**声呐探测信息的声信号表达可听化应用工具研究**

声呐探测而得的声信号可以借助于可听化的声学仿真技术来对其进行展示，将声信号表达可听化有助于系统的智能交互的构建，同时也可为使用者对信号的判决提供更多的信息。因此，对声信号表达可听化应用工具研究具有重要的实际意义。

1. **可听化理论**

可听化(Auralization)是近年来随着声学仿真技术的长足发展而出现的一个

名词。它的具体含义是通过对一包含单个(或者多个)声源的声场进行物理或数学

建模，以达到声音绘制(audio rendering、或称声学仿真:acoustical simulation)的目的。这样，人们可以获得该声场中任意位置的双耳听觉感受。换句话说，可听化技术在客观上主要是模拟特定声场(包括声源，声传播环境以及聆听者三要素)中声音传播的物理过程，从而使其中的聆听者作为一个主体能够获得对整个场景声学特性的主观感知。

* 1. **可听化系统的分类**

按照不同的标准，可听化技术存在着多种分类方法。如果按照室内声学仿真(即获取房间脉冲响应RIR的过程)的建模方式来划分，存在着纯物理模型和数学模型的差别。物理模型使用的是真实声场按比例缩小的实物模型(scale model)；而数学模型则利用室内声学的一般原理来推导声信号在场景中的传播过程，如基于几何声学的声线跟踪算法(ray-racing)和虚声源算法(image-source)，基于波动声学的有限元方法与边界元方法等。

如果按照RIR或BRIR的获取方式来划分，同样也可以分成两类：一类是通过实际的场景或按比例缩小的模型进行声学测量后直接获取的，这种方式的测量工作量很大，而且只能固定于有限的几个位置，不利于交互式的实现。另一类则利用计算机对数学模型的求解来获得，具有实现方便等显著优点，是今后的发展方向。

如果按照播放手段来划分，一般可分为3类：第1与第2类同为双声道播放，只是第1类利用的是高保真耳机(即所谓binaural方式)[5]，这种方式具有实现便捷，成本低廉等特点，更为重要的是，它不受周围场景的限制与影响，尤适于计算机系统中的人机交互；第2类是第1类的变形，只是用两个立体声音箱来取代耳机进行播放，但由于这时引入了左右声道间的串声(crosstalk)，所以在播放前需进行串声消除的相应处理(经过串声消除处理的双音箱播放方式称为transaural）。这种方式对播放环境的要求比较高，一般需要在消声室(anechoic chamber)中进行，而且对聆听者的位置也有严格的要求;第3类为多音箱的播放方式，也可称为环绕声系统(surround array system)播放，通常也在消声室中进行。这种方式的最大优点在于其自然具备的方向感，如听起来后方来的声音确实是来自后方，所以不象前二种方式那样需要进行BRIR的计算或测量。但它与transaural方式一样，拥有音箱播放时的一系列缺点，并且代价比较昂贵。

* 1. **可听化系统的一般实现过程**

可听化实现的过程一般可分为室内声学仿真，双耳房间脉冲响应的计算，卷积等 3个过程。

1. 室内声学仿真——房间脉冲响应的计算

自从 Sa bine提出著名的混响计算公式以来，室内声学在本世纪得到了长足发展。现在已比较透彻地研究了声信号在一般媒质中的传播机理，在此基础上，人们提出了一系列基于统计声学、几何声学及波动声学的室内声信号传播模型。如基于统计声学的 Sabine, Eyring混响估算公式；基于几何声学的声线跟踪算法、虚声源模型；以及刚刚发展起来的有限元与边界元计算方法。基于统计声学的混响计算方法一般来说只用于厅堂的简单声学性能评估，所以对虚拟环境的声学仿真意义不大。基于几何声学的声线跟踪算法、虚声源模型由于原理简单，算法实现方便而在声学仿真领域获得了广泛应用。但是几何声学关于声信号及声信号传播的一系列前提假设使得基于该理论的仿真方法存在着先天的缺陷，不能很好地模拟声音的吸收、散射、衍射、干涉等声学物理现象。基于波动声学理论的有限元方法及边界元方法的引入有望较好地解决以上不足。

