

入射角能量分布对均匀圆形天线相关性影响

陈靖峰，周杰

(南京信息工程大学电子与信息工程学院，南京 210044)

摘要：以均匀分布的圆形天线阵列为模型，入射信号分别为均匀、高斯和拉普拉斯能量分布和三种双边带分布时，推导出其空间相关性的精确和近似表达式，分析了在入射信号为双边分布时各种因素对于其空间相关性的影响。仿真分析结果表明，双边带分布时相关性波动幅度和差值取决于中心到达角之间的差值。

关键词：均匀圆形天线；天线相关性；入射角能量分布；双边带分布

Impact of AOA energy distribution on the spatial correlation functions of circular antenna array

CHEN Jing-feng, ZHOU Jie

(College of Electronic & Information Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: This paper derives spatial correlation functions of a uniform circular antenna arrays for three type of angle-arrival (AOA) distributions and their bi-modal distributions. Three different AOA distributions are considered in this paper: a uniform angular distribution, a Gaussian angle distribution, and a Laplacian angle distribution. The generalized spatial correlation functions are investigationed carefully by exact and approximate analyses. The results show that the oscillation of correlation function depends on the difference between the AOA's of the two modes.

Key words: uniform circular array; spatial correlation; AOA energy distribution; bi-modal distribution

0 引言

一切无线通信都是基于电磁波在空间的传播来实现信息传输的。电磁波在自由空间中的传播主要有直射、反射、散射和漫射四种方式，其结果是到达接收机的接收信号与发送信号相比产生了一些变化。无线信道对信号传输的影响主要有传输衰减、多径传播引起的频域选择性衰落、时变性引起的时间选择性衰落以及角度扩展引起的空间选择性衰落等。为了降低这些不利因素对信道的影响，天线阵列技术被广泛应用于无线通信系统中，提高信号质量，从而可以提升系统的覆盖率、容量以及连接质量。其中多输入多输出技术(MIMO)被普遍应用于现在移动通信系统中，MIMO技术可以提高频谱利用率，增加信道容量和单用户传输速率，并降低误码率。

在许多情形下，当研究 MIMO 信道容量时，MIMO 信道矩阵的元素可以简单的建模为独立同分布的(i.i.d)复高斯分布。然而，实际上，由于天线阵列的间距不是足够远以及传播环境中散射不充分，信道衰落不总是独立，而是具有某种相关性，从而导致与理想 i.i.d 情形相比，MIMO 信道容量更低。所以说，在现实 MIMO 信道模型中，相关性的影响不能忽略。对 MIMO 的信道容量研究分析发现，相关系数越小，信道容量越大。所以研究天线之间的相关系数就成为了研究 MIMO 信道容量的关键。本文提出的均匀圆型天线阵列被广泛应用于蜂窝系统以及个人通信服务系统中。在本文中，为了估计信号相

收稿日期：2011-07-15

作者简介：陈靖峰(1986-)，男，硕士研究生，研究方向为无线通信。

关性对系统性能的影响,分别提出了均匀、高斯和拉普拉斯能量分布的信号模型,并引入了三种信号的双边带分布函数。在均匀圆形天线的基础上,推导出了各种分布信号的精确和近似表达式,通过MATLAB对其仿真和数值计算,并分析各种因素对于空间相关性的影响。

1 系统模型

1.1 接收信号矢量

如图1所示,在发送端周围存在许多散射体使得发送信号以不同的角度到达接收端,设入射信号的到达角度为 θ ,信号的中心到达角为 φ_0 。接收端为一个阵元数 $M=8$ 的均匀圆形排列天线,圆形半径为 R , ψ_i 为第*i*个天线阵元与水平方向的相位角,圆形天线端的接收信号矢量可以表示为:

$$\mathbf{v}(\theta) = \begin{pmatrix} e^{-j2\pi\frac{R}{\lambda}\sin(\zeta)\cos(\theta-\psi_1)} \\ e^{-j2\pi\frac{R}{\lambda}\sin(\zeta)\cos(\theta-\psi_2)} \\ \vdots \\ e^{-j2\pi\frac{R}{\lambda}\sin(\zeta)\cos(\theta-\psi_M)} \end{pmatrix}$$

