

文章编号: 1000 - 582X(2002)09 - 0039 - 04

影响 LMDS 系统无线信道特性的几个主要因素*

蔚承英

(重庆大学 通信学院, 重庆 400044)

摘要:对工作于厘米或毫米波段的 LMDS 系统而言,无线信道的特性对系统是否稳定可靠起着关键性的作用。同工作于该波段的卫星通信系统一样,雨衰是影响系统性能的主要因素;相反对移动通信影响较大的多径衰落对实现视距传输、在用户端采用高增益强定向性天线的 LMDS 系统影响并不大。此外,植被和建筑阻挡以及尘暴的影响也不容忽视。笔者就这几方面因素的影响情况逐一讨论,并提出相应的估计模型和改善方法。最后用天线的高度和方向性作为无线信道模型分类。

关键词:雨衰;多径衰落;视距传输

中图分类号: TN92

文献标识码: A

对工作于 Ka(28 - 40 GHz)波段的 LMDS/LMCS(本地多点分布业务)而言,无线信道的可靠性是非常重要的。因而必须对无线信道的特性有一个清楚的认识。很多国家把厘米、毫米波段划分为固定宽带无线接入系统的工作频段,一般都在 28 GHz(美国)、40 GHz(欧洲)附近,但 LMDS 系统的无线信道特性又与工作于该波段的卫星通信系统略有区别。

1 影响无线信道特性的几个主要因素

无线电波在自由空间传播时,其单位面积内的能量会因扩散而减少。这种减少称为自由空间传输损耗。由于用户端采用定向性的天线,所以自由空间传输损耗公式用分贝来表示即为:

$$L_s = 92.45 + 20\lg f + 20\lg d \quad (1)$$

其中 f 是频率以 GHz 为单位, d 为站间距离以公里为单位。在实际通信系统中,由工作频段内不同频率引起的损耗差别可略去不计^[1]。

1.1 雨衰

一般来说,10 GHz 以下的频段,雨的散射衰减并不很严重,通常只有几分贝,而在 10 GHz 以上,雨衰的影响很大。在毫米波段,雨滴的吸收和散射造成衰落,频率越高,吸收越严重,而且使信号去极化,极大地限制了链路长度和频率再用率,较强的降雨甚至可能导致通信完全中断。相比之下,由雾、雪、和空气中的粉尘造成的衰落可以忽略不计。

雨衰的估计是利用一些模型进行的。由于这些模型是在有限时间内从不同测试点实测后推算得到的,因而彼此之间存在一些差异。最为广泛使用的两个模型是 ITU - R 陆地模型和 Crane 模型^[2-3],在估计长期平均衰落概率方面两者的差别很小;然而在短期衰落估计上两个模型都存在不确定性换句话说就是差别很大。这种不确定性用衰落标准差来表征,其值大于 30%,此时再考虑均值估计的精度已没有实际意义,这种不确定性随地域和时间不同而不同。若过低估计雨衰则链路储备不足,使系统通信中断概率超过链路可用要求指标。若过高估计则会增加系统费用。在大多数情况下,Crane 模型的雨衰估计量要比 ITU 模型的高。经过 Yamada 实验证实和改进认为 ITU 模型估计更为精确,同时 ITU 模型计算量很小^[4]。ITU - R P. 838 建议提出了一个关于雨的特定衰落模型。每单位距离造成的雨衰量 γ (dB/km) 由以下公式计算:

$$\gamma = k \cdot R^a \quad (2)$$

其中 R 为雨率,单位是 mm/h, k 、 a 为指数律参数其取值与频率、雨滴大小分布、雨滴温度、和极化等因素有关, k 、 a 值参考 ITU P. 838 建议。若仅出于估计衰落大小的目的,那么假设雨滴为球形已足够了,此假设使 k 、 a 取值与信号极化情况无关。此外,有许多雨滴分布模型用于参数计算。如 Laws and Parsons (L - P)、Marshall and Palmer (M - P)、Gamma、对数正态分布。每个模型必须适用于特定的地理位置和条件;如 Gamma

