

# 基于模式搜索的自适应干扰抵消器算法的研究

吴彪, 陈南

(西安电子科技大学 通信工程学院, 西安 710071)

**摘要:** 由于空间小, 设备多, 同址干扰在现代通信平台上十分普遍; 为了减小同址干扰对接收机性能的影响, 设计了一种基于正交矢量合成的自适应干扰抵消器; 根据其中 DSP 控制单元提取出的数据的特点, 提出了将模式搜索算法 (PSA) 作为控制器算法, 并对其进行了改进; 利用实际测量的数据进行了仿真分析, 结果表明, 相比于 PSA 算法、模拟退火算法、遗传算法, 改进后的 PSA 算法具有更快的收敛速度, 同时收敛精度相差无几; 最后将算法在 DSP 中实现并在 100~500 MHz 进行干扰抵消比的测试, 大部分频点可达 40 dB, 满足性能要求; 可以看出, 模式搜索算法具有局部寻优能力强, 工程上易于实现的优点, 适用于需要快速收敛的寻优过程。

**关键词:** 自适应干扰抵消; 控制算法; 模式搜索

## Research of Adaptive Interference Cancellation Algorithm Based on Pattern Search

Wu Biao, Chen Nan

(School of Telecommunications Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** Due to the presence of multiple devices in a small space, cosite interference is very common in the modern communications platform. To reduce the influence of cosite interference on the receiver performance, a kind of adaptive interference canceller based on orthogonal vector synthesis is designed. According to the characteristics of extracted data from the DSP control unit, pattern search is proposed as a controller algorithm and improved. Simulation analysis are carried out using actual measurement data. The results show that, compared with the PSA algorithm, simulated annealing algorithm, genetic algorithm, the improved PSA algorithm has faster convergence speed, while convergence accuracy is almost the same. Finally the algorithm is implemented in DSP and interference cancellation ratio is measured in the 100-500 MHz frequency range. The final implementation results show that this method can meet the performance requirements. Most frequency points can reach 40 dB, meeting the performance requirements. As can be seen, the pattern search algorithm has strong local search ability and the advantage of easy to implement in engineering, suitable for optimization process that requires fast convergence.

**Keywords:** adaptive interference cancellation; control algorithm; pattern search

## 0 引言

现代通信中, 随着通信平台上单位面积的电子设备越来越多, 设备间的电磁干扰也越来越严重, 当相距较近的接收机和发射机同时收发时, 发射机会对接收机产生同址干扰, 严重影响接收机的性能<sup>[1-2]</sup>。若收发频率相同或接近时, 由于发射信号的强度往往较大, 因此很有可能超过接收机的接受范围从而造成接收机的阻塞, 导致整个通信系统的瘫痪。另外还有可能存在发射机的谐波干扰、接收机的减敏现象、接收机和发射机的互调干扰等<sup>[3]</sup>, 而自适应干扰抵消器可以较好地解决这一问题<sup>[4]</sup>。另外自适应干扰抵消器还可以用于电子干扰机中<sup>[5]</sup>, 来抵消本机发射的强干扰信号对接收机造成的干扰。最后随着频谱资源愈加珍贵, 自适应干扰抵消技术也将在 5G 中发挥重要作用<sup>[6]</sup>。

## 1 自适应干扰抵消器

### 1.1 基本原理

自适应干扰抵消作为自适应滤波器的一种重要应用<sup>[7]</sup>, 其原理如图 1 所示。

收稿日期:2015-08-19; 修回日期:2015-09-18。

作者简介:吴彪(1991-),男,陕西西安人,硕士研究生,主要从事通信抗干扰方向的研究。

陈南(1965-),男,福建人,教授,硕士研究生导师,主要从事无线通信、通信抗干扰方向的研究。

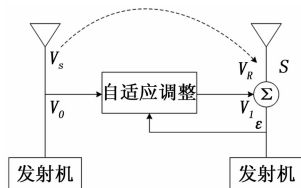


图 1 自适应干扰抵消原理图

其中:  $S$  为接收机收到的来自信号源的有用信号;  $V_s$  为发射机发射的强干扰信号, 它经过空间信道的传播, 幅度与相位产生了衰减和偏移产生了信号  $V_R$  被接收端所接收;  $V_0$  为对发射信号进行取样得到的信号, 对其进行自适应调整后得到  $V_1$ 、 $V_R$ 、 $S$  三者合并产生误差信号  $\epsilon$ , 用于自适应调整。

