

## 准同步宽带CDMA卫星移动通信分析

郝学坤, 马文锋, 张更新, 马刈非

(解放军理工大学通信工程学院 南京 210007)

**【摘要】**理想同步CDMA系统具有很高的容量,然而在卫星移动环境下很难实现,一般采用准同步系统。该文首先仿真分析了准同步误差对宽带CDMA卫星移动通信的影响,发现CDMA系统在准同步的条件下性能有明显改观,也就是说在相同条件下能大大提高系统容量。然后针对卫星移动环境提出了一种准同步实现策略,并对其可行性进行了论证。通过分析可以看出该策略是可行的,并且轨道越高实现越容易。

**关键词** 准同步; 卫星移动通信; 多普勒; 宽带码分多址

中图分类号 TN927 文献标识码 A

## Analysis of Quasi-Synchronous Broadband CDMA Mobile Satellite Communication

Hao Xuekun, Ma Wenfeng, Zhang Gengxin, Ma Yifei

(Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology Nanjing 210007)

**Abstract** The system of synchronous CDMA has large capacity, however it is difficult to implement in mobile satellite condition. So we consider establishing quasi-synchronous system. In this paper, the effect of quasi-synchronous error to broadband CDMA mobile satellite system is analyzed through computer simulation. The performance of CDMA system is improved distinctively in the condition of quasi-synchronous. This paper presented one strategy to realize quasi-synchronous in satellite environment, and discussed its feasibility. After analysis, we find that this strategy is feasible and implemented easier with the increase of orbit elevation.

**Key words** quasi-synchronous; mobile satellite communication; doppler; broadband CDMA

宽带卫星移动通信将成为未来通信发展的一个方向,其特有的覆盖特性将逐渐被大众所接受。然而卫星小区相对地面蜂窝来说是非常的大,因此如何解决小区容量问题是面临的一个挑战。

CDMA系统是一个自干扰系统,但是在同步CDMA系统中可以利用相互正交的地址码来消除这种干扰。在第三代移动通信系统(IMT-2000)中,地面TD-SCDMA方案采用同步CDMA技术作为提高系统容量的一种方法。然而在卫星移动环境下,由于具有大的传输时延、多普勒频移等特点,实现同步CDMA技术非常的困难,因此,本文采用准同步CDMA方案。

### 1 准同步误差对宽带CDMA卫星移动通信影响的仿真分析

#### 1.1 宽带卫星移动通信信道

目前,国内外针对窄带卫星移动通信(平坦衰落)研究的比较多,同时各种模型也比较成熟,而对宽带卫

收稿日期: 2003-02-20

基金项目: 国家863计划资助项目(863-317-03-06-99)

作者简介: 郝学坤(1976-),男,博士生,主要从事卫星移动通信关键技术方面的研究。

星移动信道(频率选择性衰落)的研究尚属于起步阶段。宽带信道模型采用抽头延迟线模型,如图1所示,其中 $s(t)$ 为发送信号, $r(t)$ 为接收信号。时延参数和衰落参数来自于实测<sup>[1]</sup>,实测参数见表1,其中 $k$ 为莱斯因子, $\sigma^2$ 为瑞利分布方差。

第 $k$ 个用户 $L$ 个子信道的等效低通信号可以表示为:

$$r_{kl}(t - t_l) = a_l e^{-jq_l} u_l(t - t_l) + n_l(t - t_l) \quad l=0, 1, \dots, L-1 \quad (1)$$

式中  $t_l$  表示第 $l$ 个子信道的时延,  $\{a_l e^{-jq_l}\}$  表示第 $l$ 个子信道的衰减因子和相移,  $n_l(t - t_l)$  为第 $l$ 个子信道的加性白高斯噪声,其均值为零,功率谱密度为 $N_0$ 。

表1 市区卫星移动通信环境下实测参数<sup>[1]</sup>

抽头时延线	时延/ns	幅度分布	分布参数	值/dB
1	0	莱斯	$k$	5.2
		瑞利	$2\sigma^2$	-12.1
2	60	瑞利	$2\sigma^2$	-17.0
3	100	瑞利	$2\sigma^2$	-18.3
4	130	瑞利	$2\sigma^2$	-19.1
5	250	瑞利	$2\sigma^2$	-22.1

