

航空飞机计算机通信中滤波器的优化设计

史迎馨

(通化师范学院, 吉林 通化 134002)

摘要: 航空飞机计算机通信系统进行通信的过程中, 由于航空飞机上的电子设备相互之间的电磁干扰严重, 导致信道中存在大量的干扰信号; 提出基于小波变换算法的抗干扰滤波器设计方法; 根据小波变换算法相关原理, 综合航空飞机通信中特有的软阈值特点, 利用自适应调整参数的方法得到高空通信中的最优小波系数阈值, 使得高空噪声过滤阈值函数具有更强的适应性; 利用新的阈值函数设计了新的滤波器, 对行滤波模块和列滤波模块的设计进行了详细阐述; 实验结果表明: 利用设计的滤波器能够对航空飞机计算机通信过程中的干扰信号进行有效滤波, 缩短了滤波时间, 提高了高空通信系统的抗干扰能力。

关键词: 航空飞机; 通信系统; 滤波器设计; 小波变换算法

Optimal Design of Airborne Filter in Computer Communication

Shi Yingxin

(Tonghua Normal College, Tonghua 134002, China)

Abstract: Aviation aircraft in the process of communication, between electronic equipments electromagnetic interference is serious, results in the presence of large amounts of jamming signal in the channel. Proposed anti-jamming filter design method based on wavelet transform algorithm. According to the principle of wavelet transform algorithm is related, peculiar to general aviation aircraft communication soft threshold characteristics, the method of using the adaptive adjustment of parameters to get the optimal threshold wavelet coefficients of high communication, makes the high noise filtering threshold function has better adaptability. Using the new threshold function design of the new filter, introduction to the design of line filter module and column filter module in detail in this paper. The experimental results show that. Of aviation aircraft using the designed filter can effectively filter interference signals in the process of computer communication, shortens the time of filtering and improve the anti-interference ability of the communication system of high altitude.

Keywords: aviation aircraft; communications system; filter design; wavelet transform algorithm

0 引言

航空飞机计算机通信系统是航空飞机安全飞行的重要保障^[1-3]。航空飞机利用计算机通信系统能够实现对飞机的各个部位进行故障信号采集与监测, 发挥着无可替代的作用^[4]。由于航空计算机通信系统的工作环境极为复杂, 在通信的过程中, 信道中会出现大量非线性、难以预测的干扰信号^[5-6], 对计算机通信系统的正常信号带来严重的干扰, 造成信号失真, 从而对航空飞机的安全飞行带来严重威胁^[7]。传统的滤波系统难以将干扰信号进行有效过滤, 造成通信信号不准确, 对航空飞机的安全飞行带来严重的隐患。本文提出了基于小波变换算法的抗干扰滤波器设计方法。对航空飞机计算机通信系统的滤波器进行优化设计, 从而保证计算机通信信号的质量。

1 计算机通信系统滤波器优化设计

1.1 小波变换滤波算法原理

小波变换算法是一种可变尺度时频信号分析算法。对于随机选取的信号函数 $f(t) \in v_0$, 能够将其分解成大尺度窗口, 将大尺度窗口进行再分解, 从而能够对信号的任意逼近部分和

细节部分进行精确分析。其基本思想是利用 matlab 塔式算法。matlab 塔式算法利用信号的尺度函数与小波函数之间的关系, 得到不同层次小波的分解结果。设置 $\phi(t)$ 和 $\psi(t)$ 分别用来描述尺度空间 v_0 和小波空间 w_0 的标准正交基函数, 则能够得到下述公式:

$$\begin{aligned} c_{j,k} &= \sum_m h_0(m-2k)c_{j-1,m} \\ d_{j,k} &= \sum_m h_1(m-2k)c_{j-1,m} \end{aligned} \quad (1)$$

上述式中, $c_{j,k}$ 用来描述尺度系数, $d_{j,k}$ 用来描述小波系数。因此, 能够干扰信号的小波重构函数, 利用下述公式能够描述:

$$\begin{aligned} c_{j-1,m} &= \sum_k c_{j,k} h_0(m-2k) + \sum_k d_{j,k} h_1(m-2k) \\ h_0(n) &= [\phi, \phi_{-1,n}] \\ h_1(n) &= [\psi, \psi_{-1,n}] \end{aligned} \quad (2)$$

