

轮胎花纹噪声仿真系统

杨立 金新航

(武汉工业大学机电学院 430070)

摘要 提出一种仿声方法,在由发声模型得到的声波波形数据基础上,经 PCM 编码、重新采样等处理,生成模拟室内测量和场地测量的标准格式的 WAV 声音文件,在多媒体计算机中运行,对花纹噪声进行仿真,产生轮胎噪声,为噪声主观评价提供监听环境。与轮胎花纹噪声频谱的客观评价相结合,进行综合分析,可以替代传统的轮胎花纹噪声测量评价方法,实现花纹方案筛选,既节约试验费用,又大大缩短设计周期。

关键词 轮胎花纹,计算机仿声,噪声评价

资料与实测分析证实,当车速大于 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,汽车噪声主要是轮胎花纹噪声。武汉工业大学自动化研究所经多年研究,对轮胎花纹噪声的发声机理、发声模型、噪声频谱及仿声系统等做了大量工作^[1,2]。各部分工作及其联系如图 1 所示。

其中,根据频谱来评价噪声只是一种客观评价,而噪声使人烦躁的程度最终是由人感受的,是一种主观评价,如果根据花纹结构形式制造出几套测试胎,再实测、评价,显然是费时费力又费钱。我们通过仿声系统模拟出花纹噪声,让噪声感受者对各种花纹噪声的烦躁度进行主观评价,并结合客观评价综合考虑,遴选出低噪声轮胎花纹方案,可见这是一种先进、实用和科学的办法。

1 计算机仿声

我们采用多媒体计算机和外围放音设备来完成花纹噪声的仿声,将发声模型得到的轮胎旋转时产生的一周期波形信息的数据,转换成 WINDOWS 下的 WAV 格式声音文件,通过声卡驱动外围放音设备,调节音量,

作者简介 杨立,女,55岁。副教授,硕士导师。1963年毕业于同济大学应用物理专业。在“PHG-240型防爆工业PH计”等两项国家重点攻关项目中完成了微处理器控制电路的研制。曾在《传感器世界》等杂志上发表论文。

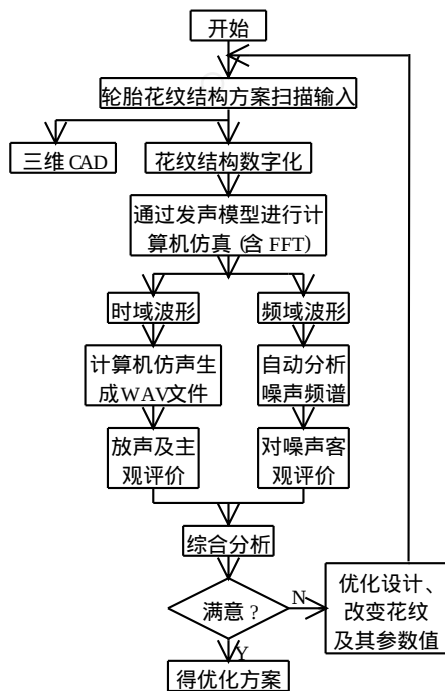


图1 轮胎花纹的微机仿真系统图

使之与实测时的噪声环境接近。

WAV 格式声音文件是对波形采用脉冲编码调制 (Pulse Code Modulation, 简称 PCM), 当信号带宽为 $w \text{ Hz}$ 时, 根据采样定理, 采样频率应大于 $2w \text{ Hz} \cdot \text{s}^{-1}$, 一般取 $(4 \sim 10)w \text{ Hz} \cdot \text{s}^{-1}$ 。我们考虑噪声的频率范围为 $0 \sim 5 \text{ kHz}$, 故在 WAV 文件的 3 种标准速率 $11.025, 22.05$ 和 $44.1 \text{ kHz} \cdot \text{s}^{-1}$ 中选取 $44.1 \text{ kHz} \cdot \text{s}^{-1}$, 足可满足噪声质量要求。

图 2 是 WAV 文件的格式描述,一般包括 3 个部分,第 1 部分表示文件是 RIFF 格式的 WAV 文件,第 2 部分是 fint 结构,用于

存储波形格式信息,第 3 部分是 data 结构,用于存储数据信息^[3]。
声卡是 16 位的,经 PCM 编码后的波形

fint 子数据块				data 子数据块			
RIFF	RIFF 块数据域大小	WAV	fint	fint 子块数据域大小	fint 子块数据域(波形格式信息)	data	data 子块数据域(波形数据信息)

