



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113673031 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 19

(21) 申请号 202110919137.7

(22) 申请日 2021.08.11

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 路玲玲 李明起 宋宏伟 邢晓冬 杨乐凯

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390

代理人 焦海峰

(51) Int. Cl.

G06F 30/15 (2020.01)

G06F 30/17 (2020.01)

G06F 30/27 (2020.01)

G06F 119/02 (2020.01)

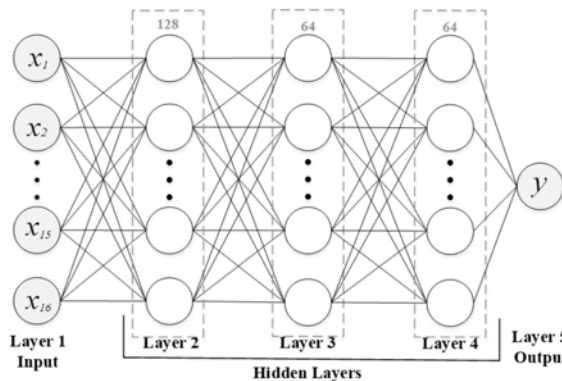
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

应变响应与深度学习融合的柔性飞艇服役攻角识别方法

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种应变响应与深度学习融合的柔性飞艇服役攻角识别方法,包括:在柔性飞艇表面布设分布式光纤传感网络,获得多种服役工况下柔性飞艇多个位置(轴向及周向)上的应变响应相关数据,提取不同服役状态下应变场的响应特征,构建训练数据集;建立针对柔性飞艇服役状态识别的全连接网络模型,将训练数据集代入全连接网络模型中训练,得到训练好的网络模型;采集待测柔性飞艇上的应变场响应相关数据,代入训练好的网络模型,获得柔性飞艇服役状态的攻角。本发明通过在飞艇上布置光纤传感网络来获得应变场响应相关数据,获得多种服役状态下的结构整体变形状态,结合设计的深度学习网络模型,实现柔性飞艇服役攻角的准确预测。



1. 一种应变响应与深度学习融合的柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,包括:

S100、训练数据集的获得:在柔性飞艇表面布设光纤传感网络,基于柔性飞艇应变场响应,获得多种服役工况下柔性飞艇多个位置上的应变响应相关数据,基于获得的应变场响应相关数据构建形成训练数据集;

S200、设计深度学习网络模型:建立针对于飞艇攻角识别的全连接网络模型,将步骤S100中获得的训练数据集代入全连接网络模型中进行训练,得到训练好的网络模型;

S300、服役攻角的识别:采集服役中柔性飞艇上的应变场响应相关数据,代入训练好的网络模型中,获得柔性飞艇服役状态下的攻角。

2. 根据权利要求1所述的一种柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,建立了针对飞艇攻角识别的5层全连接网络模型,且神经元个数分别为16、128、64、64和1,激活函数采用relu,优化器为adam,回归评价指标为mse和mae。

3. 根据权利要求1或2所述的一种柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,步骤S200在训练过程中还包括采用早停法;

所述早停法具体包括:当误差值在10步内且不继续下降时,则终止训练。

4. 根据权利要求1或2所述的一种柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,所述光纤传感网络包括设置于所述柔性飞艇表面上的多个光纤传感器,且所述光纤传感器均匀地位于所述柔性飞艇的轴向和周向上。

5. 根据权利要求4所述的一种柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,所述应变响应相关数据包括传感器应变信号对应的传感器位置和应变信号。

6. 根据权利要求1或2所述的一种柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,步骤S100中的所述训练数据集包括训练集和验证集,步骤S200中的训练包括数据集训练过程和验证集训练过程,且具体包括:

S201、数据集训练:将步骤S100中训练集代入针对飞艇攻角识别的全连接网络模型中进行训练,将输入的应变响应相关数据与攻角值之间形成相应的映射关系,通过多次迭代,不断优化梯度及学习率,使最终得到的误差值最小,得到训练好的预制网络模型;

S202、验证集训练:选取步骤S100中的验证集代入全连接网络模型中进行训练,测试当前模型的评估指标,根据验证集的结构调整网络模型的学习率和迭代数,并进行优化,最终得到训练好的网络模型;其中,