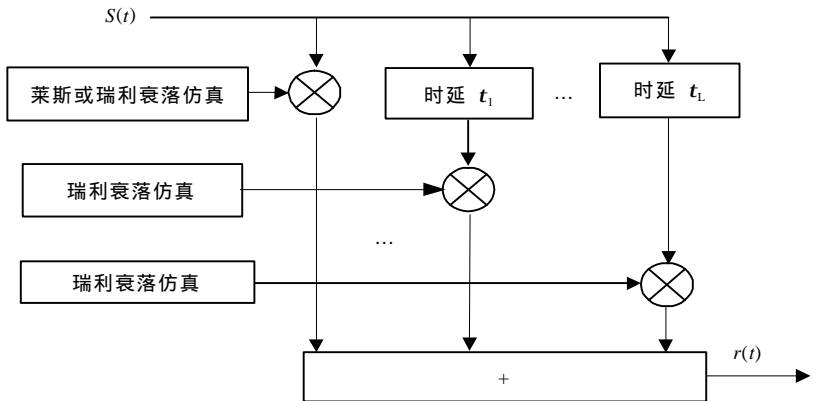


图1 频率选择性衰落信道模型

在卫星高度800 km、仰角40°、载波频率2 GHz、频带宽度40 MHz时,某时刻市区莱斯频率选择性衰落仿真结果如图2所示。

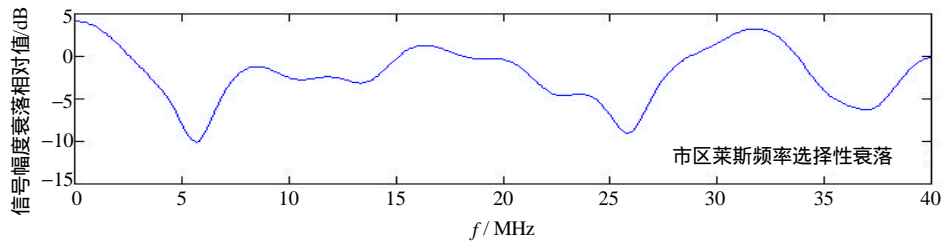


图2 仿真的市区莱斯频率选择性衰落信道频谱特性

### 1.2 同步误差影响

本文考虑三种地址码： $m$ 序列、Walsh/PN级联码<sup>[2]</sup>、优选Gold码(P-Gold)<sup>[3]</sup>。

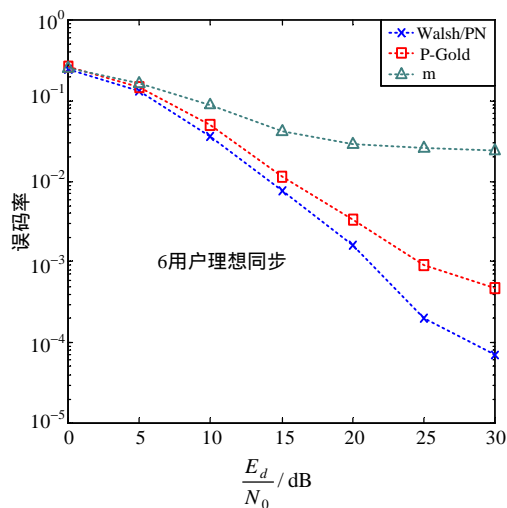


图3 地址码对系统性能的影响

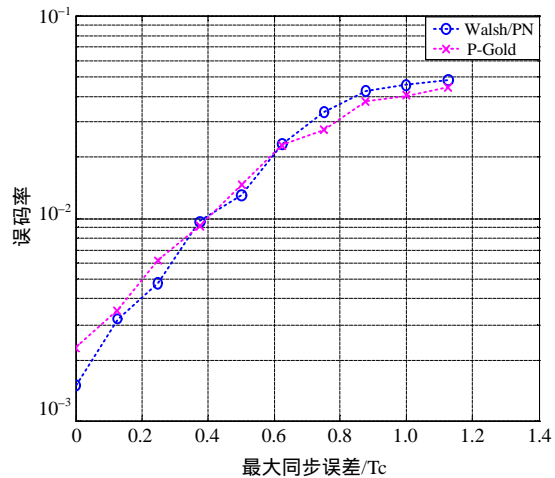


图4 同步误差对系统性能的影响

图3仿真了在市区莱斯频率选择性衰落环境、扩频增益为16时,6用户理想同步系统的误码性能。可以看出:1) 卫星移动信道多径效应对各种地址码都有较大的影响。随着信噪比的增加,系统性能趋向于一个定值。2) Walsh/PN级联码、优选Gold码性能大大优于仅由*m*序列区分用户的系统。3) 在理想同步情况下,Walsh/PN码性能略优于P-Gold码。

图4仿真了在市区莱斯频率选择性衰落环境、 $E_b/N_0=25$  dB、扩频增益为16时,14用户系统在存在同步误差时性能变化曲线。由图4看出:同步误差对CDMA系统的影响非常明显,因此采用准同步CDMA技术将会极大的提高系统容量。

