



(21) 申请号 202410232125.0

G06N 3/088 (2023.01)

(22) 申请日 2024.03.01

(71) 申请人 深圳市大数据研究院

地址 518172 广东省深圳市龙岗区龙城街
道龙翔大道2001号道远楼225室(72) 发明人 赵子健 韩凯峰 陈琪美 朱光旭
李晓阳 李航(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

专利代理师 周翀

(51) Int. Cl.

G06F 18/15 (2023.01)

G06N 3/045 (2023.01)

G06N 3/0464 (2023.01)

G06N 3/0475 (2023.01)

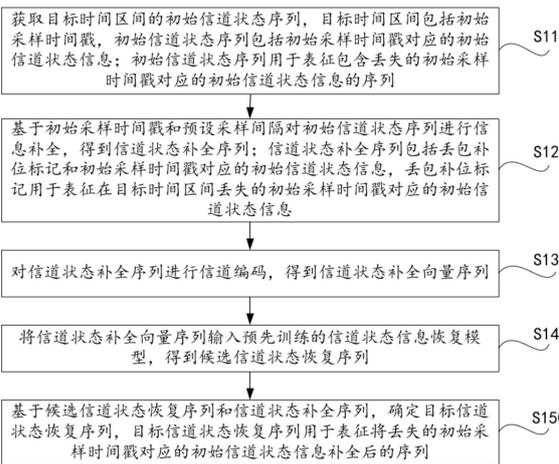
权利要求书3页 说明书18页 附图6页

(54) 发明名称

信道状态信息恢复方法及装置、设备、存储
介质

(57) 摘要

本申请实施例提供了一种信道状态信息恢复方法及装置、设备、存储介质,属于人工智能技术领域。该方法包括:获取初始信道状态序列,初始信道状态序列包括所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息;基于初始采样时间戳和预设采样间隔对初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列;信道状态补全序列包括丢包补位标记和初始采样时间戳的初始信道状态信息;对信道状态补全序列编码得到信道状态补全向量序列;将信道状态补全向量序列输入信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列;基于候选信道状态恢复序列和信道状态补全序列确定目标信道状态恢复序列。本申请实施例能够提高信道状态信息的恢复准确性,从而提高感知精度。



1. 一种信道状态信息恢复方法,其特征在于,所述方法包括:

获取目标时间区间的初始信道状态序列,所述目标时间区间包括初始采样时间戳,所述初始信道状态序列包括所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息;所述初始信道状态序列用于表征包含丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息的序列;

基于所述初始采样时间戳和预设采样间隔对所述初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列;所述信道状态补全序列包括丢包补位标记和所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息,所述丢包补位标记用于表征在所述目标时间区间丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息;

对所述信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列;

将所述信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列;

基于所述候选信道状态恢复序列和所述信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,所述目标信道状态恢复序列用于表征将丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息补全后的序列。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述对所述信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列,包括:

确定所述初始信道状态信息的信道状态信息数量,并根据所述信道状态信息数量对所述初始信道状态信息进行信息提取,得到初始信道状态子信息;

对所述初始信道状态子信息进行信息参数提取,得到初始信道幅度和初始信道相位;

对所述初始信道幅度进行幅度编码,得到信道幅度子向量;

对所述初始信道相位进行相位编码,得到信道相位子向量;

对所述信道幅度子向量和所述信道相位子向量进行向量拼接,得到所述初始信道状态子信息对应的初始信道状态子向量;

对所述信道状态信息数量的所述初始信道状态子向量进行子向量拼接,得到初始信道状态向量;

根据所述信道状态补全序列确定所述丢包补位标记的丢包位置;

基于所述丢包位置对所述丢包补位标记和所述初始信道状态向量进行向量拼接,得到所述信道状态补全向量序列。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述确定所述初始信道状态信息的信道状态信息数量,包括:

获取发射机数量、接收机数量和载波数量;

对所述发射机数量、所述接收机数量和所述载波数量进行乘积计算,得到所述信道状态信息数量。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述信道状态信息恢复模型包括信息编码器模型、信息恢复子模型和生成器,所述信息编码器模型包括信息编码层、时间戳编码层和位置编码层;

所述将所述信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列,包括:

基于所述信息编码层对所述信道状态补全向量序列进行信息编码处理,得到信道状态

信息序列向量；

基于所述时间戳编码层对所述信道状态补全向量序列进行时间戳编码处理,得到信道状态序列时间戳向量；

基于所述位置编码层对所述信道状态补全向量序列进行序列位置编码处理,得到信道状态序列位置向量；

对所述信道状态信息序列向量、所述信道状态序列时间戳向量和所述信道状态序列位置向量进行向量拼接,得到信道状态信息编码向量；

基于所述信息恢复子模型对所述信道状态信息编码向量进行信息恢复处理,得到信道状态信息恢复向量；

基于所述生成器对所述信道状态信息恢复向量进行序列生成,得到所述候选信道状态恢复序列。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述生成器包括第一线性层和反归一化层,所述基于所述生成器对所述信道状态信息恢复向量进行序列生成,得到所述候选信道状态恢复序列,包括:

基于所述第一线性层对所述信道状态信息恢复向量进行线性变换,得到线性信道状态信息恢复向量；

基于所述反归一化层对所述线性信道状态信息恢复向量进行反归一化处理,得到所述候选信道状态恢复序列。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述基于所述初始采样时间戳和预设采样间隔对所述初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列,包括:

获取所述初始采样时间戳在初始信道状态序列中相邻的采样时间戳,得到候选采样时间戳；

对所述初始采样时间戳和所述候选采样时间戳进行差值计算,得到候选采样间隔；

若所述候选采样间隔大于所述预设采样间隔,根据所述预设采样间隔和所述初始采样时间戳确定丢失采样时间戳,所述丢失采样时间戳用于表征所述初始采样时间戳和所述候选采样时间戳之间丢失的采样时间戳；

根据所述丢失采样时间戳在所述初始信道状态序列中添加所述丢包补位标记,得到所述信道状态补全序列。

7. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述基于所述候选信道状态恢复序列和所述信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,包括:

根据所述丢包位置对所述候选信道状态恢复序列进行信息提取,得到目标丢失信道状态信息；

根据所述丢包位置和所述目标丢失信道状态信息对所述信道状态补全序列的所述丢包补位标记进行标记替换,得到所述目标信道状态恢复序列。

8. 一种信道状态信息恢复装置,其特征在于,所述装置包括:

获取模块,用于获取目标时间区间的初始信道状态序列,所述目标时间区间包括初始采样时间戳,所述初始信道状态序列包括所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息；所述初始信道状态序列用于表征包含丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息的序列；

信息补全模块,用于基于所述初始采样时间戳和预设采样间隔对所述初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列;所述信道状态补全序列包括丢包补位标记和所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息,所述丢包补位标记用于表征在所述目标时间区间丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息;

编码模块,用于对所述信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列;

信息恢复模块,用于将所述信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列;

确定模块,用于基于所述候选信道状态恢复序列和所述信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,所述目标信道状态恢复序列用于表征将丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息补全后的序列。

9. 一种计算机设备,其特征在于,包括:

至少一个存储器;

至少一个处理器;

至少一个计算机程序;

所述至少一个计算机程序被存储在所述至少一个存储器中,所述至少一个处理器执行所述至少一个计算机程序以实现:

如权利要求1至7中任一项所述的方法。

10. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序用于使计算机执行:

如权利要求1至7中任一项所述的方法。

信道状态信息恢复方法及装置、设备、存储介质

技术领域

[0001] 本申请涉及人工智能技术领域,尤其涉及一种信道状态信息恢复方法及装置、设备、存储介质。

背景技术

[0002] 信道状态信息(Channel State Information,CSI)是指在通信系统中用于描述信道状态的信息。WiFi感知技术是一种利用WiFi信号来感知和识别目标位置、运动轨迹以及环境信息的技术。目前,WiFi感知主要利用CSI进行感知。当环境不同或环境内的目标运动状态不同时,CSI会呈现出不同的特征,这成为WiFi感知模型的主要判别依据。然而,在实际使用中,即使设置了固定的CSI采样率,由于CSI容易出现丢包问题,导致CSI的时间分布通常是不均匀的,从而导致感知精度降低。因此,如何解决CSI的丢包问题,即准确恢复出丢失的CSI,是当前研究的重点。

[0003] 基于此,相关技术通常使用插值方法将CSI序列补充到某个固定的时间维度,以便通过模型恢复出丢失的CSI。然而,这种方式并未考虑CSI内在其他特征之间的关联性,导致插值结果与实际情况存在较大差异,使得信道状态信息的恢复准确性较低,从而导致感知精度较低。

发明内容

[0004] 本申请实施例的主要目的在于提出了一种信道状态信息恢复方法及装置、设备、存储介质,能够提高信道状态信息的恢复准确性,从而提高感知精度。

[0005] 为实现上述目的,本申请实施例的第一方面提出了一种信道状态信息恢复方法,所述方法包括:

获取目标时间区间的初始信道状态序列,所述目标时间区间包括初始采样时间戳,所述初始信道状态序列包括所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息;所述初始信道状态序列用于表征包含丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息的序列;

基于所述初始采样时间戳和预设采样间隔对所述初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列;所述信道状态补全序列包括丢包补位标记和所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息,所述丢包补位标记用于表征在所述目标时间区间丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息;

对所述信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列;

将所述信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列;

基于所述候选信道状态恢复序列和所述信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,所述目标信道状态恢复序列用于表征将丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息补全后的序列。

[0006] 在一些实施例中,所述对所述信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列,包括:

确定所述初始信道状态信息的信道状态信息数量,并根据所述信道状态信息数量对所述初始信道状态信息进行信息提取,得到初始信道状态子信息;

对所述初始信道状态子信息进行信息参数提取,得到初始信道幅度和初始信道相位;

对所述初始信道幅度进行幅度编码,得到信道幅度子向量;

对所述初始信道相位进行相位编码,得到信道相位子向量;

对所述信道幅度子向量和所述信道相位子向量进行向量拼接,得到所述初始信道状态子信息对应的初始信道状态子向量;

对所述信道状态信息数量的所述初始信道状态子向量进行子向量拼接,得到初始信道状态向量;

根据所述信道状态补全序列确定所述丢包补位标记的丢包位置;

基于所述丢包位置对所述丢包补位标记和所述初始信道状态向量进行向量拼接,得到所述信道状态补全向量序列。

[0007] 在一些实施例中,所述确定所述初始信道状态信息的信道状态信息数量,包括:

获取发射机数量、接收机数量和载波数量;

