

一种基于 RLS 和 RVSSLMS 智能天线波束赋形算法

赵鹏飞 刘刚*

(空军工程大学导弹学院,三原 713800)

摘要 根据智能天线波束赋形算法必须考虑设备的复杂性和收敛速度的要求,提出一种结合 RLS 和 RVSSLMS 算法各自优点的 RLS-RVSSLMS 波束赋形算法,并用 Matlab 进行了仿真。仿真结果表明:RLS-RVSSLMS 既具有 RLS 算法收敛速度快的特点,同时保持了 LMS 算法计算量小的特点。

关键词 智能天线 波束赋形 RLS 算法 RVSSLMS(稳健变步长 LMS)算法 RLS-RVSSLMS 算法

中图法分类号 TN820.1; **文献标识码** A

在时域、频域和码域资源被充分挖掘之后,基于空域资源开发的智能天线的发展给整个迅猛发展的无线通信领域带来了新的生机。波束赋形技术是智能天线的关键技术,波束赋形算法按照是否需要利用系统的导频信息可以分为两类:一类是不需要参考信号的盲波束赋形算法,如恒模算法(CMA)、子空间算法等;另一类是基于参考信号的非盲波束赋形算法,如最小均方(LMS)算法、递归最小二乘(RLS)算法、采样矩阵求逆(SMI)算法等。LMS 算法作为一种非盲波束赋形算法,虽然收敛速度较慢,但其算法简便,易于实现;RLS 算法收敛速度较快,但其运算量大。而在蜂窝移动通信系统中,由于用户自身的移动和周围环境的影响,信号的幅度、相位和波达方向都在以极快的速度变化,这就要求移动通信系统必须具有较快的响应速度。因此,本文提出了一种结合 RLS 算法和 RVSSLMS 算法各自优点、克服它们缺点的 RLS-RVSSLMS 算法。

2007 年 5 月 15 日收到 空军工程大学导弹学院研究生学位

论文创新基金(DY06202)资助

第一作者简介:赵鹏飞(1981—),男,甘肃兰州人,空军工程大学导弹学院电磁场与微波技术专业硕士研究生,研究方向:智能天线波束赋形技术。Email:fei810108@163.com。

*通信作者简介:刘刚(1964—),男,河南镇平人,副教授,硕士生导师,研究方向:微波电路、天线的设计与电磁计算。

1 非盲波束赋形原理

在非盲波束赋形算法中,需要一个发送方和接收方都知道的训练序列 $d(k)$,它在训练周期内从发射方发送到接收方,接收处的波束形成器利用这个训练序列的信息来计算最佳权矢量 ω_{opt} ,接着发送数据,波束形成器利用事先计算出的权向量来处理接收信号。如果一个训练周期内无线信道和干扰的特性保持不变,那么权向量 ω_{opt} 将保存信道和干扰的信息,接收信号可以在阵列输出中得到校正。非盲波束赋形算法模型如图 1 所示,波束赋形算法受参考信号 $d(k)$ 的控制,根据阵列输出信号与参考信号的比较结果调整权值,使阵列输出信号的性能量度最优。

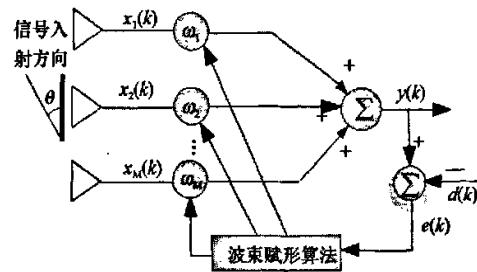


图 1 非盲波束赋形原理图

2 RLS-RVSSLMS 算法推导

2.1 RVSSLMS 算法分析

RVSSLMS 算法是 LMS 算法的一种改进算法, 主要针对 LMS 算法收敛速度慢和实时性差的缺点提出的。在 RVSSLMS 算法中用变步长因子 $\mu(k)$ 代替固定步长因子 μ , 文献[1]给出了 RVSSLMS 算法的迭代公式:

