



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110457646 A  
(43)申请公布日 2019.11.15

(21)申请号 201910560696.6

(22)申请日 2019.06.26

(71)申请人 中国政法大学

地址 100229 北京市昌平区府学路27号

(72)发明人 戚肖克

(74)专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事  
务所(普通合伙) 44248

代理人 谢肖雄

(51)Int.Cl.

G06F 17/15(2006.01)

G06N 20/00(2019.01)

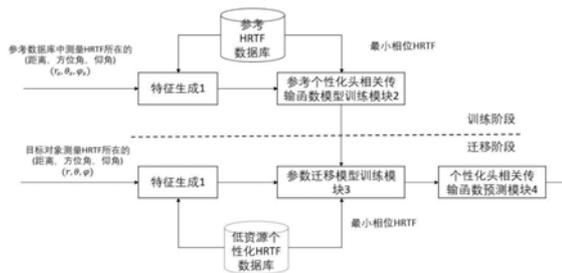
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法

(57)摘要

本发明涉及信号处理领域,公开了一种低资源头相关传输函数的个性化自适应方法,解决了准确地获取目标对象个性化HRTF的技术问题。特征生成模块产生不同空间位置处于头相关传输函数相关特征,参考个性化头相关传输函数模型训练模块基于参考头相关相关函数库在不同对象不同空间位置处的特征与相应个性化相关传输函数之间产生非线性映射,参数迁移模型训练模块基于目标对象的低资源个性化相关传输函数数据库对参考个性化相关传输函数模型进行参数迁移,生成目标对象的头相关传输函数个性化模型,个性化相关函数预测模块预测目标对象的全空间个性化头相关传输函数。



1. 一种基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法,其特征在于,包括特征生成模块(1)、参考个性化相关传输函数模型训练模块、参数迁移模型训练模块(3)和个性化头相关函数预测模块;

特征生成模块(1)产生不同空间位置处于头相关传输函数相关特征,参考个性化头相关传输函数模型训练模块(2)基于参考头相关相关函数库在不同对象不同空间位置处的特征与相应个性化相关传输函数之间产生非线性映射,参数迁移模型训练模块(3)基于目标对象的低资源个性化相关传输函数数据库对参考个性化相关传输函数模型进行参数迁移,生成目标对象的头相关传输函数个性化模型,个性化相关函数预测模块预测目标对象的全空间个性化头相关传输函数。

2. 根据权利要求1所述的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法,其特征在于,所述特征生成模块(1)的产生包括方向特征模块、距离特征模块、特征合并模块(13)和特征预处理模块(14);

所述特征合并模块(13)合并方向特征和距离特征再进行特征预处理,所述特征预处理将合并后的特征归一化,均值为0,方差为1。

3. 根据权利要求2所述的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法,其特征在于,基于参考头相关传输函数数据库,提取对数幅度最小相位头相关传输函数,再对最小相位头相关传输函数进行预处理,预处理后的数据进入参考个性化相关传输函数模型训练模块;

参考个性化头相关传输函数模型训练模块(2),与所述特征生成模块(1)、头相关传输函数的预处理模块(22)、基于专家领域知识的损失函数设计模块(23)相连,用于基于深度神经网络的模型训练,获得参考个性化头相关传输函数模型;

所述基于专家领域知识的损失函数设计模块(23)获得参考个性化相关传输函数模型训练过程中的损失函数。

4. 根据权利要求3所述的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法,其特征在于,所述参数迁移模型训练模块(3)包括特征生成模块(1)、参考个性化头相关传输函数模型训练模块(2)、低资源数据库准备模块和基于参数迁移学习的模型训练模块(32);

所述参数迁移模型训练模块(3)基于目标对象的低资源个性化头相关传输函数数据库对参考个性化头相关传输函数模型进行参数迁移,生成目标对象的头相关传输函数个性化模型;

所述低资源数据准备模块(31)产生参数迁移模型训练数据;