对所述发射机数量、所述接收机数量和所述载波数量进行乘积计算,得到所述信道状态信息数量。

[0008] 在一些实施例中,所述信道状态信息恢复模型包括信息编码器子模型、信息恢复子模型和生成器,所述信息编码器子模型包括信息编码层、时间戳编码层和位置编码层;

所述将所述信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列,包括:

基于所述信息编码层对所述信道状态补全向量序列进行信息编码处理,得到信道状态信息序列向量;

基于所述时间戳编码层对所述信道状态补全向量序列进行时间戳编码处理,得到信道状态序列时间戳向量;

基于所述位置编码层对所述信道状态补全向量序列进行序列位置编码处理,得到信道状态序列位置向量;

对所述信道状态信息序列向量、所述信道状态序列时间戳向量和所述信道状态序列位置向量进行向量拼接,得到信道状态信息编码向量;

基于所述信息恢复子模型对所述信道状态信息编码向量进行信息恢复处理,得到信道状态信息恢复向量;

基于所述生成器对所述信道状态信息恢复向量进行序列生成,得到所述候选信道状态恢复序列。

[0009] 在一些实施例中,所述生成器包括第一线性层和反归一化层,所述基于所述生成器对所述信道状态信息恢复向量进行序列生成,得到所述候选信道状态恢复序列,包括:

基于所述第一线性层对所述信道状态信息恢复向量进行线性变换,得到线性信道状态信息恢复向量;

基于所述反归一化层对所述线性信道状态信息恢复向量进行反归一化处理,得到所述候选信道状态恢复序列。

[0010] 在一些实施例中,所述基于所述初始采样时间戳和预设采样间隔对所述初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列,包括:

获取所述初始采样时间戳在初始信道状态序列中相邻的采样时间戳,得到候选采样时间戳;

对所述初始采样时间戳和所述候选采样时间戳进行差值计算,得到候选采样间隔;

若所述候选采样间隔大于所述预设采样间隔,根据所述预设采样间隔和所述初始采样时间戳确定丢失采样时间戳,所述丢失采样时间戳用于表征所述初始采样时间戳和所述候选采样时间戳之间丢失的采样时间戳;

根据所述丢失采样时间戳在所述初始信道状态序列中添加所述丢包补位标记,得到所述信道状态补全序列。

[0011] 在一些实施例中,所述基于所述候选信道状态恢复序列和所述信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,包括:

根据所述丢包位置对所述候选信道状态恢复序列进行信息提取,得到目标丢失信道状态信息;

根据所述丢包位置和所述目标丢失信道状态信息对所述信道状态补全序列的所述丢包补位标记进行标记替换,得到所述目标信道状态恢复序列。

[0012] 为实现上述目的,本申请实施例的第二方面提出了一种信道状态信息恢复装置,所述装置包括:

获取模块,用于获取目标时间区间的初始信道状态序列,所述目标时间区间包括初始采样时间戳,所述初始信道状态序列包括所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息;所述初始信道状态序列用于表征包含丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息的序列;

信息补全模块,用于基于所述初始采样时间戳和预设采样间隔对所述初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列;所述信道状态补全序列包括丢包补位标记和所述初始采样时间戳对应的初始信道状态信息,所述丢包补位标记用于表征在所述目标时间区间丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息;

编码模块,用于对所述信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列;

信息恢复模块,用于将所述信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列;

确定模块,用于基于所述候选信道状态恢复序列和所述信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,所述目标信道状态恢复序列用于表征将丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息补全后的序列。

[0013] 为实现上述目的,本申请实施例的第三方面提出了一种计算机设备,包括:

至少一个存储器;

至少一个处理器;

至少一个计算机程序；

所述至少一个计算机程序被存储在所述至少一个存储器中,所述至少一个处理器执行所述至少一个计算机程序以实现上述第一方面所述的方法。

[0014] 为实现上述目的,本申请实施例的第四方面提出了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序用于使计算机执行上述第一方面所述的方法。

[0015] 本申请实施例提出的信道状态信息恢复方法及装置、设备、存储介质,通过考虑CSI内在其他特征之间的关联性,并通过丢包补位标记对序列丢失的CSI进行补全,以得到信道状态补全向量序列。这样可以获得信息量更丰富的向量序列。为了提高信道状态信息的恢复准确性,本申请提出了信道状态信息恢复模型,可以在仅有不完整的初始信道状态序列的条件下进行无监督学习,无需额外数据。具体地,获取目标时间区间的初始信道状态序列,该目标时间区间包括初始采样时间戳,初始信道状态序列包括初始采样时间戳对应的初始信道状态信息。初始信道状态序列用于表征包含丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息的序列。这时的初始信道状态序列为不完整的信道状态序列。然后,基于初始采样时间戳和预设采样间隔对初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列。这时的信道状态补全序列为目标时间区间对应的完整的信道状态序列。其中,信道状态补全序列包括丢包补位标记和初始采样时间戳对应的初始信道状态信息,丢包补位标记用于表征在目标时间区间丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态向量。对信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列。将信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列。基于候选信道状态恢复序列和信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,目标信道状态恢复序列用于表征将丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息补全后的序列。因此,本申请实施例通过补全的信道状态补全向量序列和预先训练的信道状态信息恢复模型,能够提高信道状态信息的恢复准确性,从而提高感知精度。

附图说明

[0016] 图1是本申请实施例提供的信道状态信息恢复方法的一个流程图;
图2是图1中的步骤S120的流程图;
图3是图1中的步骤S130的流程图;
图4是图3中的步骤S310的流程图;
图5是本申请实施例提供的信道状态信息恢复模型的结构示意图;
图6是图1中的步骤S140的流程图;
图7是图6中的步骤S660的流程图;
图8是本申请实施例提供的信道状态信息恢复模型的训练和推理过程流程图;
图9是图1中的步骤S150的流程图;
图10是本申请实施例提供的信道状态信息恢复装置的结构示意图;
图11是本申请实施例提供的计算机设备的硬件结构示意图。

具体实施方式

[0017] 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本申请进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本申请,并不用于限定本申请。

[0018] 需要说明的是,虽然在装置示意图中进行了功能模块划分,在流程图中示出了逻辑顺序,但是在某些情况下,可以以不同于装置中的模块划分,或流程图中的顺序执行所示出或描述的步骤。说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。

[0019] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中所使用的术语只是为了描述本申请实施例的目的,不是旨在限制本申请。

[0020] 首先,对本申请中涉及的若干名词进行解析:

人工智能(Artificial Intelligence, AI):是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学;人工智能是计算机科学的一个分支,人工智能企图了解智能的实质,并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器,该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。人工智能可以对人的意识、思维的信息过程的模拟。人工智能还是利用数字计算机或者数字计算机控制的机器模拟、延伸和扩展人的智能,感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统。

[0021] WiFi感知技术:是一种利用WiFi信号来感知和识别目标位置、运动轨迹以及环境信息的技术。通过分析WiFi信号的强度、延迟、多径传播等特征,可以实现对用户位置和移动的跟踪,同时也可以用于环境监测和智能设备的自适应调整。

[0022] 信道状态信息(Channel State Information, CSI):是指在通信系统中用于描述信道状态的信息。在无线通信系统中,信道是指信号从发送端到接收端传输的媒介,信道状态信息描述了信道的特性和状态,包括信道的衰落、多径效应、干扰情况等。

[0023] 载波(Carrier):在无线通信系统中,信息(如CSI)通常是通过载波进行传输的。载波可以被视为一种传输信号的基础,可以携带着要传输的数据,是通信系统中的基本元素。

[0024] 收发机(Transceiver):是用于发送和接收信号的设备,包括了发射机和接收机两个部分。发射机将要发送的信号调制到载波上并通过天线发送出去,接收机则接收来自天线的信号并进行解调和处理。载波、收发机和信道状态信息之间是相互关联、相互影响的,共同构成了无线通信系统中重要的组成部分。

[0025] 双向编码器-转换器模型(Bidirectional Encoder Representations from Transformers, BERT):也指双向编码器模型。BERT是一种基于Transformer架构的预训练语言模型。

[0026] 目前,WiFi感知主要利用CSI进行感知。当环境不同或环境内的目标运动状态不同时,CSI会呈现出不同的特征,这成为WiFi感知模型的主要判别依据。然而,在实际使用中,即使设置了固定的CSI采样率,由于CSI容易出现丢包问题,导致CSI的时间分布通常是不均匀的,从而导致感知精度降低。丢包问题是由于信号强度弱、频率干扰、硬件错误等原因导致接收端无法成功解码数据包所引起的。因此,采集到的数据包数量往往低于预期,丢包情

况也会随着时间的推移而变化。数据质量的下降直接影响了WiFi感知模型的性能,丢包率越高,感知精度就越低。因此,如何解决CSI的丢包问题,即准确恢复出丢失的CSI,是当前研究的重点。

[0027] 基于此,相关技术缺乏对CSI丢包问题的研究,大部分WiFi感知的研究通常使用插值方法将CSI序列补充到某个固定的时间维度,以便通过模型恢复出丢失的CSI。然而,这种方式并未考虑CSI内在其他特征之间的关联性,导致插值结果与实际情况存在较大差异,使得信道状态信息的恢复准确性较低,从而导致感知精度较低。相关技术还想到将CSI进行离散化编码,并直接输入预训练好的BERT模型进行定位预测的方式。但是,无线信号数据本身是连续的,而自然语言中的文字是离散的符号。使用自然语言模型对无线信号数据进行离散化编码的方式,在编码过程中容易丢失大量有效信息,从而导致恢复结果较差。此外,对于无线电地图(Radio Map)进行模型训练以恢复CSI的方式。由于这种方式需要使用完整且无丢失的Radio Map,而CSI信号具有连续性,即使在相同环境下,也无法获得完全相同的两段CSI序列。因此,无法获得完整无丢失的CSI序列,也就不能使用该方法。综上,无线信号与自然语言之间仍然存在一定的差异,相关技术所采用的方法未对自然语言的BERT模型进行任何适应性改变,方法甚至直接采用了自然语言中的预训练参数,这些差异会导致BERT在处理无线信号时表现较差,从而限制了方法的准确性和效果。因此,相关技术基于BERT的无线感知与无线数据恢复方法难以直接迁移到CSI,相关技术缺乏能够准确恢复丢失的CSI的方法。

[0028] 基于此,本申请实施例提供了一种信道状态信息恢复方法及装置、设备、存储介质,能够提高信道状态信息的恢复准确性,从而提高感知精度。

[0029] 本申请实施例可以基于人工智能技术对相关的数据进行获取和处理。其中,人工智能(Artificial Intelligence, AI)是利用数字计算机或者数字计算机控制的机器模拟、延伸和扩展人的智能,感知环境、获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法、技术及应用系统。

