

现代声学科学与技术丛书

通信声学

Communication Acoustics

〔德〕J.布劳尔特 主编

李昌立 李双田 译校



科学出版社

www.sciencep.com

现代声学科学与技术丛书

通信声学

Communication Acoustics

〔德〕J. 布劳尔特 主编

李昌立 李双田 译校

科学出版社

北 京

图字: 01-2008-3369

内 容 简 介

目前通信技术发展迅速, 大部分都是研究机器和机器的交互问题, 即通信设备和传输信道的有关技术问题。而关于人与人之间、人与机器之间的交互研究并不多。本书研究的是通信中的声学问题, 包括听觉器官的构造和机理、发声器官的构造和机理、心理声学的基本问题、人对信号的感知和理解、听觉的虚拟环境等。对今后通信的发展具有启发和指导意义。

本书可作为信息类专业, 如通信技术、音响和广播工程、计算机应用、信号和信息处理, 以及物理类专业, 如声学、应用声学等大学本科高年级学生、硕士生、博士生的参考书和教材。也可供相关专业的科研人员参考。

Translation from the English language edition:

Communication Acoustics edited by Jens Blauert

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005

Springer is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

图书在版编目(CIP)数据

通信声学=Communication Acoustics/(德)布劳尔特 (Blauert, J.)主编; 李昌立, 李双田译校; —北京: 科学出版社, 2009

(现代声学科学与技术丛书)

ISBN 978-7-03-023552-7

I. 通… II. ①布… ②李… ③李… III. 通信-声学 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008) 第 190817 号

责任编辑: 鄢德平 张 静 刘延辉 / 责任校对: 陈玉凤

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 4 月第 一 版 开本: B5(720 × 1000)

2009 年 4 月第一次印刷 印张: 22 1/4

印数: 1—2 000 字数: 441 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

中译本序

德国波鸿鲁尔大学通信声学研究所 Jens Blauert 教授的 *Communication Acoustics* 由 Springer 出版社于 2005 年出版, 德国、加拿大、丹麦、美国、荷兰、希腊等国家的 17 位科学技术专家参与了本书的撰写。

在介绍本书的特点之前, 有必要介绍一下本书的主题——“通信声学”。

通信声学是在声学 and 通信相互促进的发展过程中逐渐形成的一个多学科交叉的前沿领域。在通信声学的发展中, 有三个重要的里程碑: 一是电子管的发明, 使微弱声信号的放大成为可能, 由此出现了无线电广播、有声电影以及广播系统和遍及全世界的电话网络等; 二是计算机在声学研究中的普及和声音信号的数字化处理, 目前, 数字信号处理已经成为通信声学不可缺少的一部分, 如语音处理技术、数字音响工程、听觉虚拟环境等; 三是人工智能的融入, 即进一步研究和破解人对声音感知和理解的物理、生理、心理过程, 并应用到通信和信息系统中。

从字面上讲, 这里的“通信”是指两个个体之间为进行沟通或交流而把信息或想法传送的过程, 所说的个体可以是人, 也可以是机器; “声学”是指研究声音的产生、控制、传输、接收和效应以及听觉现象的科学。声音是人与人、人与机器之间传达信息或想法的重要物理形式, 这里的声是物理的声, 而音则是有调或有意义的声。简言之, 通信声学的研究对象就是通信中的诸多声学问题。这些问题存在于与现代通信和信息科学技术有关的许多声学领域, 如听觉场景的分析和合成、听觉器官的构造和机理、发声器官的构造和机理、人脑和神经对声音的编码和解码过程、声源定位、心理声学和声音质量以及产品声音设计等。

中国科学院院士马大猷先生对本书的评价是: “这本书非常好, 是高级科学技术专家对相关各个问题的理论、技术、发展和现状的深入著作, 参考文献非常丰富, 反映德国科学家的透彻精神, 很有用。对学者是有益教本, 对实际工作者是重要参考, 很值得翻译。”

