频谱相似性目标识别算法

卢 胜，王正刚，李纯厚
(解放军炮兵学院，合肥 230031)

摘要：地面运动目标识别的难点是对不同类型车辆目标的识别。介绍了一种地面运动目标的信号识别方法——频谱相似性，详细地叙述了频谱相似性算法的原理，从理论上证明了算法的正确性。通过对实际采集轮式和履带车辆行驶时所发出的声信号作为样本进行训练，再对测试声信号采用频谱相似性算法进行识别，实验结果证明了该算法的可行性。与复杂声信号识别算法相比，该算法具有计算量小、易于移植到 DSP 等小型信号处理器件上的优点。

关键词：信号识别；频谱相似性；目标识别
中图分类号：TN911 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3630(2010)-01-0094-05
DOI 编码：10.3969/j.issn1000-3630.2010.01.022

An algorithm for object discrimination by spectra similarity

LU Sheng, WANG Zheng-gang, LI Chun-hou
(*Artillery Academy of PLA*, *Hefei* 230031, *China*)

Abstract: The difficulty of ground moving object discrimination is to identify different types of vehicles. This article introduces a method of discriminating the ground moving object -- Spectra Similarity. The principle of Spectra Similarity algorithm is described in detail and the validity of algorithm is proved in theory. The acoustic signals of wheeled vehicle and tracked vehicle are used as the samples for training, then the testing acoustic signals are distinguished with Spectra Similarity, and finally the feasibility of the algorithm is proved with experiment. Compared with the complex acoustic signal discrimination algorithm, this algorithm has advantages of less quantity of calculation and easily transplanting to the mini signal processor of DSP.

Key words: signal discrimination; spectra similarity; object discrimination

1 引 言

本文介绍了基于目标信号频谱相似性的目标识别方法。该方法是基于同种目标在同种地面上行驶发出的声信号频谱的相似性，根据每一个采样点上待识别的目标与不同车辆的模板的差异度进行统计来判断目标属性，具有计算量小、识别率高、且易于移植到 DSP 等小型信号处理器件上的优点。下面以声信号为例，具体描述算法的训练与识别过程。

2 识别算法的训练

目标发出的声信号通常是并非平稳随机信号，但是声信号的一个重要特点是它的“短时性”，只有在约 10~60ms 时间间隔内保持相对稳定一致的特征，对于声信号的分析必须建立在短时的基础上[1,2]。

收稿日期：2008-11-16；**修回日期**：2009-02-10
基金项目：教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-05-0910)
作者简介：卢胜(1968-)，男，安徽人，副教授，研究方向为信号与信息处理。
通讯作者：王正刚，E-mail: wangzhenggang-12@.163.com

识别地面运动目标的难点在于轮式和履带车辆的区分。本文就解决这一问题做了一些研究。

目标样本是于 2008 年 11 月 18 日前往广西桂林某部队实地采集的两种车辆发出的声信号。当天天气晴朗，气温 20℃，风速 2m/s。采集过程中计算机以 8kHz 采样率、单声道工作模式采集一辆东风卡车和一辆履带车辆在硬土地、沙地和水泥地三种介质环境下距离传感器 50m、150m 行进所产生的声信号数据共 132 组(120 组训练样本，50m、150m 各 60 组，12 组测试样本)，通过异步串行口传回计算机并以 wav 格式存储。

2.1 时域加窗以及归一化

由于传感器离车辆的距离不同，所以接收到的信号强度不同，要将不同距离的信号与同一个幅值标准信号进行比较判断，就要对不同距离接收到的信号进行归一化处理[3,4]。

实验证明，在时域中将信号进行归一化，不同目标信号的区分度比在频域中进行归一化更大，为了得到更好的识别效果，本算法采用了时域归一化来处理不同强度的声信号[5]。

每一组信号均截取 2s 时间长度作为样本。然后

根据采样频率选择长度为 L(本实验中 L 取值 512)的窗口 f_L [6]。利用 f_L 连续截取时间序列，得到 N 个短时时间序列 $\{x_1,x_2,\cdots,x_N\}$，本实验取 $N=16$，其中