所述基于参数迁移学习的模型训练模块(32)对参考个性化头相关传输函数模型迁移与目标对象的头相关传输函数数据匹配,获得个性化头相关传输函数生成模型。

5. 根据权利要求4所述的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法,其特征在于,所述个性化头相关传输函数预测模块(4)包括基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块(41)和头相关传输函数重建模块(42),预测目标对象的全空间个性化头相关传输函数;

所述基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块(41)预测目标对象在目标空间位置处的对数幅度最小相位头相关传输函数;

所述头相关传输函数重建模块(42)预测对数幅度最小相位头相关传输函数重构个性

化头相关传输函数。

## 一种基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及信号处理领域,更具体地说,它涉及一种基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法。

### 背景技术

[0002] 虚拟现实领域的爆发使得虚拟听觉受到越来越多的关注。虚拟现实包含虚拟视觉、虚拟听觉、虚拟触觉、虚拟味觉等,其中,虚拟听觉技术的重点是恢复与自然听觉相同的空间位置特征。人类的听觉过程通常可视为声源-信道-接收模型,其中信道包含声源经过人体不同部位的衍射、干扰,最终到达鼓膜的过程,可看作一个空间数字滤波器,称为头相关传输函数(Head-Related Transfer Function, HRTF),它包含了声波与身体部位之间的交互引起的所有谱特征。由于每个人的生理结构不尽相同, HRTF谱特征是极其个性化的,因此,很难对每个个体在全空间内测量HRTF。

[0003] 目前HRTF个性化方法有多种,理论或数学建模对人体进行建模分析,如采用球面头模型、雪人模型、结构模型、边界元方法、有限差分域方法等。然而,这些方法需要昂贵的硬件来进行复杂的计算。因此,一些低复杂度的方法被提出。基于感知的方法通过测听实验逐步确定参数有线性建模的方法,这种方法需要大规模数据库进行匹配,以期获得最适合目标对象的 HRTF,因此,耗时也较长。考虑到HRTF与人体生理参数的依赖关系,基于生理参数的回归方法在预测个性化HRTF中变得较为普遍,然而这些方法中大多存在生理参数权重与HRTF权重相等的假设。另一方面,从小数据测量集中进行HRTF全空间估计方法也是HRTF个性化的一种方法,然而,大多已有的方法仅从小数据测试集中获取线性预测模型的系数,然后扩展到全空间,该方法在高频带(>10kHz)内的误差较大。

[0004] 因此,我们需要一种低复杂度且可以更准确地获取目标对象个性化HRTF 的方法。

### 发明内容

[0005] 针对上述问题,本发明的目的在于提供一种低复杂度且可以准确地获取目标对象个性化HRTF的方法,其具有更准确地获取目标对象个性化HRTF 的优点。

[0006] 本发明的上述发明目的是通过以下技术方案得以实现的:

[0007] 一种基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法,其特征在于,包括特征生成模块、参考个性化相关传输函数模型训练模块、参数迁移模型训练模块和个性化头相关函数预测模块;

[0008] 特征生成模块产生不同空间位置处于头相关传输函数相关特征,参考个性化头相关传输函数模型训练模块基于参考头相关相关函数库在不同对象不同空间位置处的特征与相应个性化相关传输函数之间产生非线性映射,参数迁移模型训练模块基于目标对象的低资源个性化相关传输函数数据库对参考个性化相关传输函数模型进行参数迁移,生成目标对象的头相关传输函数个性化模型,个性化相关函数预测模块预测目标对象的全空间个性化头相关传输函数。

[0009] 进一步地,所述特征生成模块的产生包括方向特征模块、距离特征模块、特征合并模块和特征预处理模块;

[0010] 所述特征合并模块合并方向特征和距离特征再进行特征预处理,所述特征预处理将合并后的特征归一化,均值为0,方差为1。

[0011] 进一步地,基于参考头相关传输函数数据库,提取对数幅度最小相位头相关传输函数,再对最小相位头相关传输函数进行预处理,预处理后的数据进入参考个性化相关传输函数模型训练模块;

[0012] 参考个性化头相关传输函数模型训练模块,与所述特征生成模块、头相关传输函数的预处理模块、基于专家领域知识的损失函数设计模块相连,用于基于深度神经网络的模型训练,获得参考个性化头相关传输函数模型;

