

文章编号:1673-095X(2009)05-0004-04

TD-SCDMA 系统中智能天线技术的应用

何 颖, 何 宏, 李 丽, 武 艺

(天津理工大学 自动化学院, 天津 300384)

摘 要: 智能天线对消除 TD-SCDMA 系统中用户间相互干扰发挥着重要作用, 智能天线具有自适应地跟踪用户信号, 消除干扰的技术特点. 本文深入研究了智能天线自适应波束形成算法, 重点研究了最小均方(LMS)算法和最小二乘法(RLS), 实现了智能天线在干扰消除中的设计与仿真, 并对仿真结果进行比较分析, 证明其在抑制 TD-SCDMA 系统中干扰的有效性.

关键词: TD-SCDMA; 智能天线; 波束形成算法; LMS; RLS

中图分类号: TN821+.91

文献标识码: A

Application of smart antenna interference suppression techniques in TD-SCDMA systems

HE Ying, HE Hong, LI Li, WU Yi

(School of Electrical Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: The Smart Antenna plays an important role to suppress the interference among users in TD-SCDMA, the smart antenna has the features that it can adaptive track the user signals and suppress the interference. The smart antenna adaptive beam-forming algorithms are researched deeply in the thesis, especially the least mean square(LMS) and least squares(RLS) algorithm, and compare and analyze the result then prove the advantage and disadvantage of two algorithms. The results prove that it can suppress interference in TD-SCDMA system with the effectiveness.

Key words: TD-SCDMA; smart antenna; beam-forming; LMS; RLS

1 TD-SCDMA 系统

TD-SCDMA(Time Division Synchronous Code Division Multiple Access,时分同步的码分多址)是我国首个拥有自主知识产权的第三代移动通信技术标准. 它与欧洲和日本的 WCDMA、美国的 CDMA2000 并列成为当今世界第三代移动通信系统的 3 大主流标准. TD-SCDMA 采用了智能天线、联合检测、接力切换、动态信道分配技术等一系列先进技术, 其中智能天线技术是 TD-SCDMA 系统中的核心技术.

2 智能天线技术

2.1 智能天线

智能天线(Smart Antenna, SA)是一种具有测向和波束形成能力的天线阵列, 利用数字信号处理技术判断用户信号到达方向(即 DOA 估计), 并在此方向形成天线主波束, 它根据用户信号的不同空间传输方向提供不同的信道, 等同于有线传输时的线缆, 从而可以有效的抑制干扰.

2.2 智能天线系统的构成

智能天线主要由天线阵列、模数转换、数字波束

收稿日期: 2009-03-01.

基金项目: 国家自然科学基金(59493300); 教育部博士点基金(9800462); 天津市复杂系统控制理论及应用重点实验室资助.

第一作者: 何 颖(1983—), 女, 硕士研究生.

通讯作者: 何 宏(1960—), 女, 教授, 硕士生导师.

形成网络 and 自适应处理器 4 部分组成。

1) 天线阵列。天线阵列即在空间分开设置的一系列天线阵元, 对各阵元接收到的信号作加权处理, 通过改变阵列的权值, 可使波束形状发生改变。

天线阵元数量和天线阵元的配置都对智能天线的性能有着直接的影响, 通常设阵元数为 M , 在移动通信中取 $M=8$ 或 $M=16$ 等^[1]。

2) 模数转换器。考虑基站端的智能天线, 在上行链路时天线将接收到的模拟信号转换为数字信号; 而在下行链路时将处理后的数字信号转换成模拟信号。

3) 波束形成网络。波束形成网络的主要功能体现为天线波束在一定范围内能根据用户的需要和天线传播环境的变换, 通过数字信号处理器自适应地调整权值系数, 以调整到合适的波束形成网络。

4) 自适应信号处理。自适应信号处理是智能天线智能体现的一个重要方面, 它以自适应算法为核心, 动态地调整最优加权系数。

3 自适应波束形成算法

LMS、RLS 基于自适应理论的任意天线阵型的波束赋形算法。通过将这两种算法引入到对天线波束赋形的应用, 能够解决对前面所遇到的一系列问题, 同时进一步优化波束赋形收敛时间, 降低计算的复杂度和提高算法的灵活性。随后的计算机仿真验证了本文方法的有效性。

3.1 最小均方算法 (least mean square algorithm, LMS)

