

虚拟声技术及其应用 (下)*

谢菠荪

管善群

(华南理工大学应用物理系 广州 510641) (北京邮电大学电信工程学院 北京 100876)

2004 年 2 月 11 日收到

4 虚拟声的应用

4.1 虚拟现实与多媒体

虚拟现实是一种逼真地模拟人在自然环境中的视觉、听觉、运动等行为的人机界面技术。利用虚拟声的方法可产生各种不同的声音空间听觉,包括对声源的定位和对环境的声学空间特性感觉,因而在虚拟声学环境中有重要应用^[15]。由于在现实的环境中,声源和倾听者的空间位置以及周围的声学环境都可能是变化的,为了准确地模拟出这种变化,通常需要采用前面所述的包括头部位置跟踪和自适应信号处理的虚拟声系统,以根据声源、倾听者和环境的变化,实时地改变信号处理程序。这类虚拟现实的系统通常比较复杂,国外有多个实验室建有这类系统。

虚拟现实应用的一个例子是用于驾驶员训练的汽车驾驶模拟系统^[16]。这种系统将虚拟视觉、听觉和运动感觉的技术相结合,当驾驶员进行各种操作时,系统将逼真地虚拟出相应的各种感官感受。在听觉方面,根据汽车的“速度”等虚拟出来自不同方向的发动机、轮胎与路面、风、以及刹车的声音。如果出现错误操作导致“交通事故”,系统还可以虚拟出相应激烈碰撞声音。类似的方法也可以用于飞行员和航天员的训练中。

虚拟声的也可用于多媒体计算机中,包括各种的 3D 游戏,其原理是类似的。目前有些

用于 Windows 操作系统下的计算机游戏程序已具备这种功能。但这类消费电子的应用对虚拟声的性能要求可以降低,考虑到成本和对计算机软、硬件资源的占有率等问题,通常是采用尽量简化的虚拟声信号处理方法。

4.2 噪声的评价与控制

传统的噪声客观测量指标(如 A 计权声级)并不能完全反映出人对噪声的主观感受(如对噪声的厌烦程度),因而需要采用主观评价的方法进行补充。由于双耳听觉的情况才能反映真正的主观听觉感受,因而可以采用人工头录声的方法,将不同(例如采用某种噪声控制措施前后)的噪声记录下来,或者用计算机模拟的方法得到一定环境下的双耳噪声信号,然后在实验室进行重发,从而对噪声进行主观评价和比较。也可以用信号处理的方法人为地改变双耳噪声信号的某些物理特性(如频谱),并进行主观评价,从而模拟出某种噪声控制措施对的主观听觉效果的影响,为探求有效的噪声控制方法提供基础。这类方法已用于汽车的噪声和车内声质量评价中^[17]。顺便指出,用于噪声感知评价的虚拟声数据并不需要精确针对每个具体人,而是要综合出人们的平均数值,正像 A、B、C 计权曲线那样,因此这时的人工头模型不需要像真人那样鼻眼清晰,耳廓形状也要“粗糙”一些。

4.3 心理声学实验与听觉训练

心理声学研究人类对声音的主观感觉和物

* 教育部优秀青年教师资助计划项目

理量的关系。由于双耳声信号包含了声音的各种物理信息,因而用人工头对双耳声信号进行拾拾,即可记录下各种声音事件。通过耳机或扬声器重发(经过串声抵消处理),即可以重现声音事件并进行主观感觉的评价与实验。而通过人工地改变或模拟双耳声信号的某些物理特性,即可研究相应的物理量与主观感觉之间的关系。因而双耳虚拟声的方法可用于各种心理声学实验和有关双耳听觉的研究。事实上,上面所述的噪声评价应用是可作为心理声学实验的一个特例。其他例子包括声源定位机理、双耳掩蔽效应、语言可懂度等的研究。虚拟的方法也可用在听觉训练等方面。

4.4 室内音质的主观评价与设计

为了比较不同厅堂(如音乐厅)的音质,虽然可采用倾听者现场倾听的方法进行主观评价,但实际操作经常是困难的。这主要是由于倾听者对于音质的主观印象的准确记忆是暂短的,而需要比较的厅堂通常分布在不同的城市甚至不同的国家,因而难以在短时间内完成比较工作,并且组织倾听者现场倾听的方法也耗费巨大。还有不同的音乐类型对厅堂的物理特性(如混响时间、反射声方向和强度等)的要求不同,因而对同一厅堂(物理特性不变),演奏不同音乐时的主观印象可能会不同。因而为了准确比较,需要组织相同的乐队在不同的厅堂中演奏相同的音乐,这在实际中也是困难的。

由于厅堂的许多重要的主观音质感觉包括空间感、包围感等是属于双耳主观感觉,因而可采用人工头双耳录音的方法,将不同厅堂的声音记录下来,然后在实验室重发和进行主观评价。更进一步的方法是测量不同厅堂的声源到具有代表性的听众席的双耳脉冲响应,然后将消声室内录制的音乐信号与双耳脉冲响应卷积,虚拟出不同厅堂的双耳声信号,并进行主观评价。

