

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.012

航空紫外光通信系统性能分析

孙晓燕¹, 谭洁²

(1. 海军航空工程学院 基础实验部, 山东 烟台 264001; 2. 济南军区 空军自动化工作站, 山东 济南 250002)

摘要: 为了使通信手段更新颖、更隐蔽、更安全和不易被干扰, 对紫外光通信进行研究。紫外光通信具有辐射衰减剧烈、保密性强、系统易于开发等特性。通过介绍紫外光通信的研究状况及其在航空领域的应用, 基于非视距单散射信道模型对航空紫外光通信系统性能进行分析, 并通过实例证明了其有效性。

关键词: 紫外光通信; 非视距; 单散射

中图分类号: TN915.02 **文献标识码:** B

Performance Analysis of Aeronautical Ultraviolet Communication

Sun Xiaoyan¹, Tan Jie²

(1. Dept. of Basic Experiment, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Air Force Automation Station, Jinan Military Region, Jinan 250002, China)

Abstract: For the new, privy safety and anti-interference communication purpose, ultraviolet communication (UV Communication) was researched. UV Communication has the characteristic of great attenuation, good ability of secrecy and easy to be developed. It can be applied widely in the area of short-range communication. The characteristics of UV Communication were analyzed based on non-line-of-sight single scattering communication model. The effects of the geometrical structure on its performance were tested.

Keywords: UV communication; non-line-of-sight; single scattering

0 引言

目前的通信手段在军事通信联络中的不足主要包括: 无线电和微波通信比较容易被窃听、干扰和破坏, 不适合“电磁寂静”的场合; 有线通信和光纤通信需要预先铺设相应的线路, 不能达到灵活、机动和快速反应的要求。为了在未来战争中立于不败之地, 各国都在寻求更新颖、更隐蔽、更安全和不易被干扰的通信手段。

紫外光通信是利用紫外光在大气中的散射来进行信息传输的一种新型通信模式。它不易被探测和截收, 适用于多种近距离抗干扰通信环境, 可以跨越障碍物进行非视距通信, 是满足战术通信要求的理想手段。故对其进行研究。

1 紫外光通信系统的特点

太阳光的紫外辐射在通过地球大气层时, 大气平流层中的臭氧层对 250 nm 波长附近的紫外线有强烈的吸收作用, 使得这一波段的紫外辐射在海平面附近几乎衰减为零, 属于“日盲区”, 该波段为中紫外光波段, 波长范围为 200~280 nm。紫外光通信就是利用这一波段进行通信的, 也被称为“日盲”紫外光通信。与常规通信方式相比, 紫外光通信有

其独有的优点:

1) 数据传输的保密性高。由于大气的强吸收作用, 系统辐射的紫外光通信信号的强度按指数规律衰减, 这种强度衰减是距离的函数。故可根据通信距离的要求来调整系统的辐射功率, 使其在通信范围之外的辐射功率衰减至最小, 提高传输保密性;

2) 系统抗干扰能力强;

3) 可用于非视距通信。由于大气中存在大量的粒子, 紫外辐射在传输过程中存在较大的散射现象, 这种散射特性使紫外光通信系统能以非视距方式 (Non-Line of Sight, NLOS) 传输信号, 从而能适应复杂的地形环境, 克服了其他自由空间光通信系统必须工作在视距方式的弱点;

4) 无需 ATP (Acquisition Tracking and Pointing) 跟踪;

5) 全天候工作。该系统工作在日盲区 (200~300 nm), 而地表在这个波段辐射很少, 可以全天候工作。

2 研究状况

2.1 国外研究现状

20 世纪 70 年代中后期, 美国的 Waren S Ross 等人开始对紫外辐射在大气中的传输特性以及散射

收稿日期: 2010-05-12; 修回日期: 2010-06-24

作者简介: 孙晓燕 (1981-), 女, 山东人, 助教, 从事军用光通信研究。

大气通信的可行性及具体的技术细节进行了理论探讨和试验研究^[1]。

1985 年和 1986 年, 美国 Naval Ocean System Centre 的 M Geller 等人研制了一套紫外日盲型短距离通信系统。这种通信系统可工作在视距型和非视距型 2 种方式下; 通信速率在 1985 年为 1 200 bits/s, 在 1986 年提高到了 2 400 bits/s; 误码率小于 10^{-5} ^[1]。在平均臭氧浓度下, 视距型的通信系统最大通信距离达到 3 km, 非视距型通信距离可达 1 km。在正常条件下, 通信距离为 0.75 km, 可正常工作一年^[2]。

2001 年, 美国 GTE 公司为美军研制了一种新型隐蔽式紫外光通信系统, 传输速率能达到 4 800 bit/s^[3]。该通信系统的非视距传输距离为 1~3 km, 如果采用聚光方式, 定向视距通信距离可达 5~10 km^[4]。

