

宽窄合用 CDMA 卫星移动通信系统容量的研究

段占云, 张延华, 田 栋, 杨小勇, 沈兰荪

(北京工业大学信号与信息处理研究室, 北京 100022)

摘 要: 本文分析了宽窄合用 CDMA 卫星移动通信系统中宽带 CDMA 信号和窄带 CDMA 信号之间的相互干扰, 提出了最佳的宽窄合用频谱配置方案. 研究表明宽窄 CDMA 信号适当合用后, 卫星移动通信系统容量能够大幅度提高.

关键词: 码分多址; 宽窄合用; 卫星移动通信; 系统容量

中图分类号: TN927.2 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2002)10-1558-04

Research on the Capacity of Mobile Satellite Communication System of Narrowband CDMA Overlaying on Wideband CDMA

DUAN Zharr-yun, ZHANG Yarr-hua, TIAN Dong, YANG Xiaor-yong, SHEN Lar-r sun

(Beijing Signal and Information Processing Lab., Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract: This paper studies the mutual interference of wideband and narrowband CDMA in the mobile satellite communication system of narrowband CDMA overlaying on wideband CDMA, then it offers the best spectrum allocation of the two kinds of signals, and we find that the capacity of satellite mobile system will increase dramatically in our spectrum allocation.

Key words: CDMA; narrowband CDMA overlaying on wideband CDMA; mobile satellite communication; system capacity

1 引言

由于地面通信网络不具备卫星通信覆盖面广、频带宽的特点,近 10 年来,各种 LEO、MEO、GEO 卫星移动通信系统方案纷纷提出,以实现全球覆盖、三维空间的个人移动性,为个人通信理想的实现奠定了基础.随着多个卫星移动通信系统的提出和投入使用,全球卫星移动通信已成了国际通信界的热门议题,而主流的移动卫星通信系统如全球星、奥德赛系统都采用了 CDMA 技术.本文将对陈芳允院士提出的宽窄合用 CDMA 卫星移动通信系统的容量进行分析研究.

2 宽窄合用的 CDMA 卫星移动通信系统

为了充分利用有限的卫星转发器频带资源,陈芳允院士提出了宽窄合用 CDMA 卫星移动通信系统.所谓宽窄合用的 CDMA 卫星移动通信系统是指宽带 CDMA 信号和窄带 CDMA 信号共同使用卫星转发器频带.宽带信号是指符合 IS-97B 标准的 CDMA 信号,窄带信号是指符合 IS-95 标准的信号.如何有效地利用有限的频谱资源一直是人们所关注和研究的问题.文献[1]~[3]研究了陆地通信系统中 CDMA 系统与传统的窄带微波系统、AMPS 及 GSM 共享频段的可行性;文献[4]研究了多个卫星系统共用相同的频带;Stutt 等人也研究了 FDMA 与 CDMA 系统共享卫星转发器频带的问题^[5],而这些研究都是基于宽带 CDMA 信号与传统的窄带信号频谱覆盖的

基础上的,与陈院士提出的基于宽窄合用 CDMA 信号的卫星移动通信系统有着本质的差别.本文针对陈院士提出的思想,提出了最佳的宽窄合用频谱配置方案,在假设卫星移动通信系统瞬时功率足够大的前提下,比较了宽窄合用 CDMA 卫星移动通信系统与宽带及窄带 CDMA 卫星移动通信系统的容量,我们看到,宽窄 CDMA 信号适当合用以后能大幅度的提高系统容量.

3 宽窄合用 CDMA 卫星移动通信系统的干扰分析

我们在 CDMA 系统的发射端采用升余弦滤波器作为成形滤波器,同时在接收端采用升余弦滤波器进行滤波.升余弦滚降滤波器的传递函数为:

$$H_r(f) = \begin{cases} 1 & , |f| \leq f_1 \\ \frac{1}{2} [1 + \cos(\pi \frac{2T_s |f| - 1 + \alpha}{2\alpha})] & , f_1 < |f| < f_2 \\ 0 & , |f| \geq f_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中, T_s 为比特周期, $R_s = 1/T_s$ 为比特率, f 为频率, α 为滚降因子, $f_1 = (1 - \alpha)R_s/2$, $f_2 = (1 + \alpha)R_s/2$. 在宽窄合用的 CDMA 卫星移动通信系统中,窄带系统扩频码速率 $R_{c1} = 1.2288\text{Mcps}$,宽带系统 $R_{c2} = 3.84\text{Mcps}$, $\alpha = 0.22$. 设 Δf 为宽带信号和窄带信号载波的频率偏移, P_{WCDMA} 、 P_{NCDMA} 分别为每一个宽带、窄带

