

中国竹笛音乐的时域特征分析*

石蓓 王健 孟子厚

北京广播学院传播声学研究所 北京 100024

电话/传真: 010-6578-3400, E-mail: mzh@cuc.edu.cn

[摘要]分析了十首有代表性竹笛音乐。在特定的分析时窗下,运用不同的滑动步进间隔测量了这些曲目自相关函数的有效持续时间。通过对动态自相关函数特征参数的观察和总体平均,基于现有的理论,分析推测了这些曲目可能的最佳听闻声学参数。

引言

音乐的最佳听闻环境声学参数与音乐的时域特征有关,根据西方学者对西方音乐、西方听众的研究结果,欣赏音乐的最佳混响时间与音乐信号自相关函数的有效持续时间呈线性比例关系。基于这种关系,西方学者通过大量的试验以及理论分析推测出了西方音乐在不同的听闻环境下最适合的混响时间,例如剧院的混响时间是1s左右,室内乐需要2.5s,歌剧需要1.3-1.6s,音乐会稍长是1.8-2.0s。但是这个关系和具体的比例数值对中国民族器乐是否也适用,还没有人做过研究。为了探究民族器乐的最佳听闻声学参数,首先需要对民族器乐作品的时域特征进行测量分析。本文以竹笛音乐为例,进行了初步的分析。

音乐信号的时域特征

对于一个声信号 $p(t)$,通常用归一化自相关函数来描述它的特征: $\phi(\tau) = \frac{\Phi(\tau)}{\Phi(0)}$, 其

中自相关函数 $\Phi(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} p(t)p(t+\tau)dt$ 。积分区间 $2T$ 是有限的, $2T$ 取的越长,越能代表信号的整体特性。由于人们听到的音乐信号是经过人耳、大脑处理过的,相当于经过了一个线性系统,自相关函数应该表示为: $\Phi(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} p'(t)p'(t+\tau)dt$, 其中 $p'(t) = p(t) * s(t)$, $s(t)$ 对应于人耳的 A 计权冲击相应函数。

自相关函数的**有效持续时间**定义为归一化自相关函数的包络线下降到 0.1 并且其后的值都小于 0.1 时的滞后时间。这个参数与许多影响音质的主观参数有关联。根据主观实验,自相关函数的有效持续时间和混响时间之间的统计相关性为 0.99。他们之间的关系为[1]:

$$T_{60} \approx 23\tau_e$$

* 2004 年声频工程学术交流会论文集 2004 年 10 月武汉

音乐信号自相关函数的有效持续时间不仅与混响时间有关, 也与其他的一些室内声学参数有关, 但在本文所述实验中, 只对混响时间做考察。有效持续时间是反映音乐信号的基本特征参数。作为这次试验, 我们主要目的是在特定窗函数宽度下, 计算出所选竹笛曲目的统计特性, 即自相关函数的有效持续时间, 从而计算出竹笛音乐的统计上的混响时间。

