

基于 MFCC 和支持向量机的装甲车辆识别研究

孙国强 樊新海 石文雷

(装甲兵工程学院机械工程系 北京 100072)

摘要:针对地面战场装甲车辆目标的被动声识别问题,选取具有代表性的两类坦克和两类履带式装甲车作为识别对象,以卡车噪声和雷声信号作为干扰项,对噪声信号进行预加重、分帧加窗、计算功率谱后输入梅尔滤波器组,得到噪声信号的MFCC并计算平均值作为特征值构建特征向量,以支持向量机作为分类器,建立了一种装甲车辆识别方法,该方法对目标的识别率可达95%以上。研究表明,该方法对坦克及装甲车辆的识别效果较好,可以有效抵抗战场非战斗目标噪声信号的影响,为战场决策提供准确信息。

关键词:装甲车辆;目标识别;梅尔倒谱系数;支持向量机

中图分类号: TJ811 TN911 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8030

Research on armored vehicle classification based on MFCC and SVM

Sun Guoqiang Fan Xinhai Shi Wenlei

(Department of Mechanical Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: In order to identify the ground battlefield armored vehicle target through passive acoustic recognition, select representative objectives include two kinds of tanks and two kinds of crawler armored vehicle as the noise acquisition, use the signal of truck and thunder as interference term, the noise signal are pre-weighted, framed, calculated the power spectrum and then entered the Mel filter bank, using mean value of noise signal's MFCC as eigenvalue in order to construct feature vector, with support vector machine as classifier, establish an armored vehicle classification method which classification rate can reach more than 95%. Research indicates that this method is adaptable to the classification of tank and armored vehicle and can effectively resist the impact of non-combat target's noise signal on battlefield, provided right information for battlefield decisions.

Keywords: armored vehicle; target classification; MFCC; SVM

0 引言

地面战场目标识别系统依据用来提取特征的对象种类不同可分为:基于图像特征的识别技术,基于地面震波的识别技术^[1],基于磁信号特征的识别技术,基于雷达特征的识别技术^[2-3]以及基于声信号特征的识别技术等^[4]。其中被动声识别技术^[4]相比于其他技术手段具有高效、全天候侦察目标、受环境影响小、战场生存率高^[5]、适应地形地貌能力强,隐蔽性好,可组成多传感器预警网络等优点^[6-7]。亦可完成对机场、桥梁、弹药库及油库等重要战略设施的无人值守。本文针对军用地面侦察机器人在复杂环境条件下,对坦克、履带式装甲车等地面战斗目标进行全天候隐秘性侦察的要求,使用梅尔频率倒谱系数(mel-

frequency cepstrum coefficients, MFCC)及支持向量机(support vector machine, SVM)设计被动声识别系统的特征提取方法,对坦克、履带式装甲车等地面战斗目标噪声信号进行特征提取与识别,可以有效识别坦克及装甲车辆,对战场非战斗目标的抗干扰能力较强。

1 目标声信号的获取与特性分析

本文选取具有代表性的坦克、履带式装甲车各两种型号为研究对象,以卡车和雷声作为识别干扰项。用来进行目标识别的声信号本质就是车辆运行过程中的噪声信号,主要包括发动机排气噪声和履带与地面的冲击噪声。其中:坦克、履带式装甲车及卡车均使用4冲程内燃机作为动力装置,发动机排气噪声爆发频率与发动机转速的关系为^[8]:

$$f_n = \frac{nz}{120} \quad (1)$$

式中： n 为发动机转速(r/min)， z 为发动机气缸数。

坦克及装甲车辆发动机的最高空转转速一般不超过3 000 r/min，根据式(1)可知其排气噪声理论爆发频率在几百 Hz，车辆行驶时履带和地面撞击等所发出的噪声频带范围较宽，一般小于4 kHz；对于卡车，其最高空转转速及排气噪声爆发频率要高于坦克及装甲车辆，但一般小于2 kHz；雷声的频率范围一般在1.5 kHz以内。综上，设置噪声信号的采样频率8 kHz，采样点数32 768，采样时间4.096 s。