### 1.2 方案框图

在此我们采用正交矢量合成的方法<sup>[8]</sup>设计自适应干扰抵消器, 其系统如图 2 所示。

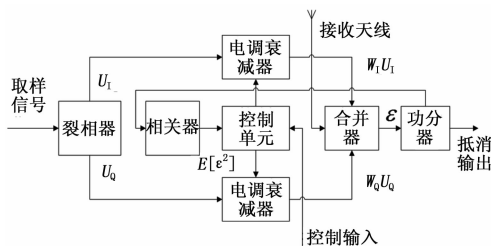


图 2 自适应干扰抵消器系统框图

由于电调衰减器会对通过的信号产生一定的相位偏移，因此导致误差信号与  $I$ 、 $Q$  两路信号的相关值可靠度不高，因此无法采用 LMS 算法，在此我们仅根据误差自相关值调整控制值。首先我们用裂相器对取样信号进行正交分解，得到  $U_I$ 、 $U_Q$  两路正交信号。然后  $U_I$ 、 $U_Q$  经过电调衰减器进行衰减得到  $W_I U_I$  与  $W_Q U_Q$ ，它们与接收天线接收到的信号一同进入合并器，用于抵消干扰信号，抵消原理如图 3 所示。合并后得到误差信号  $\epsilon$ ，再将  $\epsilon$  送入功分器分成两路，一路作为抵消输出，另一路送入宽带相关器。利用宽带相关器对  $\epsilon$  求自相关得到  $\epsilon$  的均方值  $E[\epsilon^2]$ ，再将  $E[\epsilon^2]$  送入控制单元，控制单元根据  $E[\epsilon^2]$  的变化情况对电调衰减器进行控制。控制单元主要由 DSP 和 16 位的 AD、DA 组成，AD 负责对输入的误差相关值进行模数转换，DA 负责对输出的控制值进行数模转换，DSP 用于实现控制算法。另外还有控制输入信号从外部输入，用于控制何时进行干扰抵消。

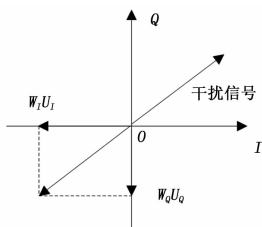


图 3 正交向量合成抵消示意图

## 2 控制算法

根据上文中的系统框图，我们能够看出：控制算法需要做的就是根据误差均方值模数转换后的结果对两个电调衰减器送出合适的控制值。由 AD、DA 均为 16 位，因此  $I$ 、 $Q$  两路控制值及误差均方值的取值范围均为  $0 \sim 65535$ ，且每送出一对控制值，都可以得到相应的误差均方值。因此我们可以将这样的映射关系看成二维的函数一样，我们需要做的就是找出可以使函数取最小值的那对点。

### 2.1 数据采样分析

为了找出合适的搜索算法，我们对实际系统中的数据首先进行采样分析。我们遍历控制值并将对应的误差相关值记录下来，再将数据文件导入 MATLAB，用于绘图和仿真分析。在实际采集数据时，由于数据量的巨大，我们仅采集一个频点的数据，并以 128 为间隔，得到  $512 \times 512$  个数据，绘图结果如图 4。

