



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115015394 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 06

(21) 申请号 202210810586.2

(22) 申请日 2022.07.11

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 郭函懿 何卫锋

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任

公司 61200

专利代理师 王艾华

(51) Int. Cl.

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)

G06N 3/04 (2006.01)

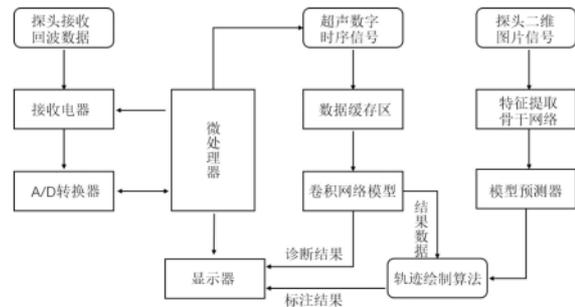
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法,包括以下步骤,步骤1,建立超声波数据库;步骤2,从超声波数据库中获取数据集,并构建深度学习神经网络算法模型,确定神经网络模型参数;步骤3,对构建的神经网络深度学习算法模型,用采集构造的数据集进行训练;步骤4,将训练好的神经网络模型参数嵌入到超声设备中,对当前探头位置采集的超声波信号进行实时诊断分类和缺陷可视化标注。能够实现实时的复合材料缺陷诊断与标注。以解决现有的复合材料缺陷或损伤检测依赖于对测试部件的材料特性的了解或对基于物理学的预定信号特征的提取这种专家先验知识,提供一种不同与超声C扫的缺陷可视化方法。



1. 一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法, 其特征在于, 包括以下步骤,

步骤1, 建立超声波数据库;

步骤2, 从超声波数据库中获取数据集, 并构建深度学习神经网络算法模型, 确定神经网络模型参数;

步骤3, 对构建的神经网络深度学习算法模型, 用采集构造的数据集进行训练;

步骤4, 将训练好的神经网络模型参数嵌入到超声设备中, 对当前探头位置采集的超声波信号进行实时诊断分类和缺陷可视化标注。

2. 根据权利要求1所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法, 其特征在于, 步骤1中, 利用超声波设备对样本件不同区域分别进行数据采集, 获得具有不同敏感波形的超声波信号采样数据和超声探头图片数据, 建立包含不同敏感波形的超声波数据库。

3. 根据权利要求1所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法, 其特征在于, 步骤1中, 建立超声波数据库具体包括以下步骤,

步骤S11, 将复合材料被测样本 (6) 放置在检测平台上;

步骤S12, 启动超声设备, 调整超声参数;

步骤S13, 给复合材料样本件上均匀涂撒耦合剂, 将超声波收发探头 (5) 贴于被测样本 (6) 上对不同区域进行数据采集, 获得超声波信号采样数据;

步骤S14, 将超声波信号采样数据导出分为训练数据集和测试数据集;

步骤S15, 用摄像头 (1) 采集超声探头 (5) 用手持和用自动扫描机器夹持的不同角度的图片, 获取超声探头图片数据, 将超声探头图片数据分为训练数据集和测试数据集。

4. 根据权利要求1所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法, 其特征在于, 步骤1中, 超声波数据库中的数据集根据不同的采样区域共有正常复合材料数据、缺陷复合材料数据和带加强筋复合材料数据三种类型。

5. 根据权利要求1所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法, 其特征在于, 步骤2中, 利用一维卷积网络模型对超声波数据库中的超声波时序信号进行特征提取, 用深度残差网络模型提取超声探头的视觉特征, 将提取出的特征用分类器并行连接, 构建深度学习神经网络算法模型。

6. 根据权利要求5所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法, 其特征在于, 步骤3中, 对神经网络深度学习算法模型中的一维卷积网络模型和残差特征提取骨干网络模型进行训练时, 进行梯度回传, 更新卷积网络模型的参数。