## 2 准同步策略及可行性分析

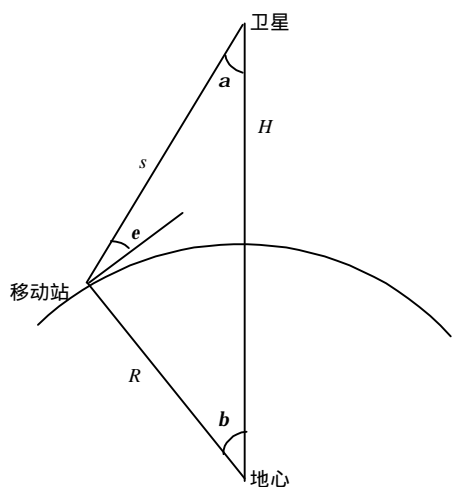


图5 卫星与移动站基本几何关系

### 2.1 卫星移动通信中时延及频偏估计

本文将讨论我国某低轨星座系统参数如表2所示。

1) 假定移动站不动,本文仅考虑由卫星运动引起的时延及频偏变化。

由图5,可知各参数之间的数学关系为:

$$s = \sqrt{R^2 + (R + H)^2 - 2R(R + H) \cos b} \quad (2)$$

其中

$$b = \frac{\pi}{2} - e - a \quad a = \arcsin\left(\frac{R}{R + H} \sin\left(e + \frac{\pi}{2}\right)\right)$$

传输时延:  $t_{td} = \frac{s}{c_0}$ , 传输时延变化率

$$\frac{dt_{td}}{dt} = \frac{1}{c_0} \frac{ds(t)}{dt} = \frac{f_d}{f_c} \quad (3)$$

多普勒频移:

$$f_d = \frac{f_c}{c_0} \frac{ds(t)}{dt} = \frac{f_c (R + H) R w_r \sin b(t)}{c_0 \sqrt{R^2 + (R + H)^2 - 2R(R + H) \cos b t}} \quad (4)$$

式中  $w_r = \sqrt{w_s^2 + w_e^2 \cos^2 f - 2w_e w_s \cos i}$ ,  $w_s = \sqrt{m/(R + H)^3}$ ,  $f$ 为纬度,  $i$ 为轨道倾角,  $w_e$ 为地球自转角速度。式(4)对时间*t*求导可得多普勒频漂为:

$$\frac{df_d}{dt} = \frac{w_r^2 (R + H) R f_c}{c_0} \left[ \frac{\cos b}{\sqrt{R^2 + (R + H)^2 - 2R(R + H) \cos b}} - \frac{R(R + H) \sin^2 b}{\sqrt{R^2 + (R + H)^2 - 2R(R + H) \cos b}^3} \right] \quad (5)$$

表2 中国某低轨星座系统参数

轨道高度/km	轨道倾角/(°)	轨道数	每轨道卫星数	最小仰角/(°)
1 450	35	6	4	20

根据式(2)~(5)可以得出中国低轨星座系统中××地区为最远小区时的时延与频偏值,如表3所示。

表3 中国某低轨星座系统中××地区为最远小区时的时延与频偏值

最近距离/km	最远距离/km	最小时延/ms	最大时延/ms	最远小区内与中心点最大时延差/ms	时延变化漂移/ $\mu\text{s}\cdot\text{s}^{-1}$	频偏范围/kHz	频漂范围/ $\text{Hz}\cdot\text{s}^{-1}$
1 450	2 854.2	4.8	9.5	+1.07/-0.93	17.01	+/-34.03	166.70

2) 仅地面移动站运动引起多普勒频移变化分析,本文只分析多普勒频移变化最大情况,即移动站在地

面沿着指向卫星星下点方向运动。

假定车速为  $v = v_0 + at$  , 其中  $v_0$  为初始速度,  $a$  为加速度, 则有:

$$\frac{db}{dt} = \frac{v}{R} \quad (6)$$

因为有关系式:

$$\frac{(R+H)}{\sin(\frac{\pi}{2} + e)} = \frac{R}{\sin a} \quad (7)$$

式中  $a = \frac{\pi}{2} - b - e$  , 对(7)式两边对  $t$  求导可得:

$$\frac{de}{dt} = \frac{(R+H)\sin(b+e)}{R\sin e - (R+H)\sin(b+e)} \times \frac{v}{R} \quad (8)$$

移动站运动引起多普勒频移变化率为:

$$\frac{df_{md}}{dt} = -\frac{vf_c}{c_0} \sin e \frac{de}{dt} + \frac{af_c}{c_0} \cos e = -\frac{vf_c}{c_0} \times \frac{(R+H)\sin(b+e)\sin e}{R\sin e - (R+H)\sin(b+e)} \times \frac{v}{R} + \frac{af_c}{c_0} \cos e \quad (9)$$

由式(7)可得:  $\sin(b+e) = \sqrt{1 - R^2 \cos^2 e} / (R+H)^2$  , 并代入式(9)可得:

$$\frac{df_{md}}{dt} = -\frac{vf_c}{c_0} \times \frac{\sin e \sqrt{(R+H)^2 - R^2 \cos^2 e}}{R\sin e - \sqrt{(R+H)^2 - R^2 \cos^2 e}} \times \frac{v}{R} + \frac{af_c}{c_0} \cos e \quad (10)$$