[0013] 所述基于专家领域知识的损失函数设计模块获得参考个性化相关传输函数模型训练过程中的损失函数。

[0014] 进一步地,所述参数迁移模型训练模块包括特征生成模块、参考个性化头相关传输函数模型训练模块、低资源数据库准备模块和基于参数迁移学习的模型训练模块;

[0015] 所述参数迁移模型训练模块基于目标对象的低资源个性化头相关传输函数数据库对参考个性化头相关传输函数模型进行参数迁移,生成目标对象的头相关传输函数个性化模型;

[0016] 所述低资源数据准备模块产生参数迁移模型训练数据;

[0017] 所述基于参数迁移学习的模型训练模块对参考个性化头相关传输函数模型迁移与目标对象的头相关传输函数数据匹配,获得个性化头相关传输函数生成模型。

[0018] 进一步地,所述个性化头相关传输函数预测模块包括基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块和头相关传输函数重建模块,预测目标对象的全空间个性化头相关传输函数;

[0019] 所述基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块预测目标对象在目标空间位置处的对数幅度最小相位头相关传输函数;

[0020] 所述头相关传输函数重建模块预测对数幅度最小相位头相关传输函数重构个性化头相关传输函数。

[0021] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0022] (1) 本发明中提供的参数迁移学习方法可将参考个性化HRTF模型迁移到目标对象上,可以得到更准确的估计;

[0023] (2) 本发明通过不同的参数迁移方法获得更准确的目标对象的个性化 HRTF;

[0024] (3) 本发明的个性化HRTF建模方法借助参考个性化HRTF模型,利用目标对象的小数据测试样本,获取全空间的个性化HRTF,具有高鲁棒性,便于在实际环境中的应用。

## 附图说明

[0025] 图1为本发明实施基于参数迁移学习的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法的结构示意图;

[0026] 图2是本发明实施基于参数迁移学习的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法的特征生成模块1的结构示意图;

[0027] 图3是本发明实施基于参数迁移学习的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法的参考个性化头相关传输函数模型训练模块2的结构示意图；

[0028] 图4是本发明实施参考个性化头相关传输函数模型训练模块的参数迁移模型训练模块3的结构示意图。

[0029] 附图标记:1、特征生成模块;2、参考个性化头相关传输函数模型训练模块;3、参数迁移模型训练模块;4、个性化头相关传输函数预测模块;11、方向特征生成模块;12、距离特征生成模块;13、特征合并模块;14、特征预处理模块;21、对数幅度最小相位HRTF提取模块;22、头相关传输函数的预处理模块;23、基于专家领域知识的损失函数设计模块;31、低资源数据准备模块;32、基于参数迁移学习的模型训练模块;41、基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块;42、头相关传输函数重建模块。

### 具体实施方式

[0030] 下面结合附图和实施例,对本发明进行详细描述。

[0031] 需要说明的是,在附图或说明书描述中,相似或相同的部分都使用相同的图号。且在附图中用简化方便的标示。再者,附图中未绘示或描述的实现方式,为所属技术领域普通技术人员所知的形式。另外,虽然本文可提供包含特定值的参数的示范,但应了解,参数无需确切等于相应的值,而是可在可接受的误差容限或设计约束内近似于相应的值。

[0032] 本发明提供了一种基于参数迁移学习的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法中,借助其他稠密的HRTF数据库,通过参数迁移学习将其他对象的个性化模型迁移到目标对象上,建立目标对象在任意空间与个性化HRTF之间的非线性映射,能够使用更小样本数据获取更准确的目标对象的个性化HRTF,为动态场景下高沉浸感的虚拟听觉绘制提供基础。

[0033] 参数迁移学习方法可将参考个性化HRTF模型迁移到目标对象上,得到更准确的估计,通过不同的参数迁移方法获得更准确的目标对象的个性化 HRTF,个性化HRTF建模方法借助参考个性化HRTF模型,利用目标对象的小数据测试样本,获取全空间的个性化HRTF,具有高鲁棒性。

