

# 基于 NP 准则的 LFM 信号盲处理结果可靠性检验

胡国兵<sup>1,2</sup>, 徐立中<sup>1</sup>, 金 明<sup>2</sup>

(1. 河海大学计算机与信息学院, 江苏南京 210098; 2. 南京信息职业技术学院电子信息学院, 江苏南京 210046)

**摘 要:** 本文研究了线性调频(LFM, Linear Frequency Modulation)信号盲处理结果的可靠性检验问题, 提出了一种基于纽曼皮尔逊(NP, Neyman-Pearson)准则的检验算法. 先根据调制识别结果对应的信号模型构造参考信号, 通过分析不同假设下参考信号与观测信号相关累加值概率分布参数的差异, 利用 NP 准则构建检验统计量并确定相应的门限, 对 LFM 信号盲处理结果的可靠性进行检验. 计算机仿真结果表明, 本算法在较低信噪比条件下, 可实现对 LFM 信号盲处理结果的可靠性检验.

**关键词:** 盲信号处理; 可靠性检验; 纽曼皮尔逊准则; 线性调频

**中图分类号:** TN911.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013)04-0739-05

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.04.019

## Reliability Testing for Blind Processing Results of LFM Signals Based on NP Criterion

HU Guo-bing<sup>1,2</sup>, XU Li-zhong<sup>1</sup>, JIN Ming<sup>2</sup>

(1. College of Computer and Information Science, Ho Hai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China;

2. School of Electronic Information Engineering, Nanjing College of Information Technology, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

**Abstract:** Based on NP(Neyman-Pearson)criterion, a reliability test to evaluate the blind processing results of LFM(Linear Frequency Modulation)signals is proposed in this paper. The reference signals are constructed depending on the certain modulation model in accordance to the identified result at first. By analysis of the parameters differences from the probability distribution characteristics of the modulus of the correlation series under the different hypotheses, the reliability test problem for blind processing results of LFM signals is performed by the proposed statistic and the threshold based on NP criterion. Simulation results show that the proposed method can be used to verify the reliability for blind processing results of LFM signals at low signal-to-noise ratio.

**Key words:** blind signal processing; reliability test; NP(Neyman-Pearson)criterion; LFM(linear frequency modulation)

## 1 引言

在缺乏信号先验信息及低信噪比条件下, 对观测信号的调制识别、参数估计等只能进行盲处理. 检验处理结果是否正确、可信是电子侦察、认知无线电信号处理中面临的一个新课题<sup>[1,2]</sup>.

目前, 关于信号盲处理结果可靠性检验方法的论文很少. Fehske<sup>[3]</sup>等提出了调制识别分类器可靠性问题, 将神经网络分类器的最大输出与次大输出差值的一半作为分类器的可信用度量, 但需依赖大量的训练样本. Lin<sup>[4]</sup>等提出了一种基于信息熵的调制识别结果可信用分析方法. 先由各种假设下的似然函数值构造向量, 后

计算该向量的信息熵来度量调制识别的可靠性. 信息熵的大小体现了向量中各似然值之间的差异大小, 某种意义上体现了调制识别结果的可靠性. 但在无信号先验知识的条件下, 计算各种假设下的似然值较为困难. 此外, 上述两种方法仅考虑了对信号调制方式识别的可靠性, 未考虑对后续处理结果的可靠性检验问题.

本文针对雷达中常用的线性调频(LFM, Linear Frequency Modulation)信号盲处理结果的可靠性检验问题, 提出了一种基于纽曼皮尔逊(NP, Neyman-Pearson)准则的检验算法. 其基本思路为先根据调制识别结果对应的信号模型进行参数估计并构造参考信号, 在分析不同假设下观测信号与参考信号相关累加值概率分布参数差

异的基础上,利用 NP 准则构建检验统计量并确定相应门限,对 LFM 信号盲处理结果的可靠性进行检验.仿真结果表明,此方法在缺乏信号先验知识及低信噪比条件下可对 LFM 信号盲处理结果的正确性进行检验.

