

智能天线系统中空时信道模型应用分析

翟明岳 唐良瑞 梁明

(华北电力大学电子与信息工程学院, 北京 102206)

摘 要: 空时信道模型在智能天线系统性能的评估中是非常重要的。对智能天线系统中常用的空时信道模型做了详细的介绍, 分析了每种模型的特点和每种模型所适用的具体情况。对其中得到广泛使用的 GBSB 模型具体分析了到达角、时延概率函数以及 Doppler 谱, 并做了计算机模拟, 认为 Clarke 模型是其中的一个特例。

关键词: 空时信道; 智能天线; 模型

中图分类号: TN929.533

文献标识码: A **文章编号:** 1007-2322(2003)06-0067-07

无线信道是移动通信信号传播的媒质, 因此对其特性的了解是非常重要的。在设计智能天线系统时, 由于系统非常复杂, 通常采用计算机模拟的方法来预先估计一个系统的性能并据此做出相应的改进。在计算机模拟中, 合适的空时无线信道模型非常重要。在本文中, 我们将详细介绍分析智能天线系统时常用的空时无线信道的特性, 然后介绍在计算机模拟中经常采用的一些空时信道模型, 着重分析 GBSB 模型的两种情况, 介绍这两个模型的到达角、时延概率函数以及 Doppler 谱。

1 无线传播环境和信号参数

早期的经典信道模型, 一般提供振幅和 Doppler 频移信息^[1]。随着无线通信系统变得越来越复杂, 需要更为精确和复杂的信道模型, 一些新的概念, 如时延扩展、到达角等就出现在一些新的信道模型中^[2~5]。

在无线信道中传播的信号一般都是多径信号, 每一条多径信号都有各自的振幅、相位、时延、DOA、和 Doppler 频移。假设第 k 个用户的第 l 条信号的上述各参数分别为 $\rho_{k,l}$, $\psi_{k,l}$, $\tau_{k,l}$, $\varphi_{k,l}$ 和 $f_{k,l}$, 一般而言, 这些参数都是时变的, 是时间的函数。

通常情况下, 使用信道脉冲响应来表征用户和

基站之间的信道。第 k 个用户的信道脉冲响应可以表示为

$$h_k(t, \tau) = \sum_{l=0}^{L_k(t)-1} \alpha_{k,l}(t) \delta(t - \tau_{k,l}(t)) = \sum_{l=0}^{L_k(t)-1} \rho_{k,l}(t) e^{j\psi_{k,l}(t)} \delta(t - \tau_{k,l}(t)) \quad (1)$$

在上式中, $L_k(t)$ 表示第 k 个用户多径信号的数目。振幅 $\rho_{k,l}(t)$ 通常认为是 Rayleigh, Rician 或者对数正态分布的, 而相位 $\psi_{k,l}$ 是均匀分布的随机变量。

如果考虑多径信号的到达角, (1) 式所表示的标量信道脉冲响应就变为矢量信道脉冲响应:

$$\begin{aligned} \mathbf{h}(t, \tau) &= \sum_{l=0}^{L_k(t)-1} \mathbf{a}(\theta_{k,l}) \alpha_{k,l}(t) \delta(t - \tau_{k,l}(t)) \\ &= \sum_{l=0}^{L_k(t)-1} \mathbf{a}(\theta_{k,l}) \rho_{k,l}(t) e^{j\psi_{k,l}(t)} \delta(t - \tau_{k,l}(t)) \end{aligned} \quad (2)$$

在上式中, $\mathbf{a}(\theta_{k,l})$ 是方向矢量, 与阵列形状和到达角有关。

(2) 式表明, 信道的脉冲响应是各多径信号的叠加, 每条多径信号都有各自的幅度、相位、时延和到达角。这些参数的分布则与天线附近散射体区域有关。散射区域的几何形状、散射体的位置和数目与天线附近的传播环境有关, 而这些传播环境则与天线的高度有非常大的关系^[6]。根据这些特点,

收稿日期: 2003-09-16

作者简介: 翟明岳 (1970-), 男, 博士, 讲师, 主要从事移动通信、PLC、智能天线、MIMO 方面的研究。梁明 (1956-), 男, 科学博士, 主要从事移动通信、PLC 等方面的研究。

