

cdma2000 1x 前向功率分配分析

柴远波¹, 罗兴国¹, 季新生¹, 宋国文², 王月清³

(11 解放军信息工程学院信息技术研究所, 河南郑州 450002; 21 西南电子电信技术研究所上海分所, 上海 200434;

31 海军工程大学信息与电气学院, 湖北武汉 430033)

摘 要: 本文提出了一种在多径传输约束条件及不同的移动台运动速度条件下对前向信道链路进行功率分配的方法, 这是根据导频信道和业务信道之间各自信号强度的相关性合理地分配前向链路中的信道发射功率. 通过实验测试及理论推导, 本文给出了这种相关性曲线, 从而发现了最佳的导频信道功率, 它能够在满足 1% FER 时使总发射功率最小.

关键词: 功率分配; 码分多址 (CDMA); 系统容量

中图分类号: TN929. 533 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 10-1594-04

Analysis of Forward Power Allocation for CDMA2000 1x

CHAI Yuanbo¹, LUO Xingguo¹, JI Xinsheng¹, SONG Guowen², WANG Yueqing³

(11 University of information & engineering of PLA, Zhengzhou, Henan 450002, China;

21 Shanghai Department, Southwest Electronic & Telecommunication Technology Institute, Shanghai 200434, China;

31 University of Navy Engineering, Institute of Information & Electric, Wuhan, Hubei 430033, China)

Abstract: This paper proposes a method for allocating the transmit power on cdma2000 1x forward link channel under the conditions of multipath and different rate, i. e., based on the dependency that exists between the respective signal qualities of the pilot channel and traffic channels to allocate the forward link power reasonably. With laboratory test and theory deduction, the paper gives the graphics of their dependency, and then an optimal pilot signal quality is found which minimizes the total transmit power under the condition of 1% FER.

Key words: power allocation; code division multiple access (CDMA); system capacity

1 引言

第三代移动通信系统的设计要求支持多媒体业务, 如声音、视频、图像和数据等业务的传输^[1]. 然而由于各种业务在传输速率、业务质量 (QoS)、延时要求和接入优先级等方面的要求均不相同, 以及基带功率、多径传输和移动台运动速度等移动条件的限制, 则要求在发射端合理地分配导频、同步、寻呼及业务信道上的功率, 以便在确保各种业务质量的同时使系统容量达到最大. 因为 CDMA2000 1x 系统是自干扰系统或干扰受限系统, 所以干扰或发射功率的减少可直接转化为系统容量的增加^[2]. 由于 CDMA2000 1x 前向链路对连续发射的导频信号采用的是相干解调, 因而当导频信号越强时维持相同质量所需的业务信道功率就越少. 前向链路上减少干扰的一个最有效方法是在各个信道中采用最佳的功率分配^[3,4].

文献[3,4]中关于前向链路功率分配的研究主要是计算每个前向链路信道所需的最小功率. 每个前向链路均需要一定的信干比 (SIR: 在导频信道中表示为 E_c/I_t , 在业务信道中表示为 E_b/N_o ^[5]) 来维持所要求的误帧率 (FER) 和业务覆盖的

服务区域. 一般我们认为 FER 是 SIR 的递减函数, 在瑞利或莱斯衰落再加高斯白噪声 (AWGN) 的无线信道情况下, 文献[6,7]对不同移动台的速率分析过这种关系.

文献[3,4,8]关于前向信道功率分配的研究是假定每一信道所要求的 SIR 是已知和固定不变的, 并且假定业务信道 FER 与导频信道的 SIR 无关. 而实际上, cdma2000 1x 系统的导频信道的主要功能之一就是为前向链路提供相干解调, 如果导频信道 SIR 高于所要求的最小门限, 就能相干解调前向链路的信道; 导频信道 SIR 越高, 就越容易相干解调前向链路信道.

如果导频信号功率的增加值小于分配给业务信道的功率减小值, 则在更高的导频 SIR 情况下, 就可以减少总的发射功率, 从而达到改善系统性能的目的; 因此只要研究分析导频信道和业务信道之间的相关性, 就能够对前向链路的功率进行最佳分配.