[0030] 人工智能基础技术一般包括如传感器、专用人工智能芯片、云计算、分布式存储、大数据处理技术、操作/交互系统、机电一体化等技术。人工智能软件技术主要包括计算机视觉技术、机器人技术、生物识别技术、语音处理技术、自然语言处理技术以及机器学习/深度学习等几大方向。

[0031] 本申请实施例提供的信道状态信息恢复方法,涉及人工智能技术领域。本申请实施例提供的信道状态信息恢复方法可应用于终端中,也可应用于服务器端中,还可以是运行于终端或服务器端中的软件。在一些实施例中,终端可以是智能手机、平板电脑、笔记本电脑、台式计算机等;服务器端可以配置成独立的物理服务器,也可以配置成多个物理服务器构成的服务器集群或者分布式系统,还可以配置成提供云服务、云数据库、云计算、云函数、云存储、网络服务、云通信、中间件服务、域名服务、安全服务、内容分发网络(Content Delivery Network, CDN)以及大数据和人工智能平台等基础云计算服务的云服务器;软件可以是实现信道状态信息恢复方法的应用等,但并不局限于以上形式。

[0032] 本申请可用于众多通用或专用的计算机系统环境或配置中。例如:个人计算机、服务器计算机、手持设备或便携式设备、平板型设备、多处理器系统、基于微处理器的系统、置顶盒、可编程的消费电子设备、网络个人计算机(Personal Computer, PC)、小型计算机、大

型计算机、包括以上任何系统或设备的分布式计算环境等等。本申请可以在由计算机执行的计算机可执行指令的一般上下文中描述,例如程序模块。一般地,程序模块包括执行特定任务或实现特定抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、数据结构等等。也可以在分布式计算环境中实践本申请,在这些分布式计算环境中,由通过通信网络而被连接的远程处理设备来执行任务。在分布式计算环境中,程序模块可以位于包括存储设备在内的本地和远程计算机存储介质中。

[0033] 请参阅图1,图1是本申请实施例提供的信道状态信息恢复方法的一个可选的流程图。图1中的方法可以具体包括但不限于步骤S110至步骤S160,下面结合图1对这六个步骤进行详细介绍。

[0034] 步骤S110、获取目标时间区间的初始信道状态序列,目标时间区间包括初始采样时间戳,初始信道状态序列包括初始采样时间戳对应的初始信道状态信息;初始信道状态序列用于表征包含丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息的序列;

步骤S120、基于初始采样时间戳和预设采样间隔对初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列;信道状态补全序列包括丢包补位标记和初始采样时间戳对应的初始信道状态信息,丢包补位标记用于表征在目标时间区间丢失的所述初始采样时间戳对应的所述初始信道状态信息;

步骤S130、对信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列;

步骤S140、将信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列;

步骤S150、基于候选信道状态恢复序列和信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,目标信道状态恢复序列用于表征将丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息补全后的序列。

[0035] 在一些实施例的步骤S110中,目标时间区间是指预先设定的包含需要恢复的信道状态信息的区间。目标时间区间可以为通信过程中完整的时间区间,也可以为预先设定的一段区间。对于目标时间区间的设定,通过将需要恢复信道状态信息的序列划分为一段一段,可以提高对信道状态信息的恢复效率。初始采样时间戳是指目标时间区间中一个时间点。

[0036] 需要说明的是,初始采样时间戳是基于预先设定的预设采样间隔在目标时间区间确定的。预设采样间隔是根据预先设定的采样率设定的。由于采样率固定,因此每相邻两个初始信道状态信息的时间戳之差理论上固定的(实际会存在一定误差,但可以忽略)。由于可能相邻的初始采样时间戳中可能存在丢失的初始信道状态信息,则初始信道状态序列中相邻的初始采样时间戳的差值,为预设采样间隔的倍数,即1倍或2倍等。因此根据相邻的初始信道状态信息的初始采样时间戳的差值,即可判断这两个初始信道状态信息中间是否缺少CSI以及缺少几个CSI。初始信道状态序列是指在目标时间区间内,包含了多个初始采样时间戳对应的初始信道状态信息的序列。并且,初始信道状态序列用于表征包含丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息的序列。

[0037] 需要说明的是,获取目标时间区间的初始信道状态序列包括:获取多个初始采样时间戳对应的初始信号状态信息;基于初始采样时间戳对多个初始信道状态信息进行信息拼接,得到初始信道状态序列。基于初始采样时间戳对多个初始信道状态信息进行信息拼

接,是指按照时间的先后关系对多个初始信道状态信息进行信息拼接。

[0038] 需要说明的是,获取初始采样时间戳对应的初始信号状态信息的方式,取决于您使用的通信系统和设备。具体可以包括:API调用(如果使用的是现代通信设备或通信系统,通常会提供API来获取信道状态信息,具体可以通过调用相应的API接口来获取所需的信道状态信息)、传感器(例如,对于某些物联网设备或传感器网络,可以使用专门的信号强度传感器来获取无线信道的强度信息)、网络分析工具(对于无线局域网(WiFi)或蜂窝网络,可以使用专门的网络分析工具来扫描并获取信道状态信息。这些工具通常可以提供信号强度、信噪比、信道利用率等信息)、通信设备界面(有些通信设备会提供界面或命令行工具,通过这些界面可以获取到信道状态信息。例如,路由器、基站等设备通常会提供这样的功能)等方式。

[0039] 在一些实施例的步骤S120中,由于初始信道状态序列中包含丢失的初始信道状态信息,为了准确预测缺失的信道状态信息,则需要将初始信道状态序列中缺失的信道状态信息的位置确定出来。并根据后续的模式对缺失的位置的信道状态信息进行预测。因此,本申请实施例可以利用丢包补位标记对初始信道状态序列中缺失的信道状态信息进行补位,可以引导帮助后续的模式对缺失的信息进行恢复。信道状态补全序列是指利用丢包补位标记对初始信道状态序列中缺失的信道状态信息补全后的序列。

[0040] 需要说明的是,丢包补位标记的具体符号表示可以根据实际应用进行灵活设定,在此不作具体限定。例如,丢包补位标记为[PAD]符号,初始信道状态序列为[CSI1, CSI3, CSI4, CSI5]。基于初始采样时间戳和预设采样间隔可以判断丢包的CSI2的位置,并将丢包位置设置为[PAD]符号。这时的信道状态补全序列可以为[CSI1, PAD, CSI3, CSI4, CSI5]。

[0041] 请参阅图2,图2是本申请实施例提供的步骤S120的一个可选的流程图。在本申请的一些实施例中,步骤S120具体可以包括但不限于步骤S210至步骤S240,下面结合图2对这四个步骤进行详细介绍。

[0042] 步骤S210、获取初始采样时间戳在初始信道状态序列中相邻的采样时间戳,得到候选采样时间戳;

步骤S220、对初始采样时间戳和候选采样时间戳进行差值计算,得到候选采样间隔;

步骤S230、若候选采样间隔大于预设采样间隔,根据预设采样间隔和初始采样时间戳确定丢失采样时间戳,丢失采样时间戳用于表征初始采样时间戳和候选采样时间戳之间丢失的采样时间戳;

步骤S240、根据丢失采样时间戳在初始信道状态序列中添加丢包补位标记,得到信道状态补全序列。

[0043] 在一些实施例的步骤S210中,本申请可以根据相邻的初始采样时间戳之间的差值,确定初始信道状态序列中相邻的采样时间戳之间是否包含丢包的信道状态信息。因此,初始采样时间戳是指当前需要进行丢包判断的采样时间戳。候选时间戳是指在初始信道状态序列中,与初始采样时间戳对应的初始信道状态信息相邻的初始信道状态信息对应的的时间戳。例如,初始信道状态序列为[CSI1, CSI3, CSI4, CSI5],如果这时的初始采样时间戳为CSI3对应的采样时间戳,则候选时间戳包括CSI1对应的采样时间戳和CSI4对应的采样时间戳。

[0044] 在一些实施例的步骤S220中,候选采样间隔是指初始采样时间戳和候选采样时间戳的差值。如果候选采样时间戳的有多个,则候选采样间隔也有多个。

[0045] 在一些实施例的步骤S230中,在不存在丢包情况下,相邻的采样时间戳的差值都是预设采样间隔。如此一来,如果候选采样间隔大于预设采样间隔,则根据预设采样间隔和初始采样时间戳可以确定丢失采样时间戳。丢失采样时间戳用于表征初始采样时间戳和候选采样时间戳之间丢失的采样时间戳。如果初始采样时间戳和候选采样时间戳之间丢失了一个采样时间戳,则确定丢失采样时间戳的方式可以为初始采样时间戳加上预设采样间隔。例如,初始信道状态序列为[CSI1, CSI3, CSI4, CSI5],基于初始采样时间戳和预设采样间隔可以判断初始信道状态序列中丢包了CSI2,则CSI2对应的采样时间戳为丢失采样时间戳。

[0046] 在一些实施例的步骤S240中,在确定丢失采样时间戳后,根据丢失采样时间戳在初始信道状态序列中添加丢包补位标记,得到信道状态补全序列。

[0047] 上述步骤的优点是,基于采样时间戳在序列中的相邻性,可以更全面地了解信道状态的变化和趋势。通过序列中相邻的采用时间戳的差值确定丢失采样时间戳,能够更好地处理数据丢失或不连续的情况,确保信道状态序列的完整性和连续性。根据丢失采样时间戳在初始信道状态序列中添加丢包补位标记,能够对信道状态信息进行修正和完善,提高了信息的可靠性和可用性,并提高后续模型对丢包的信道状态信息的预测准确性。

[0048] 在一些实施例的步骤S130中,由于信道状态信息本身是复数,但神经网络(即后续的信道状态信息恢复模型)无法处理复数。因此需要先对信道状态补全序列进行信道编码,以将信道状态补全序列转换为模型可以处理的向量形式,即信道状态补全向量序列。

[0049] 请参阅图3,图3是本申请实施例提供的步骤S130的一个可选的流程图。在本申请的一些实施例中,步骤S130具体可以包括但不限于步骤S310至步骤S380,下面结合图3对这八个步骤进行详细介绍。

[0050] 步骤S310、确定初始信道状态信息的信道状态信息数量,并根据信道状态信息数量对初始信道状态信息进行信息提取,得到初始信道状态子信息;

步骤S320、对初始信道状态子信息进行信息参数提取,得到初始信道幅度和初始信道相位;

步骤S330、对初始信道幅度进行幅度编码,得到信道幅度子向量;

步骤S340、对初始信道相位进行相位编码,得到信道相位子向量;

