

文章编号: 1002-0268 (2008) 04-0113-04

基于车辆噪音时域特征的交通量统计方法

高 晗, 裴玉龙

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 针对现有交通流数据采集设备存在造价高、采集精度不够及难于后期分析等实际问题, 提出了一种利用车辆音频时域信号特征进行交通量检测的方法。该方法根据车辆噪音信号的波形特点, 通过提取车辆噪音时域特征参数短时能量和过零率, 进行端点、特征跳变点检测及车型辨别、分类, 统计出交通量数据。试验结果表明, 结合音频信号时域能量分布和过零率能够实现交通量信息的有效检测, 同时为保证音频信息采集的有效性, 数据采集设备应安装在车辆加速行驶路段或凸形竖曲线顶部附近。该检测方法具有检测方便、设备投入少的特点, 统计精度能够满足工程实际需要, 适用于一般公路交通量的调查。

关键词: 交通工程; 交通量检测方法; 音频信号处理; 交通量; 时域特性

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

Statistic Method on Traffic Volume Based on Vehicle's Time-domain Noise Features

GAO Han, PEI Yu-long

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China)

Abstract: A novel survey method of traffic volume was put forward and experimented using the feature extraction of vehicle's time-domain noise, considering the existing problems like costly equipments for traffic flow data collection, lower efficiency in operation and obstacle of data analysis, etc. Traffic volume survey is one of the main works in traffic investigation and implementation. According to vehicle's noise waveform characteristics, it is shown that, the changed point can be obtained by analyzing the volume and zero cross rate in time-domain, and then the number and type of vehicles can be got. The research result states that this method is simple and economical. The statistic precision can correspond with need of the engineering. It can be used to investigate traffic volume in common highways.

Key words: traffic engineering; method of traffic volume survey; noise signal disposal; traffic volume; characteristic of time-domain

交通量调查是交通调查的重要工作之一, 是公路规划、设计和管理的主要依据。在实践中, 可采用人工检测法、线圈检测法及视频检测法等来实现交通量的统计和分类工作, 无论是调查实施期间还是后期分析, 工作量均十分巨大^[1]。

众所周知, 在当前科技水平条件下, 道路上车辆的存在着许多污染, 噪音便是其中之一。在物理学上, 噪音被认为是各种不同频率和声强的声音无规律

的杂乱组合; 从生理学观念来看, 就是干扰人们休息、学习和工作的声音; 噪音具有强度高、影响范围大、作用时间长等特点^[2]。道路交通噪音一般指机动车辆在交通干线上运行时所发出的超过国家标准 (白天 70 dB (A), 晚间 55 dB (A)) 的声音^[3,4]。道路交通噪音主要来自于行驶中的机动车, 车辆噪音包括发动机噪音、排气噪音、进气噪音、发动机冷却风扇噪音、轮胎噪音和传动噪音以及鸣笛噪音等, 其中以发

收稿日期: 2007-07-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50578056)

作者简介: 高晗 (1963-), 男, 辽宁绥中人, 教授, 博士研究生, 研究方向为道路交通安全. (gh1963@126.com)

动机噪音、轮胎噪音、排气噪音等为主。根据研究,汽车在低速行驶时 (≤ 30 km/h) 噪音最大; 当时速超过 50 km/h, 轮胎与地面接触所发生的噪音最为明显, 多辆车的噪音组合在一起就形成交通噪音。道路交通噪音的源头具有流动性, 是一种 60~80 dB 的中等强度的随机非稳态噪音, 与道路车流量、车辆类型、行驶车速、道路状况等相关。

语音识别技术在诸多领域已经取得了丰富的研究成果, 如音频分类^[5]、声调识别^[6]、音频信息检索^[7]等。在工程技术应用方面, 文献[8]利用小波变换理论, 通过建立直升机疲劳源的诊断方法和技术, 能够完成直升机主、尾桨噪音的分离。文献[9]、[10]对舰船等水中目标的识别进行了研究。