$$x_j=\{x_{j1},x_{j2},\cdots,x_{jL}\},\quad (j=0,1,\cdots,16)$$

将时间序列 x_j 的每一个点信号的绝对值相加，用每一个时域信号除以这个值，就是将强度不同的信号在时域中归一化，使得传感器在不同距离接收的同种类型的信号具有可比性。时域归一化公式为：

$$x_j=x_j/\sum_{i=1}^{L}\|x_j\| \tag{1}$$

为了避免进行 FFT 时产生吉布斯效应，必须对 $\{x_1,x_2,\cdots,x_{11}\}$ 进行平滑过滤。平滑过滤器一般选择汉明窗口(Hamming window)。其表达式为[3,7]：

$$W_i=0.54-0.46\cos(\frac{2\pi i}{L}),\ i=0,1,\cdots,L-1$$

$$x_{ji}=x_{ji}W_i,\qquad j=0,1,\cdots,N;\ i=0,1,\cdots,L-1$$

2.2　求平均值向量

将 $\{x_1,x_2,\cdots,x_{16}\}$ 分别进行 512 点快速傅里叶变换从而得到 16 个代表能谱特征的向量 $\{P_1,P_2,\cdots,P_{16}\}$，每个向量包含 L 个的 FFT 系数，其中

$$P_L=(P_{11},P_{22},\cdots,P_{16L})$$

首先求出每个向量同一采样点所对应的 FFT 系数的均值即：

$$\bar{P}_L=\sum_{i}^{16}(P_{iL})/16 \tag{2}$$

再求出每个向量同一采样点所对应的 FFT 系数的均方根 Y_L (Y_L 的维数还是 512)，Y_L 的表达式为：

$$Y_L=\sqrt{\sum_{i=1}^{16}(P_{iL}-\bar{P}_L)^2/16} \tag{3}$$

2.3　求最佳相似频谱模板(简称频谱模板)

将同类型车辆在同种地面上行驶所发出的 60 组声信号做集总平均，f_L 就是目标在这种环境下的频谱模板。

$$f_L=\sum_{K=1}^{60}Y_{KL}/60 \tag{4}$$

实地采集的信号经过上述的处理之后，得到 12 组频谱模板，分别为硬土地轮式车声频谱、硬土地履带车声频谱、沙地轮式车声频谱、沙地履带车声频谱等，将其设为 12 个数组值，存储于计算机中。

3　目标的识别程序流程

在调用测试样本后，经过时域加窗、归一化以及求平均值向量以后，得到一组与频谱模板同等长度的频谱数组，将该数据作为一个数组分别与公式(4)中得到的 12 组频谱模板的每一维对应点的数据作最小平方和估计：

$$z_i=\sum_{L=1}^{512}(F_L-f_L)^2 \tag{5}$$

其中 F_L 为测试样本数组值，f_L 为某种情况下的频谱模板数组值，则 z_i 最小的那一组就是该目标的归属类。图 1~4 是车辆在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号分别与两种车辆在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图。图 5、6 是两种车辆在水泥地上以时速 30km/h 行驶的声信号频谱模板的对比图。图7、8 是两种车辆在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱(用到的白噪声和背景噪声来自于标准声音库加入信噪比为 10dB 的高斯白噪声)与轮式车在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图。图 9、10 是轮式车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱(加入信噪比为 10dB 的高斯白噪声)与两种车辆声信号频谱模板的差异曲线(为了便于直观表示，所有图中横坐标均为频率值，但实验

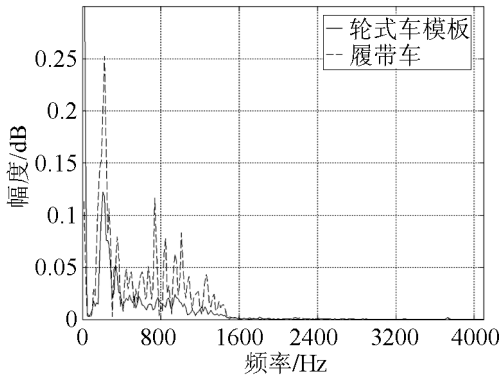

图 1　履带车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱与轮式车在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图

