

1.智能天线可以用于基站端，也可以用于移动终端。

用于基站端的智能天线是一种有多个天线单元组成的阵列天线。它通过调节各阵元信号权向量改变天线的方向图，来抑制干扰，提高信噪比。它可以自动测试出用户方向，即通过调节权向量指向用户，从而实现波束随着用户的移动而改变。它可以提高天线增益，即多天线的分集增益，减少信号发射功率，减少用户设备体积，延长电池寿命，也能增大基站覆盖率。广义来讲，智能天线是用户和基站与天线传播环境的最佳空间匹配通信。

智能天线用于移动终端可以有效地提高通信性能，降低发射效率，减少电磁波对人体的伤害，而且智能天线可以从用户方向和传播时延获得用户的具体位置，为用户提供定位服务，如紧急救助、导航等。

2.智能天线是一种伸缩性很强的技术

在较大的路径损耗情况下，为了使接收到的信号不低于门限值，可以增加天线的接收增益，那么此时选择智能天线回避单天线容易一些。当扩展容量支持更多用户的同时，随之而来的是干扰的增加，利用智能天线，借助有用信号和干扰在来波方向上的差异，选择合适的权值合并，形成最有效的合并模式，即将主瓣对准有用信号，零陷对准干扰信号，这样能够有效的抑制干扰。从某种角度来说，智能天线可以看做更灵活、主瓣更窄的扇形天线。

3.

众所周知，CDMA2000和WCDMA都是自干扰系统，用户数量越大，则用户间的干扰越大，这种干扰叫做多址干扰。同时传统移动天线信号是全向发射的，也会带来多径衰落和时延扩展，造成码间干扰。在3G系统中，可以将智能天线嵌入到无线基站内部的基带处理部分以及终端设备中，从而使得接收信号和发射信号得到极大的改善。通过零陷达到干扰抑制的目的，减少多径干扰的影响，提高信号的增益。如果通过算法将零陷点区域拓宽，则可以使多个用户方向的干扰得到抑制。

4、天线系统中的一些基本的概念

①方向图

阵列方向图定义为当阵列接受到的是平面波，阵列输出的绝对值与平面波的入射方向之间的关系。方向图一般分为两种，一种是静态方向图，不考虑信号与信号来波方向，没有加权系数直接由阵列输出相加所得到的。另一种是带指向的方向图。虽然假设阵列的方向图是全向的，但是阵列输出后经过加权求和，是将在输入方向的增益使得方向图聚集在某一个方向是，形成一个波束，而旁瓣变得更低的技术

智能天线那本书第四章

②由相同阵元组成的天线阵的远场总可以分解为阵元因子和阵因子的乘积。阵元方向图与阵子方向图相乘这个事实说明天线方向图具有乘法性。因此，任何天线阵的远场图总是

$(EF) * (AF)$ ，AF取决于阵元的几何排列、阵元间距以及每个阵元的相位。

③天线的方向性系数

是对天线在某些方向上优先辐射能量的能力的度量

④旁瓣

对于一个均匀加权的直线阵，最大的旁瓣在峰值一下约24%处。旁瓣的出现意味着天线正向不期望的方向辐射能量。由于天线互易性，天线阵也从不期望的方向接收能量。在多径环境中，旁瓣能从多个角度接收同一信号，这就是通信中出现衰落的基础。如果传播角已知，最好把波束调向期望方向，并形成旁瓣以抑制不期望的信号。通过对阵元加权、匿影、加窗，可以抑制旁瓣。这些术语分别来自电磁学、水下声学、阵列信号处理等领域。其中阵元加权在注入DSP、射电天文学、雷达、声呐和通信领域中有着广泛的应用

5.智能天线

①智能天线的波束方向图受控于某些准则的算法，这些准则可使信干比（Signal-to-Interference Ratio, SIR）最大，方差最小，均方误差（MSE）最小，其目的是将波束调向到感兴趣方向、让干扰信号产生零陷或跟踪移动发射机等。这些算法通过模拟器件实现，但是使用数字信号处理技术一般更容易实现。这就要求通过模/数转换器将天线阵输出信号数字化。数字化可在中频或者基带频率完成。既然天线方向图（或波束）采用数字信号处理技术来形成，故该过程常称为数字波束形成。

②采用自适应算法时，这个过程称为自适应波束形成。自适应波束形成是数字波束形成中的一个子类。数字波束形成的主要优点是，相移和阵列加权可以通过数字化数据实现，而不使用硬件来实现。数字波束形成方法严格的说不能成为电子调向，因为它没有直接对天线阵元电流的相位移相，相反，它的相移是通过数字化信号计算来实现的。如果改变运行参数或修改检测准则，仅通过改变算法就可以改变波束形成，不用替换硬件。