步骤S350、对信道幅度子向量和信道相位子向量进行向量拼接,得到初始信道状态子信息对应的初始信道状态子向量;

步骤S360、对信道状态信息数量的初始信道状态子向量进行子向量拼接,得到初始信道状态向量;

步骤S370、根据信道状态补全序列确定丢包补位标记的丢包位置;

步骤S380、基于丢包位置对丢包补位标记和初始信道状态向量进行向量拼接,得到信道状态补全向量序列。

[0051] 在一些实施例的步骤S310中,信道状态信息数量是指一个初始信道状态信息在通信过程中包含的信道状态信息的数量。本申请能够充分考虑CSI内在其他特征之间的关联性,则会将信道状态信息数量个信道状态信息融合作为一个初始信道状态信息。因此,初始

信道状态子信息是指每个关联特征对应的CSI信息。因此,本申请通过确定初始信道状态子信息,对其中的每个子信息进行编码,能够提高对初始信道状态信息整体的编码准确性。

[0052] 请参阅图4,图4是本申请实施例提供的步骤S310的一个可选的流程图。在本申请的一些实施例中,步骤S310具体可以包括但不限于步骤S410至步骤S420,下面结合图4对这两个步骤进行详细介绍。

[0053] 步骤S410、获取发射机数量、接收机数量和载波数量;

步骤S420、对发射机数量、接收机数量和载波数量进行乘积计算,得到信道状态信息数量。

[0054] 在一些实施例的步骤S410和步骤S420中,由于本申请会更加关注载波和收发机之间的关系,以使得模型具有更快的推理速度,则信道状态信息数量与发射机数量、接收机数量和载波数量相关。具体地,例如,有 n 台发射机、 m 台接收机和 k 个载波(n 、 m 和 k 为正整数),那么这时的信道状态信息数量为 $n*m*k$ 。也就是说,这时每个初始采样时间戳对应的初始信道状态信息就包含了 $n*m*k$ 个初始信道状态子信息。

[0055] 因此,本申请通过能够充分考虑CSI内在发射机、接收机和载波等特征之间的关联性,可以提高对初始信道状态信息整体的编码准确性,从而提高信道状态信息的恢复准确性,进而提高感知精度。

[0056] 在一些实施例的步骤S320中,由于CSI本身是复数,但神经网络无法处理复数,因此需要先计算相位幅度两个实数特征作为模型输入。为了通过向量形式完整地表示初始信道状态信息,本申请将分别计算这些CSI的幅度和相位,并将其都放在同一个向量中。因此,对初始信道状态子信息进行信息参数提取,得到初始信道幅度和初始信道相位。

[0057] 在一些实施例的步骤S330和步骤S340中,信道幅度子向量是指对初始信道状态子信息对应的初始信道幅度编码后的向量。信道相位子向量是指对初始信道状态子信息对应的初始信道相位编码后的向量。因此,为了将CSI的幅度和相位放在同一个向量中,分别对初始信道幅度和初始信道相位进行编码,得到信道幅度子向量和信道相位子向量。

[0058] 在一些实施例的步骤S350和步骤S360中,在确定一个初始信道状态子信息对应的信道幅度子向量和信道相位子向量后,可以将同一个初始信道状态子信息对应的信道幅度子向量和信道相位子向量进行向量拼接,得到初始信道状态子向量。之后,对信道状态信息数量个初始信道状态子向量进行子向量拼接,得到初始信道状态向量。例如,信道状态信息数量有 $n*m*k$ 个,则将 $n*m*k$ 个初始信道状态子向量进行子向量拼接,得到初始信道状态向量。

[0059] 需要说明的是,由于对每个初始信道状态子向量计算了幅度的向量和相位的向量,那么得到的初始信道状态向量的维度为2倍的信道状态信息数量。例如,信道状态补全序列可以为[CSI1, PAD, CSI3, CSI4, CSI5], CSI1对应的初始信道状态向量,可以表征在1时刻,所有CSI1初始信道状态子信息的幅度、相位拼接成的向量。如果有 n 台发射机、 m 台接收机和 k 个载波,那么每个时刻就对应了 $n*m*k$ 个初始信道状态子信息。分别计算这些初始信道状态子信息的幅度、相位,之后拼接到一个向量中,就得到了维度为 $2*n*m*k$ 的向量,也就是CSI1对应的初始信道状态向量。

[0060] 需要说明的是,相关技术采用插值方法对信道状态信息进行恢复时,需要针对每个载波分别插值,即每个载波被作为独立的个体。而本申请的信道状态信息恢复模型会对

每个时刻的不同收发机载波对应的CSI进行特征提取,最终得到一个特征向量(即初始信道状态子向量),这个过程就用到了不同载波与收发机间的关系。

[0061] 在一些实施例的步骤S370中,为了让后续的信道状态信息恢复模型在进行信息恢复时,能够知道丢包的信息的位置。本申请需要根据信道状态补全序列确定丢包补位标记的丢包位置,这时的丢包位置是指丢包补位标记在信道状态补全序列的位置和前后信道状态信息的关系,从而可以确定丢包的初始信道状态信息在补全后的信道状态补全向量序列中的位置。

[0062] 步骤S380、基于丢包位置对丢包补位标记和初始信道状态向量进行向量拼接,得到信道状态补全向量序列。

[0063] 在一些实施例的步骤S380中,在确定了丢包补位标记的丢包位置后,可以对编码后的多个初始信道状态向量和丢包补位标记的向量进行向量拼接,得到信道状态补全向量序列。例如,如果丢包补位标记为[PAD]符号,信道状态补全向量序列中的[PAD]符号对应的向量可以为预设补位向量。[PAD]符号对应的向量会被信道状态信息恢复模型忽略不参与计算,但可以提示模型这里存在缺失,进而让模型对空缺位置恢复。

[0064] 在一些实施例的步骤S140中,在得到信道状态补全向量序列后,为了准确恢复出丢失的信道状态信息,本申请会将信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,以得到候选信道状态恢复序列。候选信道状态恢复序列是指对丢包位置的信道状态信息恢复后的序列。

[0065] 需要说明的是,信道状态信息恢复模型是指BERT模型结构改进后构建的模型。本申请的信道状态信息恢复模型可以记为CSI-BERT模型。如图5所示,本申请的信道状态信息恢复模型包括信息编码器子模型、信息恢复子模型和生成器,信息编码器子模型包括信息编码层、时间戳编码层和位置编码层。

[0066] 请参阅图6,图6是本申请实施例提供的步骤S140的一个可选的流程图。在本申请的一些实施例中,步骤S140具体可以包括但不限于步骤S610至步骤S660,下面结合图6对这六个步骤进行详细介绍。

[0067] 步骤S610、基于信息编码层对信道状态补全向量序列进行信息编码处理,得到信道状态信息序列向量;

步骤S620、基于时间戳编码层对信道状态补全向量序列进行时间戳编码处理,得到信道状态序列时间戳向量;

步骤S630、基于位置编码层对信道状态补全向量序列进行序列位置编码处理,得到信道状态序列位置向量;

步骤S640、对信道状态信息序列向量、信道状态序列时间戳向量和信道状态序列位置向量进行向量拼接,得到信道状态信息编码向量;

步骤S650、基于信息恢复子模型对信道状态信息编码向量进行信息恢复处理,得到信道状态信息恢复向量;

步骤S660、基于生成器对信道状态信息恢复向量进行序列生成,得到候选信道状态恢复序列。

[0068] 在一些实施例的步骤S610中,信息编码层是指对信道状态补全向量序列中的信道状态信息的相关特征进行编码的结构。信道状态信息序列向量用于表征对信道状态补全向

量序列进行信息编码后的向量。本申请通过信息编码层对道状态补全向量序列进行信息编码,能够更好地表示和传输这些信道状态信息,提高了信道状态信息的可靠性和稳定性。

[0069] 需要说明的是,如图5所示,信息编码层包括归一化层和第二线性层。因此,基于信息编码层对信道状态补全向量序列进行信息编码处理,得到信道状态信息序列向量,包括:基于归一化层对信道状态补全向量序列进行信息归一化处理,得到信道状态信息归一化向量;基于第二线性层对信道状态信息归一化向量进行线性变换,得到信道状态信息序列向量。因此,本申请在进行信息编码时,通过设置归一化层,可以使得输入的数据分布更加稳定,有利于提高训练的稳定性和收敛速度。归一化层可以有助于缓解梯度消失或梯度爆炸的问题,提高网络的训练效果。归一化层可以采用批量归一化(Batch Normalization, BN)、层归一化(Layer Normalization)、组归一化(Group Normalization)等,在此不作具体限定。线性层也称为全连接层或密集层。通过设置线性层对输入的信道状态信息归一化向量进行线性变换,即将输入数据与权重矩阵相乘并加上偏置,得到输出的信道状态信息序列向量。通过线性层学习输入特征之间的线性关系,并生成更高级的特征表示,可以提高信道状态信息的恢复准确性。

[0070] 在一些实施例的步骤S620中,时间戳编码层是指对信道状态补全向量序列中的采样时间戳的相关特征进行编码的结构。基于时间戳编码层对信道状态补全向量序列进行时间戳编码处理,这有助于将时间信息与信道状态信息进行关联,能够更好地理解信道状态信息的时序特性,对于分析信道状态的变化趋势和速率非常有帮助,从而提高信道状态信息的恢复准确性。

[0071] 在一些实施例的步骤S630中,位置编码层是指对信道状态补全向量序列中的每个信道状态信息对应的位置相关的特征进行编码的结构。基于位置编码层对信道状态补全向量序列进行序列位置编码处理,这有助于在编码过程中考虑到丢包补位标记和每个初始信道状态信息在序列中的位置信息,从而更好地捕捉到信道状态信息的顺序特性和相关性。

[0072] 在一些实施例的步骤S640中,为了让信息恢复子模型识别到更全面和丰富的信道状态信息表示,本申请对信道状态信息序列向量、信道状态序列时间戳向量和信道状态序列位置向量进行向量拼接,得到信道状态信息编码向量。如此一来,可以将不同方面的信息整合在一起,提高信道状态信息的恢复准确性,从而提高感知精度。