竹笛音乐的时域特征分析

以下是对 10 首竹笛乐曲的时域特征分析, 经过多次试验, 选定所用时窗为 50 秒。这些图表明每首乐曲自相关函数有效持续时间随时间的变化。

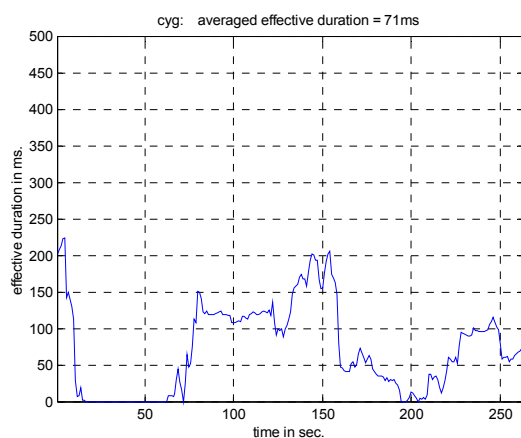


图 1 朝原歌

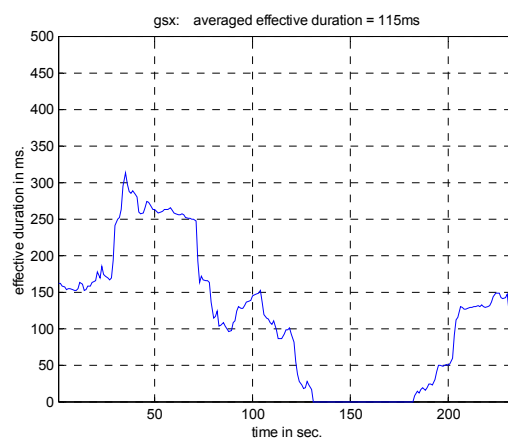


图 2 姑苏行

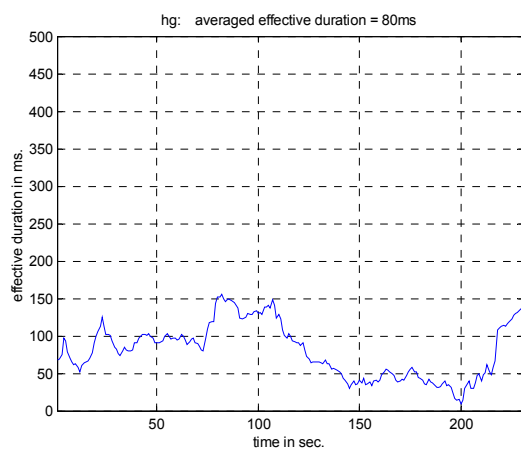


图 3 怀古

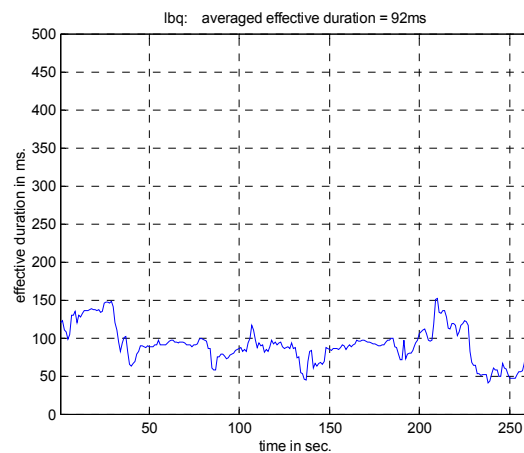


图 4 流波曲

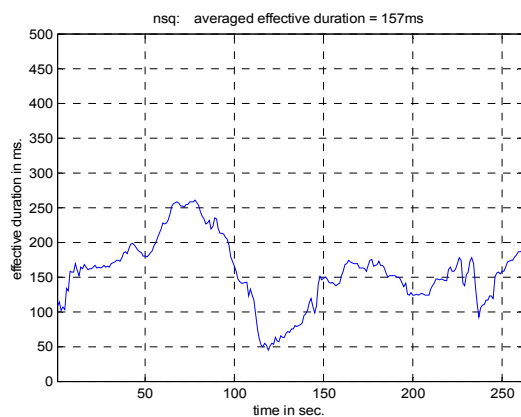


图 5 霓裳曲

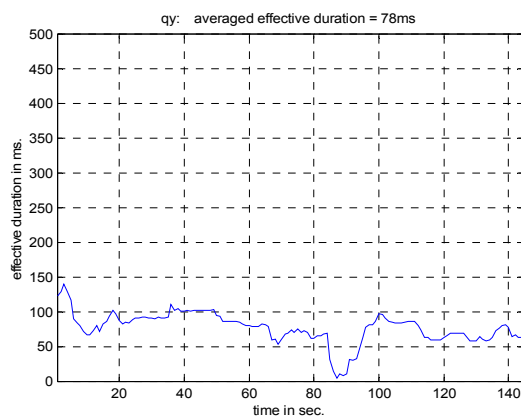


图 6 秋夜

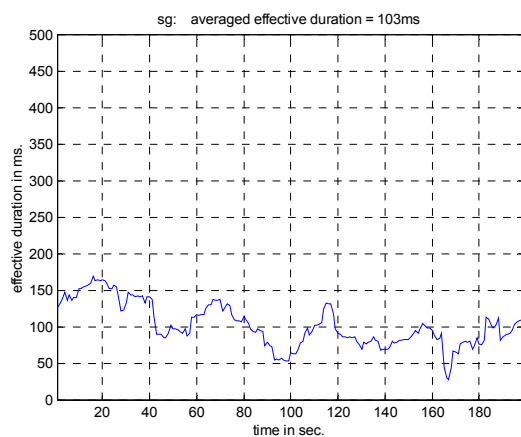


图 7 山歌

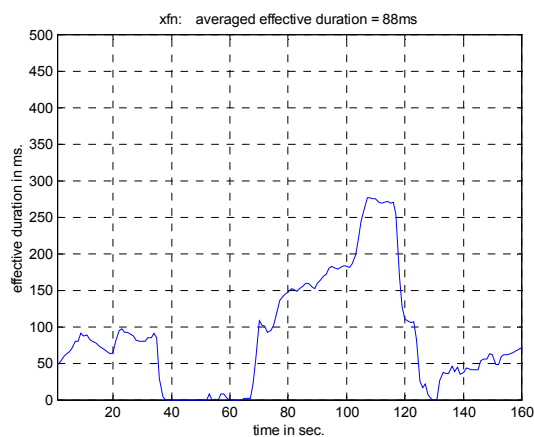


图 8 小放牛

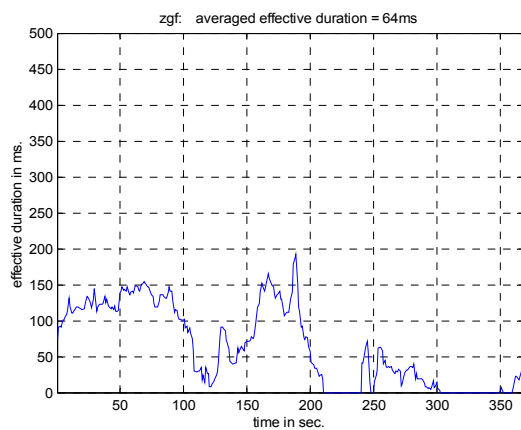


图 9 鹧鸪飞

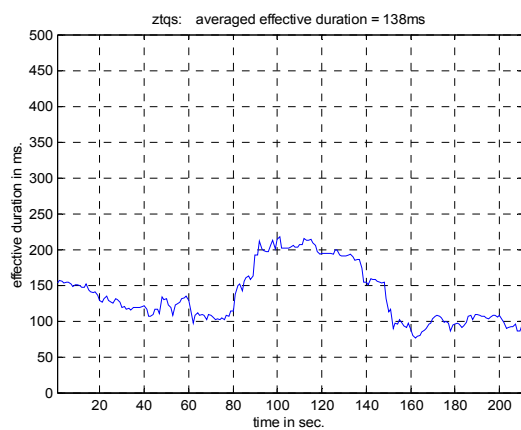


图 10 妆台秋思

基于现有的理论 $T_{60} \approx 23\tau_e$ ，计算出每首曲子的平均混响时间如下表所示。

表 1、竹笛曲目的时域特征

曲目	音调	平均有效持续时间(s)	混响时间 (s)	平均混响时间(s)
姑苏行	D	0.15	3.45	2.55
