

# 一种恒虚警线谱检测算法研究

冯大航, 鲍明, 管鲁阳, 李晓东

(中国科学院声学研究所噪声与振动实验室, 北京 100190)

**摘要:** 提出基于高低分辨率功率谱匹配度估计的线谱检测算法, 该算法对信号分别进行高分辨率功率谱估计和多段低分辨率功率谱估计, 然后以高分辨率功率谱估计为模板, 用多段低分辨率功率谱估计进行校验的方式进行线谱检测。基于单频信号加高斯白噪声假设条件, 理论上导出该检测方法的检测率和虚警率, 并进行了仿真验证。与传统的线谱检测方法相比, 该线谱检测算法不需要预知噪声功率谱, 且具有恒虚警的特点。在车辆目标远距离声学检测应用中, 该检测算法具有较好的检测性能。

**关键词:** 线谱检测; 功率谱匹配; 恒虚警

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2012)-03-0304-06

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2012.03.014

## An algorithm of line-spectrum detection with constant false alarm rate

FENG Da-hang, BAO Ming, GUAN Lu-yang, LI Xiao-dong

(Key Laboratory of Noise and Vibration Research, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract:** A new line-spectrum detection algorithm is proposed based on the matching extent of high-resolution and low-resolution power spectrums. For a certain data section, the high-resolution power spectrum is firstly estimated as a template, and then several low-resolution power spectrums are estimated and compared with the template to verify the line-spectra. Under the condition of sinusoid signal mixed with Gaussian white noise, the detection rate and the false alarm rate of this algorithm is deduced theoretically and proved by the Monte-Carlo simulation. In comparison with the conventional methods, this algorithm doesn't need any information of the noise power spectrum and has constant false alarm rate. In the application of vehicle long-distance detection, this method achieves satisfying performance.

**Key words:** Line-spectrum detection; matching of power spectrum; constant false alarm rate(CFAR)

## 0 引言

线谱检测在声纳、雷达、无线传感器网络等研究领域均有重要应用<sup>[1]</sup>。运动目标, 如车辆、舰船、飞机等, 其噪声信号中包含有诸多稳定的线谱成分<sup>[2-4]</sup>, 准确检测出信号中的线谱, 对运动目标检测具有重要意义。尤其在低信噪比条件下, 低虚警的检测算法设计, 一直是该领域所关注的核心问题。

线谱检测通常先使用周期图等方法获取功率谱估计, 并在全频带上搜索信号功率的极大值点, 再将该极大值与设定的阈值进行比较, 若大于阈值则判决线谱存在, 否则判决为信号中不含线谱成分。文献[1]中详细比较了在白噪声的条件下, 各类周期图法对单频信号检测的性能。这类方法在噪声

的功率谱已知且噪声平稳的情况下具有良好的性能。但由于实际应用中噪声是时变量, 即噪声功率不是恒定的, 这就导致此类方法的虚警率很高。文献[5-6]通过对噪声方差的实时估计, 自适应地调整阈值的大小, 设计出恒虚警检测器。该类检测算法只有在噪声分布有一定先验知识时才具有较好的检测性能, 这就限定了该类检测算法的适用范围。文献[7]中提出了一种非参量的恒虚警检测器(SFCD), 它不需要对噪声有先验知识, 但运算量大, 频率分辨率低, 即检测到线谱后不能得到线谱频率的准确估计, 且在低信噪比的条件下, 此种检测算法会失效。

在实际应用中, 如风噪条件下的运动机械目标远距离检测, 背景噪声的功率谱随着风速的不同而不断地变化, 风噪声的分布形式又是未知的, 且信噪比随着目标距监测节点距离的增加而迅速降低, 因此用传统的线谱检测方法都不能得到一个理想的检测效果。针对这个问题, 文献[8]提出了基于高分辨和低频功率谱匹配度估计的线谱检测算法,

收稿日期: 2011-10-31; 修回日期: 2012-02-13

作者简介: 冯大航(1984—), 男, 吉林松原人, 博士研究生, 研究方向为信号检测及波达方向估计。

通讯作者: 冯大航, E-mail: fengdh@mail.ioa.ac.cn

以下简称高低分辨率线谱检测(MHLD)算法,进行了初步实验。本文在此基础上,首先对该算法做了完整的理论分析,并通过仿真和试验验证了该算法的有效性。该检测方法利用高分辨率谱对线谱进行初步检测,然后用低分辨谱进行校验来降低高分辨率谱的虚警率。相比于传统检测算法,新方法不需要预知噪声功率谱,且具有计算复杂度低,虚警率恒定等优点。