可以将传播环境分为宏小区和微小区两种。

1.1 宏小区环境

在宏小区环境中,一般认为移动台周围的散射体高于移动台的高度。这就意味着移动台接收到的信号是从移动台的四周来的。在这种情况下,移动台接收信号的到达角是在 $(0, 2\pi)$ 范围内均匀分布的函数,而在基站处接收到的信号到达角则不同。在宏小区中,基站天线要高于周围的散射体,因此基站处的信号来自移动台周围的散射体,信号的到达角限制在某个范围内,并且也不再是 $(0, 2\pi)$ 范围内均匀分布的随机函数。图 1 示出了移动台和基站所接收到信号的不同情形。

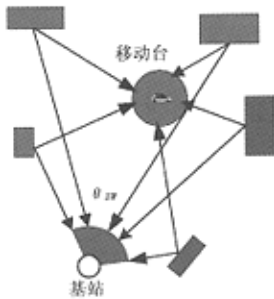


图1 宏小区环境中移动台和基站处接收信号的不同到达角

1.2 微小区环境

在微小区中,基站天线的高度与周围散射体的高度相当,此时基站处接收信号到达角的角度扩展要大于宏小区时的情况。基站天线越低,到达角的角度扩展就越大。研究表明,当角度扩展减小时,基站天线接收信号之间的相关函数就会增大^[6]。因此微小区环境中角度扩展的这一性质对于智能天线的设计和应用的非常重要的。

2 空时信道模型

为了评估系统的性能,往往需要利用传播模型来提供一些基本参数(如多径信号的到达角等)。当没有其他的可用信息的时候,研究者通常假定多径信号的到达角是在 $[0, 2\pi]$ 范围内均匀分布的随机变量,但是从上面的分析中我们已经知道这种假设是不符合实际情况的。

在本节中,我们将介绍一些比较符合实际情况的空间信道模型,并简要介绍其主要的结果。

2.1 Lee 模型

在这个模型中,散射体均匀分布在移动台周围的一个圆环上,如图 2 所示。每一个散射体都代表了实际传播环境中很多散射体所起的作用。假设在圆环上均匀分布着 N 个散射体,圆环的半径为 R ,移动台和基站的间距为 D ,那么基站处接收信号的到达角为

$$\theta_i = \frac{R}{D} \sin\left(\frac{2\pi i}{N}\right) \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

两个阵元所接收信号的相关函数为

$$\rho = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} e^{-j2\pi d \cos(\theta_0 + \theta_i)} \quad (4)$$

其中 d 为阵元的间距。

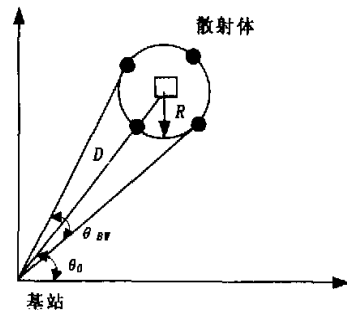


图2 Lee 模型

2.2 Lee 模型的扩展

在 Lee 模型中,只提供了信号相关函数这一信息。针对这一缺陷,Stapleton 等对 Lee 模型做了扩展,考虑了 Doppler 频移的影响^[7~8]。在这个模型中,每个散射体都有一个角速度,Stapleton 指出此模型可以模拟 $\pi/4$ -DQPSK 系统的误码率,模拟结果与实测结果相符得很好。

2.3 离散均匀分布模型

文献 [9] 提出了一种与 Lee 模型类似的信号模型。此模型假设在一个很窄的波束(此波束以移动台为中心)之内均匀分布着 N 个散射体,如图 3 所示。

在这个模型中,各多径信号的到达角为

$$\theta_i = \frac{i}{N-1} \theta_{BW} \quad i = -\frac{N-1}{2}, \dots, \frac{N-1}{2} \quad (5)$$

信号之间的相关函数为

$$\rho = \frac{1}{N} \sum_{i=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} e^{j2\pi d \cos(\theta_0 + \theta_i)} \quad (6)$$