所采集的坦克、履带式装甲车、卡车及雷声等6种目

标噪声信号具有代表性的时域波形及其幅值谱如图1所示，其中，I型坦克工况为发动机怠速1 200 r/min；II型坦克工况为4挡、发动机转速1 500 r/min；I型装甲车工况为发动机怠速1 000 r/min；II型装甲车工况为3挡、发动机转速1 800 r/min；卡车工况为发动机怠速1 600 r/min。结合式(1)可知：不同车型噪声信号的频谱低频段呈梳状分布的噪声信号以排气噪声为主，坦克及履带式装甲车运动状态下的高频段噪声信号，以车辆履带噪声为主。由于不同车型的发动机、传动系统的结构不同，因此其高低频段上的频率分布会有区别，且低频段频率分布差异较大，故可以根据车辆噪声信号的这一特点对其进行目标识别。

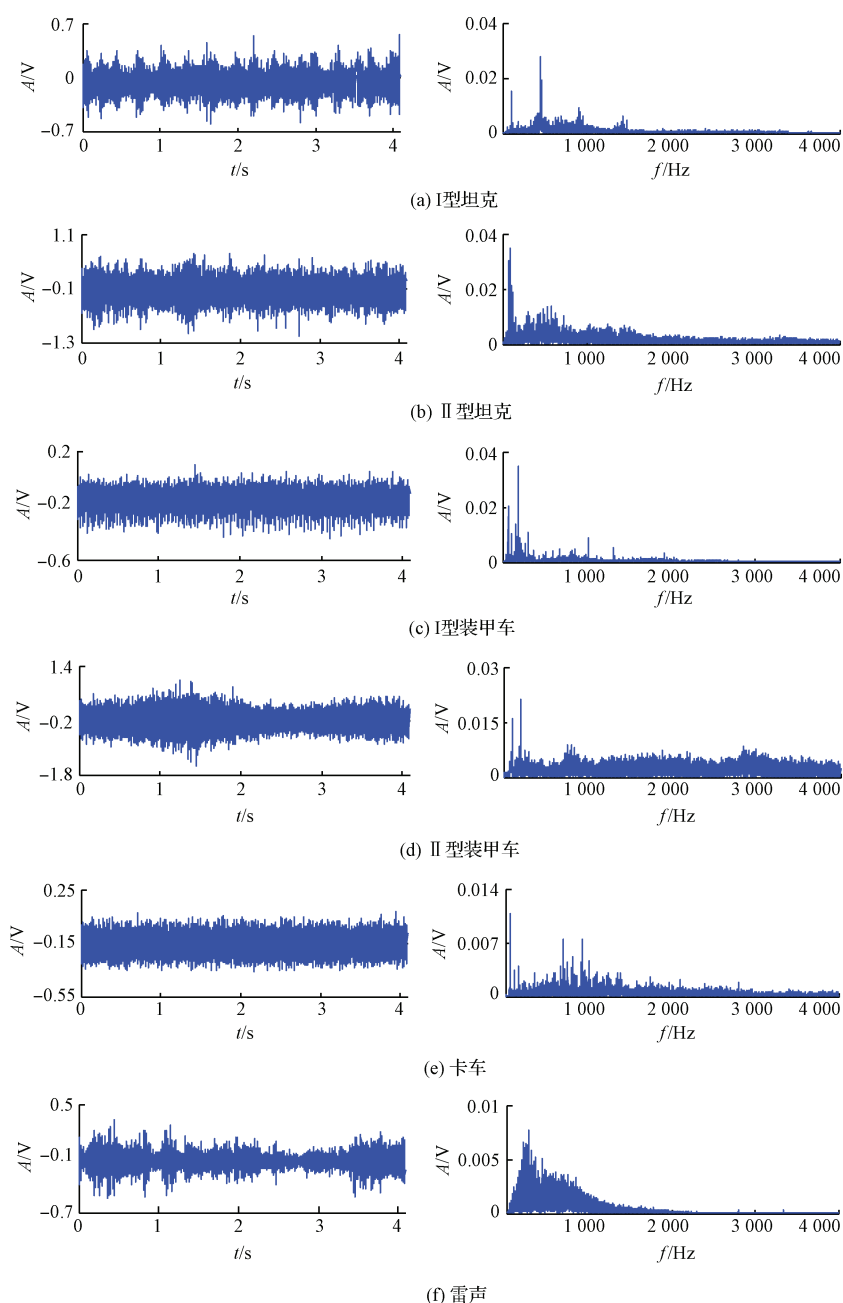


图1 目标噪声信号波形图及其频谱

2 特征提取

MFCC 可以表征人说话语音在时域和频域上的差异,被广泛应用于语音识别领域^[9]。将车辆的发动机看作“声带”,排气道看作声道,则车辆噪声信号可看作是一种“车辆语音”。故可借鉴语音信号领域的 MFCC 对噪声信号进行特征提取。

2.1 MFCC

STEVEN 和 PAUL 在 1980 年提出的 MFCC^[10]被广泛应用于自动语音识别系统中。类似于人类听觉系统, MFCC 是一个非线性系统,在低频段(小于 1 kHz)对频率的识别成线性分布,在高频段成指数分布,即对频率的识别效果变弱,所以 MFCC 在低频段可提取到较多的特征,在高频段提取的特征相对较少,根据前文分析的车辆噪声频率分布差异特点, MFCC 适合用来进行特征提取,不需要对目标声信号高频段进行去噪处理。

1) 预加重:声音信号具有随着频率的增加其能量呈指数级衰减的特点,预加重可以在保持低频成分能量水平不变的前提下有效提高高频成分的能量水平,使信号的频谱变得较为平坦,便于分析^[11-13]。

