图突然改变的边界效应。然后通过连接计算的直方图来获得描述符。

1. 形状和颜色描述

颜色信息也可以合并到描述符中以增加其辨别力。描述符的颜色分量用类似于用于形状分量的mc×mc×mc网格计算，但是基于属于它的点的颜色为每个单元生成颜色直方图。点云颜色在HSV空间中表示，色调值在具有l个箱的直方图中累积。与形状分量计算类似，执行关于点数的归一化。另外，还可以执行直方图样本的四线性内插。形状和颜色组件连接在一起，形成最终的描述符。

1. 描述符匹配和姿态估计

使用最近邻搜索方法匹配查询和训练描述符。之后，对于每个匹配的对象实例，使用从相应查询和训练部分视图的参考帧获得的对齐变换来计算粗略姿势。给定分别对齐查询和训练局部视图的变换[Rq | tq]和[Rt | tt]，通过以下方式获得对象粗略姿势[Rc | tc]：



然后可以使用迭代最近点（ICP）算法[18]来确定粗略姿势[Rc | tc]。

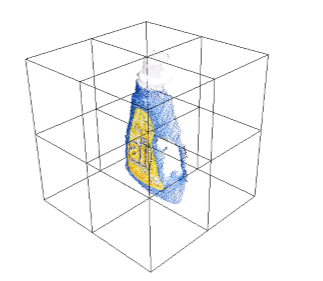


图3.大小为ms = mc = 2的示例网格，用于计算给定点云的GASD描述符。

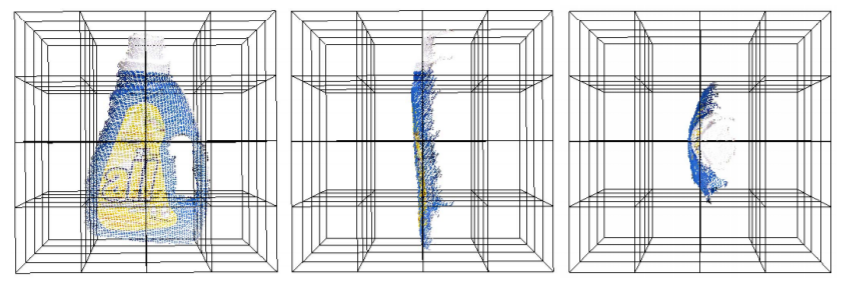


图4.用于计算给定点云的GASD描述符的大小为m s = m c = 4的示例网格的正视图（左），侧视图（中心）和俯视图（右）。