

TD - SCDMA 系统中智能天线的重复迭代自适应算法*

谢泽明¹ 赖声礼¹ 陈一天² 余爱民²

(1. 华南理工大学 电子与信息学院 广东 广州 510640 2. 广东省科技干部学院 广东 广州 510640)

摘 要 提出一种用于 TD - SCDMA 系统的重复迭代自适应智能天线算法。通过在自适应算法中把阵列输入信号和作为参考信号的训练序列重复使用,可以在短训练序列情况下实现较好的收敛,提高通信系统的传输效率。对 LMS 算法中全训练序列重复迭代和滑动窗口重复迭代算法进行了仿真,结果表明,在有限训练序列时本算法比传统 LMS 算法更好地逼近最佳解。

关键词 移动通信;天线阵列;智能天线;自适应算法

中图分类号 :TN828.6 **文献标识码** :A

Repeat Iterative Adaptive Algorithm for Smart Antennas in TD - SCDMA Systems

XIE Ze - ming¹ , LAI Sheng - li¹ , CHEN Yi - tian² , YU Ai - min²

(1. College of Electronics and Information Engineering , South China University of Technology , Guangzhou 510640 , China 2. Guangdong Cadre Institute of Science and Technology , Guangzhou 510640 , China ;)

Abstract : A repeat iterative adaptive smart antenna algorithm used in TD - SCDMA systems is proposed. The array inputs and the training sequences (midamble) used for reference signal are used time after time in the algorithm. Therefore , good convergence can be achieved in case of short training sequence , and the transmitting efficiency in the communication systems can be improved. Simulations are performed for the full midamble repeat LMS algorithm and the slip window repeat LMS algorithm , demonstrating that the proposed method can get better result in case of short training sequence.

Key words : Mobile communications ; Antenna array ; Smart antennas ; Adaptive algorithm

一、引 言

智能天线由于其良好的抗多用户干扰和多径干扰性能成为近年来人们关注的热点^[1,2]。尤其是对于主要采用 CDMA 技术的 3G 移动通信系统,由于多用户干扰是限制系统性能的主要因素,智能天线良好的抗多用户干扰性能使其成为 3G 移动通信系统关键技术之一。对于 CDMA 系统,人们一直都在寻找高效精确的控制算法,已提出了不少方案^[3~6],

主要可以分为盲控制算法和非盲控制算法两类。前者不需要系统提供参考信号,如文献[4]中提出的 LS - DRMTA(Least Squares De - spread Re - spread Multitarget Array)和 LS - DRMTACMA(Least Squares De - spread Re - spread Multitarget Constant Modulus Algorithm)算法;后者需要系统提供参考信号,通常可采用系统的导频信号或训练序列作为智能天线的参考信号,如 LMS 算法、RLS 算法和文献[6]介绍的 PSALS - SDRMTA(Pilot symbol - assisted least square error de - scramble de - spread re - spread multitarget

* 收稿日期 2004 - 08 - 25

基金项目 广东省火炬计划资助项目(2002C1010106) 广东省自然科学基金资助项目(31441) 华南理工大学高水平大学建设项目资助课题(303D76030)

array)算法。由于非盲算法简单可靠,因此人们总是想办法利用信号帧结构特点,在导频信号或训练序列期间采用非盲的自适应算法^[6,7]。在 TD-SCDMA 系统中以 10 ms 为一个帧,每个帧又分为 2 个 5 ms 的子帧,每个子帧分为 7 个时隙,每个时隙都含有 144 chip 的训练序列(midamble)^[8]。不同用户的训练序列是不同的,可以作为自适应智能天线的参考信号。出于传输效率的考虑,移动通信系统中的训练序列或导频信号都不会太长(对于 TD-SCDMA 只有 144 个码片)。对于采用迭代方式的自适应算法(如 LMS、RLS 等),短的训练序列会限制迭代步数。如何在比较短的训练序列期间实现比较好的收敛是实现 TD-SCDMA 系统中非盲智能天线算法必须考虑的问题。针对这一问题,本文提出了重复迭代自适应智能天线算法,即把训练序列期间接收到的阵列输入信号和对应的参考信号(已知的训练序列)周期扩展成长的序列,使迭代步数加大,从而可以实现比较好的收敛。为了平衡计算速度、存储空间和收敛速度的矛盾,本文还给出了滑动窗口重复迭代自适应算法。以 LMS 算法为例的仿真结果表明本文给出的方法可以在比较短的训练序列情况下达到比较好的收敛。