在步骤S202中,当训练过程中验证集的评估指标连续10次迭代没有优化,则认为评估指标不再提高,为防止过拟合则停止迭代。

7. 根据权利要求6所述的一种柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,步骤S201中的优化过程具体包括:

S2011、对训练好的预制网络模型进行调参处理;

S2012、将经过调参处理后的预制网络模型进行调试,得到训练好的网络模型。

8. 根据权利要求7所述的一种柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,步骤S2011中的调参处理至少包括:

调试优化的迭代数、学习率、优化器、损失函数和神经网络的层数;且,

步骤S2012中还包括对调试后的预制网络模型按照设置的超参数进行训练。

9. 根据权利要求7所述的一种柔性飞艇服役攻角识别方法,其特征在於,步骤S2012中

进行超参数设定和训练的过程具体包括：

通过超参数的不断优化，利用调试后的预制网络模型中学习得到的评估指标，分析调试后的预制网络模型中各个参数的优化值并不断进行训练。

## 应变响应与深度学习融合的柔性飞艇服役攻角识别方法

### 技术领域

[0001] 本发明实施例涉及飞艇服役状态实时监控技术领域,具体涉及应变响应与深度学习融合的柔性飞艇服役攻角识别方法。

### 背景技术

[0002] 飞艇是一种依靠静浮力和自身动力来实现驻空和机动飞行的浮空器,在遥感、高分辨率实时监测、预警和导弹防御、通信、环境监测和 防灾减灾等方面具有极大的应用价值。飞艇在空中服役时环境情况复杂,巨大的外形使得蒙皮在内外压差载荷作用下容易发生破坏。因此,对飞艇的服役状态进行实时监控对于事故预测、事故预防、事故归零具有重要意义。

[0003] 然而,由于飞艇结构蒙皮柔软,因此,在测量过程中,一般的测量方式难以获得相对准确的测量数据,从而导致服役状态的识别准确度不高。

### 发明内容

[0004] 为此,本发明提出一种应变场响应的概念,用柔性飞艇整体的应变场响应代替传统时域的单个传感器响应,提供一种新型应变响应与深度学习融合的柔性飞艇服役攻角识别方法,通过在飞艇蒙皮结构上布置光纤传感网络,获得多种服役状态下的结构整体变形状态,并提出针对于飞艇攻角识别的深度学习网络模型,实现柔性飞艇服役状态的准确预测,为复杂工况下的飞艇状态识别提供一个新的思路。

[0005] 为了实现上述目的,本发明的实施方式提供如下技术方案:

[0006] 在本发明实施例的一个方面,提供了一种应变响应与深度学习融合的柔性飞艇服役攻角识别方法,包括:

[0007] S100、训练数据集的获得:提出一种柔性飞艇应变场响应概念,在柔性飞艇表面布设光纤传感网络,分别均匀位于飞艇一侧的轴向及周向位置,基于柔性飞艇应变场响应,获得多种服役工况下柔性飞艇多个位置上的应变响应相关数据,代替以往的单个传感器时域上的应变响应规律,应变场信息可以更好的体现柔性飞艇的整体状态,将应变场响应相关数据构建形成训练数据集;

[0008] S200、设计深度学习网络模型:建立针对于飞艇攻角识别的全连接网络模型,将步骤S100中获得的训练数据集代入全连接网络模型中进行训练,得到训练好的网络模型;

[0009] S300、服役攻角的识别:采集服役中柔性飞艇上的光纤传感网络的应变场响应相关数据,代入训练好的网络模型中,获得待测柔性飞艇服役状态下的攻角。

[0010] 作为本发明的一种优选方案,建立了针对于飞艇攻角识别的5层全连接网络模型,且神经元个数分别为16、128、64、64和1,激活函数采用relu,优化器为adam,回归评价指标为mse和mae。

[0011] 作为本发明的一种优选方案,步骤S200在训练过程中还包括采用早停法;

[0012] 所述早停法具体包括:当误差值在10步内且不继续下降时,则终止训练。

[0013] 作为本发明的一种优选方案,所述光纤传感网络包括设置于所述柔性飞艇表面上分布式布置的多个光纤传感器,且所述光纤传感器均匀地 位于所述柔性飞艇的轴向及周向上。