7. 根据权利要求5所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法, 其特征在于, 步骤3中, 采用共轭梯度法预测探头 (5) 的运动轨迹, 将一维卷积网络模块分类器的输出并联到预测结果的输入中, 对探头 (5) 的位置进行记录, 获得带有复合材料缺陷信息的探头的轨迹。

8. 根据权利要求1所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法, 其特征在于, 步骤4中, 实时诊断分类和缺陷可视化标注后, 搭建自动化扫描复合材料样本件智能检测标注系统, 对复合材料样本件进行全自动扫描及结果的可视化标注验证。

9. 根据权利要求8所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方

法,其特征在于,自动化扫描复合材料样本件智能检测标注系统包括摄像头(1)、伺服机构(3)、数据处理器(4)、探头(5)和伺服机构控制器(7);

所述探头(5)指向被测样本(6),探头(5)固定在伺服机构(3)上,伺服机构(3)带动探头(5)进行移动;摄像头(1)指向被测样本(6);

所述数据处理器(4)用于处理摄像头(1)和探头(5)采集到的数据;所述伺服机构控制器(7)用于控制伺服机构(3);

所述摄像头(1)与数据处理器(4)之间通过USB线(2)进行数据传输。

10.根据权利要求9所述的一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法,其特征在于,所述数据处理器(4)连接显示器,采用GUI窗口显示诊断结果和缺陷信息以及探头(5)的运动轨迹。

## 一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于复合材料缺陷检测技术领域,具体属于一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法。

### 背景技术

[0002] 复合材料具有较高的比强度、比刚度,能有效减轻飞机结构重量,还具有抗腐蚀、破损安全性高的优点。复合材料以优异的性能表现在飞机结构中应用比例越来越高,已经由次要结构向主要结构、复杂受力结构发展。复合材料构件在生产过程可能会带有缺陷,使用过程中会出现各种类型损伤,损伤和缺陷类型包括裂纹、划伤、烧蚀、雷击、凹坑、穿孔、分层和脱粘等。对于缺陷和损伤的检测、分析是至关重要的。评估复合材料或构件的方法有很多种,无损检测方法是其中一个重要类别,无损检测是指在不改变原始属性或伤害被测物的情况下,对材料或部件进行评估和检测,以表征或发现缺陷和损伤。无损检测技术提供了一种成本效益高的测试手段,可以对样品进行单独调查,也可以应用于生产过程中对整个材料进行检查,在生产质量控制系统中检查整个材料。目前针对飞机复合材料结构损伤检查方法主要有目视检测法、敲击检查法、超声检测法、红外热波法及X射线检测法。

[0003] 利用仪器设备的无损检测主要用于内场维修实践检测和生产过程质量评估中使用,其中超声波检测技术由于超声波有强穿透力、灵敏度高的特点同时检测设备轻便、成本较低,因此在对复合材料检测应用广泛,适用于复合材料结构的分层、脱胶、胶接气孔等损伤或缺陷的检测。

[0004] 目前超声波检测方法作为一种广泛的复合材料无损检测技术,传统的超声无损检测技术依赖于对测试部件的材料特性的了解或对基于物理学的预定信号特征的提取,不同复合材料部件损伤的超声检测专家先验知识难以获得,同时人工判读信号存在人力成本高,检测效率低的问题。

### 发明内容

[0005] 为了解决现有技术中存在的问题,本发明提供一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法,以实现实时的复合材料缺陷诊断与标注。以解决现有的复合材料缺陷或损伤检测依赖于对测试部件的材料特性的了解或对基于物理学的预定信号特征的提取这种专家先验知识,提供一种不同与超声C扫的缺陷可视化方法。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0007] 一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法,包括以下步骤,

[0008] 步骤1,建立超声波数据库;

[0009] 步骤2,从超声波数据库中获取数据集,并构建深度学习神经网络算法模型,确定神经网络模型参数;

[0010] 步骤3,对构建的神经网络深度学习算法模型,用采集构造的数据集进行训练;

