

文章编号:1001-893X(2011)03-0056-03

无人机测控信道衰落特性及其抑制方式*

郑金秀

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:分析了无人机测控信道模型以及由小规模衰落带来的非频率选择性衰落、频率选择性衰落与时间选择性衰落的产生机理及特性,并针对这 3 种衰落进行了抑制方法分析,指出 OFDM、交织与编码以及空间分集是无人机测控中值得重点研究的抗衰落技术。

关键词:无人机;测控;衰落特性;衰落抑制技术

中图分类号:TN911 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.03.013

Fading Characteristics of UAV TT&C Channel and Anti-fading Technology

ZHENG Jin-xiu

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: This paper analyses the UAV(Unmanned Aerial Vehicle) TT&C channel model, the generation mechanism and characteristics of three kinds of small-scale fading including frequency selective fading, frequency selective fading and time selective fading, discusses anti-fading methods, and finally demonstrates OFDM, interleaving and coded modulation, and spatial diversity are potential anti-fading techniques in UAV TT&C.

Key words: unmanned aerial vehicle(UAV); TT&C; fading characteristics; anti-fading technique

1 引言

由于没有飞行员,无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)具有以下几大优点^[1]:去除了人体生理承受极限的限制,可具有大过载与高机动性;机体设计约束降低,体积小,重量轻,可大大减小无人机的雷达截面积(RCS),从而提高隐身性;可替代有人机在高危区执行任务,如密集的空防防御区域、开放式战争中大范围的侦察、自然灾害观测或有生化武器的场合;降低了采购、训练、外场使用、保障维护等方面费用,经济可承受性好。因而,目前各国都在积极研制或部署新型无人机,无人机在现代战争中将扮演着越来越重要的角色。

无人机测控是发展无人机的关键技术,如果测控失效,信息无法发给指挥控制中心,指令也无法发

给无人机,人就无法在整个系统中发挥作用,无人机将不能为战争服务。对于低空飞行或工作于丛林或建筑群等复杂环境中的无人机,其测控往往面临着强的多径干扰,同时,相对运动也会导致多普勒现象。这些都将严重影响无人机测控效果,甚至使得测控失效。所以,如何抑制信道小规模衰落是无人机测控系统必须要面临的一个难题。

本文第二部分阐述无人测控信道模型及其衰落特性,第三部分对衰落的抑制方式进行归纳,第四部分给出相应结论。

2 无人机测控信道模型及衰落特性

无人机往往会面临低空飞行或丛林、建筑群等复杂环境,且与测控平台间多存在相对运动,所以无人机信道包含多径与多普勒两方面特性,这两方面

* 收稿日期:2010-10-14;修回日期:2011-01-17

均通过时延引入。多径是由多条路径带来的多个不同同时延引入,而多普勒则是由时延的时变性引入。所以,参考无线信道模型^[2],无人机测控信道可建模为

$$h(\tau,t)=\sum_{m=0}^{M-1}\alpha_m e^{-j2\pi f_c \tau_m(t)}\delta(\tau-\tau_m(t)) \tag{1}$$

式中, f_c 表示载波, M 表示可分的非相关路径数量,第 m 径的增益为 α_m ,延时为 $\tau_m(t)$ 。并且, α_m 是方差为 σ_m^2 的零均值复高斯过程。显然, $h(\tau,t)$ 是以时间 t 为变量的复高斯随机过程。 $e^{-j2\pi f_c \tau_m(t)}$ 中的 $\tau_m(t)$ 包含了多普勒效应。

式(1)中,若时延不可分,且无相对运动,则多径仅仅会引起幅度衰落,而不会破坏信号的时频域结构,这种衰落为非频率选择性衰落。此时,信道模型为

$$h(t)=\sum_{m=0}^{M-1}\alpha_m \delta(t-\tau_0) \tag{2}$$

若各径的强度相差不大,接收信号的幅度服从瑞利分布,如下:

$$p(r)=\frac{r}{\sigma^2}e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \tag{3}$$

均值与方差分别为: $E\{r\}=\sigma\sqrt{\frac{\pi}{2}}$, $\sigma_r^2=\sigma^2\left(\frac{4-\pi}{2}\right)$ 。若存在直视路径或强度相对很大的路径分量时,则接收信号幅度服从莱斯分布。