二、重复迭代自适应智能天线算法

在自适应智能天线中,自适应算法是其基本的控制算法。对于 LMS 或 RLS 自适应阵,采用最小均方误差(MMSE)准则,使阵列输出与参考信号的误差功率最小。设 $x(j)$ 为阵列输入矢量, $p(j)$ 为期望的阵列输出信号(参考信号),最佳权系数的解为

$$w_{opt} = R^{-1}p \quad (1)$$

式中 R 是阵列输入矢量的相关矩阵, p 是阵列输入矢量与参考信号的互相关矢量。

在 TD-SCDMA 系统中,由于每时隙的训练序列只有 144 个码片(chip),因此我们只有有限长的参考信号进行自适应控制,这时我们采用的自适应控制准则实际上只能是使有限数据长度 $x(j)$ 和 $p(j)$ 下的平均误差功率最小,即只能得到次最优解。这时,式(1)中相关矩阵 R 和互相关矢量 p 只能用有限长度的阵列输入矢量和参考信号来估计,即 $R = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x(j) \cdot x^H(j)$, $p = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x(j)p(j)$, N 是数据长度。如果在 TD-SCDMA 系统中利用训

练序列(midamble)进行 MMSE 准则的自适应控制,则 N 可取 144。

直接采用式(1)计算阵列权系数涉及矩阵求逆运算,计算量和占用存储空间大,通常采用迭代算法(如 LMS、RLS 算法)。受有限参考信号长度的限制,迭代步数不能太多(对于 TD-SCDMA,只有 144 个码片的训练序列),即使是次最优解, LMS、RLS 算法也无法达到。为了解决这一问题,我们提出了数据重用的重复迭代自适应算法,包括整段训练序列的重复迭代算法和滑动窗口重复迭代算法。

整段训练序列的重复迭代算法把训练序列和阵列输入序列周期扩展为长的序列,使迭代步数加大,便于逼近次最佳权值。代价是需要更多的存储空间,储存 N 个阵列输入矢量和参考信号,以及计算时间相应加大。但采用重复迭代自适应算法后可使收敛程度改善,更好地逼近次最优解。

把整段训练序列期间的数据重复使用需要的存储空间较大,同时不利于跟踪快速变化的信道,也需要较快的运算速度以便在短的时间内完成整段数据的多次迭代。为了平衡收敛性能和存储空间、运算速度及跟踪性能的矛盾,我们提出滑动窗口重复迭代算法,即每次从阵列输入和训练序列截取长度为 L 的一段数据重复迭代 K 次,当有 M 个新数据加入时,把最旧的 M 个数据丢掉,从新在新的长度为 L 的一个窗口上进行重复迭代。随着新数据的不断加入,重复迭代窗口也不断向前滑动,如图 1 所示。由于多了窗口长度 L 、每窗口重复次数 K 、窗口滑动间隔 M 等参数的控制,可以比较方便地平衡收敛程度、跟踪速度、存储空间及运算速度的矛盾。如果取 $L = N$ 、 $M = 0$,则变为整段训练序列的重复迭代算法。