[0034] 实施例一

[0035] 一种基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法,如图1所示,包括特征生成模块1、参考个性化相关传输函数模型训练模块、参数迁移模型训练模块3和个性化头相关函数预测模块;

[0036] 特征生成模块1产生不同空间位置处于头相关传输函数相关特征,参考个性化头相关传输函数模型训练模块2基于参考头相关相关函数库在不同对象不同空间位置处的特征与相应个性化相关传输函数之间产生非线性映射,参数迁移模型训练模块3基于目标对象的低资源个性化相关传输函数数据库对参考个性化相关传输函数模型进行参数迁移,生成目标对象的头相关传输函数个性化模型,个性化相关函数预测模块预测目标对象的全空间个性化头相关传输函数。

[0037] 如图2所示,进一步地,特征生成模块1的产生包括方向特征模块、距离特征模块、特征合并模块13和特征预处理模块14。特征合并模块13合并方向特征和距离特征再进行特征预处理,特征预处理将合并后的特征归一化,均值为0,方差为1。

[0038] 如图3所示,进一步地,基于参考头相关传输函数数据库,提取对数幅度最小相位头相关传输函数,再对最小相位头相关传输函数进行预处理,预处理后的数据进入参考个性化相关传输函数模型训练模块;

[0039] 参考个性化头相关传输函数模型训练模块2,与特征生成模块1、头相关传输函数的预处理模块22、基于专家领域知识的损失函数设计模块23相连,用于基于深度神经网络的模型训练,获得参考个性化头相关传输函数模型;

[0040] 基于专家领域知识的损失函数设计模块23获得参考个性化相关传输函数模型训练过程中的损失函数。

[0041] 如图4所示,进一步地,参数迁移模型训练模块3包括特征生成模块1、参考个性化头相关传输函数模型训练模块2、低资源数据库准备模块和基于参数迁移学习的模型训练模块32;

[0042] 参数迁移模型训练模块3基于目标对象的低资源个性化头相关传输函数数据库对参考个性化头相关传输函数模型进行参数迁移,生成目标对象的头相关传输函数个性化模型;

[0043] 低资源数据准备模块31产生参数迁移模型训练数据;

[0044] 基于参数迁移学习的模型训练模块32对参考个性化头相关传输函数模型迁移与目标对象的头相关传输函数数据匹配,获得个性化头相关传输函数生成模型。

[0045] 进一步地,个性化头相关传输函数预测模块4包括基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块41和头相关传输函数重建模块42,预测目标对象的全空间个性化头相关传输函数;

[0046] 基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块41预测目标对象在目标空间位置处的对数幅度最小相位头相关传输函数;

[0047] 头相关传输函数重建模块42预测对数幅度最小相位头相关传输函数重构个性化头相关传输函数。

[0048] 实施例二

[0049] 一种基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法,在实施例一的基础上,更具体地,方向特征生成模块11特征生成模块1,用于产生当前位置处方向相关的特征。从声源到双耳的声场传输响应是频率、距离、方位角、仰角的复杂函数,声场可以特定的正交序列集表示。方向相关的特征采用球谐函数生成,球谐函数是方位角、仰角的函数,定义如式(1)(2)所示。

$$[0050] \quad Y_n^m(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{2n+1}{4\pi} \frac{(n-|m|)!}{(n+|m|)!}} P_n^{|m|}(\sin \theta) g(|m|, \phi), \quad (1)$$

$$[0051] \quad g(|m|, \phi) = \begin{cases} \sin(|m|, \phi), & m \leq 0 \\ \cos(|m|, \phi), & m > 0 \end{cases} \quad (2)$$

[0052] 其中, $n$ 为勒让德函数的度数, $n=0, \dots, N$ ;  $m$ 为勒让德函数的阶数, $|m| \leq n$ ;  $P_n^{|m|}(\cdot)$ 为度数为 $n$ 、阶数为 $m$ 的勒让德函数; $\theta$ 和 $\phi$ 分别为测量位置的方位角和仰角。