* 收稿日期: 2002 - 02 - 23

作者简介:蔚承英(1975 -),女,山西兴县人,硕士。主要从事微波站设备的研制、维护。

雨滴分布适用于海拔较高地区而对数正态分布适用于热带地区。为了估计极化信号的传输状况和雨滴对信号去极化的影响,采用非球形雨滴指数数律参数来计算雨衰。对于非球形雨滴,上述所提到的4种分布仍然适用。其雨率在0-150 mm/h雨滴温度为0℃条件下,其雨衰计算公式如下:

$$\gamma = 4.343 \times \int_0^{a_{\max}} \sigma_i(a) N(a) da \quad (3)$$

$\sigma_i(a)$ 为基于前向散射理论的单个雨滴的消光交叉项, a 为雨滴的等容积半径, $N(a)$ 为雨滴大小分布, a_{\max} 为雨滴的最大等容积半径。 $\sigma_i(a)$ 的收敛性与计算精度与波长、雨滴的大小形状、和雨滴的反射指数有。雨对垂直极化波的衰落小于对水平极化波的衰落。Gamma雨滴大小分布为:

$$N(a) = N_0 a^3 \exp(-\Lambda a) \quad (4)$$

其中 $N_0 = 1.42 \times 10^{10} \text{ cm}^{-4} / \text{cm}^3$ $\Lambda = 1.3R^{-0.13} \times 10^2 \text{ cm}^{-1}$

对于对数正态分布:

$$N(D) = \frac{N_0}{\sqrt{2\pi\sigma D}} \exp\left[-\frac{(\ln D - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5)$$

D 为雨滴的直径以毫米为单位, $N_0 = 108R^{0.363} \text{ m}^{-3}$,
 $\mu = -0.195 + 0.199 \ln R$, $\sigma^2 = 0.137 - 0.013 \ln R$ 。

LMDS系统采用动态自适应发信功率控制技术,应用此技术不但可补偿雨带来的衰落并可减少小区间的相互干扰。此外采用纠错性能较好的信道编码也可提高链路质量。

1.2 多径衰落

当无线电波遇到山、建筑、车辆以及其它障碍物会造成反射,在收发天线间形成多条路径,导致多径衰落。由于LMDS系统中用户端使用了高增益的强定向性天线在收发天线间实现了视距传输;因此多径衰落对固定宽带无线接入系统的影响要比移动通信系统小。然而,由靠近视距传播路径的物体所引起的反射、折射、衍射造成的多径还是会起一定程度的码间干扰,它限制了数据传输速率的进一步提高。此多径分量随环境改变而改变。

多径信道的测试原理基于相关卷积定理^[5]。对29.5 GHz的BPSK信号用以40 Mbps速率产生的63 bit长的伪随机序列进行扩频调制然后发送;再接收端使用正交(I和Q)接收机。解调后的正交信号用100 M的抽样速率进行抽样,合成接收信号的复包络与发送信号做互相关,最后估算无线信道的复冲击响应。

为了简单起见,用确定的包含参变量的多径信道冲击响应模型来描述信道特性,形式如下:

$$h(t) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n \delta(t - \tau_n) \exp(-j\omega_c \tau_n) \quad (6)$$

其中 $h(t)$ 为信道的复冲击响应, N 为最大抽头数, n 为下标, a_n 为抽头增益, τ_n 为抽头延时, ω_c 为载波频率,上式代表了传播路径不超过3的多径信道模型。在实际系统中至少在用户端使用强定向性天线,基站和用户间实现视距传输可以限制最大时延扩展值。接收端使用自适应均衡器可补偿信道的幅度和延时特性,消除码间干扰的影响。

1.3 植被、建筑地形影响

在评估毫米波段的信号传输影响中,植被衰减是最难精确定量的。树木类型和茂密程度的差异导致衰落值有很大差别。计算的公式有:

$$a(\text{dB/m}) = 1.102 + 1.48 \lg f \quad (7)$$

$$a(\text{dB/m}) = 1.33 f^{0.284} d^{-0.412} \quad (8)$$

上述两个公式虽然形式不同但计算结果并无多大差别。一般来说,树木会导致信号的严重衰落约为每米3-4 dB,经实验表明对20 GHz附近的信号树木基本上不传导,因此设计一个有足够链路储备的系统来克服植被衰落是不切合实际的。当风导致树叶移动时,树木导致的衰落在一定范围内连续变化。比较茂密的树导致的衰落变化不大;绿叶产生的衰落比秋天的树叶产生的衰落变化少,常绿林导致慢衰落而落叶林导致快衰落。树木导致的衰落深度小于车辆移动造成的衰落深度。

