

# 自适应纠错编码抗衰减对策研究

翁木云<sup>1</sup>, 陈长兴<sup>2</sup>, 梁俊<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要:**在 Ka 及以上高频段卫星通信系统中,下行链路采用自适应纠错编码作为抗衰减对策将是一种很好的选择。文中首先给出了自适应纠错编码抗衰减系统的总体方案;提出了将收缩码与 RS 码加交织构成的自适应级联码作为前向纠错编码方式,能保证绝大部分地区卫星下行链路 99.8% 的系统可用度;最后对自适应编译码选择方案的实现进行了说明。

**关键词:**自适应抗衰减对策;自适应纠错编码;级联码;应用方案

**中图分类号:** TN927.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1009-3516(2004)01-0048-04

Ka(20/30 GHz)及以上高频段卫星通信系统具有广阔的发展前景,然而高频段链路主要是雨衰很严重,必须采用抗衰减对策。从理论上讲,对抗衰落的过程就是信号在地空链路上损失多少分贝,发射端就将信号功率补偿多少分贝。然而,在实际的卫星通信系统中,上行链路可以通过调整地球站发射功率来补偿衰落的影响,而下行链路就要考虑到卫星是功率受限系统,用增大功率来补偿衰落是非常困难的。而且,更为重要的一点是,根据 Ka 波段衰减预测分析的结果可以知道,在不同的气候区链路的降雨衰减有很大差异,而且,在同一气候区,不同时刻,随着环境气候及降雨的变化,雨衰强度的差别很大。以 OLYMPUS 卫星 Ka 频段测量为例,晴天时衰减大约为 1~2 dB,而降暴雨时,信号的衰减最大可能超过 25 dB。如果以固定的系统余量去克服衰减的影响,那么晴空时就会造成功率资源的巨大浪费,而在高衰减情况下又无法得到完全的补偿,使系统性能恶化,甚至造成通信中断。这就要求采用自适应抗衰减对策(Adaptive Fade Countermeasures - AFCM),自适应抗衰落对策能根据天气条件,气候环境的变化而变化,使得接收信号电平维持在正常功率水平,而又尽可能减少对系统其它性能的影响。

自适应抗衰减对策(AFCM)是系统可靠性和经济性的综合考虑和折衷,其核心思想就是自适应资源共享,这些资源可以是带宽、时隙或功率。一般来讲,自适应抗衰减技术包括自适应调制、自适应编码、自适应功率控制和自适应 TDMA。这些方法各有其优缺点。在 Ka 频段卫星通信系统中,单独采用某一种方法可能并不能完全有效的对抗整个链路的衰减。因此,对上行链路和下行链路分别采用不同的抗衰减对策,上行链路采用开环功率控制技术,下行链路采用自适应纠错编码(Adaptive Forward Error Correction, AFEC)技术,总体形成一个完整的 Ka 频段卫星通信系统最优化自适应抗衰减对策<sup>[1]</sup>。

自适应前向纠错编码(AFEC)的基本思想就是:随着卫星下行链路衰减的变化,发端地球站切换纠错编码方案来改变编码方式和码率,接收地球站相应改变译码方式以获得不同深度的编码增益,来补偿不同的降雨衰减,提高信道的传输质量。研究表明 AFEC 是一种有效的下行链路抗衰减对策。

## 1 抗衰减系统

自适应纠错编码抗衰减系统方案如图 1 所示,接收站的信道质量检测部分通过监测下行链路信号的误码率或接收功率电平来判断接收站衰减的大小,将检测结果一方面发送给发端地球站,用以控制发端地球站的可变速率编码器采用那种纠错编码方式;另一方面控制本站的可变速率译码器使之与发端站对应。不同

收稿日期:2003-06-23

基金项目:总装国防科技重点实验室基金资助项目(00JS63.4.1.JB3203)

作者简介:翁木云(1970-),男,湖南岳阳人,讲师,博士生,主要从事卫星通信与图像跟踪研究。

的纠错编码方式具有不同的编码增益,正好补偿接收站的下行链路信号衰减,从而提高信道的传输质量。纠错编码方案根据接收信号衰减程度的不同而改变的目的是:在满足链路传输质量的同时,尽量提高有效信息的传输容量。