[0011] 步骤4,将训练好的神经网络模型参数嵌入到超声设备中,对当前探头位置采集的

超声波信号进行实时诊断分类和缺陷可视化标注。

[0012] 优选的,步骤1中,利用超声波设备对样本件不同区域分别进行数据采集,获得具有不同敏感波形的超声波信号采样数据和超声探头图片数据,建立包含不同敏感波形的超声波数据库。

[0013] 优选的,步骤1中,建立超声波数据库具体包括以下步骤,

[0014] 步骤S11,将复合材料被测样本放置在检测平台上;

[0015] 步骤S12,启动超声设备,调整超声参数;

[0016] 步骤S13,给复合材料样本件上均匀涂撒耦合剂,将超声波收发探头贴于被测样本上对不同区域进行数据采集,获得超声波信号采样数据;

[0017] 步骤S14,将超声波信号采样数据导出分为训练数据集和测试数据集;

[0018] 步骤S15,用摄像头采集超声探头用手持和用自动扫描机器夹持的不同角度的图片,获取超声探头图片数据,将超声探头图片数据分为训练数据集和测试数据集。

[0019] 优选的,步骤1中,超声波数据库中的数据根据不同的采样区域共有正常复合材料数据、缺陷复合材料数据和带加强筋复合材料数据三种类型。

[0020] 优选的,步骤2中,利用一维卷积网络模型对超声波数据库中的超声波时序信号进行特征提取,用深度残差网络模型提取超声探头的视觉特征,将提取出的特征用分类器并行连接,构建深度学习神经网络算法模型。

[0021] 进一步的,步骤3中,对神经网络深度学习算法模型中的一维卷积网络模型和残差特征提取骨干网络模型进行训练时,进行梯度回传,更新卷积网络模型的参数。

[0022] 进一步的,步骤3中,采用共轭梯度法预测探头的运动轨迹,将一维卷积网络模块分类器的输出并联到预测结果的输入中,对探头的位置进行记录,获得带有复合材料缺陷信息的探头的轨迹。

[0023] 优选的,步骤4中,实时诊断分类和缺陷可视化标注后,搭建自动化扫描复合材料样本件智能检测标注系统,对复合材料样本件进行全自动扫描及结果的可视化标注验证。

[0024] 进一步的,自动化扫描复合材料样本件智能检测标注系统包括摄像头、伺服机构、数据处理器、探头和伺服机构控制器;

[0025] 所述探头指向被测样本,探头固定在伺服机构上,伺服机构带动探头进行移动;摄像头指向被测样本;

[0026] 所述数据处理器用于处理摄像头和探头采集到的数据;所述伺服机构控制器用于控制伺服机构;

[0027] 所述摄像头与数据处理器之间通过USB线进行数据传输。

[0028] 进一步的,所述数据处理器连接显示器,采用GUI窗口显示诊断结果和缺陷信息以及探头的运动轨迹。

[0029] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0030] 本发明提供一种基于卷积网络和轨迹跟踪的复合材料缺陷超声检测方法,通过利用数据驱动决策的方法,用深度学习技术得到用于检测复合材料损伤的一维卷积神经网络模型,利用神经网络可以融合多类特征,使模型具备多类特征的提取、识别能力,结合轨迹跟踪记录实时位置的缺陷状态,并将模型嵌入到设备中,得到有实时智能诊断功能的超声设备,方便工作人员操作,减小了对专业人士的依赖,降低了成本,提高了效率,有效解决了

现有的复合材料的损伤检测方法在外场工作及复杂曲面工作编码器位置难定位,缺陷指示不明显的问题。

### 附图说明

[0031] 图1为本发明超声智能识别标注硬件系统示意图;

[0032] 图2为本发明构建的神经网络模型结构图;

[0033] 图3为本发明超声智能识别标注系统数据流线程图;