本文中, 我们给出了在一定的实验测试条件下, 为了满足 1% FER 所需要的导频信道 E_c/I_t 与业务信道 E_b/N_o 之间的相关性, 然后我们利用这个相关性, 推导出了仍然满足所需业务

信道 E_b/N_0 的导频功率增加值与总业务信道功率减小值之间的平衡点,使用该平衡点的数据可以在 cdma2000 1x 系统的建立阶段对基站功率进行最优化设计,以及有效地改善小区边界的服务质量。

2 导频信道的 E_c/I_t 与业务信道的 E_b/N_0 之间相关性的实验

cdma2000 1x 系统前向链路采用了 QPSK 调制、编码及交织等技术^[9],移动台的解调使用了软判决解码的相干 RAKE 接收机^[10,11],为了确定这种关系,我们对 cdma2000 1x 系统前向链路进行了实验测试,如图 1 所示。这里使用了一个 cdma2000 1x 基站系统、一个移动台模拟器、一个信道模拟器、一个 AWGN 发生器和一个衰减器来对不同的移动环境进行模拟仿真^[12]。

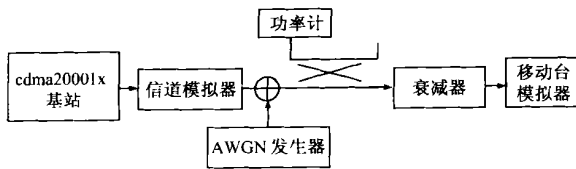


图1 导频信道 E_c/I_t 与业务信道 E_b/N_0 之间的相关性实验

在测试中,我们考虑了在不同的多径情况和运动速度的移动环境下,对以下几种不同的移动环境进行了测试:3-径/运动速度为 30km/h、3-径/运动速度为 100km/h、6-径/运动速度为 30km/h 以及 6-径/运动速度为 100km/h。

图 2 为测试得到的满足 1% FER 时的前向链路中接收到的导频信道 E_c/I_t 与业务信道 E_b/N_0 之间的关系。对于 6-径的情况,在两种不同运动速度条件下得出的结果非常相似,其曲线基本重合,所以图中仅画出运动速度为 30km/h 时的曲线。业务信道要求的 E_b/N_0 不仅随导频信道 E_c/I_t

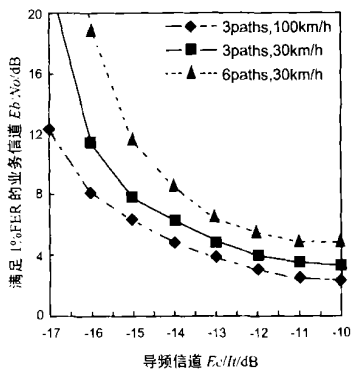


图2 前向链路中满足 1% FER 时的业务信道 E_b/N_0 作为导频 E_c/I_t 的函数

变化而变化,而且它还随移动环境(多径衰落)和移动台运动速度的变化而变化,这里的结论与文[11]的结论是吻合的。图中三条曲线的共同趋势是:导频信道的 E_c/I_t 越高,满足 1% FER 的业务信道要求的 E_b/N_0 越低;当导频 E_c/I_t 从 -17dB 增加到 -14dB 时, E_b/N_0 迅速下降,然后逐渐趋于稳定。我们将根据此结论对前向链路中的各信道功率进行最佳分配。

