

一种新的用于 DS/CDMA 系统的多级盲空时多用户接收机

李 苗, 吕善伟, 张江林, 张 磊

(北京航空航天大学电子信息工程学院 205, 北京 100083)

摘 要: 本文讨论的接收机是用于 DS/CDMA 系统的多级自适应阵列和串行干扰消除联合接收机(AA2SIC), 介绍的接收机同时使用了空域和时域处理以及多用户联合检测技术. 一般的联合接收机要使用 RAKE 单元, 本文所讨论的接收机没有使用 RAKE 单元, 而利用智能天线的自适应算法能起到分集接收的功能, 不仅能抑制多址干扰信号, 而且构成简便, 计算时间较短, 有利于实际应用.

关键词: 直扩码分多址; 智能天线; 多用户检测

中图分类号: TN929.1533

文献标识码: A

文章编号: 0372-2212 (2004) 09-1553-03

A Novel Multistage Blind Space-time Multiple Receiver for DS/CDMA

LI Miao, LB Shan2wei, ZHANG Jiang2lin, ZHANG Lei

(Dept. of Electronic, Beijing University of Aeronautic and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A new multistage joint adaptive array and successive interference cancellation (AA2SIC) structure for a direct sequence code division multiple access (DS/CDMA) system are proposed. In the structure of the system, space, time processing and multiuser detection to improve the performance are utilized. Most structure needs RAKE combiner to capture the multipath, but the proposed structure needs no RAKE combiner and its adaptive algorithm has the function of RAKE combiner.

Key words: DS/CDMA; smart antenna; multiuser detector

1 引言

在传统 DS/CDMA 接收机中, 各个用户接收是相互独立进行的, 在多径衰落环境下, 由于多个用户之间所用的扩频码通常难以保持正交, 这会造成多址干扰(MAI, Multiple Access Interference)因而造成多个用户之间的相互干扰, 当期望用户的信号电平低于一个或多个系统中其他用户信号电平时, 多址干扰会对接收造成极大的影响, 限制了系统容量的提高. 解决此问题的一个有效方法是使用多用户检测技术.

此外, 空时处理是提高系统容量的另一个方法. 自适应阵列可以在有用信号来波方向形成较大的波瓣, 而在其他用户来波方向形成零陷, 因而可以消除多址干扰, 抑制远近效应. 但自适应阵列不能抑制与有用信号来向接近的多址干扰.

结合了这两种技术的空时多用户接收机受到了广泛关注^[1,2], 文献[2]提出了一种多级盲空时接收机, 但其结构较为复杂, 不利于实际应用. 为此, 本文提出了一种新的多级盲空时接收机, 不使用 RAKE 单元, 而是直接接收来自各个方向的多径分量.

2 信号模型

天线阵列输入信号是一组由 K 个用户的传输信号组成

的和信号, 表示为^[2]:

$$x(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sqrt{P_{k,l}} b_k(t - S_{k,l}) c_k(t - S_{k,l}) v_{k,l} + n(t) \quad (1)$$

其中, $P_{k,l}$ 是用户 k 在第 l 个路径的信号功率; $S_{k,l}$ 是信号的时间延迟; $b_k(t)$ 是所传输的数据, 其比特持续时间是 T_b ; $n(t)$ 代表高斯白噪声; $c_k(t)$ 是所用的扩频信号, 为

$$c_k(t) = \sum_{g=1}^{G_p} c_{k,g} p(t - gT_c) \quad (2)$$

其中 $c_{k,g}$ 的值域是 $\{+1, -1\}$, 两种取值的概率相等; G_p 是扩频增益; T_c 是码片宽度; $p(t)$ 是码片波形; $v_{k,l}$ 是阵列响应因子, 为

$$v_{k,l} = [1, \dots, \exp(-jk(N-1)d \sin H_{k,l})]$$

式中, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; N 是天线阵元数目; $H_{k,l}$ 是信号到达角; d 是天线阵单元间距.

3 结构与算法

接收机结构如图 1 所示, 其第 i 级的结构如图 2 所示. 图 2 最左端的 1~N 表示输入信号.

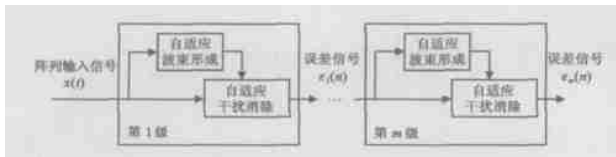


图1 接收机结构

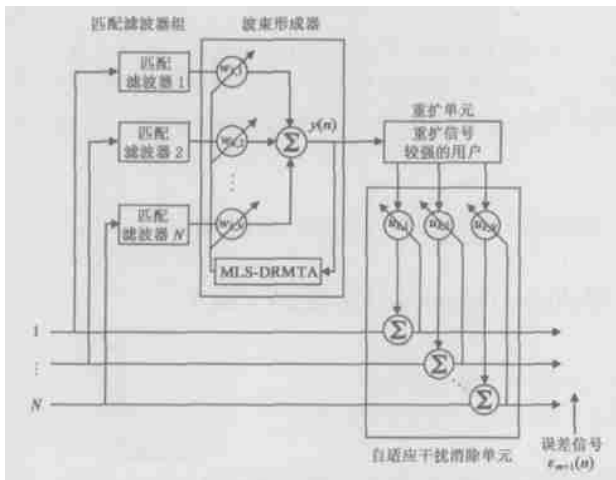


图2 智能天线与多用户检测直接结合的接收机

接收机的波束形成算法采用MLS-DRMTA, 可以一次形成同时对准多个多径信号的方向图, 其作用与RAKE接收机类似。MLS-DRMTA的算法归纳如下^[3]:

$$y_i(1) = [w_i^H(1) X(1)]^T$$

$$= [y_i(1+K_1), y_i(2+K_1), \dots, y_i((1+1)K_1)]^T \quad (3)$$

$$\hat{b}_{i1} = \text{sgn} \left\{ \text{Re} \left[\sum_{j=1}^{L_i} \sum_{k=1+K_1}^{(1+1)K_1} y_i(k+k_j) c_i(k-k_{S_i}) \right] \right\} \quad (4)$$

$$\hat{b}_{i-1} = \text{sgn} \left\{ \text{Re} \left[\sum_{j=1}^{L_i} \sum_{k=1+K_1}^{k_j+K_1} y_i(k) c_i(k+N-k_j-k_{S_i}) \right] \right\} \quad (5)$$

$$\hat{b}_{i+1} = \text{sgn} \left\{ \text{Re} \left[\sum_{j=1}^{L_i} \sum_{k=1+K_1}^{K+(1+1)K-k_j} y_i(k+K_1+k_j) c_i(k-k_{S_i}) \right] \right\} \quad (6)$$

$$r_{ij}(1) = [\hat{b}_{i-1} c_i(1+N-k_j+K_1-k_{S_i}), \dots, \hat{b}_{i1} c_i(N+1K-k_{S_i}), \hat{b}_{i1} c_i(1+K_1-k_{S_i}), \dots, \hat{b}_{iL_i} c_i((1+1)K_1-k_{S_i}), \hat{b}_{i+1} c_i(1+K_1-k_{S_i}), \dots, \hat{b}_{i+1} c_i(K-K_1-k_j+1K_1-k_{S_i})] \quad (7)$$

$$r_i(1) = \sum_{j=1}^{L_i} a_{ij} r_{ij}(1) \quad (8)$$

$$w_i(1+1) = [X(1) X^H(1)]^{-1} X(1) r_i^*(1) \quad (9)$$

其中, L_i 是用户 i 的多径数目; K_1 是相对于数据比特持续时间 T_b 的采样数; k_{ij} 对应于用户 i 的第 j 个多径信号与它预先到达的多径信号之间所产生的时间延迟的采样数; k_{S_i} 对应于用户 i 的第一个到达信号的延迟 S_i 的采样数; a_{ij} 是用户 i 的第 j 个多径信号的振幅; \hat{b}_{i1} , \hat{b}_{i-1} 和 \hat{b}_{i+1} 分别是用户 i 的第1比特的估计和与该比特相邻的前一个比特及后一个比特的估计。

干扰消除单元的自适应算法过程为: 功率最强的用户信号首先由匹配滤波器组解扩, 然后进入自适应波束形成器。自适应波束形成器通过以下步骤得到用户符号的估计值:

$$z_k(n) = w_k^H(n) y_k(n) \quad (10)$$

其中, H 表示共轭转置; $w_k(n) = [w_{k,1}(n), w_{k,N}(n)]^T$ 是波束形成器的复权值向量; 更新权值的算法可以根据具体情况, 可选择恒模算法, 最小二乘解扩重扩多目标恒模算法等, 本文的例子采用最小二乘解扩重扩多目标恒模算法。

波束形成器输出该用户的判决信号, 并由用户的扩频码重扩频, 即:

$$y_{rk}(n) = z_k(n) c_k(n) \quad (11)$$

图1和图2中的干扰消除器将已经检测出的用户信号从原始接收信号中消除。干扰消除器的输出就是多级空时多用户接收机下一级的输入信号。下一级输出信号为

$$E_{m+1}(n) = E_m(n) - u_k^T(n) y_{rk}(n) \quad (12)$$

其中, $E_m(n)$ 是多级空时多用户接收机第 m 级的输入; 接收机第1级的输入为 $x(n)$ (见图1), $u_k(n) = [u_{k,1}(n), \dots, u_{k,N}(n)]^T$ 是自适应干扰消除器的复权值向量。利用最小二乘准则(LS, Least Square), 以下推导自适应干扰消除器的迭代算法。设代价函数为:

$$F(w) = \sum_{n=1}^N \langle w \rangle^2 + 5(w) + \frac{1}{2} \quad (13)$$

其中, $5(w) = [\langle w \rangle_1, \langle w \rangle_2, \dots, \langle w \rangle_N]^T$ 对式(13)进行求导,