[0014] 作为本发明的一种优选方案,所述应变响应相关数据包括传感器应变信号对应的传感器位置和应变信号。

[0015] 作为本发明的一种优选方案,步骤S100中的所述训练数据集包括训练集和验证集,步骤S200中的训练包括数据集训练过程和验证集训练过程,且具体包括:

[0016] S201、数据集训练:将步骤S100中训练集代入针对飞艇攻角识别的全连接网络模型中进行训练,将输入的应变响应相关数据与攻角值之间形成相应的映射关系,通过多次迭代,不断优化梯度及学习率,使最终得到的误差值最小,得到训练好的预制网络模型;

[0017] S202、验证集训练:选取步骤S100中的验证集代入全连接网络模型中进行训练,测试当前模型的评估指标,根据验证集的结构调整网络模型的学习率和迭代数,并进行优化,最终得到训练好的网络模型;其中,

[0018] 在步骤S202中,当训练过程中验证集的评估指标连续10次迭代没有优化,则认为评估指标不再提高,为防止过拟合则停止迭代。

[0019] 作为本发明的一种优选方案,步骤S201中的优化过程具体包括:

[0020] S2011、对训练好的预制网络模型进行调参处理;

[0021] S2012、将经过调参处理后的预制网络模型进行调试,得到训练好的网络模型。

[0022] 作为本发明的一种优选方案,步骤S2011中的调参处理至少包括:

[0023] 调试优化的迭代数、学习率、优化器、损失函数和神经网络的层数;且,

[0024] 步骤S2012中还包括对调试后的预制网络模型按照设置的超参数进行训练。

[0025] 作为本发明的一种优选方案,步骤S2012中进行超参数设定和训练的过程具体包括:

[0026] 通过超参数的不断优化,利用调试后的预制网络模型中学习得到的评估指标,分析调试后的预制网络模型中各个参数的优化值并不断进行训练。

[0027] 本发明的实施方式具有如下优点:

[0028] 本发明针对飞艇蒙皮柔性薄膜材料,为了准确反演服役过程中飞艇的攻角等服役参数,在柔性飞艇表面粘附一层光纤传感网络,对多种服役工况下飞艇的结构变形进行测量,对应获得其多方向、多位置上的应变响应相关数据。通过已经获取的不同服役状态下飞艇结构应变响应信息,基于设计飞艇攻角识别的网络模型进行训练,得到训练好的网络模型。从而基于训练好的网络模型,实现对飞艇服役攻角的准确预测。

## 附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0030] 本说明书所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明可实施的限定条件,故不具技术上的

实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

[0031] 图1为本发明实施例提供的全连接网络模型的示意图;

[0032] 图2为本发明实施例提供的一种柔性飞艇上布设的光纤传感网络的分布图;

[0033] 图3为图2中沿轴向方向布置于柔性飞艇上的光纤传感器在第一攻角状态下的应变响应数值图;

[0034] 图4为图2中沿轴向方向布置于柔性飞艇上的光纤传感器在第二攻角状态下的应变响应数值图;

[0035] 图5为图2中沿轴向方向布置于柔性飞艇上的光纤传感器在第三攻角状态下的应变响应数值图;

[0036] 图6为本发明具体实施例中构建的全连接网络模型的误差函数曲线;

[0037] 图7为本发明实施例提供的服役攻角识别方法的流程图。

### 具体实施方式

[0038] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0039] 如图1-图7所示,本发明提供了一种应变响应与深度学习融合的柔性飞艇服役攻角识别方法,包括:

[0040] S100、训练数据集的获得:在柔性飞艇表面布设光纤传感网络,其中,光纤传感网络由多个在飞艇的轴向和周向方向上等间距排布的光纤传感器组成,且布置于周向上的光纤传感器可以位于飞艇的其中一侧即可,以保证在有效采集数据的同时降低整体的设置成本。在此基础上,进一步基于柔性飞艇应变场响应,获得多种服役工况下柔性飞艇多个位置上的应变响应相关数据,构建形成训练数据集。上述方式代替了以往通过单个传感器采集时域上的应变响应规律的方式,采用对整体位点的布置并采集整个应变场信息,能够更好地体现柔性飞艇的整体服役状态,大大提高了采集信息的全面有效性。

[0041] S200、建立攻角预测的网络模型:建立针对于飞艇攻角识别的全连接网络模型,将步骤S100中获得的训练数据集代入全连接网络模型中进行训练,得到训练好的网络模型;