由于技术条件所限, 车辆噪音尚无法彻底消除, 作为一种客观存在, 它也为科技人员提供了一种更为简便的观测方式, 即通过噪音来统计交通流量、区分车型等。本文通过对车辆噪音信号的特征进行分析, 以探求不同车型、不同车速等条件下, 信号的时域变化和强度变化的规律, 进而对车型进行分类和统计。

1 车辆噪音波形特点分析

声音是一种正弦波, 具有振幅、频率、相位等特性, 有物理和心理两种相互关联的属性。物理属性与波形有关, 包括声强、频率、声波复合、谐波结构等属性。心理属性则与人的感觉有关, 且因人而异, 包括强度、音调、音色、音量、和谐等属性。噪音信号作为一种非平稳信号, 其频率特征十分明显。图1所示的分别是1辆小客车、1辆大型货车和2辆前后行驶的小客车在通过观测点时所产生的噪音信号波形, 从图中可以看出以下特点:

(1) 远处车辆接近观测点时, 噪音能量(音量)逐渐增大, 在观测点处达到最大值; 车辆远离观测点时, 噪音能量逐渐减弱。

(2) 由于外业观测环境的影响, 采集到的音频信号中含有一定的杂音数据, 使得在没有车辆通过时, 波形图上显示出的并非是一条直线。

(3) 同类型车辆所产生的噪音其声强差异不大。

(4) 不同车型的噪音波形特征差别较大, 大型车

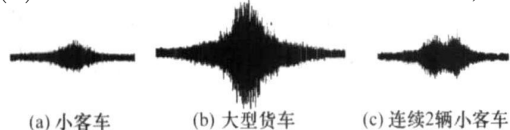


图1 车辆通过观测点的噪音波形

Fig 1 Waveform of noise while a car passing by observatory site

的噪音声强大、持续时间长。

由此可见, 如果能够在噪音信号中找到波形变化的突变点, 即可判断出此时有车辆通过, 根据其强度的大小和持续时间可推算出车型的类别。

2 车辆噪音特征提取

要对不同音频数据进行分析和辨别, 就必须从广泛的音频数据中提取特征信息, 所采用的方法是基于内容检索的方法。

2.1 车辆噪音时域特征提取

噪音信号具有时间延续性, 在长时间刻度内提取音频特征可以更好地反映音频所蕴含的信息。为了从噪音信号中分辨出车辆的噪音和车型的大小, 首先必须确定噪音信号开始和结束的位置。检测的方法有时域法和频域法, 若只是对声音波形做一些较简单的运算, 可采用时域法。频域法适用需要进行傅立叶转换来产生声音的频谱, 以便对声音进行分类。本文采用前者, 即时域法进行车辆音频信号的鉴别。

提取音频特征的常规做法是: 首先将音频信号分割为若干个短时帧, 帧长为 256 点 (约 23 ms), 相邻帧之间有 128 点 (1/3~2/3) 的重叠; 然后对每一帧进行加窗处理, 如汉明窗 (Hamming) 等; 最后计算每一帧的能量。

从短时帧中可以提取到的时域特征有短时能量、过零率和线性预测系数等, 其中的短时能量和过零率是时域端点检测的两个基本参量, 也是时域语音信号处理的基本参量。这里的能量也称为音量, 是代表声音的, 又称为力度、强度等。这些参数是以音频信号的时间波形为基础计算的。