尽管这个模型在预测相关函数方面比较有用，但是此模型与 Lee 模型一样，无法提供诸如时延扩展或者 Doppler 频移方面的信息。

2.4 GWSSU 模型^[10]

在 GWSSU (Gaussian Wide Sense Stationary Uncorrelated Scattering) 模型中，散射体分为不同的散射簇，在每一个散射簇内，多径信号的传播时延可以认为是相等的，如图 4 所示。

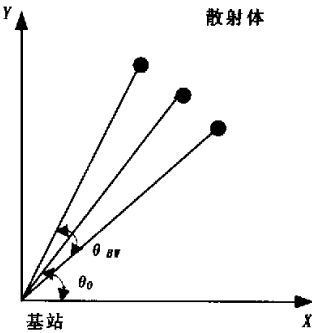


图 3 离散均匀分布模型

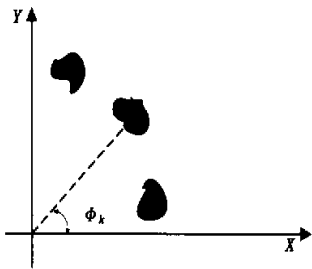


图 4 GWSSU 模型

在此模型中，假设第 k 个散射簇的平均到达角为 φ_k ，散射簇的位置和传播时延在 b 个数据突发间隔内保持不变。阵列信号可以表示为

$$\mathbf{x}_b = \sum_{k=0}^{D-1} \mathbf{v}_{k,b} s(t - \tau_k) \tag{7}$$

式中 D 为散射体个数，

$\mathbf{v}_{k,b}$ 为第 k 个散射体在 b 数据突发时间内的空间特征矢量 (Space Signature)：

$$\mathbf{v}_{k,b} = \sum_{i=0}^{N_k-1} \rho_{k,i} e^{j\psi_{k,i}} \mathbf{a}(\varphi_k - \varphi_{k,i}) \tag{8}$$

其中 N_k 是第 k 个散射簇内的散射体个数，

$\psi_{k,i}$ 为相位，

$\rho_{k,i}$ 则为振幅，

$\varphi_{k,i}$ 为第 k 个散射簇内第 i 条多径信号的到达角，

$\mathbf{a}(\theta)$ 为方向矢量。

文献 [10] 指出，如果 N_k 足够大 (大约为 10，或者更大一些)，那么 $\mathbf{v}_{k,b}$ 中的元素为 Gauss 分布，并且可以假设其为广义平稳的，均值为零。

在这个模型中， τ_k 在一定的数据突发间隔内保持不变，而相位 $\psi_{k,i}$ 变化则要剧烈得多，并认为是 $[0, 2\pi]$ 范围内均匀变化的随机变量。在这样的假设下，可以得到第 k 个散射簇的协方差矩阵为^[11]

$$\mathbf{R}_k = \sum_{i=0}^{N_k-1} |\alpha_{k,i}|^2 \mathbf{E} \{ \mathbf{a}(\varphi_k - \varphi_{k,i}) \mathbf{a}^H(\varphi_k - \varphi_{k,i}) \} \tag{9}$$

这个模型提供了协方差矩阵的一般形式，相当有概括性，但是散射簇的位置以及数目等参数很难确定，因此不适合应用。

2.5 GWSSU 模型的扩充

这个模型是 GWSSU 模型和 GBSBCM 模型 (见下面的介绍) 的结合物^[12]。在这个模型中，散射体划分为多个散射簇，每个散射簇内多径信号的传播时延认为是相同的 (这正是 GWSSU 模型的特点)，而散射簇则均匀分布于一个圆形的区域内 (与 GBSBCM 模型相同)。为了提供信道脉冲响应随时间变化的特性，此模型还假设散射簇在某一特定时间变化的特性，此模型还假设散射簇在某一特定时间的个数服从 Poisson 分布，也就是说散射簇的个数是随机变量，这在一定程度上模拟了实际的时变信道。图 5 是 GWSSU 扩展模型的示意性图。

由于散射簇的个数是一随机变量，这个模型所产生的所有信道信息都是时变的，因此这个模型很适合研究算法在跟踪信道方面的性能。

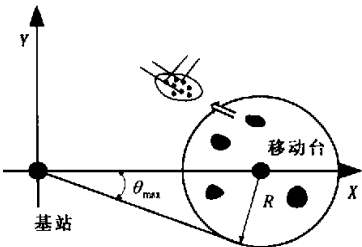


图 5 GWSSU 模型的扩充

2.6 均匀扇区分布模型 (Uniform Sectored Distribution Model)

