

一种在 PHS 基站中实现的智能天线算法

任卫军^{1,2}, 贺显曜¹, 陈华强²

(1. 长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710064; 2. 西安海天天线科技股份有限公司, 陕西 西安 710075)

摘要: 开发个人手持电话系统(PHS)智能基站是改善 PHS 通信质量的一个重要措施。本文阐述了 PHS 智能基站的原理, 建立了 PHS 信号的信道模型, 论述了在该基站中使用的恒模算法, 介绍了其仿真方法。仿真结果和实际应用表明该算法在 PHS 基站中非常有效。

关键词: 智能天线 算法 移动通信系统

20 世纪 90 年代以来, 阵列处理技术引入移动通信领域, 很快形成了一个研究热点——智能天线。它使通信资源不再局限于时域、频域和码域而拓展到空间域。通过对信号空域信息的进一步利用, 在诸多方面提高移动通信系统的性能^[1], 如扩大系统的覆盖区, 提高系统容量与频谱利用率, 提高数据传输率, 降低基站发射功率, 节省系统成本, 减少信号间干扰等。

个人手持电话系统(PHS)即小灵通因其投资少、通信资费低、通信环保等优点在国内广受欢迎。但因其区域覆盖小、通信质量相对较低也引起一些消费者的不满。因此如何解决这些问题就成为 PHS 基站生产商和中国电信面临的一个问题。目前采取的措施主要集中在通过 PHS 网络

优化减少通信盲区和充分利用智能天线技术开发 PHS 智能基站二个方面。

1 PHS 智能天线原理

对上行链路, 假设期望用户 PS1 手机发送信号为 S_{T1} , 干扰用户 PS2 手机发送信号为 S_{T2} , 智能基站在 4 根天线上收到的信号分别为 $x_1(t) \sim x_4(t)$, 则经过加权计算后输出 $Y(t)$ 为^[2]:

$$Y(t) = \sum_{i=1}^4 w_i x_i(t) = \left(\sum_{i=1}^4 w_i h_{i1} \right) S_{T1}(t) + \left(\sum_{i=1}^4 w_i h_{i2} \right) S_{T2}(t) + N(t) \quad (1)$$

式(1)中 h_{i1} 、 h_{i2} 为多径系数, $N(t)$ 为噪声, $S(t)$ 为基站发送信号。采用自适应算法, 若求 w_i 使得:

$$\sum_{i=1}^4 w_{is} h_{i1} = 1 \quad \text{且} \quad \sum_{i=1}^4 w_{is} h_{i2} = 0$$

则式(1)成为: $Y(t) = S_{R1}(t) + N(t)$, 即干扰 PH2 被抑制。

对下行链路, 假设 PS1 的手机接收信号为 S_{R1} , PS2 的手机接收信号为 S_{R2} , 则期望用户 PS1 的信号 S_{R1} 可以表示为:

$$S_{R1}(t) = \sum_{i=1}^4 h_{i1} w_{is} s(t) + N_1(t) = \left(\sum_{i=1}^4 w_{is} h_{i1} \right) S(t) + N_1(t)$$

干扰 PS2 的信号 S_{R2} 可以表示为:

$$S_{R2}(t) = \sum_{i=1}^4 h_{i2} w_{is} S(t) + N_2(t) = \left(\sum_{i=1}^4 w_{is} h_{i2} \right) S(t) + N_2(t)$$

若通过自适应算法求一个 w_{is} , 使得:

$$\sum_{i=1}^4 w_{is} h_{i1} = 1 \quad \text{且} \quad \sum_{i=1}^4 w_{is} h_{i2} = 0 \quad (3)$$

则有: $S_{R1}(t) = S(t) + N_1(t)$, $S_{R2}(t) = N_2(t)$

这样, 波束就在通话手机 PS1 的方向上形成了指向性, 在干扰手机 PS2 的方向上形成了零陷, 从而实现对于干扰进行抑制的基本原理。

2 PHS 基站信道模型

智能天线作为提高移动通信系统容量的重要手段在基站中使用, 在时空处理中建立无线信道的信号模型是非常重要的。在智能基站中主要使用天线阵, 移动台使用单一天线。由于 PHS 的无线接入方式采用四信道多路传输多载波(TDMA-TDD)方式^[4], 因此信道的信号模型分 4 种情况考虑^[1]:

(1) 上行链路, 单用户发送, 基站多天线接收。

在基站的接收信号矢量为:

$$x(t) = \sum_k \sum_{l=1}^L a(\theta_l) a_l^R(t) g(t - \tau_l - kT) s(k)$$

其中 $a(\theta_l)$ 是一个 m 维矢量, 代表天线阵对从方向 θ_l 到达信号的响应; $a_l^R(t)$ 是衰减幅度, 可以是某种概率分布的随机变量, $g(t)$ 是脉冲成形波形, L 是多径数, $s(k)$ 代表用户数据。

