

文章编号:1000-582X(2004)02-0056-03

# 窄带干扰抑制技术在直接序列扩频通信系统中的应用\*

朱冰莲, 谢伟

(重庆大学通信工程学院, 重庆 400030)

**摘要:**直接序列扩频通信系统的扩频增益受限, 强功率的窄带干扰对其性能影响较大, 为了提高系统的通信效果, 需要采取信号处理技术来抑制干扰。笔者对可调谐数字外差滤波器进行了改进, 提出了应用于直接序列扩频通信系统中的可调谐数字外差自适应陷波窄带干扰抑制技术, 它是一种新的滤波器结构, 能够自适应精确跟踪干扰频率, 并能控制陷波的带宽及深度, 具有较高的灵活性和实用性。通过仿真实验, 该滤波器克服了其它处理方法的一些不足, 具有滤波系数简单, 稳定性好, 适应性强, 对系统性能影响较小, 能跟踪快变的干扰等优点。

**关键词:**直接序列扩频; 干扰抑制; 外差

**中图分类号:** TN713.7

**文献标识码:** A

近年来, 扩频技术由于自身具备的许多独特的优点而被广泛应用于很多领域。直接扩频通信系统(DSSS)的突出优点之一是具有很强的抗窄带干扰能力, 可以抗来自信道中的有意或无意干扰, 同时它的抗窄带干扰能力与扩频增益是成正比的。当扩频增益受限, 窄带干扰的功率超过一定限度时, 系统的性能将会下降, 甚至造成通信中断。为了在不增加扩频增益的条件下进一步抑制窄带干扰, 需要在解扩前采用信号处理技术来抑制干扰, 弥补扩频增益的不足。

干扰抑制的信号处理技术通常分为两类: 变换域滤波处理和时域的自适应滤波处理技术。基于FFT变换域的窄带干扰抑制具有实时性, 但是变换前引入的时间窗使其对应的频域具有较大的旁瓣, 很难将干扰彻底去除; 时域的自适应滤波处理虽具有更彻底的窄带干扰抑制能力, 但是在窄带干扰抑制过程中, 调整滤波器系数以有效地去除干扰是非常困难的, 这主要是因为一般的自适应滤波器, 滤波器系数微小的改变, 滤波器的输出就会发生很大的改变, 而有时为了保证延时、相移、稳定性等, 可能根本就无法实现。同时时域自适应滤波器收敛速度不快, 比较适合于处理慢变的窄带干扰。

为了能克服以上两类方法的不足, 作者利用可调谐数字外差滤波技术, 改变其滤波器系数固定不变的

缺陷, 提出一种新的滤波器结构, 应用在直接序列扩频通信系统中以抑制窄带干扰, 它能够自适应精确跟踪干扰频率, 并能控制陷波的带宽及深度, 具有较高的灵活性和实用性。

## 1 可调谐数字外差自适应陷波窄带干扰抑制模型

可调谐数字外差自适应陷波如图1所示, 它的基本思想是采用调制技术, 控制正弦和余弦信号对准干扰信号的频率, 对输入的干扰信号进行估算, 得到合适的干扰复制信号, 并将输入信号和干扰复制信号进行差分运算从而达到抑制干扰的目的。图中 $r(k)$ 是接收信号采样后的样本值:

$$r(k) = s(k) + J(k) + J(k) + n(k) \quad (1)$$

其中 $s(k)$ 为取值 $\pm 1$ 的伪随机序列,  $J(k)$ 为干扰信号的样本值,  $n(k)$ 为高斯白噪声序列, 干扰信号的预测估计值表示为 $\hat{J}(k)$ 。根据傅立叶变换的调制特性, 为了推导方便, 假设采样周期 $T=1$ , 两个正交信道的信号变换为:

$$U_1(e^{j\omega}) = \frac{1}{2\pi} R(e^{j\omega}) * \mathcal{F}[\sin(n\omega_0)] = \frac{j}{2} [R(e^{j(\omega+\omega_0)}) - R(e^{j(\omega-\omega_0)})] \quad (2)$$

\* 收稿日期: 2003-09-20

作者简介: 朱冰莲(1959-), 女, 四川富顺人, 重庆大学副教授, 博士, 主要从事信号处理及其应用的研究。

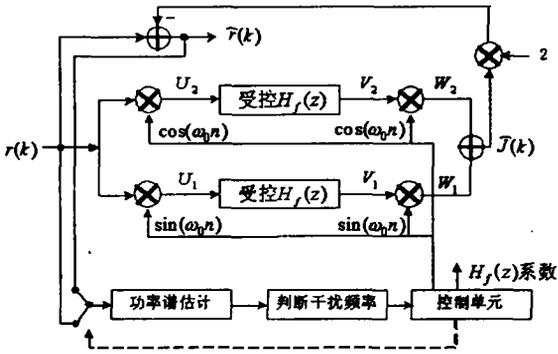


图1 可调谐数字外差自适应陷波器

$$U_2(e^{j\omega}) = \frac{1}{2\pi} R(e^{j\omega}) * \mathcal{F}[\cos(n\omega_0)] = \frac{1}{2} [R(e^{j(\omega+\omega_0)}) + R(e^{j(\omega-\omega_0)})] \quad (3)$$