[0053] 距离特征生成模块12特征生成模块1,用于产生当前位置处距离相关的特征。距离相关的特征采用标准球贝塞尔函数生成,定义为

$$[0054] \quad \Phi_{n_l}(r) = \frac{1}{\sqrt{N_{n_l}}} j_l(k_{n_l} r), \quad (3)$$

[0055] 其中  $j_1(x)$  为阶数为1的球贝塞尔函数,  $j_l(x) = \sqrt{\pi/2x} J_{l+1/2}(x)$ ,  $J_{l+1/2}(x)$  为贝塞尔函数。 $N_{n_l}$  为规整化因子,  $N_{n_l} = a^3 j_{l+1}^2(x_{ln})/2$ ,  $x_{ln}$  为  $j_1(x) = 0$  第  $n$  个升序排列的正根。 $k_{n_l} = x_{n_l}/a$  为波数,  $a$  为最大的半径。 $r$  为当前声源位置离人头中心的距离。

[0056] 特征合并模块13,与方向特征生成模块11、特征生成模块1和距离特征生成模块12相连,用于合并任意空间位置处与方向、距离相关的特征,用做特征预处理模块14的输入。对于位置  $d = (r, \theta, \phi)$ ,将方向和距离特征进行合并后,得到的输入特征集为  $\mathbf{F}(d) = [Y_n^m(\theta, \phi), \Phi_{n_l}(r)]$ 。假设勒让德函数的度数为  $N$ ,球贝塞尔函数的阶数为  $L$ ,则对于每个位置  $d$ ,生成的特征集合共包含  $N_t = [(N+1)^2 + NL]$  个特征参数。

[0057] 特征预处理模块14,与特征合并模块13、参考个性化头相关传输函数模型训练模块2相连,用于对合并后的特征进行预处理,将输入特征归一化在均值为0、方差为1的值内,该模块的输出用作参考个性化头相关传输函数模型训练的输入。对于第  $s$  个位置处的特征集合中的第  $i$  项,预处理过程表示为

$$[0058] \quad \tilde{f}_s(i) = \frac{f_s(i) - \mu_f(i)}{\sigma_f(i)}, i = 1, \dots, N_t, \quad (4)$$

[0059] 其中,  $\mu_f(i) = 1/S \sum_{s=1}^S f_s(i)$  和  $\sigma_f(i) = \sqrt{1/S \sum_{s=1}^S (f_s(i) - \mu_f(i))^2}$  分别表示第  $i$  个特征在所有位置上的均值和标准差。 $S$  为参考HRTF数据库中的数据的空间测量位置数目。

[0060] 对数幅度最小相位HRTF提取模块21,与特征生成模块1相连接,用于提取对数幅度最小相位头相关传输函数,为参考个性化头相关传输函数模型训练模块2的输出准备数据。对于第  $s$  个位置处的第  $i$  个频点的HRTF  $H_s(i)$ ,对数幅度最小相位HRTF计算过程为

$$[0061] \quad H_s^m(i) = 20 \log_{10}(|H_s(i)|). \quad (5)$$

[0062] 头相关传输函数的预处理模块22,与对数幅度最小相位HRTF提取模块21相连接,用于对最小相位HRTF进行预处理,用作参考个性化头相关传输函数模型训练模块2的输出。HRTF预处理过程的目的是将输入特征归一化在均值为0,方差为1的值内,降低数据的浮动范围。对于第  $s$  个位置处的第  $i$  个频点的对数幅度最小相位HRTF  $H_s^m(i)$ ,预处理过程表示为

$$[0063] \quad \tilde{H}_s(i) = \frac{H_s^m(i) - \mu_h(i)}{\sigma_h(i)}, i = 1, \dots, N_f, \quad (6)$$

[0064] 其中,  $\mu_h(i) = 1/S \sum_{s=1}^S H_s^m(i)$  和  $\sigma_h(i) = \sqrt{1/S \sum_{s=1}^S (H_s^m(i) - \mu_h(i))^2}$  分别表示所有位置上HRTF的第  $i$  个频点的均值和标准差。 $N_f$  为用于模型训练的频点数目。