信号功率. 宽窄合用的 CDMA 卫星移动通信系统中, 在接收窄带信号时, 我们把位于窄带信号频带内的宽带信号功率等效成若干个窄带多址干扰; 同理, 在接收宽带信号时, 把位于宽带信号频带内的窄带信号功率等效成若干个宽带多址干扰.

现考虑窄带 CDMA 信号对宽带 CDMA 信号的干扰. 在接收机端, 宽带 CDMA 信号解扩前, 需要经过升余弦滤波器滤波. 经过滤波后, 窄带 CDMA 信号的功率为:

$$P_{N1} = \int_{f - B_{NCDMA}/2}^{f + B_{NCDMA}/2} H_r^2(f - \Delta f) df * P_{NCDMA} / B_{NCDMA} \quad (2)$$

在对宽带参考用户的信号解扩后, 一个窄带信号在宽带信号的频带内产生的干扰可以表示成:

$$I_{N1} = \int_{-B_{WCDMA}/2}^{B_{WCDMA}/2} H_r^2(f - \Delta f) df * P_{N1} / B_{WCDMA} \quad (3)$$

一个宽带信号构成的多址干扰可以表示成:

$$I_{W1} = \int_{-B_{WCDMA}/2}^{B_{WCDMA}/2} H_r^2(f - \Delta f) df * P_{WCDMA} / B_{WCDMA} \quad (4)$$

于是, 我们得到: $\beta = \frac{I_{N1}}{I_{W1}} = \frac{P_{NCDMA}}{P_{WCDMA}} * \gamma$ (5)

$$\text{其中, } \gamma = \frac{\int_{f - B_{NCDMA}/2}^{f + B_{NCDMA}/2} H_r^2(f - \Delta f) df \int_{-B_{WCDMA}/2}^{B_{WCDMA}/2} H_r^2(f - \Delta f) df}{B_{NCDMA}/2 \int_{-B_{WCDMA}/2}^{B_{WCDMA}/2} H_r^2(f - \Delta f) df}$$

式(5)说明: 当宽带 CDMA 信号的功率与窄带 CDMA 信号的功率相等时, 一个窄带 CDMA 信号对宽带参考用户的干扰可以等效成一个宽带 CDMA 多址干扰. 窄带 CDMA 信号经过滤波器后, 信号幅度有所衰减, 衰减的大小与宽带 CDMA 信号和窄带 CDMA 信号之间的载波频偏有关. 二者之间的载波频偏越大, 经过滤波后, 窄带 CDMA 信号衰减越大, 那么窄带信号落入宽带 CDMA 信道频带内的功率就越小, 窄带 CDMA 信号对宽带 CDMA 信号的干扰就越小. 从图 1 中可以看出, 当位于 $-0.2R_c$ 到 $0.2R_c$ 之间时, 一个窄带 CDMA 信号对宽带参考用户的干扰, 就相当于一个宽带多址干扰. 当 Δf 增大时, 窄带信号对宽带参考用户的干扰减小.

同理, 将某个窄带 CDMA 信号作为参考用户, 则一个宽带 CDMA 信号对窄带信号构成的干扰, 等于处于窄带频带内的宽带信号的功率:

$$I_{W1} = \int_{-B_{NCDMA}/2}^{B_{NCDMA}/2} H_r^2(f - \Delta f) df * P_{WCDMA} / B_{WCDMA} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{I_{W1}}{P_{NCDMA} \sum_{-B_{NCDMA}/2}^{B_{NCDMA}/2} H_r^2(f) df / B_{NCDMA}} = \frac{P_{WCDMA}}{P_{NCDMA}} * \nu \quad (7)$$

$$\nu = \frac{\sum_{-B_{NCDMA}/2}^{B_{NCDMA}/2} H_r^2(f - \Delta f) df * B_{WCDMA}}{\sum_{-B_{NCDMA}/2}^{B_{NCDMA}/2} H_r^2(f) df * B_{WCDMA}} \quad (8)$$

ν 同样取决于宽带信号和窄带信号的频偏, 如图 2 所示. 载频差值越大, 宽带信号对窄带信号的干扰也就越小.