最小均方算法是一种应用最为广泛的自适应最优优化算法, 它基于最陡下降算法, 通过递归更新权向量, 达到其误差性能的顶点 (即最优值)。

自适应算法包括两个步骤。

1) 根据阵列信号及当前权重算出波束赋形器的输出值, 并且求出赋形器的输出与期望信号的差值。假设阵列天线所接收到的信号可以表示为

$$x(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_M(n)]^H \quad (1)$$

对接收加权系数为

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_M]^H \quad (2)$$

波束赋形器的输出可以写为

$$y(n) = w^H(n)x(n) \quad (3)$$

赋形器的误差, 即输出信号与期望信号的差值为

$$e(n) = s(n) - y(n) \quad (4)$$

2) 根据求出的差值自动调整波束赋形器的加

权权重。

$$w(n+1) = w(n) + 2\mu e(n)x(n) \quad (5)$$

其中 μ 是步长因子。 $\mu e(n)x(n)$ 的值影响着 LMS 算法的性能, 值过小算法收敛速度慢; 值过大则会导致算法不稳定, 甚至发散^[2]。

3.2 递归最小二乘法 (recursive least squares, RLS) 算法

递归最小二乘法 (RLS) 算法是严格以最小二乘准则为依据的算法。它的主要优点是收敛速度快, 其主要缺点是每次迭代需要的运算量很大。算法的具体迭代步骤如下

1) 该递归算法先对协方差矩阵 $P[n]$ 和 $w[n]$ 进行初始化, 对 $P[n]$ 的初始化要注意保证其是一个非奇异矩阵, 而设定 $w[n]$ 为 0 矩阵。

$$W(0) = X(0) = 0 \quad (6)$$

$$P(0) = \frac{1}{\delta} I \quad (7)$$

$$w(0) = 0$$

2) 算法进入数据处理阶段之后, 先后计算迭代增益 $K[n]$ 和绝对误差 $e(n)$, 由迭代增益和误差计算权值 $w[n]$ 的估计值, 最后对 $P[n]$ 进行修正^[3]。

$$e(n) = y(n) - x^T(n)w(n-1) \quad (8)$$

$$k(n) = \frac{P(n-1)x(n)}{\lambda + x^T(n)P(n-1)x(n)} \quad (9)$$

$$P(n) = \frac{1}{\lambda} [P(n-1) - k(n)x^T(n)P(n-1)] \quad (10)$$

3) 算法进入后一个采样数据 $u(n)$ 的处理, 这样反复迭代最终得到最佳的权权重。

$$w(n) = w(n-1) + k(n)e(n) \quad (11)$$

4 智能天线的软件仿真

在 MATLAB 环境中编写 M 文件对智能天线自适应波束成形算法在干扰抑制中的应用进行设计和仿真, 并对各种不同情况下算法性能进行比较, 验证算法的可行性。

4.1 基于 LMS 自适应波束成形算法的智能天线仿真

LMS 的算法流程图见图 1。

根据以上算法流程图, 在 MATLAB 软件中建立 M 文件, 该文件既为 LMS 算法智能天线的实现文件。天线阵采用 8 个阵元的均匀直线阵, 2 个阵元间距为 $\lambda/2$, 文件中各参数如下

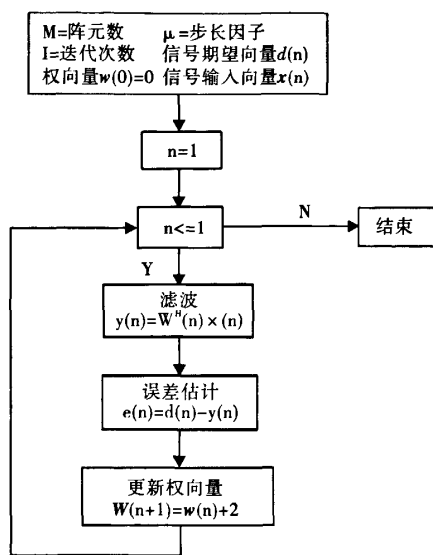


图1 LMS 算法流程图

Fig.1 LMS algorithm flow chart

M 为天线阵元数; μ 为步长因子; λ 为对应表达式中 λ ; SNR 为信噪比; INR 为干扰噪声比.

其中 LMS 自适应波束成形算法中权向量的更新表达式为

$$w(n+1) = w(n) + 2e(n)x(n) \quad (12)$$

更新表达式在 M 文件中的实现代码为

% initialize weight matrix and associated parameters for LMS predictor

de = s(1,:);

mu = 0.0001;

w = zeros(m, 1);

for k = 1: N

% predict next sample and error

y(k) = w' * Y(:, k);

e(k) = de(k) - y(k);

% adapt weight matrix and step size

w = w + mu * Y(:, k) * conj(e(k));

end

调用绘图函数, 得到基于 LMS 自适应波束成形算法的智能天线在干扰消除应用的仿真结果

图2为天线的方向图, 由图2可见 LMS 算法能在期望信号方向形成主瓣, 在干扰方向形成很深的零陷, 达到了消除干扰的效果.

图3是迭代次数与误差的关系, 可见在进行一定次数的迭代运算后, LMS 算法达到收敛, 参考信号

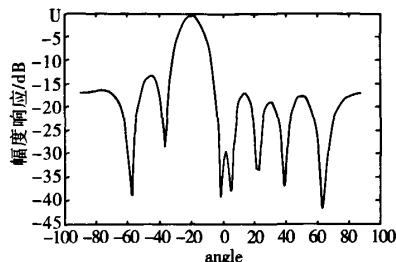


图2 天线方向图

Fig.2 Antenna pattern

的误差控制在比较小的范围内^[4].