[0065] 基于专家领域知识的损失函数设计模块,用于获得参考个性化头相关传输函数模型训练过程中使用的损失函数。设计依据为主观感知领域知识。由于对于人耳来说,对数幅度谱保留了所有感知相关的信息,因此基于对数谱失真准则定义损失函数,定义为

$$[0066] \quad Loss = \sqrt{\frac{1}{S \cdot N_f} \sum_{s=1}^S \sum_{k=k_1}^{k_2} \left[ \sigma_h(i) \left( \hat{H}_s(i) - \tilde{H}_s(i) \right) \right]^2}, \quad (7)$$

[0067] 其中,  $k_1$ 和 $k_2$ 表示对比的频带范围为从第 $k_1$ 个频带到第 $k_2$ 个频带,根据人耳的听觉范围,一般取20Hz~20kHz之间的频带。 $N_f$ 为 $k_1$ 到 $k_2$ 之间的频点数目。 $S$ 为用于模型训练的测量位置数目。 $\hat{H}_s(i)$ 表示经过参考个性化头相关传输函数模型预测的第 $s$ 个位置处的第 $i$ 个频点的归一化对数幅度最小相位HRTF。通过最小化损失函数,可以最大化模型的客观性能。

[0068] 参考个性化头相关传输函数模型训练模块,与特征生成模块、头相关传输函数的预处理模块、基于专家领域知识的损失函数设计模块相连,用于基于深度神经网络的模型训练,获得参考个性化头相关传输函数模型。

[0069] 低资源数据准备模块,与特征生成模块和参考个性化头相关传输函数模型训练模块相连接,用于产生参数迁移模型训练的数据。参数迁移模型训练采用目标对象的低资源个性化头相关传输函数数据库,数据库中包含了对目标对象测量的共 $S_t$ 个位置处的HRTF,其中 $S_t < S$ 。对测量的 $S_t$ 个空间位置,首先通过特征生成模块产生参数迁移模型训练模块的特征,该数据作为参数迁移模型的输入。然后,对目标函数在第 $s$ 个位置处对应的HRTF,采用参考个性化头相关传输函数模型训练模块中的对数幅度最小相位HRTF提取模块和头相关传输函数的预处理模块得到目标对象预处理后的HRTF,该数据作为参数迁移模型的输出。

[0070] 基于参数迁移学习的模型训练模块,与数据准备模块和参考个性化头相关传输函数模型训练模块相连接,用于对参考个性化头相关传输函数模型进行模型迁移,使之匹配目标对象的HRTF数据。由于目标对象的HRTF测量位置较少,采用三种参数迁移方法,分别对应:第一隐层参数迁移、中间隐层参数迁移和最后一层隐层参数迁移。其中,第一隐层参数迁移表示进行基于参数迁移学习的模型训练过程中,固定参考个性化HRTF模型第一隐层之外的所有节点参数不变,利用低资源数据准备模块得到的输入特征和输出数据,对参考个性化HRTF模型中的第一隐层节点参数进行更新。同理,中间隐层参数迁移和最后一层隐层参数迁移分别仅更新中间隐层节点参数和最后一层隐层节点参数。

[0071] 头相关传输函数重建模块,与基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块相连接,用于通过预测的对数幅度最小相位头相关传输函数重构个性化头相关传输函数。对目标位置 $d_s$ 处基于空间位置的最小相位头相关传输函数预测模块输出的对数幅度最小相位HRTF去除归一化,计算如下:

$$[0072] \quad \bar{H}_s(i) = \sigma_h(i) \hat{H}_s(i) + \mu_h(i), i = 1, \dots, N_f. \quad (8)$$

[0073] 然后,经过将对数变为线性、逆Hilbert变换后,得到重建的HRTF。

[0074] 本发明基于参数迁移学习的基于参数迁移学习低资源头相关传输函数个性化方法可以用Matlab和c语言或者其他任何编程语言编写。此外,本发明可以应用于电脑终端、手持式移动设备或其它形式的移动设备。

[0075] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不局限于上述实施例,凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