## 1 高低分辨率线谱检测算法理论分析

### 1.1 线谱信号模型

自然环境条件下噪声信号一般不含有线谱成分,而人造动力装置,由于大量存在周期的往复运动,其噪声中存在较强的线谱。如车辆信号,就存在多种周期性成分,含有多个线谱,且这些线谱一般存在谐频关系<sup>[4]</sup>。在这些谐频中,把能量较高的线谱频率记为 $f_0$ 。因此机动声源目标远距离检测可简化为含噪信号的单线谱检测,其二元假设检验模型可表示为:

$$\begin{aligned} H_0: x(n) &= w(n) \\ H_1: x(n) &= A \sin(2\pi f_0 n + \theta_0) + w(n) \end{aligned} \quad (1)$$

$n=0, 1, \dots, L-1$

其中 $w(n)$ 是噪声, $A$ 、 $f_0$ 、 $\theta_0$ 为未知参数,分别代表线谱的幅度、归一化频率和相位。为了得到线谱检测算法理论上的虚警率和检测率,假定噪声 $w(n)$ 是方差为 $\sigma^2$ 的高斯白噪声,并定义信噪比 $SNR=A^2/(2\sigma^2)$ 。

在 $H_0$ 假设条件下,由于 $w(n)$ 是高斯白噪声,经FFT变换后实部和虚部仍服从高斯分布,则 $w(n)$ 的功率谱 $W(k)$ 服从自由度为2的卡方分布 $\chi_2^2(\sigma^2, 0)$ <sup>[1,9]</sup>。

在 $H_1$ 假设条件下, $x(n)=A \sin(2\pi f_0 n + \theta_0) + w(n)$ ,当 $k \neq Nf_0$ 时,则 $x(n)$ 功率谱 $S(k)$ 仍服从自由度为2的卡方分布 $\chi_2^2(\sigma^2, 0)$ ;当 $k=k_0=Nf_0$ 时,功率谱 $S(k_0)$ 服从自由度为2的非中心卡方分布 $\chi_2^2(\sigma^2, NA^2/4)$ <sup>[1,9]</sup>。因此在两种假设下,信号功率谱的概率分布函数为

$$H_0: p_{w(k)}(u) = \frac{1}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{u}{\sigma^2}\right) \quad (2)$$

$$H_1: p_{s(k)}(u) = \frac{1}{\sigma^2} I_0\left(\frac{\sqrt{2N}\xi}{\sigma} u \delta(k-k_0)\right) \cdot \exp\left(-\frac{u}{\sigma^2} - \frac{N\xi}{2} \delta(k-k_0)\right) \quad (3)$$

其中 $\xi$ 为信噪比, $\delta$ 为单位冲击函数。

### 1.2 高低分辨率线谱检测算法的虚警率和检测率

高低分辨率线谱检测算法的基本原理是将获得

的信号在时间上划成两部分,一部分进行高分辨率功率谱估计,找出线谱出现概率较大的 $m$ 个频率值作为匹配模板;另一部分数据分成若干短帧对选出的 $m$ 个频率值进行匹配校验,具体检测策略详述如下。

信号 $x(n)$ ,数据长度为 $L$ ,取出前 $N$ 点数据做功率谱估计 $S_i(f)$ ,将剩余的数据均分为 $M$ 段,则每段数据长度为 $M_s = [(L-N)/M]$  ( $N > M_s$ ),对每段分别作功率谱估计 $S_{sj}(f)$ , $j=1, \dots, M$ 。 $S_i(f)$ 的前 $m$ 个最大峰值所在的频率为 $f_1, f_2, \dots, f_m$ ,则将这些频率处峰值匹配个数的最大值作为检验统计量,即

$$T = \max_{1 \leq i \leq m} (M_i^{PM}) \quad (4)$$

其中峰值匹配个数 $M_i^{PM} = \sum_{j=1}^m I_j$ , $I_j$ 为选择函数。

$$I_j = \begin{cases} 1 & \text{if } \arg \max_{f \in (f_i - \Delta f, f_i + \Delta f)} (S_{sj}(f)) = S_{sj}(f_i) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