本书是国际上第一本通信声学专著, 其范围和内容包含广泛, 对通信声学领域的许多重要问题都有深入的论述。本书的每一章都以综述性文章的形式行文布篇, 虽理论公式和具体实现算法不多, 但融会贯通了作者在通信声学理论、技术和应用方面的丰富知识, 其理论、技术和应用脉络清晰, 历史、现状和发展洞若观火, 并给出了大量有价值的参考文献, 在某种程度上为读者指明了针对某一具体问题进行深入研究的方向。本书除可作为信息或物理类本科高年级或研究生的教材外, 对那些意欲提高或更新通信声学知识的人来说, 也是一个有价值的信息源。

本书的译者是中国科学院声学研究所的两位研究员,他们都是长期从事通信声学领域相关科研工作的科技工作者。他们对本书原文的释义并未拘泥于其字面意思,而是力求将原文字背后作者的真实意图揭示给读者。对此,读者们可能各有仁智之见,这不要紧,只要该译本有助于广大读者对通信声学领域的历史、现状和发展方向有进一步的洞悉,作者、译者和读者的目的也就达到了。

我国实行改革开放以来,科学技术迅速发展,我国通信和信息产品的设计和制造水平已经进入世界先进行列,但这主要体现在技术方面,通信声学方面的新思想、新概念和新体制仍显不足,仍然存在产品同质性的问题。希望本书能够给读者以启迪,在通信声学领域有更多的创造发明,或者使通信声学领域初露曙光但尚未进入应用领域的新思想在我国最先开花结果。

是为序。



中国科学院声学研究所所长
2008.1.20

前 言

通信声学涉及与现代通信和信息科学技术有关的声学领域。

由于数字信号处理和声学中数字记录的出现,在最近 40 年中,这些与现代通信和信息科学技术有关的声学领域发展迅猛,心理学和生理学的知识已经得到广泛的技术应用。在很多通信技术系统中,通信声学的部件能够作为单独的系统或嵌入的部件出现。

迄今为止,还没有一本较全面的关于通信声学的手册可供利用,本书试图通过汇集该领域最密切相关的一些综述性文章来填补这个空白。

这些文章的目的是要给学生提供全面的介绍并给出大量的参考文献。本书除了作为手册使用外,对于那些想提高和更新通信声学领域知识的读者,也是一个很有价值的信息源。

作者小组包含了下列科学家和技术专家:

Jens Blauert, Jonas Braasch, Hugo Fastl, Volkmar Hamacher, Dorte Hammershøi, Ulrich Heute, Inga Holube, Herbert Hudde, Ute Jekosch, Georg Klump, Armin Kohlrausch, Arild Lacroix, Henrik Møller, Sebastian Möller, John N. Mourjopoulos, Pedro Novo 和 Steven van de Par.

在编辑各人手稿时,得到 Marc Hanisch(机读目录机构)的鼎力相助。每章都经过作者小组另外三名成员和至少两名组外评阅人评阅。

由于通信声学的跨学科性,本书必定会引起许多不同领域读者的关注,如声学家、音响工程师、听觉病矫治专家、生物学家、认知科学家、通信工程师、通信科学家、计算机科学家、电器工程师、助听器的用户、高保真度音乐的爱好者(发烧友)、语音学家、音乐研究家、音乐学者、耳-喉科医生、物理学家、生理学家、心理-声学家、心理学家、质量专家、声音效果设计师、语音技术专家和录音师等。

简斯·布劳尔特
(Jens Blauert)

目 录

中译本序

前言

第 1 章 听觉场景的分析和合成

Jens Blauert	1
1.1 引言	1
1.1.1 历史的回顾	1
1.1.2 通信技术的经典范例	2
1.1.3 经典传输链的分离	3
1.2 听觉场景分析	4
1.2.1 质量的识别和评价	6
1.2.2 “鸡尾酒会处理”	7
1.2.3 典型结果	9
1.3 听觉场景的合成	10
1.3.1 双耳房间模拟	11
1.3.2 虚拟环境发生	12
1.4 讨论和结论	15
参考文献	17