文献 [13] 中提出了一种均匀扇区分布模型 (Uniform Sectored Distribution Model), 这个模型适合于宏小区的传播环境。在这个模型中, 散射体均匀分布在一个扇形区域中, 如图 6 所示。这是一个很简单的模型, 它假定每个散射体所对应的多径信号的振幅和相位分别在 $[0, 1]$ 和 $[0, 2\pi]$ 内均匀分布。根据中心极限定理, 当散射体的个数很大时, 基站接收信号的振幅是 Rayleigh 衰落的。作者提出此模型, 用来检验角度扩散对空间分集算法的影响, 但是没有给出角度扩展 $\Delta\psi$ 以及散射体个数的确定方法, 不适合应用。

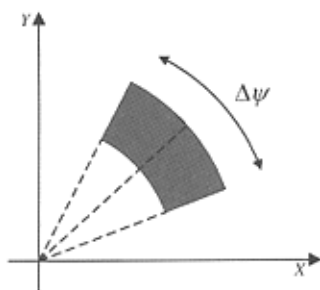


图 6 均匀扇区分布模型
(Uniform Sectored Distribution Model)

2.7 双向信道模型 (Double Directional Channel Model)

文献 [14] 和 [15] 提出了一种双向信道模型, 这个模型包含了接收端和发送端的角度扩展信息, 所以称为双向信道模型。信道的冲击响应可以表示为

$$h(t, \varphi_R, \varphi_T) = \sum_{i=1}^N H_i e^{j\varphi_i} \delta(\tau - \tau_i) \delta(\varphi_R - \varphi_{R,i}) \delta(\varphi_T - \varphi_{T,i}) \quad (10)$$

其中 τ_i 为多径时延,

$H_i e^{j\varphi_i}$ 是第 i 条多径的复振幅。在下行链路中, φ_R 是移动台的到达角 (DOA), φ_T 是基站处的 DOD (Direction Of Departure); 而在上行链路中, φ_R 是基站处的到达角 (DOA), φ_T 则是移动台处的 DOD (Direction Of Departure); N 为多径数目。在这个模型中, 所有的参数都需要通过实际测量来确定, 这对于计算机模拟是很不方便的。

2.8 时变矢量信道 (Rayleigh 模型)

Rayleigh 时变矢量信道是用来模拟小尺度的

Rayleigh 衰落, 并在此基础上研究信号空间相关性质^[16]。假设在某一时刻 t , 有 L 个主要反射体, 接收信号矢量可以表示为

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{l=1}^L \mathbf{a}(\varphi_l) \alpha_l(t) s(t - \tau) + \mathbf{n}(t) \quad (11)$$

其中 $\mathbf{a}(\varphi)$ 为方向矢量,

$\alpha_l(t)$ 是第 l 多径的复振幅,

$s(t)$ 为信号, $\mathbf{n}(t)$ 则为噪声。

这个模型的特别之处在于复振幅 $\alpha_l(t)$ 的计算:

$$\alpha_l(t) = \beta_l(t) \sqrt{\Gamma_L \Psi(\tau)} \quad (12)$$

其中 Γ_L 表示对数正态衰落,

$\Psi(\tau)$ 是接收信号的时延功率谱,

$\beta_l(t)$ 是辐射图:

$$\beta_l(t) = K \sum_{n=0}^{N_l-1} C_n(\varphi_l) e^{j2\pi f_d \cos(\Omega_{n,l})t} \quad (13)$$

其中 N_l 是第 l 个反射体产生的多径信号数目,

K 是天线增益和发射信号功率,

$C_n(\varphi_l)$ 是第 l 个反射体的第 n 条多径信号在方向 φ_l 的辐射。

文献 [16] 指出 $\beta(t)$ 是 Gauss 随机过程, 此模型的空时相关特性与理论分析结果吻合得很好。

2.9 GBSB (Geometrically Based Single-Bounce) 统计信道模型

GBSB (Geometrically Based Single-Bounce) 统计信道模型利用了一个空间散射体密度函数。这些模型对于模拟和分析是非常有用的。在模拟的时候, 根据散射体密度函数在散射区中随机放置散射体。这样就可以根据散射体的位置计算出信号的到达角 (DOA)、到达时间 (TOA) 以及信号振幅等信息。