所以线谱检测的最终判决规则为

$$\begin{cases} H_0 & T \leq M_{th} \\ H_1 & T > M_{th} \end{cases} \quad (6)$$

其中 $M_{th}$ 为阈值。

虚警率和检测率是衡量一个检测算法性能的核心指标,它标示出了检测算法性能的优劣。虚警率 $P(D_1|H_0)$ ,是在没有线谱存在的条件下做出错误判断的概率;检测率 $P(D_1|H_1)$ ,是线谱存在的条件下做出正确判断的概率<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.1 虚警率分析

为了简化分析,功率谱估计采用周期图法,即利用FFT获得高分辨率功率谱估计 $S_i(k)$ ,将功率谱值由大到小排序得到 $S_i(k')$ ,取出前 $m$ 个值,假定这 $m$ 个值出现在频点 $k_1, k_2, \dots, k_m$ 处。则其余频点的功率谱值都小于 $S_i(k_m)$ 的分布函数为<sup>[7]</sup>

$$F_{0, N/2-m}(z) = F(S_i(k) < z = S_i(k_m), k \neq k_1, k_2, \dots, k_m) = \prod_{k=1}^{N/2-m} P(S_i(k) < z) = \left( \int_{x=0}^z p_w(u) du \right)^{N/2-m} = F_w^{N/2-m}(z) \quad (7)$$

由于频点 $k_1, k_2, \dots, k_m$ 处的功率谱值相互独立,且与其他频点处的值也独立,因此这 $m$ 个值出现在频点 $k_1, k_2, \dots, k_m$ 处的概率密度函数为

$$f_0(S_i(k_1)=x_1, S_i(k_2)=x_2, \dots, S_i(k_m)=x_m, S_i(k) < z, k \neq k_1, k_2, \dots, k_m) = p_w(x_1) p_w(x_2) \dots p_w(x_m) F'_{0, N/2-m}(z) \quad (8)$$

其中 $F'_{0, N/2-m}(z)$ 为 $F_{0, N/2-m}(z)$ 的导数。

所以在 $H_0$ 假设下,在频点 $k_1, k_2, \dots, k_m$ 处出现峰值的概率为

$$P_{01} = \int_{z=0}^{+\infty} \int_{x_1=z}^{+\infty} \dots \int_{x_m=z}^{+\infty} p_w(x_1) p_w(x_2) \dots p_w(x_m) F'_{0, N/2-m}(z) dx_1 dx_2 \dots dx_m dz = 1/C_{N/2}^m \quad (9)$$

其中  $C_n^m$  为组合系数,  $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$ 。

将剩余的数据均分成  $M$  段, 每段长度为  $M_s = [(L-N)/M]$ , 对每段分别作功率谱估计得  $S_{sj}(k^{(j)})$ 。则第  $j$  个短帧中,  $S_{sj}(k^{(j)})$  在频点  $k_i^{(j)}$  ( $k_i^{(j)} = [M_s k_i / N]$ ) 处出现局部峰值(本文局部峰值定义为  $S_{sj}(k_i^{(j)}) > S_{sj}(k_i^{(j)} - 1)$  且  $S_{sj}(k_i^{(j)}) > S_{sj}(k_i^{(j)} + 1)$ , 以下同)的概率为

$$P_{02} = \int_{z=0}^{+\infty} \int_{x=z}^{+\infty} p_W(x_1) F'_{0,2}(z) dx dz = \frac{1}{3} \quad (10)$$

其中  $F_{0,2}(z)$  代表在  $H_0$  假设下  $S_{sj}(k_i^{(j)} - 1)$  和  $S_{sj}(k_i^{(j)} + 1)$  都小于  $z$  的分布函数。则虚警率  $P(D_1|H_0)$  为

$$P_{fa} = C_{N/2}^m P_{01} \left[ 1 - \left( \sum_{n=M-M_{th}}^{M_{th}} C_M^n (1-P_{02})^n P_{02}^{M-n} \right)^m \right] = 1 - \left( \sum_{n=M-M_{th}}^{M_{th}} C_M^n (1-P_{02})^n P_{02}^{M-n} \right)^m \quad (11)$$

