**一种数字助听器的自适应验配方法**

**技术领域**

本发明涉及一种数字助听器验配方法，特别涉及一种基于二维高斯模型的数字助听器自适应验配方法。

**背景技术**

人口老龄化是目前人类所共同面临的一个问题，它带来了一系列的影响，听力损失人群比重的不断上升是其中问题之一。这间接导致了助听器的需求量急剧上升。然而，专业的听力专家以及听力专业机构目前都相对稀缺，导致了助听器的价格居高不下，严重影响了助听器的普及和使用。相对而言，自验配助听器不需专业人士和特殊设备，完全由用户安装、验配和管理，因此，助听器的自适应验配具有重要的理论研究价值以及应用前景。

从设计理念上讲，自验配助听器是解决听力人才缺乏问题的最佳选择。自验配助听器的本质是助听器的装配、验配、使用管理都由用户完成，整个过程不需要专业人士参与，也不需要专业的设备。早在1984年，Köpke, Wiener等人的专利中提到利用助听器内部的纯音生成器所生成的纯音信号测量用户的听力阈值，然后设计一个传递函数来产生符合规定的助听器配置。这是自验配助听器的基本概念，直到今天集成这些设计理念的设备也未实现。

交互式进化计算（IEC）的研究始于1986年Dawkin对即基于L-system的生物形态系统的研究。IEC是一种适应值函数由人来评估完成的进化计算方法，从决策的角度看，IEC用户对决策方案的评估，其评估适应值自然反映出该决策者对于当前解决方案的偏好。交互式遗传算法是IEC的实现算法之一，该算法是一种因解决实际优化问题需要而发展起来的IEC算法，自该算法产生后，就具有鲜明的应用背景和前景。

**发明内容**

本发明以二维高斯分布的求和形式作为验配模型，以交互式进化计算（遗传算法）作为寻优方法，结合本发明设计的人机交互接口，提出了一种完全脱离听力专家的数字助听器自适应验配方法。

本发明的技术方案是：

一种数字助听器的自适应验配方法，其特征包括以下步骤:

1.语音信号的采集及验配模型的建立

（1-1）语音信号的采集

本发明将每帧语音信号划分为11个频段，各频段节点频率分别为125，250，500，750，1k,1.5k，2k，3k，4k，6k，8k（Hz）。数字助听器由麦克风采集一帧输入语音信号，表示离散时间点，将通过分析滤波器组分解为11个子带信号，各滤波器均为6阶的IIR滤波器，滤波频段如前所述，滤波器输出子带信号为：

 （式1）

上式中，表示子带号，，表示子带的输出，表示滤波器单位脉冲响应。

（1-2）计算各子代声压级

对于某一时段的语音信号，其有效声压的计算公式为：

 （式2）

其中，为瞬时声压。然而，由于数字助听器的信号均为有限的离散值，因此，声压级的近似计算公式为

 （式3）

将上式取10为底，再乘以20，则可得到声压级的计算公式：

 （式4）

（1-3）验配模型的建立

本发明采用响度曲面法作为听力补偿的方法，在该三维模型中，X轴为语音信号的频率（Hz），Y轴为语音信号的声压级（dB SPL），Z轴为听力补偿（dB SPL）。对于某一帧语音信号的特定频段子代信号，计算其声压级后，通过响度曲面三维模型即可确定所需补偿的声压级。响度曲面采用二维高斯模型，其公式如下：

 （式5）

其中，为子代语音信号的中心频率（Hz），为该子代语音信号的声压级（dB SPL），为该子代语音信号的听力补偿（dB SPL）。

1. 参数优化

本发明采用的参数优化方法为交互式遗传算法，算法各步骤如下所述。

（2-1）参数编码

待优化参数为式5所确立模型中35个参数，即，其中，。一旦这35个参数确定，则验配完成，对于任意时刻的语音信号，均可通过式5计算得到所需增益值。

，取值0~90，步长2.81，5比特编码；，取值1~90，步长2.81，5比特编码；，取值0~3.9，步长0.12，5比特编码（以10为底）；，取值0~3.9，步长0.12，5比特编码（以10为底）；取值0~1，步长0.125，3比特编码；取值0~30，步长1.88，4比特编码；取值1或-1，1比特编码。

（2-2）染色体选择

本发明采用了交互式遗传算法，其特点为用户参与评价体系，而不是设置专门的费用函数。考虑到人对语音的分辨能力以及患者的评价疲劳度，本文采取的方式是将适应度分为5个等级，分别对应5个不同的具体数值，如1,4,9,16,25。这五个等级分别对应5个不同的评价等级，即“劣”，“差”，“中”，“良”，“优”。对于每组特定参数形成的语音，患者听取该段语音后，根据自己的主观感受进行5个等级的评价，若患者做出的评价为“良”，则改组语音信号所对应的适应度值即为“良”所对应的数值，该数值将作为改组参数遗传到下一代的概率依据。

具体将五个等级对应到哪五个不同的数值是一个比较复杂的问题，该数值的选定将直接影响算法性能的好坏。本发明按照超几何算子的方法选取适应度值，即对于评价等级N（本发明选择为5），每个等级对应的遗传概率为：

