

基于无人机的超宽带通信链

蒋磊^{1,2}, 王永生¹, 郭建新²

(1. 西北工业大学 电子信息学院, 陕西 西安 710072; 2. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:在无人机通信中继模型的基础上,结合无人机的特殊工作环境,构建了无人机超宽带通信链路模型,并对其性能进行了 Monte - Carlo 仿真。重点分析了无人机中继模型中,由于无人机间的相互运动造成的多谱勒频移对超宽带通信链路性能的影响。

关键词:超宽带;无人机;多谱勒频移

中图分类号: TN914.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 3516(2005)05 - 0017 - 04

自从 FCC 在 2002 年公开认可超宽带(UWB)调制技术以来,UWB 以其优越的技术优势受到人们日益广泛的重视,并已成功的在个别通信领域得到应用。但由于 FCC 对 UWB 的发射功率限制,从而使现有的 UWB 研究大多集中在室内、短距离的无线通信领域^[1-2]。近年来,越来越多的人开始研究 UWB 在远距离无线通信中的应用问题。R. J Fontana 等人对 UWB 在长距离通信链,尤其是无人机(UAV)通信链路中的应用进行了考虑^[3];IAI 公司、Time Domain 公司以及 AATD 协会也正在研发基于 UAV 的超宽带(UAV - UWB)通信链;另外 DARPA 准备把 UAV - UWB 通信链作为美军网络中心战(NCW: Network Centered Warfare)的一个重要部分进行研究。

UAV 在军用航空通信中承担着重要的角色,尤其是在超视距通信中,UAV 的通信中继作用将变得日益突出。由于 UAV 的中继通信模式往往是在复杂恶劣的干扰环境中进行^[4],因此必须要求 UAV 间的信息传输不仅要具有高速据率,而且还应具有较强的抗干扰和抗检测能力。扩频技术是目前 UAV 中继通信链路中的常用抗干扰方式,但其有明显的两个缺点:一是抗干扰能力有限;二是当信息速率较高时,实现复杂度迅速增加,以致于无法实现。而 UWB 在高数据率情况下的实现较为简单,且其抗干扰能力比常规扩频高出近 20 dB^[5],可以较容易的满足高速信息传输的抗干扰要求。基于上述因素,本文将 UWB 调制技术应用到任务 UAV 与中继 UAV 之间的上行通信中,构建了 UAV - UWB 通信链路模型,重点对该模型中由于 UAV 间相互运动造成的多谱勒频移对通信链路性能的影响进行了评估和 Monte - Carlo 仿真。

1 UWB 信号模型

UWB 信号实质是一个极窄的脉冲串,信息的调制通常采用 BPM、PAM 和 PPM 方式,本文采用 2 - PPM 调制。2 - PPM 结合跳时码的超宽带(TH - PPM)信号可表示为

$$S_T^{(k)}(t) = \sum_{j=-\infty}^{j=+\infty} \sqrt{E_p^k} W(t - jT_f - c_j^k T_c - \delta d_{[j/N_s]}^k) \quad (1)$$

上式中, k 代表多用户中的第 k 个用户; E_p^k 为第 k 个用户单个脉冲的能量; T_f 为脉冲的平均重复时间; c_j 是跳时码中的第 j 个码, T_c 是跳时码的单位时移, $c_j^k T_c$ 是第 k 个用户跳时码对第 j 个脉冲的附加时移,满足 $0 \leq c_j^k \leq N_h$; δ 为 2 - PPM 的调制指数; $d_{[j/N_s]}^k \in \{0, 1\}$ 是待发送的二进制信息数据,其中, N_s 为每个信息比特含有的脉冲数, $[j/N_s]$ 为取整运算; $W(t)$ 代表发射的极窄脉冲波形,一般可取 Gaussian 形和 Rayleigh 形。由于 Gaussian 形脉冲有接近于零的直流分量,便于天线发射,因此本文采用前者,Gaussian 形脉冲的函数表

收稿日期:2005 - 01 - 20

基金项目:国防“973”科研基金资助项目(51308)

作者简介:蒋磊(1974 -),男,江苏无锡人,讲师,博士生,主要从事 UWB 关键技术研究。

达式为^[6]

$$W_c(t) = A_c [1 - (\frac{t}{\sigma} - 3.5)^2] \exp[-0.5(\frac{t}{\sigma} - 3.5)^2] \quad (2)$$