## 2 基本模型与假设

设被噪声污染的 LFM 信号为

$$r(n) = s(n) + w(n), 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

其中:

$$s(n) = A \exp[j(2\pi f_0 n \Delta t + \pi k n^2 \Delta t^2 + \varphi)], 0 \leq n \leq N-1$$

式中  $A, f_0, k, \varphi, \Delta t, N$  分别为信号的幅度、起始频率、调频系数、初相位、采样间隔及样本点数,  $w(n)$  为零均值复高斯白噪声过程,其实部与虚部相互独立,方差为  $\sigma^2$ .信噪比定义为  $\text{SNR} = A^2/\sigma^2$ .通常,LFM 信号的盲处理过程由调制方式识别、起始频率估计、调频系数估计等环节构成,其处理结果的可靠性检验可归结为如下假设检验问题:

$H_0$ : 调制识别结果正确且参数估计误差小; (2)

$H_1$ : 调制识别结果错误或参数估计误差大;

上式  $H_0$  假设中的“参数估计误差小”这一说法,此处认为若满足  $|\Delta f| \leq 0.5\Delta F$  ( $\Delta f$  为起始频率估计误差,  $\Delta F = 1/N\Delta t$  为量化频率间隔),则参数估计精度较高,误差小.若采用经典的离散多项式变换(DPT, Discrete Polynomial Transform)方法<sup>[5]</sup>,调频系数的估计本质上仍是频率估计.用 DFT 法估计频率时,当频率值不在量化频率点上或信噪比过低时,最大谱线的位置会受噪声的影响,发生偏移,导致估计误差变大,但在信噪比门限内,最大估计误差的绝对值一般小于 1/2 倍的量化频率间隔.

## 3 算法描述

### 3.1 检验统计量的确定

在  $H_0$  假设下,分别对信号的起始频率、调频系数进行估计,得到  $\hat{f}_0, \hat{k}$ ,并据此构造参考信号

$$y_0(n) = \exp\{-j[2\pi\hat{f}_0 n \Delta t + \pi\hat{k}(n \Delta t)^2]\}, 0 \leq n \leq N-1 \quad (3)$$

将观测信号  $r(n)$  与参考信号  $y_0(n)$  作相关累加,得到

$$Z_0 = \sum_{m=0}^{N-1} r(m) y_0(m) = s_0 + w_0$$

式中  $s_0 = \sum_{m=0}^{N-1} A \exp[j(2\pi m \Delta f \Delta t + \pi \Delta k (m \Delta t)^2 + \varphi)]$  为

信号部分,  $w_0 = \sum_{m=0}^{N-1} w(m) y_0(m)$  为噪声分量,其中  $\Delta f = f_0 - \hat{f}_0, \Delta k = k - \hat{k}$  分别为起始频率估计误差与调频系数估计误差.

当  $H_0$  假设成立时,在一定信噪比条件下,参数估计算法选择适当时,信号各参数估计误差一般较小.可以证明,当调制识别无误且参数估计误差较小时,有  $s_0 \approx NA \exp j\beta_0$ ,其中  $\beta_0$  是一个等效相位.将  $Z_0$  写成代数形式:  $Z_0 = Z_{R0} + jZ_{I0}$ ,易知其实部  $Z_{R0}$  及虚部  $Z_{I0}$  分别服从高斯分布,其均值分别为  $E(Z_{R0}) \approx NA \cos \beta_0, E(Z_{I0}) \approx NA \sin \beta_0$ ,方差为  $D(Z_{R0}) = D(Z_{I0}) = N\sigma^2/2 = \sigma_z^2$ ,故有

$$|E(Z_0)| = \sqrt{E^2(Z_{R0}) + E^2(Z_{I0})} \approx NA$$

成立.

在  $H_1$  假设下,根据所识别的调制方式结果对应的模型进行参数估计,并构造参考信号

$$y_1(n) = \exp\{-j[2\pi\hat{f}_0 n \Delta t + \hat{\varphi}(n)]\}, 0 \leq n \leq N-1 \quad (4)$$

式中  $\hat{f}_0$  与  $\hat{\varphi}(n)$  分别为  $H_1$  假设下载波频率与相位函数估计值.此时,可能出现两种情况:

(1) 调制方式识别结果错误:当 LFM 信号带宽较小或者信号受干扰发生畸变时,在接收端有可能将其判为常规信号或其它信号.以误识为常规信号为例,若用处理常规信号的办法来处理 LFM 信号,由于信号模型失配,参数估计的误差将很大.此时,若将观测信号  $x(n)$  与失配的参考信号  $y_1(n)$  作相关累加,得到:

$$Z_1 = \sum_{m=0}^{N-1} x(m) y_1(m) = s_1 + w_1$$

其中  $s_1 = \sum_{m=0}^{N-1} A \exp[j(2\pi m \Delta f \Delta t + \pi(km \Delta t)^2 + \varphi)]$  为信号部分,  $w_1 = \sum_{m=0}^{N-1} w(m) y_1(m)$  为噪声分量.类似地,将  $Z_1$  写成代数形式:  $Z_1 = Z_{R1} + jZ_{I1}$ ,同理  $Z_{R1}, Z_{I1}$  也分别服从高斯分布,方差与  $H_0$  时相同即  $D_1(Z_{R1}) = D_1(Z_{I1}) = \sigma_z^2$ ,但其实部与虚部的均值  $E(Z_{R1}), E(Z_{I1})$  与  $H_0$  假设时不同.显见,

$$|E(Z_1)| = \sqrt{E(Z_{R1})^2 + E(Z_{I1})^2} = A \left| \sum_{m=0}^{N-1} \exp[j2\pi\Delta f m \Delta t] \exp[j\pi(km \Delta t)^2] \right| \quad (5)$$

由于信号模型失配,上式中的频率估计误差  $\Delta f$  将较大,从而导致  $|E(Z_1)| < |E(Z_0)|$ .

(2) 调制方式识别正确,但参数估计误差较大:在这种情形下,虽然调制方式识别正确,但可能由于调频系数估计误差大,起始频率估计误差大,也将导致  $|E(Z_1)| < |E(Z_0)|$ .

为了消除相位影响,便于分析,定义统计  $V_i = |Z_i|, i = 0, 1$ ,其概率密度函数近似为<sup>[6]</sup>

$$p_{V_i}(v) = \begin{cases} \frac{v}{\sigma_z^2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_z^2}(v^2 + \xi_i^2)\right] I_0\left(\frac{\xi_i v}{\sigma_z^2}\right), & v \geq 0 \\ 0, & v < 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中  $I_0(x)$  为第一类零阶修正贝塞尔函数, 参数  $\xi_0 = |E(Z_0)| \approx NA$ ,  $\xi_1 = |E(Z_1)|$ . 由于  $H_1$  假设的情况不唯一,  $\xi_1$  很难解析确定, 但由前述分析可知有  $\xi_1 < \xi_0$  成立.

### 3.2 判决式及门限

图 1 所示为统计量  $V_i$  在不同假设下的统计直方图及拟合图(信噪比 3dB). 由图可见, 在不同假设下统计量  $V_i$  的概率分布参数  $\xi_i$  存在较大差异. 于是, 式(1)可转化为如下参数检验问题:

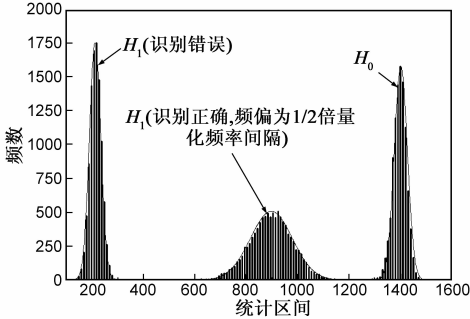


图1 统计量  $V_i$  在不同假设下的统计直方图及拟合图

$$\begin{aligned} H_0: \xi = \xi_0 \approx NA &\Rightarrow \text{识别正确且参数估计误差小} \\ H_1: \xi = \xi_1 < \xi_0 &\Rightarrow \text{识别错误或参数估计误差大} \end{aligned} \quad (7)$$

根据 NP 准则<sup>[6]</sup>

$$\text{若 } \frac{p_{V_1}(v)}{p_{V_0}(v)} \geq \gamma, \text{ 则判 } H_1 \quad (8)$$

式中  $\gamma$  为门限值, 将式(6)代入上式, 并考虑到相关累加至最后一点信噪比增益最大, 即  $\xi_i v / \sigma_z^2 \gg 1$ , 从而有<sup>[6]</sup>

$$I_0(\xi_i v / \sigma_z^2) \approx e^{\xi_i v / \sigma_z^2} / \sqrt{2\pi \xi_i v / \sigma_z^2}$$