第 2 章 听觉通信进化中的适应性

Georg Klump	22
2.1 引言	22
2.2 发送器的适应性	23
2.3 处理传输通道的特性	24
2.4 接收器的适应性	24
2.4.1 听觉非线性和增益控制机制	24
2.4.2 频率选择性	27
2.4.3 声音定位	28
2.5 听觉场景分析	30
2.6 结论	32
参考文献	33

第 3 章 人类外围听觉器官的功能性观察

Herbert Hudde	38
3.1 引言	38
3.2 耳蜗	41

3.3 耳道和中耳	45
3.4 到耳蜗的直接骨传导	55
3.5 结论	57
参考文献	58
第4章 双耳听觉的建模	
Jonas Braasch	60
4.1 引言	60
4.2 人的双耳线索分析	61
4.3 双耳线索的计算分析	64
4.3.1 外围听觉系统的模拟	64
4.3.2 耳间时间差	66
4.3.3 耳间声级差	70
4.3.4 单耳线索	71
4.4 判决过程	71
4.4.1 偏侧性模型	71
4.4.2 加权函数	73
4.4.3 定位模型	75
4.5 检测算法	78
4.6 多声源场景下的定位	80
参考文献	83
第5章 多媒体应用背景下的视听交互作用	
Armin Kohlrausch, Steven van de Par	89
5.1 引言	89
5.2 视听刺激中空间-时间交互作用的基本观察	90
5.2.1 允许多重解释的刺激之间的交互作用	91
5.2.2 错觉交互作用的影响	92
5.2.3 时间-速率差异	93
5.2.4 空间差异	93
5.3 跨模态对听觉视觉注意力的影响	96
5.4 听觉和视觉语音感知	97
5.5 听觉视觉刺激的感觉质量	98
5.6 对 AV 刺激时间不同步的灵敏度	102
5.6.1 简单刺激中感觉的时间关系	102
5.6.2 视频再现的异步检测和质量退化	105
5.6.3 AV 延迟具有不对称灵敏度的一种解释	107
5.7 结论	108

参考文献	109
第 6 章 心理声学 and 声品质	
Hugo Fastl	114
6.1 引言	114
6.2 方法	115
6.2.1 “随机存取”排序程序	115
6.2.2 语义差别	115
6.2.3 类别划分	116
6.2.4 幅度估计	117
6.3 心理声学量的建模	117
6.3.1 响度	118
6.3.2 尖锐度	121
6.3.3 粗糙度	122
6.3.4 起伏强度	122
6.3.5 综合度量	122
6.4 声品质	123
6.5 声音的意义	125
6.6 品牌形象	128
6.7 视听交互作用	129
6.8 展望	131
参考文献	132
第 7 章 人-机器语音传输的质量	
Sebastian Möller	134
7.1 引言	134
7.1.1 电话网络中的语音传输	135
7.1.2 质量和服务质量	137
7.2 电话上人-人交互的质量状况	139
7.2.1 人-人交互中质量状况的分类法	139
7.2.2 人-人交互中传输通道的影响	140
7.2.3 人-人交互中服务和背景因素的影响	142
7.3 电话通道上人-机交互的质量状况	143
7.3.1 人-机交互中质量状况的分类法	144
7.3.2 应用例子	147
7.4 质量的评价和预测	147
7.4.1 人-人交互的评价方法	148
7.4.2 人-机交互的评价方法	149
7.4.3 人-人交互的质量预测	150
7.4.4 人-机交互的质量预测	152

