

基于改进粒子群算法的自适应陷波器设计

章洁 蒋世奇

(成都信息工程学院控制工程系 成都 610225)

摘要 在信号处理中,接收信号常伴随着干扰和噪声,这就需要最优滤波器来实现,其中工频干扰的消除则以自适应陷波器为最优。利用粒子群算法自适应地调节其权值,得到与干扰信号接近的期望信号,最终达到消除干扰得到有用信号的目的。同时,针对此算法存在局部收敛和收敛速度不高的问题,提出了改进方法。计算机仿真结果表明了该改进粒子群算法在自适应陷波器设计上的有效性,并取得了较高的效率。

关键词 粒子群算法,自适应陷波器,最优滤波器,干扰

New Particle Swarm Optimization Algorithm for the Design of the Adaptive Notch Filter

ZHANG Jie JIANG Shi-qi

(Control Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract In signal processing field, disturbance and noise signal often exists in the received signal. Adaptive notch filter, as one of the optimal filter, is the best structure to eliminate the low frequency interference. In this paper, the particle swarm optimization was applied to the adaptive notch filter, it can get useful signal by the adaptive algorithm to adjusting its weight and eliminating the low frequency interference. Then, a new PSO algorithm was proposed to improve the local convergence and the speed of convergence, the simulation results show that the algorithm is efficient and has good global optimization ability.

Keywords Particle swarm optimization, Adaptive notch filter, Optimal filter, Disturbance

1 引言

在通信系统和其他电子系统中,经常会受到诸如 50HZ 工频等单频干扰或窄带干扰的影响。这种干扰的存在严重影响了信号接收,大大降低了检测的可靠性和正确性,因此必须加以消除。自适应陷波器属于自适应滤波中的一种,是消除这种干扰的有力工具。自适应陷波器有两个优点:一是频率特性可以具有很窄的阻带,与理想特性很接近,而且阻带宽度很容易进行控制;二是当干扰频率有变动时,阻带位置能够跟踪干扰频率的变化。这种滤波器中,当噪声参考输入为单一频率正弦信号时,则系统可以构成自适应陷波滤波器^[1]。该陷波器的核心是自适应算法,经典的自适应优化算法是最小均方误差(LMS)算法,其缺点是滤波效果极大地依赖于步长的确定。

粒子群算法(PSO),其思想来源于人工生命和演化技术,算法简单容易实现并且没有太多的参数需要调整,在多维空间函数寻优、动态目标优化等方面有着收敛速度快、解的质量高等优点。本文提出了一种将改进的新的粒子群优化算法用于自适应陷波器中代替常规的 LMS 算法,在该算法中引入了非线性函数,对惯性权重进行调整,并通过数值仿真与常规算法进行实验比较,证明了该算法的有效性、全局性。

2 粒子群优化算法及改进

粒子群优化算法是基于群体的演化算法而来的, PSO 模拟鸟群的捕食行为。粒子群由 n 个粒子组成,每个粒子的位置代表优化问题在 D 维搜索空间中的潜在的解。粒子根据 3 条原则来更新自身的状态:

- (1) 保持自身惯性;
- (2) 按自身的最优位置(即该粒子历史上的最优位置)来改变状态;
- (3) 按群体的最优位置来改变状态。

在找到这两个最优值时,粒子根据如下的公式来更新自己的速度和新的位置:

$$Vid[k+1] = w * vid[k] + c_1 * rand() * (pbest[k] - Xid[k]) + c_2 * rand() * (gbest[k] - Xid[k]) \quad (1)$$

$$Xid[k+1] = Xid[k] + Vid[k+1] \quad (2)$$

式(1)与式(2)分别是基本粒子群算法的速度迭代公式和位置迭代公式,是粒子群算法的核心思想。 $Vid[k]$ 第 k 次迭代粒子的速度, w 是惯性权重, $Xid[k]$ 是第 k 次迭代粒子的位置。 $pbest[k]$ 是 k 次迭代粒子的个体极值。 $gbest[k]$ 是粒子群中第 k 次迭代粒子的全体极值。 $rand()$ 是介于(0,1)之间的随机数。 c_1, c_2 是学习因子,通常取 $c_1 = c_2 = 2$ 。也可以不