其中, R 为圆型天线阵列的半径, ζ 为仰角, λ 为波长,在此处只考虑 $\zeta=90^\circ$ 的情况。

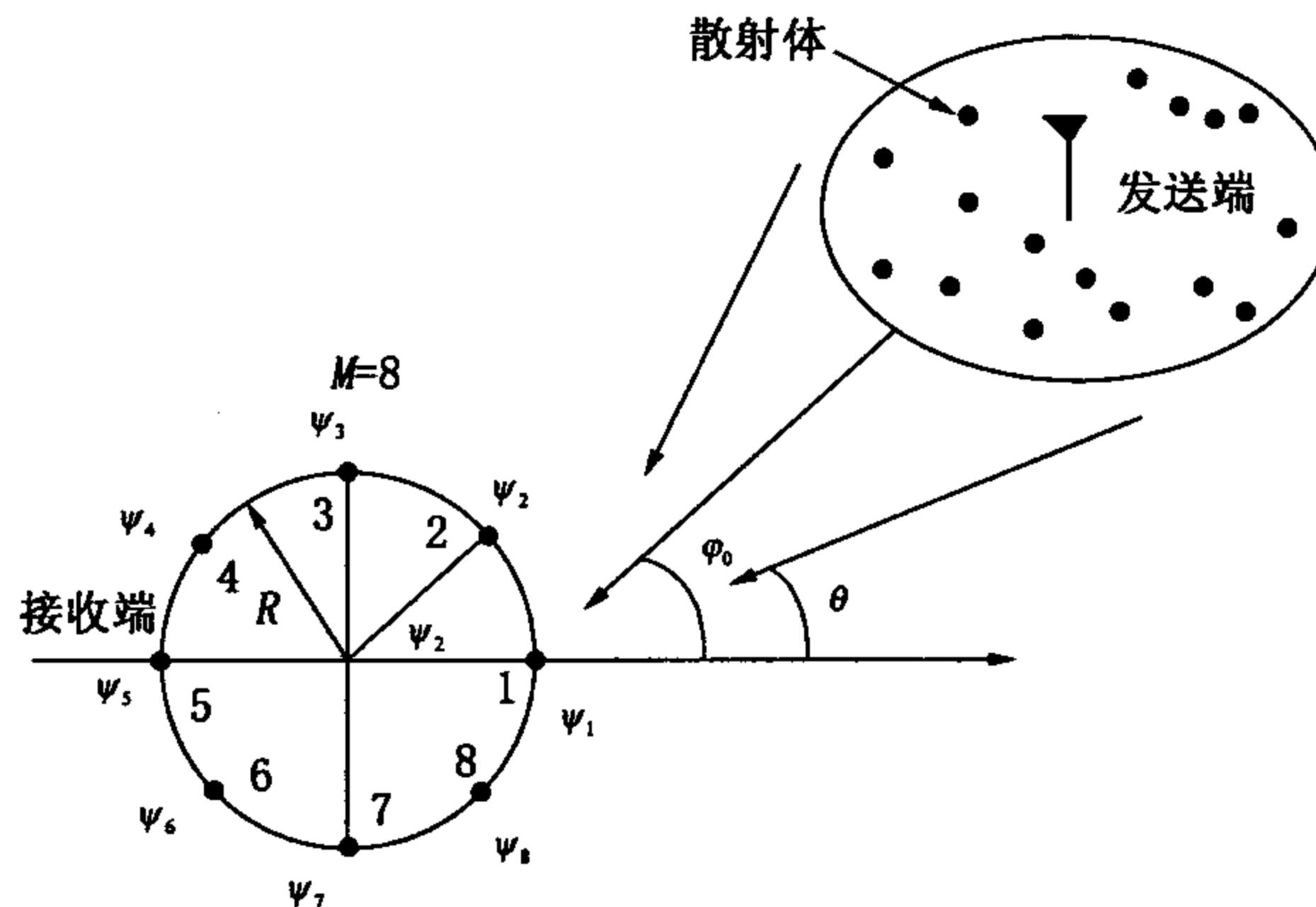


图1 八阵元均匀圆形天线阵列

1.2 角能量分布

本文假设接收到的信号为三种概率密度分布,分别为均匀分布,高斯分布和拉普拉斯分布。均匀分布的概率密度函数为:

$$p(\theta) = \frac{1}{2\Delta}, \theta \in [\varphi_0 - \Delta, \varphi_0 + \Delta] \quad (1)$$

其中, φ_0 为入射信号的中心到达角, 2Δ 为中心到达角的角度范围。

高斯分布也是通常情况下使用的比较普遍的一种分布,其角能量分布的方程可以表示为:

$$p(\theta) = \frac{\kappa}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{-(\theta-\varphi_0)^2}{2\sigma^2}}, \theta \in [-\pi + \varphi_0, \pi + \varphi_0] \quad (2)$$

其中, φ_0 为信号的中心到达角, σ 为角能量分布的

标准差, κ 是标准化因子,有 $\kappa = \frac{1}{erf(\frac{\pi}{\sqrt{2}\sigma})}$, $erf(x) =$

$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ 是误差函数,在扩展角较小时, κ 通常为1。

另外一种分布为拉普拉斯分布,其角能量分布函数为:

$$p(\theta) = Ce^{-a|\varphi_0 - \theta|}, \theta \in [-\pi + \varphi_0, \pi + \varphi_0] \quad (3)$$

式中, C 是误差函数,定义 $C = \frac{a}{2(1 - e^{-a\pi})}$, a 为角度分布的衰减因子,随着 a 的增加,入射角度分布减少。

2 天线相关性

天线阵元 m 和阵元 n 之间的空间相关性可以表示为:

$$\rho_{mn} = E[\mathbf{v}_m(\theta)\mathbf{v}_n(\theta)^*] = \int_{\theta} \mathbf{v}_m(\theta)\mathbf{v}_n(\theta)^* p(\theta) d\theta \quad (4)$$

其中, $\mathbf{v}_m(\theta)$ 为第*m*阵元的接收信号矢量, $p(\theta)$ 为接收信号的角能量分布函数,当入射信号能量分布为均匀分布时,在接收端为如图1所示的圆形天线阵列中,*m*和*n*阵元的相关性可以表示为:

$$\rho_{mn} = \frac{1}{2\Delta} \int_{\varphi_0 - \Delta}^{\varphi_0 + \Delta} e^{-j2\pi\frac{R}{\lambda}(\cos(\theta - \psi_m) - \cos(\theta - \psi_n))} d\theta \quad (5)$$

在此,假设 $Z_1 = 2\pi \frac{R}{\lambda} [\cos(\psi_m) - \cos(\psi_n)]$, $Z_2 = 2\pi \frac{R}{\lambda} [\sin(\psi_m) - \sin(\psi_n)]$, $Z_c = \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}$ 有 $\sin(\gamma) = Z_1/Z_c$, $\cos(\gamma) = Z_2/Z_c$,将其代入公式(5)可以得到:

$$\rho_{mn} = \frac{1}{2\Delta} \int_{\varphi_0 - \Delta}^{\varphi_0 + \Delta} e^{-jZ_c \sin(\gamma + \theta)} d\theta = \frac{1}{2\Delta} \int_{\varphi_0 - \Delta + \gamma}^{\varphi_0 + \Delta + \gamma} e^{-jZ_c \sin(x)} dx \quad (6)$$