式(2)中,幅度 A_c 的取值应使该脉冲具有单位能量,该 Gaussian 形脉冲的时间宽度 $T_p = 7\sigma$ (该时长的脉冲能量占据总能量的 99.99%),功率谱如图 1 所示,取 -3 dB 带宽作为 Gaussian 形脉冲的有效带宽, $B_{-3\text{dB}} = 0.1853/\sigma$ 。

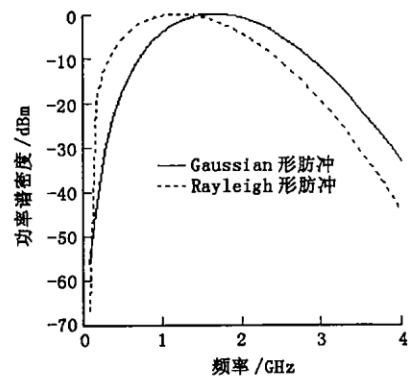


图 1 UWB 调制所使用的脉冲信号功率谱

2 UAV - UWB 通信链路建模

在 UAV 作为超视距通信中继节点的模型中^[4] (如图 2 所示),传输的数据信息(通常为图像和视频)必须通过中继 UAV 回传给地面测控站。如果直接传输未经压缩的数字化视频图像,需要的带宽很大。文献[4]分析了 1 个典型战场对通信容量的需求,一般至少在 100 MHz 以上,所使用的频率资源在 UHF 频段不能得到满足。针对这种情况,通常采用有损压缩数据信息传输的方法,将图像传输的业务量限制在 1.5 ~ 5 Mbps,但对于多路图像和视频传输的情况,这种方法的实现变得越来越困难。因此本文考虑在军用 Ka 频段采用 UWB 调制技术,来满足中继 UAV 与任务 UAV 之间上传业务信道对高速信息传输的需求。

在 UAV 执行超远距离任务时,中继 UAV 一般处于盘旋飞行状态,而任务 UAV 一般在距离中继机几十公里甚至更远的低空作途中飞行(任务 UAV 必须在中继 UAV 的最大通信覆盖半径内)。中继 UAV 与任务 UAV 的信息传输信道为多径衰落信道,考虑任务 UAV 一般采用全向天线,且由多架构成一个机群,其多径反射示意图如图 3 所示。从图 3 中可以明显看出,中继 UAV 与任务 UAV 之间存在多条反射路径,并不存在较强的直视信号(LOS)分量(这里不考虑地面的反射)。由于收发 UAV 之间的距离较远,多径信号到中继 UAV 的入射角并不是全向的,而是落在一个角度范围内,并且在这个角度范围内满足均匀分布,本文选取 $\beta = 3.5^\circ$ ^[7],如图 4 所示。综合考虑图 3 的中继 UAV 与任务 UAV 的通信模型,并认为 UWB 信号是一个中心频率 $f \approx 1/T_p$ 的宽带信号^[9],且假设该模型中的 UAV 信道近似为 Rayleigh 衰落的,那么其引起的多谱勒频移概率密度函数满足:

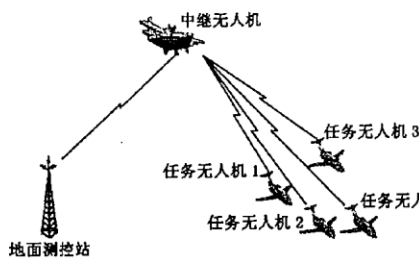


图 2 超视距无人机通信中继模型图

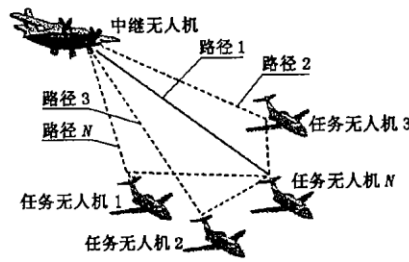


图 3 任务与中继的多径反射示意图

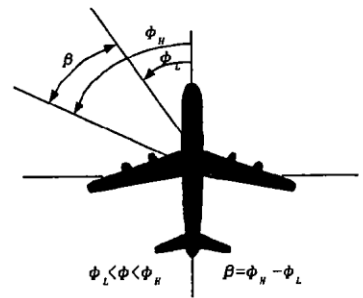


图 4 多径信号在中继的入射角度示意图

$$P(f_D) = \begin{cases} \frac{1}{(\phi_{aH} - \phi_{aL})f_{Dmax}\sqrt{1 - (f_D/f_{Dmax})^2}} & f_{Dmax} \cos(\phi_{aH}) < f_D < f_{Dmax} \cos(\phi_{aL}) \end{cases} \quad (3)$$