以上的的音质评价实验是在厅堂建成后进行的。而在室内音质设计阶段,可以用计算机模拟的方法(如射线跟踪、像源法等)计算出室

内的声场分布,并计算出(包括直达声和反射声)的双耳脉冲响应,再用上面的方法虚拟出相应的双耳声信号,因而有可能(在厅堂声学设计阶段)对它的音质进行主观评价^[2,18],如果发现音质上的缺陷,还可以对设计方案进行修改。这就是国际上近年所发展的室内音质可听化的原理,一些常用的室内声学设计软件如Odeon已具备此功能。

将虚拟声的方法用于室内音质设计是近年室内声学的一大进展。虽然由于声场模拟和虚拟声系统本身的缺陷,目前还不能与在室内实际倾听的主观结果完全一致,但虚拟技术是一种有前途的室内音质设计工具。

4.5 虚拟录声

用人工头构成的双耳拾拾系统早已用于音乐等的文艺节目的录声和制作中。而将虚拟声信号处理的方法用于录声制作却是近年发展的技术。利用计算机虚拟声信号处理方法,不但可以在节目制作中人工地产生不同方向的声像,而且可以虚拟出各种声学环境的主观听觉效果。例如利用类似于室内音质主观评价的方法,将在低混响录声室内录制的音乐与厅堂的双耳脉冲响应卷积,即可虚拟出在相应厅堂录声所得到的主观听觉效果。厅堂的双耳脉冲响应既可通过对现有的厅堂测量得到,还可根据室内声学和心理声学原理,通过理论计算,人工制造一个理想的、现实并不存在的厅堂的双耳脉冲响应。

与传统的现场立体声录声技术相比较,虚拟录声具有制作简单灵活,所需投资少等特点。因而特别适用于由于实际条件所限制而不宜作现场录音的情况。

4.6 多通路环绕声的虚拟重发

以5.1通路系统为代表的模拟声场与听觉错觉混合型^[7]多通路环绕声已被广泛应用于但它需要多个独立的扬声器,较为复杂。而对于电视及多媒体计算机等应用,以及由于室内条件的限制,有时并不一定适合布置的多个扬声器。因而在多通路声的重发中,可通过HRTF信

号处理虚拟声源的方法,利用少量的真实扬声器将其它扬声器虚拟出来,达到节省扬声器、简化系统的目的。国外有多个公司分别提出了 5.1 通路环绕声的两扬声器虚拟重发方法,并称为虚拟环绕声系统,它们的结构大同小异,原理基本相同^[19]。图 3 是典型的系统的方块图。5.1 通路的左 L、右 R 信号是直接的馈给左、右的重发扬声器,以产生前方范围的立体声象分布。中心 C 信号经 -3dB 衰减后,同时馈给左右扬声器,产生正前方 $\theta = 0^\circ$ 的虚拟扬声器。而环绕声信号 LS 和 RS 经过虚拟信号处理后,再馈给左、右扬声器,利用真实的左、右扬声器虚拟出左右环绕扬声器。

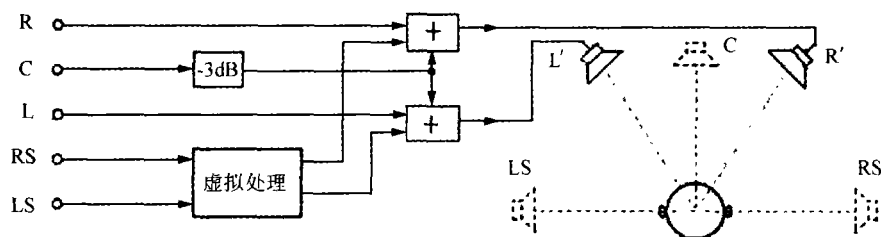


图 3 两扬声器虚拟重发 5.1 通路环绕声

觉效果等。2001 年起华南理工大学、北京邮电大学与 TCL 王牌电子有限公司合作,对扬声器和耳机的虚拟重发系统进行了改进,已提出了多项国家发明专利申请。

4.7 电话会议与语音通信系统^[20]

心理声学的结果表明,存在背景干扰时,双耳听觉对目标声源信号的识别能力要比单耳觉的情况下高。因而在实际语音倾听中,即使存在较强的背景噪声使得信噪比很低甚至为负的情况,或者在多个人同时讲话的情况下,倾听者仍然能够分辨出目标声源发出的声音信息,也就是对目标声源来说仍然有较高的语音可懂度,这就是所谓的“鸡尾酒会效应”。通常的单通路语音通信系统不能够传输双耳声音信息,因而导致语音可懂度下降。

双耳的通信系统采用人工头进行拾拾,或采用虚拟声信号处理的方法将各不同的声源分

虚拟声的方法也可用于多通路环绕声的耳机重发中。当多通路环绕声的信号直接用耳机重发时,存在着“头中定位”效应,不但造成不自然的听觉效果,还有可能对听觉系统造成慢性损害。可以采用 HRTF 信号处理的方法,在利用一对耳机虚拟出多个扬声器,使多通路声是从这些虚拟的扬声器重发,从而改善主观听觉效果。Dolby 实验室已提出了一种称为 Dolby 耳机的多通路环绕声耳机重发技术。

