



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112964712 A

(43) 申请公布日 2021.06.15

---

(21) 申请号 202110159801.2 *G06T 7/11* (2017.01)  
(22) 申请日 2021.02.05 *G06T 7/136* (2017.01)  
(71) 申请人 中南大学 *G06T 7/60* (2017.01)  
地址 410083 湖南省长沙市麓山南路932号 *G06T 7/64* (2017.01)  
(72) 发明人 但汉成 柏格文 祝志恒 山宏宇  
(74) 专利代理机构 长沙欧诺专利代理事务所  
(普通合伙) 43234  
代理人 欧颖 张文君  
(51) Int. Cl.  
*G01N 21/84* (2006.01)  
*G01N 21/88* (2006.01)  
*G01N 15/02* (2006.01)  
*G06T 7/00* (2017.01)  
*G06T 5/00* (2006.01)  
*G06T 7/13* (2017.01)

权利要求书2页 说明书10页

---

### (54) 发明名称

一种快速检测沥青路面状态的方法

### (57) 摘要

一种快速检测沥青路面状态的方法,包括以下步骤:步骤一,对道路进行钻芯,获得圆柱体道路试件;步骤二,环绕圆柱体道路试件的一周用面阵相机进行侧面拍摄,对所有照片进行匹配对齐与重构并进行全景图像合成得到合成图;对合成图进行标记;步骤三,采用神经网络对合成图进行识别,并采用高斯权重法和二次标记法优化,获得识别结果图像;步骤四,对识别结果图像进行二值化计算和处理,对存在的裂纹和空洞进行填充,对集料颗粒间的粘连进行颗粒分割;识别结果经上述处理后对其中的集料颗粒的形态特征及空间位置分布进行分析。本发明实现了快速、精准、量化分析沥青混合料的各项参数性能,从而达到了快速检测道路状态的目的。

1. 一种快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一,对道路进行钻芯,获得圆柱体道路试件;

步骤二,环绕圆柱体道路试件的一周用面阵相机进行侧面拍摄多张照片,对所有拍摄的照片进行匹配对齐与重构并应用图像合成软件进行全景图像合成得到合成图;

应用图像标记软件对所述合成图中的粒径大于预定标准的集料颗粒进行标记;

步骤三,采用人工神经网络对标记后的合成图进行训练识别,并采用高斯权重优化使合成图内的图块的匹配更平滑,采用二次标记的方法使训练的识别准确率上升,获得识别结果图像;

步骤四,对得到的识别结果图像进行二值化计算和处理,对二值化计算和处理后的图像中存在集料颗粒内的裂纹和空洞对比原始图像进行填充,对图像二值化和填充过程中导致的集料颗粒间的粘连进行颗粒分割;识别结果经上述处理后对其中的集料颗粒的形态特征及空间位置分布进行分析,并对圆柱体道路试件中的沥青混合料的离析和缺陷进行表征,用于获得圆柱体道路试件的各项参数性能,从而完成快速检测道路状态的目的。

2. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述步骤二中,粒径大于预定标准的集料颗粒为粒径大于2.36mm的集料颗粒。

3. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述步骤二中,面阵相机为智能手机或数码相机。

4. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述步骤三中,人工神经网络优选采用U-NET网络及U-NET++网络。

5. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述步骤二中,图像合成软件为Image Composite Editor软件;图像标记软件为TeeAnnotating软件或Labelme软件。

6. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述步骤二中,合成图的分辨率为每厘米200像素~500像素。

7. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述步骤二中,环绕圆柱体道路试件的一周进行拍摄时,拍摄旋转角度差为 $20^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ ,共拍摄12~18张照片。

8. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述高斯权重优化,是在合成图裁切成小图块用于训练识别时,减小一半取样图块的平移距离,让小图块之间存在重叠部分,避免网格效应;并对小图块的识别结果使用高斯核作为各图块区域叠加时的权重,将背景权重小于核权重的部分取用新的小图块的识别结果,再将该部分更新为新的核权重,最终形成完整的识别结果图像。

9. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述二次标记的方法,是将识别结果图像反向导入到图像标记软件中,得到集料颗粒分割后的轮廓,依照人为判别的正确轮廓对识别轮廓标记做细微修改,将修改后的标记图片扩充数据集,用于人工神经网络训练识别。

10. 根据权利要求1所述的快速检测沥青路面状态的方法,其特征在于,所述步骤四中,二值化计算和处理采用大津法、ISODATA法或最小割算法来完成;所述填充是采用人工判别手动填充或者采用ImageJ软件Fill holes算法辅助填充;所述颗粒分割是采用ImageJ软件