利用散射体密度函数可以推出 TOA 和 DOA 的边缘概率密度函数以及联合概率密度函数。利用这些统计特性, 可以评估智能天线系统的性能。

由上面的介绍可以看出, GBSB 的统计信道模型关键是散射区的形状大小以及散射概率密度函数的确定。由于对此假设的不同, 有两种 GBSB 统计信道模型: GBSBCM (GBSB Circular Model) 模型和 GBSBEM (GBSB Elliptical Model)。GBSBCM 模型适用于宏小区的情况, 而 GBSBEM 模型则适用于微小区。

2.9.1 GBSBCM 模型

GBSBCM 模型如图 7 所示。散射体分布在以移动台为中心、半径为 R 的圆形区域内, 一般情

况下都有 $R < D$ 这是因为在宏小区模型中, 基站天线比较高, 天线附近没有散射体。

根据此模型的性质, 可以很容易地求得 TOA 和 DOA 的联合概率密度^[17]:

在基站处有:

$$f_{\tau, \theta}(\tau, \theta) = \frac{(D^2 - \tau^2 c^2)[D^2 c + \tau^2 c^3 - 2\pi^2 D \cos(\theta)]}{4\pi R^2 [D \cos(\theta) - \tau]^3}$$

$$\frac{D^2 - 2\pi D \cos(\theta) + \tau^2 c^2}{\pi - D \cos(\theta)} \leq 2R \quad (14. a)$$

$$f_{\tau, \theta} = 0 \quad \text{其他} \quad (14. b)$$

在移动台处有:

$$f_{\tau, \theta}(\tau, \theta) = \frac{(D^2 - \tau^2 c^2)[D^2 c + \tau^2 c^3 - 2\pi^2 D \cos(\theta)]}{4\pi R^2 [D \cos(\theta) - \tau]^3}$$

$$\frac{D^2 - \tau^2 c^2}{D \cos(\theta) - \tau} \leq 2R \quad (15. a)$$

$$f_{\tau, \theta} = 0 \quad \text{其他} \quad (15. b)$$

文献 [17] 中指出, GBSBCM 模型中 LOS 附近的多径信号出现的概率要高一些, 如果从基站的角度看, 多径信号都限制在一个很小的角度范围之内, 这也与宏小区的传播环境特点是一致的。文献 [17] 中还指出, 实测表明, 对于 $D=1\text{km}$ 的宏小区传播环境, 角度扩展大约在 $2^\circ \sim 6^\circ$; 并且角度扩展与 D 成反比, 散射体的分布范围大约在半径为 $30 \sim 200\text{m}$ 的圆形区域中。

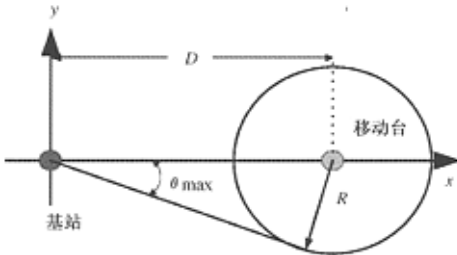


图7 GBSBCM模型

在模拟时, 可以在散射区域内按照均匀分布放置散射体, 然后计算出信道脉冲响应、TOA、DOA 以及功率等。

2.9.2 GBSBEM模型

在 GBSBEM 模型中, 散射体均匀分布在一个椭圆形区域内, 如图8所示。在这个模型中, 基站和移动台分别位于椭圆的焦点, 因为基站和移动台周围的散射环境是一样的, 这与微小区的传播特点是一致的^[18], 这个模型的一个特点就是存在 LOS 信号, 并且只考虑了电波的一次反射, 并没有考虑