[0073] 在一些实施例的步骤S650中,信息恢复子模型是指基于BERT模型构建的结构。如图5所示,信息恢复子模型包括N(N为正整数)个信息恢复层拼接构建。每个信息恢复层包括多头注意力层、正则化层和线性层,且通过对这些层的残差连接,以构建信息恢复子模型。多头注意力层能够在不同的表示空间中分别学习注意力,从而更好地捕捉输入的信道状态信息编码向量中的关键信息。信息恢复层中的第一个正则化层能够对多头注意力层的输出和信道状态信息编码向量进行处理。正则化层的作用是通过网络的参数进行约束或者添加额外的惩罚项,来减少过拟合现象,提高模型的泛化能力。正则化层可以有效地控制模型的复杂度,防止模型在训练集上过度拟合,从而提高模型在测试集上的性能。残差连接可以帮助信息在网络中更快地传播,减轻了梯度消失的问题,提高了网络的训练效果。将残差连接与多头注意力层结合,可以使得网络更好地学习输入数据的特征表示,提高了网络的表达能力和学习效果。线性层能够对信息恢复层中的第一个正则化层的输出结果进行处理,从而学习到更深层的特征。信息恢复层中的第二个正则化层能够对线性层的输出和信息恢

复层中的第一个正则化层的输出的向量进行处理,从而提高信道状态信息的恢复准确性,从而提高感知精度。如此一来,信息恢复子模型中最后一层信息恢复层的输出结果就是信道状态信息恢复向量。这时的信道状态信息恢复向量用于表征在丢包补位标记的丢包位置,预测出丢失的信道状态信息的向量。

[0074] 在一些实施例的步骤S660中,在得到信道状态信息恢复向量后,基于生成器对信道状态信息恢复向量进行序列生成,得到候选信道状态恢复序列。本申请的生成器的目标是生成与真实数据相似的恢复后的候选信道状态恢复序列。在这种情况下,生成器的输入可以是一些先验信息(即信道状态信息恢复向量),输出则是生成的合成数据,这里是候选信道状态恢复序列。

[0075] 需要说明的是,通过生成器生成的候选信道状态恢复序列,可以增加通信系统对不确定信道状态的鲁棒性,提高系统的性能和可靠性。生成器可以帮助优化通信系统对信道状态信息的估计和恢复过程,从而提高整个通信系统的效率和性能。

[0076] 请参阅图7,图7是本申请实施例提供的步骤S660的一个可选的流程图。在本申请的一些实施例中,生成器包括第一线性层和反归一化层,则步骤S660具体可以包括但不限于步骤S710至步骤S720,下面结合图7对这两个步骤进行详细介绍。

[0077] 步骤S710、基于第一线性层对信道状态信息恢复向量进行线性变换,得到线性信道状态信息恢复向量;

步骤S720、基于反归一化层对线性信道状态信息恢复向量进行反归一化处理,得到候选信道状态恢复序列。

[0078] 在一些实施例的步骤S710中,第一线性层与上述的第二线性层的结构相同。基于第一线性层对信道状态信息恢复向量进行线性变换,可以帮助网络学习输入数据的复杂特征表示,从而更好地进行后续的特征抽取和表示学习。通过线性变换,可以将输入的信道状态信息进行更好地映射到网络的隐藏表示空间,有利于后续的特征学习和模型的泛化能力。

[0079] 在一些实施例的步骤S720中,通过反归一化层的反归一化处理,可以将线性信道状态信息恢复向量从归一化的表示空间还原到原始的物理空间,使得生成的候选信道状态恢复序列更加符合实际的信道状态信息。可以理解的时,反归一化层是神经网络中的一种数据处理层,用于对经过归一化处理的数据进行逆操作,将数据还原到原始的范围和分布。在这里,反归一化层用于对经过线性变换得到的线性信道状态信息恢复向量进行逆归一化处理,得到候选信道状态恢复序列。反归一化处理可以有助于提高信道状态信息的准确性和可解释性,使得生成的候选序列更适合于后续的通信系统操作和决策。这时的反归一化层的参数与信息编码层中的归一化层的参数相同,以确保输入输出具有相似的分布。

[0080] 因此,本申请通过线性变换和反归一化处理,可以有效地对信道状态信息进行处理,得到更加符合实际的候选信道状态恢复序列,从而提高通信系统的性能和可靠性,进而提高信道状态信息的恢复准确性。

[0081] 需要说明的是,如图5所示,信道状态信息恢复模型还包括判别器。判别器存在于信道状态信息恢复模型的模型训练阶段。判别器由梯度反转层和线性层组成。判别器可以在模型训练阶段,用于判断输入的CSI序列是原始输入还是经过信道状态信息恢复模型恢复后的序列,从而通过梯度反转与下层网络形成对抗。判别器的反馈可以用来指导生成器

的训练。生成器通过不断生成数据,并根据判别器的分类结果来调整自身的生成策略,以生成更逼真的数据样本。此外,判别器的输出可以提供给生成器一个梯度信号,帮助生成器更好地学习生成真实数据的能力。

[0082] 需要说明的是,如图8所示,对于信道状态信息恢复模型的模型训练过程,包括如下步骤:

步骤S810、采集样本CSI数据;

步骤S820、将样本CSI数据处理为时间序列形式的向量,并在丢包位置添加[PAD]符号(即丢包补位标记),得到信道状态补全向量序列;

步骤S831、随机删除信道状态补全向量序列中15%至70%的CSI数据,并将删除的数据位置设置为[MASK]符号(与[PAD]符号表示的含义相同,即丢包补位标记);

步骤S832、将处理后的CSI序列输入信道状态信息恢复模型,将生成器输出的结果作为恢复CSI序列;

步骤S833、将样本CSI数据(即原始CSI序列)和恢复CSI序列输入判别器,以判断输入是否为原始CSI序列;

步骤S834、计算生成器和判别器的损失函数训练信道状态信息恢复模型;

步骤S841、将[PAD]符号(即丢包补位标记)替换为[MASK]符号;

步骤S842、将处理后的CSI序列输入信道状态信息恢复模型,将生成器输出的结果作为恢复结果,并从恢复结果中确定丢包位置的“替换CSI”;

步骤S843、用“替换CSI”替换原始的样本CSI数据中丢包位置的样本CSI数据中的数据,得到恢复的CSI序列。

[0083] 需要说明的是,上述步骤S831-步骤S834为模型训练过程,步骤S841-S843为模型推理过程,以验证模型训练的性能。

[0084] 需要说明的是,在模型推理过程中,采用与训练过程相同的方式采集数据并进行处理。如果恢复的目标是训练数据中缺失的CSI,也可以直接使用训练的CSI数据。为了保证训练和推理时数据形式接近,将CSI序列中的所有[PAD]符号替换为[MASK]。

[0085] 需要说明的是,在模型训练过程中,考虑到实际收集的数据可能存在不断变化的丢包率,将上一步得到的CSI序列中任意10%至70%的数据替换为BERT中的[MASK]符号,并训练生成器来恢复这些丢包补位标记。

[0086] 需要说明的是,样本CSI数据可以作为自身的标签数据,以验证生成器最后预测恢复生成的候选信道状态恢复序列与原始的样本CSI数据之间的差异。

[0087] 需要说明的是,样本CSI数据为基于固定的采样率收集的训练数据。该样本CSI数据可以通过编写网络爬虫或者脚本程序,进行有目标性地爬取数据得到。

[0088] 需要说明的是,生成器会努力使判别器无法正确分类,从而生成更加真实的CSI序列。

[0089] 需要说明的是,生成器的损失函数通常用来衡量生成的数据样本与真实数据之间的差异。生成器的目标是生成尽可能逼真的数据,因此其损失函数通常会包括生成数据与真实数据之间的差异度量,例如交叉熵损失函数或均方误差损失函数。生成器的训练过程中,会尝试最小化这个损失函数,从而使生成的数据更加逼真。判别器的损失函数通常用来衡量其对生成数据和真实数据的分类性能。判别器的目标是尽可能准确地区分生成数据和

真实数据,因此其损失函数通常会包括分类误差的度量,例如交叉熵损失函数。判别器的训练过程中,会尝试最小化这个损失函数,从而提高其对数据的分类能力。通过生成器和判别器的损失函数训练模型,实际上是指通过优化生成器和判别器的损失函数,使它们能够更好地完成各自的任务,从而提高整个生成对抗网络的性能和生成能力。在训练过程中,生成器和判别器的损失函数通常会相互影响,通过对抗训练的方式逐渐提高生成器生成逼真数据的能力,以及判别器对数据的分类能力。

[0090] 在一些实施例的步骤S150中,在得到候选信道状态恢复序列,可以基于候选信道状态恢复序列和信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,目标信道状态恢复序列用于表征将丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息补全后的序列。

[0091] 在一个实施例中,确定恢复的目标信道状态恢复序列的方式可以为恢复方式。这种方式是将原始CSI序列中丢失的位置(即[PAD]位置)替换为生成的CSI序列对应位置的值。由于这种方式中未丢失的CSI与原始值一致,因此更接近真实的CSI序列,可以有效提高信道状态信息恢复的准确性,从而提高感知精度。

[0092] 具体地,请参阅图9,图9是本申请实施例提供的步骤S150的一个可选的流程图。在本申请的一些实施例中,步骤S150具体可以包括但不限于步骤S910至步骤S920,下面结合图9对这两个步骤进行详细介绍。

[0093] 步骤S910、根据丢包位置对候选信道状态恢复序列进行信息提取,得到目标丢失信道状态信息;

步骤S920、根据丢包位置和目标丢失信道状态信息对信道状态补全序列的丢包补位标记进行标记替换,得到目标信道状态恢复序列。

[0094] 在一些实施例的步骤S910和步骤S920中,根据丢包位置从候选信道状态恢复序列中与丢包位置相同的位置进行信息提取,得到目标丢失信道状态信息。这时的目标丢失信道状态信息是指对信道状态补全序列中丢包补位标记处恢复的信道状态信息。之后,根据丢包位置,将信道状态补全序列中对应位置的丢包补位标记,替换目标丢失信道状态信息,并将替换后的序列作为目标信道状态恢复序列。

[0095] 在本申请的另一一些实施例中,确定恢复的目标信道状态恢复序列的方式可以为替换方式。这种方式是直接将生成器的输出作为恢复的CSI序列。由于原始CSI序列中未丢失的位置也被替换,所以这种方法称为“替换(replace)”。由于判别器的作用,这种方式具有更好的连贯性,可以在保证信道状态信息恢复的准确性的同时,提高信道状态信息恢复的效率。因此,步骤S150具体可以包括:将候选信道状态恢复序列作为目标信道状态恢复序列。

[0096] 基于此,在实际应用中,本申请并不限于确定恢复的目标信道状态恢复序列的方式,可以根据实际需要灵活采用。

[0097] 在实际的实验结果表明,本申请所构建的信道状态信息恢复模型可以实现实时的信道状态信息的恢复。实验证明,在CPU上,仅需1秒即可恢复几十分钟的CSI序列,并且恢复误差远低于相关技术的插值方法,均方误差(MSE)仅为1.8。