结合图我们可以得出：1) 该数据不存在表达式，因此不能采用解析法，另外由于存在不可导点、平滑区域、局部极小点，因此一些利用导数或梯度的方法也不可取；2) 由于局部极小点的存在，采用的方法必须具有全局搜索能力；3) 由于实际需求的问题，我们希望在保证精度的情况下，收敛速度越快越好，另外算法的实际实现难度也不能过高。这种需求的问题在实际的研究工作和生产实践中比比皆是，模式搜索是解决这一类问题的有效方法。

### 2.2 模式搜索

模式搜索属于直接搜索算法，无需计算或近似任何导数信息，不强加任何充分下降的条件，仅需函数值信息。该算

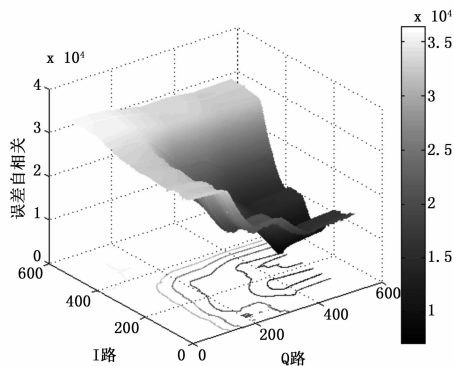


图 4 实际数据采样图

法在 1961 年由 Hooke 和 Jeeves 提出，Torczon 等人于 1997 给出了该算法全局收敛性的证明<sup>[9]</sup>。模式搜索通过探测性移动发现函数值的分布规律，模式性移动到更接近最优值的点，重复这两种移动直到满足终止条件为止，计算过程的流程如图 5 所示。

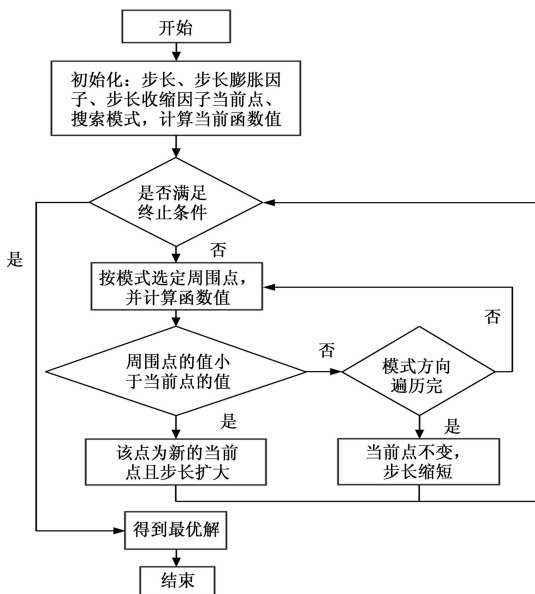


图 5 模式搜索算法流程图

各个参数的选取对于模式搜索的算法性能都有一定的影响。初始点的选择十分重要，一般要根据数据本身特点进行选择，由于各频点的最优值可能在任何一个象限，因此我们将初始点选在中心，还可利用其它算法进行初始点的选择<sup>[10]</sup>。初始步长、步长膨胀因子、步长收缩因子 3 者的选取决定了步长的变化情况，一般要根据仿真结果确定，但总的来说较快的步长变化总能加快收敛速度，但却可能收敛于局部极小值。搜索模式的选取要根据自身数据的特点，由于不同频点的最小值可能在不同象限，因此我们采用对称的搜索模式。另外上文提到的计算周围点的方式称为不完全轮询，还有一种计算方式称为完全轮询，完全轮询每次都要计算周围所有点的值并挑出最小值与原值比较，很明显完全轮询的全局寻优能力更强，但需要的计算量较大。周围点的计算顺