怀古	低音笛	0.09	2.07	
山歌	d	0.10	2.3	
霓裳曲	C	0.15	3.45	
流波曲	低音笛	0.08	1.84	
朝元歌	D	0.10	2.3	
小放牛	D	0.12	2.76	
妆台秋思	大G	0.15	3.45	
鹧鸪飞	D	0.09	2.07	
秋夜	大G	0.08	1.84	

分析图 1—10 中有效持续时间随乐曲时间的变化，有些变化缓慢平稳，如流波曲、山歌，有效持续时间分别在 80ms 和 100ms 左右浮动；有些变化起伏较大，如姑苏行、小放牛等。这是因为有效持续时间与乐曲的风格，节奏的快慢，吹奏的技巧都有关。舒缓静谧，节奏变化很慢的乐曲，有效持续时间较长；明亮轻盈或者激烈的乐曲，在技巧细节上比较注重，节奏响度变化明显，演奏者在处理上也比较细腻温润，有效持续时间较短。如果一首乐曲至始至中的风格都一致，比如都比较舒缓或者都比较激烈，那么它的有效持续时间就比较平稳，整首乐曲的混响时间可以设置为一个固定的值。如果乐曲中间有一些起伏变化，可以把整首乐曲划分成几个部分，每个部分的有效持续时间比较平稳，针对每一个不同的部分对乐曲设置不同的混响时间。

小结

本文所选用的曲目基本都是南方曲笛曲目，根据实验结果，我们可以得到这些曲笛音乐的平均混响时间为 2.53s，这个结果对于大多数曲笛音乐来说是比较合适的。将这种试验方法应用到其它民族乐器，如箫、笙等，同样可以分析出它们适当的混响时间。这些实验结果可以为进一步通过在模拟环境下的听觉心理学实验来探究竹笛音乐的最佳听闻声学参数提供了一个选择最佳混响时间等时域参数的基础。对竹笛音乐最佳听闻环境的设计和竹笛音乐录音作品的后期效果处理有实用价值。

参考文献

- [1] 安藤四一，音乐厅声学，科学出版社 1989