引文格式：王延,张勇,周雪飞,等. 一种改进的基于平面先验的多视图密集匹配算法[J]. 地理空间信息, 2026, 24(4):122-125. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.04.025

一种改进的基于平面先验的多视图密集匹配算法

王　延[1]，张　勇[2*]，周雪飞[3]，陈小杜[3]，邢占春[1]
（1. 中国电科网络通信研究院（中国电子科技集团公司第五十四研究所），河北 石家庄 050050；
2. 梧州学院 电子与信息工程学院，广西 梧州 543003；3. 武汉航天远景科技股份有限公司，湖北 武汉 430220）

摘　要：针对ACMP算法在构建平面先验模型的过程中容易将非平面区域假设为平面区域导致的区域模型精度下降问题，提出了改进的基于平面先验的多视图密集匹配算法。首先利用Canny算子检测输入影像边缘并利用检测结果剔除非弱纹理区域，然后利用剔除了非弱纹理区域的影像构建弱纹理区域平面先验模型，执行基于平面先验的ACMP算法，并在后续深度图融合采样过程中利用模型对弱纹理区域和非弱纹理区域进行区别采样，大幅度降低平面区域点云密度的同时，保留非平面区域点云的更多细节。实验证明，平面区域的点云数量减少了约43.1%，非平面区域点云数量增加了约65.5%。与现有方法相比，改进的算法可以丰富非弱纹理区域的模型细节，提高建模区域的点云完整性。

关键词：多视图立体视觉；多视图密集匹配；ACMH；ACMP
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）04-0122-04

Improved Multi-view Dense Matching Algorithm Based on Planar Prior

WANG Yan[1], ZHANG Yong[2], ZHOU Xuefei[3], CHEN Xiaodu[3], XING Zhanchun[1]
(1. China Electronics Technology Network Communications Research Institute (China Electronics Technology Group Corporation 54th Research Institute), Shijiazhuang 050050, China;
2. School of Electronics and Information Engineering, Wuzhou University, Wuzhou 543003, China;
3. Wuhan Visiontek Technology Co., Ltd., Wuhan 430220, China)

Abstract: To address the issue of reduced model accuracy caused by the assumption of non-planar regions as planar regions during the construction of a planar prior using the ACMP algorithm, we put forward an improved multi-view dense matching algorithm based on planar prior. Firstly, we used Canny operator to detect image edges, and used the detection results to remove non-weak texture regions. Then, we used the images that removed non-weak texture regions to construct a weak texture region planar prior model, and used this model to implement the ACMP algorithm based on planar prior. In the subsequent sampling calculation process of depth map fusion, we used the weak texture region planar prior model to oversample on weak texture regions and perform a small amount of sampling on non-weak texture regions, which could reduce the density of point clouds in planar regions while preserve more point clouds details in non-planar regions. Experimental results show that the number of point clouds in the planar region of experimental data has decreased by about 43.1%, whereas the number in the non-planar region has increased by about 65.5%. Compared with existing methods, the improved algorithm enriches the model details of non-weak texture regions and improves the integrity of point clouds.

Key words: multi-view stereo vision, multi-view dense matching, ACMH, ACMP

实景三维模型基于倾斜影像数据，经稠密点云生成、格网构建及纹理贴图生成，具真实感强、量测精度高、信息丰富等特点[1]，广泛应用于多领域[2-4]。稠密点云生成是核心，主要用多视图密集匹配算法[5-7]，分深度图计算和融合两步。块匹配（PatchMatch）方法因高效被广泛采用，但存在匹配结果稳定性低、弱纹理及视差不连续区域匹配精度低等问题。针对这些问题，研究人员提出了多种改进方法，如自适应归一化互相关匹配代价、利用点线信息初始化深度信息、超像素分割提升弱纹理区域辨识度等。提出的ACMH、ACMM、ACMP算法在采样传播效率、视图选择准确性及大场景弱纹理区域深度图计算方面有改进，但ACMP算法在构建平面优化模型时易将非弱纹理非平面区域假设为平面，导致精度下降[8-18]。本文对AC-

项目来源：梧州学院人才引进科研启动基金资助项目（WZUQ DJJ43022）。
第一作者简介：王延（1985—），硕士，高级工程师，研究方向为地面目标识别相关技术，E-mail：215742844@qq.com。
通信作者：张勇（1978—），博士，正高级工程师，研究方向为卫星遥感影像和无人机遥感影像的高精度几何定位理论和方法，E-mail：zyong @whu.edu.cn。

MP算法改进，先用Canny边缘检测剔除非弱纹理区域，再对弱纹理区域构建三角网作为平面先验模型，提升非弱纹理区域精度，并在深度图融合点云采样环节区别采样，降低弱纹理区域点云密度，保留非弱纹理区域细节，提高点云完整性。