[0042] S300、服役攻角的识别:采集待测(服役中)柔性飞艇上的光纤传感网络的应变场响应相关数据,代入训练好的网络模型中,获得待测柔性飞艇服役状态下的攻角。

[0043] 其中,如图1所示,所述全连接网络模型包括五层,且神经元个数分别为16、128、64、64和1,激活函数采用relu,优化器为adam,回归评价指标为mse和mae。进一步地,为了防止过拟合,在训练过程中采用早停法,且当误差值在十步内且不继续下降时,则终止训练。

[0044] 当然,这里的训练好的网络模型可以为将步骤S100中的训练数据集直接作为输入参数代入全连接网络模型中直接进行训练获得。当然,这里的训练方式采用本领域技术人员能够理解的方式进行,例如,对每次训练的训练数据集需要划分训练集和验证集,在

此不多作赘述。

[0045] 在本发明的一种优选的实施方式中,为了获得结构参数最优的网络模型,训练过程还包括分别训练集训练和验证集训练,并采用早停法,为防止训练结果发生过拟合。其具体方法包括:

[0046] S201、训练集训练:将步骤S100中训练集代入针对飞艇攻角识别的全连接网络模型中进行训练,将输入的应变场信息(即应变响应相关数据)与攻角值之间形成相应的映射关系,通过多次迭代,不断优化梯度及学习率,使最终得到的误差值最小,得到训练好的预制网络模型;

[0047] S202、验证集训练:选取步骤S100中的验证集代入全连接网络模型中进行训练,测试当前模型的评估指标,根据验证集的结构调整网络模型的学习率和迭代数等,并进行优化,最终得到训练好的网络模型;其中,

[0048] 在步骤S202中还包括采用早停法(Early stopping)进行验证,具体包括:在训练过程中验证集的评估指标连续10次迭代没有优化,则认为评估指标不再提高,为防止过拟合则停止迭代。

[0049] 进一步地,在步骤S201中,其优化过程进一步包括:

[0050] S2011、对训练好的预制网络模型进行调参处理。这里的调参处理具体包括对迭代数、学习率、优化器、损失函数和神经网络的层数等进行优化调试;

[0051] S2012、将经过调参处理后的预制网络模型进行调试,并对调试后的预制网络模型按照设置的超参数进行训练,得到训练好的网络模型。这里的超参数设定和训练具体为:通过超参数的不断优化,利用调试后的预制网络模型中学习得到的评估指标,分析调试后的预制网络模型中各个参数的优化值并不断进行训练。

[0052] 以下通过具体的实施例进行进一步的阐述。

[0053] 具体地,整个实验过程在风洞中进行,柔性飞艇结构如图2所示,其由12片聚氯乙烯薄膜组成,整体长度为2.3m,飞艇的最大直径为0.6m,且飞艇由1个刚性支撑杆支撑。整个实验过程中采用的风速包括10m/s和15m/s两种状态。柔性飞艇的服役攻角在 $0^{\circ}$ - $20^{\circ}$ 之间可调节,且最小调节单位为 $2^{\circ}$ 。飞艇上布置有36个光纤传感器,其中,18个沿周向方向排布,18个沿轴向方向排布。实验过程中的采样频率为50Hz。

[0054] 在实际操作过程中,选取沿轴向方向排布的光纤传感器(其中两个光纤传感器损坏,因此,有效的光纤传感器数量为16个)采集的飞艇在不同风压和风速条件下的结构整体变形情况(横坐标为每个光纤传感器的编号,纵坐标为不同攻角状态下的对应的光纤传感器的应变响应数值),具体如图3-图5所示,其中,图3为风速为10m/s,风压为600Pa条件下,图4为风速为15m/s,风压为600Pa条件下,图5为风速为10m/s,风压为900Pa条件下。将光纤传感器采集到的应变信号和对应的光纤传感器编号作为一组,形成为一组训练数据(即将某一种服役状态下的结构整体变形场作为训练参数),多组训练数据(包括同一工况下的不同位置的光纤传感器和不同工况下的光纤传感器)共同构成训练数据集(例如,在该具体实施例中,选取的就是轴向上的16个传感器在不同工况下的多组数据集)。