Fig.1　Comparison between the acoustic signal spectra of the tracked vehicle moving on the cement ground at the speed of 20km/h and the acoustic signal spectrum template of the wheeled vehicle moving on the cement ground

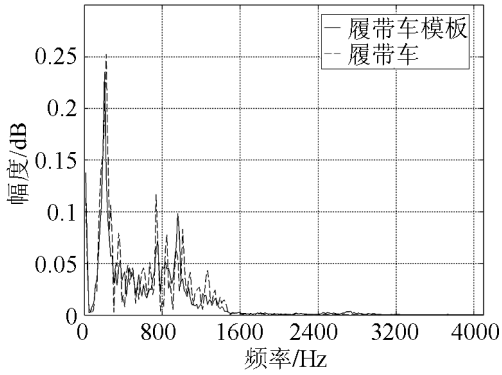

图 2　履带车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱与履带车在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图

Fig.2　Comparison between the acoustic signal spectra of the tracked vehicle moving on the cement ground at the speed of 20km/h and the acoustic signal spectrum template of the tracked vehicle moving on the cement ground

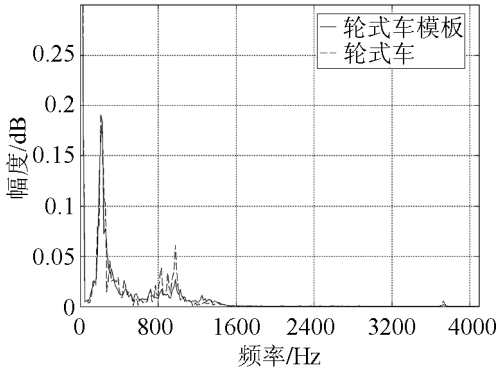

图 3 轮式车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱与轮式车在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图

Fig.3 Comparison between the acoustic signal spectra of the wheeled vehicle moving on the cement ground at the speed of 20km/h and the acoustic signal spectrum template of the wheeled vehicle moving on the cement ground

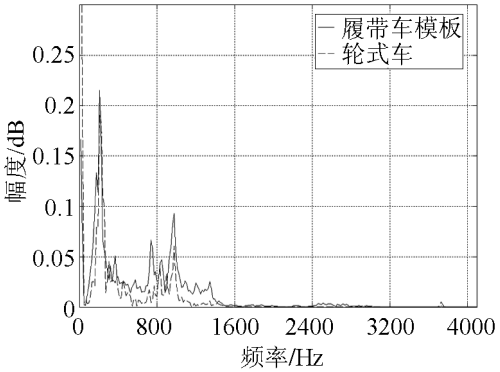

图 4 轮式车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱与履带车在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图

Fig.4 Comparison between the acoustic signal spectra of the wheeled vehicle moving on the cement ground at the speed of 20km/h and the acoustic signal spectrum template of the tracked vehicle moving on the cement ground

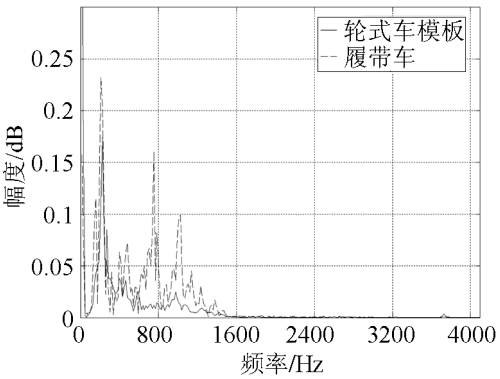

图 5 履带车在水泥地上以时速 30km/h 行驶的声信号频谱与轮式车在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图

Fig.5 Comparison between the acoustic signal spectra of the tracked vehicle moving on the cement ground at the speed of 30km/h and the acoustic signal spectrum template of the wheeled vehicle moving on the cement ground