7.5 结论和展望	154
参考文献	156
第8章 给声音赋予意义——产品声音设计背景下的符号学	
Ute Jekosch	159
8.1 引言	159
8.2 产品的声音和符号学	160
8.3 作为符号的声音	160
8.4 符号学	161
8.5 符号	163
8.6 指号过程的内涵及指号过程的发生	163
8.6.1 指号过程的规则	165
8.6.2 试验图式的类型	167
8.7 符号的功能	168
8.8 符号学和产品声音设计之间的联系	169
8.9 产品声音的指号过程	171
8.9.1 主导的图式和格式塔感觉	171
8.9.2 在创建背景下指号过程的模式	172
8.10 产品声音设计取得的结论	175
8.11 创新和常规之间的声学设计	177
8.12 结论	179
参考文献	180
第9章 双耳技巧——录音、合成和再现的基本方法	
Dorte Hammershøi, Henrik Møller	184
9.1 引言	184
9.1.1 结构	184
9.2 理论	185
9.2.1 声音传输的模型	185
9.2.2 完善的录音和回放链的校准	187
9.2.3 个体之间的变化	188
9.3 耳机再现	190
9.3.1 耳机的传输函数	190
9.3.2 压力分配	191
9.3.3 耳机均衡	192
9.3.4 双耳录音的预均衡	193
9.4 双耳录音的性能	193
9.4.1 定位实验	193
9.4.2 非个别人的录音	194
9.4.3 人工头	195

9.5 双耳合成	197
9.5.1 测量	198
9.5.2 低频控制	200
9.5.3 滤波器长度和阶数	201
9.5.4 双耳合成的性能	202
9.6 应用	203
参考文献	205
第 10 章 助听技术	
Inga Holube, Volkmar Hamacher	212
10.1 助听器的设计	212
10.2 芯片技术	213
10.3 数字信号处理的优点	215
10.4 技术限制	216
10.5 数字助听器	216
10.6 指向性传声器系统	217
10.7 依赖于频率的滤波	221
10.8 噪声降低	222
10.9 动态压缩	223
10.10 反馈的降低	224
10.11 收听情况分类	225
10.12 助听器元件	227
10.13 助听器的验配	228
10.14 总结和展望	228
参考文献	228
第 11 章 听觉虚拟环境	
Pedro Novo	230
11.1 引言	230
11.2 听觉虚拟环境组成	231
11.2.1 引言	231
11.2.2 声源	231
11.2.3 环境模型	232
11.2.4 再现方法	234
11.2.5 信号处理	236
11.3 当前的系统和研究项目	238
11.3.1 引言	238
11.3.2 系统	238
11.3.3 AVE 方面的研究重点	239
11.4 结论	240

参考文献	241
第 12 章 数字音频技术的发展	
John N. Mourjopoulos	247
12.1 引言	247
12.1.1 综述	247
12.1.2 系统、格式和市场的趋势	248
12.2 技术进展	250
12.2.1 数字音频技术发展历史简介	250
12.2.2 进展机制	251
12.3 潜在的新兴技术	258
12.3.1 全数字音频链	259
12.3.2 声场控制	259
12.3.3 便携式的、互联的无线器件	259
12.4 结论	260
参考文献	260
第 13 章 语音的产生——声学、模型和应用	
Arild Lacroix	266
13.1 引言	266
13.2 语音产生机理	267
13.3 语音产生的声学原理	268
13.4 离散时间基础上语音产生的声管模型	268
13.5 参数估计	273
13.6 应用	277
参考文献	277
第 14 章 针对高质量和低数据率的语音和音频编码	
Ulrich Heute	281
14.1 引言和基础	281
14.1.1 信号数字化的简单综述	281
14.1.2 编码效率	282
14.1.3 语音产生的简要评论	283
14.1.4 声音感觉的简单综述	285
14.1.5 语音编码和“编码间隙”	286
14.1.6 宽带语音和音频的编码	287
14.2 语音编码	287
14.2.1 间隙的原点	287
14.2.2 弥合编码间隙的方法	289
14.2.3 弥合编码间隙	291
14.2.4 突破的基础	292