在多通路环绕声的虚拟重发中,前面 3.1 节所提及的虚拟声的内在缺陷仍然存在,包括重发音色改变,扬声器重发时听音区域窄,耳机重发的声像位置畸变及其它不自然的主观听

布在不同的空间方向,从而在听觉中容易将目标声源与其它的声源(视为干扰)分离开来,因此可提高语言可懂度。这种方法可应用到电话会议与语言通信系统中。

虚拟声的方法也可应用到飞行驾驶的指挥控制系统中。在飞行过程中,如果出现潜在的事故危险(如碰撞),地面控制或飞机上的计算机系统会向飞行员发出视觉和听觉上的警告信号,以指示飞行员采取措施。研究表明,采用虚拟声的听觉警告信号不但能改善语言可懂度,并且可以缩短飞行员动作的时间,对避免事故有较大的作用。美国的 NASA 已将虚拟声的方法,并结合自适应双耳噪声消除应用到民航飞机中。虚拟声的方法也可运用到宇航通讯中,这不但可以提高语音可懂度,而且可能会减轻航天员由于失重带来的平衡问题。事实上 NASA 是国际上最早开展虚拟声研究的单位之一。

4.8 医学上的应用

对听觉正常的倾听者, 双耳听觉对噪声环境下目标声音信息的分辨是重要的。而对于听觉系统受到损害的病人, 这种双耳的分辨能力将下降甚至完全消失。因而对声音空间信息的感受可作为对听觉系统进行临床诊断的手段之一。而利用双耳原理设计的助听器则可(部分)改善病人的双耳空间听觉, 从而改善对目标声音信息的分辨能力。

5 结论

上面的讨论表明, 双耳声信号包含了大部分的有关声音的空间信息。虚拟声通过双耳声信号的拾拾或 HRTF 信号处理的方法, 实现声音空间信息的模拟和重发, 从而给倾听者再现声音的空间主观感觉。虚拟声包括耳机重发和扬声器重发两类方式, 与其他的声重发系统比较, 虚拟声的结构相对简单。但由于受到其基本原理上的限制, 也存在着一定的缺陷。近年已在虚拟声的改进方面做了大量的工作。虚拟声在虚拟现实、心理声学研究和家用声重发等科学研究、工程技术和消费电子领域有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Blauert J. Spatial Hearing, Cambridge, MA: MIT Press, 1997.
- 2 Moller H. *Applied Acoustics*, 1992, 36(3/4):171~218.
- 3 Gardner W G. *Ph.D. Thesis*, MIT Media Lab. 1997.
- 4 Wightman F L, Kistler D J. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1989, 85(2):858~867.
- 5 Strauss H. *Proceedings of AES 104 Convention*, 1998, Preprint: 4687.
- 6 Copper D H, Bauck J L. *J. Audio. Eng. Soc.*, 1989, 37(1/2):3~19.
- 7 管善群. *应用声学*, 1995, 14(6):6~11.
- 8 谢波菰. *应用声学*, 2002, 21(5):1~7.
- 9 Bauck J L, Copper D H. *J. Audio. Eng. Soc.*, 1996, 44(9):683~705.
- 10 Kirkeby O et al. *J. Audio. Eng. Soc.*, 1998, 46(5):387~395.
- 11 Hawksford M O J. *J. Audio. Eng. Soc.*, 2002, 5(11):894~913.
- 12 Takeuchi T et al. *Proceedings of AES 104 Convention*, 1998, Preprint: 4700.
- 13 Zotkin D N. *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal (ICASSP'02)*, 2002.
- 14 Huopaniemi J, Zacharov N. *J. Audio. Eng. Soc.*, 1999, 47(4):218~239.
- 15 Begault D R. *3-D sound for virtual reality and multimedia*, London: Academic Press, 1994.
- 16 Krebber W et al. *Signal Processing*, 2000, 80(11):2307~2322.
- 17 毛东兴. 博士学位论文, 同济大学, 2003.
- 18 Savioja L et al. *J. Audio. Eng. Soc.*, 1999, 47(9):675~705.
- 19 Chee-Weng T, Woon-Seng G. *Proceedings of AES 107 Convention*, 1999, Preprint: 5052.
- 20 Begault D R. *J. Audio Eng. Soc.*, 1998, 4(6):520~530.

欢迎订阅 2005 年度《应用声学》

《应用声学》双月刊, 国内外公开发行

每期: 8 元, 全年: 48 元。全国各地邮局均可订阅

国内邮发代号: 2-561, 国外刊号: BM607

另, 本刊现有《应用声学》部分年度合订本, 欢迎广大读者购买。

售价 1999 年—2002 年 50 元 / 本, 2003 年 68 元 / 本 (均含挂号邮费)