[0034] 附图中:1为摄像头;2为USB线;3为伺服机构;4为数据处理器;5为探头;6为被测样本;7为伺服机构控制器。

### 具体实施方式

[0035] 下面结合具体的实施例对本发明做进一步的详细说明,所述是对本发明的解释而不是限定。

[0036] 本发明实施例提供一种基于卷积神经网络和轨迹跟踪的复合材料的缺陷超声智能检测标注的方法,通过下述步骤S1~S5具体按照如下步骤进行:

[0037] 步骤S1、建立包含不同特征的敏感波形的超声波数据库,为卷积神经网络模型训练和测试提供样本集;

[0038] 设计与制作加桁条复合材料缺陷样件,本实例采用定制的复合层压板,在两个区域通过内嵌铁圆片和聚四氟乙烯薄片来模拟复合材料的分层和裂纹缺陷,在层压板下连接有三根加强筋模拟真实飞机蒙皮下桁条,样本件上分为正常复合层压板区域、缺陷区域和层压板带加强筋三个区域。

[0039] 利用超声波设备对样本件不同区域分别进行数据采集,获得具有不同敏感波形的特征数据,采用超声波设备采集数据的具体过程包括如下步骤:

[0040] 步骤S11、将复合材料样本件放置在检测平台上,固定被测样本6;

[0041] 步骤S12、启动超声设备,调整材料声速、采样频率等相关参数到合适值;

[0042] 步骤S13、给复合材料样本件上均匀涂撒耦合剂,将超声波收发探头5贴于被测样本6上对不同区域进行超声波信号数据采集;

[0043] 步骤S14、将超声波信号采样数据导出分为时序信号训练数据集和时序信号测试数据集,时序信号数据集中根据不同的采样区域共有正常复合材料数据、缺陷复合材料数据和带加强筋复合材料数据三种类型;

[0044] 步骤S15、用摄像头采集超声探头用手持和用自动扫描机器夹持的不同角度的图片,将摄像头采集的超声探头图片构建数据集并分为训练数据集和测试数据集。

[0045] 步骤S2、针对数据集设计并构建深度学习神经网络算法,确定网络模型参数;

[0046] 本实施例利用一维卷积对超声波时序信号进行特征提取,用深度残差网络抽象超声探头的视觉特征,将抽象出的特征用两种分类器并行连接,构建的神经网络结构。

[0047] 如图2所示,其中提取时序信号特征的一维卷积神经网络的架构中包含5个卷积层、5个池化层、1个全连接层和1个输出层,在第一个卷积层中使用了16个 $1 \times 5$ 的核滤波器,在卷积后利用relu激活函数用于产生特征信号,得到16个特征信号,并对其进行池化,池化应用的是最大值池化法。之后几层卷积层使用的都是 $1 \times 3$ 的核滤波器,输出通道数为输入

通道数的两倍,池化为最大值池化,通过5层卷积与池化运算后特征系数被非线性的组合了起来,之后将这些卷积的输出以线性连接的方式组合,最终输出与信号类别数相同长度的一个概率向量;视觉特征抽象网络由残差网络与卷积网络并联构成,第一层为 $7 \times 7 \times 64$ 的卷积,然后是3、4、6、3共16个构建块,每个构建块为3层,最后还有一个全连接层, resnet50提取每一帧图片包含的深度特征和超声探头中心位置,一维卷积网络提取信号特征,这两种输入,一个是图片,一个是一维信号,故用不同特性的网络提取特征。本实例是将一维卷积网络的输出层与残差网络的输出层合并到一起并将结果输入到一个两层的卷积网络中,经过分类器得到当前输入的图片信号和超声波时序信号的分类结果。

[0048] 步骤S3、对构建的神经网络深度学习算法,用采集构造的数据集进行训练;