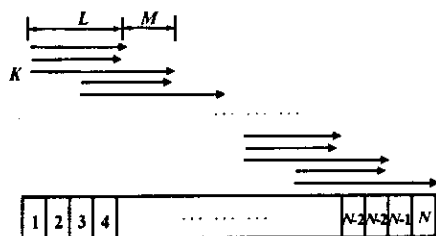


图 1 滑动窗口重复迭代自适应算法

三、仿真结果

为了验证提出的算法,我们对 LMS 自适应阵列

进行了仿真。仿真采用间距为半波长 8 元直线阵列,用户数为 8 个,设采用了理想的功率控制,各用户到达阵列的信号幅度都为 1,各用户的波达方向分别为 60° 、 100° 、 20° 、 150° 、 175° 、 90° 、 15° 、 130° 。作为仿真,各用户的训练序列数据随机产生,长度 144 点,学习率为 0.005,设第 1 个用户为期望用户。图 2 和图 3 分别为全训练序列(144 chip)循环 1 次和 20 次后形成的方向性图。由图 2 和图 3 可见,方向性图最大方向都对准了期望用户的来波方向(60°),干扰方向都可以形成下陷,但循环多次的方向性图在干扰方向下陷得更深,表明在短数据长度时,对数据重复循环使用可提高收敛程度。为了比较,图 4 给出传统 LMS 算法的方向性图,采用 2 880 个数据进行随机梯度 LMS 算法,对比表明循环多次的方向性图逼近最优结果。图 5 给出了重复迭代 20 次的 LMS 算法的收敛曲线。由图 5 可看到,重复 1 次(迭代 144 步)的误差还比较大,即使重复 3 次(迭代 432 步)还没有完全收敛,因此还没有收敛到次最优权系数。多次重复迭代后,收敛曲线趋于稳定,表明采用重复迭代算法可以在短数据长度达到次最优结果。

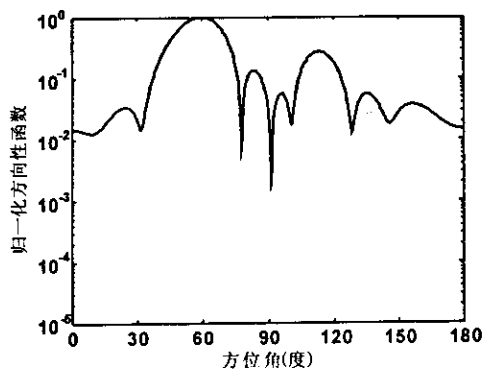


图 2 全训练序列(144 chip)迭代 1 次形成的方向性图

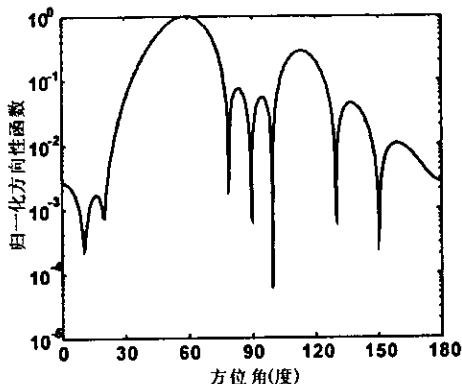


图 3 全训练序列(144 chip)重复迭代 20 次形成的方向性图

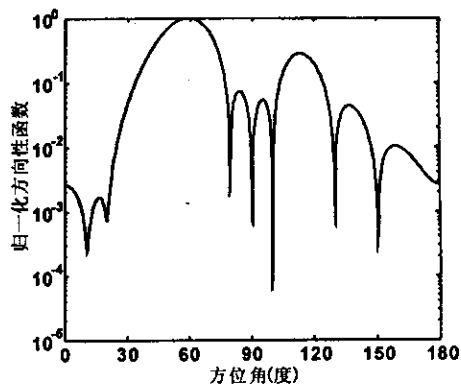


图 4 用 2880 个数据形成的方向性图

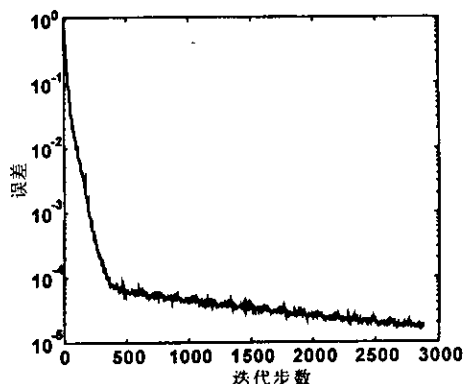


图 5 重复迭代 20 次的收敛曲线

图 6 给出了采用滑动窗口重复迭代 LMS 算法的仿真结果。天线阵列和信号情况与前面一样,训练序列长度为 TD-SCDMA 时隙结构的 144 chip,学习率取 0.005。滑动参数为 $L=50$ $K=20$ $M=5$ 。图中可见,方向性图最大方向都对准了期望用户的来波方向(60°),干扰方向都可以形成下陷。和图 2 只迭代一次的方向性图相比,干扰方向下陷得更深,逼近图 4 给出的长数据迭代结果,表明在短数据长度,采用滑动窗口重复迭代使用可提高收敛程度,逼近次最佳结果。

