

14

红外无线信道特性的评价方法

徐海峰 李骄阳 惠晓实 刘贤德
(华中理工大学光电子系,湖北,武汉,430074)

TN929.1

摘要 基于评价室内红外无线通信信道的目的,采用改进的朗伯定律描述室内表面的漫射特性,分析了信道中直射及漫射分量的大小,定义了评价红外无线信道的瞬态响应及时延的表达方法,并针对几个实用信道进行了模拟,结果表明,光接收机的FOV及位置的变化对信道特性的影响较大.通过信道特性的分析比较,对构成高健壮性的室内光无线通信信道有积极意义.

关键词 红外无线通信,评价方法,光无线信道.

通信信道

引言

红外无线通信的研究涵盖自由空间激光通信和用于电子设备无线联系的室内光无线通信.对于室内红外无线通信,非方向性的漫射信道是研究的热点,而方向性的直射(LOS)信道特性研究也有报道^[1~3]. Gfeller^[1]首次系统的对室内红外无线通信问题进行了研究,给出了基于一次漫射与直射的信道模型. Barry^[3]给出了信道的瞬态响应的多径模型. Kahn^[4]等人加入了调制及数字码元间干扰因素,对信道的建模与系统性能的模拟作了较深入的研究. Hashemi^[5]在进行光学无线局域网的分析时,引入了无线电信道的分析方法,给出了含多径信号的幅度与相位的信道基带模型.

光无线通信信道中信号光功率的瞬态分布是光无线通信链路的重要参数.漫射作用对无线光信道的频率响应有限制,据 Barry^[3]分析只有十几兆的可用带宽;Gfeller^[1]的分析表明,漫射系统的带宽距离积仅有 56MHz·m.针对室内光无线通信应用,环境辐射对通信的影响不可忽视,但其影响常可看作是信号的直流分量.在无线通信中,可用接收机对窄发射脉冲的瞬态时间响应来比较信道的好坏^[6],即根据接收信号波形的形状可以得出信道对接收信号辐射传输的影响.

本文探讨了室内光无线通信信道的评价方法.采用朗伯定律描述室内表面的漫反射,分析了直射分量和漫射分量混合作用的光无线信道特性的数学模型.通过改变参数模拟了几种室内光无线信道的特性,并进行了讨论.

1 室内红外无线信道模型

室内红外无线信道泛指辐射发射器与光接收机间的空间.在方向性的信道中,光发射机与光接收机的指向范围均有限制;而对非方向性的信道,光接收机的接收范围无限制.

1.1 红外辐射发射器

在以 LED 作为辐射器件时,可用改进的朗伯定理来表示 LED 的辐射分布:

稿件收到日期 1998-06-01,修改稿收到日期 1998-10-23

$$dP_T = P_T P(a) \cos a d\Omega, \quad (1)$$

式(1)中:

$$P(a) = (n + 1) / 2\pi \cdot \cos^{n-1} a. \quad (2)$$

在式(1)和式(2)中, P_T 为 LED 的辐射功率, dP_T 为出射到立体角 $d\Omega$ 的辐射功率, n 为描述辐射的形状因子, a 为辐射出射方向相对于器件法线的偏角.

1.2 漫反射作用

红外无线室内信道中的反射及漫射辐射主要来自房间中固定与移动物体的反射作用. 根据 Gfeller^[1] 的测量结果, 室内用材料对近红外辐射的反射是漫反射, 对于镜面的情形, 其入射光线和出射光线的方向遵循反射定律; 而当反射体具有漫射特性时, 可采用朗伯余弦定律来描述其漫射辐射的分布. 本文仅分析信道内物体表面只有漫散射的情况, 而且入射辐射和出射辐射的方向假定为遵循反射定律, 并利用光线追踪的方法进行漫射光辐射分布的分析与计算. 由于漫射效应的存在, 光无线室内信道存在多径效应, 我们把辐射器发出辐射的漫射看作是一阶漫射, 再经过一次漫射作用后的漫射辐射作为二阶漫射, 计算中除了考虑可能的 LOS 分量外, 仅计入一阶与二阶漫射分量.