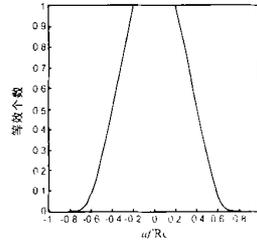


图 1

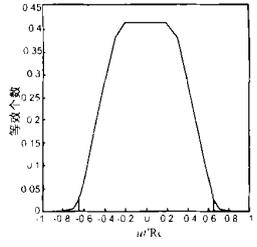


图 2

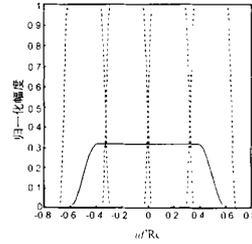


图 3

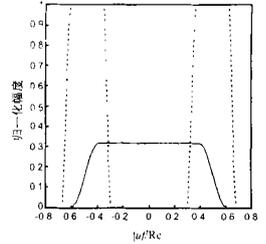


图 4

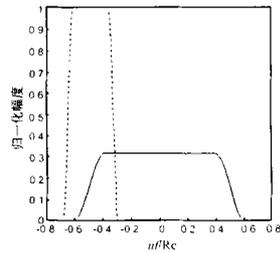


图 5

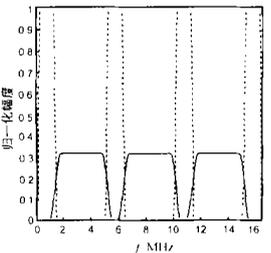


图 6

由于卫星转发器 16.5MHz, 传输宽带信号时, 每一载频所需信道带宽 5MHz, 16.5MHz 的带宽首先应该分成三个频分复用的信道. 在宽窄合用的系统中, 最直接的方法是每个 5MHz 的宽带信道的频带内, 容纳 1 到 4 个窄带信道. 从后面的分析我们知道, 当一个宽带信道的频带内容纳 4 个窄带信道时, 由于相互之间的干扰, 退化为一个宽带信道的频带内容纳 2 个窄带信道, 因此, 我们选择了三种频谱参考方案. 在这三种参考方案中, 窄带信号频谱置于宽带信号的 5MHz 的频带内(频谱配置如图 3、图 4 和图 5 所示). 方案 1 中, 一个宽带信道叠加有四个窄带信道, 载波频差为 $\pm 1.875\text{MHz}$, $\pm 0.625\text{MHz}$, $\Delta f / R_c = \pm 0.49$, ± 0.1892 ; 方案 2 中, 一个宽带信道叠加有对称与宽带 CDMA 载波的两个窄带信道, 载波频差为 1.875MHz , $\Delta f / R_c = \pm 0.49$; 方案 3 中, 一个宽带信道叠加有一个窄带信道, 二者的载波频差为 1.875MHz , $\Delta f / R_c = -0.49$. 而从卫星转发器的整体频带考虑, 为了使窄带信号与宽带信号之间的干扰最小, 我们选择窄带信号的载频位于两个频分复用的宽带信号的中间位置作为方案 4, 这也是最终采纳的方案. 此时, 宽带信号与窄带信号的载波频率有 2.5MHz 的偏移, 即 $\Delta f = \pm 2.5\text{MHz}$, $R_c = 3.84\text{MHz}$, $\Delta f / R_c = \pm 0.65$. 图 6 给出了我们所采纳的宽窄合用的 CDMA 卫星移动通信系统的频谱分配方

案. 我们将对宽带 CDMA 系统、窄带 CDMA 系统、方案 1、方案 2 和方案 3 与我们所采纳的宽窄合用方案的系统容量进行比较.