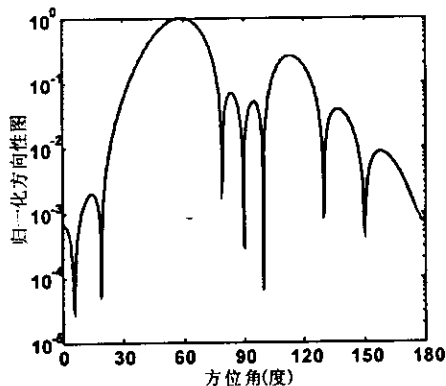


图 6 $L=50$ $K=20$ $M=5$ 时滑动窗口重复迭代 LMS 算法的方向图

对于滑动窗口重复迭代算法,窗口长度 L 与跟踪特性有关。由于在窗口长度 L 内多次迭代,旧数据的影响减弱,其逼近的结果与数据长度为 L 的次最佳结果相近,这样有利于跟踪快速变化的信道。在时不变信道情况下,窗口长度 L 越大,越接近次最优结果,所需的存储空间越大。对于时变信道, L 越小,重复次数 K 越多,滑动距离 M 越大,越容易跟踪信道的变化,所需的存储空间越小。

重复次数影响计算量和收敛程度,重复次数越多,收敛越好,计算量越大。通过控制重复次数可以根据实际情况平衡计算速度与收敛特性。

重复迭代自适应算法通过对短数据重复迭代来提高收敛程度,代价是增加了计算量和存储空间。但由于不涉及矩阵相乘和矩阵求逆等运算,计算量还是少于直接用式(1)的矩阵求逆方法来计算。特别是通过控制参数 L 、 K 和 M ,可以平衡计算量、跟踪速度和收敛程度,更好地适应通信系统具体的情况。

四、结束语

利用 TD-SCDMA 信道结构中的训练序列进行非盲自适应控制可以降低智能天线的控制算法的复杂度,然而出于通信效率的考虑,TD-SCDMA 上行信道的训练序列只有 144 个码片,传统的迭代算法迭代步数受到限制,无法达到最佳的结果。本文提出的重复迭代算法通过把 TD-SCDMA 信道中训练序列及其对应阵列输入数据重复使用加大迭代步数,可以在短的数据长度下逼近最佳结果。以 LMS 算法为例的仿真结果表明该方法是可行的,可以有效改善 TD-SCDMA 系统智能天线的性能。通过控制窗口长度、重复次数和窗口滑动间隔,本文提出的方法容易在计算量、存储空间及智能天线性能之间取得平衡,以适应系统实际情况。

本文提出的方法也可以推广到其他迭代方式的智能天线算法,可以在比较短的数据下实现收敛,提高对变化信道的跟踪速度。

参考文献

[1] Godara L C. Applications of antenna arrays to mobile communications, Part I: performance improvement, fea-

sibility, and system considerations[J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(7): 1031 ~ 1060.

- [2] John L, Lo T K. Digital beamforming in wireless communication[M]. MA: Artech House, 1996.
- [3] Wang Y, Gruz J R. Adaptive antenna arrays for cellular CDMA communication systems[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processign[C]. Piscataway: IEEE, 1995. 1725 ~ 1728.
- [4] Rong Z, Pertrus P, Rappaport T S, et al. Despread - re-spread multi - target constant modulus array for CDMA systems[J]. IEEE Communications Letters, 1997, 1 (4): 114 ~ 116.
- [5] RONG Z, RAPPORT T S. Simulation of multitarget adaptive algorithms for wireless CDMA systems[A]. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference[C]. Pisacataway: IEEE, 1996. 1 ~ 5.
- [6] 丁杰伟,李鲲鹏,黄超,等. WCDMA 系统中智能天线 PSALS - SDRMTA 自适应算法[J]. 通信学报, 2003, 24 (2): 78 ~ 83.
- [7] 孟维晓,张乃通. 时分双工蜂窝系统的智能天线研究和性能评估[J]. 通信学报, 2000, 21(10): 73 ~ 80.
- [8] 孙立新,尤肖虎,张萍,等. 第三代移动通信技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2000.

作者简介:



谢泽明(1963 -)男,广东人,博士研究生,副教授,主要研究方向:移动通信、天线与微波技术;

赖声礼(1939 -)男,教授、博士生导师,主要研究方向:移动通信与天线、微波技术;



陈一天(1943 -)男,广东南海人,广东科学技术职业学院副教授,主要研究方向为通信与信息工程;



余爱民(1963 -)男,湖北松滋人,教授,华南理工大学电子与信息学院博士研究生,主要研究方向为计算机通信、通信系统的电磁兼容。

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>