 （式6）

其中，的计算方式如公式（式7）：

 （式7）

（2-3）交叉操作

本发明采用的交叉方式是单点交叉。交叉步骤首先需要进行的是染色体的配对，而染色体的配对问题要先分析两个染色体之间的相关性，对于染色体以及染色体，定义和的不相关指数为：

 （式8）

本发明采取非等概率配对策略，给配对池中不相关指数较大的个体赋予较大的被选概率，配对染色体的选定过程如下：首先随机选定一个染色体x，染色体的配对池为，要在配对池中选定其中一个染色体和染色体x进行交叉操作。配对池中个体被选择与个体x进行配对交叉的概率定义如下：

 （式9）

式中，为常数，，，，。

本发明的交叉点的选方法为：首先确定有效交叉点区域，然后在有效交叉区域中随机选择一个位置作为交叉点，交叉区域为，以及由式（10）确定：

 （式10）

（2-4）变异操作

本发明中变异步骤采取简单二进制变异。首先通过轮盘赌方法判断某个染色体是否需要进行变异，变异概率的大小由式（11）确定：

 （式11）

其中，取值0.2，选取式（6）中的最大值，为式（6）中所有值的平均。若某个染色体通过上述方法确定为待变异染色体后，在该染色体中随机选取一个位置作为变异点，在变异点（包括该点）后所有编码0,1互换，形成新的染色体并加入到新的种群中。

**本发明的优点和效果在于**：

本发明实现了真正意义上脱离听力专家的数字助听器验配，用户可以随时随地进行助听器验配。该验配过程对于一般意义上的数字助听器均适用，无论助听器是何种品牌，由何家厂商生产，甚至不需要传统的验配处方公式。此外，由于验配过程是由听力损失的患者自己完成，总体而言，相比于由听力专家主导的传统意义的助听器验配的结果，本发明提出的自适应验配的验配结果更能让患者满意。

本发明的其他优点和效果将在下面继续描述。

**附图说明**

图1——数字助听器自验配结构示意图。

图2——数字助听器自验配算法流程图。

图3——交叉步骤示意图。

图4——变异步骤示意图。

图5——高斯验配模型示意图。

图6——语音可懂度对比图。

图7——语音质量对比图。

**具体实施方式**

下面结合附图，对本发明所述的技术方案作进一步的阐述。

本发明提出了一种完全脱离听力专家的数字助听器自适应验配方法。其数字助听器自验配结构示意图如图1所示，验配算法流程图如图2所示，下面进一步详细阐述实施方式：

一．信号的采集与分解

由麦克风输入的语音信号采样频率为16KHz，因语音信号的短时平稳性，取一帧信号长度为128个点，即8ms。对于输入的一帧语音信号，首先通过分析滤波器组分解为11个子带信号，为进一步降低计算复杂度，分析滤波器组中各滤波器均为6阶的IIR滤波器，各滤波器输出子带信号表示为：

 （式1）

上式中，表示子带号，，表示子带的输出，表示滤波器单位脉冲响应。

1. 种群初始化

待优化参数为式（8）所确立模型中35个参数，即，其中，。一旦这35个参数确定，则验配完成，对于任意时刻的语音信号，均可通过式（8）计算得到所需增益值。

，取值0~90，步长2.81，5比特编码；，取值1~90，步长2.81，5比特编码；，取值0~3.9，步长0.12，5比特编码（以10为底）；，取值0~3.9，步长0.12，5比特编码（以10为底）；取值0~1，步长0.125，3比特编码；取值0~30，步长1.88，4比特编码；取值1或-1，1比特编码。

随机产生8组参数，每组参数的个数为35，编码方式如上所述。由此可以形成染色体个数为8的种群。

1. 参数优化

1.选择

本发明采用了交互式遗传算法，其特点为用户参与评价体系，而不是设置专门的费用函数，其基本步骤包括选择、交叉、变异，交叉步骤示意图如图3 所示。考虑到人对语音的分辨能力以及患者的评价疲劳度，本发明采取的方式是将适应度分为5个等级，分别对应5个不同的具体数值，本发明按照超几何算子的方法选取适应度值，即对于评价等级N（本发明选择为2），每个等级对应的遗传概率为：

 （式2）

其中，的计算方式如公式（式3）：

 （式3）

将当前的种群按照轮盘赌方式进行选择，每个染色体遗传到下一代种群的概率由其适应度值确定。

1. 交叉

本发明采用的交叉方式是单点交叉。交叉步骤首先需要进行的是染色体的配对，而染色体的配对问题要先分析两个染色体之间的相关性，对于染色体以及染色体，定义和的不相关指数为：

 （式4）

本发明采取非等概率配对策略，给配对池中不相关指数较大的个体赋予较大的被选概率，配对染色体的选定过程如下：首先随机选定一个染色体x，染色体的配对池为，要在配对池中选定其中一个染色体和染色体x进行交叉操作。配对池中个体被选择与个体x进行配对交叉的概率定义如下：