1.3 室内红外信道特性分析

在光接收机的视场内, 存在信号辐射的 LOS 分量, 漫射分量及背景辐射分量, 可用信道中红外辐射发射器的辐射分布及光接收器接收的光辐射大小来描述信道中辐射的传输特性. 根据前面的分析可知, 信道的瞬态响应为:

$$P_D(t) = P_{LOS} + P_{DIFF} + P_B, \quad (3)$$

式(3)中 t 是测量时间, P_D 为探测器总的入射辐射; P_{LOS} 为 LOS 分量; $P_{DIFF} = \sum_{i=1}^k P_{DIFF,i}(t)$ 是各次漫射的和, 其中 i 是漫反射次数; P_B 为总的背景辐射量.

1.3.1 LOS 分量的分析

LOS 分量为光发射机 T 直接到达接收机 R 的辐射分量. 由文献[1]可知, LOS 分量为:

$$P_{LOS} = P_T P(a) \frac{A_d H^2}{R_{TR}^2} \delta(t - R_{TR}/c), \quad (4)$$

式(4)中 H 为 T 与 R 的垂直距离, R_{TR} 为 T 与 R 的直达距离, A_d 为探测器的光敏面的面积, 用 δ 函数表达瞬态作用过程.

1.3.2 漫射分量的分析

假定辐射器 T 安装在房顶正中, 其法线方向朝下, 接收机 R 法线方向朝上, 此时信道中漫射辐射的传输过程如图 1 所示. 令房间墙面 D 的漫反射率为 ρ_1 , 光接收机的半视场角为 FOV , 在墙面上取小面源 dA_1 , 它与 T 和 R 的距离分别为 R_1, R_2 , 则 dA_1 相对于 T 的立体角

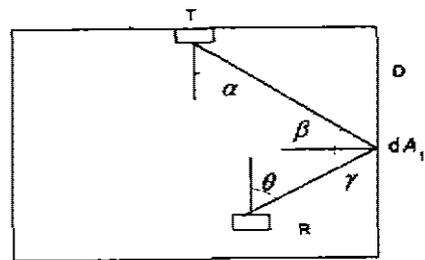


图 1 漫射分量示意图

Fig. 1 The configuration for diffuse parts

元为:

$$d\Omega = \frac{dA_1 \cos \beta}{R_1^2}, \quad (5)$$

把小面源看作是朗伯体, 则 T 在 D 处经漫射形成的等效辐射亮度为:

$$L = \frac{\rho_1 dP_T}{\pi dA_1}, \quad (6)$$

由 dA_1 入射到探测器上的辐射功率为:

$$dP_R = L d\Omega_R \cos \gamma \text{rect}\left(\frac{\xi}{FOV}\right) dA_2, \quad (7)$$

其中: $\text{rect}\left(\frac{\xi}{FOV}\right) = \begin{cases} 1, & \xi \leq FOV \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$, 因 $R_2^2 \gg A_d$, 故有: $d\Omega_R = \frac{A_d \cos \xi}{R_2^2}$, 把上述各式代入(5)并表达成与时间有关的瞬态形式, 则有:

$$dP_R(t) = \rho_1 P_T P(a) \frac{A_d}{\pi R_1^2 R_2^2} \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma \cos \xi \text{rect}\left(\frac{\xi}{FOV}\right) \delta\left(t - \frac{R_1 + R_2}{c}\right) dA_2, \quad (8)$$

对各墙面面积的积分求和可得一次漫射总的作用大小, 即:

$$P_{DIFF,1}(t) = \sum dP_R(t), \quad (9)$$

同理, 可得二次漫射的作用为:

$$P_{DIFF,2}(t) = P_T P(a) \int_{A_1} \varphi(R_1) dA_1 \int_{A_2} \varphi(R_2) \varphi(R_3) d\Omega_R \delta\left(t - \frac{R_1 + R_2 + R_3}{c}\right) dA_2, \quad (10)$$