[0055] 采用上述具体提出的针对于飞艇攻角识别的五层全连接网络模型,对服役攻角进行识别和训练。具体地:训练集与验证集:风速 $V=10\text{m/s}$ ,初始内压 $P=600\text{Pa}$ ,攻角 $0^{\circ}$ 、 $4^{\circ}$ 、 $8^{\circ}$ 、 $12^{\circ}$ 、 $16^{\circ}$ 和 $20^{\circ}$ 的应变响应数据;测试集:风速 $V=10\text{m/s}$ ,初始内压 $P=600\text{Pa}$ ,对攻角

2°、6°、10°、14°进行预测。其中,训练过程中,迭代次数为1000次,为防止过拟合,采用 Early stopping方法,得到的误差函数曲线如图6所示。预测结果如下 表1和表2所示。通过识别结果,可以看出,攻角预测误差基本控制在5% 以内,绝对误差在0.4°以内,尤其当实际攻角较大时,预测误差更小,更加准确。有效地证明了本发明所建立的柔性飞艇服役攻角识别方法的 有效性。

[0056] 表1

[0057]

真实值	预测值	绝对误差	相对误差	真实值	预测值	绝对误差	相对误差
2	2.15	0.15	7.5%	6	6.00	0	0
2	2.09	0.09	4.5%	6	6.28	0.28	4.7%
2	1.99	0.01	0.5%	6	6.00	0	0
2	2.01	0.01	0.5%	6	6.19	0.19	3.2%
2	2.04	0.04	2%	6	6.26	0.26	4.3%
2	2.02	0.02	1%	6	6.19	0.19	3.2%
2	2.10	0.10	5%	6	6.13	0.13	2.2%
2	2.12	0.12	6%	6	6.14	0.14	2.3%
2	1.99	0.01	0.5%	6	6.18	0.18	3%
2	2.08	0.08	4%	6	5.99	0.01	0.2%

[0058] 表2

[0059]

真实值	预测值	绝对误差	相对误差	真实值	预测值	绝对误差	相对误差
10	10.02	0.02	0.2%	14	14.32	0.32	2.3%
10	10.23	0.23	2.3%	14	14.10	0.10	0.7%
10	10.05	0.05	0.5%	14	14.21	0.21	1.5%
10	10.11	0.11	1.1%	14	14.14	0.14	1%
10	9.97	0.03	0.3%	14	14.27	0.27	1.9%
10	10.18	0.18	1.8%	14	14.26	0.26	1.9%
10	9.83	0.17	1.7%	14	14.21	0.21	1.5%
10	10.29	0.29	2.9%	14	14.30	0.30	2.1%
10	10.09	0.09	0.9%	14	14.35	0.35	2.5%
10	10.03	0.03	0.3%	14	14.15	0.15	1.1%

[0060] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的 描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技 术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的 这些修改或改进,均属于本发明要求保护的 范围。