序也有固定、随机和成功点等方式。最后终止条件一般为: 迭代次数、最优值、步长等。

针对前面采集到的数据的特点, 我们提出一种步长的改进策略, 进一步加快收敛速度。具体改进方法为: 对搜索模式的每一个方向根据读取到的数据的不同, 采用不同的步长, 也就是说步长变为一个 4 维的向量。该向量初始时的 4 个值都是相同的, 但在对周围点遍历的过程中 (本方法采用完全轮询方式遍历), 若该点值大于当前最佳值, 则相应步长缩小, 否则相应步长扩大并将该点值置为当前最佳值, 由于每一次轮询各个方向上的值的大小不同, 步长也会变得不同。该方法充分利用了每一个数据, 加快了收敛速度。

对于模式搜索算法的改进多集中在步长和搜索模式上<sup>[11-12]</sup>, 还有借鉴群智能算法思想的<sup>[13]</sup>。另外模式搜索算法的较强局部搜索能力还被应用于与其他算法的结合<sup>[14-15]</sup>。

### 3 仿真分析

将采集到的数据导入 Matlab, 利用该数据编写目标函数用于仿真分析。编写模式搜索 Matlab 代码对目标函数进行寻优, 根据上文, 我们将初始点选在 (256, 256), 初始步长为 128, 膨胀因子为 1.2, 收缩因子为 0.5, 搜索模式  $V = \{1, 0; 0, 1; -1, 0; 0, -1\}$ , 采用不完全轮询计算方式, 计算顺序固定, 终止条件为步长小于 1, 结果如图 6 所示。对于改进的模式搜索算法, 我们的初始步长为 [128, 128, 128, 128], 采用完全轮询计算方式, 终止条件为步长向量的每一维都小于 1, 其余值保持不变, 结果如图 7 所示。图 6 与图 7 中各小图分别表示函数值、步长、求值次数、最优点随迭代次数的变化情况。图 7 中采用不同线型代表步长的各个分量, 由于采用完全轮询, 所以除初始外其余求值次数均为 4。另外利用 MATLAB 中的遗传算法和模拟退火算法工具箱<sup>[16-17]</sup> 也进行寻优, 结果如图 8、图 9 所示。

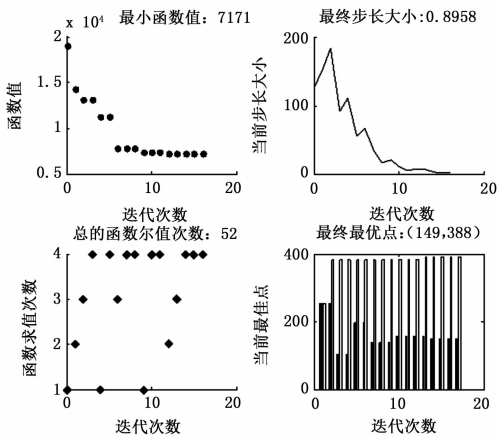


图 6 模式搜索算法

从结果上看, 模式搜索算法找到的最优值为 7 171, 改进的为 7 158, 遗传算法和模拟退火算法均为 7 149。但在实际系统中由于噪声的存在, 误差均方值本身就有一定的波动, 因此这几个方法找到的最优值均是可接受的。在本系统中函数求值次数就代表了收敛速度。从图中可以看出模式搜索算法的总求值次数为 52 次, 改进后为 41 次, 遗传算法虽迭代次数只有