本文受航空科学基金(20101024005)资助。

章洁 女,硕士,讲师,主要研究方向为智能信息处理、测控仪器设计等;蒋世奇 男,博士,副教授,主要研究方向为智能信息处理、测控仪器设计等。

取2。每一维粒子的速度和位置都会被限制在一个区间 $[V_{min}, V_{max}]$ 和 $[X_{min}, X_{max}]$ 中,如果某一维更新后的速度或位置超过用户设定的区间,那么这一维的速度或位置就被限定为区间边界值。

在粒子群算法的可调参数中,惯性权重 w 对算法的性能影响很大,它提供了粒子在搜索空间飞行的动力,是粒子群优化算法中的关键部分,其中惯性权重控制粒子以前经历过的速度对当前速度的影响,决定了上一时刻的速度将保留多少下来,因此惯性权重设置影响了粒子的全局搜索能力与局部搜索能力之间的平衡;较大的权值有利于全局搜索能力,能够搜索以前未能到达的区域,而较小的权值会增加算法的局部搜索能力,有利于算法的收敛^[3]。

粒子群算法搜索过程是非线性且复杂的过程,一个从全局搜索到局部搜索的现象变化并不能真实地反映搜索全局最优所需的搜索过程,尤其是对于动态优化问题。在跟踪问题中,环境随时间动态变化,故需要搜索算法能够根据变化的环境进行动态的非线性搜索。所以,为了在设计陷波器时能拥有更好的搜索性能,受线性调整 w 策略思想的启发,引入了非线性函数对惯性权重进行调整。试图能够更加合理地反映粒子群搜索的范围及非线性过程,设计出更好效率的陷波器。

$$w = (w_{max} - w_{min}) (k/MaxDT)^3 + (w_{min} - w_{max}) (k/MaxDT)^2 + (w_{min} - w_{max}) (k/MaxDT) + w_{max} \quad (3)$$

这是一条开口向上的非线性曲线,其中 w_{max} , w_{min} 分别表示最大和最小的惯性权重, $MaxDT$ 表示最大迭代次数, k 表示当前迭代次数。

3 自适应陷波器结构及设计

图1为单一频率自适应陷波器的原理框图,其中原始输入端为接收到的受单频干扰的有用信号 $d(n)$, A 为干扰幅度, ω_0 为干扰的频率,两个权系数 w_1 与 w_2 由自适应线性组合器调整输出^[8]

$$d(n) = s(n) + A\cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (4)$$

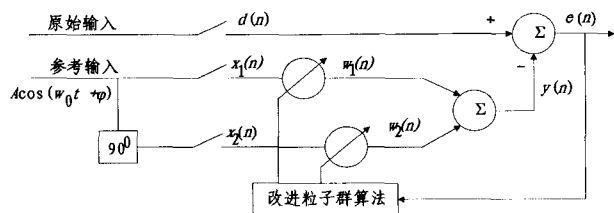


图1 自适应陷波器的原理框图

参考输入 $x_1(n)$ 与 $x_2(n)$ 之间存在 90° 相移,即:

$$x_1(n) = A\cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (5)$$

$$x_2(n) = A\sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (6)$$

线性组合器的输出为:

$$y(n) = x_1(n)w_1(n) + x_2(n)w_2(n) = A\cos(\omega_0 t + \varphi)w_1(n) + A\sin(\omega_0 t + \varphi)w_2(n) \quad (7)$$

通过改进粒子群算法调整,使权矢量达到最佳值 $w_1'(n)$ 和 $w_2(n)$,此时输出为:

$$y(n) = A\cos(\omega_0 t + \varphi)w_1'(n) + A\sin(\omega_0 t + \varphi)w_2'(n) = c' \cos(\omega_0 t + \varphi') \quad (8)$$

式中, c' 和 φ' 分别是干扰的振幅和相位的最佳估计。 $d(n)$ 与 $y(n)$ 相减后便可得到有用信号的最佳近似值,即:

$$e(n) = d(n) - y(n) \approx s(n) \quad (9)$$

本文中用改进的粒子群算法代替陷波器中常规的 LMS 算法,设计步骤如下:

步骤1 初始化粒子群。

步骤2 计算每个粒子的适应值,该适应度函数为:

$$\text{适应度} = \text{MSE} = \left(\sum_{n=1}^N [X - (d(n) - y(n))]^2 \right) / N \quad (10)$$