1. 双耳房间脉冲响应 (BRIR : Binaural Room Impulse Response)的计算

假设已给出了具体的RIR，则每个RIR实际上都代表一条传播路径，其中包括声源直接传播至聆听者的路径，也包括通过一次或者多次发射后到达聆听者的路径。所以RIR可以表示为:，，。其中从0开始(代表从声源直接传播至聆听者的路径)，可以直至无穷大(单纯从理论角度而言)。实际计算中，我们仅可能考虑前n阶反射或者从时间角度仅考虑前面的m毫秒;和分别表示相对于聆听者，声信号入射的偏角和仰角;则表示该条传播路径的脉冲响应。这里，包括了传播时延和传播路径上墙面的反射滤波效应，同时也可包括声源在该方向上的指向性因素以及声音在空气中传播时的衰减效应。

1. 卷积

将计算得到的 BRIR与原始的声信号作卷积操作，即可获得所需的声信号。

1. **可听化软硬件产品工具**

可听化技术是听觉显示的重要研究方向。国外有不少研究，比如：盖革计数器、脉冲血氧计、量子口哨等；医学数据的可听化，听心电图、脑电图、膝关节震动信号等；股市数据的可听化可用于行情分析；视觉障碍用户的听觉导盲工具研究等。国内，浙江大学计算机辅助设计与图形学国家重点实验室研究3D虚拟现实中的声境营造；利用室内声学的可听化模拟厅堂听音环境，对三维空间音质进行可听化仿真。

* 1. **可听化应用工具**

针对可听化研究和应用工具的开发，国内外的相关研究工作者也做了许多的工作。Stanford大学开发的Synthesis Tool Kit可听化应用研究软件包；德国Bielefeld大学的AV Display工具实现听觉显示与视觉显示结合；浙江大学的听觉显示开发平台(Auditory Display toolKit,ADK)能实现实时和非实时的声音合成，支持离散和连续事件的可听化，既能进行可听化的应用研究，也可以对听觉感知、 可用性测试等方面的研究。

对可听化开发工具或软件包而言，须具备以下特点：

1. 灵活性( Flexibility)：除合成技术的多样性外，数据映射方案的改变等简单控制在设计中也是必要的。从而能从多种途径控制数据映射,实现数据可听化，并适用不同层次和喜好的用户，提高工具的人性化。
2. 便携性( Portability)：开发工具能在不同的计算机平台之间、实时和非实时声音合成产品之间转移，可移植性强。
3. 可集成性(Integrability）：能与可视化程序、电子表格、实验设备等软硬件进行方便的连接,提供标准化的软件接口 ,整合数据输入 、声音映射和合成。

目前该领域主要的软硬件产品有：

1. ODEON。该软件由丹麦技术大学声学实验室设计，主要用于室内声学仿真。它采用了声线跟踪与虚声源相结合的建模方法，在降低了计算复杂度的同时，又提高了预测精度。
2. CATT-Acoustic(Computer-Aided Theatre Technique)。该软件分成室内声学建模与可听化实现二个模块，其中在可听化的实现过程中需要Lake公司FDP-1卷积设备的支持。该软件由瑞典Chalmers技术大学应用声学系的Chalmers室内声学研究小组设计。
3. EASE(Electro-Acoustic Simulator for Engineers)-EARS(Electronically Auralized Room Simulation)。该软件也分成室内声学建模与可听化实现二个模块，其中EASE是基于PC平台的室内声学仿真模块；EARS是基于EASE实现的可听化模块，它需要一些硬件上的支持，比如可用Media Vision或Ariel公司生产的一些PC插件。该软件由德国ADA Acoustic Design Ahnert公司设计。
4. 高档的Huron系列大规模卷积设备及低档的CP4系列卷积设备。由澳大利亚Lake公司设计生产，适用于实时要求较高的各种场合。可直接与PC机相连，并且有丰富的软件支持。