[0098] 本申请实施例所提供的一种信道状态信息恢复方法,通过考虑CSI内在其他特征之间的关联性,并通过丢包补位标记对序列丢失的CSI进行补全,以得到信道状态补全向量序列。这样可以获得信息量更丰富的向量序列。为了提高信道状态信息的恢复准确性,本申

请提出了信道状态信息恢复模型,可以在仅有不完整的初始信道状态序列的条件下进行无监督学习,无需额外数据。因此,本申请实施例通过预先补全得到信道状态补全向量序列,并利用预先训练的信道状态信息恢复模型,能够提高信道状态信息的恢复准确性,从而提高感知精度。

[0099] 请参阅图10,图10是本申请实施例提供的信道状态信息恢复装置的结构示意图,该装置包括获取模块1010、信息补全模块1020、编码模块1030、信息恢复模块1040和确定模块1050。

[0100] 获取模块1010,用于获取目标时间区间的初始信道状态序列,目标时间区间包括初始采样时间戳,初始信道状态序列包括初始采样时间戳对应的初始信道状态信息;初始信道状态序列用于表征包含丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息的序列;

信息补全模块1020,用于基于初始采样时间戳和预设采样间隔对初始信道状态序列进行信息补全,得到信道状态补全序列;信道状态补全序列包括丢包补位标记和初始采样时间戳对应的初始信道状态信息,丢包补位标记用于表征在目标时间区间丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息;

编码模块1030,用于对信道状态补全序列进行信道编码,得到信道状态补全向量序列;

信息恢复模块1040,用于将信道状态补全向量序列输入预先训练的信道状态信息恢复模型,得到候选信道状态恢复序列;

确定模块1050,用于基于候选信道状态恢复序列和信道状态补全序列,确定目标信道状态恢复序列,目标信道状态恢复序列用于表征将丢失的初始采样时间戳对应的初始信道状态信息补全后的序列。

[0101] 需要说明的是,本申请实施例的信道状态信息恢复装置用于实现上述实施例的信道状态信息恢复方法,本申请实施例的信道状态信息恢复装置与前述的信道状态信息恢复方法相对应,具体的处理过程请参照前述的信道状态信息恢复方法,在此不再赘述。

[0102] 本申请实施例还提供了一种计算机设备,该计算机设备包括:至少一个存储器,至少一个处理器,至少一个计算机程序,至少一个计算机程序被存储在至少一个存储器中,至少一个处理器执行至少一个计算机程序以实现上述实施例中任一种的信道状态信息恢复方法。该计算机设备可以为包括平板电脑、车载电脑等任意智能终端。

[0103] 请参阅图11,图11示意了另一实施例的一种计算机设备的硬件结构,该计算机设备包括:

处理器1110,可以采用通用的中央处理器(Central Processing Unit,CPU)、微处理器、应用专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、或者一个或多个集成电路等方式实现,用于执行相关程序,以实现本申请实施例所提供的技术方案;

存储器1120,可以采用只读存储器(Read Only Memory,ROM)、静态存储设备、动态存储设备或者随机存取存储器(Random Access Memory,RAM)等形式实现。存储器1120可以存储操作系统和其他应用程序,在通过软件或者固件来实现本说明书实施例所提供的技术方案时,相关的程序代码保存在存储器1120中,并由处理器1110来调用执行本申请实施例的信道状态信息恢复方法;

输入/输出接口1130,用于实现信息输入及输出;

通信接口1140,用于实现本设备与其他设备的通信交互,可以通过有线方式(例如USB、网线等)实现通信,也可以通过无线方式(例如移动网络、WIFI、蓝牙等)实现通信;

总线1150,在设备的各个组件(例如处理器1110、存储器1120、输入/输出接口1130和通信接口1140)之间传输信息;

其中处理器1110、存储器1120、输入/输出接口1130和通信接口1140通过总线1150实现彼此之间在设备内部的通信连接。

[0104] 本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质存储有计算机程序,计算机程序用于使计算机执行上述实施例中信道状态信息恢复方法。

[0105] 存储器作为一种非暂态计算机可读存储介质,可用于存储非暂态软件程序以及非暂态性计算机可执行程序。此外,存储器可以包括高速随机存取存储器,还可以包括非暂态存储器,例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非暂态固态存储器件。在一些实施方式中,存储器可选包括相对于处理器远程设置的存储器,这些远程存储器可以通过网络连接至该处理器。上述网络的实例包括但不限于互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

[0106] 本申请实施例描述的实施例是为了更加清楚的说明本申请实施例的技术方案,并不构成对于本申请实施例提供的技术方案的限定,本领域技术人员可知,随着技术的演变和新应用场景的出现,本申请实施例提供的技术方案对于类似的技术问题,同样适用。

[0107] 本领域技术人员可以理解的是,图中示出的技术方案并不构成对本申请实施例的限定,可以包括比图示更多或更少的步骤,或者组合某些步骤,或者不同的步骤。

[0108] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。

[0109] 本领域普通技术人员可以理解,上文中所公开方法中的全部或某些步骤、系统、设备中的功能模块/单元可以被实施为软件、固件、硬件及其适当的组合。

[0110] 本申请的说明书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”等(如果存在)是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本申请的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0111] 应当理解,在本申请中,“至少一个(项)”是指一个或者多个,“多个”是指两个或两个以上。“和/或”,用于描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,“A和/或B”可以表示:只存在A,只存在B以及同时存在A和B三种情况,其中A,B可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项(个)”或其类似表达,是指这些项中的任意组合,包括单项(个)或复数项(个)的任意组合。例如,a,b或c中的至少一项(个),可以表示:a,b,c,“a和b”,“a和c”,“b和c”,或“a和b和c”,其中a,b,c可以是单个,也可以是多个。

[0112] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,可以通过其

它的方式实现。例如,以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,上述单元的划分,仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0113] 上述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0114] 另外,在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0115] 集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括多指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备)执行本申请各个实施例的方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(Read Only Memory,简称ROM)、随机存取存储器(Random Access Memory,简称RAM)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序的介质。

[0116] 以上参阅附图说明了本申请实施例的优选实施例,并非因此局限本申请实施例的权利范围。本领域技术人员不脱离本申请实施例的范围和实质内所作的任何修改、等同替换和改进,均应在本申请实施例的权利范围之内。