 （式5）

式中，为常数，，，，。

本发明的交叉点的选方法为：首先确定有效交叉点区域，然后在有效交叉区域中随机选择一个位置作为交叉点，交叉区域为，以及由式（6）确定：

 （式6）

1. 变异

本发明中变异步骤采取简单二进制变异，变异步骤示意图如图4 所示。首先通过轮盘赌方法判断某个染色体是否需要进行变异，变异概率的大小由式（7）确定：

 （式7）

其中，取值0.2，选取式（2）中的最大值，为式（2）中所有值的平均。若某个染色体通过上述方法确定为待变异染色体后，在该染色体中随机选取一个位置作为变异点，在变异点（包括该点）后所有编码0,1互换，形成新的染色体并加入到新的种群中。

1. 用户反馈

本发明采用响度曲面法作为听力补偿的方法，在该三维模型中，X轴为语音信号的频率（Hz），Y轴为语音信号的声压级（dB SPL），Z轴为听力补偿（dB SPL）。对于某一帧语音信号的特定频段子代信号，计算其声压级后，通过响度曲面三维模型即可确定所需补偿的声压级。响度曲面采用二维高斯模型，其公式如下：

 （式8）

其中，为子代语音信号的中心频率（Hz），为该子代语音信号的声压级（dB SPL），为该子代语音信号的听力补偿（dB SPL），验配模型示意图如图5所示。

对于某一时段的语音信号，其有效声压的计算公式为：

 （式9）

其中，为瞬时声压。然而，由于数字助听器的信号均为有限的离散值，因此，声压级的近似计算公式为

 （式10）

将上式取10为底，再乘以20，则可得到声压级的计算公式：

 （式11）

将输入信号的各子代语音信号按公式（11）计算其声压级，将当前种群各参数代入式（8）中，对于各子代信号按照公式（8）计算得到各个子代的增益值，形成新的子代信号，将11个频段的新得到的子代信号通过综合滤波器形成最终输出语音信号。

对应于8个染色体，会形成8个输出信号，用户逐一听取每个染色体对应形成的语音信号，主观判断该语音信号的好坏，并根据判断结果进行5级评价，该评价将作为下一代进化的选择操作的依据。重复步骤三、四，直到用户觉得当前语音信号已经满意，或者进化代数达到上限（30）。

五．性能评价

对于数字助听器的自适应验配，最佳实验方法为：找一些听损患者进行实际测试，看他们在与软件交互过程中是否可以在相对满意的时间内得到相应的听力补偿。然而，限于实验条件关系，无法找到相应的志愿者参与到实验中来。现反向行之，人为改变不同频段的增益，使一段正常的语音在正常人耳中听起来变得不正常，即模拟听损患者耳中的语音效果，通过不断的人机交互，看最终能否获得相应增益以补偿原来的听损。测试信号来自于江苏省人民医院制作的助听器验配测试语音库，语音库对应的文本由男声和女声各朗读一遍，信号的采用频率为44.1k Hz，在处理前先降采样为8 k Hz。语音信号的声压级调整为为55、65、75，分别代表日常生活中讲话的小声、中声、大声。测试在消音室进行，测试语音采取随机播放的方式，通过头戴式耳机森海塞尔HD650单耳给出。

自验配测听实验二包含两个部分：①比较未经验配和经过本文自验配系统验配过后两种情况下语音可懂度的差异②比较未经验配和经过本文自验配系统验配过后两种情况下语音质量的差别。五位志愿者（不含听损）参与了本次实验。首先从库中挑选10个词语，经过降采样以及声压级处理后形成30个测试语音信号。被测试者随机听取含有预设听损30个测试语音信号，每条测试语音播放一遍，统计测试者能答对的个数。最后将5位测试者的答对的词语个数综合起来，并做归一化处理，答对词语个数所占比列即为“可懂度”。完成上述实验后，让5位测试者先进行本文的自验配，再重复上述步骤，即可获得经过本文自验配系统后的语音可懂度。

接下来，完成“语音质量的差异比较”的实验。首先挑选10段对话的长语音信号，经过降采样以及声压级处理后形成30个测试语音信号。然后，被测试者随机听取含有预设听损30个测试语音信号，该过程为预实验步骤，使得测试者对语音信号的质量有了预判，防止由于测试者自身评价标准不统一而造成的误差。接下来进入正式测试阶段，被测试者随机听取含有预设听损30个测试语音信号，每条测试语音播放三遍，然后进行打分，10分为优，1分为差。最后将5位测试者的评分综合起来，并做归一化处理，即得到最终的“语音信号的质量”。完成上述实验后，让5位测试者先进行本文的自验配，再重复上述步骤，即可获得经过本文自验配系统后的语音质量。

从图6和图7可以看出，经过本文的自验配系统后，测试者对于语音信号的理解能力得到了大幅提升，同时，对于语音信号的质量有明显的提升。此外，通过比较可以看出，测试者对于语音质量的满意度是要低于语音可懂度的，这与常理的符合的，测试者能够理解语音信号的内容，但不一定对该语音质量满意。

本发明请求保护的范围并不仅仅局限于本具体实施方式的描述。