14.2.5 CELP 编码器	294
14.2.6 频率域的编码	295
14.2.7 宽带语音编码	298
14.3 音频编码的简短评论	298
14.4 将来的工作展望	299
14.4.1 音频编码	299
14.4.2 语音编码	300
14.5 更多相关资料	300
参考文献	302
通信声学英汉词汇索引	305

第1章 听觉场景的分析和合成

Jens Blauert^{① ②}

听觉是人与人之间的通信中人们最重要的感觉模态。因此，声学通信紧密相关。特别是最近，由于有极高的计算能力可供利用，声学通信系统变得日益复杂，且更具智能化。本章将以波鸿通信声学研究所跟踪了30多年的两个互补的研究方向为例，来讨论这种趋势：①以参数表示为目标的听觉场景分析；②起互补作用的由参数表示的听觉场景合成。讨论为研究而开发的两种软件系统，即双耳分析系统和听觉虚拟环境发生器，这两方面将作粗略的解释。本章的目的不是介绍科学或技术的细节，而是预测用不了几年就会得到印证的通信声学发展趋势。

1.1 引言

这部分内容将确定在通信声学发展中的三个最重要的里程碑：第一个里程碑是在真空三极管发明的推动下，微弱信号的放大成为可能；第二个里程碑要联系到电子计算机在声学中的应用，即声音信号的数字化处理；第三个里程碑正在发展中，而且与信息和技术的发展趋势有关。换句话说，技术系统逐渐具备越来越多的内置智能和专家知识。人们可以说：“通信声学变成了有认知力的科学！”，本章将进一步解释和证明第三个里程碑。

1.1.1 历史的回顾

声学是一个拉丁化术语，来源于希腊动词 ακούειν [akúin]，它的意思是“听”。在20世纪初，人们普遍认为，声学本质上是一门多学科的科学，一方面它是物理现象“声学事件”，另一方面它又是感觉现象“听觉事件”。有关的科学书籍如 Lord Rayleigh^[61]和 Von Helmholtz^[28]的书籍，提供了这种观点的证明。而且，在那个时候，就已经出现了某些发明，这些发明是后来应用技术的基础，例如，电视^[53]、电话^[62]、磁性录音^[59]和有声电影^[64]，然而，直到1910年以后，所有这些技术上的想法才向前推进了，用今天的销售术语可以称其为“招人喜爱的应用”，如无线电广播、有声电影、扬声器扩声系统和遍及世界的电话网络等的应用。而这些之所以

① 德国波鸿鲁尔大学通信声学研究所(Institute of Communication Acoustics, Ruhr-University Bochum, Bochum)。

② 丹麦奥尔堡大学声学系(Department of Acoustics, Aalborg University, Aalborg)。

成为可能,是由于真空三极管的发明^[11]和“微弱电流”的放大成为了现实。

因此,在1920年以后的几年中,声学的发展极为迅猛,除了纯粹的物理和听觉感知外,电子工程也成为该系统的一部分,而且产生了该领域的新名称,也就是“电声学”。创建了很多研究设施,还充实了一些有能力的教师,在德国如 H. Bakhausen, W. Reichardt, E. Meyer, L. Cremer 和 V. Aschoff 教授。

此外,计算机在这个领域的应用给予通信声学的发展以实质上的促进。位于美国新泽西州萨米特市的贝尔实验室是在这方面做出了先驱工作的杰出实验室,而 M. Schroeder^[66]在1968年的演讲,打开了这个领域中很多视野。数字信号处理是通信声学不可或缺的部分。事实上,如果没有数字信号处理,通信声学几乎所有的现代应用都是不可想象的^[31,44,52]。因此,通信声学已经成为与现代技术有关的一个分支。由于各种源于通信声学的技术都可以被认为是许多先进应用实质上的“使能技术”,所以计算机对通信声学的促进作用变得特别明显。例如,语音技术、双耳技术、感觉编码、音频工程、环绕声和听觉虚拟环境都是这样的使能技术。