中计算的是各个采样点上的频率幅值差异)。车辆行驶的声信号频谱与频谱模板的比较结果见表 1、2。

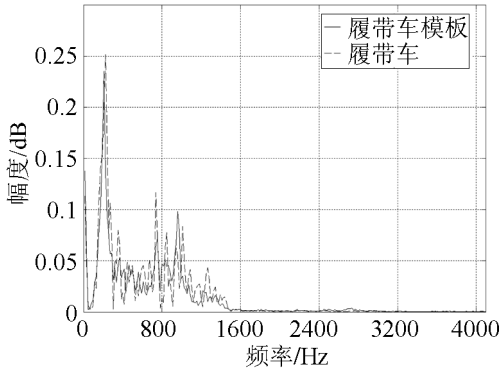

图 6 履带车在水泥地上以时速 30km/h 行驶的声信号频谱与履带车声信号频谱模板的对比图

Fig.6 Comparison between the acoustic signal spectra of the tracked vehicle moving on the cement ground at the speed of 30km/h and the acoustic signal spectrum template of the tracked vehicle moving on the cement ground

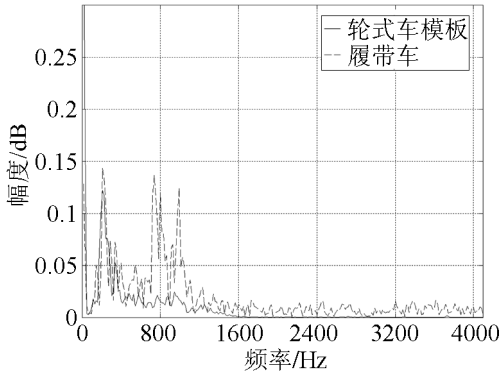

图 7 履带车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱(加入信噪比为 10dB 的高斯白噪声)与轮式车在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图

Fig.7 Comparison between the acoustic signal spectra (including white Gauss noise with SNR equal to 10dB) of the wheeled vehicle moving on the cement ground at the speed of 30km/h and the acoustic signal spectrum template of the tracked vehicle moving on the cement ground

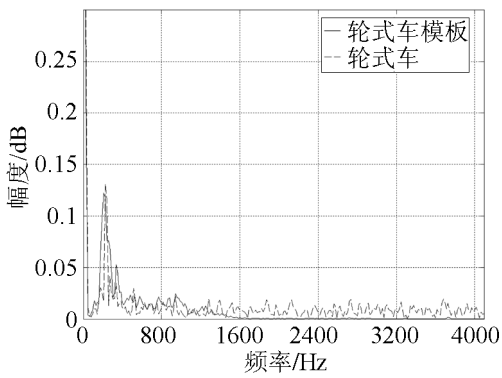

图 8 轮式车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱(加入信噪比为 10dB 的高斯白噪声)与轮式车在水泥地行驶的声信号频谱模板的对比图

Fig.8 Comparison between the acoustic signal spectra(including white Gauss noise with SNR equal to 10dB) of the wheeled vehicle moving on the cement ground at the speed of 20km/h and the acoustic signal spectrum template of the wheeled vehicle moving on the cement ground

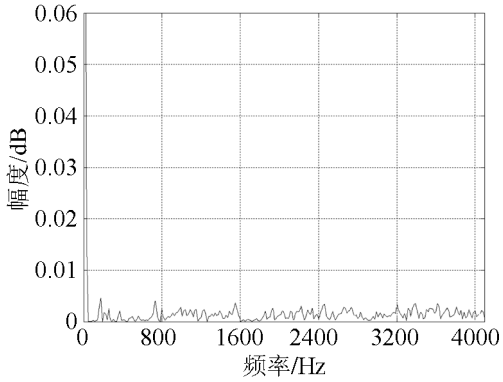

图 9　轮式车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱(加入信噪比为 10dB 的高斯白噪声)与轮式车在水泥地行驶的声信号频谱模板的差异曲线