2) 分帧加窗:利用声信号的短时平稳特性,对信号进行分割,得到若干时间尺度介于 20~40 ms 的帧。若时间尺度过小,无法得到足够的样本进行频谱估计;用 Hamming 窗与每一帧信号相乘,减小 Gibbs 现象引起的帧两端信号的不连续性,

3) 功率谱及梅尔滤波器组:对帧信号进行 FFT 得到频谱,计算离散功率谱并输入梅尔滤波器组;梅尔滤波器组本质上是一系列三角带通滤波器,其在频谱上表现为低频段滤波器数量多,高频段滤波器数量少;在梅尔频谱上呈线性分布。频率与梅尔频率的转换关系式为:

$$M(f) = 1125 \ln(1 + f/700) \quad (2)$$

$$f(M) = 700(e^{M/1125} - 1) \quad (3)$$

本实验使用 24 个三角滤波器,滤波器在频率与梅尔频率上的分布如图 2 所示。

4) MFCC 的获取:对梅尔滤波器组的输出取自然对数,得到对数功率谱,然后对其进行离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT),即可得到相应的 MFCC,对应公式为^[12]:

$$k(n) = \sum_{m=1}^M S(m) \cos\left(\frac{n\pi(m-0.5)}{M}\right), 0 \leq n \leq N \quad (4)$$

式中, $k(n)$ 为第 n 个 MFCC 系数, $S(m)$ 为对数处理后的功率谱, N 为 MFCC 数量, M 为三角滤波器的个数。

2.2 特征向量的构建与优化

本实验从原始信号中选取长为 1.024 s 的信号进行试验,设置帧长 32 ms,帧叠 16 ms,帧数 $N_0 = 63$,每帧可获

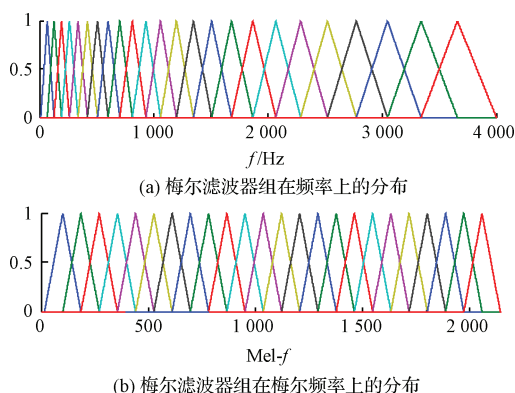


图 2 梅尔滤波器组

得 17 个 MFCC;其中 $N=0$ 时得到的 0 阶倒谱系数反映频谱能量,一般不使用^[14-15],故第 i 帧信号的 16 个 MFCC 特征值可以构成一个特征向量 \mathbf{K}_{0i} :