中的Adjustable watershed插件实现颗粒分割。

## 一种快速检测沥青路面状态的方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于土木工程道路技术领域,具体涉及一种快速检测沥青路面状态的方法。

### 背景技术

[0002] 国家交通运输水平的提升离不开道路网的建设,在大体量大规模的基建潮过后,道路保有量对检测技术和养护技术的冲击不可小觑,路面的工程质量、路面病害需要快速且精准的评定。利用图像判别工程质量是直观有效的方法之一,将可视化图像与土工建筑物的性能或损伤建立关系,在检测损伤、状态监测、预测性能等方面均有应用。在路面领域,图像识别作为计算机辅助方法提高了研究和工程效率。目前室内试验的图像获取方法较少,在沥青混合料试件进行力学性能试验后,常采用CT扫描判断内部裂纹或空隙的变化情况;对混合料试件切片后拍摄图像并二值化处理后能够得到试件的内部信息,分析集料的形态特征和混合料的裂纹等损伤,与力学性能建立联系。前沿研究理论与方法在实际工程应用中存在许多瓶颈,包括流程繁杂、专业性强、设备昂贵、速度缓慢等问题。以现有的路面病害检测方法为例,路面检测车拍摄的路面图像由检测人员逐一甄别病害的位置、尺度与类型,这是目前道路检测中最常见的模式之一,即机器采集协同人工判别,但该现有方法无法做到精准判断路面参数与缺陷病害的具体情况。而路面钻芯取样多用于各类室内强度试验与提取试验来反映路面的质量指标,虽然能在一定程度上精准的判断路面病害的情况却又因诸多原因难以进行现场评估。简而言之,路面检测技术发展的目标是更多有效信息的获取、更快速的判定方法、更精准的分析手段以及更少的人力成本消耗。

[0003] 因此,需要设计一种快速检测沥青路面状态的方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种快速检测沥青路面状态的方法,以解决背景技术中提出的现有的常见道路检测方法无法做到精准判断路面参数与缺陷病害的具体情况,而现有的一些精准的判断方法又难以进行现场评估的问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种快速检测沥青路面状态的方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤一,对道路进行钻芯,获得圆柱体道路试件;

[0007] 步骤二,环绕圆柱体道路试件的一周用面阵相机进行侧面拍摄多张照片,对所有拍摄的照片进行匹配对齐与重构并应用图像合成软件进行全景图像合成得到合成图;

[0008] 应用图像标记软件对所述合成图中的粒径大于预定标准的集料颗粒进行标记;

[0009] 步骤三,采用神经网络对标记后的合成图进行训练识别,并采用高斯权重优化使合成图内的图块的匹配更平滑,采用二次标记的方法使训练的识别准确率上升,获得识别结果图像;

[0010] 步骤四,对得到的识别结果图像进行二值化计算和处理,对二值化计算和处理后

的图像中存在集料颗粒内的裂纹和空洞对比原始图像进行填充,对图像二值化和填充过程中导致的集料颗粒间的粘连进行颗粒分割;识别结果经上述处理后对其中的集料颗粒的形态特征及空间位置分布进行分析,并对圆柱体道路试件中的沥青混合料的离析和缺陷进行表征,用于获得圆柱体道路试件的各项参数性能,从而完成快速检测道路状态的目的。

[0011] 在一种具体的实施方式中,所述步骤二中,粒径大于预定标准的集料颗粒为粒径大于2.36mm的集料颗粒。

[0012] 在一种具体的实施方式中,所述步骤二中,面阵相机为智能手机或数码相机。

[0013] 在一种具体的实施方式中,所述步骤三中,人工神经网络优选采用U-NET网络及U-NET++网络。

[0014] 在一种具体的实施方式中,所述步骤二中,图像合成软件为Image Composite Editor软件;图像标记软件为TeeAnnotating软件或Labelme软件。

[0015] 在一种具体的实施方式中,所述步骤二中,合成图的分辨率为每厘米200像素~500像素。

[0016] 在一种具体的实施方式中,所述步骤二中,环绕圆柱体道路试件的一周进行拍摄时,拍摄旋转角度差为 $20^{\circ}$ ~ $30^{\circ}$ ,共拍摄12~18张照片。

[0017] 在一种具体的实施方式中,所述高斯权重优化,是在合成图裁切成小图块用于训练识别时,减小一半取样图块的平移距离,让小图块之间存在重叠部分,避免网格效应;并对小图块的识别结果使用高斯核作为各图块区域叠加时的权重,将背景权重小于核权重的部分取用新的小图块的识别结果,再将该部分更新为新的核权重,最终形成完整的识别结果图像。

[0018] 在一种具体的实施方式中,所述二次标记的方法,是将识别结果图像反向导入到图像标记软件中,得到集料颗粒分割后的轮廓,依照人为判别的正确轮廓对识别轮廓标记做细微修改,将修改后的标记图片扩充数据集,用于人工神经网络训练识别。

[0019] 在一种具体的实施方式中,所述步骤四中,二值化计算和处理采用大津法、ISODATA法或最小割算法来完成;所述填充是采用人工判别手动填充或者采用ImageJ软件Fill holes算法辅助填充;所述颗粒分割是采用ImageJ软件中的Adjustable watershed插件实现颗粒分割。

[0020] 相比于现有技术,本发明具有以下有益效果:

[0021] 本发明将先进且便携的图像采集和重构合成技术用于道路沥青混合料的图像获取,利用受训神经网络的图像识别功能,辅以优化的图像处理技术,实现了快速、精准、量化分析沥青混合料的各项性能,从而达到了快速检测道路状态的目的。

[0022] 本发明采用面阵相机成像的方式拍摄沥青混合料芯样侧表面,引入特征点云与模型匹配的方法提高系列图片重构合成的效果。利用面阵相机实现沥青混合料芯样曲型侧表面的图像还原,用便捷设备达到了接近工业线阵相机的专业成像功能与水准。