上述式中, $h(n)$ 用来描述干扰信号的尺度函数, $\psi(t)$ 用来描述干扰信号的小波函数。

1.2 基于小波变换的滤波原理

航空飞机计算机通信信号中的干扰噪声一般服从正态分布, 因此能够利用高斯白噪声 $n \sim N(0, \sigma^2)$ 进行描述, 其叠加在采集的通信信号 X 上, 能够用下述公式进行描述:

$$Y = X + N(0, \sigma^2) \quad (3)$$

对高斯白噪声进行小波变换处理, 能够获取下述结果:

$$Y = W_y = W_x + N(0, \sigma^2) = X + N(0, \sigma^2) \quad (4)$$

收稿日期: 2014-05-22; 修回日期: 2014-07-22;

作者简介: 史迎馨(1981-), 女, 山东平度人, 研究生, 主要从事计算机应用方向的研究。

从上述公式能够得知，处理后的结果仍然服从正态分布。根据概率论的相关原理能够得知，服从正态分布的通信信号随机变量在 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 的概率是 0.9981，因此能够将有干扰信号的通信信号根据小波变换域的系数分为两种情况。假设 $|d_j^k| > 3\sigma$ ，则表示是正常通信信号，反之，则是干扰信号。其中， d_j^k 用来描述存在干扰信号的小波变换系数。利用波变换算法进行过滤计算机通信系统中的干扰信号的具体方法如下所述：

1) 假设 $3\sigma \geq T$ ，如果 $|d_j^k| \geq 3\sigma \geq T$ ，同时 $|d_j^k| T 3\sigma T \geq T^2$ ，则有 $T \geq \frac{T^2}{|d_j^k|}$ ，此时需要用 $\frac{T^2}{|d_j^k|}$ 作为小波滤波算法的软阈值；而对于包括干扰信号的非重要系数，还要用 T 作为小波变换滤波算法的软阈值。

2) 假设 $3\sigma < T$ ，如果 $|d_j^k| \geq 3\sigma$ ，同时 $|d_j^k| 3\sigma \geq 3\sigma^2$ 则有 $T \geq \sigma \geq \frac{(3\sigma)^2}{|d_j^k|}$ ，此时需要用 $T \geq \sigma \geq \frac{(3\sigma)^2}{|d_j^k|}$ 作为小波变换滤波算法的软阈值；而对于包括干扰信号在非重要系数，需要用 0 作为小波变换滤波算法的软阈值。利用软阈值小波算法过滤干扰信号的具体方法如下所述：

- (1) 采集计算机通信信号；
- (2) 对包含干扰信号的计算机通信信号进行小波变换处理；
- (3) 对小波系数进行软阈值优化处理：

假设 $3\sigma \geq T$ ，则利用下述公式进行处理：

$$d_j^k = \begin{cases} \text{sgn}(d_j^k) \left[|d_j^k| - \frac{T^2}{|d_j^k|} \right], & |d_j^k| \geq 3\sigma \\ \text{sgn}(d_j^k) (|d_j^k| - T), & T \leq |d_j^k| < 3\sigma \\ 0, & |d_j^k| < T \end{cases} \quad (5)$$

假设 $3\sigma < T$ ，则利用下述公式进行处理：

$$d_j^k = \begin{cases} \text{sgn}(d_j^k) \left[|d_j^k| - \frac{(3\sigma)^2}{|d_j^k|} \right], & |d_j^k| \geq 3\sigma \\ 0, & |d_j^k| < 3\sigma \end{cases} \quad (6)$$

3) 利用小波变换算法对计算机通信信号进行逆变换重构，其具体流程能够用图 1 进行描述。

1.3 滤波器硬件设计

基于小波变换算法的滤波器硬件框架设计如图 2 所示。

输入的计算机通信信号依次经过控制单元模块至地址模块，最后将输出的小波分解系数储存在外部存储器。控制单元模块由外部存储器输入的信号是原始通信信号。

行变换滤波模块结构如图 3 所示。

行变换滤波器由 8 个加法器、8 个选择器和 4 个延迟寄存器构成。它利用延迟寄存器将输入的通信信号划分为偶数序列和奇数序列，利用选择器对通信信号的嵌入式拓展过程和运算过程进行控制。偶数信号经过选择器和加法器与滤波器系数相乘进行运算，再与奇数信号相加，最后利用 pipeline 寄存器进行流水线处理。