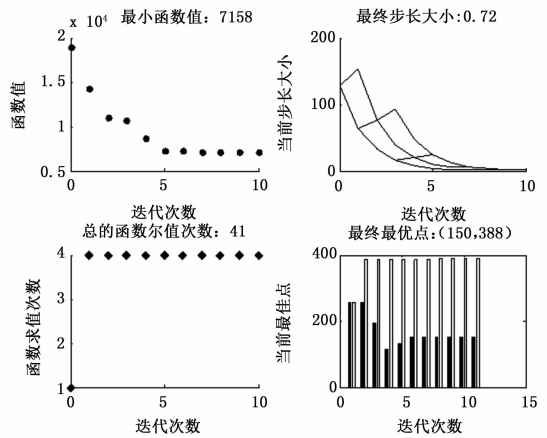


图 7 改进的模式搜索算法

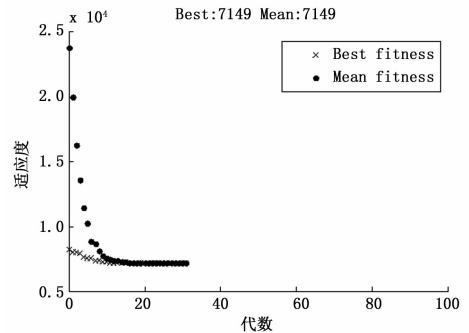


图 8 遗传算法

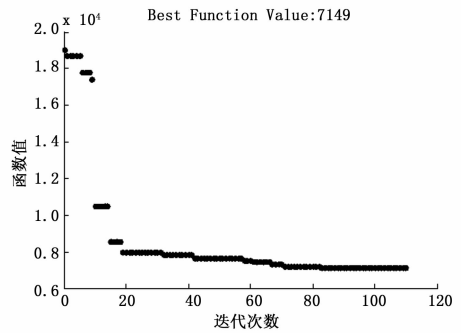


图 9 模拟退火算法

32 次, 但由于种群个体数为 50, 所以总求值次数为 1 600 次, 而模拟退火算法的迭代次数与求值次数相同均为 110 次。

可以看出, 在收敛精度相差无几的情况下, 模式搜索的收敛速度最快, 改进后更是进一步加快, 因此我们采用改进的模式搜索算法实现。

### 4 实现结果

依据前文的算法原理和仿真分析结果, 在 DSP 中编写代码进行实现, 并按照图 10 对各个频点进行测试, 计算干扰抵消比, 结果如图 11 所示。

我们等间隔取了 41 个频率点进行测试, 测试时发现改进后的方法速度明显优于未改进的, 但有 2 个点收敛于局部最优。因此在实际的程序编写时, 我们会对抵消结果进行判断,

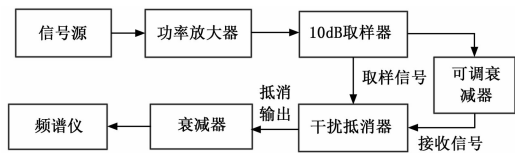


图 10 干扰抵消器测试图

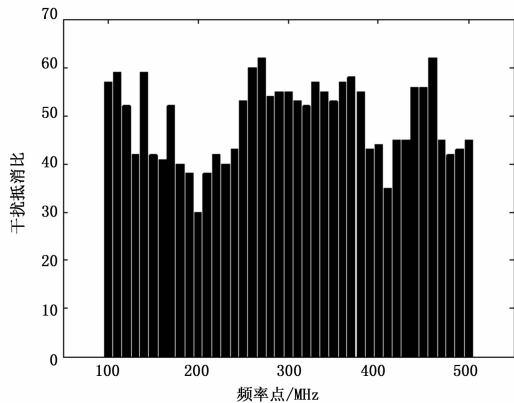


图 11 各频点的干扰抵消比

若不满足要求则再采用未改进的。图 10 为最终结果，可以看出基本上都在 40 dB 以上，有个别频率点较差。原因在于电调衰减器会引入一定的相位偏移，在控制值越小时越明显，而总有几个频率点的控制值有较小值。

### 5 结论

本文以正交矢量合成抵消原理设计了自适应干扰抵消器，并对控制器中的数据进行采样提取。对提取到的数据进行绘图分析和算法仿真分析，发现模式搜索算法是最适合本系统的算法并对算法进行了改进，最后进行了实现。可以看出模式搜索算法无需导数信息，相比于一些启发式的搜索算法收敛速度更快且易于工程实现，适应于一些对收敛速度有较高要求的情况，另外还可与其他算法结合，加快后者收敛速度。

#### 参考文献:

[1] 赵波, 全厚德, 崔佩璋. 车载无线电台同址干扰测试与分析 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (8): 1868-1871.