[0049] 本实例对步骤S2中构建的深度学习模型进行模型参数训练,模型主要分为两个模块,主要训练的参数是一维卷积网络模块和残差特征提取骨干网络。将超声时序信号数据集输入到一维卷积网络分支后,通过一维的卷积池化运算提取信号特征波形,在端到端的训练中通过训练集的数据反馈loss值,优化一维卷积网络模块的参数;将图片训练数据集输入到目标分类分支网络后,使用ResNet50骨干网络和附加的卷积块(Classification specific Features)提取深度特征图,然后将特征图输入到由初始化和循环优化器组成的模型预测器中。模型预测器输出卷积层的权重,这些权重被用在从测试帧中提取到的特征图的目标分类操作中,得到属于跟踪目标的概率分数classification scores上颜色越亮,该位置是目标位置的置信度越高,分数的峰值点就是在测试帧中目标的新位置。

[0050] 当进行端到端训练的时候,在测试帧的网络后面进行计算test loss,然后用pytorch深度学习框架进行梯度回传,并更新卷积网络的参数,从而优化特征提取,在线学习等网络参数。在回归过程使用共轭梯度法取代最速下降法,通过迭代得到理想的梯度方向,预测探头的运动轨迹,将一维卷积网络模块分类器的输出并联到预测结果的输入中,对探头位置进行记录,获得带有复合材料缺陷信息的探头的轨迹。

[0051] 步骤S4、将训练好的神经网络模型参数嵌入到开发的超声设备中,实现对当前探头位置采集的超声波信号的实时诊断分类和缺陷可视化标注;

[0052] 本实施例利用步骤S3中训练好的神经网络模型,在超声设备的开发包中按照卷积运算、池化运算及全连接运算构建了同步步骤S2中相同的前馈神经网络,前馈神经网络的网络参数由步骤S2中训练得到的准确率最高的模型文件赋予,即在超声设备的软件控制中创建了信号分类线程,此线程的工作就是对输入的一维时序信号和摄像头采集的图片数据,用前馈神经网络对信号进行卷积、池化、全连接等运算,通过最后的分类器得到此信号属于不同区域的置信度,并将最大概率的结果显示到可视化窗口。

[0053] 其中信号诊断网络模块的数据输入由数据读取线程控制,此线程用指针以固定的时间间隔对数据缓存区进行访问,在数据缓存区存在数据时,将此数据存到Data类中,调用后完成模型的时序信号输入;而探头视觉跟踪模块的数据输入由图片读取线程控制,此线程同样指针以固定的帧数对数据缓存区进行访问,在数据缓存区存在数据时,将此数据存到Image类中,调用后完成模型的图片数据输入。

[0054] 在完成超声波信号的实时诊断后,将诊断的结果在GUI窗口可视化显示,同时显示当前位置的信号状态和之前已检测过区域的缺陷信息。

[0055] 步骤S5、搭建自动化扫描复合材料样本件智能检测标注系统,实现对复合材料样

本件的全自动扫描及结果的可视化标注验证；

[0056] 自动化扫描复合材料样本件智能检测标注系统包括摄像头1、伺服机构3、数据处理器4、探头5和伺服机构控制器7；探头5指向被测样本6，探头5固定在伺服机构3上，伺服机构3带动探头5进行移动；摄像头1指向被测样本6；数据处理器4用于处理摄像头1和探头5采集到的数据；所述伺服机构控制器7用于控制伺服机构3；摄像头1与数据处理器4之间通过USB线2进行数据传输。

[0057] 本实施例将之前的嵌入卷积神经网络模型的超声设备、基于视觉的探头轨迹跟踪系统和自动扫描平台这些软硬件组合连接了起来。其中自动扫描平台由扫描平台控制系统、电源、三向导轨组成，将超声探头、复合材料试验件、摄像头等硬件组合安装在扫描平台上得到完整系统如图1所示。此系统的检测扫描过程既可以进行手动操纵，也可以进行自动操纵，扫描速度和扫描方向均可由设定的程序进行控制，并且通过传感器感应压电晶体的压力，超过设定的压力值就会进行断电保护，保证设备的完好性和实验操作的安全性。在步骤S4中完成了探头轨迹的可视化，通过将S3步骤中输出的信号类别数据文件输入到轨迹跟踪进程中，在轨迹可视化前以当前超声波信号类别为依据控制当前的轨迹显示颜色：以绿色对应正常蒙皮区域类别，红色对应缺陷复合材料区域类别，黄色对应加强筋区域类别。至此完成整个系统的软硬件连接，实现了对样本件自动扫描及任意位置的超声波信号的实时诊断和扫描移动区域的复合材料缺陷情况标注。