其中  $M_{th}$  为阈值, 且为整数。

由式(11)表明, 虚警率  $P_{fa}$  只和短帧数  $M$  及阈值  $M_{th}$  有关, 即只要短帧数及阈值确定, 虚警率也恒定, 因此高低分辨率线谱检测算法是一种恒虚警检测器。

### 1.2.2 检测率分析

高分辨率功率谱估计中, 若  $S_i(k')$  前  $m$  个值包含正弦信号的频率且  $k_1 = Nf_0$ , 则它的概率密度为

$$f_1(S_i(k_1) = x_1, S_i(k_2) = x_2, \dots, S_i(k_m) = x_m, S_i(k) < z, k \neq k_1, k_2, \dots, k_m) = p_S(x_1) p_W(x_2) \dots p_W(x_m) F'_{0,N/2-m}(z) \quad (12)$$

可得

$$P_{11} = \int_{z=0}^{+\infty} \int_{x_1=z}^{+\infty} \dots \int_{x_m=z}^{+\infty} p_S(x_1) p_W(x_2) \dots p_W(x_m) F'_{0,N/2-m}(z) dx_1 dx_2 \dots dz \quad (13)$$

$S_i(k')$  前  $m$  个值不包含正弦信号的频率时, 即  $Nf_0 \notin [k_1, k_2, \dots, k_m]$ , 它的概率密度根据式(9)和式(13)可知

$$P_{12} = \frac{1}{C_{N/2-1}^m} (1-P_{11}) \quad (14)$$

将剩余数据均分成  $M$  段, 第  $j$  个短帧中, 如果在正弦信号的频率点  $Nf_0$  处出现局部峰值的概率:

$$P_{13} = \int_{x=0}^{+\infty} \int_{z=0}^x p_S(x) F'_{0,2}(z) dx dz = \int_{x=0}^{+\infty} p_S(x) F_{0,2}(x) dx \quad (15)$$

在其他频点处出现局部峰值的概率由式(10)可得

$$P_{14} = P_{02} = 1/3$$

即检测概率  $P(D_1|H_1)$  为

$$P_d = C_{N/2}^{m-1} P_{11} \left[ 1 - \sum_{n=M-M_{th}}^{M_{th}} C_M^n (1-P_{13})^n P_{13}^{M-n} \left( \sum_{n=M-M_{th}}^{M_{th}} C_M^n (1-P_{14})^n P_{14}^{M-n} \right)^{m-1} \right] + C_{N/2-1}^m P_{12} \left[ 1 - \left( \sum_{n=M-M_{th}}^{M_{th}} C_M^n (1-P_{14})^n P_{14}^{M-n} \right)^m \right] = C_{N/2}^{m-1} P_{11} \left[ 1 - \sum_{n=M-M_{th}}^{M_{th}} C_M^n (1-P_{13})^n P_{13}^{M-n} \left( \sum_{n=M-M_{th}}^{M_{th}} C_M^n (1-P_{14})^n P_{14}^{M-n} \right)^{m-1} \right] + (1-P_{11}) \left[ 1 - \left( \sum_{n=M-M_{th}}^{M_{th}} C_M^n (1-P_{14})^n P_{14}^{M-n} \right)^m \right] \quad (16)$$

据式(3)、(13)、(15)可知, 概率  $P_{11}$  和  $P_{13}$  是信噪比的函数, 且均随着信噪比的增大而增大。当短帧个数  $M$  和阈值  $M_{th}$  取定后, 检测率也随着信噪比的提高而提高。

## 2 高低分辨率线谱检测算法的步骤

高低分辨率线谱检测算法可分为 3 个步骤, 假定数据的长度为  $L$ ,

(1) 选取前  $N$  个数据  $x_i(n)$ , 用周期图法估计其功率谱  $S_i(k)$ , 将  $S_i(k)$  按降序重排, 记为  $S_i(k')$ , 选取前  $m$  个值, 记  $m$  个值所在的频点为  $k_1, k_2, \dots, k_m$ 。

(2) 选取剩余数据  $x_s(n)$ , 将  $x_s(n)$  均分成  $M$  段, 每段数据长度为  $M_s = [(L-N)/M]$ , 即  $x_{sj}(n) = x_s(j \cdot M_s + n)$ , 用周期图法估计  $x_{sj}(n)$  的功率谱  $S_{sj}(k^{(j)})$ 。

$$C[k_i] = \begin{cases} C[k_i] + 1 & \text{if } S_{sj}(k_i^{(j)}) > S_{sj}(k_i^{(j)} - 1) \& \\ & S_{sj}(k_i^{(j)}) > S_{sj}(k_i^{(j)} + 1) \\ C[k_i] & \text{else} \end{cases}$$