(上接第 234 页)

应用也将越来越广泛。与发达国家相比，我国机器视觉产业相对落后，这也意味着更大的商机，我们需要在提高自身技术、拓展行业、引导用户等方面继续努力。

#### 参考文献:

[1] 何述平, 覃开宇, 陈立军, 等. 高速冲压自动化生产线优化仿真 [J]. 轻工科技, 2012 (8): 42-44.  
 [2] 王春生. 冲压工艺设备的技术进步与发展 [J]. 机械工人, 2006 (12): 10.  
 [3] 夏良正. 数字图像处理 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1999.

[2] Karlsson S, Grenvall M, Kwick A, et al. Co-site Interference Analysis and Antenna System Integration on a Swedish Combat Vehicle Platform [A]. San Diego CA: IEEE Military Communications Conference [C]. 2013. 369-374.  
 [3] 王伟勤. 跳频通信电台共址干扰及其抑制技术 [J]. 电讯技术, 2011, 51 (7): 178-182.  
 [4] Li W L, Zhao Z H, Tang J, et al. Performance analysis and optimal design of the Adaptive Interference cancellation System [J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2013, 55 (6): 1068-1075.  
 [5] 赵洪峰, 李旻. 自适应技术在电子对抗中的应用 [J]. 航天电子对抗, 2015, 31 (1): 26-29, 61.  
 [6] Hong S, Brand J, Jung Choi, et al. Applications of self-interference cancellation in 5G and beyond [J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52 (2): 114-124.  
 [7] 程燕. 自适应干扰抵消系统的关键技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.  
 [8] 李鹏. V/UHF 波段自适应干扰抵消系统关键技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.  
 [9] Torczon V. On the convergence of pattern search algorithms [J]. SIAM J Optim, 1997, 7 (1): 1-25.  
 [10] 柳贺, 黄猛, 柳桂国, 等. 基于混沌搜索和模式搜索的混合优化方法 [J]. 华东理工大学学报, 2008, 34 (1): 126-130.  
 [11] 杨春, 倪勤. 变步长非单调模式搜索法 [J]. 高等学校计算数学学报, 2005, 27 (2): 160-168.  
 [12] Zhang X L, Zhou Q H, Wang Y. An Efficient Pattern Search Method [J]. Journal of Applied Mathematics and Physics, 2013 (1): 68-72.  
 [13] 曲良东, 何登旭, 吴尽昭. 一种群模式全局搜索算法 [J]. 模式识别与人工智能, 2013, 26 (6): 592-597.  
 [14] 张煜东, 吴乐南, 王水花. 基于遗传算法与模式搜索的混合优化算法 [J]. 南京信息工程大学学报, 2012, 4 (1): 34-39.  
 [15] Labbi Y, Attous D B. A hybrid particle swarm optimization and pattern search method to solve the economic load dispatch problem [J]. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2014, 5 (3): 435-443.  
 [16] 马永杰, 云文霞. 遗传算法研究进展 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29 (4): 1201-1206, 1210.  
 [17] 陈华根, 吴健生, 王家林, 等. 模拟退火算法机理研究 [J]. 同济大学学报 (自然科学版), 2004, 32 (6): 802-805.

[4] 陈立新, 郭文彦. 工业机器人在冲压自动化生产线中的应用 [J]. 机械工程与自动化, 2010 (3): 134.  
 [5] 陈皓. 冲压自动化的定位方法比较 [J]. 自动化应用, 2011 (8): 64-65.  
 [6] 钟玉琢, 乔秉新, 李树青. 机器人视觉技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.  
 [7] 贾云得. 机器视觉 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.  
 [8] 乔瑞萍. LabVIEW 大学实用教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.  
 [9] 郑敏, 王有熙, 税冬东. 基于 Sobel 算子含噪低对比度图像的边缘检测方法 [J]. 石河子大学学报, 2008 (2): 117-119.