4 宽窄合用 CDMA 卫星移动通信系统的容量分析

本文首先计算宽带 CDMA 卫星移动通信系统和窄带 CDMA 卫星移动通信系统的容量. 在陈芳允先生提出的中轨赤道卫星系统中, 每个卫星有 16 个波束, 我们假设在某个时刻, 用户只能看见一颗卫星. 选择某个用户为参考用户, 所有其它的用户都对该用户形成干扰, 所有用户的码字长度相等, 扩频码速率相同, 信号功率电平也相同; 设每个信道支持 K_u 个用户, 卫星的每个波束的 EIRP 和 G/T 相同; 假设系统具有完善的功率控制; 系统采用交叉极化频率复用技术以提高系统的容量, 将一个波束内的所有用户分成右旋圆极化及左旋圆极化两类, 这两类圆极化用户各占波束内总用户数的一半. 同时, 系统采用话音激活技术以增加系统的容量, 在沉默期间, 传送的数据速率降低, 在降低传输速率的同时保持信息数据每比特的能量不变, 因此降低发送功率, 就降低了相应的干扰功率. 话音激活因子为:

$$V_{\mu} = f_v [V_a + (1 - V_a) r_f] + 1 - f_v \quad (9)$$

其中, f_v 为话音业务百分比, v_a 为话音业务激活的概率, r_f 为数据速率降低因子. 即如果在讲话期间发送的信号功率为 t , 则沉默期间, 发送功率为 $r_f t$. 由文献[7], 前向链路的方程为:

$$(C/N_o)^{-1} = (C/n_o)_d^{-1} + (C/n_r)^{-1} \quad (15)$$

$$C/n_r = 10 \log(3^* R^* c/2^* I) \text{ (dB)} \quad (16)$$

$$(C/n_o)_d = [PFD / (1 + N_1 A_1 + N_2 A_2)] - 10 \log(4\pi/\lambda^2) + [G/T_m] - [K] - [k_u^* v_{\mu}] \text{ (dB)} \quad (17)$$

$$I = [K_u C (1 + N_1 A_1 + N_2 A_2) / (1/2 + XPD/2)]^* v_{\mu} - C \quad (18)$$

式中 C 为到达卫星转发器或参考用户端的参考用户的信号功率, XPD 为交叉极化鉴别度, N_1 是耦合值为 A_1 的相邻波束数, N_2 是耦合值为 A_2 的第二层相邻波束数, $K_u C$ 是参考用户接收到的总功率, $(1 + N_1 A_1 + N_2 A_2)$ 是考虑到来自相邻波束的干扰因素, $1/2 + XPD/2$ 是采用交叉极化后的干扰, V_{μ} 为话音激活因子, R_c 是扩频码速率, I 是前向链路的干扰功率, $[G/T_m]$ 是移动用户的 G/T, λ 是波长 (m). $[\otimes]$ 表示的为 dB. WARC-92 设定 $-142 \text{ dBW/m}^2/4 \text{ kHz}$ 作为移动卫星业务的协调触发电平 CTL, 它限制了用户接收到的功率通量密度的最大值, PFD 和 CTL 之间的关系式为:

$$[PFD] = [CTL] + 10^* \log(B) - 10^* \log(4000) \quad (19)$$

设 R_b 为用户的信息速率 (bps), E_b/n_o 为每比特能量与单边的噪声功率谱密度之比, 则有:

$$C/n_o \text{ (dB)} = E_b/n_o \text{ (dB)} + [R_b] \quad (20)$$

系统参数为: 每个卫星的波束数 $J = 16$, 总系统带宽 $B = 16.5 \text{ MHz}$, $N_1 = 6$, $A_1 = -10.2 \text{ dB}$, $N_2 = 6$, $A_2 = -29 \text{ dB}$, $f_v = 90\%$, $V_a = 0.35$, $r_f = 0.25$. 窄带 CDMA 卫星移动通信系统容量的计算中, 每个波束信道数 $m = 13$, $f = 2491 \text{ MHz}$, $R_c = 1.2288 \text{ Mcps}$, $B = 1.25 \text{ MHz}$. 信息数据速率 $R_b = 9.6 \text{ kbps}$, 误比特率 $BER = 10^{-3}$, 要求 $E_b/n_o = 2.6 \text{ dB}$. 宽带 CDMA 卫星移动通信系统容量的计算中, 系统参数为: 每个波束信道数 $m' = 3$, $f =$

2491 MHz , $R_c = 3.84 \text{ Mcps}$, $B = 5 \text{ MHz}$. 信息数据速率: $R_b = 10 \text{ kbps}$, 误比特率 $BER = 10^{-3}$, 要求 $E_b/n_o = 2.3 \text{ dB}$.