由于外差调制是时变的,因而变换后的信道不再是时不变的。 $U_1(e^{j\omega})$ 与 $U_2(e^{j\omega})$ 分别经过传输函数为 $H_f(e^{j\omega})$ 两个完全相同的滤波器,为了重构信号,两个滤波器必须是完全相同的。滤波后信号变换为:

$$V_1(e^{j\omega}) = U_1(e^{j\omega}) H_f(e^{j\omega}) = \frac{j}{2} H_f(e^{j\omega}) [R(e^{j(\omega+\omega_0)}) - R(e^{j(\omega-\omega_0)})] \quad (4)$$

$$V_2(e^{j\omega}) = U_2(e^{j\omega}) H_f(e^{j\omega}) = \frac{1}{2} H_f(e^{j\omega}) [R(e^{j(\omega+\omega_0)}) + R(e^{j(\omega-\omega_0)})] \quad (5)$$

为了从两个独立的正交信道重构信号,要用相同的频率和相位对处理后的信号进行再一次的外差调制,信号变换为:

$$W_1(e^{j\omega}) = \frac{1}{2\pi} V_1(e^{j\omega}) * \mathcal{F}[\sin(n\omega_0)] = -\frac{1}{4} [H_f(e^{j(\omega+\omega_0)}) (R(e^{j(\omega+2\omega_0)}) - R(e^{j\omega})) + H_f(e^{j(\omega-\omega_0)}) (R(e^{j\omega}) - R(e^{j(\omega-2\omega_0)}))] \quad (6)$$

$$W_2(e^{j\omega}) = \frac{1}{2\pi} V_2(e^{j\omega}) * \mathcal{F}[\cos(n\omega_0)] = \frac{1}{4} [H_f(e^{j(\omega+\omega_0)}) (R(e^{j(\omega+2\omega_0)}) + R(e^{j\omega})) + H_f(e^{j(\omega-\omega_0)}) (R(e^{j\omega}) + R(e^{j(\omega-2\omega_0)}))] \quad (7)$$

从(6)(7)式可看出,经变换后信号又回到它原来的位置,由于第一次的外差操作,变换后的信号还有混迭,这可以从 $R(e^{j(\omega\pm 2\omega_0)})$ 这一项来解释。把互相正交的信号相加结果为:

$$J(e^{j\omega}) = \frac{1}{2} [H_f(e^{j(\omega-\omega_0)}) + H_f(e^{j(\omega+\omega_0)})] R(e^{j\omega}) \quad (8)$$

这时所有的混迭去除了,如果两个信道用两个不同的滤波器,混迭就不会去除,因此从整体上看,系统是线性时不变的。如果 $H_f(e^{j\omega})$ 选用一个低通滤波器,则 $\frac{1}{2} [H_f(e^{j(\omega-\omega_0)}) + H_f(e^{j(\omega+\omega_0)})]$ 就是一个带通滤波器,它的带宽为低通滤波器的两倍。在 $\omega_0$ 是窄带干扰信号中心频率的情况下, $\hat{J}(e^{j\omega})$ 的结果就是干扰信号的复制,其幅度为原干扰信号的 $\frac{1}{2}$ ,将 $\hat{J}(e^{j\omega})$ 的幅度增大一倍。在假设白噪声忽略不记的情况下系统的输出在时域中可表示为:

$$\hat{r}(k) = r(k) - 2\hat{J}(k) = s(k) \quad (9)$$

在频域中表示为:

$$\hat{R}(e^{j\omega}) = R(e^{j\omega}) - 2\hat{J}(e^{j\omega}) = R(e^{j\omega}) [1 - H_f(e^{j(\omega-\omega_0)}) - H_f(e^{j(\omega+\omega_0)})] = S(e^{j\omega}) \quad (10)$$

则整个系统的传输函数为:

$$H(e^{j\omega}) = \frac{\hat{R}(e^{j\omega})}{R(e^{j\omega})} = 1 - [H_f(e^{j(\omega-\omega_0)}) + H_f(e^{j(\omega+\omega_0)})] \quad (11)$$

