

文章编号: 1005—0523(2006)05—0112—03

智能天线系统中干扰抵消的算法研究

官骏鸣^{1,2}, 陈忠斌³

(1. 合肥工业大学, 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009; 2. 黄山学院信息工程学院, 安徽 黄山 245021; 3. 华东交通大学 电气与工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:首先分析了智能天线在 CDMA 系统中应用, 理论分析了通过空间特征向量来对其实现“零陷”, 提出采用压低基站的上行干扰提升系统的性能的新算法, 实验仿真显示: 该算法通过空域滤波, 能够显著提高系统性能。

关 键 词:智能天线; 同步 CDMA; 干扰抵消

中图分类号: TN01

文献标识码: A

0 引言

CDMA 系统作为自干扰受限系统, 对于强干扰的抑制能力较差. 因此, 这些干扰常常会严重影响 CDMA 系统的通话质量. 当 CDMA 系统采用了先进的智能天线技术时, 可以利用天线阵列进行空间信号处理, 通过空域滤波的方法降低系统的干扰. 即对干扰信号进行“零陷”, 降低外部环境的干扰, 提高系统在干扰环境下的信噪比. 目前对于干扰信号“零陷”的处理方法有很多深入的研究, 但是通常的方法都需要精确的判定干扰信号的 DOA(到达方向), 因此运算量较大, 在工程上不易实现. 下面将采用空间特征向量的方法进行“零陷”, 这种方法可以在降低运算量基础之上获得较高的处理增益.

1 干扰抵消算法

1) 无干扰下系统性能分析

在系统没有受到干扰的情况下, 智能天线系统通过对阵列的处理提升系统性能. 假定同步 CDMA 系统中信号源是 $x(t)$, 阵列信道响应为 $h_i(t)$ (其中 i 表示第 i 根天线的信道冲击响应), 则基站第 i 根天线接收到的阵列信号:

$$y_i(t) = x(t) * h_i(t) + n_i(t) \quad (1)$$

其中 $n_i(t)$ 为噪声. 当阵列信道响应 $h_i(t) = a_i$ 时, 则可

将阵列信道响应写为 $A = [a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_s]^T$ 即空间特征矢量. 基站接收到的阵列信号:

$$Y(t) = x(t) \cdot A + N \quad (2)$$

经过空域处理之后的信号:

$$z(t) = Y(t) \cdot W \quad (3)$$

其中 $W = [w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_s]$, 表示上行波束赋形权值. 当 $W = A^H$ (空间特征向量 A 的共轭转置) 时:

$$\begin{aligned} z(t) &= Y(t) \cdot W \\ &= (x(t) \cdot A + N) \cdot A^H \\ &= x(t) \cdot \|A\|^2 + N \cdot A^H \end{aligned} \quad (4)$$

由于波束赋形前信号功率 $P_s = E\{|x(t)|^2\}$

噪声功率 $P_n = E\{|n^2(t)|\} = \sigma^2$

则输入信噪比为 $SNR = P_s / P_n = P_s / \sigma^2$

赋形后, 信号功率为 $P = E\{|W^H A x(t)|^2\} = M^2 P_s$, M 为阵元数目, 此处 $M=8$.

赋形后噪声功率为 $P = E\{|W^H x(t)|^2\} = M P_s$,

则赋形后的输出信噪比为 $SNR_{out} = M(P_s / \sigma^2) = M \cdot SNR$

可以看到, 在波束赋形之后信噪比提高了 $\|A\|^2 / \|a_i\|^2$, 约为 8 倍 (9 dB).

2) 空域干扰抵消

在上行存在干扰的情况下, 假设干扰信号为 $g(t)$ (忽略噪声的影响), 则阵列信号可以表示为:

$$Y(t) = x(t)A + g(t)B \quad (5)$$

其中 $x(t)$ 、 $g(t)$ 分别表示有用信号和干扰信号; A 、 B

收稿日期: 2006—01—24

资助项目: 江西省教育厅自然科学研究项目 (2004)

作者简介: 官骏鸣 (1979—), 男, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 无线通信, 移动自组织网络.