进一步整理得

$$\frac{p_{V_1}(v)}{p_{V_0}(v)} = \exp\left[\frac{\xi_0^2 - \xi_1^2}{2\sigma_z^2}\right] \exp\left[\frac{(\xi_1 - \xi_0)v}{\sigma_z^2}\right] \sqrt{\frac{\xi_0}{\xi_1}} \geq \gamma, \text{ 判 } H_1 \quad (9)$$

对上式两边取对数, 并整理得

$$(\xi_1 - \xi_0)v \geq \gamma_1, \text{ 判 } H_1 \quad (10)$$

式中  $\gamma_1 = \sigma_z^2(\ln \gamma + \ln \sqrt{\xi_1 / \xi_0}) + (\xi_1^2 - \xi_0^2) / 2$ .

考虑到在  $H_1$  假设下,  $\xi_1 - \xi_0 < 0$ , 上式等价于

$$v \leq \gamma_2, \text{ 判 } H_1 \quad (11)$$

根据 NP 准则, 在给定的显著性水平  $\alpha$  下, 由下式确定门限  $\gamma_2$ ,

$$P_r\{v \leq \gamma_2; H_0\} = \alpha \quad (12)$$

考虑到在高信噪比条件下, Rician 分布近似服从高斯分布, 则  $V_0$  近似服从均值为  $\xi_0$ , 方差为  $\sigma_z^2$  的高斯分布<sup>[7]</sup>,  $(V_0 - \xi_0) / \sigma_z$  近服从标准正态分布, 从而有

$$P_r\{T_0 \leq \gamma_3; H_0\} \approx 1 - \Phi(\gamma_3) \quad (13)$$

式中  $T_0 = v / \sigma_z - \sqrt{2NSNR}$ ,  $\Phi(x) = 1 / \sqrt{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$  为标准正态分布的分布函数. 通过计算标准正态分布逆概率可得到近似的门限

$$\gamma_3 = \Phi^{-1}(1 - \alpha) \quad (14)$$

式中  $\Phi^{-1}(x)$  为逆标准正态累积分布函数. 于是, 式(11)的判决式可近似简化为

$$\text{若 } T_0 \leq \gamma_3, \text{ 则判 } H_1, \text{ 否则判 } H_0 \quad (15)$$

## 4 性能仿真与分析

仿真中 LFM 参数估计利用改进的 DPT 算法<sup>[8]</sup>, 脉内调制识别为文献<sup>[9]</sup>方法, 仿真次数  $N_s = 1000$  次, 采样频率 100MHz. 后续各表中:  $n_{i,j}$  表示实际假设为  $H_i$ , 利用检验算法判为  $H_j$  的次数, 故两类错误概率  $P_e = (n_{10} + n_{01}) / N_s$ .

表 1 所示为信号起始频率 19.081MHz, 调频系数 0.05MHz/ $\mu$ s, 样本点数 1000 点, 显著性水平分别取 0.001 及 0.0001 时本算法的统计性能. 由表可见: 本算法在适度信噪比范围内, 门限合适时, 能有效完成对 LFM 信号盲处理结果的可靠性检验; 在相同信噪比条件下, 本算法的检验性能受显著性水平取值的影响, 实际中根据需要选择显著性水平的大小.

表 1 不同信噪比及显著性水平时本算法的统计性能

| SNR/dB | $\alpha$ | $n_{00}$ | $n_{01}$ | $n_{11}$ | $n_{10}$ | $P_e$ |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 0      | 0.001    | 1000     | 0        | 0        | 0        | 0     |
|        | 0.0001   | 1000     | 0        | 0        | 0        | 0     |
| -1     | 0.001    | 996      | 0        | 4        | 0        | 0     |
|        | 0.0001   | 996      | 0        | 4        | 0        | 0     |
| -2     | 0.001    | 988      | 4        | 8        | 0        | 0.004 |
|        | 0.0001   | 991      | 1        | 8        | 0        | 0.001 |
| -3     | 0.001    | 984      | 2        | 14       | 0        | 0.002 |
|        | 0.0001   | 986      | 0        | 14       | 0        | 0     |
| -4     | 0.001    | 982      | 5        | 12       | 1        | 0.006 |
|        | 0.0001   | 986      | 1        | 12       | 1        | 0.002 |
| -5     | 0.001    | 970      | 0        | 25       | 5        | 0.005 |
|        | 0.0001   | 970      | 0        | 25       | 5        | 0.005 |
| -6     | 0.001    | 866      | 1        | 117      | 16       | 0.017 |
|        | 0.0001   | 867      | 0        | 117      | 16       | 0.016 |