$$\mathbf{K}_{0i} = [k_{01}, k_{02}, k_{03}, \dots, k_{015}, k_{016}]^T \quad (5)$$

过多的特征向量输入分类器十分不方便,取 N_0 个 MFCC 的平均值作为 I 型坦克噪声信号的特征向量 \mathbf{K} :

$$\mathbf{K}_i = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} \mathbf{K}_{0i} = [k_1, k_2, \dots, k_{15}, k_{16}]^T \quad (6)$$

各车辆噪声信号对应特征向量 \mathbf{K} 的示意图如图 3 所示,图中 i 为每组特征向量中特征值 k_i 的序号。

3 基于 SVM 的噪声目标识别结果

利用 SVM 设计分类器^[16-18],使用实验采集到的坦克、装甲车、卡车及雷声信号样本各 50 组,其中 25 组作为训练样本,另 25 组作为测试样本,训练样本和测试样本无交集。样本数量及 SVM 的识别结果如表 1 所示。

表 1 坦克及装甲车辆分类识别结果

类型	训练样本	测试样本	识别率/%
I 型坦克	25	25	96
II 型坦克	25	25	96
I 型装甲车	25	25	100
II 型装甲车	25	25	96
卡车	25	25	96
雷声	25	25	100

4 结论

基于 MFCC 和 SVM 合的战场目标被动声识别方法,可以有效的对小样本数据进行分类识别,对坦克、装甲车辆具有较好的识别效果,甄别卡车及雷声等干扰噪声信号的能力较强,具有一定的实际应用价值;对于战场短时冲击信号如枪炮声等还有进一步的研究空间。

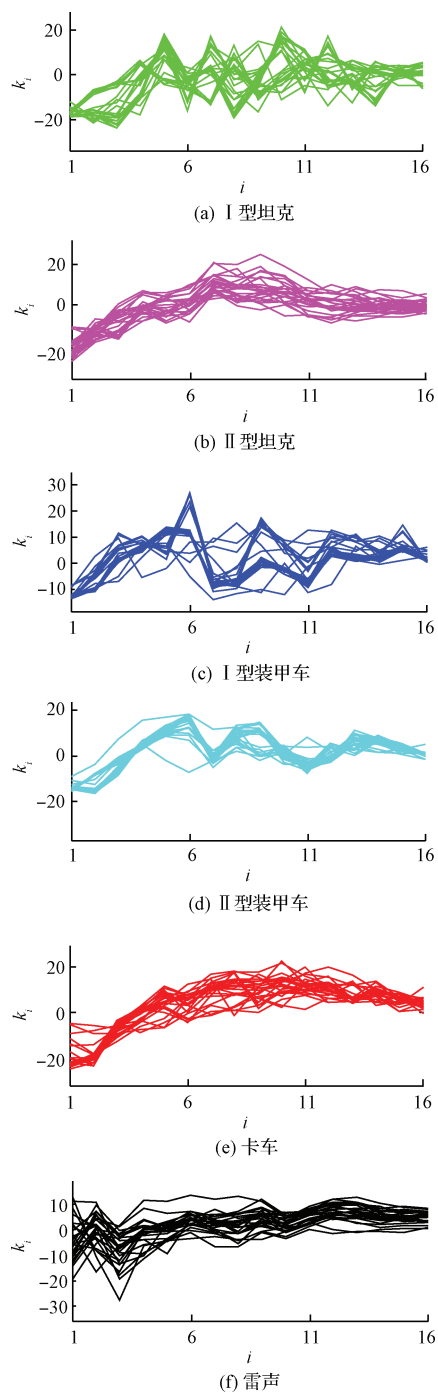


图3 车辆噪声信号特征向量示意图

参考文献

- [1] DU K, FANG X, ZHANG W-P, et al. Fractal dimension based on morphological covering for ground target classification[J]. Shock and Vibration, 2016; 1-5.
- [2] FENG X, LIANG W, LIU C, et al. Application of freeman decomposition to full polarimetric GPR for improving subsurface target classification[J]. Signal