[0023] 本发明将医学分割网络U-NET++迁移用于沥青混合料芯样识别,达到更好的识别分割效果。

[0024] 本发明通过引入高斯模糊算法,改善了输出图像的匹配性和平滑度;采用二次标记方法,优化了沥青混合料合成图片的识别效率。受训T-U-NET++具有优异的识别准确率,对于同类结构组成的沥青混合料也具有泛用性。

[0025] 本发明中识别结果图像的合理二值化、填充与颗粒分割操作的方法及参数,对真实表面信息的表征效果较好。

[0026] 本发明将图像处理结果用于快速的数据获取和分析。包括集料颗粒的长细比和圆度,沥青混合料均匀性和缺陷分析等。尤其在沥青混合料无损分析中,能够获取真实的空间分布信息,并提出了沿深度方向的离析加权算法,优势明显,且节省了人力物力。

[0027] 除了上面所描述的目的、特征和优点之外,本发明还有其它的目的、特征和优点。下面对本发明作进一步详细的说明。

### 具体实施方式

[0028] 以下对本发明的实施例进行详细说明,但是本发明可以根据权利要求限定和覆盖的多种不同方式实施。

[0029] 路面检测在宏观尺度范畴的图像分析,多以路面图像为分析目标;细观尺度则是从集料、混合料或路面芯样中获取信息。在获取表面图像的方法中,路面可以采用线阵相机拼接成完整图像,正如工程检测车拍摄路面图像的功能;沥青混合料则多用面阵相机对试件表面或切割平面拍摄,如果表面非平面或表面不平整,对获取信息的准确性存在不利影响,因此室内研究不得不采用射线方法如CT扫描等还原沥青混合料的二维图像或三维模型。事实上,近年来面阵相机的硬件集成度和成像效果都有了大幅改进,相比于线阵相机,不需要专业技能、专业软件及严格的拍摄条件就能快速得到清晰的图片。在路面检测中应用先进面阵相机有助于实现轻量化的工作,若仅用手机、数码相机等广泛普及的电子设备进行拍摄,就能够轻松获得现场路面或室内试件的图像信息,对推动路面混合料图像分析的科研、施工与检测等工作具有重大价值。

[0030] 深度学习因可训练性和高效精准性等优势成为人工智能机器学习的重要技术方法,其中卷积神经网络(CNN)是深度学习图像识别的代表算法之一,在CNN出色图像分类能力的基础上,改进的FCN实现了对特定对象的识别功能。路面检测本质上是大量相似性重复性的图像内容判别工作,这与FCN框架的优势完美契合,近年来CNN/FCN在道路领域主要集中于路面病害自动识别的算法和应用研究,以及模型重构后信息的获取与处理分析等。快速拍摄获取的路面图像在标记和训练后,对裂缝和坑槽等路面病害的识别与分类接近肉眼判别的结果。受训CNN/FCN模型用于混合料的图像识别能够对表征混合料的细观结构组分分布。这些例子证明了在大量学习的基础上,理想的CNN/FCN模型在受训任务中的表现接近于道路工程师或研究员的水平,不仅处理速度更快,且不存在主观差错。沥青混合料图像分析实质上是空隙、沥青砂浆和集料三相体系的识别和分割,一般认为区分集料(粗集料)与其他相是图像二值分析的合理方法。U-NET人工神经网络是于2015年提出的用于生物医学的神经网络,在细胞识别与分割中表现十分出色。基于U-NET的改进神经网络算法U-NET++(U-NETPlusPlus)在2018年提出,目的是实现更精确的医学图像分割,在宏观尺度的脏器分割与微细观尺度的细胞核分割均展现了更好的效果。沥青混合料试件作为路面室内试验的主要对象,其在可视表面上的骨料二维形态主要具有粒度差异大、形状不规则、分布随机、数量多等特性,与医学图像分割特性类同。将U-NET或U-NET++迁移能实现沥青混合料的集料识别与分割。

[0031] 本发明将图像重构算法、深度学习图像识别等技术应用于道路方向的实际应用之

中。本发明利用便携且易于获取的设备,结合低使用门槛的优势,实现快速且精准的图像和数据获取,并实现工具化与可复制性,消除高昂成本与高难技术等元素造成的瓶颈。

[0032] 实施例1

[0033] 本发明的一种快速检测沥青路面状态的方法,包括以下步骤:

[0034] 步骤一,对道路进行钻芯,获得圆柱体道路试件;

[0035] 步骤二,环绕圆柱体道路试件的一周用面阵相机进行侧面拍摄多张照片,对所有拍摄的照片进行匹配对齐与重构并应用图像合成软件进行全景图像合成得到合成图;

[0036] 应用图像标记软件对所述合成图中的粒径大于预定标准的集料进行标记;

[0037] 步骤三,采用人工神经网络对标记后的合成图进行训练识别,并采用高斯权重优化使合成图内的图块的匹配更平滑,采用二次标记的方法使训练的识别准确率上升,获得识别结果图像;