(1) 短时能量

短时能量指在一个短时音频帧内采样点信号所聚集的能量。对于一段连续的音频信号流 x 得到 K 个采样点, 每个短时帧和窗口函数大小假定为 N , 帧移为 M 。对于第 i 帧第 n 个样本, 它与原始语音信号的关系为:

$$x_i(n) = x[(i-1)M + n], \quad (1)$$

其中, $x(n)$ 表示第 m 个短时帧信号中第 n 个采样信号值; $w(n)$ 是长度为 N 的窗口函数。

第 i 帧语音信号的短时能量 E 可以由公式(2)或公式(3)算得:

$$E(i) = \sum_{n=1}^N |x_i(n)|, \quad (2)$$

$$E(i) = 10 \times \log\left(\sum_{n=1}^N x_i^2(n)\right), \quad (3)$$

公式(2)仅进行简单的整数计算, 实现简单; 公式(3)需要进行浮点计算, 能够得到以分贝为单位的值。

短时能量特征通常用来进行静音检测, 其基本思想是: 对于一个音频片段, 如果这个片段中的某一短时帧平均能量低于给定的阈值, 则判断该短时帧为静音, 否则为非静音。在本研究中, 将语音信号分帧后计算每帧的短时能量, 再设定一个门限, 可以实现一个简单的端点检测算法, 如果某一短时帧的平均能量大于给定的阈值时, 则认为有车辆通过。车辆噪音能量分布见图2。

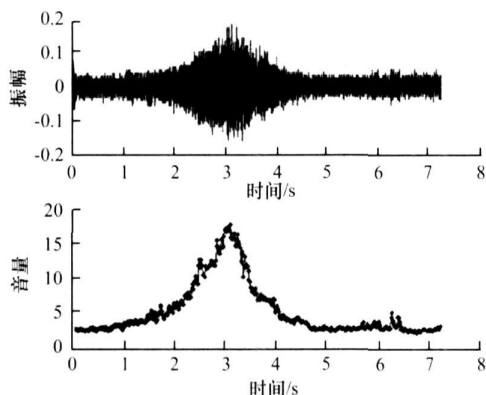


图2 车辆噪音的能量分布

Fig 2 Energy distribution of noise

(2) 过零率

过零率指在一个短时帧内, 离散采样信号值由正到负和由负到正变化的次数, 这个量一般能够反映信号在短时帧内的平均频率。对于音频信号流 x 中第 m 帧, 过零率由公式(4)得:

$$Z_m = 1/2 \sum_n \{ \text{sign}[x(n)] - \text{sign}[x(n-1)] \} w(n-m), \quad (4)$$

其中, $x(n)$ 表示第 m 个短时帧信号中第 n 个采样信号值; $w(n)$ 是长度为 N 的窗口函数; 当 $x(n) \geq 0$ 时, $\text{sign}[x(n)] = 1$, 否则 $\text{sign}[x(n)] = 0$ 。

2.2 端点检测流程

在语音信号检测中, 通常利用过零率来检测静音、用短时能量来检测浊音, 两者配合可以实现比较可靠的端点检测。

本文采用双阈值法进行噪音信号端点的检测, 方法是在开始进行端点检测之前, 首先为短时能量和过零率分别确定两个门限, 一个是比较低的门限, 其数值比较小, 对信号的变化比较敏感, 很容易就会被超过; 另一个是比较高的门限, 数值比较大, 信号必须达到一定的强度, 该门限才可能被超过。低门限被超过则有可能为车辆噪音信号的开始, 高门限被超过则

可以基本确信是由于车辆噪音信号引起的。

与噪音波形相对应, 对一个完整的噪音信号进行端点检测, 可大致分为5个阶段: 静音段、提升段、噪音段、下降段和静音段。在静音段, 如果能量或过零率超越了低门限, 就应该开始标记起始点、进入提升段。在提升段, 由于参数的数值比较小, 不能确信是否处于真正的噪音段, 因此只要两个参数的数值都回落到低门限以下, 就将当前状态恢复到静音状态。而如果在过渡段中两个参数中的任一个超过了高门限, 就可以确信进入噪音。当前状态处于噪音音段时, 如果两个参数的数值降低到低门限以下, 而且总的计时长度小于最短时间门限, 则认为这是一段噪音, 随着时间的推移, 一个参数将会回落到低门限以下, 进入下降段, 当两个参数均回落到低门限以下时, 则进入静音段, 标记为结束端点, 并进入下一阶段的检测。一些突发性的噪声, 如汽车的鸣笛等引起的噪声, 也可以引起短时能量或过零率的数值很高, 但是往往不能维持足够长的时间, 这些可以通过设定最短时间门限来判别。