表 1 系统容量比较

	宽带 CDMA 系统	窄带 CDMA 系统	宽窄合用的 CDMA 系统 (方案 1)	宽窄合用的 CDMA 系统 (方案 2)	宽窄合用的 CDMA 系统 (方案 3)	宽窄合用的 CDMA 系统 (采纳方案)
一颗卫星所供的容量	3984	4368	4368	4368	4128	5024

我们取 $[G/T_m] = -24 \text{ (dB/K)}$, $XPD = 3 \text{ dB}$, 链路裕量 = 2 dB . 根据以上公式就可以计算出窄带系统和宽带系统的容量. 在宽窄合用的系统中, 宽带信号与窄带信号互为干扰, 从图 1 和图 2 可以看出, 在 $f/R_c = \pm 6.5$ 时, 一个窄带信号对宽带参考用户的干扰相当于 0.0297 个宽带多址干扰; 一个宽带信号对窄带参考用户的干扰也仅相当于 0.0268 个窄带多址干扰, 因此宽带系统容量与窄带系统容量是相互制约的. 在对宽带系统容量分析时, 式(17)(18)中的 K_u 等于宽带系统用户数及窄带用户等效的宽带用户数之和; 同理, 分析窄带系统容量时, 式(17)(18)中的 K_u 等于窄带系统用户数及宽带用户等效的窄带用户数之和. 联立方程求解, 就可以求出宽窄合用的 CDMA 卫星移动通信系统中宽带系统容量和窄带系统容量, 二者之和就是整个系统的容量. 表 1 给出了宽带 CDMA 系统、窄带 CDMA 系统以及我们采用的宽窄合用的 CDMA 系统, 参考方案 1、2、3 的容量比较.

由于宽窄合用的卫星移动通信系统中宽带用户与窄带用户之间的干扰大小与二者之间的频谱配置有关, 宽窄合用系统中, 虽然每一个宽带信号对窄带信号的干扰较小, 但由于宽带信道中的用户数较多, 导致方案 1 中载波频差为 $\pm 0.625 \text{ MHz}$ 的两个窄带信道用户数为 0, 此时方案 1 退化为方案 2. 从表 1 可以看出, 由于频谱配置不当, 方案 2 的系统容量并没有增大, 与窄带 CDMA 系统的容量相等; 方案 3 与窄带 CDMA 系统相比, 不但系统容量没有增大, 反而有所减少. 因此, 这三种频谱配置的宽窄合用卫星移动通信系统没有实际的应用价值. 而方案 4 的系统容量具有最大值, 与窄带系统相比, 容量增大了 15%, 与宽带系统相比, 容量增大了 26%. 因此, 我们最终采纳方案 4 作为宽窄合用的 CDMA 卫星移动通信系统的频谱配置方案.

5 结束语

本文对陈芳允院士提出的中轨赤道卫星系统中采用宽窄合用的 CDMA 技术进行了研究, 分析了宽带 CDMA 信号和窄带 CDMA 信号之间的相互干扰, 提出了最佳的宽窄合用卫星移动通信系统的频谱配置方案. 由此证明了卫星移动通信系统中宽窄 CDMA 信号合用的可行性, 宽窄 CDMA 信号合用后, 卫星移动通信系统能够提高容量, 提高频谱利用率, 从而充分利用有限的卫星转发器的频带资源.