[0038] 步骤四,对得到的识别结果图像进行二值化计算和处理,对二值化计算和处理后的图像中存在集料颗粒内的裂纹和空洞对比原始图像进行填充,对图像二值化和填充过程中导致的集料颗粒间的粘连进行颗粒分割;识别结果经上述处理后对其中的集料颗粒的形态特征及空间位置分布进行分析,并对圆柱体道路试件中的沥青混合料的离析和缺陷进行表征,用于获得圆柱体道路试件的各项参数性能,从而完成快速检测道路状态的目的。

[0039] 人工神经网络(Artificial Neural Network,即ANN),是20世纪80年代以来人工智能领域兴起的研究热点。它从信息处理角度对人脑神经网络进行抽象,建立某种简单模型,按不同的连接方式组成不同的网络。在工程与学术界也常直接简称为神经网络或类神经网络。神经网络是一种运算模型,由大量的节点(或称神经元)之间相互联接构成。每个节点代表一种特定的输出函数,称为激励函数(activation function)。每两个节点间的连接都代表一个对于通过该连接信号的加权值,称之为权重,这相当于人工神经网络的记忆。网络的输出则依网络的连接方式,权重值和激励函数的不同而不同。而网络自身通常都是对自然界某种算法或者函数的逼近,也可能是对一种逻辑策略的表达。

[0040] 所述圆柱体道路试件为室内成型的马歇尔试件、旋转压实试件或路面钻取的芯样等,均可作为研究对象。马歇尔试验法成型直径101.6mm、高度63.5mm的圆柱体试件,旋转压实能够得到各种尺寸的圆柱体试件,以直径100mm和150mm为主。由于芯样的侧表面为切割面,为统一研究对象,完整的室内成型试件需经钻芯得到裸露的切割面。试件的尺寸不做要求,可以是高度为4cm~5cm的上面层芯样,也可以是高度为16cm~20cm的全面层芯样,直径也没有特殊要求。

[0041] 用智能手机或数码相机等面阵相机拍摄沥青混合料侧表面时,拍摄的有效像素依据试件在照片中的占比,最终合成图像的输出分辨率由各拼接部分决定。

[0042] 面阵相机采用多角度照片表征完整的侧表面特征,因而需要环绕试件侧面拍摄一周。图像的匹配重构效果由照片间的特征关联点决定,每张拍摄的照片都应与其他照片共同表征混合料的部分侧表面,当关联点数量充足时,照片的匹配对齐方法能够还原关联点的真实位置。实际操作表明,当相邻照片间拍摄旋转角度差达到40°或更大时,即共拍摄9张照片或更少,容易出现重构失败的情况。并且考虑到手机拍摄方式为单点对焦,照片里沥青混合料两侧的成像效果不佳,如果旋转角度差选择过大会导致合成图像部分区域模糊。当旋转角度差太小时,照片数量的增多使照片对齐计算时间大幅增长,而成像质量没有明显

提升,因此合理的拍摄旋转角度差应为 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ,共拍摄12~18张照片。

[0043] 因为照片之间的匹配由关联点决定,在拍摄时略微的俯仰角变化和侧向倾斜等情况并不会影响合成图像结果,但当某张照片的拍摄角度特殊或成像效果不佳时,它可能被剔除,从而不能有效地用于匹配对齐。不论如何,保证照片中试件部分尽可能清晰且具有充足的重叠面(即关联点)是基本的要求,拍摄角度和机位远近则可以存在略微差异。

[0044] 照片对齐的匹配点分为总关键点和连接点,总关键点是确定该匹配模型的全部关联点,而连接点是各张照片自身的有效关联点。匹配对齐时首先获取照片上的关联点,然后进行快速选择配对,继而根据配对结果确定和还原匹配点的位置,最后反推算照片拍摄的相机位置。例如当照片数量为13张、对关键点和连接点的数量限制分为10000和3000时,往往关联点的空间分布会有一定误差,无法得到正确的匹配对齐结果;而通过适当增加照片的数量以及提高关键点和连接点上限的方法,点云分布均匀合理,则呈现的对齐结果良好;通常大直径下面层芯样的匹配结果,点云会更为密集。在保证照片拍摄质量和数量的前提下,优选关键点和连接点限制数分别不少于10000和3000,当试件尺寸增大或拍摄旋转角度差增大时,可以通过适当增大限制的数量达到更理想的对齐效果。

[0045] 匹配对齐后得到的点云重建场景只反映照片的相对位置信息,在拼接照片前还需要由标准尺寸的模型进行坐标定位,模型尺寸等同于拍摄芯样。调整点云重建场景与芯样的外侧表面模型对齐后,实现以模型为基准、按照比例1:1还原每张照片的尺寸和坐标位置。当点云重建场景与模型存在较大偏差时,容易导致后续拼接合成图的变形和错位。如果点云坐标明显偏离模型,说明照片的匹配对齐效果不好,计算得到了错误的关联点位置,需要重新进行匹配对齐操作或重新拍摄照片。

[0046] 圆柱体模型在非平面模型中最为常见,是实现全景图像合成中效果较好的一类。本发明选用微软研究院非开源软件Image Composite Editor (ICE)对图像进行拼接合成。ICE在照片重叠部分的缝合处理、超大幅图像的拼接和拼接效率上具有明显优势。合成图相当于将圆柱芯样外侧表面按平面方式展开铺平。

