

文章编号: 1001-3806(2010)05-0607-04

无线“日盲”紫外光网格网中的定位研究

何华, 柯熙政*, 赵太飞, 冯艳玲

(西安理工大学 自动化与信息工程学院, 西安 710048)

摘要: 为了给无线“日盲”紫外光网格网中的接入层和路由层提供更多接入节点的坐标信息, 以获得高质量高效率的无线通信效果, 采用“三边测量”定位算法在无线“日盲”紫外光网格网中进行节点坐标定位计算, 得到了适用于紫外光传输信道下的计算公式, 并对此算法进行了仿真。结果表明, 当选择合适的收发仰角时, 定位误差能够低于 0.01km。对于对准精度要求并不苛刻的非视距紫外光通信而言, 此算法是可行的。

关键词: 光通信; 紫外光通信; 日盲; 网格网; 三边测量定位算法

中图分类号: TN929.12 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.05.009

Research of position in the wireless “solar-blind” ultraviolet mesh network

HE Hua, KE Xi-zheng, ZHAO Tai-fei, FENG Yan-ling

(School of Automation & Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to provide more position information of the accessed nodes to media access layer and routing layer in a wireless “solar-blind” ultraviolet mesh network, trilateration position algorithm was employed to locate the nodes in the wireless network and function for the ultraviolet channel was found. Finally, this algorithm was simulated. The simulation showed that when appropriate transmitting angle and receiving angle are selected and the position error could be less than 0.01km. This algorithm is feasible for the ultraviolet communication which does not need rigorous pointing accuracy.

Key words: optical communication; ultraviolet communication; solar-blind; mesh; trilateration position algorithm

引言

紫外光由于其更保密、更隐蔽、非视距(non-line-of sight, NLOS)通信、抗干扰能力强等优点^[1-3], 现在已经作为一种新型的通信手段被广泛应用于军事领域^[4]。尤其是波长分布在 200nm ~ 280nm 的“日盲”波段紫外光, 由于平流层中的臭氧分子对其强烈吸收, 使得近地大气中几乎不存在这个波段的紫外光, 所以利用“日盲”紫外光进行通信时, 背景噪声几乎为 0, 接收端可以获得较高的信噪比。但另一方面, 近地面大气分子和微粒对“日盲”紫外光的吸收仍然很强, 该波段的发射信号可以被探测到的距离被限制在几公里之内。因此, 把点到点的紫外光通信组成网格网紫外光通信网络来提高通信距离不失为有效的解决方法。

作者将无线网格网与紫外光通信相结合, 各通信

节点间采用“日盲”波段紫外光进行信息传输组成无线网格网。为了能够给网络接入层和路由层提供更多的节点位置信息, 利用“三边测量”定位算法在“日盲”非视距紫外网格网中进行节点坐标定位, 最终获得高质量高效率的无线通信。

1 无线紫外光网络网

由于“日盲”紫外光波长较短, 在传输过程中受到大气的散射作用很强。大气中的分子和气溶胶散射紫外光, 根据传输的紫外光波长与散射粒子直径之间的关系, 可以将散射分为 3 种^[1]: 当光波波长远大于散射微粒尺寸时主要产生瑞利散射; 当光波波长与大气散射微粒的尺寸相比拟时主要产生米氏散射; 当光波波长远小于散射微粒尺寸时产生非线性散射。正是由于紫外光的散射特性, 使得它可以实现非视距通信。图 1 说明了

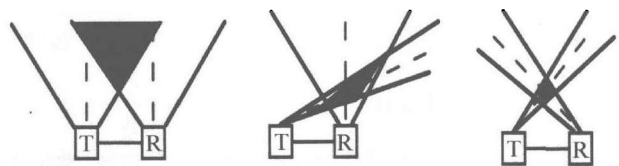


Fig. 1 NLOS communication model of sun-blind ultraviolet

不同收发仰角的 3 种紫外光非视距通信模型。其中, T 代表发射端, R 代表接收端。当发射光束与接收视场

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60977054); 军队八六三创新计划资助项目(2008AAJ159); 中国博士后科学基金资助项目(20080441179)