参考文献:

[1] Milstein, L.B., et al. On the feasibility of a cdma overlay for personal

communications networks [J]. IEEE JSAC, 1992, 10(4): 655- 667

- [2] Hminy, H H, Gupta, S C. Overlay of cellular CDMA on AMPS forward and reverse link analysis [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1996, 45(1): 51- 56
- [3] 崔立为, 蒋磊, 汤汉屏. 利用宽带 CDMA 技术增加蜂窝系统容量研究 [J]. 移动通信, 2000, 3: 23- 25
- [4] Vojcic, B R, Milstein, L B, Pickholtz, R L. Total capacity in a shared CDMA LEOS environment [J]. IEEE JSAC, 1995, 132: 232- 244
- [5] Stitt, R M, McCarthy, J R, Rice, M. A performance analysis of an overlay of CDMA and FDMA satellite communications systems [A]. Third Annual International Conference on Universal Personal Communications [C]. 1994.
- [6] Zhang, L S, Sheriff, R E, Gardner, J G. Simulation and analysis of the capacity of CDMA for spectrum sharing between satellite mobile systems [A]. Tenth International Conference on Digital Satellite Communications [C]. 1995.
- [7] Zhang Genxin. The capacity calculation of CDMA mobile satellite communication system [A]. 1996 International Conference on Communication Technology Proceedings [C]. 1996.

作者简介:



段占云 女, 1973 年 9 月生于山西省襄汾县, 1998 年获中国科学技术大学工程与信息科学系硕士学位, 北京工业大学电子信息与控制工程学院讲师, 主要从事无线通信领域的研究。



张延华 男, 1960 年 1 月生于甘肃省兰州市, 北京工业大学电子信息与控制工程学院教授, 硕士, 1995 年赴加拿大 CONCORDIA 大学作访问学者, 主要从事无线通信、可视化计算及先进仿真技术的研究。

《电子学报》投稿须知

2002 08 08

一、《电子学报》系中国电子学会主办的高级综合性学术月刊, 每月 25 日出版, 刊登电子与信息及相关领域代表我国研究水平的原始性(original)科研成果(包括学术论文、技术报告、科研通信和综述评论等形式。)

二、稿件要求

1. 文稿内容应突出作者本人的创新部分。前人的工作, 尤其是国内同行的工作, 应在正文及参考文献中准确反映。投稿时须附专页说明文中主要创新之所在, 并声明应当引用的文献均已引用。
2. 作者应保证拥有合法的著作权。合作的论文, 署名须征得合作者的同意。若因著作权而引起争议, 本刊不承担责任。对发现一稿多投或者有抄袭行为的文稿, 我们将在一年内拒绝收所有署名作者的投稿; 在三年内拒收其第一作者的投稿。
3. 来稿书写格式可参考已出版的《电子学报》。文中的量和单位请使用 SI 单位; 参考文献应是已公开出版的, 以便审者和读者查证。
4. 为了便于文稿评审, 来稿寄 3 份副本, 原件请作者自留。由于文稿评审程序和方式等原因, 本刊目前不接受 e-mail 投稿。

三、注意事项

1. 为了适应我国信息化建设需要, 扩大作者学术交流渠道, 本刊已加入“Chinainfo 电子期刊”《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。若作者不同意将文章编入上述数据库, 请在来稿时声明。
2. 在学术会议上宣读交流过的文稿, 不属于一稿多投, 但请予以说明。
3. 来稿请注明作者姓名、职务、工作单位、通信地址与联系电话。本刊对每篇来稿收取 100 元评审费。
4. 编辑部退返作者修改稿件一般不超过 4 个月, 逾期将按自动撤稿处理。特殊情部不能按时返回的稿件请事先与编辑部取得联系。
5. 编辑部收到来稿后 6 个月内就刊用意见答复作者, 未采用的稿件也在 6 个月内通知作者, 逾期作者可自行处理。
6. 来稿录用发排后将向作者收取版面费, 出刊后将作者每人一份赠刊及稿酬均寄往第一作者处。
若不有不同意见或建议, 欢迎随时向我们提出, 非常感谢!

编辑部地址: 北京海淀区玉渊潭南路普惠南里 13 号楼, 中国电子学会

通信地址: 北京 165 信箱, 《电子学报》编辑部, 邮政编码: 100036

电话: (010) 68279116; 68285082, Fax: (010) 68173796