#### doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.01.003

**引用格式**:张旭. 基于 VCM 的对地探测卫星数据传输体制分析[J]. 电讯技术,2014,54(1):12-16. [ZHANG Xu. Analysis of VCM Data Transmission Method for Earth Exploration Satellite System[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(1):12-16. ]

# 基于 VCM 的对地探测卫星数据传输体制分析\*

#### 张 旭\*\*

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

**摘 要:**针对常规数据传输体制在卫星过境过程中不能充分利用系统链路余量的情况,开展了基于 可变编码调制方式的卫星数据传输体制研究。通过分析比较发现,可变编码调制传输体制较常规数 据传输体制节约了大量链路余量,使数据传输量提高了 35.5%。最后,对可变编码调制传输体制的 实现方式给出了建议。

关键词:对地探测卫星;数据传输;可变编码调制;链路余量 中图分类号:TN927;TN919 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2014)01-0012-05

## Analysis of VCM Data Transmission Method for Earth Exploration Satellite System

## ZHANG Xu

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

Abstract: According to the situation that link margin is not fully used by conventional transmission methods during satellite mission, data transmission method based on VCM (Variable Coding and Modulation) is studied. Compared with conventional transmission methods, VCM method saves link margin and brings 35.5% extra data throughput. Finally, suggestions for realizing VCM are given.

Key words: earth exploration satellite; data transmission; variable coding and modulation; link margin

### 1 引 言

各类载荷新技术的快速发展和应用提升了空间 科学任务的能力,为高分辨率对地探测任务的实现奠 定了基础。在执行高分辨率对地探测任务中,卫星所 携带的任务载荷将产生大量的待处理数据<sup>[1]</sup>。而大 部分执行对地探测任务的都是低轨卫星,其单次过境 时间非常短,通常只有 10 min 左右。为保证数据传 输的时效性,卫星下行链路需要更高的数传速率。

为满足下行数传速率的要求,首先通过提高工 作频段以增加传输带宽。目前对地探测卫星下行链 路均为 X 频段链路,在未来几年内,X 频段将会变 得非常拥挤。而 Ka 频段在传输带宽上相对 X 频段 具有显著的优势,可达到1.5 GHz 以上的带宽<sup>[2-4]</sup>。 因此,Ka频段将是未来对地探测卫星下行数传链路 发展的趋势。

在数据传输体制方面可以采取两个措施。一是 采用更高阶的调制方式可在传输带宽不变的情况下 传输更高的数据速率。常用的线性调制方式有 QPSK、8PSK、16APSK、32APSK,阶数越高,符号利用 率越高,即在相同的带宽内可传输更高的数据速率。 二是采用更高效的编译码方式可提高有效数据速 率。LDPC、PCCC、SCCC等编译码方式被广泛研 究<sup>[5-7]</sup>,具有强大的编码增益。PCCC对短数据帧传 输具有优势,而对地探测卫星任务由于传输速率高, 重点是对简单和快速编译码机制方面的需求,从这

<sup>\*</sup> 收稿日期:2013-08-19;修回日期:2013-11-19 Received date:2013-08-19;Revised date:2013-11-19

<sup>\*\*</sup> 通讯作者:xuzhang. z@ gmail. com Corresponding author:xuzhang. z@ gmail. com

些方面看将优先选择 LDPC 和 SCCC。LDPC 和 SC-CC 具有等效优越的灵活性和有效性,且可与 QPSK、8PSK、16APSK、32APSK 联合应用,使符号利 用率最高可达3.75 b/symbol 或以上,非常适合应用 于对地探测卫星任务。4D-TCM 是基于 8PSK 的一 种编译码方式,实现简单,也被广泛应用。

高阶调制和高效编码信号的接收对信噪比的要求更高,相应地对星上发射功率的要求更高;此外,数传速率的提高也将为星上发射功率带来更大的压力。而在卫星过境的过程中,由于天气、传输距离变化等原因,星上的发射功率并未得到充分利用。为有效利用星上发射功率,最大化卫星过境时下传的载荷数据量,有必要开展可变编码调制方式的遥感卫星数据传输体制的研究。ESA(欧空局)有论文正在开展相关研究,相应的地面接收机集合有多种编码调制方式以适应将来应用的发展,而国内尚较少有相关技术的研究。

#### 2 常规数据传输体制特点

在现有系统中,编码方式和调制方式在任务过 程中通常是恒定的。在系统设计时,链路预算需要 针对最差的情况进行,包括天气状况、作用距离等, 通常情况下对应的是最远传输距离和最低仰角下的 传输路径的地球大气环境。以某地面站接收高度为 674 km卫星遥感数据为例(设定仰角 5°以上为可 见),采用 QPSK+LDPC(5/6)的编码调制方式,链路 预算见表 1。大气及雨衰损耗与地面站位置等相 关<sup>[3,8]</sup>,此处取9 dB。星上采用定向天线,始终对准 地面站,对应各仰角的 EIRP 为恒定值。符号速率 600 Msymbol/s 对 应 可 传 输 的 有 效 数 据 率 为 996 Mb/s,在这种情况下系统链路余量为3.73 dB。