3 试验过程和试验结果分析

3.1 试验过程

试验数据选用在双车道二级公路进行外业交通量调查时采集的音频数据。观测点设置在平缓上坡路段的路肩边缘, 数据的采样频率为 8 kHz, 采样精度为 8 位, 数据以未经压缩的 wav 格式保存。

短时帧长度的确定。短时帧的长度直接影响到分析结果, 根据实际测定, 考虑到车辆噪音持续的时间, 1 辆以 60 km/h 速度行驶的车辆在 2 048 ms 内将走行 34 m, 也就是说距观测点左右各 17 m, 符合大多数车辆的真实运行情况。因此选择 2 048 ms 作为短时帧的长度, 并且有 1 024 ms 的叠加。对于 8 kHz 采样频率, 2 048 ms 的帧长对应 16 384 点。

端点检测参数的确定。门限值需根据不同采集状态进行标定。本试验中低门限选用 0.1, 高门限取 0.2; 过零率取 10%。

3.2 试验结果分析

为便于分析, 从样本文件中随机截取一段 40 s 的数据, 根据上节介绍的方法, 得到噪音能量和过零率计算结果如图 3 所示, 过零检测的结果列于表 1。从结果上可以简单地判断出共有 5 辆车驶过观测点。

从图 3 可以看出, 选择 2 048 ms 作为短时帧的长度和 1 024 ms 作为帧移长度进行分析, 能够准确车辆运行情况; 采用双门限可有效检测出噪音的端点。在

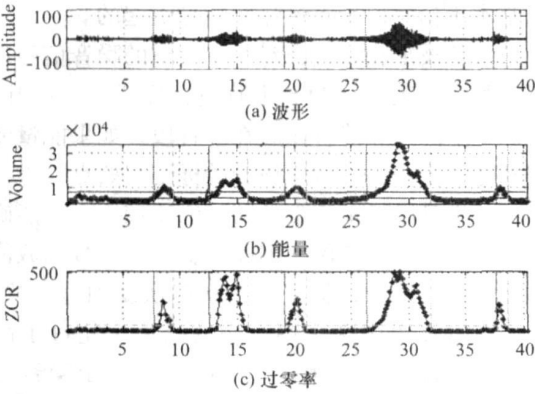


图 3 能量和过零率分析结果

Fig 3 Results of energy and zero crossing rate

表 1 端点检测结果

Tab 1 Results of end-point detection

序号	样本起点	样本终点	帧起点	帧终点	时长/ms
1	61 440	74 752	60	73	1 664
2	100 352	126 976	98	124	3 328
3	153 600	168 960	150	165	1 920
4	210 944	256 000	206	250	5 632
5	301 056	309 248	294	302	1 024

第 15 s 和第 30 s 处所对应的能量图与过零率图上均具有两个极值点，这种情况是在此处有 2 辆车连续通过所导致。因此单纯地用过零率一种方法进行端点检测会产生偏差。

表 1 中的结果能够反映出车辆从一个端点到另一个端点所使用的时间。小汽车所使用的时间通常比大型车要短，据此可以判断出第 1、3 和 5 时段内所通过的车为小型车，这与实际情况完全相符，时段长度为 1~2 s。第 2 时段是 2 辆小型车的噪音信号产生了叠加，其时段长度大约是单车的 2 倍，能量值大约是单车的 1.5 倍。第 4 时段中，从时长上看相当于小型车的 3~5 倍，第 1 个极值点处的能量值远远高于小型车，据此可判断出此处为大型车；第 2 个极值点处的能量为小型车的 2 倍，是信号叠加的结果，因此可判断此车为小型车。通过以上分析，检测结果为：小型车 6 辆、大型车 1 辆，与实际情况相符。