如当地球站 B 下雨时,其信道质量检测部分检测到下行链路信号受到衰减影响,用检测结果控制码率选择部分改变本站的可变码率译码器的码率;同时将衰减信息通过反向卫星信道(B 站的上行链路)传送给发端地球站 A,改变 A 站的可变码率编码器的码率,以满足对编码增益的需要,从而实现自适应纠错编码。这里认为 B 站的上行链路采用自适应功率控制抗衰减措施(或其它抗衰减对策),能够正确的将 B 站下行链路的衰减信息传送给 A 站<sup>[2]</sup>。

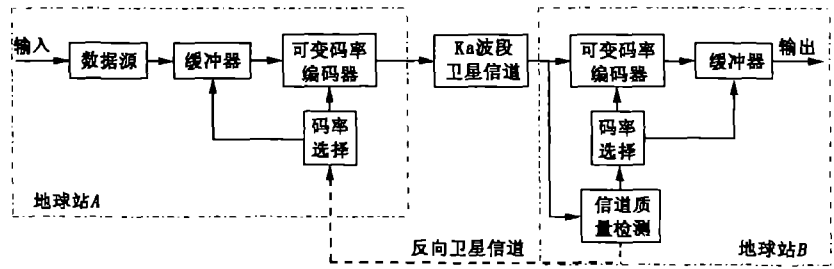


图 1 自适应纠错编码抗衰减系统框图

本系统中采用可变码率的编译码方式是针对系统可用度的要求,利用不同深度的编码增益来抵消不同的下行链路衰减值。因此,要求所选的可变码率编码方案具有自适应性,并且编码增益能够在一个较宽的范围内变化。

通常在卫星通信系统工程设计中,规定链路允许有一个由衰落造成的中断时间,这个时间不超过一年(或一年中最坏月份)的一个小百分数,如 0.5% 或 0.1%,通过估计不超过这个时间的衰减值而确定链路预算中的衰减储备。系统可用度与所需衰减余量之间的关系与中断概率点上对应不同衰减量的关系是等价的(这里指的中断概率是由雨衰引起的)。例如在中断概率为平均每年 0.1% 时间的雨衰值为 20 dB,那么可以说当系统有 20 dB 的衰减储备余量时,链路中断概率为 0.1%,而在一年中其余 99.9% 的时间,链路是可用的。这里,以我国雨衰很严重的地区海口为例,分析其下行链路(20 GHz)可用度对应的衰减储备余量。如图 2 所示。

可以看出,维持 99% 下行链路的系统可用度,需要 5 dB 的雨衰储备余量;维持 99.5% 可用度,所需储备余量为 7.87 dB;要维持 99.9% 的链路可用度,则需要 18.9 dB 的储备余量。

因此,一个较为合适的抗衰减方案可以利用固定的衰落余量和不同深度增益的纠错编码技术来实现。假设系统可用度的最低要求为 99%,用 5dB 的固定衰减储备余量即可满足。在此基础上,再要提高系统可用度到 99.5% 和 99.9% 则分别需要低增益(2.87 dB)的编码和高增益(13.9 dB)的编码来满足。从另一方面考虑也即在保证 99.9% 的系统可用度的情况下,高增益编码只占 0.4% (99.9% - 99.5%) 的时间,低增益编码也只占 0.9% 的时间,在其余的时间就可以提高有用信息的传输速率。因此,自适应编码方案对有效信息的传输能力将比固定增益编码方案的传输能力高很多。

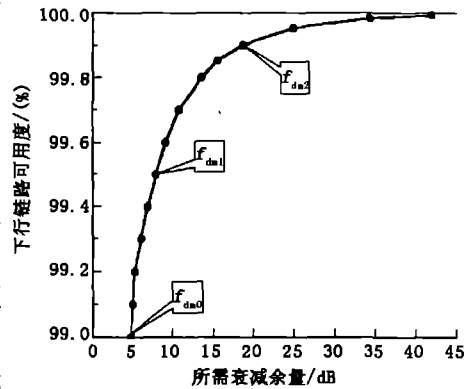


图 2 链路可用度与储备余量的关系图

如采用固定衰减储备余量和两级编码的方案,系统接收信号功率的门限为  $C_i$ ,接收信号功率为  $C_r$ ,  $f_{dm0}$  为固定衰落储备余量,  $f_{dm1}$  为固定的衰减储备余量和低增益编译码器的总编码增益,  $f_{dm2}$  为固定的衰减储备余量和高增益编译码器的总编码增益,单位均为 dB。为保证系统要求的可用度,在不同链路衰减时引入不同的编译码器。方案如下:

- 1) 当接收功率  $C_r > C_i - f_{dm0}$  时,不采用纠错编码,采用固定衰减储备余量就可;
- 2) 当  $C_i - f_{dm0} \geq C_r > C_i - f_{dm1}$  时,采用低增益编码;
- 3) 当  $C_i - f_{dm1} \geq C_r > C_i - f_{dm2}$  时,采用高增益编码。

通过采用固定衰减储备余量、低增益纠错编码和高增益编译码器的方法,自适应跟踪补偿链路衰减,实现有效的 AFCM 方案。

### 2 自适应前向纠错编码

为了补偿 Ka 波段严重的雨衰,所选编码方案必须首先能够提供充分的编码增益。信道编码理论指出,随着码长的增加,译码错误概率按指数接近于零。因此,为了提高编码增益就必须用长码。但是,随着码长的增加,译码器的复杂性和计算量也相应的按指数增加以至难以实现。级联码能较好的解决这个矛盾。

级联码是一种二重的复合码,它用短码构造长码,用比较简单的短码的编译码器代替复杂长码的编译码设备并能获得较高的编码增益(一般可大于 10 dB)。级联码可采用约束度较短的卷积码作内码,非二进制码作为外码。这里选用收缩码(Punctured 卷积码以提供不同的增益)作为自适应级联码的内码<sup>[3-5]</sup>,以实现编码方案中的码率变化。编码增益和译码复杂度随码间最小距离的增加而增大,大的最小距离意味着码率小。因此,对于高增益应用,通常使用低码率的编译码器。BCH 码是一种纠错能力较强的分组码,它的参数(如码率、纠错个数)的选择比较灵活。而 RS 码是一种具有纠突发错误能力的非二进制 BCH 码,适于作抗衰减级联码的外码,以获得高的编码增益。

自适应纠错编码抗衰减对策的实质就是采用一系列不同码率或不同方式的编码方案,根据衰减程度进行切换,从而提供不同的编码增益以补偿不同的衰减量。根据我国各站点雨衰的计算结果(1~20 dB),本方案推荐使用的自适应纠错编码技术由固定衰减备余量、卷积码(2,1,7)为原码的各种码率的收缩码以及收缩码和 RS(255,191)码加交织器(交织深度 20×20)构成的级联码三者结合来自适应跟踪补偿链路衰减。

级联码的性能曲线如图 3 所示。RS(255,191)码和 2/3 码率收缩码构成的级联码可以提供 9 dB 左右的增益,而 RS(255,191)码和原码(2,1,7)卷积码构成的级联码可以提供 12 dB 左右的增益,这样的编码方案和固定备余量结合使用可以实现我国大部分站点雨衰链路 99.8% 的可用度。

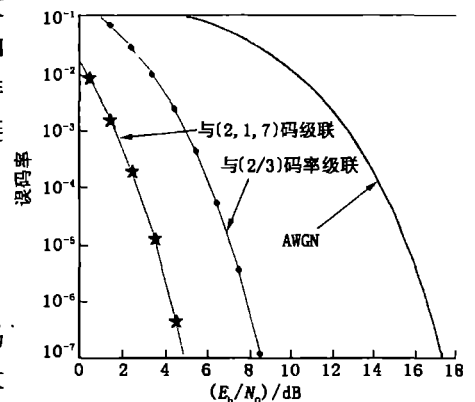


图 3 级联码性能曲线

### 3 编译码选择方案的实现

通过选择合适的低增益和高增益编译码器,即采用内码与外码相结合的方法,可以很好地完成一个自适应纠错编码方案。由于大雨衰事件的发生概率很小,大多数时刻,内码足以克服小衰落影响,因此低增益编译码方式(收缩码)比高增益编译码方式(收缩码和 RS 码构造的级联码)使用更频繁。为了减少复杂度和成本,合理的自适应编码方案如图 4 所示。