式(11)可看出差分单元的输入到其输出,输入信号的通路等效为一个陷波器,陷波器的带宽由低通滤波器的系数来确定,等效陷波器的幅频特性如图2所示。 $H_f(e^{j\omega})$ 可以选用典型的滤波器,比如:Butterworth, Chebyshev 或 FIR 滤波器等。滤波器频谱分析和控制部分遵循以下步骤:

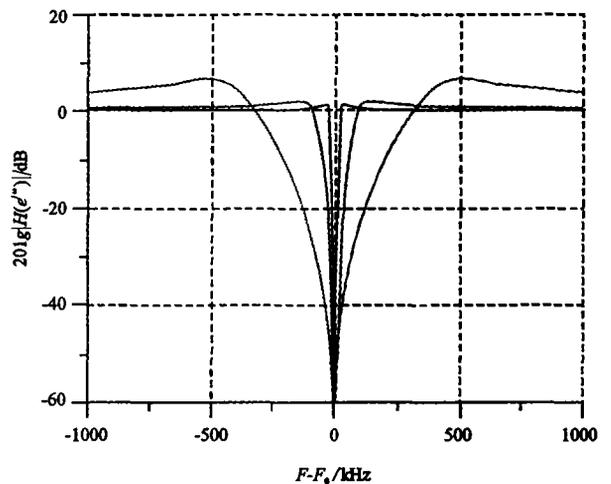


图2 等效陷波器幅频特性图

- 1) 计算接收信号的频谱;
- 2) 找出最大的频率点;
- 3) 判断频率是否超过门限值;
- 4) 如超过则控制正弦频率值为该频率点;

5) 分析差分信号的频谱;

6) 通过控制单元不断调整低通滤波器的带宽,最终获得一个最佳的陷波带宽;

7) 不断调整3) -7),直到信号频谱中的频率点没有超过门限值的存在。

为了同时滤除多个干扰频率,可以并联多个调制单元,每个单元对应一个干扰频率,可产生多个干扰信号的副本,也可几个同时对准一个干扰频率点,从而可加深陷波的程度。

## 2 干扰抑制仿真

作者用可调谐数字外差自适应陷波器对单频、双频正弦干扰在计算机上进行了抑制前后的仿真研究。为了实现方便,受控  $H_f(z)$  选用二阶 Chebyshev II 型滤波器,通过调整滤波器系数,可改变受控低通滤波器的带宽。在仿真时系统的采样速率为 40 MHz,采用的滤波器传输函数为  $H_f(z) = \frac{z^2 - 1.9994z + 1.0001}{z^2 - 1.9890z + 0.9891}$ ,滤波器的带宽为 50 kHz,PN 码速率为 5 Mbps。

仿真1:单音干扰情形:实验条件为信扰比(SJR)为 -30 dB,图3(a)(b)分别给出了干扰抑制前和干扰抑制后的输入输出功率谱,结果表明采用可调谐数字外差自适应滤波器处理后其输出功率谱得到很大改善。

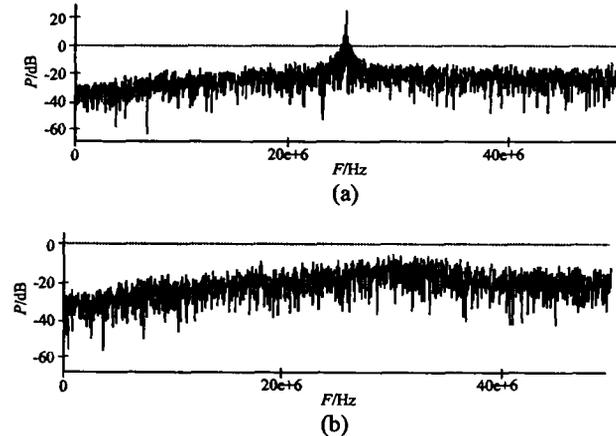


图3 单个强音干扰抑制前后频谱  
(a)抑制前频谱 (b)抑制后频谱

仿真2:双音干扰情形:实验条件为信扰比  $SJR_1 = -30$  dB,  $SJR_2 = -30$  dB,图4(a)(b)分别给出了2个单音干扰抑制前后的输入输出功率谱,也可以看出,在抑制处理后干扰基本得到去除。

从以上仿真结果可以看出,可调谐数字外差自适应陷波器有很好的抑制窄带干扰能力,图5为没加窄带干扰的信号频谱,同图3(b)、图4(b)相比较,可看出干扰抑制后的频谱对信号的频谱损害较小。

