

IFM 测量低信噪比信号能力研究

殷兆伟, 秦建军, 曹祥玉, 戴国宪

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:在对 IFM 测量低信噪比信号能力进行理论分析的基础上,应用 MATLAB 语言对其进行仿真,仿真结果同实验结果吻合,表明 IFM 接收机具有较强的测量低信噪比信号的能力。

关键词:瞬时测频;信噪比;相关;精度

中图分类号: TN850.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)06-0031-03

瞬时测频 IFM (Instantaneous Frequency Measurement) 接收机是近 20 年才发展起来的测频体制,它采用相位自相关技术来实现频率测量,较好地解决了接收机截获概率和频率分辨力之间的矛盾,使接收机既具有接近 100% 的截获概率,又达到千分之一以上的频率分辨力。IFM 接收机在脉冲前沿就能完成频率测量工作,对于侦测频率捷变以及脉内调制雷达等信号是极为重要的。此外,瞬时测频接收机还具有结构简单,体积小,成本低、瞬时频带宽等优点,使其在电子战中得到了广泛的应用。本文主要针对 IFM 测频接收机的低信噪比信号能力进行分析,并应用 Matlab 语言进行仿真。

1 瞬时测频工作原理

IFM 接收机是采用相位自相关技术,将信号的频率信息转换成幅度信息,实现测频的。IFM 接收机主要由限幅放大器、鉴相器及编码器组成^[1]。

输入射频信号经限幅放大后送往功率分配器,然后将信号分成多路送往一组微波相关器(各路相关器的鉴相斜率不同),将频率信号转换成相位信号,经过平方律检波器再将相位信息转换为幅度信息,然后将包含相位信息的视频信号送往编码电路进行量化编码,最后将代表频率的代码输出。

假设输入信号为指数函数形式:

$$u_i = \sqrt{2}Ae^{j\omega t} = \sqrt{2}Ae^{j\omega t} \quad (1)$$

简单微波鉴相器组成如图 1 所示。功率分配器将信号等量分配后,3 点的信号经过一段延时线传至 5 点,而 2 点的信号直接传输至 4 点。延时信号和未延时信号在 6 点经过加法器迭加,从而实现信号的模拟自相关。

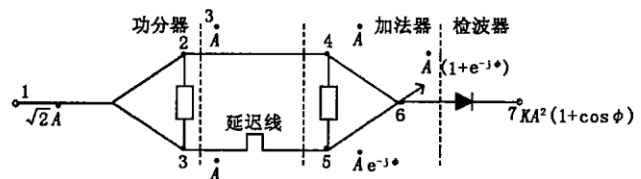


图 1 简单微波鉴相器基本组成

假设点 4、2 之间的传输线长度为 l ; 点 5、3 之间传输线长为 $l + \Delta L$, ΔL 为延时线长度。在此不考虑传输线的损耗,则 6 点信号电压为

$$u_6 = u_4 + u_5 = Ae^{j\omega t} (1 + e^{-j\phi}) = Ae^{j\omega t} (1 + \cos \phi - j \sin \phi) \quad (2)$$

经过平方律检波器,得视频输出电压为

$$u_7 = 2KA^2(1 + \cos \phi) = 2KA^2(1 + \cos \omega T) \quad (3)$$

滤除直流信号后经过检波器就可以检测出代表信号频率大小的相位 ϕ 为

收稿日期:2004-12-03

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:殷兆伟(1973-),男,山东临沂人,博士生,主要从事电子对抗,宽带天线技术,共形天线研究。

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_g} \Delta L = \frac{2\pi}{\lambda_g/c} \cdot \frac{\Delta L}{c} = 2\pi fT \quad (4)$$