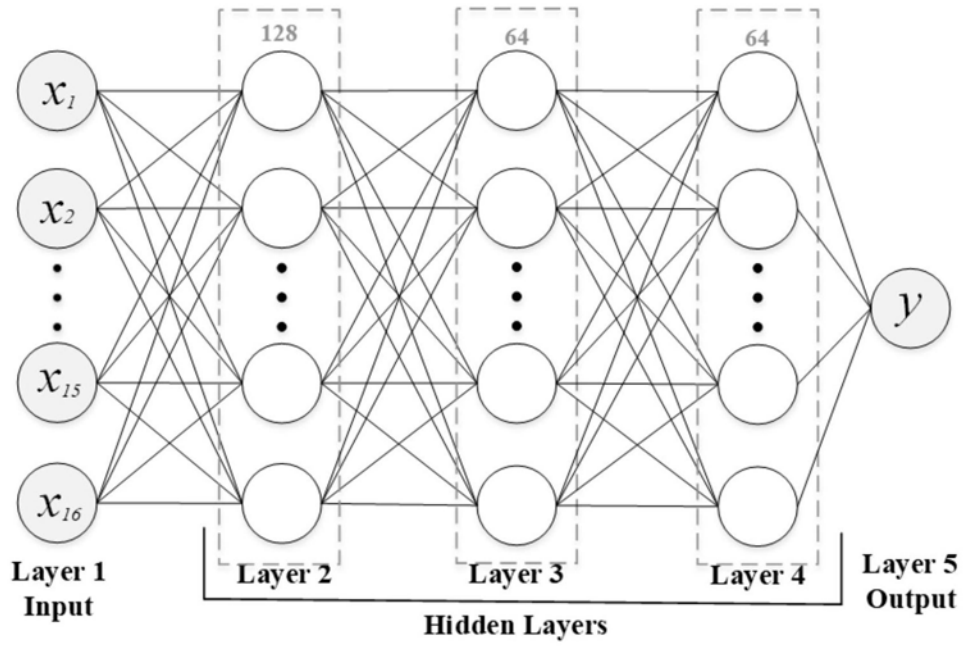


图1

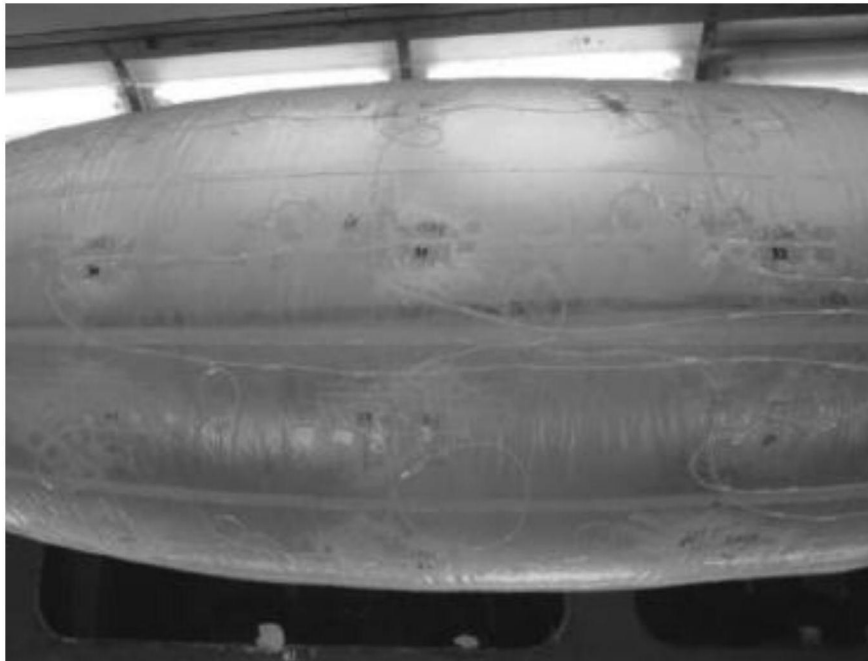


图2