图 2 RIFF 数据块的数据域

数据大小在 - 32 768 ~ 32 767 之间,声压幅度可达 $2^{15} - 1$ 。当声压幅度由最小分辨率到最大变化时,相应的噪声动态范围为

$$\begin{aligned} L_P &= 20\lg \frac{P_{\max}}{P_{\text{ref}}} - 20\lg \frac{P_{\min}}{P_{\text{ref}}} \\ &= 20\lg \frac{2^{15} - 1}{1} \\ &= 90 \text{ (dB)} \end{aligned}$$

能很好地覆盖噪声声压的变化范围。

2 花纹噪声室内测量的模拟

室内测量一般要在一个隔音和消声良好的实验室进行,在专用转鼓试验台上测试。转鼓匀速转动,拾音器相对轮胎是静止的。

根据发声模型得到的波形文件是花纹噪声一个周期的声压信息,在转换成 WAV 文件时,必须进行重采样等处理,以保证与标准声音文件的播放频率匹配,同时能实现持续播放。例如,发声模型得到的是个数 N 为 1 024 的波形样本值,当车速为 $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,采样频率大约为 $37.1 \text{ kHz} \cdot \text{s}^{-1}$,如果以 $44.1 \text{ kHz} \cdot \text{s}^{-1}$ 的标准速率播放,则相当于波形被压缩,使轮胎花纹噪声失真。

我们编制了生成 WAV 文件的软件。首先将 N 个样本值循环起来: $\text{DATA}(nN + i) = \text{DATA}(i)$ (n 为正整数),然后对应标准频率 $44.1 \text{ kHz} \cdot \text{s}^{-1}$ 进行第 j 次采样,作时间轴上的位置判断,它必在 $\text{DATA}(nN + i)$ 和 $\text{DATA}(nN + i + 1)$ 的值之间,利用梯形法求解出 $\text{DATA}(j)$,用此软件生成我们需要的 WAV 文件。为了验证上述处理是否造成波

形失真,我们作了波形对比分析,图 3 是某厂 B487 轮胎花纹仿真后得到的两组波形,其中 (a) 图是由花纹噪声发声模型得到的一个周期的噪声波形,采样频率为 $37.1 \text{ kHz} \cdot \text{s}^{-1}$, (b) 图是上述软件生成的 WAV 文件波形,采样频率为 $44.1 \text{ kHz} \cdot \text{s}^{-1}$,二图形对比分析,

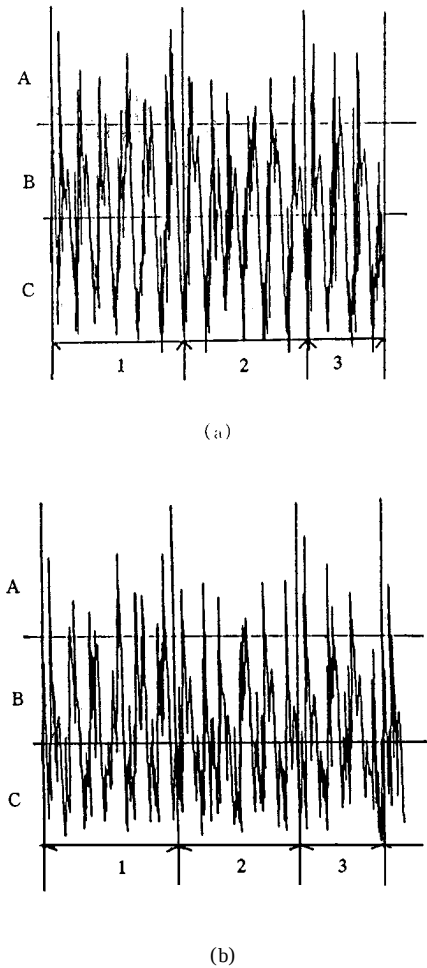


图 3 轮胎花纹 B487 噪声波形比较

形状基本一致。其中将轴分成3段是为了便于观察分析。

3 花纹噪声场地测量的模拟

场地测量即在车外测量时,车外的拾音器位于20 m跑道中心点的两侧,各距中心线7.5 m,距地面高1.2 m,拾音器接受面朝向试验车。图4为其示意图。

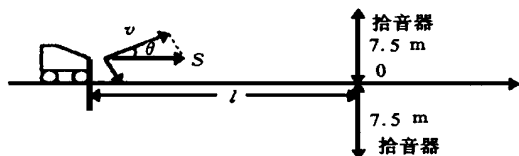


图4 场外测量示意图

仿声过程中,除了以上的考虑外,还要考虑多普勒效应及音量的变化,以模拟现场的感受。当轿车朝向听者驶来时,声音的音调在提高,当轿车驶离时,音调在下降。如果频率为 f_0 的声源以速度 u 朝向听者移动,则听者感受到的频率 f 为