3 前向链路功率分配的分析

所受干扰的大小限制了 CDMA 系统的容量,因此在保证每个信道具有一定 SIR 的前提下应该尽量减小发射功率。从

而使得系统所受的干扰最小以获取最大的系统容量。每个信道的发射功率必须达到保证该信道 SIR 的门限,即:

$$E_i/N_0 \geq Q \quad (1)$$

其中 E_i 表示每码片或比特的接收信号能量(对导频信道来说是码片能量 E_c ,对其他信道来说是比特能量 E_b), Q 表示每个信道要求的最低 E_i/N_0 (对于导频信道即为 E_c/I_t),即 $Q = (E_i/N_0)_{\text{req}}$, i 表示不同类型的信道,包括 TR(业务)、PI(导频)、SY(同步)、PA(寻呼)、QP(快速寻呼)、BC(广播控制)、CC(公共控制)、CA(公共指配)、CPC(公共功率控制)、TDPI(发送分集导频)、API(辅助导频)、ATDPI(辅助发送分集导频)等信道。 N_0 是总的噪声谱密度,包括热噪声和总干扰功率频谱密度,定义为^[9]:

$$N_0 = k_f I_0 + G_0 = k_f \frac{S}{W} + G_0 \quad (2)$$

其中 k_f 是干扰因子, I_0 是接收到的本小区前向链路总功率频谱密度, G_0 是移动台接收机的热噪声功率频谱密度, W 是扩频带宽, S 是接收到的本小区前向链路总功率。

在第 M 个业务信道建立之前,系统已建立起 $M-1$ 个用户的业务信道,而此时第 M 个用户的业务信道尚未建立起来。这个阶段,前向链路总发射功率将在导频信道(包括 PI、TDPI、API、ATDPI)、开销信道(包括 SY、PA、QP、BC、CC、CA、CPC 等)和 $M-1$ 个用户的业务信道之间进行分配。此时接收到的本小区前向链路总功率为:

$$S = \sum_{i=1}^Q R_i E_i + A(M-1) K_{pc} R_{TR} E_{TR} \quad (3)$$

其中, Q 表示不同类型的信道总数,是动态变化的。上式右边第一项是无干扰时接收到的本小区前向链路导频及开销信道的功率,其中 R_i 是各个信道的发射比特速率;第二项是无干扰时接收到的本小区前向链路总业务信道功率,其中 A 是前向链路平均话音激活因子, k_{pc} 是前向链路功率控制因子。引入功率控制因子 $k_{pc} [1]$ 的原因是考虑到大多数移动台并不是位于小区边缘,而且基站采用了前向链路功率控制。当式(1)取等号时,就可以求得每个信道所要求的最小接收能量为 E_i^* 。并且联立等式(2)和(3),则有:

$$E_i^* = Q N_0 = Q(k_f I_0 + G_0) = \frac{Q G_0}{D} \quad (4)$$

$$D = 1 - k_f \left[\sum_{i=1}^Q \frac{Q}{(PG)_i} + A(M-1) k_{pc} \frac{Q_R}{(PG)_{TR}} \right] \quad (5)$$

其中 $(PG)_i$ 为每个信道的处理增益^[6]。由式(4),每个信道 i 要求的最小发射功率是 P_i^* :

$$P_i^* = S_i^* / L_T(R) = E_i^* R / L_T(R) = \frac{Q N_m L_T(R)}{D (PG)_i} \quad (6)$$

其中 R 是小区半径, $L_T(R)$ 是移动台位于小区边界处时的路径损耗, $N_m = G_0 W$ 是移动台接收机的有效热噪声功率。

由于 cdma2000 1x 系统前向链路的信道种类较多而且使用灵活,在进行功率分配分析时,如果将所有信道考虑在内,分析和计算起来将会十分繁琐,因此这里我们对所分析的模型进行简化。基站的总发射功率在导频信道、开销信道和业务信道之间分配。在导频信道中,前向导频信道最重要,其他三

种导频信道并不总是存在,而是与基站是否采用了发射分集或智能天线等技术有关且所占比例很小,这里只考虑前向导频信道。开销信道中的公共指配信道、公共控制信道、广播控制信道、公共功率控制信道和快速寻呼信道只在每个业务信道建立之前存在,而在该业务信道建立起来后就释放了;当第 M 个用户的业务信道建立起来之后,虽然在下一个用户业务信道建立之前仍然会用到这些开销信道,但由于它们的发射功率只存在于短时间内,对功率分配的影响是瞬时的,因此在下面的分析中,也将忽略这些信道的影响。

