

自适应阵列抗 CDMA 多址干扰的研究

唐 瑜* 严 梅 洪福明

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】 研究了 CDMA 系统中自适应阵列天线结合相关检测抗干扰技术,并在理论和模拟上对改进前后的抗多址干扰的性能进行了分析对比,验证了当有用信号方向与其他用户的多址干扰方向不同时,新的方法的性能大大优于传统相关检测方法。

关键词 码分多址系统; 自适应阵列天线; 相关检测; 多址干扰

中图分类号 TN973.31

在 CDMA 系统中,所有的信道共用一个信息频带,在接收端所收到的信号是多个台发射信号的混合,但在实际通信系统中,由于各个发射台的伪码(PN)序列不可能做到完全正交,且传输信道带宽不可能很宽,这些条件限制严重地影响了接收方的信号检测,特别是当接收到的有用信号功率较弱,而从其他台接收的功率较强。那么,其他台发射的信号就会对有用信号产生严重的多址干扰,这时,系统就不能有效地进行通信。

本文采用了自适应阵列天线结合相关检测方法来抗干扰,即在码分多址的基础上结合阵列天线特有的空间定向能力,同时实现码分与空分接收。文中还推导出了考虑信号到达的空间方向后的信号表达式,同时说明了阵列对不同方向信号与干扰功率大小的改变,以及给出了相应的自适应调节阵列天线权值的方法^[1,2],经过理论分析和模拟结果,证明了采用自适应阵列天线后的接收系统比单有传统相关检测的接收系统在误码率性能上有较大的提高。

1 CDMA 系统中前端阵列天线

对于有 k 个用户同时发射的同步 CDMA 系统,它们的信号分别从不同的方向到达接收机,第 k 个用户信号的信息码为 $b_k(t)$,码元间隔为 T_b ;相应的扩频码为 $s_k(t)$,长度为 G 为个 chip,每个扩频码间隔为 T_g ,它们均是 $\{\pm 1\}$ 电平,且 $T_g = T_b/G$;接收到信号的功率为 P_k ;发射信号的载波频率远远大于信息带宽,因而,对于接收的阵列天线,信号可以看作是窄带的^[3,4]。如不考虑接收信号到达的空间方向,接收到的第 k 个用户的信号可表示为^[3]

$$r_k(t) = \sqrt{P_k} b_k(t) s_k(t) \exp[j(\omega_c t + \hat{\varphi}_k)] \quad (1)$$

接收方的前端采用阵列接收,并且每一个阵元接受到的信号经过解调和采样,其等效形式如图 1 所示。其中, H 代表正交分解, $*$ 代表取共轭,而 $w_n, n=0, 1, \dots, N-1$ 为阵元的复加权。

设阵列由 N 个全向阵元组成,阵元间距为 L ,载波波长为 λ ,设第 k 个用户的信号到达的空间方向与阵平面法线方向的夹角为 ϕ_k ,考虑加性高斯白噪声 $n_w(t)$ 。 $x_n(m)$ 是第 n 个阵元接收到的信号经过解调和在 $t = m T_g$ 采样以后的基带信号,它包含有用信号,其他用户的多址干扰信号和噪声分量,由式(1)可得 $x_n(m)$ 的复数形式为

* 1997 年 3 月 28 日收稿

* 男 29 岁 硕士 讲师

$$x_n(m) = \sum_{k=0}^{K-1} \sqrt{P_k} b_k(m) s_k(m) \exp[-j(2\pi nL/\lambda) \sin \phi_k] + n_w(m)$$

由此可以得到阵列的输出为

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \text{Re}[x_n^*(t)w_n] + n_w(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \{ \text{Re}[x_n(t)] \text{Re}(w_n) + \text{Im}[x_n(t)] \text{Im}(w_n) \} + n_w(t)$$

设定

$$g_k = \sum_{n=0}^{N-1} \{ \{ \text{Re}[\exp(-j2\pi nL/\lambda) \sin \phi_k + j \hat{q}_k] \} \text{Re}(w_n) \} + \{ \text{Im}[\exp(-j(2\pi nL/\lambda) \sin \phi_k + j \hat{q}_k)] \text{Im}(w_n) \}$$

g_k 代表整个阵列对 K 个不同入射角度信号功率的 K 个不同方向调节因子

$$y(m) = \sum_{k=0}^{K-1} \sqrt{P_k} g_k b_k(m) s_k(m) + n_w(m) \tag{2}$$

将式(2)与未引入阵列所接收的全向信号模型 $\sum_{k=0}^{K-1} \sqrt{P_k} b_k(m) s_k(m)$ 相对照比较。可见, 在阵列输出后及相关检测前的信号可看作各用户发射的信号功率被阵列预先调节了。