上述公式的 $d(n)$ 是原始输入带干扰的信号, $y(n)$ 是估计信号, X 是原始输入有用信号。

步骤3 更新个体极值,比较其目前每个粒子的个体极值,如果较好则重新设置个体极值。

步骤4 更新全局极值 g_{best} 。如果当前的最好粒子适应值比 g_{best} 更好,则分配目前最好的适应值为 g_{best} ,最后最好的粒子群位置将被设置为全局最佳位置。

步骤5 根据式(1)、式(2)和式(3)更新粒子的速度和位置。

步骤6 如果满足迭代次数,迭代过程结束,否则返回到步骤2。

4 仿真结果

为了验证该改进粒子群算法在设计自适应陷波器时的正确性和有效性,进行了一系列的实验,其中之一的实验中,假定原始输入信号: $X = \sin(2\pi t/20)$, 干扰信号: $y = A\cos(2\pi t/10 + \varphi)$, 其中 $A = 0.5$, $\varphi = \pi/3$, 参考信号 1: $x_1 = \cos(2\pi t/10)$, 参考信号 2: $x_2 = \sin(2\pi t/10)$ 。实验仿真结果如图2所示。

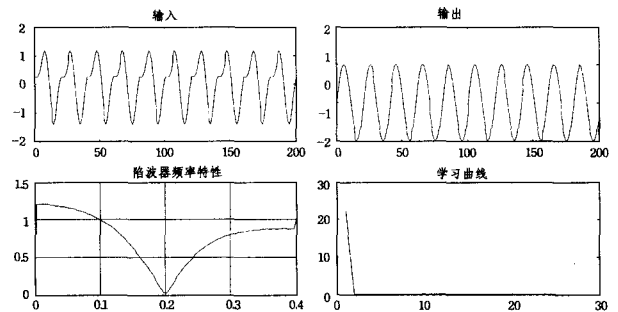


图2 自适应陷波器仿真结果

从图2可以看出,输入是受到单频干扰的波形,输出是滤波后的结果,该算法代替 LMS 算法进行陷波器设计时,学习曲线基本在第3代左右就已经较好地收敛了。由频率特性曲线可以知道陷波器在 0.2π 处陷波,滤除干扰的信号。相对于传统的 LMS 算法来说,有较快的收敛速度,同时有较优越的性能。

结束语 本文提出了用一种改进的粒子群算法去设计自适应陷波器,该算法运行速度很快,有很好的去除单频干扰的能力;实验证明了该算法用于陷波器设计的有效性、快速收敛性,同时也避免了算法陷入局部最优,为工程设计提供了一种可行和有效的解决方案。

参考文献

[1] 龚耀寰. 自适应滤波(第二版)[M]. 北京:电子工业出版社,2003
 [2] 李立礼,王强. 基于 PSO 的 FIR 数字滤波器设计[D]. 南宁:广西师范大学,2009
 [3] 胡建秀,曾建潮. 具有随机惯性权重的 PSO 算法[J]. 计算机仿真,2006,23(08):164-167

(下转第 427 页)

4 与传统触点识别方法的对比

目前在光学触控系统中应用较多的软件有 touchlib 和 tBeta(又称 CCV),这两种软件识别触点速率较高,并且内置了较多滤波过程,可调节度较大,不过对于硬件环境不佳导致的大量不规则干扰点、图像帧中存在高亮度的干扰光源(如日光灯、激光器等)的情况,这两种软件无法彻底剔除干扰点。下面以日光灯产生的干扰点为例,对比说明本方法相较于 touchlib 和 tBeta 的改进之处。

如图 4 所示,这是 touchlib 对日光灯干扰点的判别情况。图中大的光斑是日光灯光源,小的光斑是红外笔模拟的触点。touchlib 采用的是单阈值的二值化方法,因此对于亮度较高的日光灯光源,无论如何调节 threshold 和 brightness、contrast 的值,都无法将该干扰点剔除,那么运行 mousedriver、OSC 等驱动程序时,这个干扰点信息也会被发送。

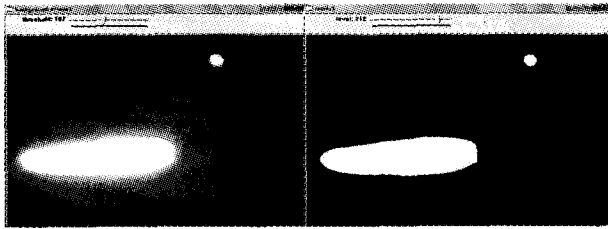


图 4 touchlib 对于超亮干扰点无法剔除

如图 5 所示,这是 tBeta1.3 版本的实验截图,可以看到,对于明显的日光灯光源产生的亮斑,它仍然识别为有效点(id=118),虽然可以通过设置阈值过滤掉面积较大的亮斑,但对于面积较小、但轮廓狭长的干扰点,仍然无法完全滤除。