最近几年来,有一个趋势令人瞩目,需要人们透彻分析,因为这一趋势很有可能形成通信声学在未来几年的研究热点。这种趋势反映一个事实:现代的信息和通信系统将会包含越来越多的内置智能和知识,事实上,这种普遍的趋向特别适用于通信声学,而通信声学在这方面也有了显著的进展,如在语音技术中,可以把先进的语音识别和对话系统作为例子。新的算法将要沿着这条路线发展,而且将出现更多巧妙和新奇的应用。有充分的证据表明通信声学的研究领域将得到进一步扩展,而且将会对技术和社会产生更重要的影响。

1.1.2 通信技术的经典范例

通信技术的传统主题是携带信息跨越时空的信号传输。一个传输系统通常由级联在一起的下列部分表示:① 信息源;② 编码器;③ 传输通道;④ 解码器;⑤ 信宿。

通道可以包含存储器,并加入线性和/或非线性失真和/或噪声。

一种类似的普遍结构广泛应用于通信声学的传输中,特别是常说的音频传输。这里的目的是把声音信号从空间上和/或时间上的某一点传输到另一点,在两种场合下的听觉感知彼此一致。在这点上,最严格的任务是“真实”再现,即使收听者在回放端听到和传输链记录端同样的声音。

达到真实再现的一个可能的方法是由双耳技术给出的^[25],它试图在收听者两耳的入口,真实地再现声音信号。这样就提供了足以使感觉真实的所有的声音线索。这样的双耳传输系统在图 1.1 中给出。系统的输入信号从真人的耳道拾取,或者从装在人头复制品(所谓的人工头或人头模型)上的传声器拾取,在这里用耳机完成回放,扬声器技术也可用于实现这个目的。

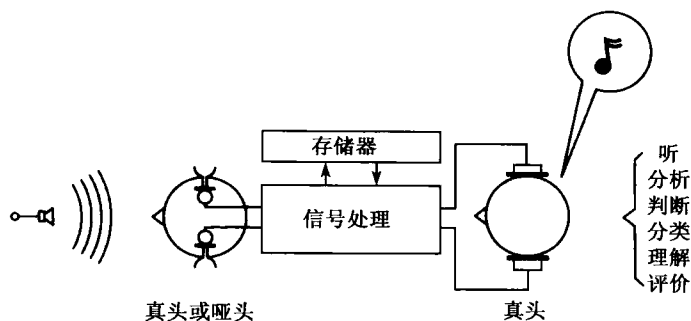


图 1.1 双耳传输系统示意图

为了可靠地再现耳信号，很显然需要均衡，例如，校正传声器或耳机加入的失真。如果要求录音存储，则系统中必须有存储器。事实上，我们看到的几乎所有的现代音频传输系统都有相当高的计算能力，即使你看一下某种标准的音响设备，如调音台，你也很可能发现里面有一台“计算机”。

1.1.3 经典传输链的分离

观察图 1.1，请考虑接收端收听者的作用。收听者，也就是信息理论术语中的信宿，要做一些如收听和分析他们的听觉事件，描述它们并对它们分类，评价它们并对它们加以判断。好的引导甚至能够使它们提供听到情况的定量描述，从而提供听觉场景的参数表示。

在任何情况下，计算能力都是必须的，无论这些收听者所产生的问题是否能够很好地用计算机执行，回答总是肯定的，而且，这的确是完成多种任务时经常遇到的情况，如语音识别系统和声音的品质(质量)评价。这种系统的功能用更普遍的术语来说，称为“听觉场景分析”(ASA)。图 1.2(a)表示相应的方框图。

在分析侧所要实现的当然也就是合成侧试图要实现的。这里的重点是要对收听者的耳朵产生声音输入信号，用这样的方法，收听者用预先描述的方法接收到一个听觉事件。例如，听觉场景，这里的各种要素都是被控参数。这样的“听觉场景”称为“听觉虚拟环境”(AVE)，而产生它们的系统就称为虚拟环境发生器。图 1.2(b)给出了解释这一概念的方框图。