由以上分析可以得到第 M 个用户的业务信道建立之前的一段很短的时间内,各信道的最低发射功率为:

$$P_i = \frac{Q_N m L_T(R) / (PG)_i}{D} \quad (7)$$

对于 cdma2000 1x 系统而言,相比于 IS295 系统增加了许多新的信道。在激活用户数为 M 时,信道类型 i 包括导频 (PI)、同步 (SY)、寻呼 (PA) 以及其他的开销信道和业务 (TR) 信道。接收到的本小区前向链路总功率为:

$$S = \sum_{i=1}^Q R_i E_i + A M k_{pc} R_{TR} E_{TR} \quad (8)$$

上式右边前一项表示接收到的本小区的包括前向链路导频和开销信道功率,后一项表示接收到的本小区前向链路总的业务信道功率。由式 (7) 可得到前向链路在满足服务质量的条件下各信道的最低发射功率。其中,

$$\text{业务信道: } P_{TR} = \frac{Q_N m L_T(R) / (PG)_{TR}}{D} \quad (9)$$

总业务信道发射功率:

$$P_{TTR} = M k_{pc} A P_{TR} = \frac{M k_{pc} A Q_N m L_T(R) / (PG)_{TR}}{D} \quad (10)$$

$$\text{总发射功率: } P_{\text{total}} = \sum_{i=1}^Q P_i + P_{TTR} \quad (11)$$

如果假定 Q_N 和 Q_{PA} 是常数,当 Q_{PI} 和 Q_{TR} 给定时,从式 (7) 和式 (9) 得到的功率分配方法能使式 (11) 最小并满足式 (1) 要求的 SIR。但是,参见图 2 所示, Q_{TR} 和 Q_{PI} 是相关的,因此 Q_{PI} 的选择将影响到 Q_{TR} 和功率分配。在接下来的分析中,将寻找能使总发射功率最小的 Q_{PI} 值。

4 由导频信道和业务信道的相关性得到的最佳功率分配

在下面的数字实例中,我们假设小区内 20 个位于小区边界的用户^[3],利用表 1 给出的参数值,分析计算出最佳的功率分配。

4.1 给每个信道分配最小功率的条件

图 2 表明,满足 1% FER 要求的业务信道 SIR (E_b/N_0) 随接收到的导频信道 SIR (E_c/I_t) 的变化而变化,用图 2 中的 E_c/I_t 替代式 (9) 中的 Q 就可以得到每个信道的发射功率 P_i ,它是导频 E_c/I_t 的函数。图 3 和图 4 表明导频信道发射功率分别是导频信道 SIR (E_c/I_t) 的函数。其中我们假设 Q_{PA} 和 Q_{SY} 是与 Q_{PI} 无关的常数并已在表 1 中给出。图 3 表明,尽管 Q_{PI} 增加,分配到导频信道的功率不一定增加,这是因为增加 Q_{PI} 所引起

的 Q_{TR} 的下降减小了分配给业务信道的功率,也削弱了导频功率。在 -12dB 到 -14dB 附近,导频功率达到最小。三种移动环境下的最小导频功率分别为 12.03dBm、15.16dBm 和 18.4dBm。图 4 显示,随着 Q_{PI} 的增加,分配给业务信道的功率迅速下降,直到 Q_{PI} 为 -12dB。当 Q_{PI} 大于 -12dB 时,业务信道功率随着 Q_{PI} 的增加而增加。图 5 描述在不同的移动环境中,当 Q_{PI} 为 -11dB、-12dB、-13dB 时,总功率达到最小值,当运动速度为 30km/h 时, Q_{PI} 的最佳值为 -11dB 或 -12dB。如果运动速度为 100km/h,则, Q_{PI} 的最佳值为 -12dB 或 -13dB。对于高速移动情况, Q_{PI} 在 -12dB 附近都不会引起发射功率急剧上升。