作者简介: 何华(1982-), 女, 博士研究生, 主要从事紫外光通信方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: xzke@263.net

收稿日期: 2009-10-27; 收到修改稿日期: 2009-12-07

在空中形成重叠区域,称之为有效散射体,非视距通信即产生。

表1中列出了图1中3种通信模型配置方式下的性能比较。从表1中可以看出,当收发端仰角均为 90° 时,全方位性最好,但是工作距离却最短;当

Table 1 Comparison among the three communication models^[5]

| work mode | transmitting angle/ $(^\circ)$ | receiving angle/ $(^\circ)$ | omnidirectional performance | transmitting distance/km | overlapping space | bandwidth |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|-----------|
| NLOS a | 90 | 90 | best | 1 | infinite | narrowest |
| NLOS b | <90 | 90 | better | 1.5~2 | finite | narrower |
| NLOS c | <90 | <90 | bad | 2~2.5 | finite | wide |

无线网络网(wireless mesh network, WMN)是一种多跳、自组织的宽带无线网络,一般由 mesh 路由器和 mesh 客户节点组成。无线网络网的典型结构是一种分级网络结构: mesh 路由器互联构成多跳无线骨干网,负责数据的中继,藉由多跳通信,它可以在物理上覆盖一个很大的范围^[6];骨干网一般通过网关节点与其他网络互联,而 mesh 客户节点通过 mesh 路由器接入到 WMN。通过 WMN 最终实现 mesh 客户节点间、客户节点与 internet 等其它网络间的互联互通。本文将无线网络网与紫外光通信相结合,在网络的各个节点间通过“日盲”紫外光进行通信。

当网络中的节点处于群发或者搜索状态时,它可以工作在 NLOS a 模式下,因为这时节点的全方位性最好;当网络节点要在某个方向上进行多节点通信,它可以工作在 NLOS b 模式下,因为这时通信节点在保证一定带宽的前提下同时拥有一定的全方位性;当网络节点要在某个方向上远距离点到点的非视距宽带通信,它可以工作在 NLOS c 模式下,因为这时通信节点间的非视距通信距离最远且带宽最宽。

2 紫外光单次散射传输的信道模型

由于大气的散射作用使得紫外光通信能够工作在 NLOS 情况下,通信中的两个终端即使在障碍物的阻挡下仍然能够完成通信。由于接收端收到的能量主要来自于光子的单次散射,因此在忽略 2 次或多次散射影响的情况下,紫外光传输的信道模型如图 2 所示。

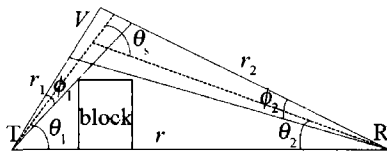


Fig. 2 Single scattering link model of NLOS UV communication

其中, θ_1 是发射机的仰角, θ_2 是探测接收机的仰角, ϕ_1 是发射光束孔径角, ϕ_2 是接收视场角, V 是发射仰角和接收仰角交叉部分的有效散射体体积, r 是发射机 T 到探测接收机 R 的距离。 r_1 是发射机到 V 的距离, r_2

收发仰角均小于 90° 时,全方位性最差,但是传输距离却最远;当收发端仰角的一端小于 90° ,另一端等于 90° 时,各项性能均介于前两者之间。综上所述,图1与表1共同说明了点到点的紫外光通信模式与性能。

是探测接收机到 V 的距离。散射角 θ_s 是 θ_1 与 θ_2 的夹角($\theta_s = \theta_1 + \theta_2$)。此模型中非直视紫外光单次散射链路的接收功率按下式^[7]定义为:

$$P_r = \frac{P_t A_r K_s P_s \phi_2 \phi_1^2 \sin(\theta_1 + \theta_2)}{32\pi^3 r \sin\theta_1 (1 - \cos\frac{\phi_1}{2})} \times \exp\left[-\frac{K_a r (\sin\theta_1 + \sin\theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}\right] \quad (1)$$

