**技 术 交 底 书**

发明（实用新型）一种基于三棱锥标靶的移动测量系统激光点云精度评估方法

交底问题联系人：

交底人Tel： Fax： E-mail：

术语解释：移动测量系统(Mobile Measurement System, MMS)借助于定位定姿系统的直接地理参考信息，实现由激光扫描仪坐标系最终到目标坐标系的转换，从而获得被测目标的三维点云。

**一、本发明（实用新型）解决的技术问题是：**

**对应现有技术的所有缺点，正面描述本发明（实用新型）要解决的技术问题；本发明（实用新型）解决不了的不用提供。**

随着移动测量技术的快速发展及其应用的不断深入，各领域对移动测量系统的精度提出了不同要求，如何快速、方便地评估其精度越来越受到人们的重视。现有的精度评估技术均是基于某些特征进行的，即将传统测量手段（全站仪等）量测的精确的特征位置作为参考，通过与移动测量系统获取的同名特征进行比较，从而评估系统精度。按照所使用的特征类型，主要可以分为两类：

1. 基于特征点的精度评估方法。

在基于特征点进行精度评估的手段中，首先，需要建设标准化的外业检测场来提供的理想测试环境，最大限度排除外界误差干扰；同时，在检测场中需要使用传统方式获取大量的特征点，将其作为检校点，工作量巨大，效率较低；其次，激光扫描仪虽然可以获取大面积的点云，但点云中不一定包含需要的特征点，而且当需要用拟合的方式去求取特征点坐标时还必须要求测试环境具有完整的结构化特征和保证MMS获取足够的目标点云信息；最后，特征点提取主要依靠手工操作，受载体速度、主观意识及点云密度等多种因素的影响，难以做到精确提取，对整体的实验结果而言增加了不确定性，不能保证实验的精度。

1. 基于特征线的精度评估方法。

对于基于特征线的精度评估方法，引入了线段豪斯多夫距离算法（line segment Hausdorff distance, LHD），利用建筑物特征线等方式，将MMS获取的一系列特征线与参考线段进行自动寻找其对应关系，从而实现移动测量系统的精度评估进行对比分析，进行精度评定。对于低密度点云精度评定能够进行有效的精度评定，克服了特征点识别、精确拾取方面的困难。但是，它受限于测试环境要有完整的结构化特征来为它提供所需的目标特征，而且其精度评估结果的可靠性受阈值选择的影响较大，且相比于特征点，特征线的提取过程更为复杂，技术较为不成熟。

这两种方法对机载、车载、船载移动测量系统而言，在实际测量应用中，其载体的规划路线往往受到各种因素的影响而导致难以获取足够的标靶三维数据来拟合并求出精确的目标坐标，使得实验的可靠性大大降低。而且载体与目标特征之间的测量距离普遍较远，载体的移动速度也往往过快，使得系统获取的激光点云的密度较低，易导致激光点云中目标特征的缺失。故上述两种方法较难同时应用在机载、车载、船载移动测量系统的点云精度评估，做不到通用性。

针对上述问题，本发明公开了一种基于三棱锥标靶的移动测量系统激光点云精度评估方法。它基于特征点的精度评估方式，通过改进检测场中的标靶模具，进而实现机载、车载、船载的点云精度评估通用性问题。通过解算出三棱锥的三个平面方程，来求取三棱锥的顶点坐标。再利用全站仪无棱镜作业模式精确均匀获取三棱锥每个平面上少量点坐标，并拟合求取平面方程，以此来计算三棱锥的顶点坐标。根据MMS获得的点云数据计算得到的棱锥顶点坐标与全站仪测量得到的棱锥平面点坐标计算得到的棱锥顶点坐标来进行精度评估。

本发明方法，一方面解决了低密度点云易导致目标特征的缺失问题与较难获取足够的标靶三维数据进行拟合来求出精确的目标坐标的问题，另一方面该方法无需直接提取目标点或目标线段，它通过间接的方式，快速高效地来精确获取目标信息，解决了非结构化环境的问题和提取点、线不精确造成的评估结果不精确等缺陷。提高了工作效率和检校质量，精度评估结果可靠性强。且三棱锥标靶的制作成本低，制作工艺需求小，校测场的选址建设简单，MMS易于获取足够的标靶三维数据，利于实现。

