

无线光通信光功率衰减模型的构建对策研究

刘 斌

(中国船舶重工集团公司第七二二研究所 湖北 武汉 430079)

摘要:当前基于平面波构建的光功率衰减模型是各领域普遍采用的方式。然而此种方式忽略了激光是高斯光束的特质,因此在此基础上构建的模型在实际工作中造成了一定的误差,为此本文根据光高斯光束的空间分布,构建了其几何衰减模型,并与传统的平面波进行了对比分析。

关键词:无线光通信;光功率衰减模型;构建对策

中图分类号:TN929.1 文献标识码:A 文章编号:1673-1131(2013)01-0011-01

无线光通信剔除了传统的频率申请步骤,传输速率高,同时具备抗干扰能力强和保密性能好等诸多优点,在通信领域已逐渐成为研究热点。然而,无线光通信要实现良好的传输能力,却也受到一些因素的限制,最大的莫过于大气环境对其的影响,进而导致光功率接收衰减,因此必须对其衰减模型的构建采取必要的优化措施。

1 无线光通信光功率衰减模型

无线光通信亦称自由空间光通信,简称 FSO。无线光通信光功率衰减即指 FSO 系统接收光功率的衰减,其包含两部分,大气衰减和几何衰减,人为可控的即为几何衰减。在传统对几何衰减的研究中,大都在平面波的基础上构建衰减模型进而进行分析。但实际上平面波的均匀分布并不符合激光器发射的激光分布,它更符合高斯光束的分布,因此在高斯光束分布下构建几何衰减模型更符合实际,即激光器发射的激光在垂直于传输路径的平面内光强服从高斯分布,被称为高斯光束。因此,研究高斯光束下的几何衰减模型更能切合实际情况。

2 高斯光束的几何衰减模型构建

2.1 高斯光束分布

鉴于高斯光束空间分布的特点,依照基膜高速光束最常见的高斯光束形式,可得光强服从高斯分布的公式: $I(r, z) = I_0 \cdot \frac{W_0^2}{W^2(z)} \cdot \exp[-2 \frac{r^2}{W^2(z)}]$ 其中 r 为 Z 点处垂直于传输路径的平面内任一点到点的距离, I_0 为 $z=0$ 处的峰值功率, $W(z)$ 为 Z 点处的光斑半径。一般,用发散角来表示高斯光束的发散度,即当 z 时,高斯光束的发散角为双曲线两条渐近线间的夹角,即 $\theta \approx \frac{2\lambda}{\pi W_0}$ 其中 θ 和 W_0 为高斯光束的固定参数。

2.2 高斯光束的几何衰减模型

传统的 FSO 通信性能分析普遍采用的是 $L_{geo} = (\frac{d_R}{d_T + \theta \cdot z})^2$, 其中 L_{geo} 是发射接收机引起的几何衰减,即几何扩展损耗, d_R 和 d_T 分别是接收和发射天线孔径直径, θ 为发射端光束发散角。

为方便对高斯光束几何衰减模型的研究,我们可将光束发射端看成一个整体,因为激光器与光学天线的间距与传输距离相比,可以忽略不计,所以将 θ 和 W_0 置于光学天线处,即可得:

$$L_{geo} = \frac{P_R}{P_T} = \frac{\int_0^{d_T} I(z, r) \cdot 2\pi r dr}{P_T} = \frac{\pi I_0 W_0^2}{P_T} \cdot [1 - \exp(-\frac{d_T^2}{2W^2(z)})]$$

可见只要根据此公式求出发射端的总功率,即可得出高速光束的几何衰减公式。根据发射功率的相应公式,则可推算出在将发射端看成一个整体的情况下,发生光功率即为发射端光学天线的发出功率,计算公式为:

$$P_T = \int_0^{d_T} I(r, 0) \cdot 2\pi r dr = \frac{\pi I_0 W_0^2}{2} \cdot [1 - \exp(-\frac{d_T^2}{2W_0^2})]$$
 以及

$$L_{geo} = \frac{P_R}{P_T} = \frac{1 - \exp(-\frac{d_T^2}{2W^2(z)})}{1 - \exp(-\frac{d_T^2}{2W_0^2})}$$

实验证明,得出的两种 FSO 光功率衰减模型具有普遍适用性,即当 θ 为 2mrad, z 为 500 毫米时,即 $W(z)=500$ mm,两者误差在 2.25% 以下,而随着发散角和传输距离的不断加大, $W(z)$ 亦会随之增大。

2.3 几何衰减模型对无线通信性能的作用

几何衰减模型的构建除了可有效表达无线通信性能外,还对其具有一定的误导作用,即通过几何衰减模型对无线光通信性能进行分析,往往会低估系统性能。即用 LM(链路余量)表示无线光通信系统性能,得出公式 $LM=10\log \frac{P_R}{S}$ 。其中, S 为接收机的灵敏度,即接收机感应到的最小光功率。由此可见,当 $LM < 0$,接收端功率 $< S$ 时,探测器便无法追踪和探测到发射信号,这时的通信距离亦为最大可通信距离。而事实上,此时有信号,应为“1”,而因为探测不到则会视其为“0”,容易导致错误发生,进而影响系统性能。

2.4 FSO 光功率衰减模型构建建议

从上述分析中可以看出,无线光通信发射激光为高斯光束,与传统的平面波衰减模型对比可知,在计算发射功率时,积分上限的选取值存在差异,高斯光束的积分上限选取应取孔径半径下的功率衰减模型,其结果与无限大和孔径半径下的模型结果吻合,即在无线光通信中,当 θ 处于 3mrad 量级时,应选取无限大积分限制进行分析。此外,在不考虑湍流的情况下,将该模型孔径内作为均匀分布得到的模型不会引起误差,即发射功率积分上限取 将接收的孔径作为均匀分布近似下的模型。而平面波模型则会低估 FSO 系统性能,计算得知两者的相对误差在 12—13% 之间。

3 结语

本次通过对高斯光束和传统平面波两者条件下构建的无线光通信光功率衰减模型的分析,根据高斯光束推演出的 FSO 光功率衰减模型更符合实际,适应性更强,对系统的误差小,不会低估系统性能,具有一定的研究价值和实际意义。

参考文献:

[1] 刘敏,刘锡国,牟京燕,吴晓军.无线光通信光功率衰减模型分析[J].红外与激光工程,2012,41(8):2136-2140