媒质表面的散射、衍射和多次反射。

从这个模型中我们可以看出, 这个模型只考虑了信号时延等于或者小于 τ_m 的那部分多径信号。因为对于时延比较大的多径信号, 其路径损耗比较大, 从而忽略这些分量是合理的。因此只要把 τ_m 取的足够大, 就可以把几乎所有的需要考虑的多径信号包括到模型中。在此模型中, 椭圆的长轴和短轴分别为

$$a = \alpha_m / 2 \quad (16. a)$$

$$b = \frac{1}{2} \sqrt{c^2 \tau_m^2 - D^2} \quad (16. b)$$

其中 c 为光速,

τ_m 为需要考虑的最大时延。

τ (TOA) 和 DOA (θ) 的联合概率密度函数为

$$f_{\theta, r}(\theta, r) = \frac{2(r^2 - 1)(r^2 - 2r \cos \theta + 1)}{\pi \beta (r - \cos \theta)^3} \quad (17)$$

其中 θ 为基站处的信号到达角, $-\pi \leq \theta \leq \pi$, $r = \frac{\tau}{\tau_0}$, $1 \leq r \leq r_m$, $r_m = \frac{\tau_m}{\tau_0}$, τ_0 为 LOS 分量的传播时间, $\tau_0 = \frac{D}{c}$ 。

图8是 $D=1\text{km}$, $\tau_m=5\mu\text{s}$ 的 TOA 和 DOA 的联合概率密度函数。

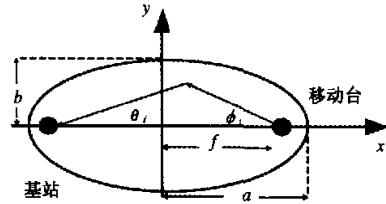


图8 GBSBEM模型

从式 (17) 可以得到时延的边缘概率密度函数为

$$f_{\tau}(\tau) = \frac{c}{\beta D_0} \frac{2(c\tau/D)^2 - 1}{\sqrt{(c\tau_0/D)^2 - 1}} \quad \tau_0 \leq \tau \leq \tau_m \quad (18. a)$$

到达角的边缘概率密度函数为

$$f_{\theta}(\theta) = \frac{1}{2\pi \beta} \frac{(r_m^2 - 1)^2}{(r_m - \cos \theta)^2} \quad (18. b)$$

到达角的条件概率密度函数为

$$f_{\theta|r}(\theta | r_i) = \frac{(r_i^2 - 1)^{3/2} (r_i^2 - 2r_i \cos \theta + 1)}{\pi (2r_i^2 - 1) (r_i - \cos \theta)^3} \quad (18. c)$$

(23)

其中 $\beta = \frac{c\tau_m}{D} \sqrt{\left(\frac{c\tau_m}{D}\right)^2 - 1}$, $r_i = \frac{\tau_i}{\tau_m}$

式 (18) 在计算机模拟时是非常有用的, 如果只需要模型提供到达角方面的信息, 那么可以利用 (18. a); 如果只需要模型提供时延方面的信息, 可以利用 (18. b)。如果需要模型提供时延和到达角的综合信息, 则需要利用 (18. c)。

现在我们看看此模型的角度扩展情况。角度扩展定义为

$$\sigma_\theta = \sqrt{E\{\theta^2\} - E\{\theta\}^2} \quad (19)$$

将 (18. b) 带入上式, 可以得到

$$\sigma_\theta = \sqrt{\int_{-\pi}^{\pi} \frac{\theta^2}{2\pi\beta} \frac{(r_m^2 - 1)^2}{(r_m - \cos\theta)^2} d\theta} \quad (20)$$

GBSBEM 模型的 Doppler 谱:

$$S_{\text{GBSBEM}}(f) = \frac{A_0^2}{f_m \sqrt{1 - (f/f_m)^2}} [f_\theta(\theta_v + |\cos^{-1}(f/f_m)|) + f_\theta(\theta_v - \cos^{-1}(f/f_m)|)] \quad |f| < f_m \quad (21)$$

其中, θ_v 是移动台运动方向与移动台和基站之间连线所呈的夹角 (顺时针方向测量), A_0 为一系数。

现在比较常用的 Doppler 谱是 Clarke 推导出来的:

$$S_{\text{Clarke}} = \frac{A_0}{\pi f_m \sqrt{1 - (f/f_m)^2}} \quad |f| < f_m \quad (22)$$