本方法可以较好地解决低密度激光点云与较难获取足够标靶三维数据的精度评估问题，可以完全适用于车载、船载、机载等多种载体，通用性强，成本较低，实用价值较高。

1. **详细介绍技术背景，并描述已有的与本发明（实用新型）最相近似的实现方案。**

**1、背景技术（大的技术背景和小的技术背景）**

**2、现有技术方案**

**应详细介绍，以不需再去看文献即可领会该技术内容为准，如果现有技术出自专利，期刊，书籍，则提供出处。**

1技术背景

移动测量系统可以快速获取高密度、高精度的三维点云数据，近些年来它作为一种新兴的三维空间信息数据采集方式发展迅速，已经广泛应用于数字城市、街景地图、城市部件普查、道路检测及特征提取、三维建模等诸多领域。同时，随着无人驾驶技术的发展，高精度道路电子地图测制等新兴领域对移动测量系统的精度提出了更高的要求，移动测量系统也成为获取高精度基础地理信息数据的主流方式。在实际生产应用中，不同应用领域对移动测量系统的精度要求各不相同，新兴技术领域对其精度要求愈发提高。如何有效、快速、方便的进行移动测量系统的精度评估工作存在客观需要随着移动测量技术的快速发展及其应用的不断深入，不同的应用需求对移动测量系统的精度提出了不同要求，因此，移动测量系统的精度评估受到越来越多的重视。现有的技术方法分为两类：

1.基于特征点的精度评估方法

基于特征点的精度评估方法就是首先建设标准化的外业检测场，在最大可能排除外界干扰因素的前提下，使用传统方式获取特征点高精度的三维坐标，将其作为检校点；然后最大可能排除外界干扰因素的前提下，使用移动测量系统获取实验场地的激光点云数据；最后，将全站仪精确量测的特征点坐标作为参考标准，与移动测量系统解算提取的同名特征点坐标进行比对分析，计算二者较差，并求解平面误差与点位中误差等，作为精度评估的指标。

2.基于特征线的精度评估方法

基于特征线的精度评估方法引入了线段豪斯多夫距离算法（linesegmentHausdorffdistance,LHD），将从激光点云中提取的一系列建筑物特征线与参考线段进行比较，通过分析两组特征线之间的相似性，自动寻找其对应关系，从而实现移动测量系统的精度评估。

2现有实现方案

现有的较好方案中是基于用球标靶模具来进行移动测量系统激光点云精度评估。

它是基于特征点的评估方法来进行点云精度评估。它事先将球标靶摆放在场地中，然后用传统的测量手段，在球面上均匀较多得取点，并通过几何最小二乘拟合算法获得球心坐标使其作为参考值。然后再用MMS获取目标点云，并通过几何最小二乘拟合算法获得球心坐标。最后将通过这两种方式得到的球心坐标联合进行点云精度评估。

**三、现有技术的缺点是什么？针对这些缺点，说明本发明（实用新型）的目的。**

**客观评价现有技术的缺点是针对于本发明（实用新型）的优点来说的，本发明（实用新型）不能解决的缺点不需要提供（缺点可以是成本高、误码率高、反应速度慢等类似问题）；**

**可以从结构角度推导出现有相近产品的缺点。**

1.基于特征点进行精度评估的方法，该类方法需要建设标准化的外业检测场来提供理想的测试环境，以最大限度排除外界误差干扰。但外业检测场的选址条件一般比较复杂、构建条件困难，需要测试环境具有完整的结构化特征，而且在检测场中需要布设大量的控制点作为特征点并使用传统方式来获取特征点精确坐标，工作量巨大，效率较低；其次，在点云数据提取中主要依靠手工操作提取几何特征点，由于特征点提取主要依靠手工操作，它受载体速度、主观意识及点云密度等多种因素的影响很难做到精确提取，对整体精度评估结果而言增加了不确定性，不能保证评估的精度。

2.基于特征线的精度评估方法，该类方法通过提取点云中的一系列线段与参考线段进行对比分析，进行精度评定，对于低密度点云精度评定能够进行有效的精度评定，在一定程度上克服了特征点识别、精确拾取的困难。但其精度评估结果的可靠性受阈值选择的影响较大，且相比于特征点，特征线的提取过程更为复杂，而且测试环境中必须要有完整的结构化特征。