其中, $x = \gamma + \theta$,在此公式中

$$e^{-jZ_c \sin(x)} = \cos(Z_c \sin(x)) - j \sin(Z_c \sin(x)) \quad (7)$$

改进的贝塞尔函数如下表示:

$$\begin{aligned} \cos(Z_c \sin(x)) &= J_0(Z_c) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(Z_c) \cos(2kx) \\ \sin(Z_c \sin(x)) &= 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k+1}(Z_c) \sin((2k+1)x) \end{aligned} \quad (8)$$

将贝塞尔函数的式(8)代入式(6)和(7)可以得到入射信号角为均匀分布时,天线间相关性的精确表达式的实部虚部为:

$$\operatorname{Re}[\rho_{mn}] = J_0(Z_c) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(Z_c) \cos(2k(\varphi_0 + \gamma)) \cdot \operatorname{sinc}(2k\Delta) \quad (9)$$

$$\text{Im}[\rho_{mn}] = 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k+1}(Z_c) \cos((2k+1)(\varphi_0 + \gamma)) \cdot \text{sinc}((2k+1)\Delta) \quad (10)$$

当入射角的角度范围 Δ 较小时, 可以得到均匀分布下相关性的近似函数, 假设 $y = x - \varphi_0 - \gamma$, 将其代入式(6)可以得到

$$\rho_{mn} = \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} e^{-jZ_c \sin(y + \varphi_0 + \gamma)} dy = \frac{1}{2\Delta} \int_{-\Delta}^{\Delta} e^{-jZ_c (\sin(y) \cos(\varphi_0 + \gamma) + \cos(y) \sin(\varphi_0 + \gamma))} dy \quad (11)$$

当 Δ 的值较小时, 由三角近似公式 $\sin y \approx y$, $\cos y \approx 1$ 可以得到均匀入射角空间相关性函数为:

$$\rho_{mn} \approx e^{-jZ_c \sin(\varphi_0 + \gamma)} \cdot \text{sinc}[Z_c \Delta \cos(\varphi_0 + \gamma)] \quad (12)$$

当入射信号的能量分布函数为式(2)所示的高斯分布函数时, 同样的将式(2)代入式(4), 得到相关性表达式为:

$$\rho_{mn} = \frac{\kappa}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\pi+\varphi_0}^{\pi+\varphi_0} e^{-(\frac{\theta-\varphi_0}{\sqrt{2}\sigma})^2} e^{-jZ_c \sin(\gamma+\theta)} d\theta \quad (13)$$

可以推导出高斯分布下天线间相关性的精确函数和近似函数。

高斯分布下的天线间相关函数的精确表达式的实部和虚部如下表示:

$$\text{Re}[\rho_{mn}] = \frac{\kappa}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{\pi}{\sqrt{2}\sigma}}^{\frac{\pi}{\sqrt{2}\sigma}} e^{-x^2} [J_0(Z_c) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(Z_c) \cos(2k(\gamma + \sqrt{2}\sigma x + \varphi_0))] dx \quad (14)$$

$$\text{Im}[\rho_{mn}] = \frac{\kappa}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{\pi}{\sqrt{2}\sigma}}^{\frac{\pi}{\sqrt{2}\sigma}} e^{-x^2} [2 \sum_{k=0}^{\infty} J_{2k+1}(Z_c) \sin((2k+1)(\gamma + \sqrt{2}\sigma x + \varphi_0))] dx \quad (15)$$

在入射信号的标准差 σ 较小时, 可以得到相关性的近似表达式, 假设 $x = \frac{\theta - \varphi_0}{\sigma}$, 将其代入式(11)可以得到:

$$\rho_{mn} = \frac{\kappa}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\frac{\pi}{\sigma}}^{\frac{\pi}{\sigma}} e^{-x^2} e^{-jZ_c \sin(\gamma + \varphi_0 + x\sigma)} dx \quad (16)$$

当 σ 较小时, 根据三角近似公式有 $\sin(x\sigma) \approx x\sigma$, $\cos(x\sigma) \approx 1$ 可以得到高斯分布下的天线间相关系数近似表达式为:

$$\rho_{mn} \approx \kappa e^{-jZ_c \sin(\gamma + \varphi_0)} \cdot e^{-\frac{(Z_c \sigma \sin(\gamma + \varphi_0))^2}{2}} \quad (17)$$

当入射信号能量密度为拉普拉斯分布时, 通过将式(3)代入式(4)和改进的贝塞尔函数, 可以推导出其相关性的精确表达式的实部和虚部为:

$$\text{Re}[\rho_{mn}] = J_0(Z_c) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2\alpha^2}{\alpha^2 + 4k^2} J_{2k}(Z_c) \cos[2k(\varphi_0 + \gamma)] \quad (18)$$

$$\text{Im}[\rho_{mn}] = 2 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{a^2(e^{-a\pi} + 1)}{a^2 + (2k+1)^2} \frac{1}{1 - e^{a\pi}} J_{2k+1}(Z_c) \sin[(2k+1)(\varphi_0 + \gamma)] \quad (19)$$

拉普拉斯分布下相关性的近似表达式为:

$$\rho_{mn} \approx C e^{jZ_c \sin(\gamma + \varphi_0)} \frac{a(1 - e^{-a\pi} \cos \beta \pi) + \beta(e^{-a\pi} \sin \beta \pi)}{a^2 + \beta^2} \quad (20)$$

式中, $\beta = Z_c \cos(\gamma - \varphi_0)$ 。

3 双边带角能量分布

入射信号的能量分布是由于信号在空间传播中受到信道中的各种散射体的反射所引起的。所以, 入射信号可能为双边带分布的信号。本节中引入了三种分布的双边带分布形式, 并推导了三种分布的近似公式进行分析。

假设双边带能量分布为拉普拉斯分布, 其分布形式可以等价于两个独立的拉普拉斯分布之和, 分布的表达式为:

$$p(\theta) = \frac{1}{2} (C_1 e^{-a_1 |\varphi_1 - \theta|} + C_2 e^{-a_2 |\varphi_2 - \theta|}) \quad (21)$$