在式(1)中,若时延可分,则信道为时间弥散信道,当信号带宽大于信道相干带宽时,则会产生频率选择性衰落。若存在相对运动,则信道为频率弥散信道,若符号宽度大于信道相干时宽时,则会产生时间选择性衰落。信道相干带宽与信道相干时宽的定义在下文给出。

对式(1)进行关于 τ 的傅里叶变换可得信道的时频响应为

$$h(f,t)=\sum_{m=0}^{M-1}\alpha_m e^{-j(\theta_m+2\pi F_D t-2\pi f \tau_m)} \tag{4}$$

式中, $2\pi F_D t + \theta_m$ 是 $2\pi f_c \tau_m(t)$ 的变形,则 F_D 为多普勒频率, θ_m 为与第 m 径对应的随机相位。信道统计特性可由 $h(f,t)$ 协方差表示:

$$R_h(\Delta f,\Delta t)=E\{h(f,t)h^*(f-\Delta f,t-\Delta t)\} \tag{5}$$

几条重要的统计特性可由该式导出。

(1)频率相关函数

$p_h(\Delta f)=R_h(\Delta f,0)$ 衡量信道在频域的相关性。相干带宽 B_c 是对 $p_h(\Delta f)$ 宽度的量度,定义为信道频率特性为平坦的频率范围。

(2)时延功率谱

时延功率谱 $p_h(\tau)$ 是 $p_h(\Delta f)$ 关于 Δf 的傅里叶反变换,其二阶中心矩即为均方根时延扩展 τ_{rms} ,且有 $B_c=\frac{1}{5\tau_{rms}}$ 。多径时延扩展则是对 $p_h(\tau)$ 宽度的量度。

(3)时间相关函数

$p_h(\Delta t)=R_h(0,\Delta t)$ 量化信道的时变特征,其傅里叶变换即为多普勒谱 $\Phi_h(v)$ 。 B_D 则是对 $\Phi_h(v)$ 的量度, B_D 定义为多普勒频谱不为零的频率范围,其倒数即为相干时间,即相干时间 $T_c=1/B_D$ 。相干时间是指信道响应保持不变的时间宽度。

归纳起来,由于多径与多普勒的影响,无人机测控的小规模衰落有 3 种情况:幅度衰落、频率选择性衰落、时间选择性衰落,幅度衰落损失接收信号信噪比,后两者则会改变信号时频域结构。

3 信道衰落抑制方法

根据第二部分的分析,对无人机测控信道 3 种小规模衰落带来的影响的抑制方法可归纳如下。

3.1 抗信噪比损失

抗信噪比损失主要采用分集与纠错编码技术。

分集是指向接收机提供非相关的有用信号成分的各种方法,包括时间分集、频率分集、空间分集等。Rake 接收机^[3]就是一种路径分集的方法,将各路径的信号分别提取并同相相加,提高接收信号信噪比。空间分集^[4]利用多个天线接收到的非相关信号,对各天线接收到的非相关信号进行同相化加权求和,从而提高信噪比,抑制信噪比损失带来的影响,是一种最为有效的分集方式。空间分集技术需要多天线,这在一定程度上约束了其使用范围。频率分集技术则往往伴随着频率效率的低下。交织技术作为时间分集技术的一种,不会降低时频资源的利用率而降低噪声或干扰的影响,常常与纠错编码一起使用,在通信系统中得到了广泛的运用。

纠错编码并不提高接收信号信噪比,但可提供编码增益,使得接收机在较低信噪比情况下仍能进行解调。

3.2 抗频率选择性失真方法

均衡器是信道的逆滤波器,如果信道是频率选择性的,均衡器会增强小振幅的频率分量并且衰减大振幅的频率分量。其目标是综合信道和均衡器的作用,在接收端获得平坦的接收频率响应和线性相位。由于信道具有时变性,所以,均衡器应是自适应

地改变自身特性以适应信道的变化。目前均衡器主要有判决反馈均衡器^[5]和最大似然序列估计均衡器^[6]。随着单载波频域均衡技术的发展与应用,频域均衡也成为了主要的均衡器之一。