令 $\Psi_k = \sqrt{P_k} g_k$, 则

$$y(m) = \sum_{k=0}^{K-1} \Psi_k b_k(m) s_k(m) + n_w(m) \tag{3}$$

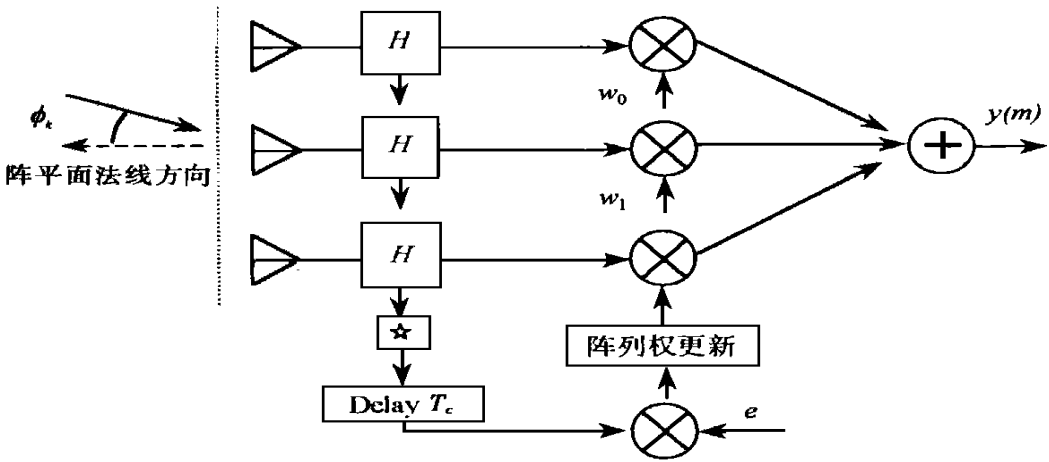


图 1 前端自适应阵列的结构

2 结合后的相关检测

通过前端阵列天线后的信号 $y(m)$, 经过与第 k 个用户的特征波形相关处理后, 其输出为

$$z_k = \sum_{m=1}^G y(m) s_k(m) = \Psi_k b_k + \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq k}}^{K-1} \rho_{i,k} \Psi_i b_i + \sum_{m=1}^G n_w(m) s_k(m) = \Psi_k b_k + MAI_k + n_k$$

其中 $\rho_{i,k} = \frac{1}{T_b} \int_{T_b} s_i(t) s_k(t) dt$ 为各个用户伪随机序列的相关系数。且当 $i = k$ 时, $\rho_{i,k} = 1$, 而 $i \neq k$ 时, $0 \leq \rho_{i,k} < 1$ 。 Ψ_k 为经过阵列调节后有用信号的幅度, MAI_k 为经过阵列调节后的多址干扰, n_k 为零均值高斯随机变量, 而要接收的第 k 个用户当前信息比特值是由 $b_k = \text{sgn}(z_k)$ 判决的。

由此可见, 可以通过对前端阵列天线权的自适应调节, 在相关检测前对其他方向的多址干扰进

行抑制,从而提高检测有用信息的正确性。

3 对自适应天线权的调节

我们通过自适应调节前端阵列天线的权值,保证接收到的信号与参考信号的误差最小,同时抑制多址干扰信号功率,具体检测方法如图 2 所示,图中, $r(m) = b_{ksk}(m)$ 为参考信号。即天线的权值调节须满足最小均方误差准则