Fig.9　The difference curve between the acoustic signal spectra (including white Gauss noise with SNR equal to 10dB) of the wheeled vehicle moving on the cement ground at the speed of 20km/h and the acoustic signal spectrum template of the wheeled vehicle moving on the cement ground

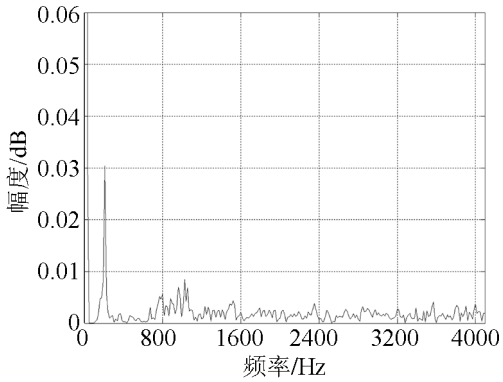

图 10　轮式车在水泥地上以时速 20km/h 行驶的声信号频谱(加入信噪比为 10dB 的高斯白噪声)与履带车在水泥地行驶的声信号频谱模板的差异曲线

Fig.10　The difference curve between acoustic signal spectra (including white Gauss noise with SNR equal to 10dB) of the wheeled vehicle moving on the cement ground at the speed of 20km/h and the acoustic signal spectrum template of the tracked vehicle moving on the cement ground

从表 1~2 可以看出，同种类型的车辆在同种地面上行进时声音信号的频谱差异比较小。在加入高斯白噪声之后虽然不同目标性质的差异程度减小，但仍然可以分辨出车辆的性质。通过对轮式车和履带车在三种地面行驶的各 10 个测试样本进行识别，

表 1　20km/h 的行驶车辆声频谱与频谱模板的比较结果

Table 1　The comparative result between the acoustic signal spectra of the vehicle moving at the speed of 20km/h and the spectrum templates

频谱模板	差异	
	水泥地轮式车	水泥地履带车
水泥地履带车	0.31	0.0014
水泥地轮式车	0.0015	0.15
硬土地履带车	0.21	0.26
硬土地轮式车	0.28	0.56
沙地履带车	0.397	0.35
沙地轮式车	0.30	0.46

表 2　20km/h 行驶车辆声频谱(加入信噪比为 10dB 的高斯白噪声)与频谱模板的比较结果

Table 2　The comparative result between the acoustic signal spectra of the vehicl4e moving at the speed of 20km/h (including white Gaussnoise with SNR equal to 10dB) and the spectrum templates

频谱模板	差异	
	水泥地轮式车	水泥地履带车
水泥地履带车	0.68	0.11
水泥地轮式车	0.12	0.65
硬土地履带车	0.72	0.69
硬土地轮式车	0.58	0.75
沙地履带车	0.69	0.65
沙地轮式车	0.56	0.71

识别率达到了 90%。

然后用同种方法进行震动信号的频谱相似性，并融合两种信号的识别结果，可以进一步提高目标识别的正确率。目标识别程序流程图如图 11 所示。

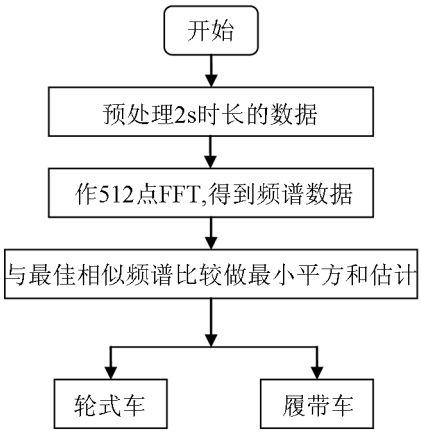

图 11　软件流程图

Fig.11　Software flow chart

4　结 语

本实验采用频谱相似性的目标识别方法，对轮式车和履带车在三种地面行驶的各 10 个测试样本进行识别，识别率可达 90%，加入噪声信号后识别率仍能高于 80%。实验结果表明，该方法具有可行性，对于提高目标的识别率以及在探测终端进行目标识别提供了一种实用的方法，对识别系统小型化提供了一种新手段。

参　考　文　献

[1]　吴黎明. 语音信号及单片机处理[M]. 科学出版社. 2007.
WU Liming. Voice signal and the MCU processing[M]. Science press. 2007.