从式 (20) 和 (21) 可以看出, 两者的 Doppler 谱是有差异的。这是因为在 GBSBEM 模型中, 到达角 θ 的概率密度函数由式 (17. b) 确定的, 而在 Clarke 模型中, 到达角 θ 则是在 $[-\pi, \pi]$ 内均匀分布的。图 9 比较了 $\theta_v = 90^\circ$ GBSBEM 模型和 Clarke 模型的 Doppler 谱 (最大 Doppler 频移为 100Hz)。当 r_m 逐渐变大时, 无论是还是 $\theta_v = 0^\circ$ 还是 $\theta_v = 90^\circ$, GBSBEM 的 Doppler 谱与 Clarke 模型的 Doppler 谱差别变得越来越小。当 $r_m = 20$ 时, 两个模型的 Doppler 谱与 Clarke 模型的 Doppler 谱之间的差别已经很小了。这说明 r_m 越大, 到达角的分布越接近于均匀分布, 这也可以从下面的公式得到验证:

对公式 (18. b) 取极限:

$$\lim_{r_m \rightarrow \infty} f_\theta(\theta) = \lim_{r_m \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi\beta} \frac{(r_m^2 - 1)^2}{(r_m - \cos\theta)^2} = \frac{1}{2\pi}$$

这也充分说明, 到达角均匀分布只不过是 GBSBEM 模型的一个特例。

从图中我们还可以看到对于, $\theta_v = 90^\circ$, GBSBEM 模型 0 频率附近的频率分量要多于 Clarke 模型。

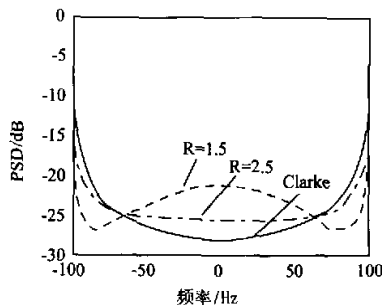


图 9 GBSBEM 模型与 Clarke 模型的 Doppler 谱比较 $\theta_v = 90^\circ$

3 结论

信道模型对分析智能天线系统的性能是非常重要的。本文详细介绍了使用比较广泛的各种空时信道模型, 指出了各种模型的适用环境, 并着重分析了 GBSB 模型的两种情况, 介绍了这两个模型的到达角、时延概率函数以及 Doppler 谱。

参考文献

- [1] Liberti J C Jr. and Theodore S. Rappaport, Smart antenna for wireless communications IS - 95 and Third Generation CDMA applications, Prentice Hall PTR, 1999
- [2] Rappaport T S. Characterization of UHF multipath radio channels in factory building, IEEE Trans. On Antenna and Propagation, 1989, 37 (8):
- [3] Seidel S Y, et al. Path loss, scattering and multipath propagation statistic for European cities for digital cellular and microcellular radiotelephone, IEEE Trans. on Vehicular Technology, 1991, 40 (4): 721~730
- [4] 赵建平. 阵列天线在移动通信系统中的应用: [博士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 1999.
- [5] Rappaport T S, Reed J H, and Woerner B D. Position location using wireless communications on highways of the future, IEEE comm. Magazine, 1996, 34 (10): 33~41.

- [6] Ertel R B, Cardieri P, Rappaport T S. Overview of spatial channel models for antenna array communication systems, IEEE Personal Communications, 1998.
- [7] Stapleton S P, Carbo X, McKeen T. Spatial channel simulator for phased arrays, Proc. IEEE VTC., 1994. 1789~1792.
- [8] Stapleton S P, Carbo X, McKeen T. Tracking and diversity for a mobile communications base station array antenna, Proc. IEEE VTC, 1996. 1695~1699.
- [9] Aszety D. On antenna arrays in mobile communications systems: fast fading and GSM base station receiver algorithms, Ph. D. dissertation, Royal Inst. Technology, Mar, 1996
- [10] Zetterberg P and Ottersten B. The spectrum efficiency of a basestation antenna array system for spatially selective transmission, IEEE Vehicular Technology Conf. 1994.
- [11] Robert J. Piechocki and George V Tsoulos. A Macrocellular Radio Channel Model for Smart Antenna Tracking Algorithms, 1999. 1754~1758.
- [12] Zetterberg P, Espensen P L, Mogensen P. Propagation, beamsteering and uplink combining algorithms for cellular systems, ACTS Mobile Communications Summit, Granada, Spain, Nov., 1996.
- [13] Norklit O and Anderson J N. Mobile Radio Environments and Adaptive Arrays, Proc. IEEE PIMRC, 1994. 725~728.
- [14] Martin Steinbauer and Dirk Hampicke. Measurement of the Double - directional Mobile Radio Channel, VTC2000, May, 2000.
- [15] Andreas Richter, and Dirk Hampicke. Joint Estimation of DOD, Time _ Delay, and DOA for High _ Resolution Channel Sounding, VTC 2000, May, 2000.
- [16] Rayleigh G G and Paulraj A. Time varying vector channel estimation for adaptive spatial equalization, Proc. IEEE Globecom, 1995. 218~224.
- [17] Petrus P. Novel adaptive array algorithms and their impact on cellular system capacity, Ph. D. dissertation, Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Mar, 1997
- [18] Liberti J C and Rappaport T S. A geometrically based model for lone of sight multipath radio channels, IEEE VTC, Apr. 1996. 844~848.