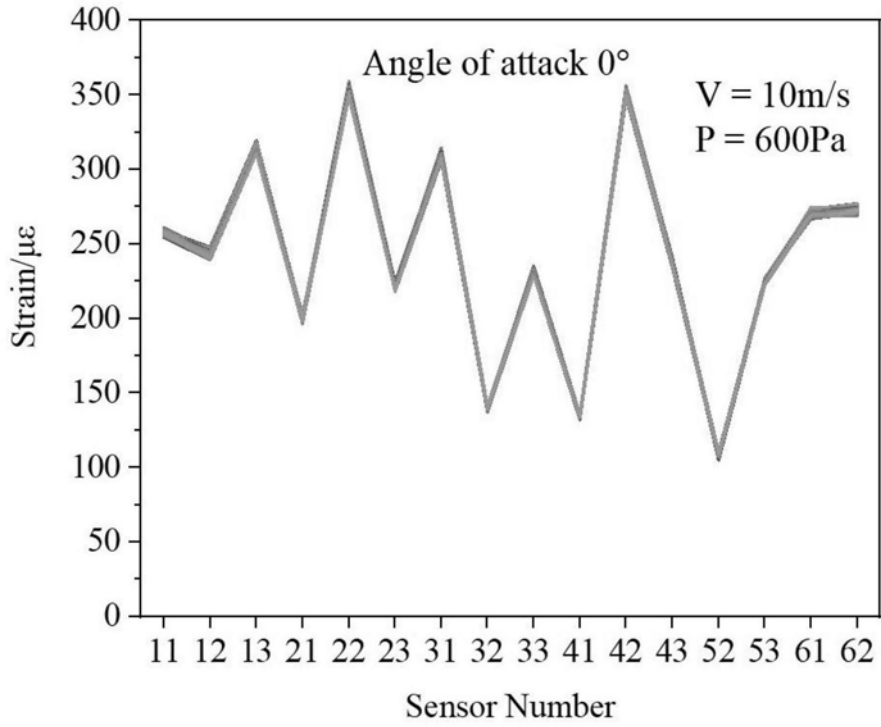


图3

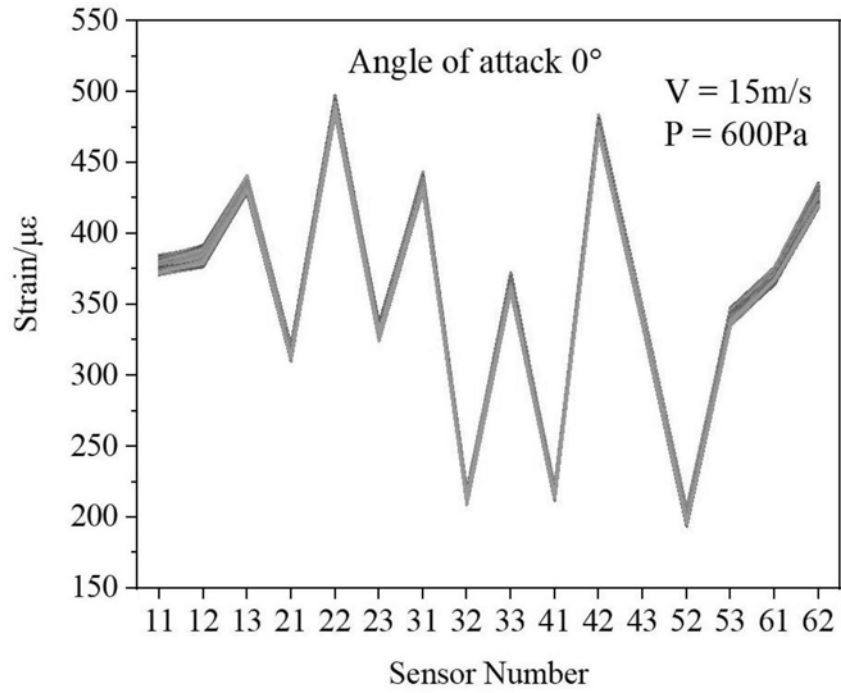


图4

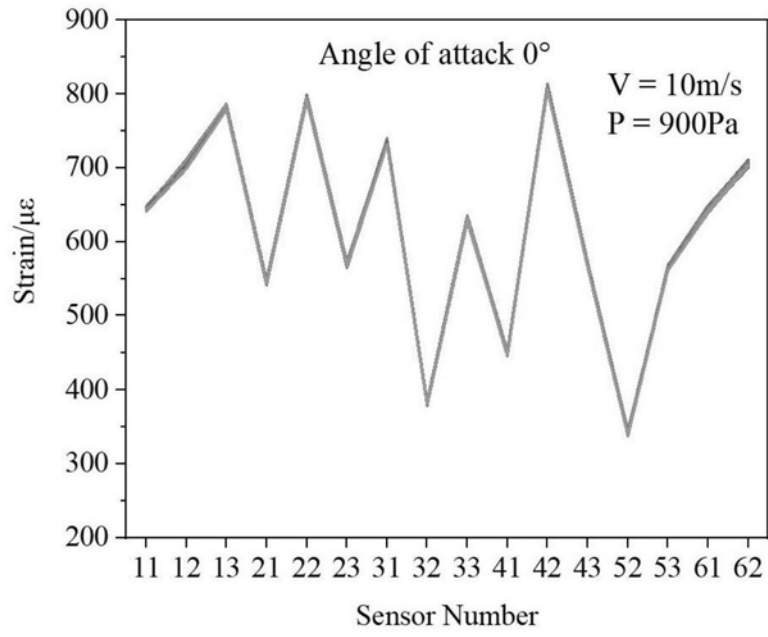