式中, P_r 是接收功率, P_t 是发送功率, P_s 是散射相位函数, A_r 是接收机孔径的面积, K_s 是散射系数; K_a 是大气消光系数,由瑞利散射系数 K_{sR} 、米氏散射系数 K_{sM} 和大气吸收系数 K_a 组成($K_a = K_{sR} + K_{sM} + K_a$)。

3 三边测量定位算法

由于费用、节点能量等诸方面因素,不可能给网络中的每个节点配备全球定位系统(global positioning system, GPS)。在无线紫外光网格网中,确定通信节点的方向是实现紫外光定向通信的前提,因此,部署一定比例的特殊节点,给它们配备 GPS 定位系统,或通过其它某些特殊方式获取自身坐标,此类节点称之为锚节点,其它节点称之为未知节点。通过测量和参考锚节点与未知节点之间距离的定位算法称之为基于距离的定位算法。而不通过测量距离,仅依据相对位置关系或网络连通性进行定位的算法称之为距离无关的定位算法。

在基于测距的定位算法中,三边测量法是定位未知节点坐标最基本的方法^[8]。该方法的理论依据是:当确定了 3 个锚节点的坐标和未知节点分别到 3 个锚节点的距离就可以确定该节点的坐标。在 2 维空间中,如图 3 所示,已知 3 个锚节点的坐标分别为 $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$, $C(x_3, y_3)$, 未知节点到 3 个锚节点 A, B, C 的距离分别为 d_1, d_2, d_3 , 设未知节点坐标为 $D(x, y)$, 根据两点之间距离的数学计算公式,可以得到方程组:

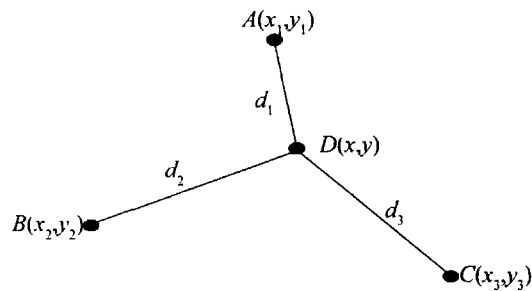


Fig. 3 Trilateration position

$$\begin{cases} d_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \\ d_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} \\ d_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} \end{cases} \quad (2)$$

由(2)式解得:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_2 - x_1) & 2(y_2 - y_1) \\ 2(x_2 - x_3) & 2(y_2 - y_3) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x_2^2 - x_1^2 + y_2^2 - y_1^2 + d_1^2 - d_2^2 \\ x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_2^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

由此得到了未知节点的坐标 $D(x, y)$ 。而现在的主要问题转化为如何获得未知节点到锚节点的距离 r 。

根据(1)式推导得到发射机到探测机之间距离的计算公式如下:

$$r = \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{K_e(\sin\theta_1 + \sin\theta_2)} \times \ln \left[\frac{1}{P_r} \frac{P_t A_r K_s P_s \phi_2 \phi_1^2 \sin(\theta_1 + \theta_2)}{32\pi^3 \sin\theta_1 \left(1 - \cos \frac{\phi_1}{2}\right)} \times \frac{-K_e(\sin\theta_1 + \sin\theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \right] \quad (4)$$

从(4)式中可以知道,当发射功率已知,其它收发状态参量均设定好的条件下,只要得到接收功率就能够计算出 r 。

4 仿真实验

作者利用大气信道仿真软件 MODTRAN,在“日盲”紫外光传输波长为 266nm、发射功率为 5W、观测高度为 0.5km、能见度为 5km 的轻霾天气条件下,对多组不同收发仰角的“日盲”紫外光通信进行仿真,得到了不同情况下接收端接收到的功率值与传输距离,其结果如图 4、图 5 所示。