Application Analysis of Space-Time Channel Models in Smart Antenna System

Zhai Mingyue, Tang Liangrui, Liang Ming

(School of Electrics and Information Engineering, NCEPU (BJ), Beijing 102206)

Abstract: Space-time channel models are very important in evaluation of smart antenna system. In this paper, several space-time channel models that are often used in smart antenna system are presented and the properties of each model are analyzed. At the same time, the situations for each model are discussed. DOA, time delay and Doppler spectrum are discussed specially, while computer simulation is also done. Clarke model is considered as a special one.

Key words: space-time model; smart antenna; model

作者: 翟明岳, 唐良瑞, 梁明
作者单位: 华北电力大学电子与信息工程学院, 北京, 102206
刊名: 现代电力 **ISTIC**
英文刊名: MODERN ELECTRIC POWER
年, 卷(期): 2003, 20(6)
被引用次数: 1次

参考文献(18条)

1. Liberti J C Jr. and Theodore S. Rappaport, Smart antenna for wireless communications IS- 95 and Third Generation CDMA applications, Prentice Hall PTR 1999
2. Rappaport T S Characterization of UHF multipath radio channels in factory building 1989(08)
3. Seidel S Y Path loss, scattering and multipath propagation statistic for European cities for digital cellular and microcellular radiotelephone[外文期刊] 1991(04)
4. 赵建平 阵列天线在移动通信系统中的应用 1999
5. Rappaport T S; Reed J H; Woerner B D Position location using wireless communications on highways of the future[外文期刊] 1996(10)
6. Ertel R B; Cardieri P; Rappaport T S Overview of spatial channel models for antenna array communication systems[外文期刊] 1998(1)
7. Stapleton S P; Carbo X; McKeen T Spatial channel simulator for phased arrays[外文会议] 1994
8. Stapleton S P; Carbo X; McKeen T Tracking and diversity for a mobile communications base station array antenna, Proc 1996
9. Aszetyl D On antenna arrays in mobile communications systems: fast fading and GSM base station receiver algorithms 1996
10. ZETTERBERG P; Ottersten B The spectrum efficiency of a basestation antenna array system for spatially selective transmission[外文会议] 1994
11. Robert J Piechocki and George V Tsoulos 1999
12. ZETTERBERG P; Espensen P L; Mogensen P Propagation, beamsteering and uplink combining algorithms for cellular systems 1996
13. Norklit O and; Anderson J N Mobile Radio Environments and Adaptive Arrays 1994
14. Martin Steinbauer and Dirk Hampicke. Measurement of the Double- directional Mobile Radio Channel, VTC2000 2000
15. Joint Estimation of DOD, Time _ Delay, and DOA for High_Resolution Channel Sounding
16. Rayleigh G G and Paulraj A. Time varying vector channel estimation for adaptive spatial equalization, Proc. IEEE Globecom, 1995. 218~224
17. Petrus P. Novel adaptive array algorithms and their impact on cellular system capacity, Ph. D. dissertation, Virginia Polytechnic Inst. and State Univ 1997
18. Liberti J C and Rappaport T S. A geometrically based model for lone of sight multipath radio channels, IEEE VTC 1996

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训：

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>