针对上述缺点，本发明检测场地的选址建设极为简单无需考虑场地中是否具有完整的结构化特征,只需要场地中有一些精准的控制点供全站仪使用，三棱锥标靶合理均匀地摆放在场地内即可。激光点云中的平面特征不仅容易识别，而且平面的提取精度受载体速度、主观意识及点云密度等因素的影响较小，提取过程也比较简单，存在许多点、线特征所不具备的优点。将传统方法中的特征点、特征线用三棱锥的三个平面来交出顶点替换，克服了传统方法中特征点、线提取困难，提取不精确造成的评估不精确的局限性。

本发明的主要目的是提出一个解决在实际工作中的机载，车载，船载等多载体的MMS点云精度评估问题，即要快速、方便、易于实施，解决实际工作中因扫描距离过远、载体速度过快而导致点云的密度不符合要求和载体的规划路线往往受到各种因素的影响而难以获取足够的靶标三维数据，进而使拟合计算得不出精确的目标坐标，导致实际测量精度无法精确评定的问题。

**四、本发明（实用新型）技术方案的详细阐述：**

**本部分为专利申请最重要的部分，需要详细提供**

**发明（实用新型）中每一功能的实现都要有相应的技术实现方案；（专利必须是一个技术方案，应该阐述发明（实用新型）目的通过什么技术方案来实现的，不能只有原理，也不能只做功能介绍）**

**提供结构图及文字说明（工艺步骤、结构说明，原理说明，动作关系说明等）；**

**所有附图都应该有详细的文字描述，以别人不看附图即可明白技术方案为准；**

**同时附图中的关键词或方框图中的注释都尽量用中文。**

本发明的三棱锥示意图：

锥面全站仪测点示意图：

本发明提出一种基于三棱锥标靶的移动测量系统激光点云精度评估方法。

求内符合与外符合精度流程图为：



**一、利用特征值法获取平面方程**

1.获取三个平面上的点的三维坐标，然后通过平面拟合的方法得出每个平面方程。

2.空间平面的方程可以表示为：

 (1)

其中，a、b、c为平面的单位法向量，满足，d为坐标原点至平面的距离。要确定平面特征,就要确定a、b、c、d这4个参数。

任意一数据点至该平面的距离为：

 (2)

要获得最佳拟合平面,则应在条件下满足：



采用拉格朗日乘数法，组成函数：

 (3)

对式(3)求关于的偏导数，并令其等于0，得到

 (4)

因此式(2)可以改写为：

 (5)

其中

 (6)

对式(3)求关于的偏导数，并令其为0，构成特征值方程，求解的问题，便可以转换为求矩阵的特征值与特征向量，如下式

 (7)

其中

，



并最终可以求得：

 (8)

的最小值即为A的最小特征值，最小特征值对应的特征向量即为。再由式(4)得到计算，从而得到平面的参数。

**二、三个法向量互不平行的平面求交点的计算**

设三个平面的方程为：

 （9）



其中三个平面的法向量 满足： 三个平面有一个交点。

表示成矩阵形式：

（10）



上式中， 由于



则线性无关，故存在，所以交点坐标(x,y,z)可按下

式求得：

 （11）

1. **利用点云数据求出的标靶顶点坐标与全站仪数据求出的标靶顶点坐标进行激光点云的内外符合精度评估**

利用全站仪直接测得标靶平面点的坐标数据，根据式（1）—（11）求出三棱锥顶点坐标为。

利用移动测量系统多次采集标靶数据，根据式（1）—（11）计算得到的三棱锥标靶的顶点坐标为：

则 **，，**

内符合精度指的是在相同位置相同参数设置下对同一目标进行多次观测，比较各个观测值之间的离散度，该指标可以反映仪器在不同的观测条件下仪器内部的稳定性。

**各轴向内符合精表达式**：

,,

,,

,,

，，

式中，为观测值；为改正值；n为所测点的个数;为各轴向中误差；为平面精度；为高程精度；为点位精度。

外符合精度是以外部提供的参考值为比对基准，主要反映观测值与参考值之间的偏差程度，即精确度。外符合精度反映了定位结果的实际可信度。外符合精度是将参考值作为真值来计算观测值的各轴向中误差。