其中: c 为光速; λ_g 为延迟线的传输波长; f 为载波频率; T 为延迟时间; K 为检波效率。

2 信号相关对信噪比的改善作用

由经典雷达信号处理理论知道,对一个信号 $u(t)$ 的极限测频精度^[2]为

$$\delta f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{\int t^2 u(t)^2 dt}{\int u(t)^2 dt}} \sqrt{\frac{2E}{n_0}}} \quad (5)$$

其中: E 为信号的总能量; n_0 为单位频带内噪声的功率,这表明信号的时间越长,信噪比越高,得到的测频精度可能会越高。一定意义上说,测频精度反比于信噪比和信号时间长度。过低的信噪比会使测频误差超过指标要求,或者使测频无法进行。

由信号处理理论知道,采用相关技术可以提高信号的信噪比,从而改善接收机测量低信噪比信号的能力。正余弦信号的自相关函数仍是一个余弦信号,与信号的初始相位无关。噪声的自相关性很差,其函数值在离开零点后迅速衰减。通过自相关具有单一频率的信号被周期性的复制,而噪声的能量却相当程度的集中在零点,于是如果将信号和噪声的混合信号经过自相关,然后扣除零点附近的一小段信号,就可以提高信号的信噪比。

3 仿真结果

根据前面对 IFM 测频的分析,应用 Matlab 语言,在输入不同信噪比信号的情况下,对 IFM 接收机的测频精度进行仿真^[3-6]。

某 3 cm IFM 接收机的系统参数为:基本延时值为 1.6 ns,相邻延时比为 4,采用 4 路鉴相器,最低位鉴相器采用 4 比特量化器,频率覆盖范围为 8.7~9.3 GHz。仿真步长为 4 MHz,信噪比分别取 10 dB、6 dB、3 dB、0 dB、-3 dB、-6 dB、-10 dB、-20 dB。加入噪声为正态高斯白噪声。系统白噪声的加入,第一次代表鉴相过程中的噪声,第二次代表相位量化过程中的噪声。因篇幅限制仅将 3 dB、0 dB、-6 dB、-10 dB 的仿真结果给出,分别如图 2(a)、图 2(b)、图 2(c)、图 2(d)所示。