假定地面移动站移动速度为 100 km/h, 移动站加速度为 0.5 m/s<sup>2</sup>, 由式(10)可算出不同仰角时, 多普勒频漂(假定轨道高度为 1 450 km)如表4所示。

表4 不同仰角下地面站移动引起多普勒频漂

仰角/(°)	10	20	45	60	75	90
频漂/Hz·s <sup>-1</sup>	3.283 0	3.132 8	2.359 0	1.669 7	0.866 7	0.004 4

## 2.2 准同步实现策略

传输路径上的时延漂移是实现CDMA系统准同步面临的主要困难, 本文采取一种可以称之为时延漂移预补偿的方法来实现系统的准同步。具体方法是: 根据估计的多普勒频偏对时延进行预补偿, 并结合跟踪控制环实现系统反向链路的准同步。但是由于频率漂移的存在, 将会存在时延估计误差, 如果时延过大, 必将造成定时跟踪控制环的失锁, 具体分析如下。

频漂产生原因:

- 1) 卫星高速运动;
- 2) 地面移动站低速移动。

跟踪补偿方法: 在  $[0, t]$  时间内估计的时延变化为:  $\frac{f_d t}{f_c}$ 。如果不存在频率漂移, 即存在一个固定的频偏

那么时延变化率是一常数, 移动站完全可以根据该时延变化率实现反向链路同步。

存在固定频漂时, 在  $[0, t]$  时间内实际时延变化为:

$$\frac{f_d t}{f_c} + \int_0^t \frac{\Delta f_0}{f_c} dt$$

所以系统同步误差为:

$$\int_0^t \frac{\Delta f_0}{f_c} dt = \frac{\Delta f_0 t^2}{(2f_c)}$$

式中  $\Delta f_0$  为固定频漂,  $t$  为观察时间,  $f_c$  为载波频率,  $f_d$  为 0 时刻多普勒频偏。我们假定系统要求的最大

同步误差为  $\Delta f_{\max}$ ，则系统跟踪的失锁时间为： $t_l = \sqrt{2f_c \Delta f_{\max} / \Delta f_0}$ 。

### 2.3 可行性分析

本文假定准同步系统误差范围小于  $0.1 T_c$ ，系统码片速率为  $3.84 \text{ Mchip/s}$ ，帧长  $20 \text{ ms}$ 。最低仰角  $10^\circ$ 。估算过程如表5所示，估算过程中综合考虑卫星运动和地面站运动引起的最大频漂变化率，考虑最恶劣的条件，也就是频漂变化率为两者之和。

由表5中可以看出，对于ICO中轨系统，系统失锁时间  $1.95 \text{ s}$  远大于环路跟踪时间  $116 \text{ ms}$ ；对于中国某低轨星座低轨系统，系统失锁时间相对于环路跟踪时间而言，也留有很大的余量。

表5 准同步可行性估算

系统	ICO中轨卫星系统	中国某星座系统
轨道类型	中轨	低轨
最长路经时延/ms	48.0	9.50
环路跟踪控制时间/ms	116	39
卫星运动引起最大频漂变化率/ $\text{Hz}\cdot\text{s}^{-1}$	4.05	166.70
移动台运动引起最大频漂变化率/ $\text{Hz}\cdot\text{s}^{-1}$	3.282 8	3.282 9
晶振频率稳定度/ $p \times 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$	0.01	0.01
系统跟踪失锁时间/s	1.95	0.74

## 3 小结

通过仿真分析准同步误差对宽带CDMA卫星移动通信的影响，本文发现CDMA系统在准同步的条件下性能有明显改观，也就是说在相同条件下能大大提高系统容量。然后针对卫星移动环境提出了一种准同步实现策略，并对其可行性进行了论证。通过分析可以看出该策略是可行的，并且轨道越高实现越容易。通过本文的分析可以看出在卫星移动环境下利用准同步CDMA技术来提高系统容量是可能的，可以作为解决卫星小区容量受限问题的一种方案。

### 参 考 文 献

- [1] DLR A J. Propagation characteristics for land mobile satellite systems from L-band to EHF-band[C]. In: German Aerospace Center, Institute for Communications Technology, Germany, 1999
- [2] Fong M H, Wang Q, Bhargava V K. Concatenated orthogonal/PN codes for DS-CDMA system in a multipath fading environment[J]. IEEE Globecom, 1994: 1 642-1 646
- [3] Gaudenzi R D, Elia C, Viola R. Band limited quasi-synchronous CDMA: a novel satellite access technique for mobile and personal communication systems[J]. IEEE JSAC, 1992, 10(2): 328-343

编 辑 徐安玉