分别表示信号的空间特征矢量、干扰的空间特征矢量、空域处理后的信号:

$$z(t)=Y(t)W=x(t)AW+g(t)BW \tag{6}$$

如果继续使用空间特征向量的共轭转置作为上行波束赋形权值,将得不到最优的波束赋形结果.由上式可知 $BW=0$ 时,可以得到干扰最小的波束赋形结果.即当

$$W=A^H-\frac{B^HA^HB}{\|B\|^2}=BA^H-A^HB \tag{7}$$

时

$$BW=BA^H-\frac{BB^HA^HB}{\|B\|^2}=BA^H-A^HB \tag{8}$$

又因为 $BA^H=A^HB$,所以 $BW=0$.将(7)式代入(6)式中可得

$$z(t)=x(t)AW+0 \tag{9}$$

这样,我们可以通过压低基站的上行干扰提升系统的性能.

2 算法性能分析

为了验证干扰抵消算法的效果,在采用信号发生器模拟干扰源,并且采用另一组信号发生器产生 CDMA 信号,模拟终端上行发射,然后采集天线阵列上的原始信号,最后在计算机机上采用 MATLAB 软件使用干扰抵消算法对信号进行处理,衡量干扰抵消算法对解调信干噪比的提高.为便于

分析,不失一般性,假设干扰源的信号与信号源信号功率相当:

1) 干扰源与信号源接近的情况

信号空间特征、干扰空间特征、干扰抵消前后的星座图如下所示:

其中图 1 表示空间特征向量,线条 1、线条 2 分别表示干扰、信号的空间特征,线条 3 表示使用零陷算法后的上行波束赋形权值.使用线条 3 波束进行波束赋形,阵列信号中的干扰在合并时相互抵消,干扰信号被最大限度的抑制.

干扰抵消的效果可以通过观察比较信号的星座图、信干噪比来衡量.图 2 分别是不使用干扰抵消方法和使用干扰抵消方法时的 DQPSK 解调星座图,显然使用干扰抵消后星座图质量有很大提高.定量的说,不使用干扰抵消方法时解调信干噪比约为 6 dB,使用干扰抵消方法时解调信干噪比约为 12 dB,提高了约 6 dB.

为了更好的定量描述干扰抵消算法对提高基站接收性能的贡献,对连续 100 帧实际采集的数据进行计算机处理,对使用干扰抵消算法时的解调信干噪比和不使用干扰抵消算法时的解调信干噪比进行比较,结果如图 3 所示.图中下方线条表示不使用干扰抵消算法时连续 100 帧上行信号的解调信干噪比,上方线条表示使用干扰抵消算法时的信干噪比,前者大多在 6~10 dB 之间,后者大多在 11~16 dB 之间,干扰抵消算法对解调信噪比平均提高了 5~6 dB.

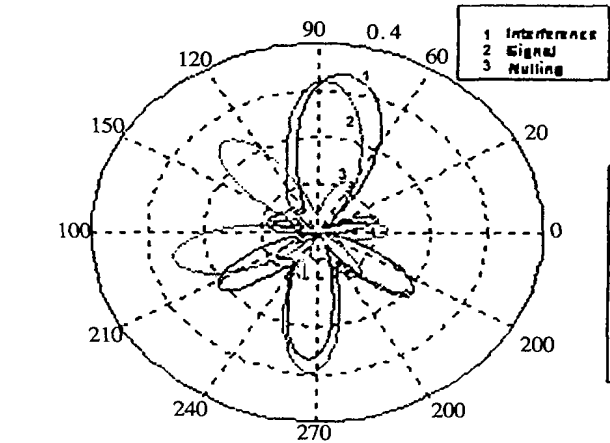


图 1 空间特征图

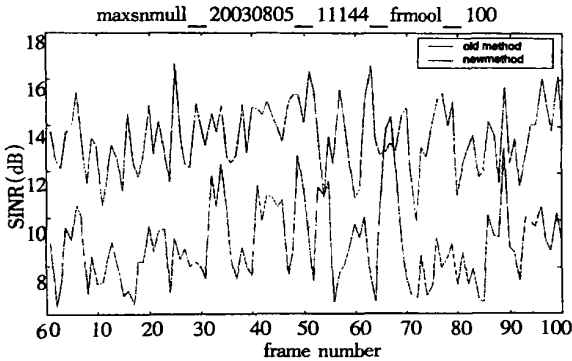


图 3 信干噪比较图

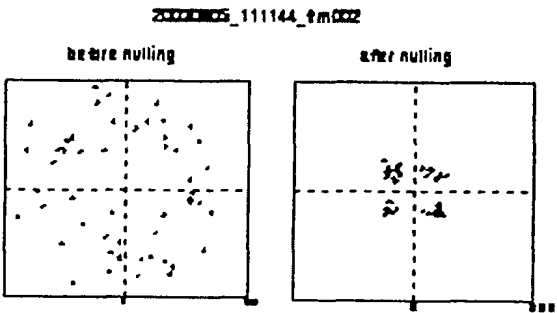


图 2 星座比较图

2) 干扰源与信号源的空间方位有较大差别

信号空间特征、干扰空间特征、干扰抵消前后的星座图如下所示:

其中图 4 表示空间特征向量,线条 1、线条 2 分别表示干扰、信号的空间特征,线条 3 表示使用零陷算法后的上行波束赋形权值.图 5 分别表示使用干扰抵消方法前、后 QPSK 解调星座图,它们对应的信干噪比分别为 10dB 和 16dB,干扰抵消后信干噪比提高了 6dB.连续 100 帧的解调信干噪比下图所示,干扰抵消的效果比较明显.

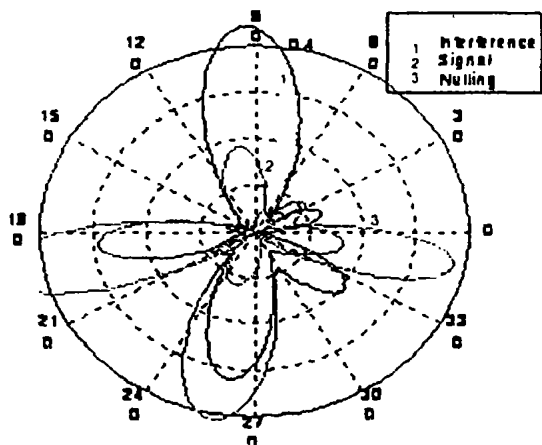
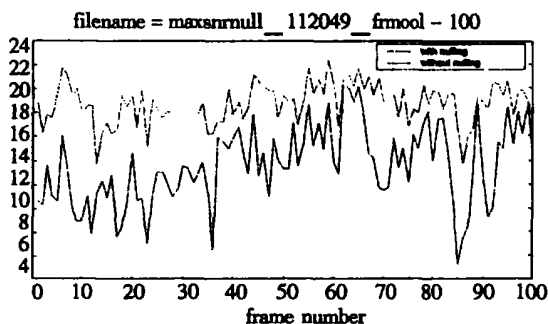


图 4 空间特征图



图 5 星座比较图



总结

由上面的理论推导和实际数据的仿真,我们可以得到这样一个结论,在智能天线系统中利用空域滤波的方法最大程度的压制干扰,可以提升系统的性能,但是需要注意的是在公式(6)中,没有考虑噪声的问题,此外在 $A=B$ 时, $AW=0$,这时,上行信号将全部当作干扰被抵消,因此,在使用干扰抵消的算法时,必须考虑信号的空间特征与干扰空间特征的相关性。

Research of Interference Cancellation Algorithms for Smart Antennas System

GUAN Jun-ming^{1,2}, CHEN Zhong-bin³

(1.School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009; 2.School of Information Engineering, Huangshan University, Huangshan 245021 3.School of Electrical and Electronic Eng. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper analyzes the application of smart antennas in CDMA system, then theoretically analyzes utilizing the space eigenvector to realize “nulling” for it, and puts forward to use new algorithm to decrease uplink interference of the base station and increase the capability of the system. Moreover, the simulation results show that, utilizing null field filtering, the algorithm be able to markedly enhance capability of the system.

Key words: smart antennas; synchronization CDMA; interference cancellation

参考文献:

- [1] SCDMA 技术手册[S].北京信威通信技术股份有限公司, 2003.
- [2] 张贤达, 保铮. 通信信号处理[M].北京:国防工业出版社, 2000.
- [3] 杨小牛, 楼才义, 徐建良. 软件无线电原理与应用[M].北京:电子工业出版社, 2001.
- [4] [美]Theodore S. Rappoport. 著·蔡涛, 等译. 无线通信原理与应用[M].北京:电子工业出版社, 1998.
- [5] 郭梯云, 郭国扬, 李建东. 移动通信[M].西安:西安电子科技大学出版社, 2000.
- [6] [美]Theodore S. Rappoport. 等著·马凉, 等译. 无线通信中的智能天线——IS-95 和第 3 代 CDMA 应用[M].北京:机械工业出版社, 2002.