列滤波器模块结构如图 4 所示。

列滤波器的结构和行滤波器的结构极为相似，但没有延迟寄存器。由于其处理的信号是行滤波器处理后的结构，因此，只有输出一定数目的行时才进行滤波。

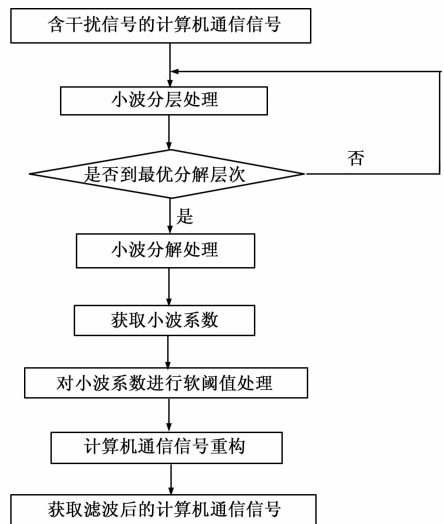


图 1 小波变换滤波算法实现流程图

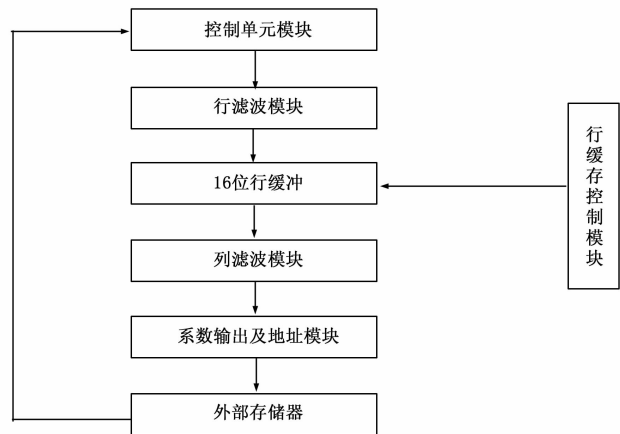


图 2 小波变换滤波器的框架设计图

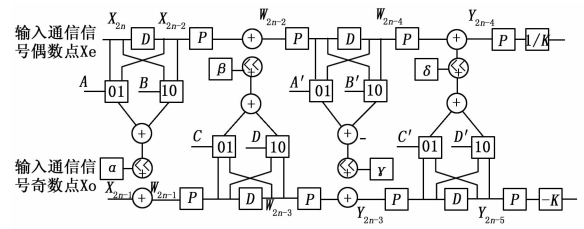


图 3 行滤波器的结构图

2 实验结果及分析

为了验证本文设计的滤波器的有效性，需要进行一次实验。利用不同系统进行滤波。在实验的过程中，采集的航空飞机计算机通信信号能够用图 5 进行描述：

利用传统滤波系统，以粒子群算法为基础进行滤波，获取的信号能够用图 6 进行描述。

利用本文设计的滤波系统进行滤波，获取的信号能够用图 7 进行描述。

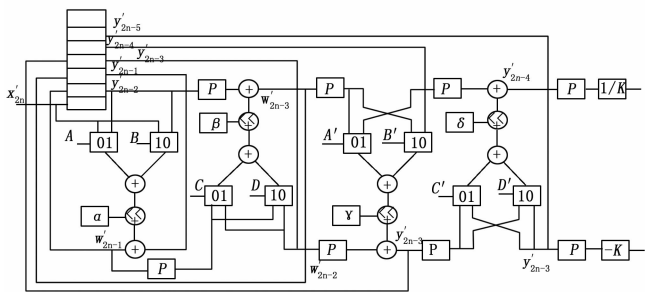


图 4 列滤波器结构图

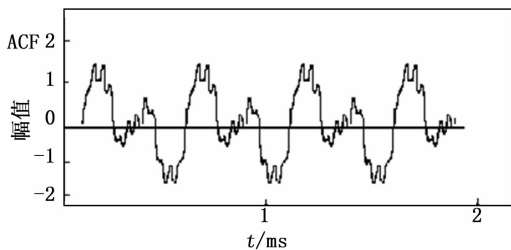


图 5 高空航空通信信号

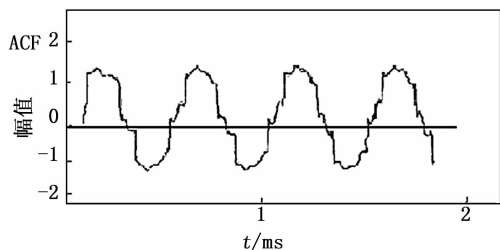


图 6 传统滤波系统滤波结果

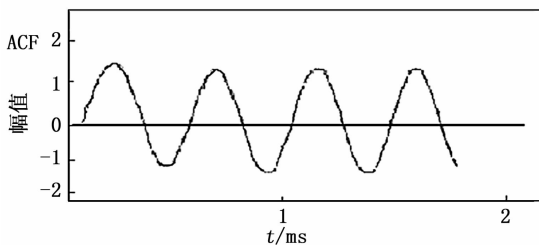


图 7 本文滤波系统滤波结果

从上图实验结果能够得知，利用本文系统进行航空计算机通信系统滤波，获取信号的真实度明显高于传统算法，充分表明了本文系统优越性。

利用不同算法进行 10 次航空飞机计算机通信滤波实验，在实验的过程中，设置外界干扰信号的复杂度逐渐增加，对实验过程中的数据进行整理和分析，能够得到表 1 中的实验结果。

根据表 1 能够得知，利用本文系统进行航空飞机计算机通信系统滤波，能够极大地提高计算机通信系统的抗干扰性能，缩短了滤波的时间，效果令人满意。

表 1 不同系统滤波结果

实验次数/次	传统系统		本文系统	
	准确率/(%)	耗费时间/ms	准确率/(%)	耗费时间/ms
1	93	12	99	9