其中, φ_1, φ_2 分别为两个分布的中心到达角, a_1, a_2 分别为衰减因子, 根据之前的工作, 可以推导出双边带分布的相关性近似公式为:

$$\rho_{mn} \approx C_1 e^{jZ_c \sin(\gamma + \varphi_1)} \frac{a_1(1 - e^{-a_1\pi} \cos \beta_1 \pi) + \beta_1(e^{-a_1\pi} \sin \beta_1 \pi)}{a_1^2 + \beta_1^2} + C_2 e^{jZ_c \sin(\gamma + \varphi_2)} \frac{a_2(1 - e^{-a_2\pi} \cos \beta_2 \pi) + \beta_2(e^{-a_2\pi} \sin \beta_2 \pi)}{a_2^2 + \beta_2^2} \quad (22)$$

同样可以推导出双边带均匀分布下的相关性近似公式为:

$$\rho_{mn} \approx e^{-jZ_c \sin(\varphi_1 + \gamma)} \cdot \text{sinc}[Z_c \Delta_1 \cos(\varphi_1 + \gamma)] + e^{-jZ_c \sin(\varphi_2 + \gamma)} \cdot \text{sinc}[Z_c \Delta_2 \cos(\varphi_2 + \gamma)] \quad (23)$$

式中 Δ_1, Δ_2 分别为两个独立分布的中心到达角角度范围。双边带高斯分布下的相关性近似公式为:

$$\rho_{mn} \approx \kappa_1 e^{-jZ_c \sin(\gamma + \varphi_1)} \cdot e^{-\frac{(Z_c \sigma_1 \sin(\gamma + \varphi_1))^2}{2}} + \kappa_2 e^{-jZ_c \sin(\gamma + \varphi_2)} \cdot e^{-\frac{(Z_c \sigma_2 \sin(\gamma + \varphi_2))^2}{2}} \quad (24)$$

式中, σ_1, σ_2 分别为两个分布的标准差。

4 数值计算与分析

本节中以均匀圆形天线为接收端对三种能量分布下的天线阵元间相关性做出了数值计算和画图, 分析和比较了其各种因素对于相关性的影响。

图 2 所示为入射信号均匀分布下阵元 1、2 间天线间相关性的精确计算和近似计算。其中入射角的中心到达角 φ_0 为 0° , 到达角的角度范围 Δ 分别为 $\{5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ\}$, 从图中可以看出, Δ 越小天线间的空间相关性越大, 从直观上可以理解为入射信号的分布范围越窄, 天线间的空间相关性越大。当天

线间的距离逐渐增大时,其空间相关性会逐渐减小,最终趋于无相关性影响。可以看出在 $\Delta < 30^\circ$ 时,近似分析所示曲线基本与精确分析重合,说明在到达角角度范围较小时,近似计算公式可以替代精确计算,从而简化相关性的计算。从图中可以得到在 $\Delta = 30^\circ$ 时, $R \leq 1.5\lambda$ 的第一波瓣中,近似分析与精确分析基本重合,说明当 Δ 的角度逐渐变大时,精确分析所适用的天线半径 R 的范围逐渐减小。