式(10)中 $\varphi(R_1)$, $\varphi(R_2)$ 为依次的两反射面 A_1 和 A_2 的漫射因子, $\varphi(R_3)$ 为探测器接收因子, 分别为: $\varphi(R_1) = \frac{\rho_1 \cos \beta \cos \alpha}{\pi R_1^2}$, $\varphi(R_2) = \frac{\rho_2 \cos \delta \cos \gamma}{\pi R_2^2}$, $\varphi(R_3) = A_d \frac{\cos \theta \cos \xi}{R_3^2}$, ρ_2 为第二个漫射面的漫反射系数, δ, θ, ξ 为第二个漫射面上的漫反射辐射的入射角和反射角及探测器上入射辐射的入射角, R_3 为接收机与第二个漫射面的漫射点之间的距离.

1.3.3 瞬态特性分析

本文用信道的瞬态冲击响应及信道的时延参数来表征信道特性. 信道的瞬态冲击响应表达为:

$$h(t) = \frac{P_D(t)}{P_T}, \quad (11)$$

用信道的均方根延时扩散 D 来表示这种扩散的大小, 表达式为:

$$D = \left[\frac{\int (t - \mu)^2 h^2(t) dt}{\int h^2(t) dt} \right]^{1/2}, \quad (12)$$

式(12)中平均时延 μ 为:

$$\mu = \frac{\int \epsilon h^2(\tau) d\tau}{\int h^2(\tau) d\tau}$$

2 计算与分析

以一个假定空房间为例,设定接收器及发射器的位置、方位及墙面的漫反射系数,利用上述分析可对直射分量和漫射分量进行计算,并分析信道的瞬态特性.我们计算了 LOS 情况下发射器的位置固定而接收器的位置变化的情形.其中令光发射器的坐标为(0,0,0),光接收器的坐标为(x,0,2m).接收信号的分贝数与发射器及接收器的位置、方位角有关.图 2 表示了发射器的法线方向垂直向下时,接收器的法线方向变化 A 时信道中接收信号分贝数的变化情形.系统的发射器与接收器的发射与接收方向相一致时,接收机的响应最大.

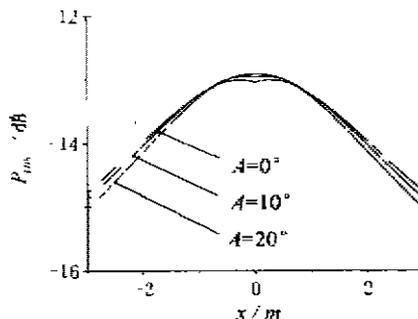


图 2 接收器法线变化时的信道响应
Fig. 2 The channel responses with different directions of receiver

对于 LOS 情况下的信道,有时是直射分量和漫射分量共存.我们考虑图 1 所表示的情况,当 T 和 R 水平距离变化时信道的瞬态响应各不相同,模拟结果如图 3 所示.从图 3 中可以看出,接收器的位置变化时信道中瞬态响应的波形变化不大,但引起的接收信号的时域展宽变化则较大,从 10ns 变到 20ns. FOV 变化时信道的瞬态响应也不相同,图 4 表示了 FOV 变化时模拟的信道瞬态响应结果.在图 3 和图 4 中我们还计入了信道中 LOS 分量的时间位置及脉冲响应的大小.从图 3 中还可见,随着光发射机与接收机间距离的增大,LOS 分量的时延增加了,而 LOS 分量的脉冲响应幅度则不断减小.

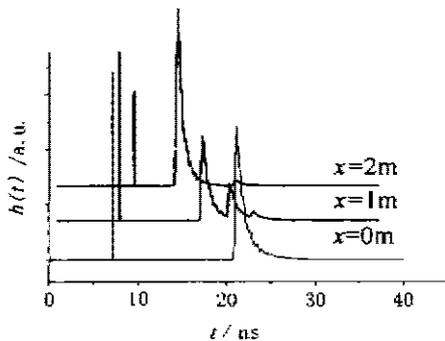


图 3 T 与 R 的水平距离变化时信道瞬态响应的对比
Fig. 2 The transient channel responses with different horizontal distances between T&R