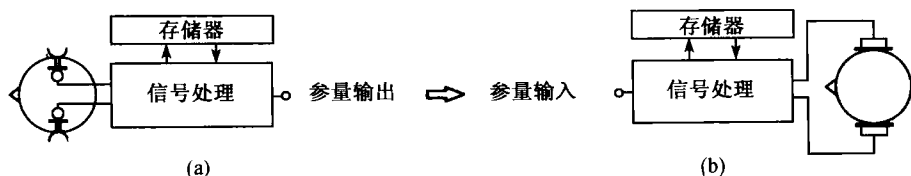


图 1.2 表示从图 1.1 中的方框图分离得到的示意图。(a) “听觉场景分析”系统(ASA)；
(b) “听觉虚拟环境”产生系统(AVE)

一个 ASA 系统和一个 AVE 系统, 当它们级联的时候, 能够形成一个参数传输系统。ASA 系统会分析听觉场景并把它们表示为一组参数描述符。这些参数集传输到合成侧, AVE 系统会重新合成在录音端所表现的听觉场景。参数传输系统已经广泛地用在通信声学中。作为一个例子, 对于目前技术能够达到的这样一种复杂系统, 人们可以想象如下: 一个语音识别系统产生一个表示语音音位的标音, 也就是在记录端所说的标音字母表, 这是一个简单的 ASA 的例子。然后标音串传输到语音合成系统, 它重新合成口头语音, 这是一个简单的 AVE 发生器的例子。顺便说一下, 对于标准速度的语音, 标音串的传输速度能够低到 50bit/s。研究已经表明: 这大致相当于人脑意识处理的比特率, 关于这个题目重要的早期工作见文献[43]。

下面将分别讨论 ASA 系统和 AVE 系统。很明显, 两种系统都具有一个共同的趋向, 也就是说, 它们要求的内置智能和知识越多, 它们就越复杂。

1.2 听觉场景分析

人们对于听觉场景分析有重要的技术要求, 所以, 这个领域是现在国际研究中重要的、有代表性的领域。其中, 重要的应用范围是声源识别和声源定位系统。特别是在多声源、噪声或混响等不利声学环境下, 例如, 基于声学上的监视和导航, 还有分离同时存在多个声源的系统, 即通常所说的“鸡尾酒会处理器”, 它作为助听器或鲁棒的语音识别器的前端是很重要的。对于听觉识别和评价任务的建模, 开始时用一个听觉场景分析器是可取的, 甚至是很必要的。例如, 在建筑声学中, 或者在语音和产品声音的评价系统中, 听觉场景分析器用作分析系统。在这方面, 通常所说的“内容滤波器”也值得一提。这些滤波器很适用于音像节目材料的自动存档和检索任务。在这些任务中, 可用来分析这些材料的内容和进行编码, 与 ISO/IEC^[48]建议的 MPEG-7 编码有许多相同之处。

就 ASA 系统用人的听觉信号处理作为原型而言, 它们的结构或多或少依据了图 1.3 中给出的结构。还必须注意到: 有些方法并不是直接由生物类推法而来的, 如由电子学控制的传声器阵列或盲源分离算法。下面的讨论限于双耳信号处理的基本思想(参见文献[13])。

双耳系统有两个前置端口, 它从人或假人头的左右耳获取信号作为输入, 有关信号处理步骤如下, 在模拟中耳某些不规则带通滤波器之后, 两路耳信号送到内耳模型, 也就是耳蜗模型。在这里执行下面的操作: 首先信号分解为适合耳的频谱分量, 称为临界频带分量。然后跟着一个消费电子学上被称为“自动音量控制”的部件, 换句话说, 就是类似压缩的处理。通过带通滤波器和压缩后的信号, 最后由内耳转换为表示神经活动性的信号。人们称这一过程为一种特殊的 A/D 转换。这种