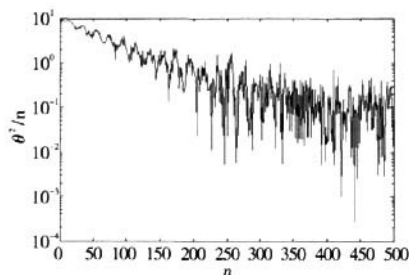


图3 迭代次数与误差关系图

Fig.3 Relational graph of the iterative times and error

4.2 基于 RLS 自适应波束成形算法的智能天线仿真

RLS 的算法流程图见图4.

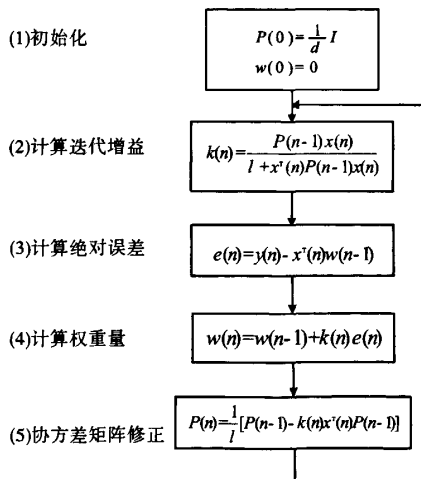


图4 RLS 算法流程图

Fig.4 RLS algorithm flow chart

根据以上表达式, 在 MATLAB 软件中建立 M 文件, 该文件既为 RLS 算法智能天线的实现文件. 天线

阵采用 8 个阵元的均匀直线阵,2 阵元间距为 $\lambda/2$,文件中各参数如下

lambda 为对应表达式中 λ .

delta 为对应表达式中 δ .

该函数有两个返回值,分别为 w 和 e ,其意义如下

w 为滤波器的权系数; e 为滤波器的输出信号.

其中 RLS 自适应波束成形算法中权向量的更新表达式为

$$P(n) = \lambda^{-1} P(n-1) - \lambda^{-1} k(n) x^T(n) P(n-1)$$

更新表达式在 M 文件中的实现代码为

```
% initialize weight matrix and associated parameters for RLS predictor
de = s(1,:);
w = zeros(m, 1);
lambda = 0.75;
delta = 1e - 2;
P = 1/delta * eye(m);
for k = 1:N
    v = P * Y(:, k);
    u = 1/lambda * v / (1 + 1/lambda * Y(:, k)' * v);
    e(k) = de(k) - w' * Y(:, k);
    w = w + u * conj(e(k));
    P = 1/lambda * (eye(m) - u * Y(:, k)' * P;
end
```

调用绘图函数,得到基于 RLS 自适应波束成形算法的智能天线在干扰消除应用的仿真结果:

图 5 为天线的方向图,由图可见 RLS 算法也能在期望信号方向形成主瓣,在干扰方向形成很深的零陷,达到了消除干扰的效果。

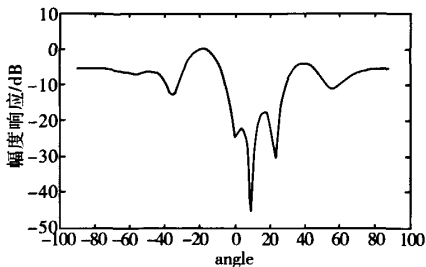


图 5 天线方向图

Fig. 5 Antenna pattern

图 6 是迭代次数与误差的关系,可见在进行一定次数的迭代运算后,RLS 算法也达到收敛,参考信号的误差控制在比较小的范围内。

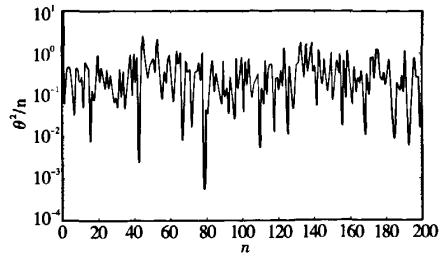


图 6 误差与迭代次数关系图

Fig. 6 Relational graph of the iterative times and error

4.3 两种算法仿真结果比较

从两种算法的仿真结果可得 RLS 算法在干扰信号角度形成的零陷较 LMS 算法要深,LMS 算法零陷小.比较图 3 和图 6 得 RLS 算法的收敛速度大于 LMS 算法,对非平稳信号适应也要更强,但是 RLS 赋形算法矩阵迭代更新公式的计算量大,复杂度高,难于实现,所以减少运算量是对算法进行改进的一个主要方面.基于 LMS 赋形算法具有算法简单、稳定性高的优点。

5 结论

智能天线技术是第三代移动通信 TD-SCDMA 系统采用的抗干扰关键技术.智能天线技术研究的核心是自适应波束赋型算法,本文所提出的方法在阵列天线的波束赋形设计和干扰抑制中是十分有效的,具有相当大的应用前景,对工程指导具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1] 杨 松,曹型兵. TD-SCDMA 中的关键技术-智能天线[J]. 电脑知识与技术, 2007(3):654-655.
- [2] 张 静. 智能天线技术及在移动通信中的应用[J]. 信息技术与信息化, 2007(2):40-41.
- [3] 赵 于,原思聪. TD-SCDMA 系统中智能天线波束形成的研究[J]. 电子科技, 2008(11):5-7.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>