**外符合精度表达式：**

,,

,,

,,

，，

式中，为观测值；为各轴向真误差；n为所测点的个数; 为各轴向中误差；为平面精度；为高程精度；为点位精度。

**五、本发明（实用新型）的关键点和欲保护点是：**

**发明（实用新型）内容部分提供的是为完成一定功能的完整的技术方案，在本部分是提炼出技术方案的关键创新点，列出1、2、3……以提醒代理人注意，便于专利代理人撰写权利要求书。**

**注意：简单点明即可；具体可以是根据第六部分能给本发明（实用新型）带来有益效果的关键技术点。**

1.利用等于多于三个平面的标靶模具来进行MMS点云精度评估的方式，保证了不过分依赖测试环境与不同密度点云的通用性。

**六、与第二条所属的最好的现有技术相比，本发明（实用新型）的优点：**

**本部分简单介绍即可。**

**结合技术方案来描述，以推理方式说明，做到有理有据；**

**可以对应第三部分所要解决的技术问题或发明（实用新型）目的来描述**。

在现有技术中，较好的方法是采用球标靶模具进行基于控制点的精度评估，该方法使用传统的测量方法获取球表面的点的精确三维坐标并通过几何最小二乘拟合算法获得球心坐标，将其作为检校点，然后通过与MMS解算获取的点云特征点坐标进行比对，从而获取点位中误差、平面误差等作为MMS精度评估标准。

在这个过程中，实际测量的规划路线和MMS往往因受到多种因素的影响，而导致点云密度不理想和MMS无法获取足够的球标靶的三维信息，以至于进行拟合计算得到的球心坐标的误差较大，使点云精度评估的可靠性大大降低，进而做不到同时满足不同载体类型和不同点云密度的精度评估。而且对于球标靶需要使用传统的测量方法获取大量的特征点进行拟合获取球心坐标，工作量巨大，效率较低；最后，球标靶模具制作过程相当繁琐，工艺要求很高，成本较高，不适合大规模生产此模具。

本发明提出的新型精度评估技术手段，该方法基于三棱锥标靶的三个参考平面交汇出的顶点，无需提取特征点或特征线段，克服了提取特征点、线困难和特征点提取不精确造成的精度评估结果不可靠、不精确的局限性，提高了工作效率和检校质量。

三棱锥标靶与球标靶相比的有如下优点：

1.选址布设十分简单。三棱锥的模具的每个平面只需要扫到少量的点就可以精确拟合平面进而可以得到精确棱锥顶点坐标，载体规划路线相对自由，受到检测场的限制较小。

2.工作量较小，效率较高。本发明只需使用全站仪获取极少棱锥表面的点坐标来拟合每个平面方程进而求出三棱锥的点坐标，并使其作为检校点进行精度评估，比球标靶的取点密度大大降低。

3.三棱锥标靶模具制作简单，工艺要求很低，成本较小，适合大规模生产。

该方法快速、方便、易于实施、成本较低，决了实际工作中因各种载体扫描距离过远、速度过快而导致点云的密度不够和因载体规划路线不理想使得不能获得足够的目标三维信息去拟合并求取精确目标三维坐标而导致实际测量精度无法精确评定的问题。

**七、针对第四部分中的技术方案，是否还有别的替代方案？**

**如果有，请详尽写明，内容的提供可以扩大专利的保护范围，防止他人绕过本技术去实现同样的发明（实用新型）目的；**

本技术方案是求取以三棱锥的三个参考平面交出的顶点为基准进行激光点云的精度评估的，通过三个或多个面相交出标靶的顶点或特征点也可能实现本发明，因此三棱锥模具被其他多面体标靶模具替换即为替代方案。

**八、其他有助于专利代理人理解本技术的资料：**

**给代理人提供更多的信息，可以有助于代理人更好更快的完成申请文件。**

[1]官云兰,程效军,施贵刚.一种稳健的点云数据平面拟合方法[J].同济大学学报(自然科学版),2008(07):981-984.

[2]宋杨,高志国,李长辉.多传感器移动测量系统精度检测方法探讨[J].测绘科学,2015,40(09):74-77+97.

[3]李鑫. 车载移动测量系统误差分析与检校方法研究[D].解放军信息工程大学,2012.

[4]徐工,程效军.移动测量系统点云精度评定及应用分析[J].工程勘察,2013,41(09):42-46.

[5]Wang C , Tanahashi H , Hirayu H , et al. Comparison of local plane fitting methods for range data[C]// Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2001.

[6]Acharya P K , Henderson T C . Parameter estimation and error analysis of range data[C]// IEEE International Conference on Robotics & Automation. IEEE Xplore, 1988.

[7]欧阳平.LiDAR点的精度检验[J].城市勘测,2013(04):122-126.