上式中, ϕ_{aL} 、 ϕ_{aH} 为信号的最小与最大入射角度; f_{Dmax} 为 UAV 的相对运动而引入的最大多谱勒频移,假设模型中中继 UAV 的盘旋飞行速度为 40 m/s,任务 UAV 的途中飞行速度为 50 m/s,UWB 信号的中心频率为 20 GHz,则引入的最大多谱勒频移 $f_{Dmax} = 6$ kHz (这里不考虑由于中继 UAV 的盘旋飞行而造成的多谱勒频移的周期性变化)。

3 性能仿真

针对上边提出的任务 UAV 与中继 UAV 之间的上传 UWB 通信链路模型,本文对其进行了链路性能仿真。不失一般性,考虑单个用户的情况(若 UWB 信号中选取的 PN 码性能较好,且选取较大的 $(N_a T_c + \delta)/T_f$,

< 1, 当用户数足够多时, 多址干扰可等效为高斯随机过程^[8]), 不考虑 UWB 信号在空间中的传播损耗, 发射方对原始信息数据没有采用编码, 并假设接收方的定时没有偏差, 解调采用了 RAKE 接收方案, 并利用最大比合并方法给出判决结果, 仿真的具体参数如表 1、表 2 所示。

表 1 UWB 信号的具体仿真参数

参数名称	内容	参数名称	内容
$W_c(t)$	式(2)	T_c	$1.5e \times 10^{-2} \text{ ns}$
σ	$2 \times 10^{-3} \text{ ns}$	N_s	10
T_f	1ns	N_h	50
δ	$1.8 \times 10^{-2} \text{ ns}$	信息速率	100 Mbps

表 2 UAV - UWB 通信连路的仿真参数

参数名称	内容	参数名称	内容
最大多径时延	166 ns ^[7]	$\phi_{aH} - \phi_{aL}$	3.5°
多径功率分布	指数衰减	多径分辨率	$1.5 \times 10^{-2} \text{ ns}$
多径个数	50	最大多谱勒频移	6kHz, 5kHz, 4kHz
多谱勒频移概率密度函数	式(3)		

基于上述仿真条件, 并针对不同的最大多谱勒频移, 在每种 E_b/N_0 条件下分别进行了 100 000 次数值运算, 所得的误码率结果如图 5、图 6 所示。从图 5 中可以看出, 当多谱勒频移分别为 6 kHz、5 kHz、4 kHz 时, 误码率差别不大, 这说明 UWB 对无人机的高速运动并不敏感; 并且从图 6 中可以看出, 由于无人机中继模型中的特殊信道环境, 使得中继 UAV 的入射信号能量集中, 从而使误码率性能优于在常规多径 Rayleigh 信道下的性能。