图5

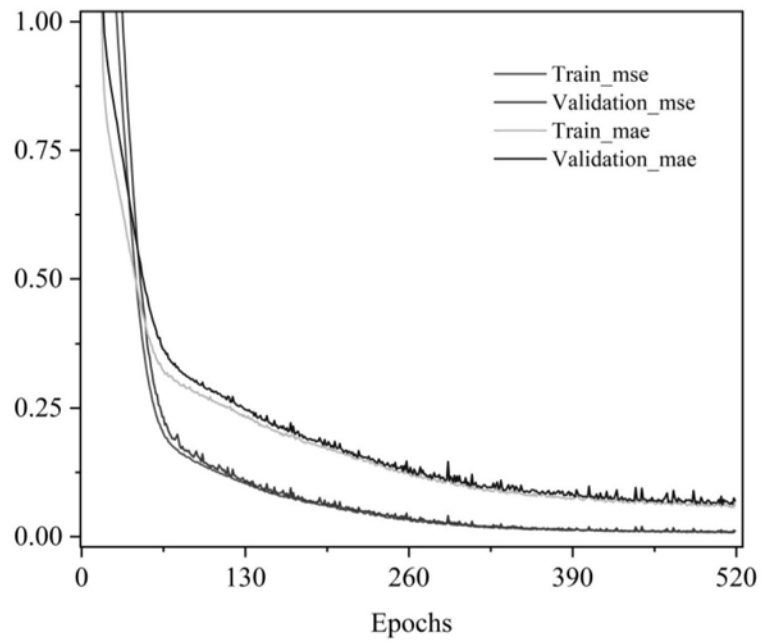


图6

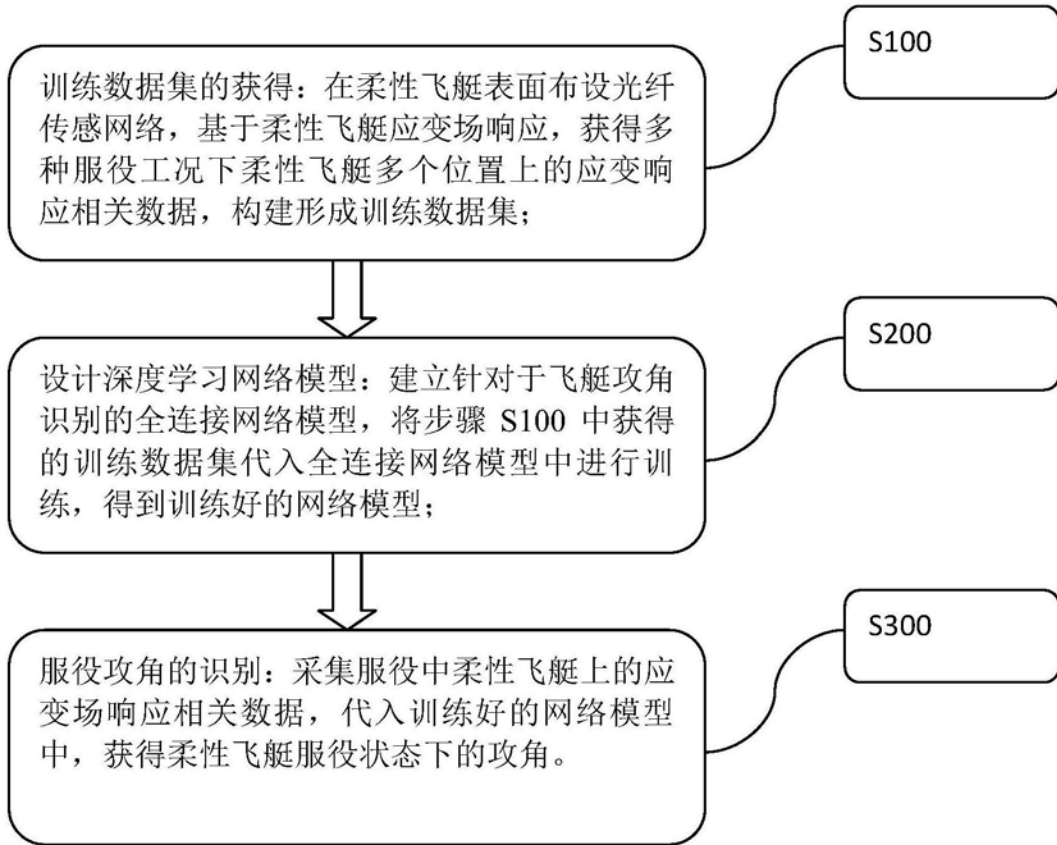


图7