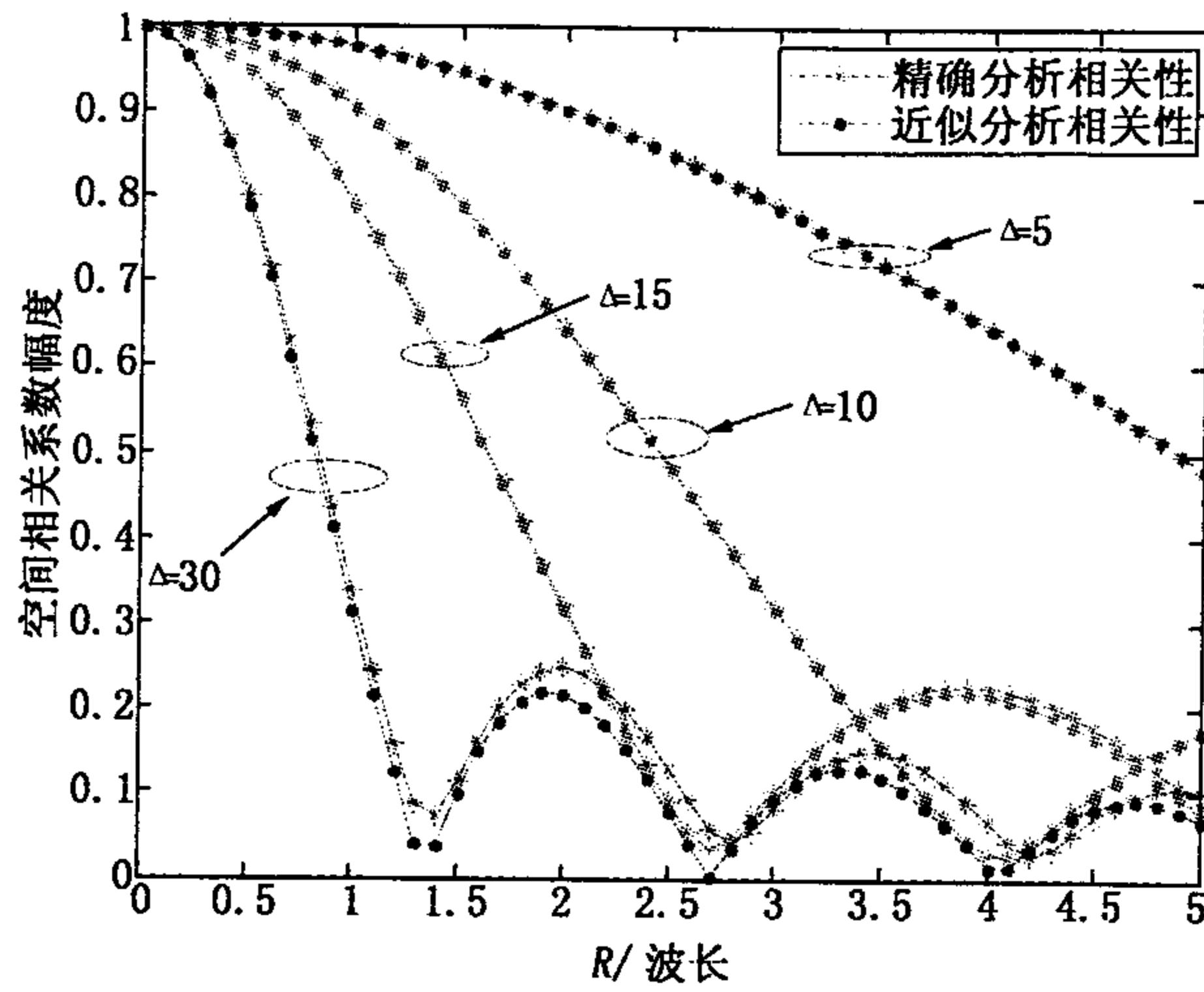


图2 均匀分布下相关性精确分析和近似分析

图3~4所示分别为高斯分布下和拉普拉斯分布下阵元1、2间相关性的近似分析和精确分析图。同均匀分布相同,图中可以看出在入射波分布范围较窄时,相关系数的值较大,同时近似公式对于相关性计算的适用性较好。当分布范围变宽时,近似公式只在相应的半径 R 范围内较为理想。还可以看出,近似公式对于均匀分布和拉普拉斯分布条件下的相关性计算较为理想,对于高斯分布的计算在相同的半径情况下误差较大。