$$\begin{cases} e(k) = d(k) - X^T(k)W(k) \\ W(k+1) = W(k) + 2\mu(k)e(k)X(k) \\ \mu(k+1) = \alpha\mu(k) + \gamma e(k)e(k-1) \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\mu(k+1) = \begin{cases} \mu_{\max} & \mu(k+1) > \mu_{\max} \\ \mu_{\min} & \mu(k+1) < \mu_{\min} \\ \mu(k+1) & \text{其他} \end{cases}$,

$$X(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \vdots \\ x_M(k) \end{bmatrix}, W(k) = \begin{bmatrix} \omega_1(k) \\ \omega_2(k) \\ \vdots \\ \omega_M(k) \end{bmatrix}, 0 < \alpha < 1,$$

$$0 < \gamma, 0 < \mu_{\min} < \mu_{\max}, \mu_{\max} \leq \frac{2}{3\text{tr}(R)}, R \text{ 为输入信号的}$$

相关矩阵, 初始步长 μ_0 通常取 μ_{\max} , H 表示矩阵的共轭转置, T 表示矩阵转置。

从式(1)中可以看出, RVSSLMS 算法每次迭代基本保持了 LMS 算法的运算量, 并且可以有效地消除噪声的影响^[1], 但通过 Matlab 仿真表明: RVSSLMS 算法的收敛速度比 LMS 算法的收敛速度快, 但比 RLS 算法的收敛速度慢^[1,2]。

2.2 RLS 算法分析

RLS 算法是基于最小二乘(LS)准则的波束赋形算法。文献[2]给出了 RLS 算法的迭代公式:

$$W(k) = W(k-1) + g(k)[d(k) - X^H(k)W(k-1)] \quad (2)$$

(2)式中 $g(k) = \frac{C(k-1)X(k)}{\lambda + \beta(k)}$, $\beta(k) = X^H(k) \times C(k-1) \times X(k)$, $C(k) = \lambda^{-1}[C(k-1) - g(k) \times X^H(k)C(k-1)]$, λ 为遗忘因子, 其取值为 $0 < \lambda \leq 1$;

其它符号所代表的意义和(1)式相同。

从式(2)可以看出, RLS 算法用迭代运算代替了矩阵求逆运算, 每次迭代需要 $3M^2 + 3M + 1$ 次乘法, 1 次除法和 $2M^2 + 2M$ 次加法。与 LMS 算法的运算量相比, RLS 算法的运算量显著增大, 但通过 Matlab 仿真表明: RLS 算法的收敛速度很快。

2.3 RLS-LMS 算法

智能天线波束赋形算法必须考虑设备的复杂性和收敛速度。从这一要求出发, 根据以上对 RLS 算法和 RVSSLMS 算法的分析, 本文提出 RLS-RVSSLMS 算法, 即结合 RLS 算法和 RVSSLMS 算法各自的优点。RLS 算法大概需要迭代 25 次即可收敛^[2]。因此, 在开始迭代的前 25 次, 用 RLS 算法求解加权系数 $W(k)$, 之后用 RVSSLMS 算法进行迭代。其迭代公式为:

$$W(k) = W(k-1) + g(k)[d(k) - X^H(k)W(k-1)] \quad (3)$$

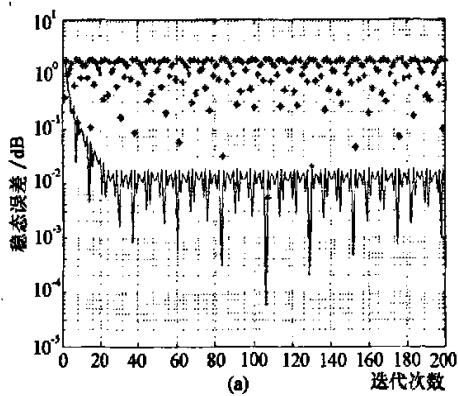
$$W(k+1) = W(k) + 2\mu(k)e^*(k)X(k) \quad (4)$$