6.智能天线的相应的准则

①最大信干比准则

最大信干比准则是用来增强接收信号并使干扰信号最小

②最小均方误差算法

另一种优化天线阵权值的方法是通过均方误差（MSE）最小化来实现，以便对天线阵权值进行迭代时使误差最小。假设 $d(k)$ 是参考信号。参考信号要么与期望信号 $s(k)$ 相同，要么与期望信号 $s(k)$ 强相关，而与干扰信号 $i_n(k)$ ，如果 $s(k)$ 与干扰信号明显相同，则最小均方技术将失败

③最大似然算法

ML算法是以期望信号 x_s 未知，非期望信号 n 服从于零均值高斯分布的设想为依据，该算法旨在定义一个能估计出期望信号的似然函数

④最小方差算法

MV算法有时称为最小方差无失真响应（MVDR）算法或者最小噪声方差性能（MNVPM）算法。采用天线阵权值后，由于期望接收到的信号未失真，因此使用了“无失真”一词。这种算法的目的是使天线阵输出噪声方差最小。

最小方差算法和最大似然算法在形式上是一样的，唯一的区别在于，最大似然算法要求合并后的非期望信号是零均值的且服从高斯分布的，然而在最小方差算法中，非期望信号包括以非期望的角度到达的干扰源和噪声，因此，最小方差算法应用更普遍。

7.自适应波束形成

上面的几种准则是在到达角不随时间改变，则最优天线阵权值就不需要调整。然而，如果期望信号的到达角随时间而改变，那么必须制定一个工作最优方案，以便重新计算最优的天线阵权

值（即接收机的信号处理算法必须能够适应不断变换的电磁环境）。自适应算法使固定波束形成方法向前迈进一步，并运行计算不断更新的权值。目前有几种比较流行的优化技术包括最小均方算法（LMS）、采样矩阵求逆（SMI）、递归最小二乘（RLS）、恒模算法（CMA）、共轭梯度算法和波形互异算法。

①最小均方算法（LMS）是一种基于梯度的算法。这种算法假定有一个构建好的二次性能表面，当性能表面的天线阵权值的是二次函数时，性能表面是呈椭圆形的抛物面形状，其中有一个最小值，求最小值最好的方法是梯度法。

LMS算法的收敛性和步长成正比。如果步长太小，则收敛速度缓慢，如果收敛速度慢于到达角的变化，则自适应天线阵列不能够获取感兴趣信号来跟踪变化的信号。如果步长太大，LMS将获取不到感兴趣的最优权值，如果收敛太快，权值将在最优权值附近振荡，但不能精确的跟踪到期望的权值，因此，必须选择一个步长范围来确保收敛，研究表明，如果满足下列条件就可以保证算法的稳定：

$$0 \leq \mu \leq \frac{1}{2\lambda_{\max}} \quad (8.57)$$

其中 λ_{\max} 是 \mathbf{R}_{xx} 的最大特征值。

LMS算法的一个缺点是，在达到令人满意的收敛前，算法必须经过多次迭代。如果信号的参数迅速变化，则LMS自适应算法可能不会令人满意的跟踪期望信号，权值的收敛速度有天线阵相关矩阵的特征值分散度表示

②采样矩阵求逆算法（SMI）

一种规避LMS算法相对缓慢收敛性的可能方法是利用采样矩阵逆算法（SMI），又称直接矩阵求逆（DMI），采样矩阵是利用K次采样的天线阵的相关矩阵的时间平均估计

图 8.16 加权后的最小均方天线阵方向图

回顾前面关于 MSE 最小值的讨论（见 8.3.2 节），最优天线阵权值由最优维纳解给出：

$$\mathbf{w}_{\text{opt}} = \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{r} \quad (8.59)$$

其中， $\mathbf{r} = E[d^* \cdot \mathbf{x}]$, $\mathbf{R}_{xx} = E[\mathbf{x}\mathbf{x}^H]$ 。通过时间平均可估计相关矩阵，得

$$\mathbf{R}_{xx} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{x}(k)\mathbf{x}^H(k) \quad (8.60)$$

其中 K 是观察周期。

相关向量 \mathbf{r} 可通过以下等式估计：

$$\mathbf{r} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K d^*(k)\mathbf{x}(k) \quad (8.61)$$

由于使用长度为 K 的数据块，因此这种方法称为块自适应法（block-adaptive approach）。我们一块一块地调整权值。

SMI算法比LMS算法快，但是SMI算法有几个缺点（1）相关矩阵天线差异导致错误或求逆时变为奇异矩阵（2）大型天线面临求逆的挑战，为了求逆，相关矩阵需要 $N^3/2 + N^2$ 次复杂的乘法操作（3）SMI更新频率将由信号频率和信道衰落条件决定

③递归最小二乘算法（RLS）

SMI算法有几个缺点，虽然SMI算法的速度比LMS算法的速度快，但计算复杂度和潜在的奇异性会带来一些问题。不过可以递归计算所需要的相关举着和相关向量