其中  $k_i^{(j)} = [M_s k_i / N]$ ,  $C[k_i]$  为频点  $k_i$  处的峰值匹配个数。

(3) 依据峰值匹配个数  $C$  的值做出判决

$$H \begin{cases} H_1 & \text{if } \max \{C[k_i], i=1, 2, \dots, M\} > M_{th} \\ H_0 & \text{else} \end{cases}$$

## 3 高低分辨率线谱检测算法性能测试与分析

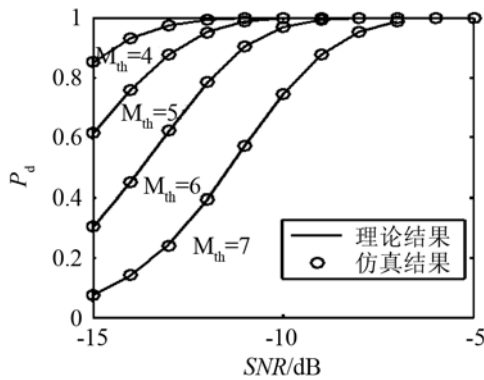
### 3.1 检测算法仿真实验

仿真试验假定正弦信号的幅度、相位和频率不变, 信号幅度  $A=1$ , 相位  $\theta_0=0$ , 归一化频率  $f_0=0.5$ 。

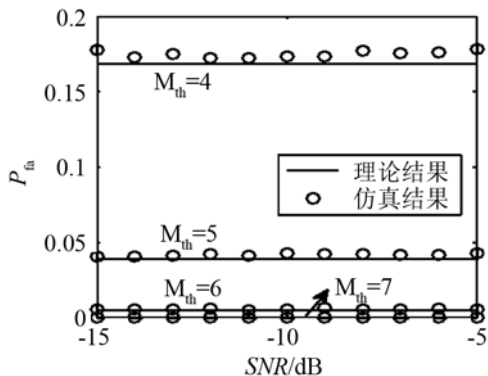
噪声  $w(n)$  为高斯白噪声，噪声的功率随信噪比变化。数据的长度为 2048 点，长帧取前 1024 点，每次从高分辨率的功率谱估计中找一个最大值和一个次最大值，即  $m=2$ 。调节信噪比从  $-15$  dB 到  $-5$  dB，在各信噪比下均选取 4 个阈值。取定信噪比和阈值后用 50000 次蒙特卡洛法来获取检测率或虚警率。最后给出了在不同阈值的条件下，检测率和虚警率随信噪比变化的曲线图。图 1 和图 2 分别给出了将后面 1024 点数据分为  $M=8$  和  $M=16$  的仿真结果和理论结果。

图 1、2 表明仿真结果与理论值比较吻合。当  $M=8$  时，由图 1 和图 2 可以看出，当  $M_{th}=4$  时虚警率  $P_{fa}=0.17$ ， $M_{th}=5$  时虚警率  $P_{fa}=0.039$ ，虚警率变化很大。由于阈值  $M_{th}$  仅能取整数，则可供选择的虚警率较少，仅能选择几个特定的值。当  $M=16$  时，可设置的阈值  $M_{th}$  增多，可以得到更多的虚警率的值。但是当  $M$  取值变大时，频率的分辨率下降，会发生频谱泄漏的情况，使检测性能下降。

为解决这个矛盾，获得更多可供选择的虚警率，可以适当增加短帧的长度，但帧与帧之间有重叠，这可保证有更多的阈值可供选择。因此取短帧的长度为 128 点，帧与帧之间有 50% 的重叠，正弦