(3)式、(4)式中, $*$ 表示复数的共轭, 其它所有符号所代表意义同式(1)、式(2)。最终的加权因子 $W(k)$ 将从式(4)获得。

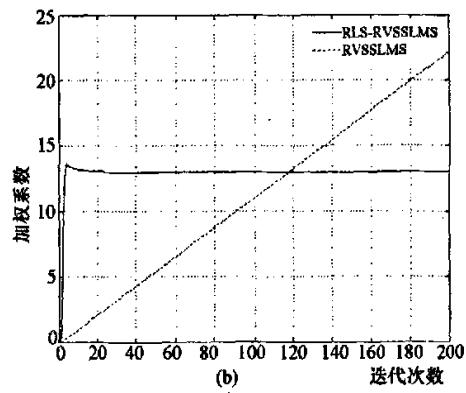
3 RLS-LMS 算法仿真

3.1 仿真结果

用 Matlab 对波束赋形算法 RLS-RVSSLMS 和 RVSSLMS 的效果进行了仿真比较。仿真结果见图 2、图 3、图 4。仿真参数的选取为: $\alpha = 0.97$, $\gamma = 6 \times 10^{-3}$, $\lambda = 0.9$, $\mu_{\max} = 0.07$, $\mu_{\min} = 1 \times 10^{-5}$, 通道噪声均为零均值、方差为 1 的高斯白噪声; 图 2 的输入信号为 1 个期望信号、1 个不相关干扰信号; 图 2(a) 和图 2(b) 分别为在此输入条件下两种算法的稳态误差和加权系数的比较图。图 3 的输入信号为 1 个期望信号、2 个不相关的干扰信号; 图 3(a) 和图 3(b) 分别为在此输入条件下两种算法的稳态误差和加权系数的比较图。图 4 的输入信号为 1 个期望信号、1 个高度相关的干扰信号、1 个不相关干扰信号; 图 4(a) 和图 4(b) 分别为在此输入条件下两种算法的稳态误差和加权系数的比较图。