均衡器通过补偿信道,使其在信号带宽范围内呈现平坦特性。与之相反,以 OFDM^[7]为代表的多载波传输则通过将数据串并转换,在多个载波上并行传输,可使得各个载波信号带宽变窄到小于信道的相干带宽,因而只需在各子载波间进行简单的一阶频域均衡。所以,多载波传输大大提高了抗频率选择性衰落的能力。OFDM 作为一种多载波传输方式,又具有与单载波传输相当的高频谱利用率,处理复杂度低,是未来高速传输的主流技术之一。但 OFDM 扩展了符号长度,因而降低了抗时间选择性失真能力。另外,峰均比也是制约 OFDM 实际应用的重要因素。随着频偏估计算法、基带预失真等线性化功放技术的发展,OFDM 将会得到更为广泛的应用。

直扩抑制频率选择性失真的机理则与前两者均不一样。直扩技术利用扩频码集合的相关特性,在提取某一径信号的同时,将其余径上的信号能量在频域上大大展宽,从而抑制了各径之间的干扰。Rake 接收机^[3]就是采用此机理,分别提取出各径信号,再将提取出的各径信号在时间上对齐相加,使得各径信号能量得到有效积累,提高了接收机的检测性能。然而,与 OFDM 技术相比,Rake 接收机处理复杂度大。

跳扩则是采用快速跳频技术,在第一径到达而第二径还未到达的时间跳到别的频点,避开了各径之间的相互影响,但却损失了随后到达各径的信号能量,不利于提高检测性能。

3.3 抗时间选择性衰落

抑制时间选择性衰落需要采用鲁棒性调制(非相干)方式,这些方式不需要相位跟踪且能减少检测器的检测时间^[8]。另一种技术是通过增加信号的冗余度从而增加码元速率,使之大于衰落速率。

交织也可提高系统抗时间选择性衰落。交织的作用就是把深度衰落的影响转化为随机事件,相对运动速度越高,这种转化越容易,对多普勒扩展或衰落的抑制作用越强。当然,这种作用不会无限地提高。

4 结 论

无人机测控是未来信息化战争中的重要技术。由于多径与相对运动的原因,无人机测控信道往往

受到多径与多普勒的影响,造成信号信噪比损失、频率选择性衰落或时间选择性衰落。抑制频率选择性衰落的主要手段有时/频域均衡、OFDM 为代表的多载波传输技术、Rake 接收机等,其中,OFDM 是未来高速传输的主流技术。抑制时间选择性衰落的有效方式是采用交织与差分调制方式。抑制信噪比降低的影响,则主要通过各种分集技术与纠错编码技术。分集技术中,最为有效的则是空间分集与交织。所以,OFDM、交织与高效编码以及空间分集技术是无人机测控中值得重点研究的技术。

参考文献:

- [1] 姚如贵. 无人机系统高速数据链中 Turbo-OFDM 技术研究[D]. 西安:西北工业大学, 2006.
YAO Ru-gui. High Data Rate Links Based on Turbo-OFDM for UAV System [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006. (in Chinese)
- [2] Liu Hui, Li Guoqing. OFDM-Based Broadband Wireless Networks Design and Optimization[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [3] Price R, Green P E. A Communication Technique for Multipath Channels[C]//Proceedings of the IRE. Culler City, CA: Hughes Aircraft Co., 1958:555-570.
- [4] 霍廷南. 第三代及未来移动通信系统的多天线收发技术[M]. 苏东林, 译. 北京:中国铁道出版社, 2004.
AriHottinen. Multi-antenna Transceiver Techniques for 3G and Beyond[M]. Translated by SU Dong-lin. Beijing: China Railway Press, 2004. (in Chinese)
- [5] Rappaport T S. Wireless Communications[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [6] Forney G D. The Viterbi Algorithm[J]. Proceedings of the IEEE, 1978, 61(3):268-278.
- [7] 佟学俭, 罗涛. OFDM 移动通信技术原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003.
TONG Xue-jian, LUO Tao. OFDM Mobile Communication Theory, Techniques and Applications[M]. Beijing: People's Posts & Telecommunications Press, 2003. (in Chinese)
- [8] Bogusch R L. Digital Communications in Fading Channels: Modulation and Coding[R]. Santa Barbara, California: Mission Research Corporation, 1987.

作者简介:

郑金秀(1976-),女,四川罗江人,2000年获四川大学无线电工程专业学士学位,现为工程师,主要研究方向为航天测控。

ZHENG Jin-xiu was born in Luojiang, Sichuan Province, in 1976. She received the B.S. degree in Sichuan University in 2000. She is now an engineer. Her research direction is aerospace TT&C.

Email: zjx1xiu@sina.com