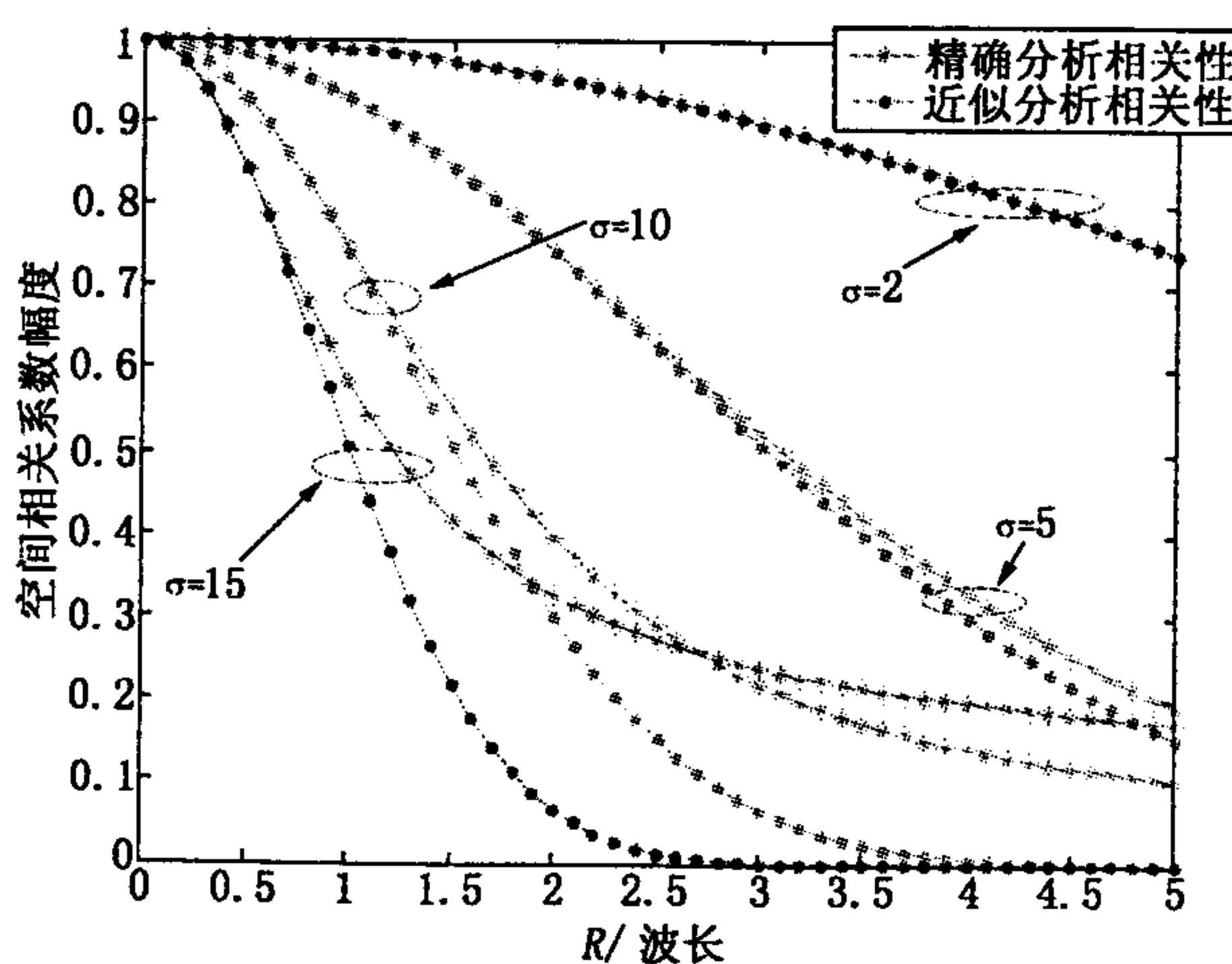


图3 高斯分布下相关性精确分析和近似分析

图5~6所示为当入射信号能量为双边带分布时,天线阵元1、3间相关性的数值计算图。其中图5

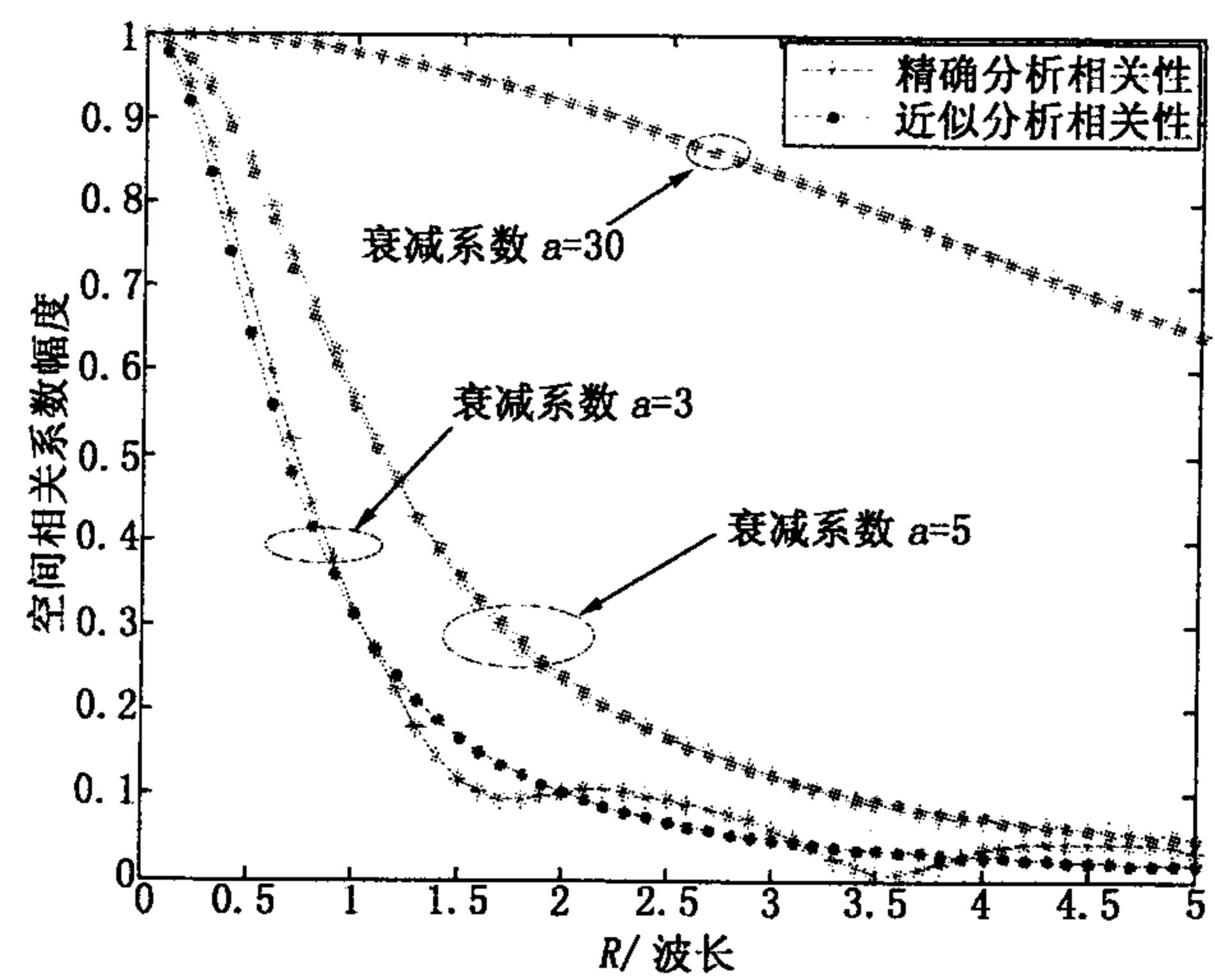


图4 拉普拉斯分布下相关性精确分析和近似分析
中入射信号中心到达角分别为 $\varphi_1 = 30^\circ$, $\varphi_2 = -30^\circ$, 均匀分布的到达角范围为 $\Delta_1 = 5^\circ$, $\Delta_2 = 15^\circ$, 高斯分布的标准差为 $\sigma_1 = 2^\circ$, $\sigma_2 = 5^\circ$ 。拉普拉斯分布的衰减系数为 $a_1 = 2$, $a_2 = 30$ 。图6中各分布函数的参数分别为:中心到达角 $\varphi_1 = 15^\circ$, $\varphi_2 = -15^\circ$, $\sigma = 5^\circ$, $\sigma_2 = 15^\circ$, $\Delta_1 = 10^\circ$, $\Delta_2 = 30^\circ$, $a_1 = 2$, $a_2 = 5$ 。