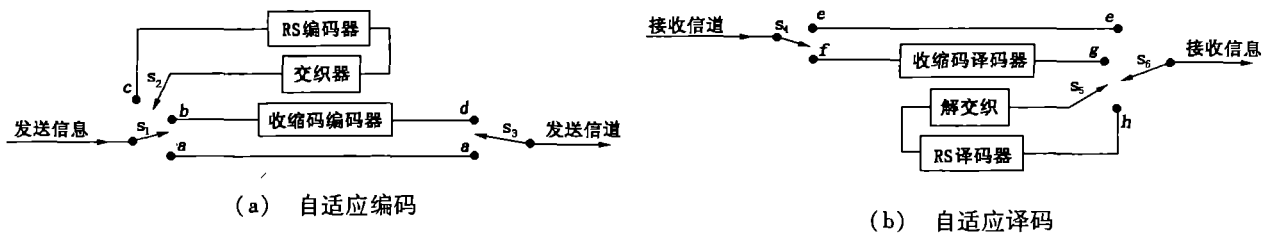


图 4 自适应编译码选择方案

在图 4(a)所示的自适应编码选择方案中,当无雨衰发生或固定备余量足以克服雨衰,无需进行纠错编码时,开关 S<sub>1</sub> 和 S<sub>3</sub> 指向 a;当发生低雨衰事件,需要进行单一编码时,开关 S<sub>1</sub> 指向 b、开关 S<sub>3</sub> 指向 d,信息经过 S<sub>1</sub>、b 进入收缩码编码器进行编码,经 d、S<sub>3</sub> 输出到信道,为了充分提高信道利用率,收缩码编码器还可在不同码率之间进行切换;当衰减进一步加大,需要进行级联编码时,开关 S<sub>1</sub> 指向 c、S<sub>2</sub> 指向 b、S<sub>3</sub> 指向 d,信息经过 RS 码编码器进行外码编码,然后进入交织器,交织后的信息经过 S<sub>2</sub>、b 进入收缩码编码器进行内码编码,然后将编码后的信息经 S<sub>3</sub>、d 发向信道。

自适应译码选择方案如图 4(b)所示,也是通过开关控制实现的。在接收站,当接收没有经过编码的信息时,通过 S<sub>4</sub>、e、S<sub>6</sub> 直接传向数据接收设备;当接收到收缩码编码信息时,开关 S<sub>4</sub> 指向 f、S<sub>6</sub> 指向 g,信息经过 S<sub>4</sub>、f 进入收缩码译码器进行译码后经 g、S<sub>6</sub> 输出到数据接收设备;当接收到级联编码信息时,开关 S<sub>4</sub> 指向

$f$ , 信息经过收缩码译码器进行内码译码后,  $S_5$  指向  $g$ 、 $S_6$  指向  $h$ , 内码译码后的信息经过  $S_5, g$  进行解交织和 RS 译码, 经  $S_6, h$  最后发向数据接收设备。

本文提出适用于卫星下行链路的自适应纠错编码抗衰减系统的总体方案, 其中的纠错编码方式采用收缩码与 RS 码相级联并插入交织器所构成的级联码方式, 再加上一定的固定衰减储备量, 使得该 AFCM 能保证我国绝大部分地区 99.8% 的系统可用度。今后还需要对切换的定时、延迟、损伤以及系统的延迟等作进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] 屈丹. Ku/Ka 波段卫星通信系统自适应抗衰落对策研究[D]. 西安: 空军工程大学电讯工程学院, 2000.
- [2] Smith L J M, Burton G D. Punctured Coding for Forward Error Correction in Satellite Communications, Journal of Institution of Electronic and Radio Engineers, 1998, 58(3): 125 - 131.
- [3] Willis M J, Evans B G. Fade Countermeasures at Ka - band for OLYMPUS[J]. International J Sat Commun, 1988, (6): 301 - 311.
- [4] 谢德华, 翁木云, 郭兴阳. Ka 频段卫星上行链路开环功率控制算法研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(1): 39 - 42.
- [5] 刘阿娜, 郑春杰, 谢德华. 抗雨衰的收缩码方案[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2003, 4(1): 34 - 38.

(编辑: 门向生)

## Study of Adaptive Forward Error Correction as a Fade Countermeasure

WENG Mu - yun<sup>1</sup>, CHENG Chang - xing<sup>2</sup>, LIANG Jun<sup>1</sup>

- (1. The Communication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China;
2. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

**Abstract:** In the Ka - band satellite communications, the Adaptive Forward Error Correction ( AFEC ) is an ideal fade countermeasure for downlinks. In this paper, the system scheme of AFEC as a fade countermeasure is presented; Taking the complexity of application into account, an adaptive concatenated codes scheme structured by RS code as an outer code and variable rate punctured codes as inner codes combined with interleaver is recommended. The adaptive concatenated codes as an adaptive fade countermeasure ( AFCM ) can meet 99.8 percents of satellite downlinks availabilities in most area of China. Finally, the application scheme to choose codes is discussed.

**Key words:** adaptive fade countermeasures ( AFCM ); adaptive forward error correction ( AFEC ); concatenated codes; application scheme