公开或半公开的HRTF数据：

1. Shaw , E. A. G. , and Vaillancourt , M . M . ( 1985) .Transformation of sound - pressure level from the free field to the ear drum presented in numerical form, Journal of the Acoustical Society of America, 78 : 1120- 1122. 在该文中，作者以表格的形式给出了耳平面上的HRTF数据，但只包含幅值信息，而无相位数据。在实现时，需要人为加入左右声道间的组延时信息。
2. KEMAR-HRTF由MIT媒介实验室(Media Lab.)Machine Listening Group的Gardner,W.G.和Martin,K.提供。该组数据利用假人头模型测得，以时域脉冲采样的形式提供，可从Internet上获取。
3. 美国Wisconsin-Madison大学F.Wightman和D.Kistler可提供多组采用实际个人测得的HRTF数据。
   1. **可听化技术应用**

可听化技术已经在许多领域有着广泛的应用。

1. 作为声学设计的辅助工具与评价手段。室内声学的计算机仿真技术已经成为建筑声学设计及厅堂音质评价的有力手段。如果在厅堂建设之前就能聆听到其大致的音效，无疑将进一步提高设计效率，缩短设计周期，并且切实保证设计的成功。
2. 在虚拟环境中的应用。我们知道,视觉和听觉是人类感知外部世界的两种最重要的信息渠道，其信息载体分别为图象和声音。为了创造出符合人类感知习惯的虚拟环境，一方面需要提供多种媒体的信息表达方式;另一方面，更重要的是要提高各种媒体的表达效果。计算机图形学为人类在虚拟环境中的视觉感知与交互提供了有力的技术支持，对于应用较晚的听觉感知与交互手段，则需要可听化技术的相应支。运用可听化技术，在虚拟现实系统中能构造出非常逼真的自然声场效果，从而增强用户的沉浸感并改善人机交互的效果。
3. 在语音通讯系统中的应用。在语音通讯系统中适当地运用可听化技术，将增强语言的可懂度。比如在远程会议系统 ( teleconference)中采用该项技术，可以增强与会者的临场感，改善语音通讯的效果。
4. 在可视化系统中的应用。可视化是多维数据表示的一种有效方式，显而易见，可听化技术同样也是一种表示数据的手段，可作为可视化系统的辅助与补充。
5. 在游戏、教育、娱乐中的应用。现在的许多游戏软件给用户提供了非常逼真的视听环境，其中声环境的构造就需要可听化技术的支持。如果在教育等软件中也加上可听化技术的支持，无疑会提高教学质量。
6. **可听化技术应用发展分析**