[0047] 若照片匹配裁剪时存在畸变点,就可能导致合成图像边缘的变形,这种情况通常出现在合成图像的两侧边缘处,当合成图像具有足幅尺寸时应当裁剪掉这部分。在确定合成图分辨率时,最有效的方式是改变照片剪裁处理时的每单位像素值。合成图的最佳分辨率由面阵相机拍摄像素决定,以1200万像素成像的照片为例,芯样侧表面每厘米单位约含200有效像素,考虑到标记训练和识别的精度,合成图的目标分辨率不应小于该值。以本发明所用的拍摄设备和拍摄距离为参考,优选合成图的分辨率为每厘米200像素~500像素。

[0048] 本发明所用的匹配对齐、重构、拼接与合成方法相比于普通全景合成方法,在操作流程上增添了前处理工作,使得合成图像效果更接近真实芯样侧表面。本发明的集料颗粒切割纹理与真实纹理一致,呈水平平行分布,普通全景拼接方法则存在部分波纹状畸变,除此以外,比较明显的差别是集料轮廓的变形以及错位。通常直接拼接方法并不能将侧表面完全展开至同一平面,且拼接合成时存在边界效应,使部分集料的形态和分布失真,甚至遗失图片信息。因此,在进行圆柱芯样侧表面的图像合成时,不仅要进行照片间的匹配对齐,将点云重建场景与标准尺寸模型对齐也十分必要。

[0049] 沥青混合料以沥青砂浆、空隙和集料构成三相体系,在切割面图像中,粗集料和部分细集料的表面形态易于辨别,而空隙、沥青及沥青砂浆因为尺度小、颜色偏暗等原因无法

直接区分,因此沥青混合料的图像识别方法是区分集料与其他相系。在进行图像标记时,集料颗粒的切割裸露面具有封闭且相对规则的轮廓,色泽也易于辨认,相比于标记空隙和沥青胶浆组分更为快速便捷,因此选用集料颗粒为标记对象。

[0050] 图像标记的目的是将人为判别的结果作为训练集用于神经网络的训练学习,图像标记软件应具备判别结果的表征功能及可视交互界面。优质的标记软件有很多,例如 TeeAnnotating 软件或 Labelme 软件等,基本的标记方法有手动标记和交互式标记,交互标记通常采用内置算法做判别用于粗略标记,再人为修改即可。当图像识别的目标为沥青混合料中的集料时,标记对象的特征是数量多、分布广、形态不规则及尺度存在较大差异等。虽然各个集料的特征比较复杂,但沥青混合料切割面图像的干扰信息并不多,对于大量集料颗粒采用语义分割十分有效,即只需判别像素点是否为集料组分,对不同的集料颗粒不必做单独分割,与 CT 等射线扫描方法的目标一致。另一类实例分割方法在识别像素类别的基础上,也能够区分同类中的不同个体,即每一个集料的轮廓。语义分割方法和实例分割方法各具优势,前者训练与识别的速度快、精度良好,后者能够实现独立个体的分割,但对分割算法提出了更高的要求。本发明采用语义分割思想对集料颗粒进行标记,其标记的正确率和精细度(即颗粒的轮廓信息)对神经网络的训练效果至关重要,此外,对于图像全局的尺度匹配有效解决了局部模糊性问题。在沥青混合料中,粒径 2.36mm 以下的细集料被认为与沥青共同形成沥青砂浆,难以精细区分沥青胶聚物中的细颗粒。在标记时忽略粒度很小或颜色相近等难以辨别的细颗粒,既降低了标记工作量,也能够提升神经网络的训练精度。

[0051] 合成图像经裁剪成小尺寸图像用于标记和训练,采用语义分割方法对图像的裁剪完整性并没有要求,即单一集料颗粒可以被任意切割,为保证标记的准确性,裁剪图尽量包含丰富的信息(包括各尺度的集料颗粒和沥青砂浆等)。以 1024\*1024 像素裁剪为例。标记时在集料颗粒的外轮廓上拾取坐标点,相邻标记点间以直线连接,即将集料颗粒视为多边形,标记点的数量越多则越接近于集料切割面的真实形态。大颗粒的标记点选取在曲率变化明显的区域需尽量精细;小颗粒的形态比较规整,用较少的标记点就能反映轮廓特征,但单颗粒的标记点不应少于 10 个。因为集料颗粒分布密集,采用交互式标记算法得到的轮廓需要手动判别和修正,也容易忽略部分小颗粒,必要时可采用手动拾取坐标的标记方法。

[0052] 为实现更好的泛用性,人工神经网络可用于不同配合比的沥青混合料学习。数据集创建方法为随机选取不同配合比的沥青混合料图像,包含多种配合比的大量剪裁标记图片,本发明选用上面层(T, SMA-13)、中面层(M, AC-20)和下面层(B, AC-25)的路面芯样合成图像为训练对象。其中 SMA-13 代表最大公称粒径为 13mm 的 SMA 配合比沥青混合料, SMA 即沥青玛蹄脂碎石是典型的间断级配骨架密实型结构; AC 则是密集配悬浮密实型沥青混合料。因为级配导致的结构差异, SMA 和 AC 在侧表面合成图像上有明显区别: SMA 的粗颗粒含量多而细颗粒少, AC 则粗细颗粒比例均匀。