4 结论

根据车辆的噪音信号来统计交通量和对车型进行简单分类是完全可行的，能够满足我国公路交通量调查的精度要求。对于交通量很大和车道数较多的公路，会产生一定的偏差。为提高车型识别的精度，特别是车辆并行时，容易给识别工作带来困难，可以在间隔 50~100 m 处增设数据采集设备，以便进行对比

分析。为保证车辆的噪音信号清晰，容易识别，建议将数据采集设备安装在车辆加速行驶路段或凸形竖曲线顶部附近。

本文将语音识别技术引入交通工程应用技术领域尚属首次。与图形图像识别技术相比，虽同属于数字信号处理问题，但在工程实践中，音频信号的采集要比视频信号的采集简便得多，对设备的要求也较低，能够降低工程成本。因此，基于音频信号的识别技术，将会在交通工程领域得到更广泛的应用。

参考文献:

References:

[1] 任英伟, 陆键, 王海燕, 等. 交通量观测数据处理的模糊融合算法 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (9): 85 - 89.
REN Ying-wei, LU Jian, WANG Hai-yan, *et al.* Fuzzy Fusion Arithmetic for Adjusting Observed Traffic Data [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23 (9): 85 - 89.

[2] 常玉林, 王炜. 城市道路交通噪声分析和预测方法研究 [J]. 公路交通科技, 2003, 20 (2): 169 - 171.
CHANG Yu-lin, WANG Wei. Analyzing and Forecasting Urban Road Traffic Noise [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20 (2): 169 - 171.

[3] 曾德芳, 皇甫月红, 何礼林, 等. 我国城市道路交通噪声污染及其对策 [J]. 武汉交通科技大学学报, 1997, 21 (6): 700 - 703.
ZENG De-fang, HUANGFU Yue-hong, HE Li-lin, *et al.* Pollution of the Traffic Noise from Municipal Roads of Our Country and the Countermeasure [J]. Journal of Wuhan Transportation University, 1997, 21 (6): 700 - 703.

[4] 周海生, 吕伟民, 葛剑敏, 等. 阻尼沥青路面降噪特性的研究 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (8): 8 - 12.
ZHOU Hai-sheng, LV Wei-min, GE Jian-min, *et al.* Noise-reducing Mechanics of Damping Asphalt Pavement [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (8): 8 - 12.

[5] 卢坚, 陈毅松, 孙正兴, 等. 基于隐马尔可夫模型的音频自动分类 [J]. 软件学报, 2002, 13 (8): 1 593 - 1 597.
LU Jian, CHEN Yi-song, SUN Zheng-xing, *et al.* Automatic Audio Classification by Using Hidden Markov Model [J]. Journal of Software, 2002, 13 (8): 1 593 - 1 597.

[6] 赵鹤鸣, 周旭东, 金延庆, 等. 基于小波变换的重叠语音基频提取及声调识别 [J]. 声学学报 (中文版), 1999, 24 (1): 87 - 93.

(下转第 121 页)