$$\min_w E[e^2(m)] = \min_w E[|r(m) - y(m)|^2]$$

由著名的 Wiene-Hoff 公式可得

$$\vec{w}_{opt} = \vec{R}_{xx}^{-1} \vec{R}_{xr}$$

这里 \vec{R}_{xx} 为输入信号的自相关矩阵; \vec{R}_{xr} 为输入信号与参考信号互相关矩阵。

由 LMS 算法可得递推公式

$$w_n(m+1) = w_n(m) + 2\mu e(m) x_n^*(m)$$

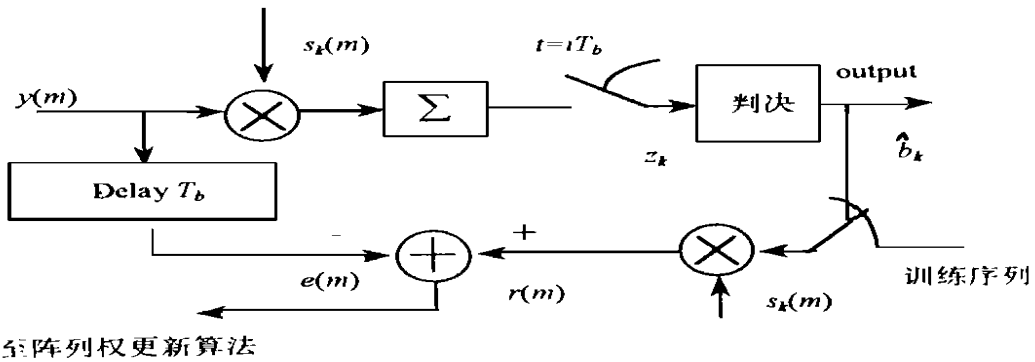


图 2 接收后的相关检测处理及误差信号的产生

4 实验模拟结果

设 CDMA 系统中用户数为 3, 各用户的扩频序列采用长度为 15 的 GOLD 序列, 且各扩频序列之间的最大互系数为 0.3。设用户 0 发射的信号为要接收的有用信号, 接收前端阵列天线的阵元个数为 4, 阵元间距是载波波长的一半, 即 $L/\lambda = 0.5$, 预先设定一个阵元的权值为 1, 其他阵元的权值均为 0, 并设 LMS 算法的步长为 $\mu = 0.1$ 。设噪声功率为单位功率, 各个信号到达接收方时的相位为 $\hat{\varphi}_k = 0 (k = 0, 1, 2)$, 固定信号功率 $SNR(0) = 8 \text{ dB}$, 改变其他多址干扰的功率; 然后利用训练序列训练 1 000 个信元间隔, 再以 1 000 个信息比特为单位, 统计出系统在当前多址干扰条件下的误码率。有用信号到达的空间方向与阵平面法线方向间的夹角为 $\theta_0 =$

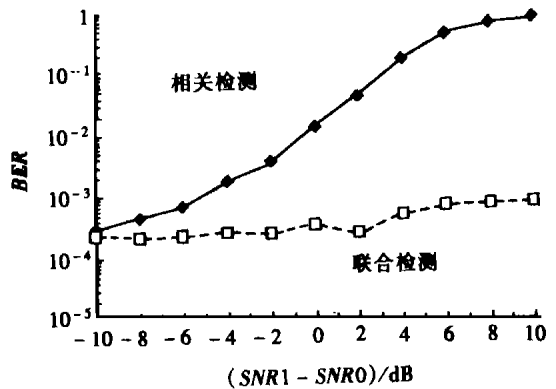


图 3 检测误码率的比较

0° , 其他两个多址干扰信号到达方向分别为 $\theta_1 = -30^\circ$ 与 $\theta = 45^\circ$ 。改变干扰功率的大小, 统计得出接收到有用信号的误码率曲线如图 3 所示, 图中 $SNR(2) = SNR(1)$ 。而在实际通信中, 由于大部分多址干扰是与有用信号不同的空间方向到达接收方, 因此, 结合的方法能抑制其他方向的大部分的多址干扰。

5 结 论

本文提出采用自适应阵列天线结合相关检测方法抗干扰, 同时实现码分与空分接收, 当多址干扰与信号之间从不同方向到达接收机时, 能有效地抑制干扰, 显著降低接收信号的误码率; 而当部分干扰与信号从同一方向到达接收机时, 可以证明, 还能对其他干扰进行抑制, 从而在一定程度上也提高了有用信号中信息检测的正确性。

参 考 文 献

- 1 Miller John E, Miller Scott L. Performance of DS-SS-CDMA systems using partial power control and a base station antenna array. MILCOM 1995 IEEE, 1995, 2:15, 6~8
- 2 Dlugos D, Sholtz R. A question of spread spectrum signals by a adaptive array". IEEE Trans on ASSP, 1985, 37:1 253~1 270
- 3 R Lupas Verdu S. Near-far resistance of multiuser detectors in asynchronous channels. IEEE Trans Commun, 1990, COM-38:496~508
- 4 Miller S L. An adaptive directsequence codedivision multiple access receiver for multiuser interference rejection. IEEE Trans Commun, 1995, 43:1 034~1 037
- 5 Viterbi A J. CDMA: principles of spread spectrum communication. New York: Addison Wesley Publishing Company, 1995

Adaptive Array Antenna for Multiple Access Interference Suppression in CDMA system

Tang Yu Yan Mei Hong Fuming

(Institute of Communication and Information Engineering, UESTC Chengdu 610054)

Abstract In this paper, the combination of an adaptive array antenna and traditional detection for interference suppression in CDMA system is discussed. A new combined method is proposed, and its improvement of performance for multiple Access Interference (MAI) suppression is analyzed and proved in theory and in practice. It is proved that the MAI suppression performance of the new method achieves a greater improvement than the traditional detection only.

Key words code divide multiple access system; adaptive array antenna; traditional detection; multiple access interference

编辑 徐培红