[0058] 本发明利用一维卷积提取复合材料的敏感波形，获得了较高准确率的超声波信号诊断模型；针对深度学习环境与超声设备软硬件控制环境不同，提出使用深度学习神经网络训练网络模型参数，构造相同网络结构的前馈神经网络调用模型参数嵌入超声设备中，去除了复杂的反向传播运算过程，将模型轻量化的部署到了超声波检测设备中，实现超声波信号的实时智能诊断和缺陷可视化标注；本发明利用已开发的智能超声设备搭配自动扫描装置系统，在无信息缺失的单点高准确诊断条件下实现了对扫描路径上的缺陷可视化标注，实现了复合材料的自动化无损检测，验证了此方法具有较好的研究前景。

[0059] 本说明书中的各个实施例均采用相关的方式描述，各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其，对于系统实施例而言，由于其基本相似于方法实施例，所以描述的比较简单，相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

[0060] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等，均包含在本发明的保护范围内。

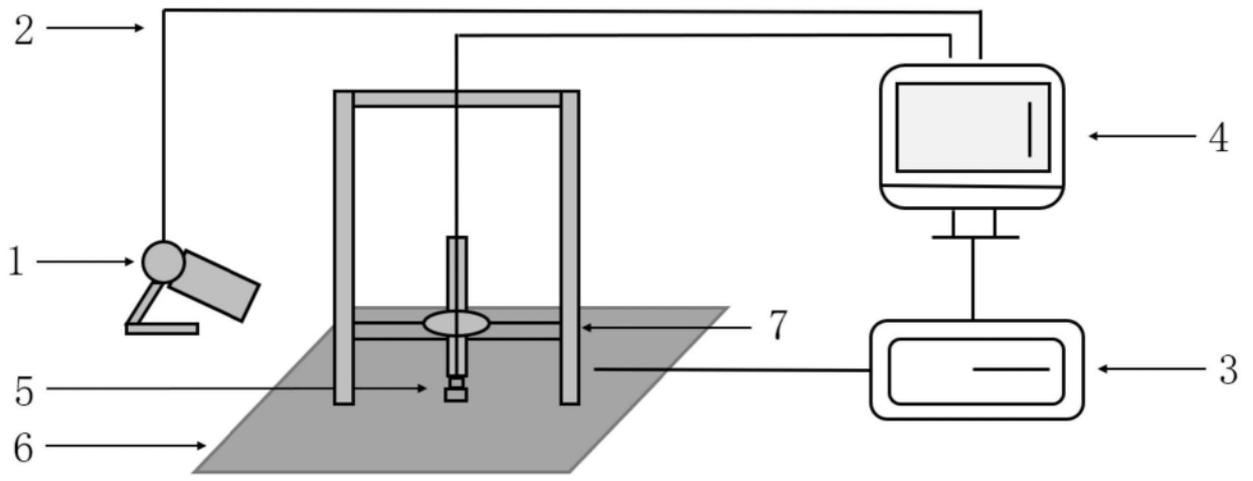


图1

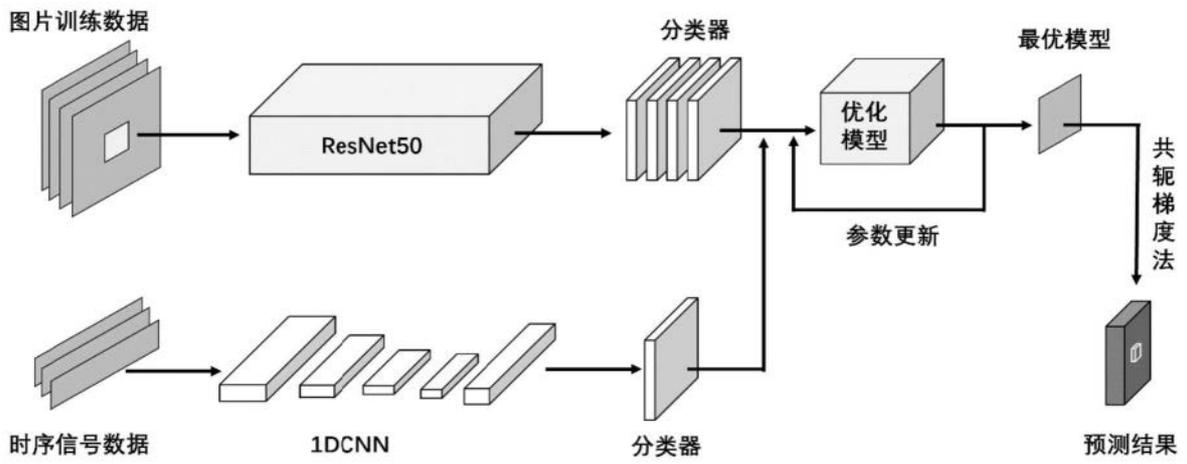


图2

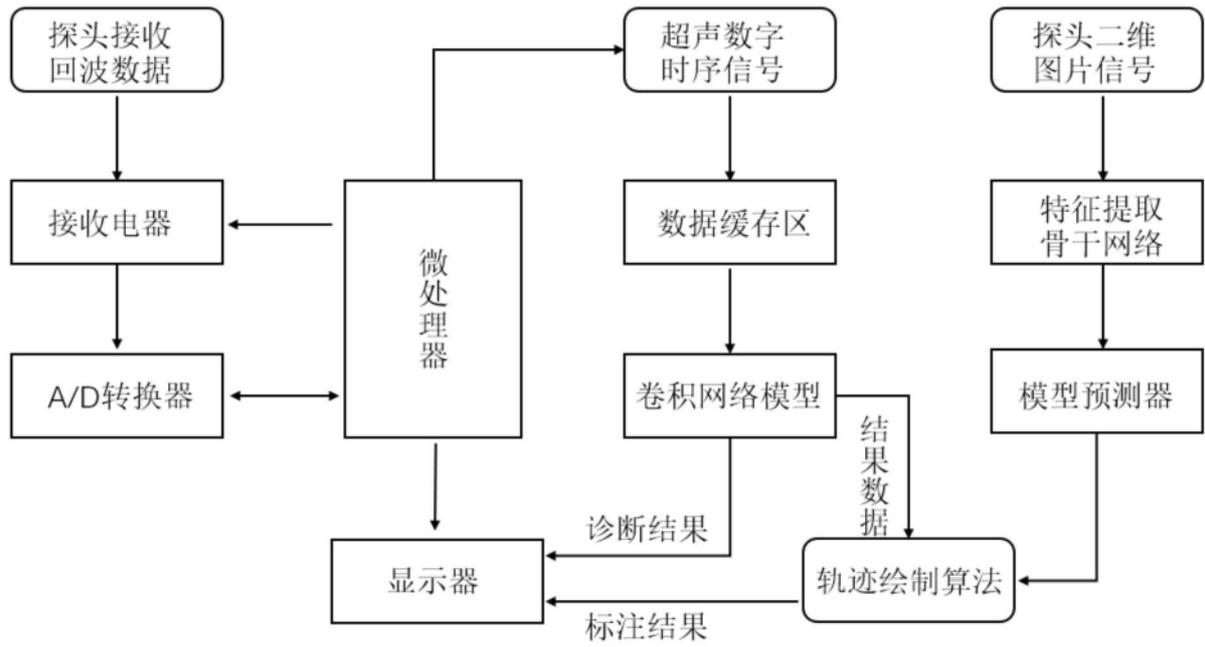


图3