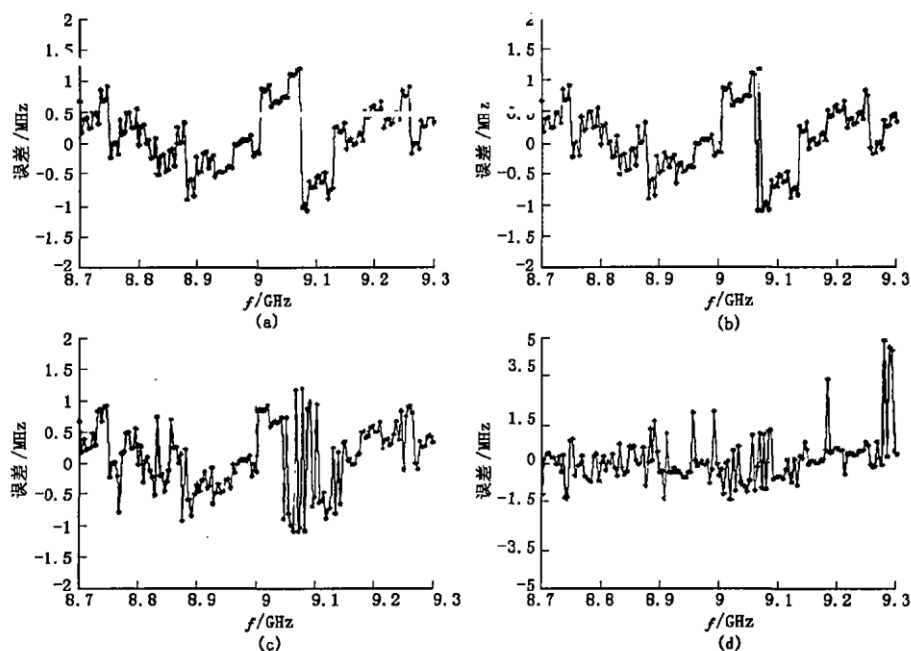


图 2 不同信噪比测频误差仿真结果

可以看出,当信噪比超过 3 dB 时,IFM 接收机的测频均方差已经很稳定,再提高信噪比对提高测频精度的帮助不大,这也说明 IFM 接收机具有较强的测量低信噪比信号频率的能力;另一方面,信噪比影响 IFM 接收机测频精度,信噪比为 -10 dB 时,接收机所测频率的精度降低,所测数据不能作为可靠数据。图 3 为不同信噪比情况下的测频仿真数据统计。

为了验证该仿真的可信度,在 -6 dB 信噪比的情况下,对实际的该波段 IFM 接收机测频精度进行实测,绘出频率误差曲线如图 4 所示,步长为 10 MHz。实测数据的误差均值为 0.19 MHz,均方差为 0.65 MHz,和 -6 dB 信噪比情况下的仿真结果基本吻合。

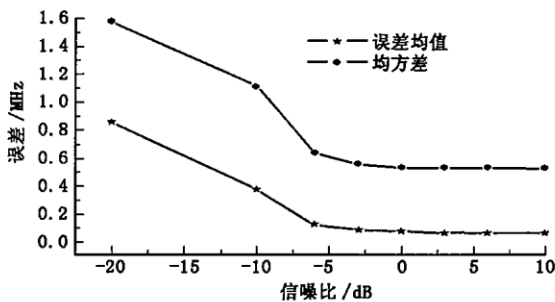


图3 不同信噪比情况下仿真数据统计

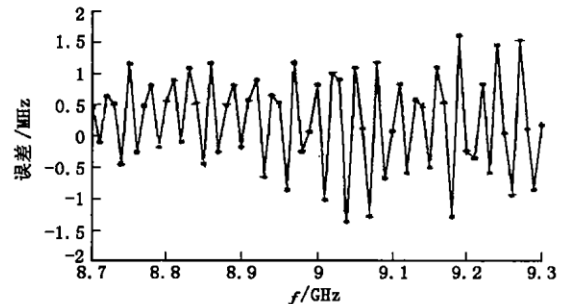


图4 实测频率误差曲线 (-6dB)

4 结束语

本文在分析瞬时测频(IFM)原理的基础上,应用 Matlab 语言对不同信噪比情况下 IFM 测频能力进行了仿真,仿真结果和实测结果基本吻合,表明 IFM 测频体制具有较强低信噪比测量信号能力。仿真方法为进一步研究 IFM 测量低信噪比信号能力提供了一种新思路。

参考文献:

- [1] 林象平. 雷达对抗原理[M]. 西安:西北电讯工程学院出版社,1985.
- [2] 胡来招. 相干在测频中的应用[A]:唐臻富. 电子战新概念新理论新技术——(第十届学术年会论文集)[C]. 成都:电子工业部 29 所,2002. 140 - 144.
- [3] Schleher D, Curtis. Electronic Warfare in the Information Age[M]. Boston:Artech House Radar library,1999.
- [4] 傅吉中. 瞬时测频技术及其在我所的研究和应用的进程[J]. 电子侦察干扰,1988,4(3):26 - 31.
- [5] 刘祖深,王积勤. 频率合成器中延时线鉴频技术研究[J]空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(5):46 - 49.
- [6] 胡来招. 瞬时测频[M]. 北京:国防工业出版社,2002.

(编辑:田新华)

Research on the Capabilities of IFM for Low SNR Signals

YIN Zhao - wei, QIN Jian - jun, CAO Xiang - yu, DAI Guo - xian

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: Based on the theoretical analysis of IFM, an IFM receiver is simulated by using MATLAB program and the simulation results tally well with the experimental results, which validates the IFM's superior ability in measuring low SNR signals.

Key words: IFM; SNR; correlate; accuracy