Processing, 2016;1-9.

- [3] MOLCHANOV P O, ASTOLA J T, EGIAZARIAN K O, et al. Classification of ground moving targets using bicepstrum-based features extracted from Micro-Doppler radar signatures[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2013(1):1-13.
- [4] 李开明, 张群, 罗迎, 等. 地面车辆目标识别研究综述[J]. 电子学报, 2014,42(3):538-546.
- [5] 黎锁平, 周勇, 周永强, 等. 基于小波包和 HMM 的战声信号识别[J]. 弹箭与制导学报, 2014,34(5): 161-164.
- [6] 吕艳新. 被动声目标识别理论研究[D]. 南京:南京理工大学, 2011.
- [7] 吕方旭, 张金成, 郭相科, 等. 基于 WSN 的战声目标多特征联合智能分类识别[J]. 科学技术与工程, 2013,13(35):10713-10721.
- [8] 丁冉冉. 车身隔声量对车外声学环境感知影响实验研究[D]. 大连:大连理工大学, 2014.
- [9] 庞程, 李晓飞, 刘宏. 基于 MFCC 与基频特征贡献度识别说话人性别[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2013,41(增刊 1):108-111,120.
- [10] 李虹, 徐小力, 吴国新, 等. 基于 MFCC 的语音情感特征提取研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2017,31(3): 448-453.
- [11] 竺乐庆, 张真. 基于 MFCC 和 GMM 的昆虫声音自动识别[J]. 昆虫学报, 2012,55(4):466-471.
- [12] 王恩泽, 何东健. 基于 MFCC 和双重 GMM 的鸟类识别方法[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(5): 1868-1871,1881.
- [13] 王茂蓉, 周萍, 景新幸. MFCC 和短时 TEO 能量的混合参数应用于说话人识别[J]. 微电子学与计算机, 2016(1):144-148.
- [14] 邓勇, 于晨松, 文浩. 基于倒谱和决策树的模拟电路故障诊断[J]. 电子测量与仪器学报, 2017,31(3): 430-435.
- [15] 朱立军, 苑玮琦. 基于 BAB 策略与 SVM 的虹膜块状纹理检测[J]. 仪器仪表学报, 2016,37(11):2438-2444.
- [16] 洪翠, 杨华锋, 卢国仪, 等. 基于振动信号 SVM 分类的配变故障识别方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 36(6):1299-1308.
- [17] 张国刚, 徐向辉. 基于加权纹理特征的 SAR 图像目标识别算法[J]. 国外电子测量技术, 2015,34(9):22-25.
- [18] 刘松松, 张辉, 毛征, 孟博, 等. 基于 HRM 特征提取和 SVM 的目标检测方法[J]. 国外电子测量技术, 2014,33(10):38-41.

作者简介

孙国强, 1992 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为

战场地面目标被动声识别。

E-mail:sgq_shjd@foxmail.com

樊新海,1973年出生,副教授,硕士生导师,博士,研究方向为信号处理与目标检测。

Email:zgyfxh1210@sina.com

石文雷,1993年出生,硕士研究生,主要研究方向为战场地面目标被动声识别。

E-mail:859954878@qq.com

新一代 1U 可编程直流电源系列提供 5 kW 输出

TDK 公司宣布推出 TDK-LambdaGenesys+™ 系列高功率密度可编程直流电源,该系列的第一款产品是 5 kW 1U 型号。与市场上现有的产品相比,这些新一代电源设备能够凭借 DSP(数字信号处理)技术以极具竞争力的成本实现更高的效率、更优的性能和更强的功能。Genesys+™ 系列的市场前景十分广阔,能够满足元件、航空航天和汽车测试、半导体制造、水处理、电镀和太阳能电池阵列模拟的需求。