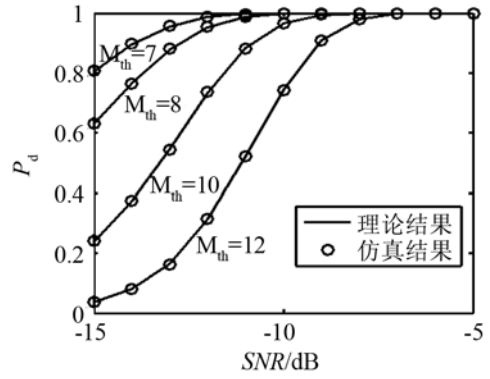


(a) 检测率与信噪比和阈值的关系

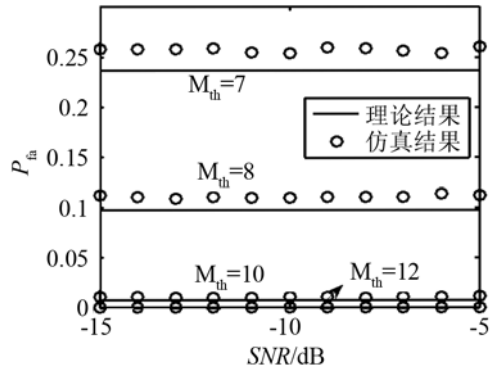


(b) 虚警率与信噪比和阈值的关系

图 1  $M=8$  时，检测率和虚警率的理论结果和仿真结果对比  
Fig.1 Comparison between theoretical and simulation results of  $P_d$  and  $P_{fa}$  for  $M=8$

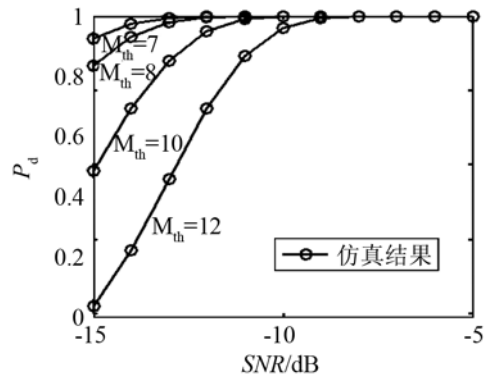


(a) 检测率与信噪比和阈值的关系

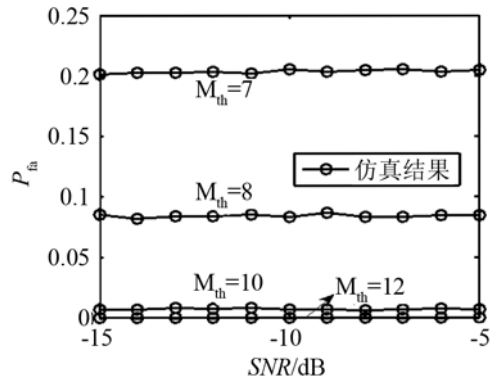


(b) 虚警率与信噪比和阈值的关系

图 2  $M=16$  时，检测率和虚警率的理论结果和仿真结果对比  
Fig.2 Comparison between theoretical and simulation results of  $P_d$  and  $P_{fa}$  for  $M=16$



(a) 检测率与信噪比和阈值的关系



(b) 虚警率与信噪比和阈值的关系

图 3 帧长 128，帧间 50%重叠，检测率和虚警率的仿真结果  
Fig.3 Simulation results of  $P_d$  and  $P_{fa}$  for frame length of 128 and overlap of 50%

信号的归一化频率固定在 0.5 处时, 检测率和虚警率与信噪比和阈值的关系如图 3 所示。当短帧之间有重叠时, 它们之间不再具有统计独立性, 概率密度函数随之发生变化, 已经不能再用上面的理论公式来计算虚警率和检测率, 因此图中只给出了仿真结果。从图 3 中可以看出, 当短帧之间有重叠时, 检测算法仍然是恒虚警的。且选取不同的阈值, 可以得到不同的虚警率。因此在实际中, 应根据对运算量、线谱频率估计精度、虚警率等不同方面的综合需求, 选取适当的参数, 得到符合需求的检测器。

### 3.2 车辆目标远距离检测试验

车辆信号的远距离检测是地面声学侦测中的关键问题。车辆行驶过程中, 由于发动机的周期性转动, 车辆噪声中含有丰富的线谱成分。

本文实验所用的数据库为在内蒙古草原某基地野外实地采集, 采集设备为 B&K 4189 型标准传声器和 SONY-SIR-1000 录音机, 采样率为 1 kHz。背景噪声主要为风噪声, 风力 4~5 级; 样本目标为车辆噪声, 时速约为 10 m/s。数据库中, 背景噪声的长度约为 120 min; 目标数据库(车辆距测点 1.2 km 以内)长度约为 40 min。