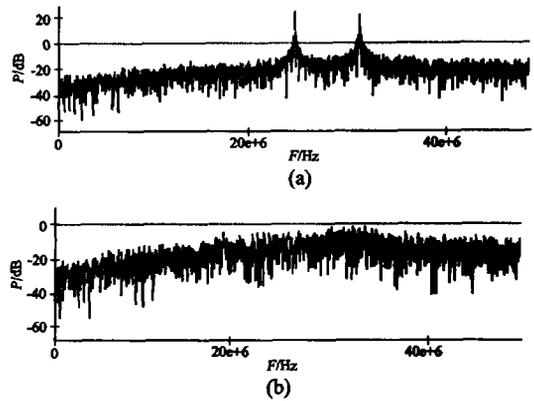


图4 两个强音干扰抑制前后频谱  
(a)抑制前频谱 (b)抑制后频谱

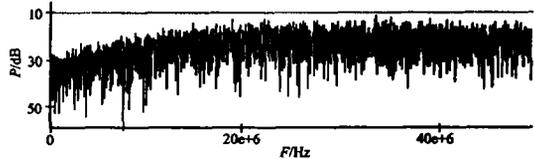


图5 没加强音干扰时信号频谱

## 3 结论

笔者所提出的应用于直接序列扩频通信系统的可调谐数字外差自适应陷波器干扰抑制技术,在结构和算法上不同于一般的时域自适应滤波器和变换域处理技术,可以更好地使系统稳定,实现方式更加灵活,收敛速度比时域的自适应滤波器快,可以用来处理快变的干扰,克服了变换域处理中的频谱泄漏现象,具有滤波简单,稳定性好,适应性强,对系统性能影响较小等优点,能够较好地抑制窄带干扰的影响。

## 参考文献:

- [1] 查光明,熊贤祚.扩频通信[M].西安:西安电子科技大学出版社.2001.
- [2] 沈允春.扩谱技术[M].北京:国防工业出版社.1995.
- [3] MILSTEIN L B. Interference rejection techniques in spread spectrum communications [J]. Proceedings of the IEEE, 1988,76(6):657-671.
- [4] NELSON K E, SODERSTAND M A. Adaptive filtering Using heterodyne frequency translation[A]. In Proceedings of 40<sup>th</sup> Midwest Symposium on Circuits and Systems. Seattle. Sacramento[C]. CA, USA. August 1997,1 358-1 361.
- [5] NELSON K E, SODERSTAND M A. Full Tunable Digital Heterodyne IIR Filters[A]. ICASSP-1999. Phoenix[C]. AZ, USA. March 1999,1 141-1 144.
- [6] NELSON K E, SODERSTAND M A. Adaptive Heterodyne Filters for Detection and Attenuation of Narrow Band Signals [A]. ICASSP-1998 [C]. Seattle, WA, USA. May 1998, 441-444.

(下转第67页)

## Review on the Preparation and Application of Carbon Membrane

LIU Zuo-hua<sup>1</sup>, DU Jun<sup>1</sup>, LI Xiao-hong<sup>2</sup>, TAO Chang-yuan<sup>1</sup>, ZHOU Xiao-xia<sup>3</sup>, QING Sheng-lan<sup>1</sup>

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

3. Staff Room of Chemistry, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

**Abstract:** Carbon membrane is a new type of functional inorganic separation membrane, possessing the merits of good processing and excellent physicochemical properties. Compared with traditional polymer membrane, carbon membrane has the advantage of excellent resistance to high temperature and immune to aggressive operation condition as well as good performance in anti-corrosion. To select cheap and easy available raw material and to prepare good performance carbon membrane for liquid or gas separation are the continuous research goal. Researchers are pursuing the carbon membrane possessing the high membrane flux and high selectivity simultaneously. To investigate and obtain carbon membrane catalysis reactor, carbon membrane biochemical reactor, integrated membrane process reactor and inorganic-organic composite membrane are the future direction in carbon membrane research and development.

**Key words:** carbon membrane; functional membrane material; composite membrane; membrane reactor

(编辑 张 革)



(上接第 58 页)

## The Application of Narrowband Interference Suppression in Direct Sequence Spread Spectrum

ZHU Bing-lian, XIE Wei

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** In order to improve the system effect, it is necessary take the technique of digital signal process to suppress interference, because of the finite gain and the narrow - band interference in system of direct sequence spread spectrum. The authors design a new filter structure improving on tunable digital heterodyne adaptive notch filters. This filter can adaptively track the interference frequency and control the bandwidth and depth of notch, which has the excellent agility and utility. The experiment proves this method overcomes limitation of other interference suppressions, hardly weaken the system performances, enhances the stability of the filter system, and can quickly track the interference frequency.

**Key words:** direct sequence spread spectrum; interference suppression; heterodyne

(编辑 吕赛英)