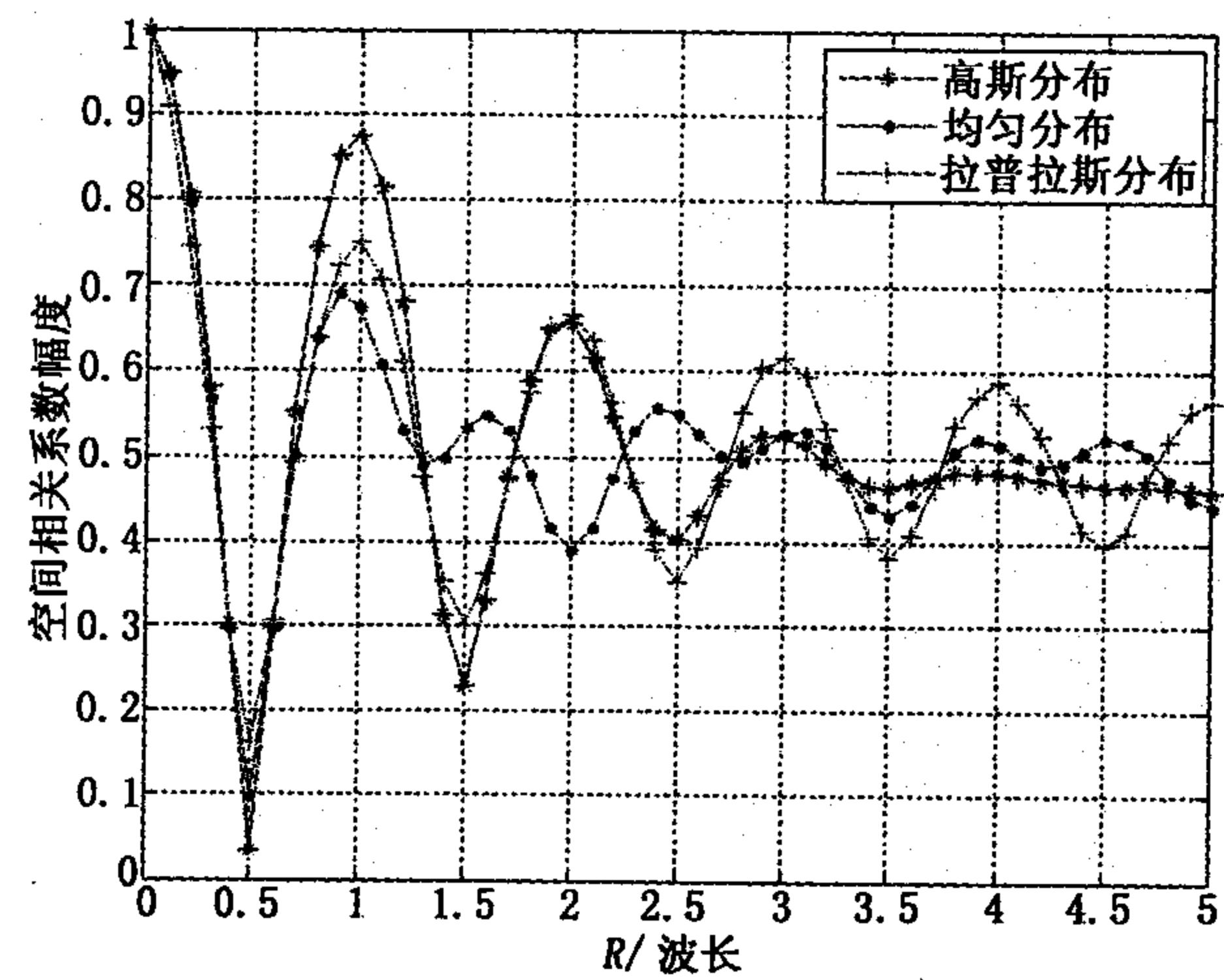


图5 双边带分布相同中心到达角相关性近似分析1

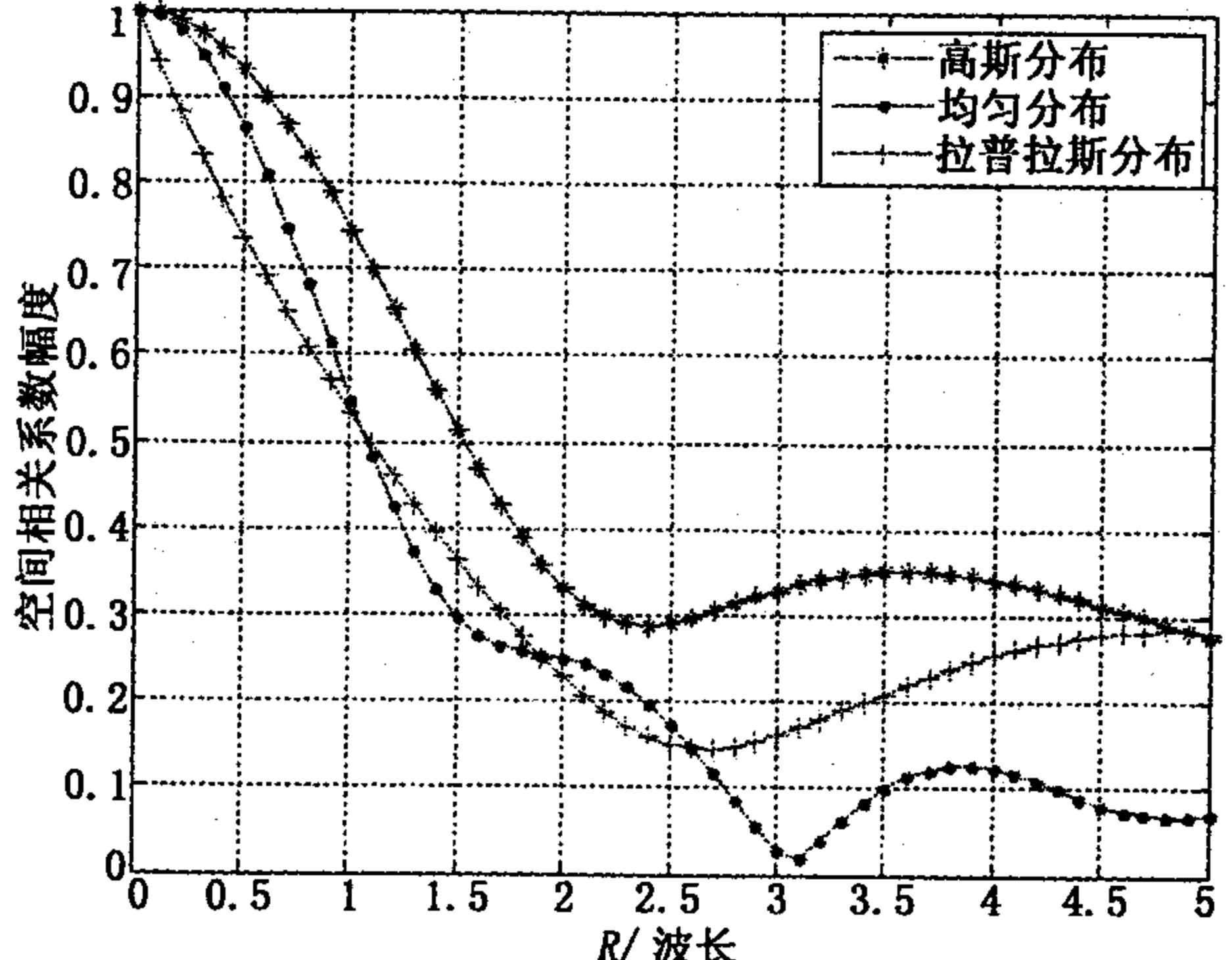


图6 双边带分布不同中心到达角相关性近似分析2
(下转第74页)