表 1 基于 cdma2000 1x 标准的前向链路典型参数值

* 参数	取值	参数	取值
W	1.2288MHz	Q_{PA}	5.5dB
A	0.4	Q_{SY}	5.5dB
k_{pc}	1	$(PG)_{TR}$	128
k_f	2.778	$(PG)_{PA}$	256
$L_T(R)$	127.5dB	$(PG)_{SY}$	1024
N_m	-105dBm	$(PG)_{PI}$	1

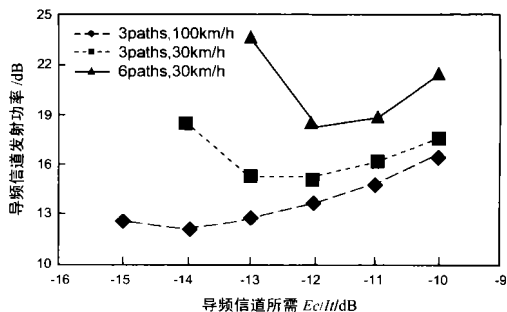


图 3 导频信道发射功率与导频所需 E_c/I_t 的函数关系

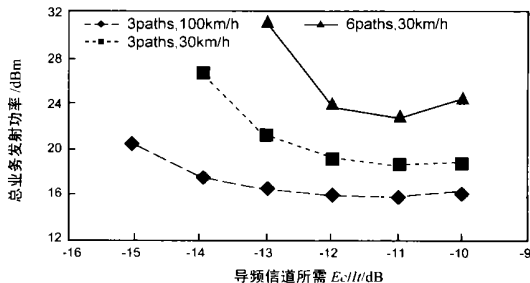


图 4 业务信道总发射功率与所需导频 E_c/I_t 之间的函数关系

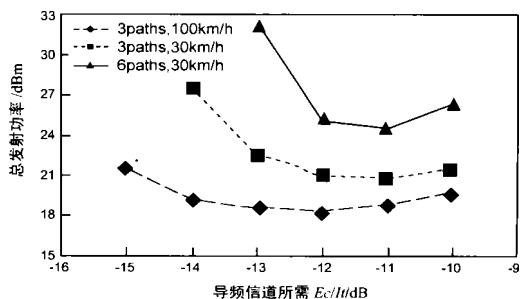


图 5 总发射功率与所需导频 E_c/I_t 之间的函数

4.1.2 发射功率和激活用户数的关系

下面讨论导频 $SIR(E_c/I_t)$ -16dB 到-10dB 的范围内,总发射功率与业务负载的函数关系,与前面假设的条件一样,这里讨论三种移动环境.图6是在3径和30km/h运动速度条件下的结果.在几乎整个业务负载范围内,当 Q_{th} 选为-12dB 和-11dB 时要优于其他值,同时也能达到最大的系统容量.图7给出了在3径和100km/h运动速度条件下的结果, Q_{th} 的最佳值为-11dB 或-12dB.图6和图7的每一条曲线都显示了相似的趋势,即当激活用户数增加时,功率也要增加.所有的图形都显示当导频 $SIR(E_c/I_t)$ 等于-11dB 或-12dB 时,总发射功率几乎总是达到最小值,因此,导频 E_c/I_t 可以设置为-11dB 或-12dB 时,以使基站总的发射功率最小.