1　算法实现

1.1　算法流程

改进的ACMP算法通过Canny边缘检测、三角面非弱边缘计算剔除非弱纹理区域，构建弱纹理区域平面先验，提升弱纹理区域深度估计，降低ACMP算法非弱纹理区域的精度下降问题。算法的实现过程如图1所示，分为两个阶段。第一个阶段以参考影像和源影像为输入，利用ACMH算法生成可靠的稀疏点云，然后利用稀疏点云构建平面模型；第二个阶段输入影像进行边缘检测剔除非弱纹理区域，将其作为先验平面与影像数据执行基于平面先验的ACMP计算，并结合ACMM结果，输出优化的深度图。

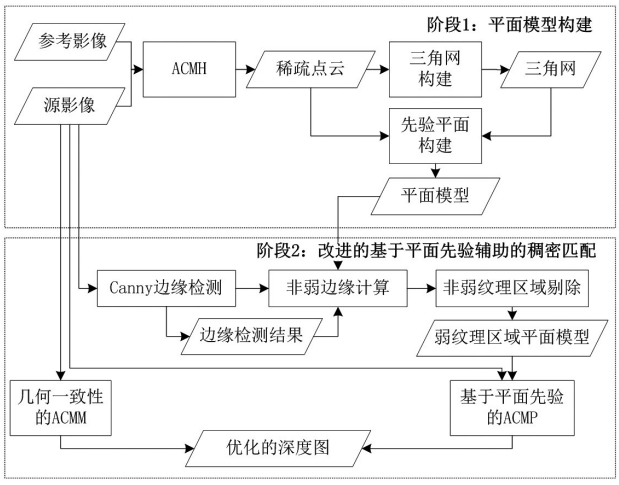


图1　改进的基于平面先验的稠密匹配算法框图

改进的ACMP算法利用了ACMH、ACMM以及ACMP算法，上述算法徐青山在参考文献[17]中进行了非常详细的描述，在此重点描述ACMP算法的改进部分，即利用Canny边缘检测剔除非弱纹理区域构建弱纹理区域平面模型以及基于弱纹理区域平面先验的深度图融合过程。

1.2　利用边缘检测构建弱纹理区域平面先验模型

1.2.1　图像边缘检测

在构建弱纹理区域平面先验模型之前首先需要对图像进行Canny边缘检测，检测过程中将非极大抑制图像作用高低2个阈值设置为80和40，当像素点的边缘强度大于80时则将该像素点直接记录为边缘点；当像素点的边缘强度介于40~80之间时则判断该像素点与已知点是否为八连通，如果联通则记为边缘点，否则记为非边缘点。如果像素点的边缘强度值小于40，则记为非边缘点。采用该阈值计算出的图像边缘如图2所示。



图2　Canny边缘提取结果

1.2.2　弱纹理区域平面先验模型构建

弱纹理区域平面先验模型构建首先将Canny边缘检测得到的边缘区域定义为强边缘区域，其他区域则定义为弱边缘区域，然后按照平面模型三角面元内部像素的强弱边缘像素个数占比对三角面元进行判定，当三角面元中的强边缘区域占比超过一定值，则将该三角面元判定为非平面区域并将该区域从平面先验模型中剔除。剔除掉非弱纹理区域后的平面先验模型结果如图3所示，通过与图4未剔除非弱纹理区域的平面先验模型的对比可以看出，原本被错误认定为平面的树木、车辆区域得以纠正。

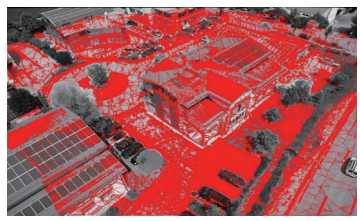


图3　剔除非弱纹理区ACMP平面先验模型构建结果

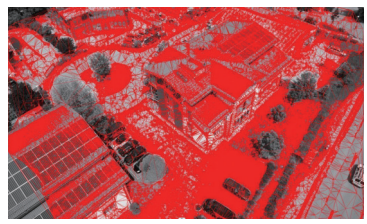


图4　未剔除非弱纹理区域ACMP平面先验模型构建结果

1.3　基于弱纹理区域平面先验的深度图融合

通过深度图融合得到的点云往往因为过于稠密或点云数量过多而不利于后续Mesh构网处理，因此需要对生成的点云进行一次降采样处理，而较为复杂的降采样方法在面对如此大的点云数量时速度较慢，随机采样速度较快，但随机采样方法可能会导致点云精度降低。考虑到深度图融合前已知每张参考影像的平面信息，本文在实践过程中将采样过程直接放入深度图融合中进行。