2	81	15	97	10
3	79	17	97	11
4	75	21	96	12
5	71	25	96	15
6	66	28	95	18
7	62	37	95	19
8	59	39	94	20
9	55	48	94	22
10	51	61	93	25

3 结论

针对利用传统的滤波器进行航空飞机计算机通信滤波的过程中，假设外部环境中的干扰信号种类不断增多，导致滤波效率降低的弊端。为此，提出基于小波变换算法的抗干扰滤波器设计方法。根据小波变换算法相关原理，综合软阈值的特点，利用自适应调整参数的方法得到最优小波系数的阈值，使得阈值函数具有更强的适应性。对基于小波变换算法的滤波器进行设计，重点对行滤波模块和列滤波模块的设计进行了详细阐述。实验结果表明，利用本文设计的滤波器能够对航空飞机计算机通信过程中的干扰信号进行有效滤波，缩短了滤波时间，提高了计算机通信系统的抗干扰度，取得了令人满意的效果。

参考文献:

- [1] 欧阳森, 等. 基于信号相关性和小波方法的电能质量去噪算法 [J]. 电工技术学报, 2003, 18 (3): 112-116.
- [2] 王继东, 王成山. 基于改进软阈值法的电能质量扰动信号去噪 [J]. 电工电能新技术, 2006, 25 (2): 34-38.
- [3] 周文晖, 李青, 周兆经. 采用小波多分辨率信号分解的电能质量检测 [J]. 电工技术学报, 2005, 20 (10): 81-84.
- [4] 欧阳森, 等. 小波软阈值去噪技术在电能质量检测中的应用 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (19): 56-6.
- [5] 程扬军, 黄纯, 何朝辉, 陈续喜. 基于自适应顺序形态滤波的电能质量去噪算法 [J]. 计算机仿真, 2009, 26 (12): 218-221.
- [6] 邵明, 钟彦儒, 余建明. 基于小波变换的谐波电流的实时检测方法 [J]. 电力电子技术, 2000 (2): 42-45.
- [7] 董新洲, 耿中行, 葛耀中, 等. 小波变换应用于电力系统故障信号分析初探 [J]. 中国电机工程学报, 1997, 17 (6): 421-424.