[0053] 与 CNN (Convolutional Neural Networks) 实现的图片分类功能相比, FCN (Fully Convolutional Networks) 实现了以语义分割方法来识别图片中的某类物体。FCN 将全连接层转化为卷积层后,可以反卷积层对最后一个卷积层的特征图进行上采样,还原成输入图像的尺寸大小进行输出,从抽象特征中逐一恢复每个像素并进行概率分类,从而实现语义分割。这种分割思维十分适用于沥青混合料中集料的识别,使得深度学习在部分应用场景可能代替 CT 等射线方法,实现集料颗粒的灰度表征。

[0054] U-NET是广泛应用于医学图像分割领域的神经网络,相比于FCN下采样后连接的反卷积层,U-NET采用了与下采样对称的上采样结构,因而形成了对称的U型网络。U-NET以concat的特征融合方法和级联跳跃连接方式,保留了图像的多尺度特征,同时以加权交叉熵形式计算损失,优化图像边界的学习效率,使其在高分辨率医学图像识别中表现出色。在U-NET的长连接采样基础上构建由浅至深各层的短连接,填充了同层级的空白区域,即为U-NET++。不同层级感知的抽象特征不仅在长连接中融合,还能够以短连接传递,最大化减少长连接中采样过程的信息丢失。U-NET++的填充结构以少量增大网络的参数量,得到更为理想的分割效果,这是单纯加宽U-NET所无法比拟的。

[0055] 沥青混合料切割面图与医学领域细胞研究图像特征有普遍相似性,即集料相系与沥青和空隙相系的分割,类似于生物细胞与空隙分割,集料颗粒的特征形态与细胞比较接近、数量和分布也同细胞图一样复杂。用于医学图像分割的U-NET及改进的U-NET++能够满足合成图像的高分辨率和分割的精细度要求,因此本发明采用分割效果更优的U-NET++用于移植以实现沥青混合料图像识别。

[0056] 以512\*512像素为裁切大小、128像素为平移步长对图像进行切割,将生成的切割面图像和对应标记图像用于U-NET++原始网络的训练。训练参数的检查指标选用val\_mean\_iou,iou(Intersection over Union)即重合区域(Overlap)与联合区域(Union)的比值,这里的重合区域是人为标注和学习结果的图像交集,联合区域是二者的并集。对于训练集而言,iou是验证准确率更为严格的指标。通过对比训练100轮的两项准确率变化情况,可以得出val\_acc在训练初期增长速度很快,后续一直稳定在97%左右而val\_mean\_iou则相对平稳提升,100轮后在88%左右,对于颗粒类图像识别准确率而言已经比较理想。

[0057] 受训的效果也随研究对象配合比的不同而存在差异,AC-20和AC-25的学习效率相比SMA-13更好一些,单一配合比图像比混合图像效果更好,但受训效果的差异随着训练轮数增加而越发接近。此外,SMA-13、AC-20、AC-25和混合图像四条训练曲线趋势具有相似性,在训练10轮时均可达到69%以上的准确率,在训练100轮后达到88%~90%的准确率,较高的准确率和稳步上升的训练曲线表明人工神经网络模型的训练方法有效。当改变图片切割的平移步长时,步长越短则生成的数据集图片数量越多,在起始的识别率稍低一些,随着训练轮次的提升识别正确率十分接近,且100轮后可达88%以上。

[0058] 将高分辨率合成图像裁切成512\*512像素的小图块用于受训U-NET++(以下简称T-U-NET++)识别。小图块识别方法在输出图像时存在一些问题,即不同图块之间的边缘匹配效果不理想,当裁切步长与图块尺寸相同时,位于图块边缘的被切割颗粒出现灰度的突变,这是T-U-NET++分别识别两个图块时赋予该集料颗粒轮廓灰度的差异所导致的。此外,不同图块拼接时出现了网格效应,即图块间很细的黑线,它对于灰度图像二值化效果的影响很大。

[0059] 为解决边缘效应和网格效应,本发明采用了高斯权重优化方法。在裁切小图块时减小一半取样图块的平移距离(即平移256像素),让图块之间存在重叠部分,避免网格效应。对图块的识别结果使用高斯核作为各图块区域叠加时的权重,将背景权重小于核权重的部分取用新的识别结果,再将该部分更新为新的核权重,最终形成完整的拼接图识别结果。总体而言,高斯权重优化就是利用重叠部分的权重判断来优化匹配识别结果,高斯权重优化让合成图像内图块的匹配更加平滑。当采用更小的平移距离(即增大重叠区域面积)