$$f' = \frac{f_0}{1 - \frac{u}{c}}$$

c 为声速。反之,声源驶离听者时,

$$f' = \frac{f_0}{1 + \frac{u}{c}}$$

噪声测量中,拾音器所在位置距离轿车滑行轨迹较远,感受到的频率变化将与拾音器位于滑行轨迹上的情况有所不同。如图4所示,当轿车沿公路以恒定速度 S 行驶时,其相对拾音器的速度 v 为

$$v = S \cdot \cos\theta$$

其中 θ 为车辆与拾音器的连线与行驶方向之间的夹角。考虑到 θ 角有正负变化,则考虑多普勒效应后有

$$f' = f_0 \left(1 + \frac{S \cdot \cos\theta}{S \cdot \cos\theta + c} \right)$$

在WAV文件播放中,应模拟多普勒效应,需要通过对波形进行逐渐压缩(驶向拾音

器)和逐渐拉长(驶离拾音器)的处理来体现波形频率的变化,然而WAV文件播放时采样频率是不变的,不能通过改变采样时间间隔来实现这一波形变化,因此我们采用对波形进行变采样间隔,即随轿车相对拾音器的速度大小而改变采样间隔,对原离散波形进行采样,即车辆行驶中采样间隔由 $1/f$ 取代 $1/f_0$ 。再把以渐变的采样间隔得到的离散波形的数据用标准的恒定速率输出,通过这一反向过程可实现波形的压缩或拉长,从而体现频率的变化。在频率变化的同时,到达拾音器的声压幅度也随车辆到拾音器的距离而变化,近似认为与此距离成反比。图5给出

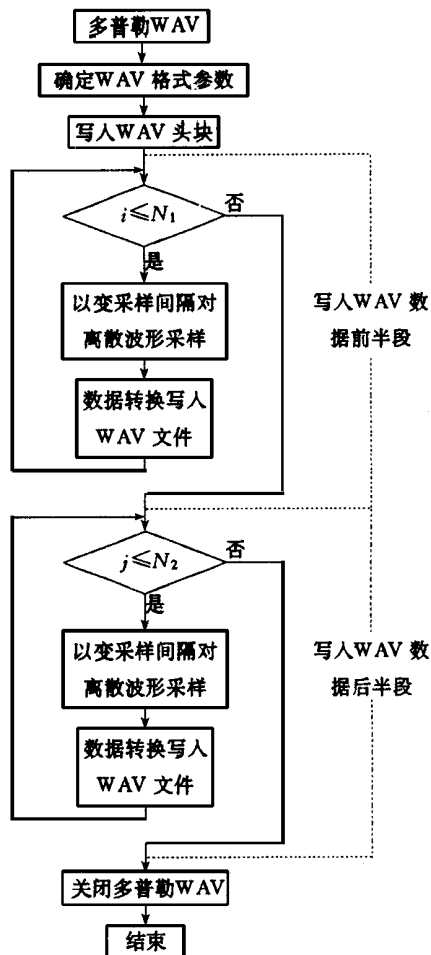


图5 模拟场地测量的WAV格式噪声软件流程图

了考虑多普勒效应的计算机模拟场地测量仿真软件框图。

4 结语

上述计算机仿声效果与实测时的录音很接近。如果要对花纹噪声加入背景噪声,运用 WINDOWS 下的声音编辑工具 Sound Impression Editor,能方便地实现两个 WAV 文件的同时播放,完全可模拟实测时的声学环境^[4]。

参考文献

- 1 Chen Lijun (陈理君), Yang Li (杨立). Computer Automatic Synthesizer Assessment for Noise Spectrum. Sensor World, 1996, 2(6): 3
- 2 陈理君, 杨光大, 董 芹. 低噪声轮胎花纹设计原则. 橡胶工业, 1997, 17(3): 150 ~ 155
- 3 潘金贵, 袁春风. 多媒体计算机软件开发环境与工具. 南京: 南京大学出版社, 1994. 169
- 4 陈建维, 赖静美. WINDOWS 多媒体——导论与音效. 台湾靖宇资讯科技股份有限公司, 1994. 4-3

收稿日期 1997-08-17

Simulation System of Tread Pattern Noise

Yang Li and Jin Xinhang

(Wuhan University of Technology 430070)

Abstract A sound simulation system has been proposed. A WAV sound file simulating the indoor measurement and field measurement in the standard form is formed by PCM coding and re-sampling based on the data of sound wave shape from a sound-generating model. The file is processed on a multi-media computer to simulate the tread pattern noise for the subjective assessment. Combined with the objective assessment of the tread patten noise spectrum, a comprehensive analysis of the subjective assessment can be used to replace the traditional assesement of the tread pattern noise for screening the tread pattern designs. The development cost is reduced and the design period is shortened by this method.

Keywords tread pattern, computer-sound simulation, noise assessment