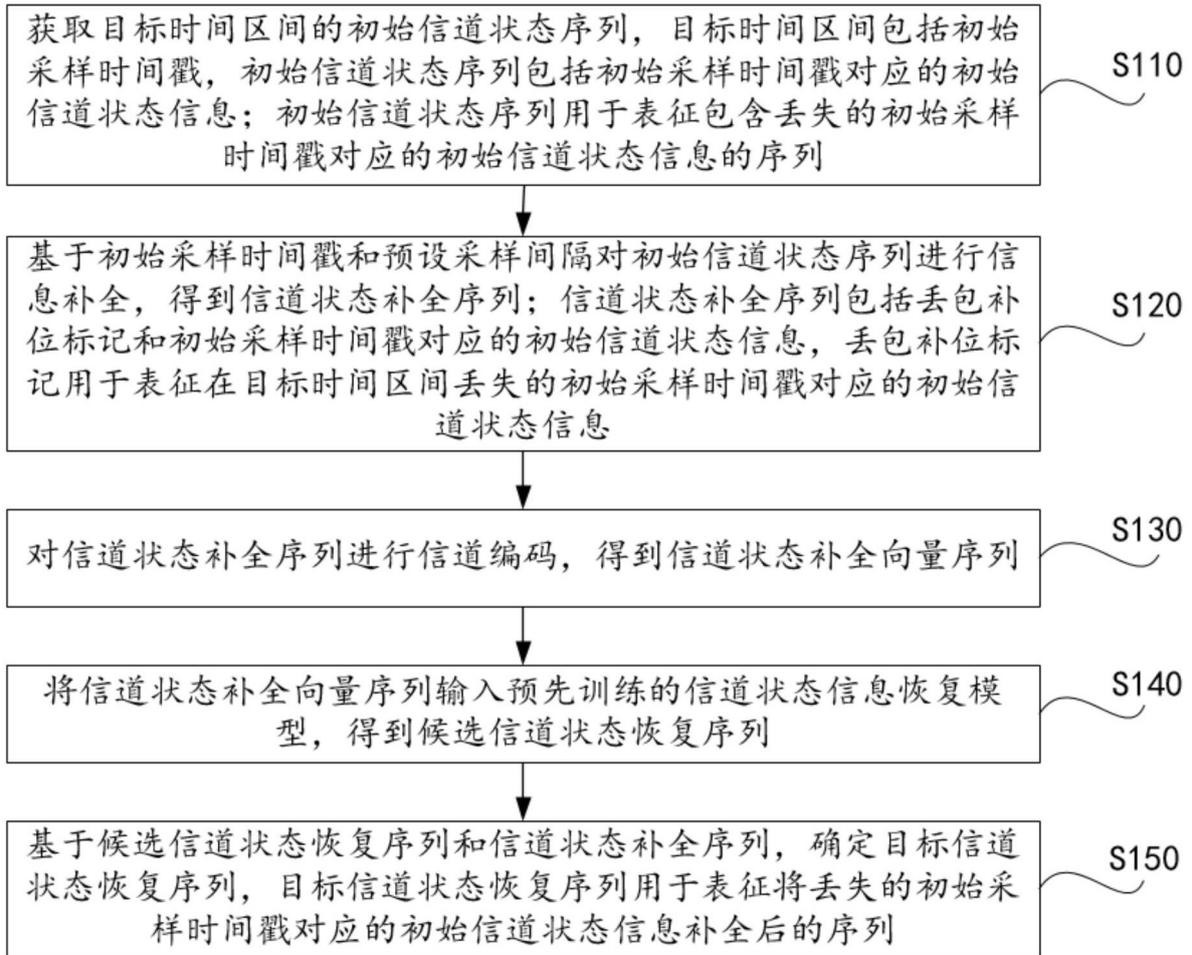


图1

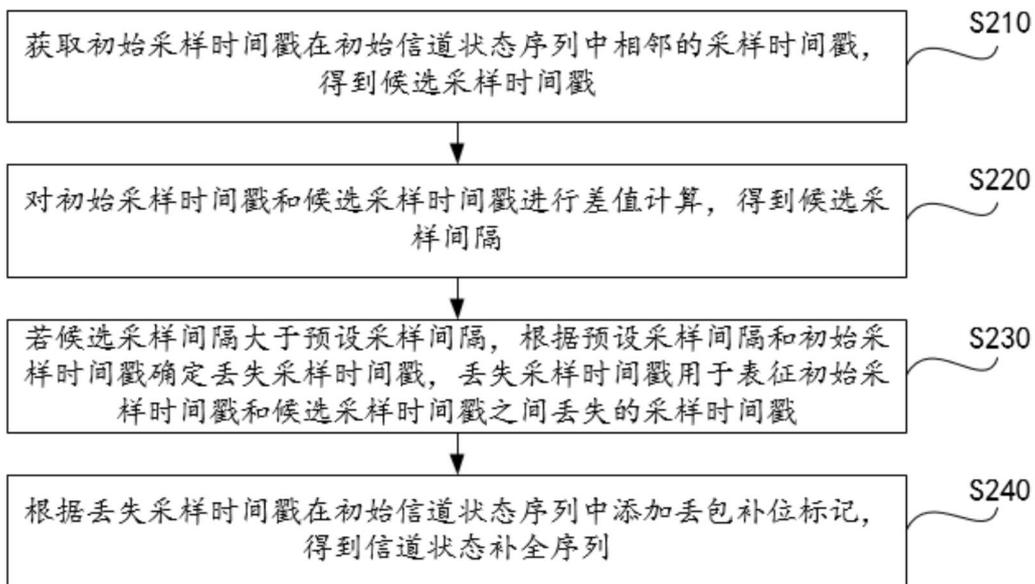


图2

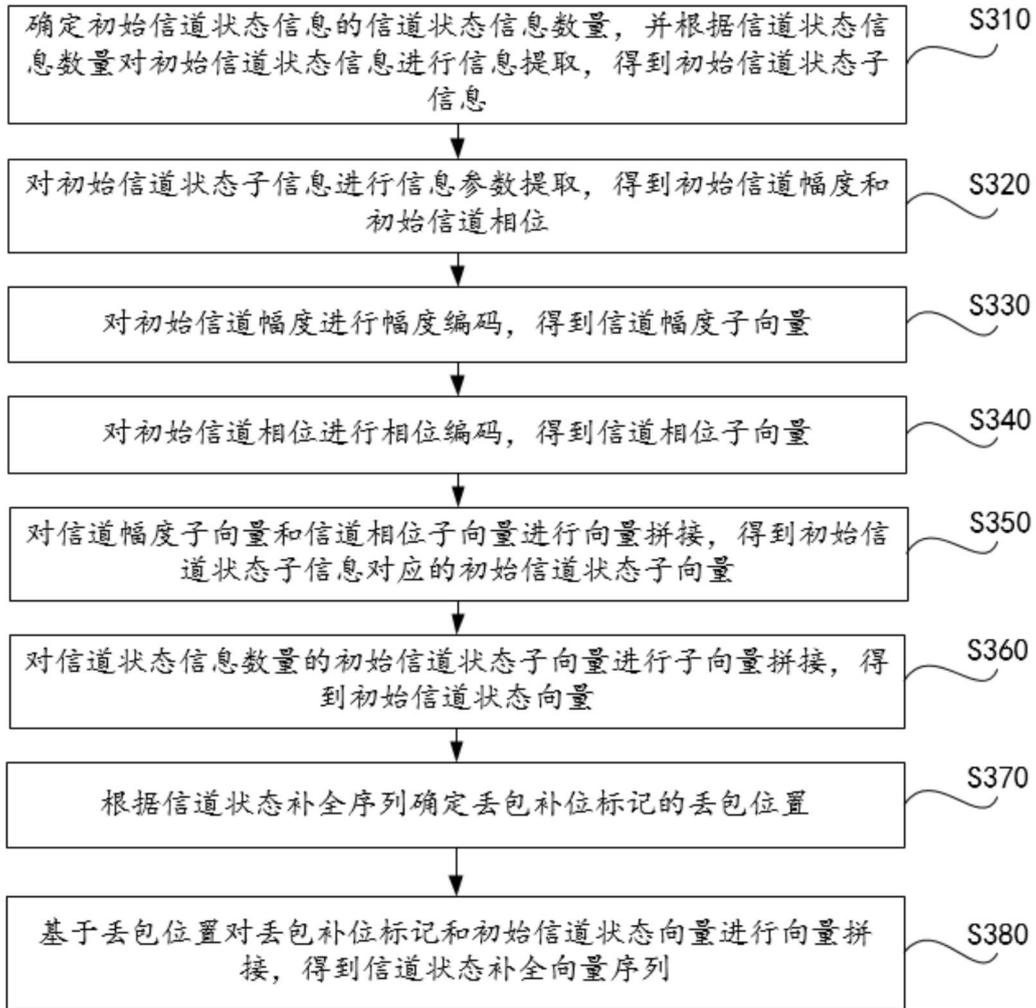


图3

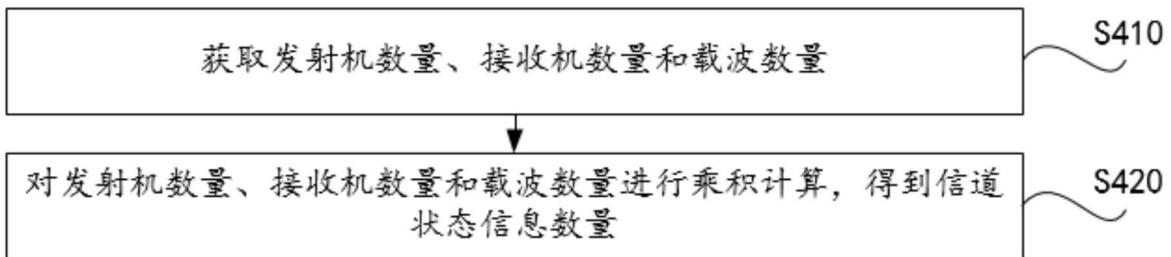


图4

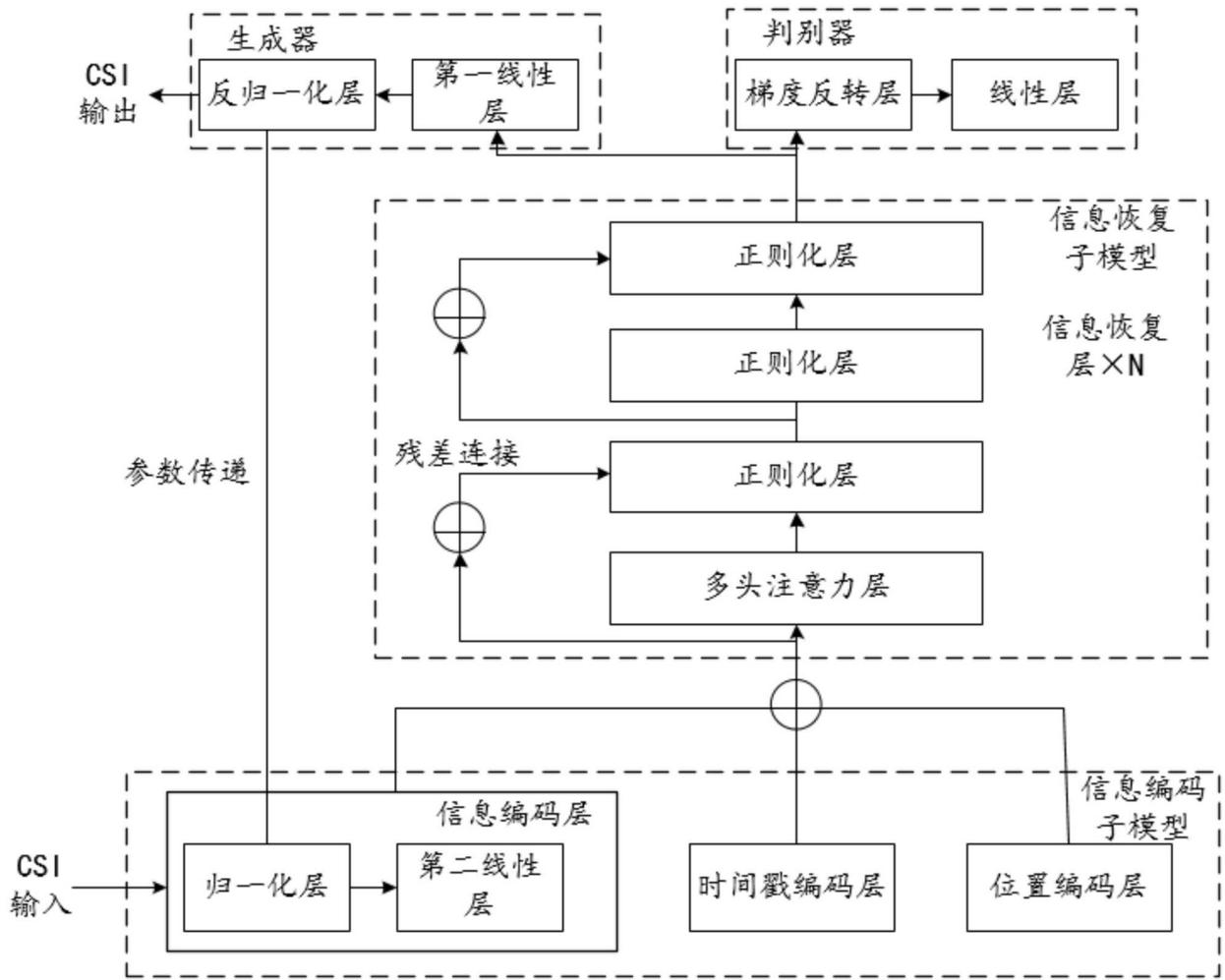


图5

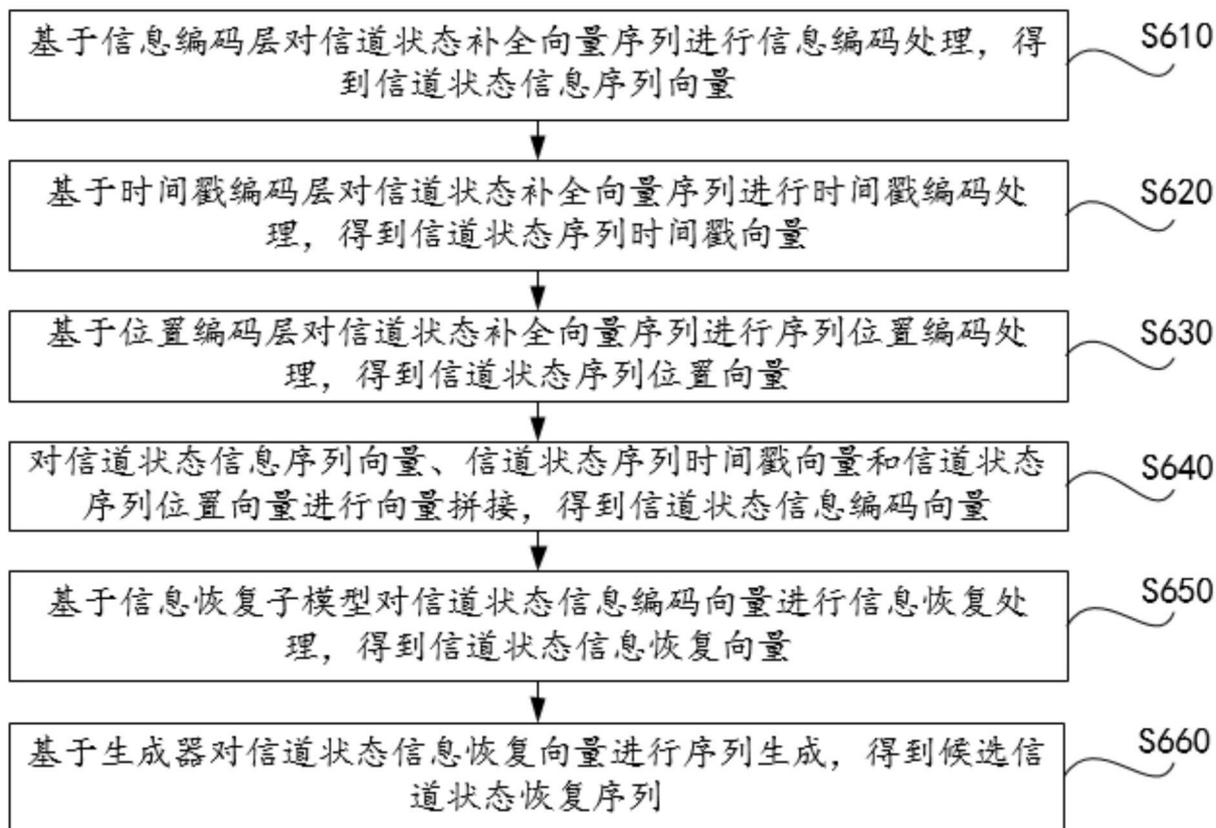