这款 5 kW 型号电源安装在 1U 高、19"(483 mm) 宽的机架封装中,拥有最高的功率密度,重量不到 7 kg,达到业内最轻水平(重量不到同类产品的一半)。最初有 5 种电压型号可供选择:0~10 V/500 A、0~20 V/250 A、0~30 V/170 A、0~300 V/17 A 和 0~600 V/8.5 A。这些型号的电源可在恒定电流、恒定电压或恒定功率模式下工作,并提供内部阻抗模拟。它们可以接受三相 170~265 VAC, 342~460 VAC 或宽范围 342~528 VAC 输入,并具有有源功率因数校正功能。工作效率高达 93%。

除了功率密度是现有 Genesys+™ 5 kW 2U 系列的两倍以外,Genesys+™ 还有许多其他明显的改进。这包括高对比度、宽视角 LCD 显示屏,这块显示屏具有用户可控的亮度和调光功能,可改善可读性并延长显示寿命。上升和下降编程响应时间更短,可提高运行速度,同时具有用户可调的电压和电流变化率控制。两个用户可编程的输出控制引脚(开漏)可用于激活外部设备,如负载断开继电器。可以产生最多 100 个阶跃的任意波形曲线,例如车辆启动时的汽车电池模拟曲线。这些曲线存储在 4 个存储单元中,并由来自通信端口或前面板控件的命令激活。

凭借 TDK-Lambda 独有的全新高级主/从并联系统,多 PSU 系统可实现与单电源媲美的动态响应及纹波和噪声性能。只需用一条数据连接线连接电源并将 DC 输出并联连接,便可并联最多 4 个 Genesys+™ 电源。主电源和从电源

通过检测并联连接数据并由此设置各自的参数,实现自动配置。主电源将为并联系统总电流的编程、测量和状态提供单点控制。

这一全新系列电源,兼容 TDK-LambdaGenesys+™ 和 Z+ 型号,使用相同的通信协议和信号。所有功能既可通过前面板进行编程,也可使用标配的 LAN (LXI 1.5)、USB 2.0 或 RS232/485 通信接口(符合 SCPI 标准)进行远程编程。还提供隔离的模拟控制和监测接口(量程为 0~5 V 或 0~10 V)。此外,也可选择 GPIB (IEEE488)接口。

Genesys+™ 设计融合了 Anybus CompactCom 接口平台,以在引入其他接口选项时提供相应支持。例如,Devicenet、Ethercat、Modbus 和 Profibus。提供了一套完整的软件驱动程序、波形创建器和虚拟前面板 GUI。

安全功能包括安全/自动重启、最终设置存储器和内置保护功能。配置安全启动后,电源将在中断后恢复为上一次操作时的设置,但输出会被关断;而配置自动重启时,电源将在中断后恢复为上一次操作时的设置。最终设置存储器在每次交流输入关断时保留输出电压/电流、输出开/关、OVP/UVL 值、折返和启动模式等设置。内置保护功能包括过压保护(OVP)、欠压限制(UVL)、折返保护(FOLD)和过温保护(OTP)。

Genesys+™ 的空白前面板版本适用于无需显示屏和前面板控件,只需通过其控制接口进行远程控制的应用。

针对多尘环境下的应用,Genesys+™ 提供前面板滤尘罩可供选择,此滤尘罩是可拆卸的卡入式过滤器,便于维护(有热降额)。

安全认证包括 IEC/EN/UL 60950-1,并带有符合 EMC、LV(低电压)和 RoHS 指令的 CE 标志。该系列符合工业环境 IEC/EN61326-1 标准关于传导 EMI、辐射 EMI 和 EMC 抗扰度的要求。