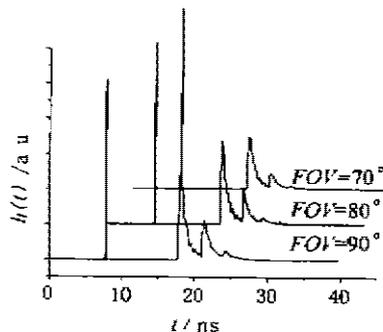


图 4 光接收机视场角 FOV 变化时的信道瞬态响应
Fig. 4 The transient channel responses with different FOVs of receiver

通过改变 T 和 R 的水平距离来观察信道的平均时延及均方根时延的大小模拟结果见图 5. 通常信道的平均时延较大, 而表示相对时延的均方根时延则不大. 随着 T 和 R 的水平距离的增大, 平均时延及均方根时延反而减小, 这是各漫射路径的变化较小所致.

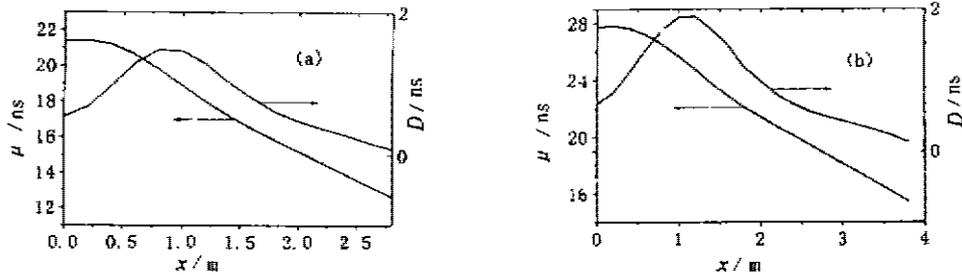


图 5 不同房间的时延特性

(a) $W=6\text{m}$ (b) $W=8\text{m}$

Fig. 5 The transient delay characteristics for different rooms

3 结语

本文讨论了室内光无线通信信道的评价方法. 采用改进的朗伯定律描述室内表面的反射特性, 利用信道的辐射分布、瞬态响应及信道的时延特性分析了直射分量和漫射分量综合作用的红外无线通信信道的特性. 计算和分析了随着光发射机与接收机水平距离的不同, 信道特性的变化. 这种方法有助于对设计高健壮性的室内光无线通信系统提供理论指导, 进一步的工作是利用实验对信道的特性进行验证.

REFERENCES

- 1 Gfeller F R, Bapst U. Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation, *Proc. of IEEE*, 1979, **67**: 1474~1486
- 2 Audeh M D, Kahn J M. Performance evaluation of baseband OOK for wireless indoor infrared LAN's operating at 100Mb/s, *IEEE Trans. on Communication*, 1995, **43**: 2058~2094
- 3 Barry J R. *Wireless Infrared Communications*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1949, 79~107
- 4 Kahn J M, Barry J R, Auden M D, Lee E A, Messerschmitt D G. *Wireless Communications: Future Directions*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1993, 109~126
- 5 Hashemi S, Yun G, Kavehrad M, Behbahani F. Indoor propagation measurements at infrared frequencies for wireless local area networks applications, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 1994, **43**: 562~576
- 6 Marsh G W, Kahn J M. Performance evaluation of experimental 50Mb/s diffuse infrared wireless link using OOK with decision-feedback equalization, *IEEE Trans. on Communication*, 1996, **44**: 1496~1504

THE EVALUATION METHOD FOR INFRARED WIRELESS COMMUNICATION CHANNEL

XU Hai-Feng LI Jiao-Yang HUI Xiao-Shi LIU Xian-De

(Department of Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract For the purpose of evaluation of the characteristics of the infrared wireless communication channel, the mathematical equations of the impulse response and time delay of infrared channel were defined. The diffuse characteristics of the surfaces of the room were described by Lambertian law. The magnitudes of light-of-sight and diffuse response of channel, the characteristics of several channels were analyzed and simulated. The results demonstrated that the change of FOV and the change of the position of receiver have serious effects to the characteristics of the channel. The methods of this paper are contributed to the design of a robust infrared communication channel.

Key words infrared wireless communication, evaluation method, wireless optical channel.