(2) 上行链路, 多用户发送, 基站多天线接收。

多个移动台发送它们的信号, 到达基站后使用天线阵将它们分离开来, 假设有 Q 个用户, 则在天线阵接收到的信号是从 Q 个移动台来的信号总和。

$$x(t) = \sum_k \sum_{q=1}^Q \sum_{l=1}^{L_q} a(\theta_{lq}) a_{lq}^R(t) g(t - \tau_{lq} - kT) s_q(k)$$

(3) 下行链路, 基站多天线发送, 单用户接收。

在下行链路, 发送到移动台信号路径与上行链路相同, 信号在发送之前, 要进行空域处理, 使得发送信号有方向性, 发送波束方向图的权值与每个多径对应起来。如果只进行空间处理, 那么移动台的接收信号是从不同路径到达的信号和, 在移动台接收到的基带信号为:

$$x(t) = \sum_k \sum_{l=1}^L w^H a(\theta_l) a_l^F(t) g(t - \tau_l - kT) s(k)$$

w 是发送权重矢量, H 表示复共轭转量, τ_l 是路径时延, θ_l 角度参数, $a_l^F(t)$ 是复衰落。

(4) 下行链路, 基站多天线发送, 多用户接收。

假设有 Q 个移动台, 第 m 个移动台的接收信号为:

$$x_m = \sum_k \sum_{q=1}^Q \sum_{l=1}^{L_q} w_q^H a(\theta_{lm}) a_{lm}^R(t) g(t - \tau_{lm} - kT) s_q(k)$$

Q 个不同用户数据 $s_q(k)$ 通过权重矢量 w_q 与第 m 个用户的 lm 条路径联系起来。

由于 PHS 同一信道中上行链路与下行链路间隔只有 2.5ms, 因此可近似地认为在该系统中上行信道的参数 $a_l^R(t)$ 与下行信道参数 $a_l^F(t)$ 基本相同。这样就可根据上行链路信道产生的波束成形权值直接用于下行波束成形的权值^[3], 即有式(2)和式(3)中的 $w_{is} = w_{is0}$ 。

3 PHS 基站中的智能算法

智能算法决定着天线阵暂态响应的速率和电路实现的复杂程度, 因此选择什么样的算法进行波束智能控制是非常重要的。目前已有一些成熟的算法, 如时域的最小均方算法(LMS)、递归最小均方误差(RLS)、频域的多信号分类法(MUSIC)、旋转不变技术信号参数估计法(ESPRIT)等。对于 PHS 基站选择算法时, 除了要考虑算法的收敛率、跟踪性、稳健性等基本要素外, 最主要是考虑其计算需求, 包括完成一次迭代所需的运算量和存储数据与程序所需的存储量, 以及程序对于处理器等器件的投资等。

PHS 使用恒包络调制的 $\pi/4$ 四相相移键控($\pi/4$ QPSK)调制方式, 满足恒模算法(CMA)所要求的恒模特性^[6]。该算法的基本思想是^[5]: 恒模信号经过信道后, 产生幅度扰动(衰落), 可定义一种“恒模”准则使自适应滤波器的输出恢复成恒模信号, 其主要特点是信号的恢复无需参考信号, 依靠的先验知识仅是信号的恒模特性。

该算法采用在线的自适应恒模阵列。为了得到各个来波方向估计, 对各个阵元接收信号进行复数加权求和, 得到的信号为:

$$y(k) = X^T(k)W(k) = S^T(k)A^T W(k) + N^T(k)W(k)$$

其中 $W(k) = [W_1(k), W_2(k), \dots, W_N(k)]^T$ 为复数加权向量。

CMA 的代价函数为: $J = E[|y(k)|^p - \delta]^q$ (4)

其中 $E[\]$ 为数学期望, δ 为包络值, 参数 p, q 为正整数, 决定 CMA 的收敛行为。对参数 p, q 取不同的值, 即可发展成多种不同的最陡下降恒模算法, 它们具有不同的收敛特性和复杂度。通常 $p=1, q=2, \delta=1$ 即 1-2 型 CMA 算法, 该算法的运算量最小。通过仿真发现, 对于 PHS 系统使用上述恒模算法性能差异不大, 因此在 PHS 中使用 1-2 型 CMA 算法。

CMA 的功能就是使代价函数最小,由此计算出加权因子,采用递推最小二乘自适应算法(RLC),则 1-2 型 CMA 算法更新为^[6]:

$$\begin{cases} y(k)=W^H(k)x(k) \\ w(k+1)=w(k)-\mu x(k) \times 2 \left[y(k) - \frac{y(k)}{|y(k)|} \right] \end{cases}$$