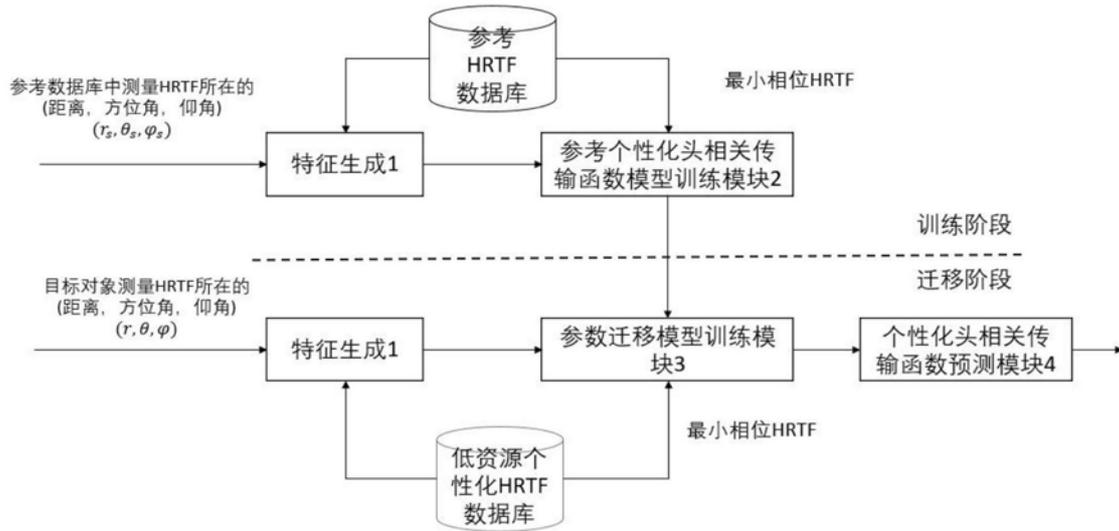


图1

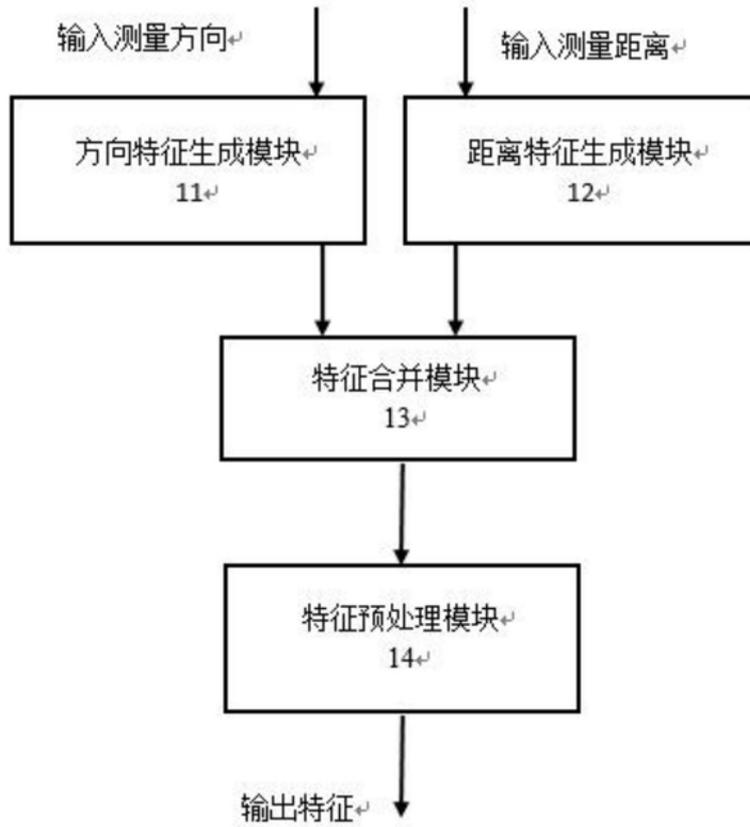


图2