当观测高度与发射端的发射仰角、接收端的接收仰角确定时,传输距离继而确定,见图 4a 与图 5a。从图 4 与图 5 中可以得到,传输距离的变化趋势与接收功率的变化趋势正好相反,符合了传输距离越长、功率衰减越大的基本规律。

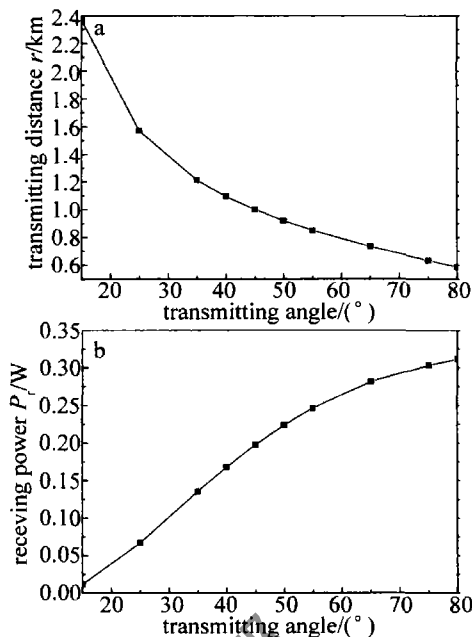


Fig. 4 Simulation results at fixed transmitting angle ($\theta_2 = 45^\circ$)
a—distance change between transmitting and receiving terminal b—receiving power at receiving terminal

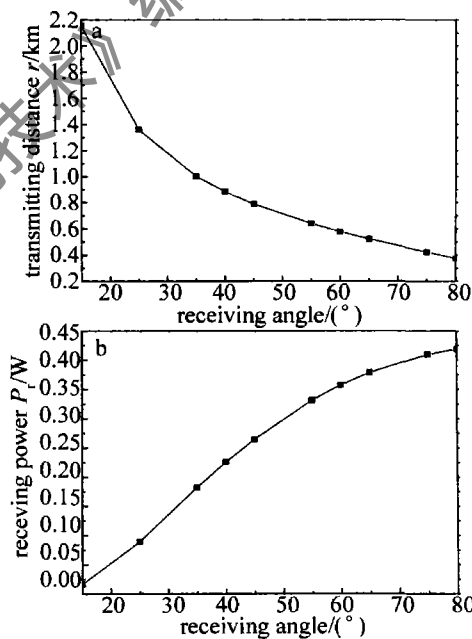


Fig. 5 Simulation results at fixed receiving angle ($\theta_1 = 60^\circ$)
a—distance change between transmitting and receiving terminal b—receiving power at receiving terminal

通过图 4b 与图 5b 中 P_r 的仿真结果,取参量 $A_r = 1.4\text{cm}^2$, $P_s = 1$, $\phi_1 = 10^\circ$, $\phi_2 = 60^\circ$, $K_a|_{266\text{nm}} = 0.75\text{km}^{-1}$, $K_s = K_{sm} = \frac{3.91}{R_v} \times \left(\frac{266}{\lambda_0}\right)^{q[9]}$ (能见度 $R_v = 5\text{km}$, $\lambda_0 = 550\text{nm}$), $K_e = K_a + K_{sm}$ (因为 $R_v = 5\text{km}$ 时属于轻霾天气,低空中的分子浓度很低,因此,这里忽略瑞利散射^[10]),利用(4)式对 r 进行仿真计算,并与图 4a 与图 5a 中的传输距离进行比较,结果如图 6 和图 7 所示。

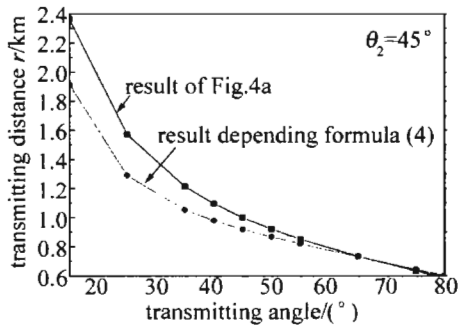


Fig. 6 Simulation and comparison of r ($\theta_2 = 45^\circ$)