图 4 是数据库中的典型声信号样本, 包含车辆从远处向监测节点驶进、经过、并驶离监测节点的完整过程, 车辆速度约为 10 m/s。其中在前 400s, 车辆噪声被风噪声淹没, 约在 500s 时车辆经过监测节点。图 4(a)显示该事件的时域波形图, 图 4(b)是对应的短时谱图。图 4(b)表明, 车辆声源目标信号具有丰富的谐频成分, 且在哪些谐频中, 始终存在一条能量较高的线谱, 它的频率在一段时间内(4s)变化率很小。因此考虑采用高低分辨率线谱检测方法进行声源目标检测。检测算法每次处理的数据长度为 4s(4000 点数据), 每次只更新 2s 数据, 用更新的 2s 数据做高分辨率功率谱估计, 将更新前的 2s 数据均分为  $M=8$  帧(帧与帧之间没有重叠), 作为校验。

表 1 是采用频域 LRT 检测算法<sup>[11]</sup>和高分辨率线谱检测算法取不同阈值时检测率和虚警率的统计结果

表 1 两种检测算法虚警率和检测率的统计结果

Table 1 The statistic results of  $P_d$  and  $P_a$  for two types of detectors

频域 LRT 检测算法			高低分辨率线谱检测算法		
阈值	虚警率	检测率	阈值	虚警率	检测率
$\Lambda = 1.95$	0.0960	0.4377	$M_{th} = 4$	0.0963	0.9343
$\Lambda = 2.90$	0.0394	0.3771	$M_{th} = 5$	0.0389	0.8997
$\Lambda = 4.80$	0.0081	0.3034	$M_{th} = 6$	0.0088	0.8501
$\Lambda = 6.85$	0.0025	0.2350	$M_{th} = 7$	0.0025	0.7739

由表 1 可以看出, 频域 LRT 检测算法和高分辨率线谱检测算法在虚警率相当的情况下, 后者检测率明显高于前者。

比较频域 LRT 检测算法(阈值  $\Lambda = 1.95$ )和高分辨率线谱检测算法( $M_{th} = 6$ )对图 4 所示的典型样本的检测性能, 结果如图 5 所示。图 5 中方框代表检测出目标。图 5 表明, 频域 LRT 检测算法在虚警率很高的情况下, 仍然不及高分辨率线谱检测算法。图 4 中, 在线谱存在的地方, 高低分辨率线谱检测算法均可以检测到, 其中 50s 和 150s 处出现的虚警, 可通过与前面的检测结果取平均等后处理方式排除掉。

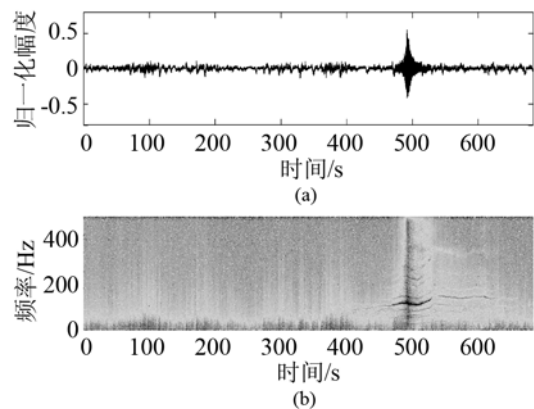


图 4 车辆信号的时域波形图和短时谱图

Fig.4 The waveform and spectrum of the vehicle signal

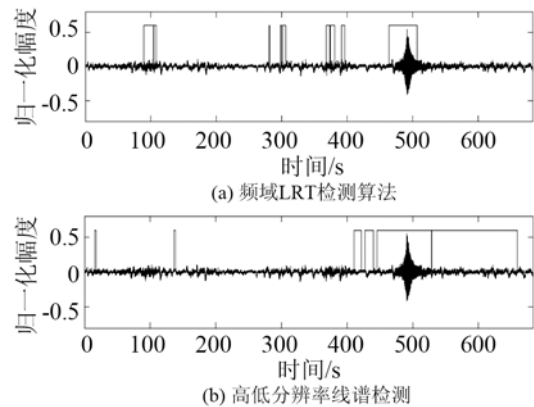


图 5 频域 LRT 检测算法和高分辨率线谱检测算法的检测结果对比  
Fig.5 The comparison between the detection results of LRT algorithm and MHL algorithm