$$\nabla F(w) = 2J(w) 5(w) \quad (15)$$

其中, $J(w) = [\nabla \langle w \rangle_1, \nabla \langle w \rangle_2, \dots, \nabla \langle w \rangle_N]$ 是 $5(w)$ 的雅可比矩阵。

$$\nabla F(w+\$) = 2J(w) 5(w+\$) \quad (16)$$

将 $5(w+\$)$ 进行泰勒展开,

$$5(w+\$) U 5(w) + J^T(w) \$ \quad (17)$$

将式(17)代入式(16)

$$\nabla F(w+\$) = 2J(w) (5(w) + J^T(w) \$) \quad (18)$$

令式(18)为零, 可得更新权值的优化算法公式:

$$w_{k+1} = w_k - [J(w_k) J^T(w_k)]^{-1} J(w_k) 5(w_k) \quad (19)$$

干扰消除器的代价函数为

$$F(u) = \sum_{n=1}^N (E_m(n) - u_{k,1}^T(n) y_{rk,1}(n))^2 \quad (20)$$

将式(20)代入式(19)并化简, 可得自适应干扰消除器第 m 级权值更新迭代公式:

$$u_{k+1} = [y_{r,k,1}^T(n) y_{r,k,1}^T(n)]^{-1} y_{r,k,1}^T(n) E_m^T(n) \quad (21)$$

在有 K 个用户的系统里, 相同的处理要进行 K 次。

4 仿真例子及结果

假设系统同时接收到三个用户的信号, 每个用户各有三条传播路径。仿真信号环境参数列在表1中, 仿真结果如图3~5所示, 图中横坐标代表信号来向角, 单位为度; 纵坐标代表波束形成器在各方向上的增益。图5中, 1 stage表示经过第一级干扰消除, 2 stage表示经过第二级干扰消除。

由图 4 可以看出,用户 2 使用多用户检测后,能更好地接收信号,图 5 更突出地显示了这个优点.多用户检测的阶数越高,阵列方向图主瓣就更接近目标来向,第一级干扰消除单元的效果尤为明显.而且,一些较强的干扰消除后,被释放出的自由度可以用来抑制别的干扰,而实际的系统中干扰数目远大于阵列单元数目,因而多用户检测的使用在实际无线系统中是非常有利的.

表 1 仿真信号环境举例

用户序号	空间来向角 H (b)	路径衰减	路径延迟 S/bit
用户 1	55	0.9	0
	75	0.82	1Tc
	113	0.79	2Tc
用户 2	35	0.71	00
	92	0.59	1Tc
	148	0.48	2Tc
用户 3	25	0.21	0
	85	0.16	1Tc
	125	0.15	2Tc

5 结论

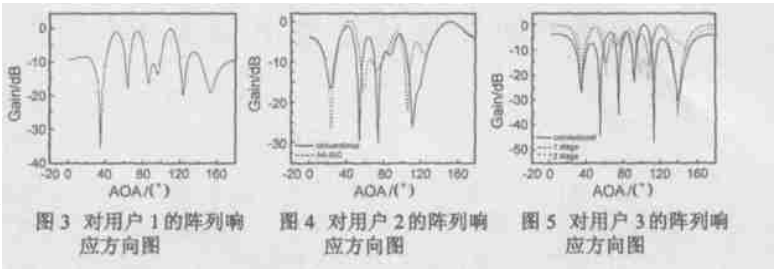
由仿真结果可以看出,当多址干扰对系统接收影响较大时,多用户检测对干扰抑制效果明显.本文介绍的结构比较简单,在实际应用中可以节省计算量,缓解一般多用户检测的计算量大的难题,采用智能天线与多用户检测直接结合的接收机对于实际应用有较大优势.

参考文献:

[1] 王 伶,焦李成,刘芳.一种新的盲空时检测器[J].电子学报,2002,30(6): 835- 838.

[2] N A Al-dabbous, B S Sharif. Adaptive multistage space-time receiver for DS/ CDMA systems[J]. IEEE VTC 2001 Fall, 4:2086- 2089.

[3] A R R de Matos, L M de Mendona, A G D Assumao. Adaptive array algorithms for wireless CDMA systems with multipaths[A]. Proc IEEE MIT2S[C]. Brazil: IEEE, 2001. 31- 34.



作者简介:



李 苗 女,1977 年出生于陕西汉中,2003 年毕业于北京航空航天大学电子信息工程学院,获硕士学位.现工作于北方烽火公司.



吕善伟 男,1937 年出生于辽宁大连,北京航空航天大学教授、博士生导师,主要从事射频、微波、毫米波技术,通信、航空宇航天线及其阵列与系统方面的教学与科研工作.



张江林 男,1973 年出生于吉林省吉林市,空军第二航空学院电子工程系讲师,现在北京航空航天大学电子信息工程学院攻读博士学位,主要研究领域为天线技术、微波通信和宽带接收机技术等.

张 磊 女,1974 年出生于上海,1995 年于北航毕业并获学士学位,毕业后于中国空空导弹研究所工作,2003 年于北航获硕士学位,现任职于航天科技集团 503 所.