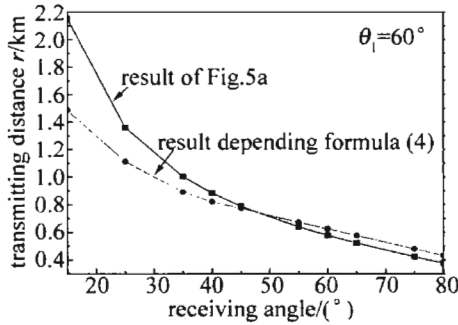


Fig. 7 Simulation and comparison of r ($\theta_1 = 60^\circ$)

从图6与图7中可以得到,无论接收端还是发射端,只要有一端的仰角过低,得到的传输距离误差则较大。这是因为当发射(接收)仰角过低时,通信过程几乎相当于视距通信,因而利用非视距通信链路推导出的(4)式来计算 r ,就出现了较大的误差。

根据(3)式,未知节点最终的定位坐标误差主要在于 d^2 ,即 r^2 。而图6和图7说明,只要选定合适的收发仰角(仰角度数不能过低), r 的误差能够低到0.01km, r^2 的误差则更低。由于紫外光的散射特性,即使有一定的误差,只要收发端能够形成有效散射体,就可以进行通信,而不必像视距通信要求的那样精准。因此,把“三边测量”定位算法应用到“日盲”紫外光通信网络中是可行的。

5 小结

为了给网络接入层和路由层提供更多的节点位置

信息,最终获得高质量高效率的无线通信,本文中利用“三边测量”定位算法在“日盲”非视距紫外光网格网中进行节点坐标定位的研究。研究表明,“三边测量”定位算法可以应用于紫外光网格网中进行定位,当选择合适的收发仰角时,定位误差较小。

参考文献

- [1] XU Zh Y, BRIAN M S. Ultraviolet communications: potential and state-of-the-art[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(5): 67-73.
- [2] WANG Y H, WU J Zh. Detection efficiency of non-line-of-sight ultraviolet communication system [DB/OL]. (2008-10-21) [2009-09-20]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4655331&isnumber=4655300>.
- [3] WEN T, WEI J B, MA D T. Analysis of effect of multiple scattering on laser communication in light haze weather[J]. Laser Technology, 2007, 31(5): 500-502 (in Chinese).
- [4] MI L Sh, WANG P, TIAN P G. Ultraviolet NLOS communication model[J]. Ship Electronic Engineering, 2008, 28(2): 68-69 (in Chinese).
- [5] TANG Y, NI G Q, ZHANG L J. Study of single scatter model in NLOS UV communication[J]. Optical Technique, 2007, 33(5): 759-760 (in Chinese).
- [6] BADIA L, ERTA A, LENZINI L, et al. A general interference-aware framework for joint routing and link scheduling in wireless mesh networks[J]. IEEE Networks, 2008, 22(1): 32-38.
- [7] XU Zh Y. Approximate performance analysis of wireless ultraviolet links [DB/OL]. (2007-06-04) [2009-09-20]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4217775&isnumber=4217620>.
- [8] HE Y H, LI H Sh, HU B. Research on distributed localization algorithm of wireless sensor network [J]. Microcomputer Information, 2009, 25(8/1): 105-107 (in Chinese).
- [9] LI Y Q, ZHU Y, WANG J P. Theory and technology in optical communication[M]. Beijing: Science Press, 2006: 315 (in Chinese).
- [10] CHEN J H, YANG X L. Research of the atmospheric factors of solar blind ultraviolet communication[J]. Laser Journal, 2008, 29(4): 38-39 (in Chinese).