建筑物阻挡可造成无线电波绕射,对此衰耗可用绕射的统一几何理论和物理光学来分析。当发射天线足够高由建筑物造成的衰落值大致与自由空间损耗值相近,因而建筑物的影响可忽略。

1.4 大气和沙、尘暴影响

大气中的氧分子具有磁偶极子,水蒸汽分子具有电偶极子,它们都能从电磁波中吸收能量,产生吸收衰减;其值随压力、温度、湿度的变化而缓慢变化。在28 GHz附近,水蒸汽、氧气的吸收能力较弱。在接近地球表面的大气层折射指数梯度的变化会导致信号退耦,若天线波束太窄此时链路丢失;若天线波束太宽又会发生多径。但与其它因素相比大气的吸收衰减可忽略不计。

沙暴和尘暴是两种不同的自然现象。通常所说的发生在干旱地区的沙暴实际上是尘暴。因为这些地区的地表是沉积而成,会形成巨大的尘云随空气上升到一公里以上并遮住太阳光。而沙暴,除了最开始在其它时候很少上到2 m以上;此时空气依旧,并不遮挡太阳,只是到处象沙的海洋。因此对LMDS系统影响较

大的为尘暴。尘粒大小分布概率为:

$$p(r) = kr^{-p} \quad (9)$$

其中 r 为微粒半径, p 为指数, k 的选择如下:

$$k \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} r^{-p} dr = 1 \quad (10)$$

经计算,由尘暴造成毫米波段信号的衰落很小,约为 0.1 dB。

1.5 总的传输损耗

传输损耗 L_p 能表示为:

$$L_p = L_{fs} + L_R + L_{at} + L_0 + L_m \quad (11)$$

L_{fs} 为自由空间损耗, L_R 为雨衰, L_{at} 为大气衰减, L_0 为由地形,建筑等障碍物引起的衰减, L_m 为由于多径如传播环境中大气折射、反射和意外干扰源来的干扰而引起的损耗或衰落。

2 信道模型分类

在研究 LMDS 传输特性中天线的高度和方向性起着非常重要的作用。选用适当高度的天线能在基站和远端站之间实现视距传输。天线的定向性设定了接收信号的方向限制了传输路径的数目。合理的使用定向天线会减少多径影响如衰落和时延以及从其它意外干扰源来的干扰。无线信道的结构和特性依赖于天线的高度和方向。因此,用天线的高度和方向性对 LMDS 系统的统计信道模型分类^[6]。

如果收发天线任有一方或两方同时低于周围障碍物,那么无法实现视距传输,接收信号中无直射波分量。假设此时接收端或收发两端使用全向天线,接收机处于阴影区,接收信号包括大量的散射、反射和衍射分量,接收信号的幅度 R 服从瑞利分布其概率密度函数为:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (12)$$

其中 $r \geq 0$, σ^2 为方差。接收信号的相位在 0 到 2π 间服从均匀分布。

如果收发天线高于接收机和发射机之间的建筑物、树木和其它障碍物,且在无线链路两端至少一端使用全向天线的情况下,接收信号中主要包括恒定的直射波分量也就是视距传输分量,再加上瑞利衰落分量而构成整个接收信号。此时的无线信道服从莱斯分布,其概率密度函数为:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + s^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{rs}{\sigma^2}\right) \quad (13)$$

其中 $r \geq 0$, s^2 代表功率中的直射波分量, $I_0(\cdot)$ 为第一类零阶修正贝塞尔函数。值得注意的是 $s = 0$ 时莱斯

分布变成瑞利分布。

为了降低干扰电平减少其它多径传播路径的影响,建议在 LMDS 系统中使用高增益的定向天线。若存在视距传输路径,加上有限数目的多径分量这时无线信道服从对数正态分布,其概率密度函数为:

$$p(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma r} \exp\left(-\frac{\ln^2[r/\bar{r}]}{2\sigma^2}\right) \quad (14)$$

其中 $\ln \bar{r}$ 为随机变量 $\ln r$ 的均值, $\ln r$ 代表总接收信号的幅度,它服从高斯分布。 σ^2 为 $\ln r$ 的方差。

Nakagami-m 分布常用于无线信道建模。通过选用适当的参数 m 它可用于 LMDS 系统。例如,当 $m = 1$ 时该分布变为瑞利分布。此分布不但适用于接收信号中含大量多径分量的情况,也适用于有限多径分量的情况。此外,它用于描述无需使用全向天线的无线信道特性。其概率密度函数为:

$$p(r) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m r^{2m-1} \exp\left(-\frac{mr^2}{\Omega}\right) \quad (15)$$