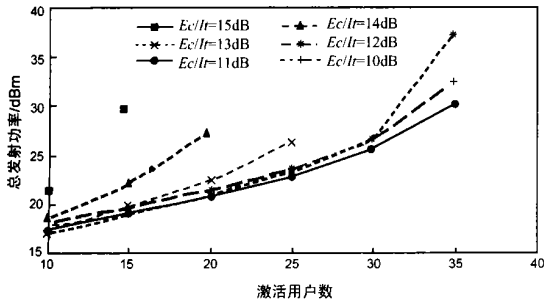


图6 3径、30km/h 移动速度条件下的总发射功率

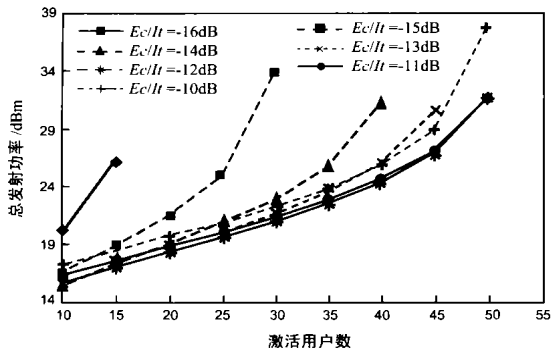


图7 3径 100km/h 移动速度条件下的总发射功率

5 结论

我们通过仿真实验得出三种移动环境下 cdma2000 1x 系统前向链路的导频信道和业务信道的信号强度之间存在的相关性曲线,并结合前向链路各信道发射功率的表达式,发现了能使前向链路总发射功率最小的导频信号强度:-11dB 或-12dB.当导频信号强度为-11dB 或-12dB 时,激活用户数越多,导频功率所占比例越小,而总业务信道功率所占比例越大.

参考文献:

- [1] ITU-T M. 6822, International Mobile Telecommunication 2000 (IMT 2000) [R].
- [2] K S Gilhousen. On the capacity of a cellular CDMA systems [J]. IEEE Trans. Veh. Technol., 1991, 40(2): 303-312.

- [3] D Kim. Down link power allocation and adjustment for CDMA cellular systems [J]. IEEE Commun Letters, July 1997. 1(4): 96-98.
- [4] J S Lee, L E Miller. Dynamic allocation of CDMA forward link power for PCS and cellular systems [C]. Proc 2nd CDMA Intern. Conf., Oct. 1997. 95-99.
- [5] J S L., L E Miller. CDMA Systems Engineering Handbook [M]. Artech House. 1998.
- [6] TIA/EIA IS295, Mobile Station 2 Base Station Compatibility Standard for Dual Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System [S]. 1993.
- [7] ANSI 2 STD 2008, Personal station 2 base station compatibility requirements for 1.8 to 2.0 GHz code division multiple access (CDMA) personal communications systems [R]. Mar. 1995.
- [8] M Wallace, R Walton. CDMA Radio Network Planning [J]. IEEE Vehic. Tech. Conf., 1994. 62-67.
- [9] 3GPP2 C. S0002A, Physical Layer Standard for CDMA2000 Spread Spectrum Systems [S].
- [10] QUALCOMM CDMA Technologies, MSM5100 Device Specification [Z]. 800v011021 Rev. A.
- [11] S Ratanamahatana, H M Kwon. Channel Estimation for Power Controlled 3G CDMA [C]. IEEE VTC2000, 2429-2433.
- [12] 中华人民共和国信息产业部发布实施. 800MHz CDMA 数字蜂窝移动通信网设备总测试规范: 基站部分 [S]. 2002-02-29.

作者简介:



柴远波 男, 1965 年 9 月生于浙江江山, 1996 年 1 月获解放军信息工程学院硕士学位, 1999 年 3 月入解放军信息工程大学攻读博士学位, 研究方向为移动通信、CDMA、智能天线和卫星通信; 有合著专著一部, 已发表论文近 20 篇.



罗兴国 男, 1951 年 12 月生于重庆, 国家数字交换系统工程技术研究中心总工程师, 解放军信息工程学院教授、博士生导师, 政府特殊津贴享有者, 主要研究方向为数字通信、移动通信.

季新生 男, 1968 年 6 月生于河南新乡, 1991 年获解放军信息工程学院硕士学位, 国家数字交换系统工程技术研究中心副教授, 主要研究方向为移动通信.

宋国文 男, 1942 年 2 月生于上海市崇明县, 西南电子电信技术研究所上海分所研究员, 博士生导师, 主要研究方向为多媒体通信与 3G 通信关键技术.

王月清 女, 1963 年 11 月生于河南省巩义, 1989 年 6 月获得电子科技大学电磁场与微波专业工科博士学位, 海军工程大学信息与电气学院副教授, 研究方向为移动通信、微波与电磁场理论、隐身技术和信息作战, 发表了十几篇学术论文, 并有合著一部.