Table 1 Downlink budget for a certain satellite			
指标	值		
星上 EIRP/dBW	37.4		
工作频率/GHz	26.5		
最大斜距/km	2 459.01		
自由空间损耗/dB	188.72		
大气及雨衰损耗/dB	9		
极化损失/dB	0.2		
地面站 G/T 值/(dB/K)	32.33		
有效数据率/(Mb/s)	996		
解调所需 $E_b/N_0$ 理论值	$5.2 \times 10^{-8}$		
解调损失/dB	2		
系统链路余量/dB	3.23		

表1 某卫星下行链路预算

在卫星单次过境过程中,仰角先增大再减小,对 应的斜距先减小后增大。仰角最高时,对应的斜距 最近。以上述卫星和地面站为例,单次过境卫星仰 角与自由空间传播距离变化情况如图1所示。最低 仰角与最高仰角位置处,传输路径远近差异约3.4 倍,对应自由空间损耗的差值在10 dB以上。



此外,不同仰角下大气损耗、雨衰等都不同,仰 角越高,损耗越低。不同仰角下,某站大气及雨衰损 耗参考值见表2所示<sup>[3]</sup>。不同仰角也会造成地面站 接收 *C/T*值的差异,相对路径传输带来的损耗来说 影响较小,在此可暂不考虑。此外,雨衰将会引起地 面站接收 *C/T*值的变化。综合考虑,在单次过境时 间内,链路损耗的波动高达14 dB。

表 2 米站小回仰用入へ及附泵顶柱直 Table 2 Atmosphere and rain loss for a certain station			
仰角/(°)	典型大气及雨衰损耗值/dB		
5	9.0		
10	8.5		
15	8.0		
25	7.0		
40	6.0		
60	5.0		

链路损耗的波动带来系统链路余量的变化。随 着地面站天线仰角增大,链路损耗降低,相应的链路 余量将增大。这些余量在以往的系统设计中并没有 被利用起来以增大链路总的吞吐量。常规的数据传 输体制中,恒定编码调制的链路预算方式造成在大多 数情况下,链路余量都比实际需求高很多。因此,导 致了链路余量的浪费,也就造成了系统能量的浪费。

### 3 VCM 传输体制性能分析

考虑到常规传输体制在任务过程中造成的链路

· 13 ·

余量浪费,采用可变编码调制(Variable Coding & Modulation, VCM)的传输体制,根据不同仰角下链路 余量情况,在保证3 dB以上链路余量的前提下,选用 符号利用率最高的编码调制体制来提高下行数传速 率,最大化卫星过境的回传数据量。例如,在卫星进 站和出站整个时间段内根据仰角动态改变调制方式 (8PSK LDPC R2/3→16APSK LDPC R3/4→16APSK LDPC R5/6→132APSK LDPC R3/4→32APSK LDPC R4/5→32APSK LDPC R3/4→16APSK LDPC R4/5→32APSK LDPC R3/4→16APSK LDPC R5/6→132APSK LDPC R3/4→32APSK LDPC R4/5→32APSK LDPC R3/4→16APSK LDPC R5/6→ 16APSK LDPC R3/4→8PSK LDPC R2/3),避免了常 规传输体制(恒定编码和调制方式、最大链路传输 损耗预算)在高仰角及晴好天气情况下带来的极大 的链路余量浪费。

高阶调制方式和高码率编码方式需要更高的  $E_b/N_0$ 来达到系统传输性能(误码率)要求,但符号 利用率更高,即相同的符号速率下可传输的数据速 率更高。不同调制方式和编码方式传输的数据速率 (符号率600 symbol/s)以及系统传输性能要求(误码 率低于  $10^{-8}$ )情况下所需  $E_b/N_0$ 如表 3 所示<sup>[7]</sup>。

Table 3 Perto	rmance of di	fferent codin	g and modu	lation method
调制方式	LDPC 编 码效率	符号利 用率	有效数 据率	所需 E <sub>b</sub> /N <sub>0</sub> 理论值
QPSK	2/3	1.33	798	3.1
	5/6	1.66	996	5.2
8PSK	2/3	1.99	1 194	6.6
	5/6	2.49	1 494	9.3
16APSK	3/4	2.99	1 794	10.2
	5/6	3.32	1 992	11.6
22 A DCV	3/4	3.74	2 244	12.7
32APSK	4/5	3.99	2 394	13.6

表 3 不同编码调制方式传输性能 Table 3 Performance of different coding and modulation metho

以地面站接收卫星数据为例,一天时间内仰角 5°以上可见时间共4段,卫星过境情况如图2所示。





针对不同仰角下链路情况,保证可见时间内链路余量被充分利用且保持在3 dB以上,设计了具体的可变编码调制方案:QPSK LDPC 5/6(5°~15°)→ 8PSK LDPC 2/3(15°~25°)→8PSK LDPC 5/6(25°~40°)→16APSK LDPC 5/6(40°~60°)→QPSK LD-PC 5/6(60°以上)。