表 2 所示为信号起始频率、调频系数与同表 1 的仿真参数, 显著性水平  $\alpha$  取 0.0001, 样本点数分别取 800、2000 点时本算法的统计性能. 由表可见: 样本点数不同时, 本文算法的有效信噪比门限不同, 样本点数大时,

信噪比门限低;相同信噪比条件下,两类错误概率大小随着样本点数增加而减小.这是因为样本点数越大,相关累加后信噪比的增益就越大,且算法推导中的各项近似条件也越容易满足,因此其检验性能也越好.

表 2 不同样本点数时本算法的统计性能

| SNR/dB | $N$  | $n_{00}$ | $n_{01}$ | $n_{11}$ | $n_{10}$ | $P_e$ |
|--------|------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 0      | 800  | 979      | 0        | 21       | 0        | 0     |
|        | 2000 | 999      | 0        | 0        | 0        | 0     |
| -3     | 800  | 966      | 0        | 34       | 0        | 0     |
|        | 2000 | 1000     | 0        | 0        | 0        | 0     |
| -6     | 800  | 920      | 3        | 76       | 1        | 0.004 |
|        | 2000 | 998      | 0        | 2        | 0        | 0     |
| -7     | 800  | 616      | 0        | 372      | 12       | 0.012 |
|        | 2000 | 942      | 0        | 57       | 1        | 0.001 |
| -8     | 800  | 56       | 0        | 927      | 17       | 0.017 |
|        | 2000 | 226      | 0        | 764      | 10       | 0.010 |

表 3 所示为调频系数为  $0.05\text{MHz}/\mu\text{s}$ , 信号样本点数取 2000 点, 起始频率分别为  $10.081\text{MHz}$ 、 $29.081\text{MHz}$ , 显著性水平  $\alpha$  取 0.0001 时本算法的统计性能. 由表可见: 当信噪比大于  $-4\text{dB}$  时, 不同起始频率条件下, 1000 次仿真中, 两类错误概率均接近 0. 信噪比小于  $-4\text{dB}$  时, 不同起始频率条件下, 算法的两类错误概率均有所增加, 但变化很小. 可见, 信噪比适度时, 本算法的统计性能基本不受起始频率变化的影响.

表 3 不同起始频率时本算法的统计性能

| SNR/dB | $f_0/\text{MHz}$ | $n_{00}$ | $n_{01}$ | $n_{11}$ | $n_{10}$ | $P_e$ |
|--------|------------------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 0      | 10.081           | 1000     | 0        | 0        | 0        | 0     |
|        | 29.081           | 1000     | 0        | 0        | 0        | 0     |
| -2     | 10.081           | 999      | 0        | 1        | 0        | 0     |
|        | 29.081           | 998      | 0        | 2        | 0        | 0     |
| -4     | 10.081           | 998      | 0        | 2        | 0        | 0     |
|        | 29.081           | 999      | 0        | 1        | 0        | 0     |
| -6     | 10.081           | 939      | 0        | 59       | 2        | 0.002 |
|        | 29.081           | 932      | 0        | 68       | 0        | 0     |
| -8     | 10.081           | 230      | 0        | 765      | 5        | 0.005 |
|        | 29.081           | 230      | 0        | 763      | 7        | 0.007 |

表 4 所示为信号起始频率  $19.081\text{MHz}$ , 调频系数分别取  $0.1\text{MHz}/\mu\text{s}$ 、 $0.2\text{MHz}/\mu\text{s}$ , 样本点数 2000 点, 显著性水平  $\alpha$  取 0.0001 时本算法的统计性能. 由表可见: 信噪比大于  $-4\text{dB}$  时, 不同调频系数条件下, 1000 次仿真中, 两类错误概率均接近 0; 随着信噪比的下降(小于  $-4\text{dB}$

后), 两种条件下, 两类错误概率均有所增加, 但其波动较小. 可见, 信噪比适度时, 本算法的性能基本不受调频系数变化的影响.