研究可听化系统能够快速的表达声呐探测所得信号，提供新的信息分析和处理方式。通过其发展方向的分析，可以更加深入把握可听化技术。

* 1. **应用前景**

可听化系统能帮助用户快速理解声音所表达的信息，并缓解视觉过载或代替视觉完成其不能完成的任务。因此，可听化技术具有广阔的应用。

1. 数据挖掘：随着听觉感知研究的不断深入，可听化技术与可视化技术的结合，将成为数据挖掘技术更强有力的工具。
2. 导盲设备：帮助视觉受障或失明用户获取环境信息 。如解决消防队员因现场的恶劣环境使其视觉受障问题; 电子行走辅助研究解决盲人的出行问题等。
3. 数据监控：当用户需要同时从事多项活动时，可以考虑用听觉通道来缓解视觉负担。如实现报表数据的可听化，使操作师能一边控制机器，又能“听”取不断变化的数据，提高了操作安全性。
4. 作为声学设计的辅助工具与评价手段.室内声学的计算机仿真技术已经成为建筑声学设计及厅堂音质评价的有力手段.如果在厅堂建设之前就能聆听到其大致的音效,无疑将进一步提高设计效率,缩短设计周期,并且切实保证设计的成功.
5. 在虚拟环境中的应用.我们知道，视觉和听觉是人类感知外部世界的两种最重要的信息渠道，其信息载体分别为图象和声音。为了创造出符合人类感知习惯的虚拟环境，一方面需要提供多种媒体的信息表达方式;另一方面，更重要的是要提高各种媒体的表达效果。计算机图形学为人类在虚拟环境中的视觉感知与交互提供了有力的技术支持，对于应用较晚的听觉感知与交互手段，则需要可听化技术的相应支持。运用可听化技术，在虚拟现实系统中能构造出非常逼真的自然声场效果，从而增强用户的沉浸感并改善人机交互的效果。
6. 在语音通讯系统中的应用。在语音通讯系统中适当地运用可听化技术，将增强语言的可懂度。比如在远程会议系统(teleconference)中采用该项技术，可以增强与会者的临场感，改善语音通讯的效果。
7. 在可视化系统中的应用。可视化是多维数据表示的一种有效方式，显而易见，可听化技术同样也是一种表示数据的手段，可作为可视化系统的辅助与补充。
8. 在游戏、教育、娱乐中的应用。现在的许多游戏软件给用户提供了非常逼真的视听环境，其中声环境的构造就需要可听化技术的支持。如果在教育等软件中也加上可听化技术的支持，无疑会提高教学质量。
   1. **发展方向**

可听化研究与听觉心理和生理研究的进展是密切相关的。根据不同的应用领域与知识背景，可听化研究和发展方向将遵循以下几个方面：

1. 随着听觉感知和认识研究的进一步深入，需要加强听觉心理学和生理学的研究。可听化是通过数据到声音的映射向用户传达信息，因此，对声音的感知理解的准确性是任何可听化应用成功的关键。
2. 可听化研发工具的研究，包括硬件和软件工具。处理大容量数据时，希望用常用的 DSP 和ASIC 提高算法的速度和减小系统体积，使可听化技术走向实际应用系统。
3. 可听化应用研究。虽然可听化已成功地应用于许多领域，但在实际应用中仍无法设计一个可听化应用并能预先知道这一设计能很好地实现指定的任务。可听化的继续发展需要有前瞻性的设计原则。只有这样，可听化才能够从一些特殊的实验发展为相连贯的设计、研究和应用的领域。
   1. **存在的问题**

目前可听化研究领域也存在着一些问题亟待解决。

1. 质量的验证与评估。可听化系统质量的验证与评估是一个亟待解决的课题，其中包括主观指标与客观指标的确定，定性的评估与定量的分析。该问题的解决将为可听化的进一步应用奠定更为坚实的理论基础。
2. 降低计算量问题。由于可听化过程牵涉到巨大的计算量，使其在计算机系统中的交互实现带来了困难。如采用专用的硬件设备，如Huron等，价格又过于昂贵。所以，计算量的降低今后与将来都是可听化系统的实现所必须考虑的中心问题。
3. 播放手段的选择。在计算机系统中，采用耳机作为播放手段无疑是最明智的选择。但用耳机播放时，一般存在着头内定位(in-head localization)和前后听觉感知的二义性(front-back ambiguity)等固有问题，在一定程度上会影响人机交互的效果。采用个人的HRTF数据或采用头部跟踪设备可以较好地解决以上问题。但是随着DSP技术日新月异的发展及硬件芯片价格的不断降低，双通道及多通道音箱播放的方式会越来越受到人
4. RIR与BRIR的计算问题。基于几何声学的室内声学仿真方法经过多年的研究，现在已经逐步走向成熟。但其理论上的一系列前提假设使其存在着先天缺陷。更精细的模型还要考虑声音的散射、衍射以及空气衰减等因素。在计算RIR时的另一个问题是后期反射声(即高阶反射声，又可称混响)的处理，由于后期反射声一般与方向的关系不是很大，所以如果对高阶的反射声不象低阶反射声那样逐个进行HRTF处理，则整个算法的计算复杂度将会有一定程度的降低
5. RIR与BRIR计算的接口的标准化问题。由于RIR的计算方法有许多种，所以RIR与后续的BRIR计算之间存在着接口的标准化问题。