时,图像的平滑效果有很细微的提升,但计算效率会下降较多。

[0060] 上述U-NET++训练模式最高准确率维持在90%~91%左右(epoch>180, val\_mean\_iou≈90%),通常认为,可以通过改进神经网络模型结构以达到更高的准确率。然而限制准确率的另一个重点是标记,iou的高低直接取决于标记区域的准确性,对于T-U-NET的训练是以iou是否提升作为优化模型的标准。在一定轮次以后训练效果甚微甚至准确率还有所降低,说明仅靠模型自训练效果已经达到瓶颈。此时通过识别结果的灰度图可以发现,部分集料颗粒的边缘轮廓存在少量模糊区域,一些较细颗粒的特征形态识别有误,还有一些切割表面污染产生的误识别,这些都是人为可辨认的一些差异,也是T-U-NET最直观的优化方向。

[0061] 因此,后续训练可以针对性地让人工神经网络学习这些需要改进的地方。本发明运用二次标记方法,将T-U-NET++识别结果反向导入到图像标记软件中,得到颗粒分割后的轮廓,依照人为判别的正确轮廓对识别轮廓标记做细微修改,将修改后的标记图片扩充数据集,用于T-U-NET++训练。二次标记方法的优势在于按纠正模型错误的思路,通过数据集内相同内容的不同标记改善学习效率,也提升了识别准确率上限。在训练100轮和200轮后分别采用二次标记方法,扩充数据集后继续训练。与直接训练300轮相比,二次标记方法在160轮时就已经达到普通方法的300轮90.6%准确度,且训练300轮后将准确率从90.6%提升至91.8%,加快和提升训练的效果显而易见。

[0062] 利用T-U-NET++对芯样侧表面合成图像识别分割,识别结果以AC-20、AC-25和SUP-20为例,粗颗粒的轮廓形态十分接近真实情况,很少出现与细颗粒的粘连;较细颗粒多数比较接近人为判别的轮廓,但存在一些边缘模糊不清的问题;空隙与沥青砂浆的分布与真实情况基本没有差别。其中SUP-20这一类配合比没有用作T-U-NET++训练,但它与AC同属于悬浮-密实型结构,且采用的粗集料均为一样的石灰岩,识别结果也比较理想。而SMA-13的识别分割则不理想,粗颗粒占比很大但轮廓容易模糊,同时与一些细颗粒存在粘连现象。这主要由两个原因导致,SMA的骨架-密实结构使较细粒径集料缺失,粗颗粒相互之间直接接触,与悬浮-密实型结构的AC图像一同识别分割时,增大了人工神经网络的识别难度;另一方面是上面层SMA-13常常采用了玄武岩集料,芯样切割面的颗粒色泽暗沉,与明亮泛白的石灰岩存在差异。

[0063] 在单独针对SMA配合比进行扩充数据集和训练以后,大幅提升了上面层SMA-13的识别准确度。说明各种混合料结构或不同集料岩性对模型的训练效果存在差异,对识别效果不佳的配合比可以通过扩充数据集并加强训练来达到较高的准确度,也可以仅对该配合比重新训练专用模型。相较于不同配合比混合训练的T-U-NET++,采用单一配合比训练对该配合比识别效果提升明显,但泛用性大大降低。以本发明为例,AC和SUP识别就可以采用同一T-U-NET++,而SMA显然采用专用T-U-NET++更为合适。

[0064] 通过比对识别结果发现,芯样的侧表面洁净度是影响识别效果的重要因素。污渍和磨损加大了图像识别的难度,会导致颗粒的轮廓模糊或是颗粒间的粘连。如果芯样的底部附着了很多泥土和灰尘,没有进行清洁就用于拍摄合成图像,底部的颗粒分割效果就会很差,反观较为洁净的颗粒则识别准确率比较理想。而颗粒自身存在色泽的差异,实际上对识别结果的影响很小;钻芯时在颗粒表面留下的横向切割纹路对识别分割基本没有影响,集料颗粒的形态完整,这些都是模型训练的有利结果。图像拍摄时光照条件影响合成图片

的亮度,但是识别效果没有明显变化。所述的图像重构拼接方法不需要固定机位和拍摄角度,实质上对图像拍摄的技术要求并不高,只需要调焦后拍摄清晰的照片即可。

[0065] T-U-NET++识别结果为集料颗粒分割的灰度图,需经二值化处理判别和确定集料的最终轮廓。分别采用大津法(OTSU)、最小割算法(Minimum Cut)、目标跟踪算法(Mean shift)以及ISODATA法对图像进行二值化计算和处理,通过阈值划分规律得知,对于沥青混合料切割面图像,大津法和ISODATA法计算得到的分割阈值十分接近,而最小割算法得到的分割阈值略高一些,目标跟踪算法则算得非常高的阈值。从分割效果而言,大津法和ISODATA法对集料颗粒表面特性的还原比较接近真实状况,最小割算法对集料颗粒边缘的处理略为保守,但与前两者差异并不明显,目标跟踪算法中粗颗粒的轮廓被收窄,细颗粒的尺寸明显小于真实尺寸,集料颗粒内部出现了一些小空洞,二值化效果并不理想。因此优选大津法、ISODATA法和最小割算法用作T-U-NET++识别后的二值化算法,这得益于T-U-NET++很高的识别准确率,减少集料颗粒轮廓中灰度模糊部分的占比,从而降低图像二值化的难度。