表 4 不同调频系数时本算法的统计性能

| SNR/dB | $k/\text{MHz}/\mu\text{s}$ | $n_{00}$ | $n_{01}$ | $n_{11}$ | $n_{10}$ | $P_e$ |
|--------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 0      | 0.1                        | 1000     | 0        | 0        | 0        | 0     |
|        | 0.2                        | 1000     | 0        | 0        | 0        | 0     |
| -2     | 0.1                        | 999      | 0        | 1        | 0        | 0     |
|        | 0.2                        | 1000     | 0        | 0        | 0        | 0     |
| -4     | 0.1                        | 998      | 0        | 2        | 0        | 0     |
|        | 0.2                        | 999      | 0        | 1        | 0        | 0     |
| -6     | 0.1                        | 994      | 0        | 4        | 2        | 0.002 |
|        | 0.2                        | 947      | 0        | 53       | 0        | 0     |
| -8     | 0.1                        | 837      | 0        | 156      | 7        | 0.007 |
|        | 0.2                        | 242      | 0        | 752      | 6        | 0.006 |

## 5 结束语

针对 LFM 信号盲处理的结果可靠性检验问题, 本文提出了一种基于 NP 准则的处理方法, 实现了在低噪比、缺乏信号先验信息的条件下对 LFM 信号盲处理结果的可靠性检验, 算法简单有效, 具有一定的理论与工程应用价值.

致谢: 感谢南京航空航天大学刘渝教授的指导.

## 参考文献

- [1] W Su J A K, Y Ming. Dual-use of modulation recognition techniques for digital communication signals[A]. Systems, Applications and Technology Conference[C]. Long Island, NY: IEEE Press, 2006. 1 - 6.
- [2] Pucker L. Review of contemporary spectrum sensing technologies (IEEE-SA P1900. 6 Standards Group) [OL]. [http://group. ieee. org/groups/scc41/6/documents/white\\_papers/P1900.6\\_Sensor\\_Survey. pdf](http://group. ieee. org/groups/scc41/6/documents/white_papers/P1900.6_Sensor_Survey. pdf), 2009.
- [3] Fehske A, Gaedert J, Reed J H. A new approach to signal classification using spectral correlation and neural networks [A]. 2005 First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks[C]. Baltimore, MD: IEEE Press, 2005. 144 - 150.
- [4] Lin W S, Liu K J R. Modulation forensics for wireless digital communications[A]. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing[C]. Las Vegas, NV: IEEE Press, 2008. 1789 - 1792.
- [5] Shimon Peleg, Porat B. Linear FM signal parameter estimation from discrete-time observations [J]. IEEE Transactions on

Aerospace and Electronic Systems, 1991, 27(4): 607 – 616.

- [6] Whalen A D. Detection of Signals in Noise[M]. New York: Academic Press, 1971.
- [7] Wilfried Gappmai, Roberto López-Valcarce, Mosquera C. Cramér-Rao lower bound and EM algorithm for envelope-based SNR estimation of nonconstant modulus constellations [J]. IEEE Transactions on Communications, 2009, 57(6): 1622 – 1627.
- [8] 胥嘉佳, 刘渝, 邓振森. LFM 信号参数估计的牛顿迭代方法初始值研究[J]. 电子学报, 2009, 37(3): 598 – 602.  
XU Jia-jia, LIU Yu, DENG Zhen-miao, The Starting point problem of parameters estimation for LFM signal based on Newton's method[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(3): 598 – 602. (in Chinese)
- [9] 胡国兵, 刘渝. 基于正弦波抽取的雷达脉内调制识别[J]. 计算机工程, 2010, 36(13): 21 – 23.  
Hu Guo-bing, Liu Yu. Signal intrapulse modulation recognition algorithm based on sine wave extraction[J]. Computer Engineering, 2010, 36(13): 21 – 23. (in Chinese)

## 作者简介



**胡国兵** 男, 1978 年 4 月生, 江苏高淳人. 2006 年、2011 年分别于南京航空航天大学获工学硕士、博士学位. 现为河海大学计算机与信息学院博士后、南京信息职业技术学院副教授、电子信息学院副院长, 主要从事智能信号处理等方面的有关研究.

E-mail: hugh@njcit.cn



**徐立中** 男, 1958 年生, 山东东营人, 博士、教授、博导, 现任河海大学信息与通信工程一级博士点学科主任, 计算机与信息学院副院长. 主要从事多传感器系统与信息融合、遥感和遥测信号处理等方面的研究.

E-mail: lzhu@hhu.edu.cn