由弱纹理区域平面先验模型的构建结果可知每张参考影像的平面区域，在点云采样处理过程中可将弱纹理区域平面先验模型引入计算过程，在采样计算之前首先判断三角面元是否属于平面区域，如果属于平面区域则对该三角面元内的点云进行过采样，如果不属于平面区域则尽量保持点云数不变或进行少量采样，采用该种方法可有效提升非平面区域的实景三维模型的细节，减少平面区域的模型异常。按照该方法非弱纹理/弱纹理区域分割结果如图5所示的mask_tri图，针对图5中非弱纹理区域（黑色区域）进行少量的采样（尽量保持点云数不变），而针对弱纹理区域（图5中mask_tri非零的白色区域），则进行大量的随机采样。

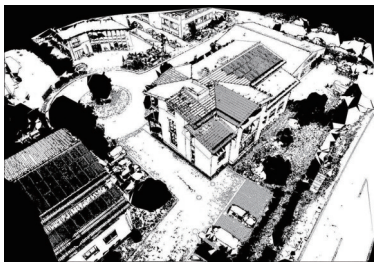


图5 非弱纹理/弱纹理区域分割结果

2 实验结果与分析

为验证改进的ACMP算法的有效性，本文选择了一组包含建筑、道路等弱纹理和灌木、高大树木等非弱纹理区域的城市数据作为实验数据，分别采用ACMP算法和改进后的ACMP算法进行稠密点云匹配、深度图融合运算，并利用输出点云进行构网实验。实验结果如下所述。

2.1 优化平面模型后点云生成结果对比分析

实验采用同一组数据分别利用ACMP算法和改进后的ACMP算法进行稠密匹配并对其输出的数量为500万点的点云结果进行了对比分析，针对平面模型构建进行优化后的实验结果如图6、7所示。图6为非弱纹理区域参与平面先验生成的点云结果，图7为剔除非弱纹理区域后生成的点云结果，两者对比可以明显看出，图6红色方框中的树木其点云数量从2 553点增加到4 227点，点云数量增多约65.5%，增加明显，有效提升了非弱纹理区的点云密度。

2.2 基于弱纹理区域平面先验的深度图融合的点云及构网结果对比

2.2.1 点云结果对比

在深度图融合阶段进行点云采样生成的点云结果分别如图8、9所示，且随机采样和区别采样获得的

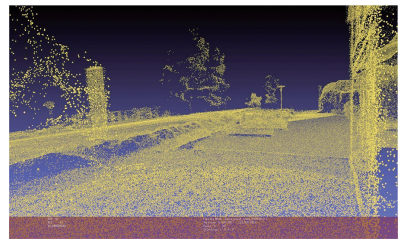


图6 非弱纹理区域参与平面先验后的点云结果

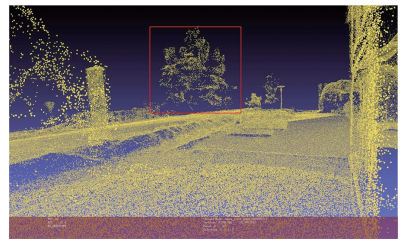


图7 非弱纹理区域不参与平面先验后的点云结果

点云数量均为500万点。其中，图8展示了采用随机采样生成的点云结果，图9所示的点云结果为区别采样后的点云结果。图9红色框的建筑立面作为弱纹理区域进行了过采样处理后，点云数量由10 286点降为5 856点减少了约43.1%，与图8对比亦可以看出其点云明显变得稀疏。结合图10和图11的构网结果，针对基本为平面的弱纹理区域进行大量的随机采样不会降低后期构网精度，而尽可能保留物体边缘处的点，反而有助于提高构网精度。同时通过实验验证将点云降采样过程加入深度图融合中后，深度图融合速度由原来的45.8 s提升到38.7 s，加快了深度图融合速度。

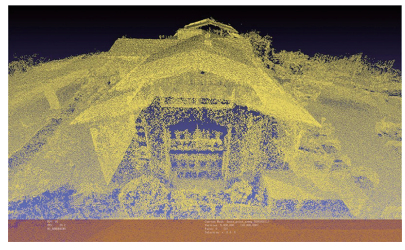


图8 非弱纹理区域参与平面先验后的点云结果

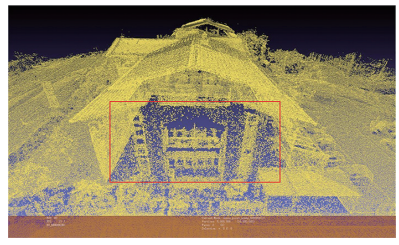


图9 区别采样至500万点后的点云结果

2.2.2 Mesh构网结果对比

为进一步验证基于弱纹理区域平面先验的深度图融合的点云的准确度和完整性，本次实验利用图8、9的点云数据分别进行Mesh构网实验，构网结果分别

如图10和图11所示。由构网结果可以看出尽可能保留非弱纹理区域点云后，图11红色方框中非弱纹理区域的树木网格模型与图10相比更加完整，而对墙面、屋顶等弱纹理区域的构网结果基本无影响。