其中: $x(k)$ 为第 k 次接收数据, w 为自适应权向量。步长 $\mu > 0$,控制收敛速度。

经过一级恒模阵列,分离出某个目标的辐射信号,为了获得被捕目标的波达方向估计并为后级分离出其他目标辐射信号,在恒模阵列后加入自适应信号对消器^[5]。令误差向量:

$$E(k)=X(k)-u(k)y(k)$$

其中,自适应信号对消器的加权向量为 $u(k)=[u_1(k), u_2(k) \cdots u_m(k)]^T$ 。

应用最小均方根(LMS)算法更新:

$$u(k)=u(k-1)+2\mu y^*(k)E(k)$$

式中迭代步长 $0 < \mu < 1/\sigma_y^2$, $\sigma_y^2 = E[|y(k)|^2]$ 。在最小均方误差(MMSE)意义下,最优加权向量为:

$$u_{opt}=(\sigma_{s_i}^2/\sigma_y^2)a(\theta_i)$$

对于均匀等距天线阵列,根据方向向量表达式可以由 u_{opt} 得到 $\sigma_{s_i}^2/\sigma_y^2$ 和波达方向估计 θ_i 。

4 算法仿真

为验证 CMA 算法在 PHS 基站中的可用性,先用仿真程序对不同算法进行评估。在仿真时通过以下过程产生模拟的 PHS 信道接收数据:生成随机 4 组信息比特对,映射为 $\pi/4$ QPSK 相移序列,产生调制脉冲,设置信道参数,产生信号波形,设置干扰参数,产生干扰信号,产生高斯白噪声,最后得到模拟的 PHS 信号。对 1-2 型 CMA 算法采用如下的仿真环境:数据长度=1 700,信噪比=14dB,干扰个数=3,直射信号个数=1(幅度=1,方向角=45°),多径个数=2(幅度=0.8),干扰和多径到达角度随机产生。采用 1-2 型 CMA 算法的仿真结果如图 1~4 所示。图 1 为 1-2 型 CMA 算法随叠代次数的增加其代价函数(式 4)的变化曲线;图 2 为模拟的 PHS 信号未经该算法处理前的星座图;图 3 为模拟的 PHS 信号经该算法处理后的星座图;图 4 为从空频

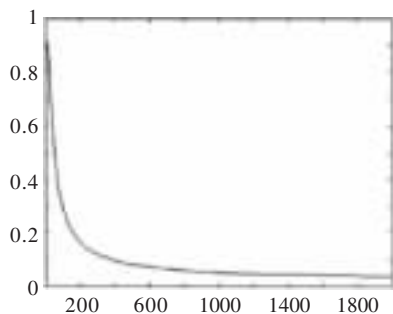


图 1 代价函数随叠代次数的变化曲线

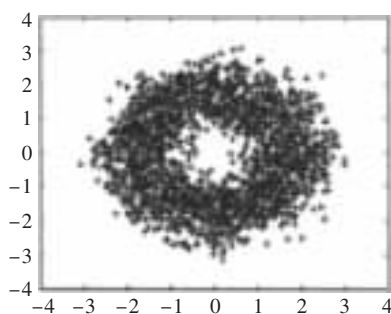


图 2 处理前的星座图

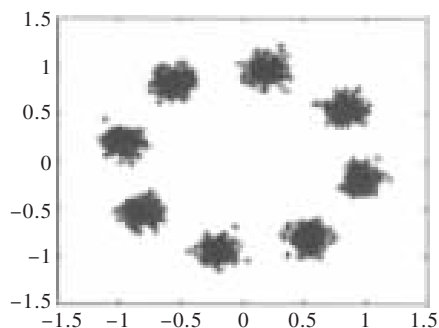


图 3 处理后的星座图

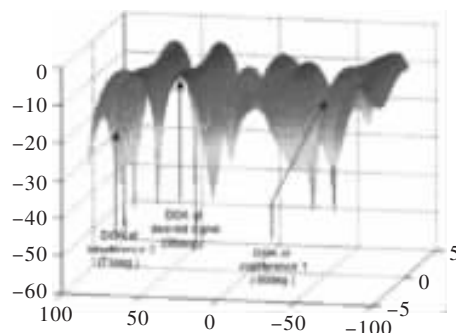


图 4 从空频方向图观察自适应处理对信号的增强和干扰的抑制

方向观察到的使用该算法的 PHS 智能基站对有用信号的增强和对干扰的抑制的三维立体图。结果表明,该算法对 PHS 信号处理效果十分明显。

5 结束语

经过仿真发现,1-2 型 CMA 算法对 PHS 基站接收信号处理效果明显,并且运算量较小。把这种算法应用到某 PHS 智能基站中,通过 Anritsu 公司的 PHS 综合信号测试仪 MT8801C 和实际外场测试发现,该基站的接收灵敏度增加 3dB,覆盖区域增加、切换减少、通话质量提高。该算法以及实现方法在第三代移动通信系统 TD-CDMA 中也有较强的借鉴意义。

参考文献

- 1 赵瑞锋,谈振辉.无线系统中的智能天线.电子学报,2000; 28(12)
- 2 王衍文.PHS 系统中的智能基站.中兴通讯技术,2004;12(1)
- 3 Czylwik A,Matsumoto T.Downlink Beam Forming for Frequency-duplex Systems in Frequency-selective Fading.IEEE VTC2000,2000
- 4 Association of Radio Industries and Businesses (ARIB).Personal Handy Phone System ARIB Standard(Version 3.3)RCR STD-28.2000
- 5 冯文江.通信信号处理.重庆:重庆大学出版社,2004
- 6 张贤达,保铮.通信信号处理.北京:国防工业出版社,2000

(收稿日期:2005-06-22)