可见, 国外对于紫外光通信的研究都是基于实践的系统级别的, 通过仿真和实验的方式不断对系统进行改进。

2.2 国内研究现状

紫外光通信的研究工作在我国起步较晚。中科院空间科学与应用研究中心开展了紫外光通信的研究工作, 目前已取得一定的进展, 深入开展相关的工作势在必行, 也必将大有可为^[5]。

国防科技大学提出利用紫外光解决舰艇“视距”通信的观点, 进行舰艇紫外光通信系统的顶层设计和关键研究, 并进行舰艇紫外光通信系统的战术应用研究。同时, 还做了一些信道方面的仿真分析, 特别是最近提出了对于信道特性的蒙特卡洛算法仿真, 对以后的分析奠定了基础。

重庆大学光电研究所对紫外光语音通信系统进行了研究和设计, 取得一定的进展, 但还处于实验阶段^[6]。

另外, 北京理工大学也对紫外光通信的一些关键技术进行了研究, 建立了紫外光学通信原理实验系统^[1]。

其他研究单位也对紫外光信道的各种特性进行了仿真分析, 得到一些有意义的结论, 但由于国外技术资料的保密, 我国的紫外光通信系统还处在初步研究阶段, 主要的研究手段是仿真, 目前还没有成型的实验系统。

3 紫外光通信在军事航空领域的应用

紫外光通信可用于 1~2 km 的非视距通信, 如

果采用聚光方式, 定向视距通信距离可达 5~10 km。紫外光通信系统的话音通信频率通常为 19.2 kHz, 在距离为 2~10 km, 数据传送速率为 4 800 bit/s 时, 系统的误码率可达 1×10^{-6} ^[1]。与其他传统的通信方式相比更隐蔽, 需要的发射功率大大降低, 非常适用于短距离、窄带宽、能量受限的应用环境。

紫外光通信系统可用于超低空飞行的直升机小队进行不间断的内部安全通信。使用紫外光通信系统的每架飞机都装备有一套收发系统, 发射机以水平方向辐射光信号, 接收机则面朝天安装, 以收集散射到其视野区内的紫外光信号, 从而使全小队的飞机都可收到相同的通信信号。

紫外光技术可用于改进舰载飞机的起飞导引系统。航母飞行甲板通信系统同时沟通指挥塔台与所有飞机之间的通信。光发射机可安装在航母的舰桥上, 以水平方式向甲板辐射紫外光信号, 每架飞机上装有一台小型接收机, 面朝天安装, 以收集散射在大气层中的导航数据。光发射机发出的紫外光具有散射和同播特性, 能照射整个飞行甲板, 这样飞机可以自由移动, 并能同时接收数据。

4 紫外光通信系统性能分析

紫外光通信以自由大气为传输介质, 其通信性能必然会受到大气信道的影响, 因此, 研究紫外光通信系统的性能, 必须要建立正确的信道模型。紫外光通信大气信道模型一般采用 1990 年由 Leugten 等人提出的非视距单散射信道模型, 现有的研究都是基于该模型进行的。

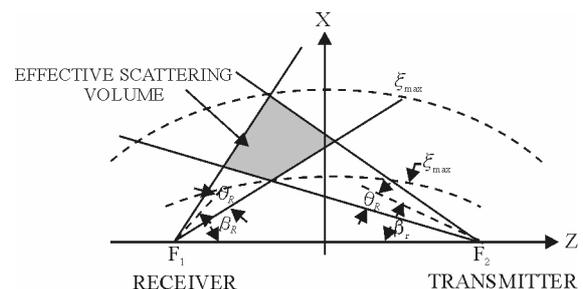


图 1 非视距紫外光通信几何结构

非视距单散射模型是基于椭球坐标分析的, 其传输示意图如图 1。探测器位于焦点 F_1 处, 光源位于焦点 F_2 处, 焦距为 r , 发射机和探测接收机的仰角分别为 β_T 、 β_R , 光束发射孔径角和接收视场角分别为 θ_T 、 θ_R 。单次散射近似就是假定光在大气介质中传输的过程中只经过一次散射。图 1 中, 阴影部

分为单次散射所发生散射的有效体积。ξ_{max} 和 ξ_{min} 分别为有效散射体的上下界。

假设 t = 0 时刻，一脉冲响应能量为 Q_T (单位：焦耳) 的光脉冲经发射圆锥角发射后，经各向同性介质散射和吸收后，接收器在单位面积单位时间内接收到的光功率为：

$$E(\xi) = \begin{cases} 0 & (\xi < \xi_{\min}) \\ \frac{Q_T c k_s \exp(-k_e r \xi)}{2\pi \Omega_T r^2} \int_{\eta(\xi)}^{\eta^2(\xi)} \int_{\theta_s(\xi, \eta)}^{\theta_s(\xi, \eta)} \frac{\cos(\zeta) P(\theta_s)}{\xi^2 - \eta^2} d\phi d\eta & (\xi_{\min} < \xi < \xi_{\max}) \\ 0 & (\xi > \xi_{\max}) \end{cases} \quad (1)$$