图6

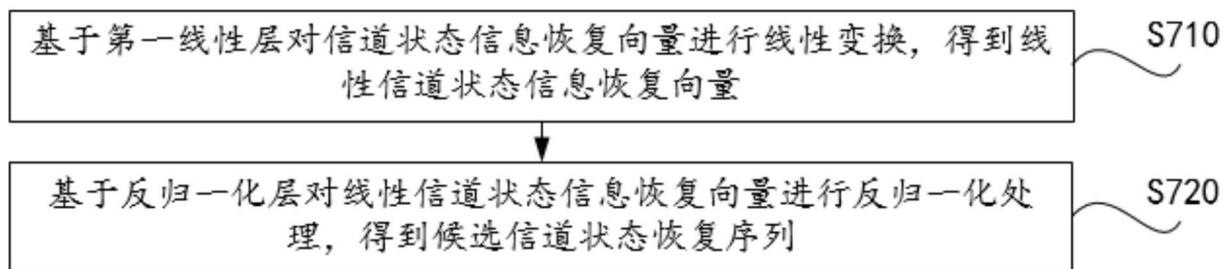


图7

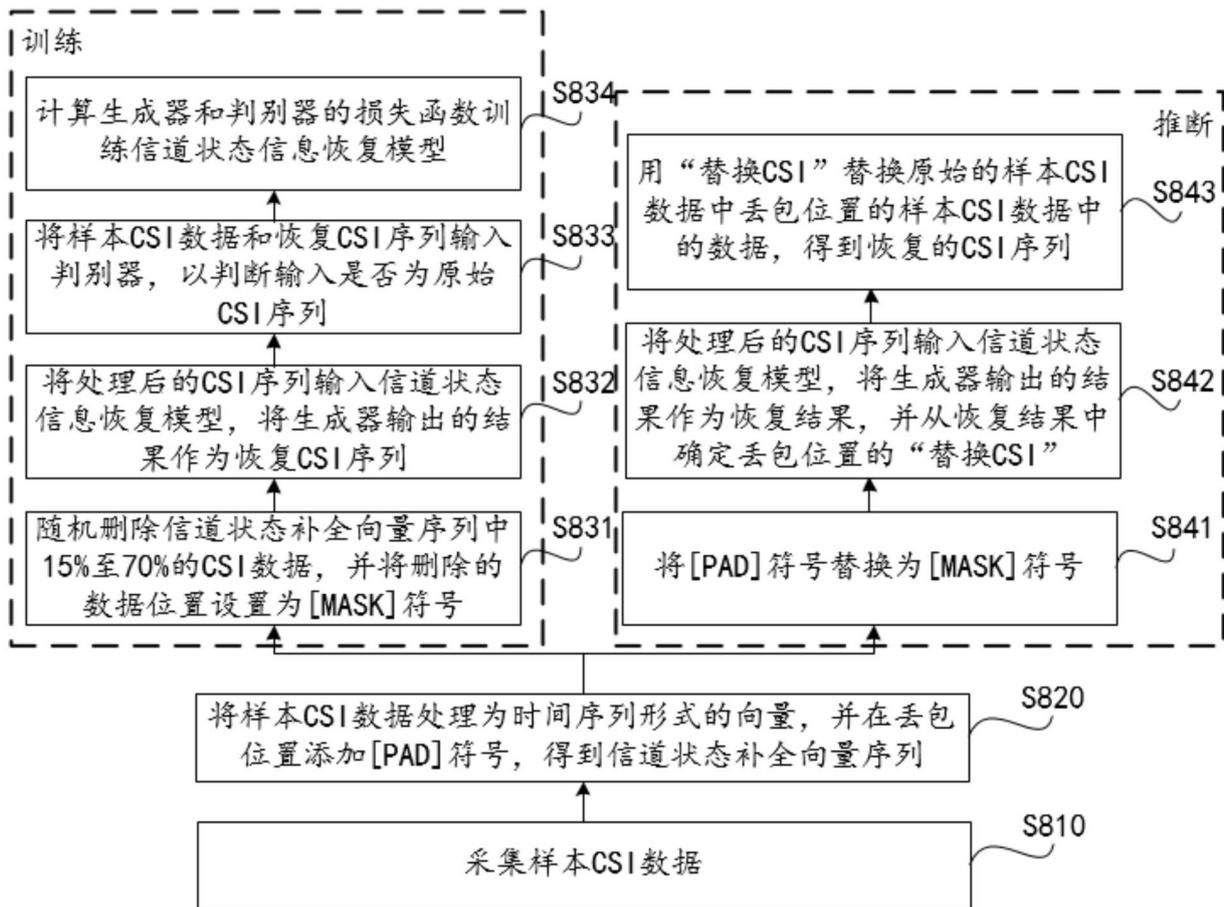


图8

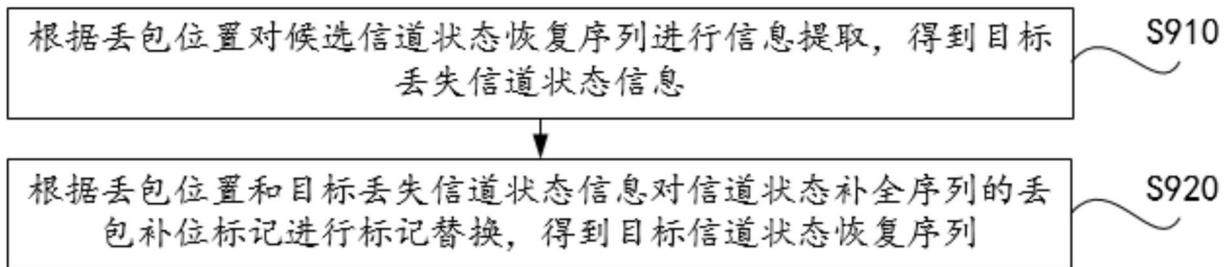


图9

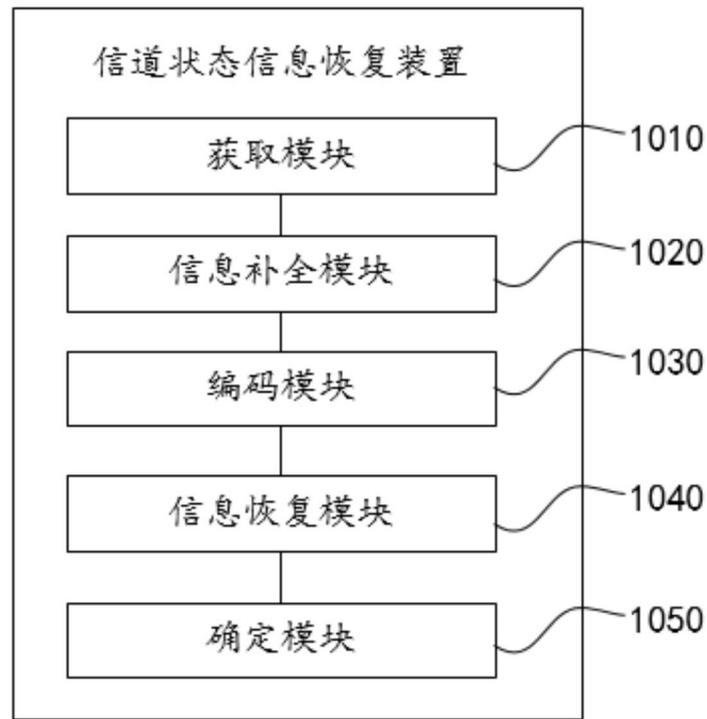


图10

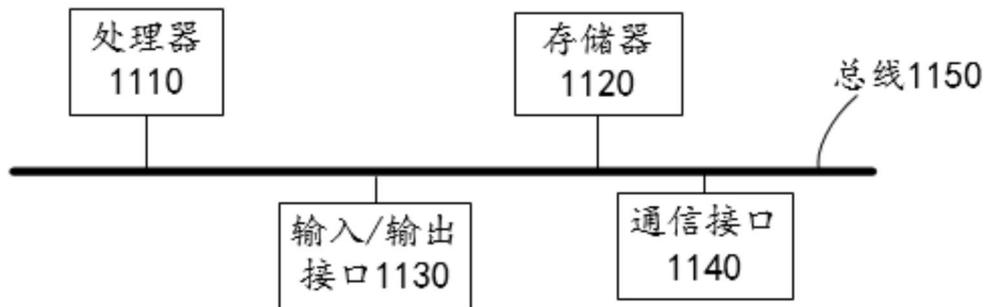


图11