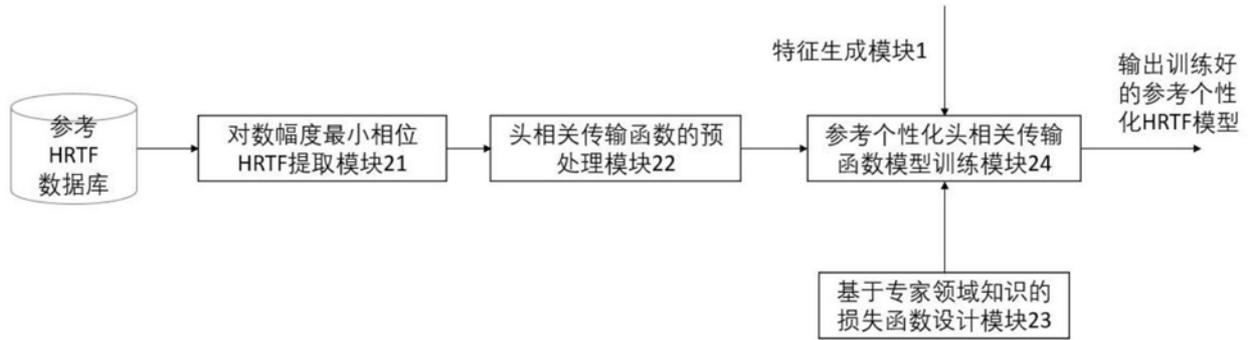


图3

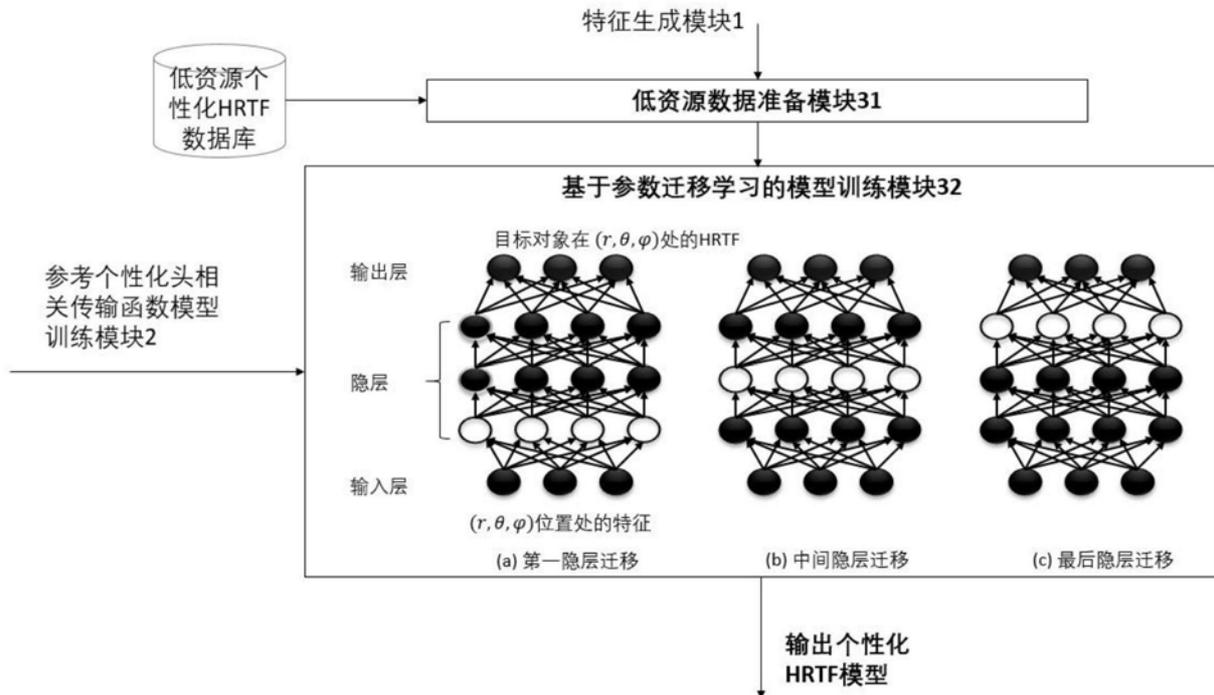


图4