图 5 tBeta1.3 对于轮廓不规则干扰点无法剔除

如图 6 所示,使用本方法对图像进行处理,日光灯的光斑不仅面积超出要求,外接矩形长宽比也超出设定阈值,因此被判定为干扰点剔除。经试验验证,采用该方法之后,图像处理的帧率从 64fps 下降到 50fps,基本不影响触点识别的流畅

性。这种方法较传统触点处理软件的优势在于,它不仅在光斑面积上进行了判断,更增加了特征矩形长宽比的判断,在基本不影响识别流畅度基础上,改善了触点识别的精准度。

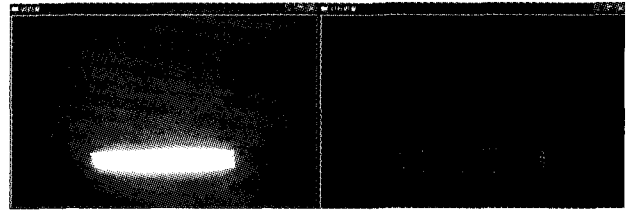


图 6 本方法对于日光灯亮斑的判定

结束语 随着触控手机、平板电脑等新产品的风靡,越来越多的厂商和科研人员将在多点触控领域进行研发,基于计算机视觉技术的超大尺寸多点触摸技术,在近几年中也必将迎来新一轮的技术革新。

参考文献

- [1] 孙一帆. 交互新方式——多点触摸技术初探[J]. 电脑知识与技术, 2009, 5(34): 9801-9802
- [2] 熊怡, 李利军. 基于计算机视觉的虚拟场景合成方法研究[J]. 计算机工程与设计, 2006, 29(11): 2838-2839
- [3] 熊显涛, 杜宝江. 机器视觉工具包 OpenCV 开发技术[J]. 计算机与网络, 2008, 19(115): 184-185
- [4] 齐婷, 王锋. 基于视觉的多点触摸基本技术实现方法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(10): 138-144
- [5] Allen J G, Xu R Y D, Jin J S, et al. Object Tracking Using Cam-Shift Algorithm and Multiple Quantized Feature Spaces[C]// Proc. Pan-Sydney Area Workshop on Visual Information Processing (VIP2003). Sydney: Australian Computer Society, Inc. Darlinghurst, 2004: 3-7
- [6] NUI Group. Multi-Touch Technologies[OL]. (2009)[2010], <http://ccv.nuigroup.com/>, <http://nuigroup.com/touchlib/>
- [7] 李佐勇, 刘传才, 程勇, 等. 红外图像统计阈值分割方法[J]. 计算机科学, 2010, 37(1): 282-287
- [8] Bradski G, Kaebler A. Learning OpenCV[M]. 于仕琪, 刘瑞祯, 译. 北京: 清华大学出版社, 2009: 246-290
- [9] 黄永军, 张新生. 关于正态分布的次序统计量的随机序[J]. 应用概率统计, 2009, 25(4): 381-388
- [10] 吕伟梅, 郑庆华, 黄华, 等. 移动流媒体播放器的设计与实现[J]. 计算机科学, 2008, 35(9): 126-128
- [11] 吴晓光, 王涤琼, 盛慧. 一种获取图像区域最小外接矩形的算法及实现[J]. 计算机工程, 2009, 30(12): 124-125, 142

(上接第 424 页)

- [4] 田东平, 徐成虎. 改进的粒子群优化算法的研究和分析[J]. 计算机工程与应用, 2008(4): 56-60
- [5] 王静宜. 自适应 FIR 滤波器的算法研究[J]. 河北工业大学学报, 2010, 39(1): 51-54
- [6] 王峰, 邢科义. 系统辨识的粒子群优化方法[J]. 西安交通大学

报, 2009, 43(2)

- [7] 田东平, 徐成虎. 改进的粒子群优化算法的研究和分析[J]. 计算机工程与应用, 2008
- [8] 袁丽华, 洪华松, 漆新民. 陷波滤波器的设计及其应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2004