## 4 结 论

针对自然环境背景中, 运动机械目标的检测问题, 本文简化了其频域的信号检测模型, 并依据该模型提出基于高分辨率和低分辨率功率谱匹配度估计的线谱检测算法。理论推导和仿真实验表明, 该算法不需要预知噪声功率谱, 且具有恒虚警的特性。最后, 在车辆远距离检测应用中, 该算法在虚

警率小于 1%的条件下可实现远距离的地面车辆目标检测,且明显优于频域的 LRT 检测算法。

### 参 考 文 献

- [1] So H C, Chan Y T, Ma Q, Ching P C. Comparison of various periodograms for sinusoid detection and frequency estimation[J]. IEEE Trans. on AES, 1999, 35(3): 945-952.
- [2] 陈韶华, 陈川, 郑伟. 单矢量水听器线谱多目标分辨研究[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(5): 1253-1256.  
CHEN Shaohua, CHEN Chuan, ZHENG Wei. Multi-sources distinguishing by exploring line spectra with single acoustic vector sensor[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(5): 1253-1256.
- [3] 陈阳, 王自娟, 朱代柱, 等. 一种基于频率方差加权的线谱目标检测方法[J]. 声学学报, 2010, 35(1): 76-80.  
CHEN Yang, WANG Zijuan, ZHU Daizhu, et al. A detection method for line-spectrum target based on variance-of-frequency weight[J]. Acta Acustica, 2010, 35(1): 76-80.
- [4] Bao M, Zheng C, Li X, et al. Acoustical vehicle detection based on bispectral entropy[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2009, 16(5): 378-381.
- [5] Baggenstoss P M, Kay S M. An adaptive detector for deterministic signals in noise of unknown spectra using the Rao test[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1992, 40(6): 1460-1468.
- [6] Bose S, Steinhardt A O. Adaptive array detection of uncertain rank one waveforms[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1996, 44(11): 2801-2809.
- [7] Shuangping L, Dongling Z, Zhigang W. A nonparametric sinusoid detector with CFAR in white noise[C]// Proc of the Signal Processing, International Conference on 2006, 2006.
- [8] 冯大航, 管鲁阳, 李晓东, 等. 高低分辨率功率谱匹配度估计的线谱检测研究[C]// 中国声学会议, 2010.  
FENG Dahang, GUAN Luyang, LI Xiaodong, et al. Detection of line-spectrum based on the matching of high/low-resolution power spectrum[C]// Chinese Conference of Acoustics, 2010.
- [9] 郑成诗, 陈佳路, 李晓东, 等. 自适应平滑周期图语音增强研究[J]. 声学学报, 2007, 32(5): 461-467.  
ZHENG Chengshi, CHEN Jialu, LI Xiaodong, et al. Speech enhancement based on adaptive averaging periodogram[J]. Acta Acustica, 2007, 32(5): 461-467.
- [10] 沈凤麟, 叶中付, 钱玉美. 信号统计分析与管理[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002.  
SHEN Fenglin, YE Zhongfu, QIAN Yumei. Signal statistic analysis and processing[M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2002.
- [11] Jongseo S, Nam S K, Wonyong S. A statistical model-based voice activity detection[J]. IEEE Signal Processing Letters, 1999, 6(1): 1-3.

## 中国科学院东海研究站一行应邀访问香港中文大学

2012年5月15日,中国科学院东海研究站站长胡长青同志率东海站仿生耳与声音技术实验室成员等一行16人应邀对香港中文大学进行参观访问,并与香港中文大学师生展开进行学术交流。

访问期间,香港中文大学电子工程系李丹教授首先对大学的概况进行了介绍,并重点介绍了电子工程系相关实验室研究方向和最新科研成果,胡长青站长也向李丹教授及其实验室成员介绍了东海站的发展和主要研究领域,双方就相关学科的研究情况进行了深入探讨。

随后,李丹教授陪同东海站一行参观了电子工程系固态电子、图像处理、激光技术、数字信号处理及语音技术等实验室并详细介绍了各实验室基础设施和最新研究情况。

双方纷纷表示,通过本次学术交流,增加了彼此的了解,开拓了彼此视野,希望双方以后有更多形式的交流。