[0066] 二值化图像中不可避免地存在集料颗粒内的裂纹和空洞,通过比对原始图像,这些多是由颗粒表面的泥灰或磨损导致的,二值化过程将这部分视为非颗粒组分。对于少量数据可以采用人工判别和手动填充的直接方法,大量数据可以采用软件辅助填充功能,例如ImageJ的Fill holes算法。图像中的裂纹和空洞部分被填充后,还原了集料颗粒表面的真实形态。但是部分沥青混合料空隙可能被错误填充,是因为部分区域颗粒存在粘连现象,空隙被封闭在颗粒之间,该区域需经手动框选作为非填充对象。

[0067] 在图像二值化和填充过程中,不可避免地导致集料颗粒间的粘连,影响颗粒分析的结果,因此有必要进行颗粒分割。颗粒分析作为集料形态特征判断的依据,一些粗颗粒间的粘连分割尤为重要。本发明采用ImageJ中的可调分界线(Adjustable Watershed)插件实现颗粒分割,是一种根据欧几里得图(Euclidean distance map,EDM)判断颗粒对象是否采取分割操作的方法。控制分割的条件是欧几里得距离的公差值,该值确定最大内接圆中较小值和在颗粒之间的“颈部”内接圆之间的半径之差,集料颗粒间的粘连部分正是需要分割的“颈部”,宏观意义上是宽度突变的狭窄区域,因此利用可调分界线方法是逻辑合理的。

[0068] 针对不同公差下的颗粒分割结果进行分析,采用ImageJ默认公差值0.5,对于棱角性强的集料和针片状集料会存在大量的误切割;将公差值提升至10后,切割效果良好,集料分割线清晰且精准;但继续增大公差值达25时,一些集料的粘连没有被分割开。欧几里得距离算法以内接圆表征,集料的形态越接近圆形分割效果越好,公差值的选择应以扁平颗粒不被切断为下限,尽可能接近真实状态。这也表明了本发明中填充操作的必要性,即裂纹和空洞容易导致分割误操作。经过大量的图像分割工作表明,本发明优选的集料颗粒的公差为5~20,若对全图的分割效果不理想,也可以框选部分单独分割。

[0069] 识别结果经二值化、填充及颗粒分割等处理后,能够用于颗粒的形态特征分析。集料的二维形态特征指标主要有凸度、圆度和轴度等,三维形态特征指标主要有针片度、球度和形态因子等。集料数据分析的应用面十分广泛,以集料颗粒的长细比(针片状)分析和圆度分析为例,集料颗粒的长细比决定集料的力学特征,可用于评价集料的针片状含量和抗压碎能力;圆度值的大小代表集料平面轮廓与圆的相似程度,间接表征了集料棱角性的明显程度,与沥青混合料的力学性能关系紧密。

[0070] 通过统计上、中、下面层经图像识别和图像处理后的针片状指标分析得出，粗集料的平均长细比随粒径的增大总体呈增大趋势，在13.2mm-26.5mm范围内的长细比在1.30~1.38，在4.75mm-13.2mm范围内的长细比在1.36~1.44，在2.36mm-4.75mm范围内的长细比在1.28~1.34。经计算分析该高速公路段所用粗集料的针片状含量最高仅3.2%，位于下面层，最低为2.7%，位于上面层。

[0071] 芯样侧表面的拍摄与识别不同于散体集料的拍摄识别方法，集料在空间位置中的分布是真实的，可以用于快速判断沥青混合料的物质分布，以及判断缺陷位置。本发明还提出了一种适用于前述图像合成与识别的数据分析方法，以沥青混合料集料分布的均匀性分析和薄弱处分析为例。集料分布均匀性以二维集料颗粒的重心坐标，通过面积加权反映沿深度方向的分布均匀性，即是否有离析现象，可用于快速检测拌合摊铺碾压流程的工程质量；薄弱处分析通过判断空隙和沥青砂浆的分布，间接反映混合料的离析不均匀现象，也可用于评定工程质量。按公式1计算每档粒径的粗集料深度与面积加权后的数值，记为集料分布指标 $D_{agg}$ 。式中， $A$ 为集料颗粒面积， $Y$ 为集料纵坐标， $n$ 为该档粒径集料数量。

[0072] 公式1：
$$D_{agg} = \frac{\sum_{m=1}^n (A_m \times Y_m)}{\sum_{m=1}^n A_m}$$

[0073] 理想的 $D_{agg}$ 计算结果应当位于芯样沿深度的水平中线附近，这说明集料没有出现普遍上浮或下沉的离析现象。分别列出上中下面层的集料分布进行分析可知，其中2.36mm-9.5mm集料普遍分布均匀，9.5mm-26.5mm集料存在一定程度的偏移，且在下面层比较明显。

[0074] 对于混合料而言，不论是空隙过大或是沥青胶浆的大量集中都对混合料的力学性能和耐久性能具有不利影响。当出现粗集料缺失且存在严重的空洞时，对于路面力学性能和耐久性能极为不利。在进行颗粒分析时，区域中空白部分占比高于一定比例时（本实施例取60%），即判定该区域为薄弱处。芯样状态对应真实的路面状态，本发明可将路面芯样用作快速表面检测方法，小样本可以抽样分析，大样本可以检测评估路面工程质量。

[0075] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明作的进一步详细说明，不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干简单推演和替换，都应当视为属于本发明的保护范围。