接收器接收到的总能量为：

$$H_R = \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} E(ct/r) dt \quad (2)$$

其中，k_s 为大气散射系数，k_e 为大气消光系数，Ω_T 是发射固有圆锥角，P(θ_s) 为单散射相位函数。ζ 是连接接收机、微分体积元连线矢量与接收轴坐标的夹角，cos(ζ) 用来求探测到的有效面积。

由前述分析，在航空应用中，发射机一般处于水平发射状态，即 β_T = 0，为了研究方便，假设发射为全向发射 θ_T = π，而且发射机和接收机处于同一高度位置。下面分析接收机几何结构对于系统性能的影响。定义变量 t' 为：

$$t' = t - \xi_{\min} r / c \quad (3)$$

式中，ξ_{min}r/c 是接收能量的最小延迟，使得式 (1) 中的大气脉冲响应在 t' < 0 时为 0。

仿真条件：k_s = 5 × 10⁻⁴，k_e = 10⁻³，P(θ_s) = 1，r = 250 m，对 η、ξ 的积分运算均采用梯形求积公式。

仿真结果如图 2、图 3。仿真结论：

- 1) 随着接收机视场角的增大，接收到的能量密度越大，但能量随仰角的变化减小；
- 2) 接收机仰角越大，接收到的辐照度越小，而且当接收机大于 π/2 后，辐照度明显减小；
- 3) 从 t' = 10⁻⁷，即 ξ = 1.12 开始，辐照度开始明显下降。即在发射机各向同性情况下，距离为 250 m 时，光子的实际传输路径在大于 1.12 * 250 开始，接收机接收到的辐照度开始明显下降；
- 4) 当 t' > 10⁻⁷ 开始，接收机仰角对于辐照度的影响开始变得不那么明显，主要是由于传输距离过

长，大气对紫外光强烈的衰减作用使得距离成了影响接收机辐照度的主要因素。这也是紫外光能进行保密通信的原因。

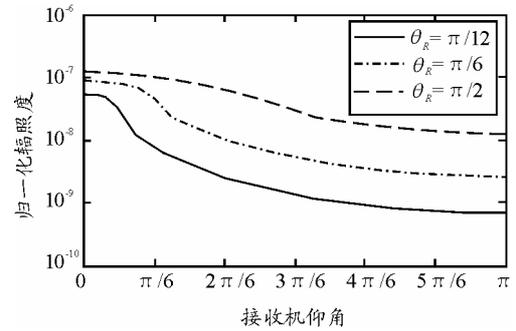


图 2 归一化辐照度随接收机仰角的变化情况

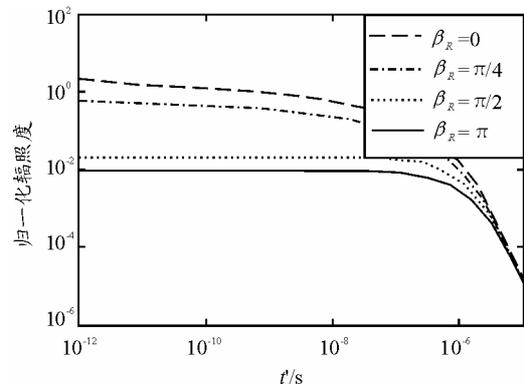


图 3 归一化辐照度随时间的变化情况

5 结论

紫外光通信可以实现非视距、短距离的通信，具有抗干扰及抗截获能力强的特点，特别适合于军事应用领域。但对紫外光通信系统的研究还处于初级阶段，特别是国内在这方面的研究不多，还没有形成成型的系统，还需进行进一步的研究。

参考文献：

- [1] 倪国强, 钟生东, 刘榴缙. 自由大气紫外光学通信的研究[J]. 光学技术, 2000, 26(4): 297-303.
- [2] 张忠廉, 刘榴缙. 紫外线技术在军事上的应用研究[J]. 光学技术, 2000, 26(4): 289-294.
- [3] 庞华伟, 刘天山. 紫外光通信及其军事应用[J]. 云南大学学报, 2005, 27(5): 194-196.
- [4] 许桂华. 紫外光通信[J]. 现代通信, 2000(4): 6-7.
- [5] 李霖野, 邱柯妮, 王云帆. 自由大气紫外光通信中几类光源的比较和研究[J]. 无线光通信, 2006(9): 56-57.
- [6] 周志斌, 肖沙里, 汪科, 等. 日盲紫外光通信系统关键器件[J]. 重庆大学学报, 2006, 29(12): 30-40.
- [7] M.R.Luettgen, J.H.Shapiro. Non-line-of-sight single-scatter propagation model[J]. 1991, Opt.Soc.Am.A 8, 1964-1972.