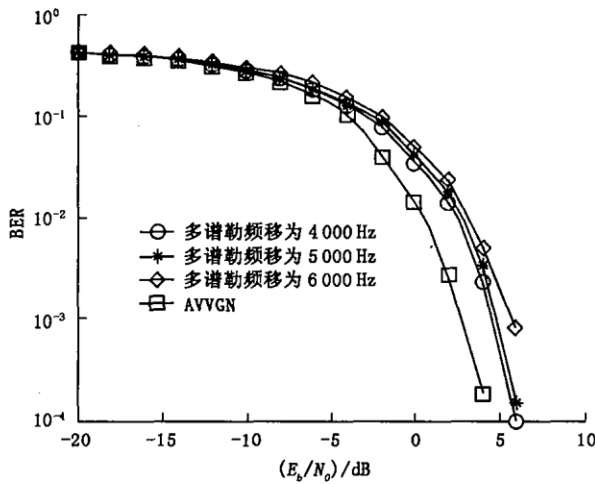


图 5 UWB 在不同多谱勒频移条件下的误码率仿真图

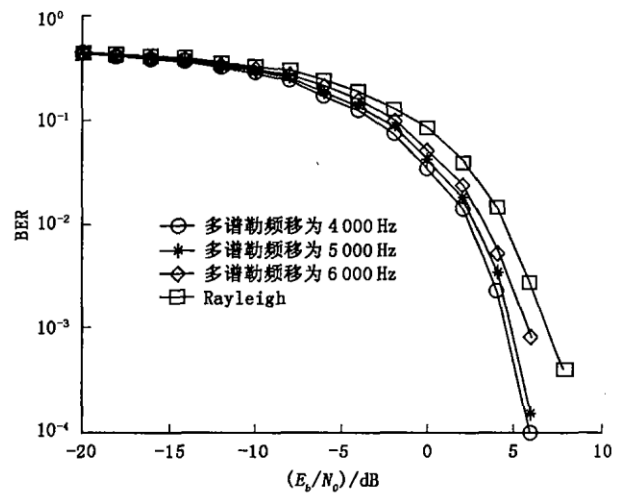


图 6 UWB 在不同多谱勒频移条件下的误码率与常规多径 Rayleigh 信道下的误码率仿真对比图

4 结束语

本文在分析了 UAV 通信中继模型的基础上, 对 UAV - UWB 通信链路进行了建模与性能仿真, 仿真结果表明, 在不考虑 UWB 信号空间传播损耗的条件下, 任务 UAV 与中继 UAV 之间的相互运动造成的多谱勒频移对 UAV - UWB 通信链的性能影响较小。

UWB 的宽带效应不可避免的影响到其它机载通信设备的性能, 而且 UWB 体制在航空通信中如何能有效的降低发射功率而又能提高发射距离, 这些问题另文分析。

参考文献:

[1] Wu Weiwei, Wang Weidong, Yin Huarui, et al. Carrier - Less, Single and Multi - Carrier UWB Radio Technology[A]. Proceedings of Joint UWBST & IWUWBS on Ultra - wideband Systems and Technologies[C]. 2004.

[2] Wilson R D, Scholtz R A. On the Dependence of UWB Impulse Radio Link Performance on Channel Statistics[A]. Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Communications[C]. 2004.

[3] Fontana R J, Larrick J F, Cade J E. An Ultra Wideband Communication Link for Unmanned Vehicle Applications[A]. Pro-

- ceeding of AUVSI97[C]. 1997.
- [4] Weibing Luo. A Study of the Asymmetric Data Link for UAV Multi-path Relay[D]. Vniversity of Northwestern Ploytechnical, China, 2002.
- [5] Withington P. Time Modulated Ultra-Wideband for Wireless Applications[EB/CD]. [http://www.timedomain/Files/downloads-/techpapers/Pulse Onoverview.html](http://www.timedomain/Files/downloads-/techpapers/Pulse%20Overview.html), 2000.
- [6] Li Zhao, Alexander M, Haimovich. Performance of Ultra-Wideband Communications in the Presence of Interference [J]. IEEE Journal on Selected Areas In Communications, 2002; 20(9):1684-1691.
- [7] Erik Haas. Aeronautical Channel Modeling[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2002; 51(2):254-264.
- [8] Win M Z, Scholtz R A. Ultra-Wide Bandwidth Time Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications[J]. IEEE Trans on Comm, 2000; COM-48(4):679-690.
- [9] 常 硕, 陈忠辉, 张昌军. 超宽带信号在波导中传播的 FDTD 分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(5): 53-56.
- [10] 蒋 磊, 王永生, 程 韧. 多频带干扰对超宽带调制技术性能的影响分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2005, 6(4):44-49.

(编辑: 门向生)

Study of UAV - UWB Communication Link

JIANG Lei^{1,2}, WANG Yong-sheng¹, GUO Jian-xin²

(1. College of Electronics and Information System, North Western Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China; 2. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: UAV - UWB communication link model is proposed in this paper based on UAV relay model and special UAV channel condition. And the influence of the Doppler frequency shift on UAV - UWB communication link is analyzed and simulated. The result shows that the Doppler frequency shift has a negligible impairment to the performance of UAV - UWB communication link.

Key words: ultra wideband (UWB); unmanned aerial vehicle (UAV); Doppler frequency shift