境的硬盘转速为 5400rpm。

经过测试,本文提出的高速捕获技术在硬盘速度不同的测试环境下的丢包率如表 2 所示。

表 2 本文技术在硬盘速度不同时的丢包率

速度(Mbps)	硬盘转速 7200rpm	硬盘转速 5400rpm
50	0	0
80	0	0
100	0	0
120	0	0
150	0	0
200	0	0
250	0	0
300	0.03%	0.03%
350	0.07%	0.08%
400	0.98%	0.96%

从表 2 可以看出,本文提出的高速数据捕获技术在硬盘速度不同的测试环境下丢包率相同,因此该技术性能受测试环境的影响很小,具有良好的可移植性。

通过以上测试可以得出结论:与传统数据捕获技术相比,本文提出的高速数据捕获技术能有效工作在更高速度的网络环境中,同时具有良好的可移

(上接第 69 页)

从图中可以看出,双边带分布相关函数的波动性是和中心到达角之间的差值有关的,当两个独立分布的中心到达角差值较大时,其相关性函数的波动幅度也越大,当其差值较小时,相关性曲线相应的就较为平滑。但是当其中心到达角的差值较大时,相关性的包络之间的差值较小,当其中心到达角差值较小时,各个分布之间相关性包络值差异就较为明显。同单边带分布一样,双边带分布相关性的值与到达角的范围有关,到达角范围越大,相同半径上的函数值越小。

5 结束语

本文以均匀圆形天线为接收端,针对均匀、高斯和拉普拉斯三种入射信号的能量分布,推导出在不同入射角分布情况下天线阵元间的相关性公式,并根据三角近似公式推导出其相关性近似公式。通过 Matlab 软件数值分析比较后发现,当入射角范围较小时,近似公式可以替代精确公式从而简化计算,当入射角范围较大时,接收端在一定的半径范围内,近似公式可以替代精确公式。本文还引入了三种分布双边带形式,并推导出其相关性近似公式,通过数值计算比较发现,当双边带分布的中心到达角差值越

植性。该技术可以应用在任何 250Mbps 速度以下的高速网络环境中,在 300Mbps 高速网络环境中可以满足绝大部分应用对丢包率的要求,甚至对某些对丢包率要求不是很高的高速网络环境中,可以达到 400Mbps 的工作速度。

4 结束语

本文提出了一种基于动态内存池和 WinpCap 的高速数据捕获技术,其核心技术是利用动态内存缓存 WinpCap 捕获的数据包,并使用多线程技术实现数据捕获与存储的并行处理。通过验证分析,该技术能可靠的捕获高速传输的数据,同时具有内存开销少,丢包率低,效率高,移植性强等特点,可有效的应用于高速网络环境。

参考文献:

- [1] 李慧萍. 基于 WinpCap 的数据包捕获技术的研究[J]. 网络安全技术与应用, 2010(8).
- [2] 冯宏华. C++ 应用程序性能优化[M]. 北京:电子工业出版社, 2007, 139.
- [3] Postel J. User Datagram Protocol[S]. RFC768. 1980.
- [4] The WinpCap Team. WinPCap Document 4.1.2[EB/OL]. http://www.winpcap.org/docs/docs_412/html/main.html.
- [5] 王明路. 嵌入式系统中池式内存分配方法的分析[J]. 计算机与数字工程, 2008, 36(2).
- [6] 胡文静. 基于 LIBPCAP 的网络流量实时采集与信息萃取[J]. 计算机应用研究, 2006(6).

责任编辑:刘新影

大其相关性曲线的振动幅度越大,但各个分布的相关性差值越小,反之中心到达角差值越小,其相关性曲线振动幅度越小,各个分布的相关性差值越大。

参考文献:

- [1] 罗涛, 乐光新. 多天线无线通信原理及应用[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2005.
- [2] Jakes W C. Microwave Mobile Communications[M]. Wiley, 1974.
- [3] TasilJA, Buehrer R M, Woerner B D. BER Performance of a Uniform Circular Array Versus a Uniform Linear Array in a Mobile Radio Environment[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, May 2004, 3(3).
- [4] Lee W C Y. Effect of correlation between two mobile radio base-station antennas. IEEE Transaction on Communications, W C Y November 1973, COM-21(11): 1214-1223.
- [5] Salz J, Winters J H. Effect of fading correlation on adaptive arrays in digital communications [C]// Proceeding of the International Conference on Communications, May 1993: 1768-1774.
- [6] Zhou J, Isgizawa K, Sasaki S, et al. Generalized spatial correlation equations for antenna arrays in wireless diversity reception: Exact and Approximate Analysis [J]. IEICE Trans. On Communication. Jan. 2004, E87-B(1): 204-210.
- [7] Michael Buehrer R. The Impact of Angular Energy Distribution on Spatial Correlation [C]. Vehicular Technology Conference, 2002. Proceedings. VTC 2002 - Fall. 2002 IEEE 56th. Oct. 2002: 1173-1177.

责任编辑:刘新影

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，一直致力于专注于微波、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>