[2]　杨行峻, 迟惠生. 语音信号数字处理[M]. 电子工业出版社. 1999.
YANG Xingjun, CHI Huisheng. Voice signal digital processing [M]. Electronic Industry Press. 1999.

[3] 胡广书. 数字信号处理[M]. 清华大学出版社. 2003.
HU Guangshu. Digital signal processing[M]. Tsinghua University Press. 2003.
[4] 丁玉美，高西全. 数字信号处理[M]. 西安电子科技大学出版社. 2000.
DING Yumei, GAO Xiquan. Digital signal processing[M]. Xi'an Electron University of Science and Technology Press. 2000.
[5] 刘云龙. 基于支持向量机的目标识别技术研究[D]. 中国石油大学. 2005.
LIU Yunlong. Study on target recognition technique based on support vector machine[D].China University of Petroleum. 2005.
[6] 张志涌，徐彦琴. Matlab 教程——基于 6.x 版本[M]. 北京航空航天大学出版社. 2003.
ZHANG Zhiyong, XU Yanqin. Matlab tutorial--based on 6.x edition[M]. Peking Aerospace University Press. 2003.
[7] 肖汉光. 基于支持向量机的车辆识别和地震预测研究[D]. 重庆大学. 2006.
XIAO Hanguang. Vehicle recognition and earthquake prediction by using support vector machine[D]. Chongqing University. 2006.
[8] Ram Y M, Elhay S. Pole assignment in vibratory systems by mult input control[J]. Journal of Sound and Vibration, 2000, **230**(2). 309-321.
[9] 王华. Matlab 在电信工程中的应用[M]. 中国水利水电出版社. 2001.
WANG Hua. Matlab used in the communication engineering[M]. China water conservancy hydroelectricity Press. 2001.
[10] 庞雄昌. 语音识别及其定点 DSP 实现[D]. 西安电子科技大学. 2004.
PANG Xiongchang. Voice recognition and its' fixed point DSP Implement[D]. Xi'an Electron University of Science and Technology press. 2000.

2009 年《声学技术》编委会纪要

《声学技术》2009 年度沪区编委会于 2010 年 1 月 7 日-8 日在上海市崇明岛举行，中国科学院声学研究所东海研究站胡长青站长、上海市声学学会理事长钱梦騄教授等主办单位领导出席了会议。来自各高校和研究所的编委以及编辑人员共 17 人参加了会议。

会议由《声学技术》张叔英主编主持，常务副主编丁玉薇向与会编委汇报了 2009 年度的工作进展和编委对刊物的帮助与贡献。对于编委的工作给予了充分肯定，对编辑部的辛勤工作以及取得的成绩给予了表扬，并提出了希望编委帮助解决的有关问题。

在编委发言环节，姚蓝主编强调了要抓好审稿环节、提高文章质量，提出了审稿中应注意的各种问题及规范，并邀请编委把有关科研成果总结凝练，写些前瞻性的高质量的文章。同济大学钱梦騄教授认为：根据“十二五声学规划”可以看到，整个声学领域发展非常快，有着很大的改变。在新的领域开辟了如声场控制、声学防护等交叉学科，已不是传统意义上的声学技术了。建议《声学技术》与专业委员会结合起来，扩大审稿队伍。复旦大学汪源源教授对如何提高期刊影响力提出了具体的建议和相关措施。

对于编委们提出的建议，主办单位领导胡长青站长表示了真诚的感谢，感谢到会的代表，并要求进一步发挥编委的作用，扩大影响。编辑部表示，一定会认真执行。

《声学技术》编辑部

编委会代表在会场合影

编委会代表参观森林公园时合影