其中 $\Omega = E(R^2)$ 为随机变量 R 的二阶距, $E(\cdot)$ 是数学期望运算, $\Gamma(m)$ 为 gamma 函数, $m = \frac{\Omega^2}{E[(R^2 - \Omega)^2]} \geq \frac{1}{2}$ 。

对包括视距传播路径和非视距传播路径的环境,对数正态分布和瑞利分布都能用于描述 LMDS 线信道。Nakagami-m 分布或者它的修正形式也期望用于表征 LMDS 信道。通过研究表明,由于使用高增益天线限制了传播路径的数目,莱斯分布不适于表征 LMDS 无线信道。

参考文献:

- [1] 姚彦,梅顺良,高葆新. 数字微波中继通讯工程[M]. 北京:人民邮电出版社,1990.187-207.
- [2] ZHANG WEI, NADER MOAYERI. Power-law parameters of rain specific attenuation, [EB/OL] www. antd. nist. gov/wctg/bwa/papers/80216cc-99_24. pdf, 1999.
- [3] ZHANG WEI. Recommendation: Use of Various Raindrop Size Distributions for Different Geographical Locations in Calculating the Rain Specific Attenuation, [EB/OL], www. antd. nist. gov/wctg/bwa/papers/80216cc-99_41. pdf, 2000.02.29.
- [4] ZHANG WEI. Comparison of Propagation Models, [EB/OL], www. wirelessman. org/tg2. orig/contrib/80216cc-99_13. pdf, 1999.08.31.
- [5] DAVID FALCONER. Multipath Measurements and Modelling for Fixed Broadband Wirelss Systema in a Residential Environment, [EB/OL], http://grouper. ieee. org/groups/802/16/tg1/phy/contrib/802161pc-00_01. pdf, 1999.12.20.

- [6] ZHENG WEI. Classification of Statistical Channel Models for Local Multipoint Distribution Service Using Antenna Height and

Directivity [EB/OL], [http://www. antd. nist. gov/wctg/bwa/papers/802161pc - 00_ 07. pdf](http://www.antd.nist.gov/wctg/bwa/papers/802161pc-00_07.pdf), 2000.01.05.

Impact of Main Factor on Radio Channel of LMDS System

WEI Cheng - ying

(College of Communication, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Characteristics of radio channel play a key role in stabilization and reliability of LMCS/LMDS system at centimeter and millimeter. Rain specific attenuation has been recognized as a principal cause for impact system performance in LMDS and satellite communications systems operating in the same frequency band. In contrast to mobile communication system, multipath is not a typically problem for LMDS system, because directional antennas are used and the antennas are sufficiently high providing a line of sight propagation path between the transmitter and receiver. Moreover, the effects of buildings, foliage, and dust storms shouldn't be ignored. The impact of these factors on signal propagation and propose corresponding models is discussed. At the last, antenna height and directivity are used in the classification of statistical channel models for LMDS.

Key words: Rain specific attenuation; Multipath attenuation; line of sight

(责任编辑 吕赛英)

~~~~~  
(上接第 38 页)

## Influence of MUD on the System Capability of CDMA

*ZENG Xiao - ping, ZHONG Yuan - chang, ZHOU Ke - li, ZENG Hao*

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** In CDMA communication system, the relativities between users result in Multiple Access Interference (MAI). With the increase of users, MAI becomes the main jam of broadband CDMA communication system. Multi - User Detection (MUD) is the most important technology of anti - jamming in the broadband CDMA communication system, which can eliminates MAI effectively by using the information of all user signals to detection single. This paper analyze the expression of system capability without MUD and with MUD, and puts forward the way to increase system capability by using MUD. Then the influence of MUD on CDMA system capability is discussed by MATLAB emulation. Basing analysis and emulation, the conclusion is got: the higher the MUD efficiency, the better the improvement of CDMA system capability; under the same MUD efficiency, the lower data rate, the smaller inter - cell interference, the lower the ratio of bit energy to power spectrum, the better the improvement of CDMA system capability.

**Key words:** code division multiple access; multiple access interference; multi - user Detection; system capability

(责任编辑 吕赛英)