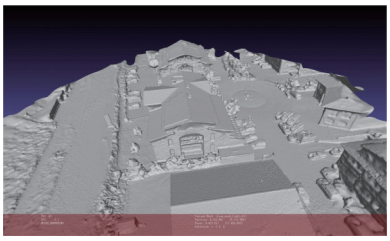


图10　随机采样点云构网结果

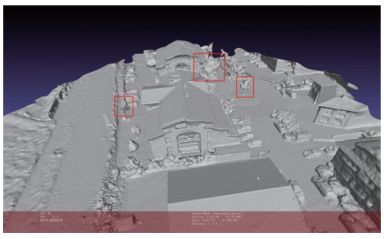


图11　区别采样点云构网结果

3　结　语

本文利用Canny边缘检测的方法对ACMP构建的平面先验模型进行了改进，构建了基于边缘检测结果的弱纹理区域平面先验模型，并将其引入深度图融合的采样过程。实验结果表明，改进的基于平面先验的多视图密集匹配算法在保持ACMP算法优点的同时有效提高了点云的完整性，且非弱纹理区域的点云细节更加丰富，使得三维建模整体效果得到显著改善。但是当弱纹理区域较大、观测影像数量过少时，本文方法生成的稠密点云将会存在缺失或者精度较差的情况，导致最终三维模型在该区域缺失或者模型发生变形扭曲。针对该现象，后续将考虑引入影像分块匹配的方法来改善观测影像数量过少导致的点云缺失和精度较差的情况，同时对平面先验模型进一步优化，以实现大面积弱纹理区域也能生成精度较好、完整度高的稠密点云。

参考文献

[1]　乐黎明，覃雪梅，王祥，等. 实景三维模型的建设技术与应用[J]. 地理空间信息，2022，20(11):96-99

[2]　张帆，黄先锋，高云龙，等. 实景三维中国建设技术大纲(2021版)解读与思考[J]. 测绘地理信息，2021，46(6):171-174

[3]　王文峰. 实景三维模型在智慧公安中的应用:以上海市为例[J]. 地理空间信息，2024，22(6):105-108

[4]　黄林周，姜紫薇，黄印. 实景三维地理信息系统在智慧林业中的应用[J]. 地理空间信息，2023，21(3):49-51

[5]　Furukawa Y，Ponce J. Accurate，Dense，and Robust Multiview Stereopsis[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence，IEEE Transactions on，2010，32(8):1362-1376

[6]　周晓清，王翔，郑锦，等. 基于自适应空间稀疏化的高效多视图立体匹配[J]. 电子学报，2023，51(11):3079-3091

[7]　Gu X，Fan Z，Zhu S，et al. Cascade Cost Volume for High-resolution Multi-view Stereo and Stereo Matching[C]//Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition，2020:2492-2501

[8]　Connelly B，Eli S，Adam F，et al. PatchMatch: A Randomized Correspondence Algorithm for Structural Image Editing[J]. ACM Trans，Graph，2009，28(3):35-45

[9]　Connelly B，Eli S，Dan B G，et al. The Generalized Patchmatch Correspondence Algorithm[C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)，2010:29-43

[10]　Shen S. Accurate Multiple View 3D Reconstruction Using Patch-based Stereo for Large-scale Scenes[J]//IEEE Transactions on Image Processing，2013，22(5):1901-1914

[11]　Zheng E，Dunn E，Jojic V，et al. Patchmatch Based Joint View Sselection and Depthmap Estimation[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition，2014:1510-1517

[12]　张雪，邓非，周琳，等. 一种基于PatchMatch的多视影像密集匹配改进方法[J]. 测绘地理信息，2019，44(4):90-93

[13]　颜青松，邓非，曲英杰，等. 基于点线信息的PatchMatch多视密集匹配算法[J]. 测绘地理信息，2021，46(增刊):257-260

[14]　王正家，陈长乐，徐研彦，等. 基于跨尺度PatchMatch的立体匹配算法[J]. 电子测量技术，2022，45(12):114-119

[15]　Xu Q，Tao W. Multi-view Stereo with Asymmetric Checkerboard Propagation and Multi-hypothesis Joint View Selection[J]. cs.CV，2018，arXiv:1805.07920

[16]　徐青山. 基于块匹配和深度学习的多视图立体视觉方法研究[D]. 武汉:华中科技大学，2021

[17]　Galliani S，Schindler K. Massively Parallel Multiview Stereopsis by Surface Normal Diffusion[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision，2015:873-881

[18]　Canny J.A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence，1986，8(6):679-698