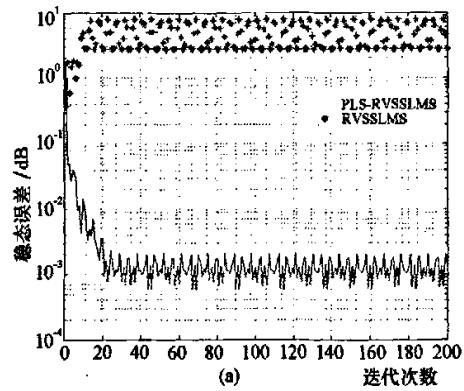


(a) 迭代次数

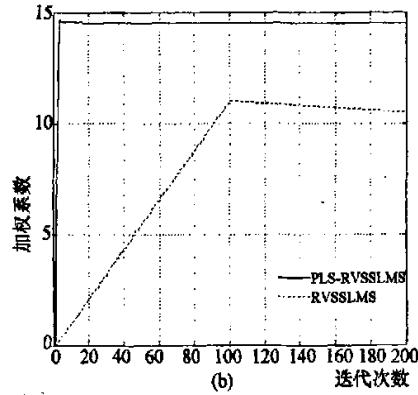


(b) 迭代次数

图2 RLS-RVSSLMS 和 RVSSLMS 算法性能比较

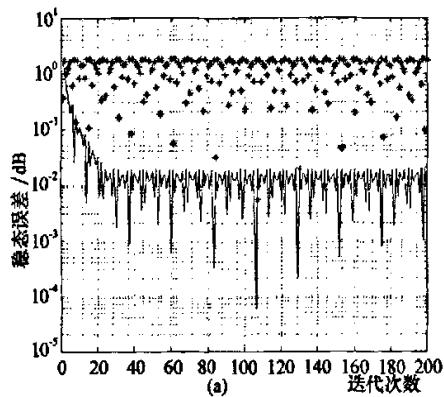


(a) 迭代次数

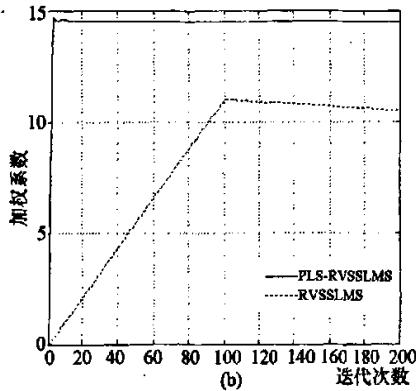


(b) 迭代次数

图3 RLS-RVSSLMS 和 RVSSLMS 算法性能比较



(a) 迭代次数



(b) 迭代次数

图4 RLS-RVSSLMS 和 RVSSLMS 算法性能比较

3.2 仿真结果分析

从图 2(a)、图 3(a)可见 RVSSLMS 算法的误差收敛速度比 RLS-RVSSLMS 算法的误差收敛速度稍快,但 RVSSLMS 算法的稳态误差比 RLS-RVSSLMS 算法的稳态误差至少大两个数量级,并且从图 3(a)可以看出,在两个干扰信号输入的情况下, RVSSLMS 算法的误差是增加趋于稳定;从图 2(b)看出 RVSSLMS 算法的加权系数在迭代 200 次后仍未收敛,而 RLS-RVSSLMS 算法的加权系数约迭代 5 次后收敛;图 3(b)也体现了 RLS-RVSSLMS 算法的加权系数收敛快的特点;从图 4(a)和图 4(b)可见, RLS-RVSSLMS 算法在相关干扰环境中仍具有快的收敛速度和小的稳态误差。从以上分析可以看出,本文提出的 RLS-RVSSLMS 算法在基本保持 LMS 算法计算量的情况下,具有 RLS 算法收敛速度快的优点,达到了预期效果。

4 结束语

在智能天线系统中,一种确定的波束赋形算法

的收敛性是衡量该算法的一个重要指标。本文结合文献中提出的两种波束赋形算法的优缺点,提出了一种新的波束赋形算法,并通过 Matlab 仿真比较,可以看出:本文提出的 RLS-RVSSLMS 算法既继承了 RLS 和 RVSSLMS 算法的优点,性能上也有了进一步的提高,更具有实用价值。

参 考 文 献

- 1 王梓辰.智能天线技术中两种波束形成算法的研究.湖南大学硕士学位论文.2005
- 2 龚耀庭.自适应滤波(第二版).北京:电子工业出版社.2003
- 3 金荣洪,耿军平,范瑜.无线通信中的智能天线.北京:北京邮电大学出版社.2006,6
- 4 R. H. Kwong, E. W. Johnston. A variable step size LMS algorithm. *IEEE Trans. Signal Processing*, 1992, 40(7)
- 5 Mohammad Tariqul Islam, Zanol Abidin Abdul Rashid. MI-NLMS adaptive beamforming algorithm for smart antenna system applications. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 2006, 7(10)
- 6 马 凉,等译.无线通信中的智能天线.北京:机械工业出版社.2002

Beamforming Algorithm Based on RLS and RVSSLMS for Smart Antenna

ZHAO Peng-fei, LIU Gang*

(Missile Institute of Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, P. R. China)

[Abstract] According to the condition that the beamforming algorithm must take the complexity of equipment and convergence speed into account, a beamforming algorithm which combines the advantages of RLS algorithm and RVSSLMS algorithm respectively is presented. Simulating it using Matlab, the results indicate that the convergence speed is faster as RLS and the operation is less as RVSSLMS in RLS-RVSSLMS algorithm.

[Key words] smart antenna beamforming RLS algorithm RVSSLMS algorithm RLS-RVSSLMS algorithm

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,一直致力于专注于微波、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>