- 公路交通科技, 2007, 24 (9): 112– 115.
- FAN Wei-wei, CHENG Lin. The Study on Shortest Path Problems in Stochastic Traffic Network [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (9): 112– 115.
- [3] ALI M K M, KAMOUN F. Neural Networks for Shortest Path Computation and Routing in Computer Networks [J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 1993, 4 (6): 941– 954.
- [4] AHN C W, RAMAKRISHNA R S, KANG C G, *et al.* Shortest Path Routing Algorithm Using Hopfield Neural Network [C] // Electronics Letters 13th September 2001, 37 (19): 1 176– 1 178.
- [5] 潘福全, 陆键, 王丰元, 等. 包含禁行路线路网的最优路径HNN算法[J]. 公路交通科技, 2007, 24 (6): 97– 101.
- PAN Fu-quan, LU Jian, WANG Feng-yuan, *et al.* HNN Algorithm for Optimal Path of Road Network with Restricted Routes [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (6): 97– 101.
- [6] TAN Y, DENG C, HE Z Y. A Chaotic Annealing Neural Network and Its Application to Direction Estimation of Spatial Signal Sources [C] // Neural Networks for Signal Processing VII. Florida, USA: IEEE Press, 1997: 233– 244.
- [7] 谭莹, 邓超. 暂态混沌神经网络在人眼运动机制模拟中的应用[J]. 自动化学报, 1999, 25 (1): 133– 137.
- TAN Ying, DENG Chao. Application of Transiently Chaotic Neural Network to Simulation of Human Eye Movement Mechanism [J]. Acta Automatica Sinica, 1999, 25 (1): 133– 137.
- [8] 谭莹, 王保云, 何振亚, 等. 一种具有暂态混沌和时变增益的神经网络及其在优化计算中的应用[J]. 电子学报, 1998, 25 (7): 123– 127.
- TAN Ying, WANG Bao-yun, HE Zhen-ya, *et al.* Neural Networks with Transient Chaos and Time-variant Gain and Its Application to Optimization Computations [J]. Acta Electronica Sinica, 1998, 25 (7): 123– 127.
- [9] TAN Y, LIU Z K. Signal Detection in Digital Communications in Terms of a Chaotic Neural Network [C] // Proc 9th IEEE Signal Processing Workshop on Statistical and Array Processing USA: 1998: 260– 263.
- [10] 杨兆升, 姜桂艳, 温慧敏. 流体神经网络在交通网用户最优路径选择中的应用研究[J], 中国公路学报, 1999, 12 (sup.): 76– 80.
- YANG Zhao-sheng, JIANG Gui-yan, WEN Hui-min. Application of Fluid Neural Network on Route Choice Based on User Optimum in Traffic Network [J]. China Journal of Highway and Transport, 1999, 12 (sup.): 76– 80.
- (上接第 116 页)
- ZHAO He-ming, ZHOU Xu-dong, JIN Yan-qing, *et al.* Overlapping Speech Pitch Extraction and Tone Recognition Based on Wavelet Transform [J]. Acta Acustica, 1999, 24 (1): 87– 93.
- [7] 宋博, 须德. 音频信息检索的研究及实现[J]. 计算机应用, 2003, 20 (12): 52– 54.
- SONG Bo, XU De. Research and Implementation of Audio Information Retrieval [J]. Computer Applications, 2003, 20 (12): 52– 54.
- [8] 熊峻江, 尚大晶, 郭爱民. 直升机声疲劳源的诊断技术研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28 (2): 138– 140.
- XIONG Jun-jiang, SHANG Da-jing, GUO Ai-min. Diagnose of Noise Fatigue Sources of a Helicopter [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2002, 28 (2): 138– 140.
- [9] 蔡悦斌, 张明之, 史习智, 等. 舰船噪声波形结构特征提取及分类研究[J]. 电子学报, 1999, 27 (6): 129– 130.
- CAI Yue-bin, ZHANG Ming-zhi, SHI Xi-zhi, *et al.* The Feature Extration and Classification of Ocean Acoustic Signals Based on Wave Structure [J]. Acta Electronica Sinica, 1999, 27 (6): 129– 130.
- [10] 周有, 韩鹏, 相敬林. 舰船噪声通过特性过零数特征的分析与应用[J]. 探测与控制学报, 2007, 29 (1): 64– 67.
- ZHOU You, HAN Peng, XIANG Jing-lin. Analysis and Application of Ship-radiated Noise's Zero-crossing Number [J]. Journal of Detection and Control, 2007, 29 (1): 64– 67.