在4段可见时间段内分别采用常规传输体制和 可变编码调制传输体制,对不同时间段内链路余量 进行统计,如图3所示。当采用常规传输体制时,系 统最大链路余量大约为18dB;而采用可变编码调制 传输体制时,系统链路余量维持在4~6dB之间,得 到了有效利用。



图 3 24 h内 VCM 与 CCM 的链路余量比较 Fig. 3 Comparison of margin between VCM and CCM in 24 hours

进一步统计一天 24 h 内地面站采用两种传输体 制分别接收的数据量。常规传输体制在 24 h 内共传 输数据约2 091.6 Gb, VCM 体制在 24 h 内共传输数 据约2 833.2 Gb,较常规传输体制提升了 35.5%。

#### 4 VCM 传输体制实现原理

VCM 传输体制的实现是在每次卫星过境前几 小时,检查天气情况,根据链路预算预先配置好本次 过境时间内采取的编码调制变化方案,实现原理如 图 4 所示。首先建立轨道传输模型,统计本次过境 时间内的仰角数据及可见时间段;再结合大气传播 工具,输入当前天气情况,估算出不同仰角下的链路 损耗;由数据设置工具完成不同编码调制方式、星上 EIRP 值、地面接收 *G/T* 值、损耗数据、可见时间段 等设置,输入到链路预算工具完成链路预算;根据链 路预算结果,确定各可见时间段的最优编码调制方 案。在卫星过境的过程中,根据预先设置好的传输 方案执行任务。



VCM 传输体制的一种变形是自适应编码调制 (Adaptable Coding & Modulation, ACM)方案,即在卫 星过境时间内,根据链路状况(接收信号信噪比)实 时自适应调整编码调制方式,其实现原理如图 5 所 示。接收机检测到当前下行信号的信噪比后,结合 链路预算模块和自适应编码调制选择模块,确定一 种保证链路余量门限的最优编码调制方式,将该信 息插入遥控帧,由上行遥控指令通知卫星对编码和 调制方式进行调整。



Fig. 5 Principle of ACM

ACM 与 VCM 相比,变化方式更灵活,能根据链路实时状况最大化利用链路余量,达到链路传输的最优化。但 ACM 的处理更复杂,且需要实时发上行遥控信号对星上编码和调制方式的变化进行引导以实现闭环传输<sup>[9]</sup>。而在对地探测任务中,卫星过境时,往往不需要发送上行遥控指令,直接通过下行链路接收数据。因此,对于对地探测卫星接收站来说,采用 VCM 是一种较为合理的方案。

无论是 VCM 方案还是 ACM 方案,都要求星上 编码调制方式的变化与地面接收站保持同步。星上 数据在物理层编帧时,如图 6 所示,将当前采用的编 码和调制方式的信息打包放在每帧的帧头中,帧头 采用固定的编码和调制方式<sup>[10]</sup>,地面站接收机解调 帧头后根据信息引导切换为本次传输所用的编码和 调制方式,解调数据段内容,完成星上遥感数据的 接收。





## 5 结 论

高分辨率对地探测卫星任务对高速数据传输提 出了更高的要求,VCM 传输体制的应用极大地增加 了卫星下行数据的传输量,使星上发射功率得到了 最大化利用的同时也保证了星上大量载荷数据传输 的实时性。此外,在具体实现中,还需对星上信号处 理进行优化,以保证各种编码调制体制的切换时间 非常短,从而满足数据传输连续的要求。建议针对 VCM 的应用方式,开展多种编码调制方式集合及在 线切换的接收机技术研究和样机实现。

#### 参考文献:

- [1] 王万玉,陈金树. 交叉极化干扰消除技术研究[J]. 电 讯技术,2013,53(6):707-710.
  WANG Wan-yu, CHEN Jin-shu. Study on Cross-polarization Interference Cancellation Technology[J]. Telecommunication Engineering,2013,53(6):707-710. (in Chinese)
- McCarthy K P, Stocklin F J, et al. NASA's Evolution to Ka-Band Space Communications for Near-Earth Spacecraft [ C ]//Proceedings of SpaceOps2010. Columbia, Washington DC:NASA,2010:1-12.
- [3] Cossu M, L'Abbate M. Ka-band architecture and performance for EO satellites [C]//Proceedings of 2010 5th ESA Workshop on Tracking, Telemetry and Command Systems for Space Applications. Noordwijk, The Netherlands: IEEE, 2010:216-223.
- [4] Schier J S, Rush J J, et al. Space communication architecture supporting exploration and science: Plans and Studies for 2010–2030 [C]//Proceedings of the 1st Space Exploration Conference on Continuing the Voyage of Discov-

ery. Washington, DC: AIAA, 2005.

- [5] CCSDS 131.1-0-2, Low Density Parity Check Codes for use in Near Earth and Deep Space Applications[S].
- [6] CCSDS 131.2-0-1, Flexible Serially Concatenated Convolutional Turbo Codes with Near Shannon Bound Performance for Telemetry Applications [S].
- [7] Günthner K D, Petruschke U. Ka-band downlink end-toend communication system for earth exploration satellites
  [C]//Proceedings of 2010 5th ESA Workshop on Tracking, Telemetry and Command Systems for Space Applications. Noordwijk, The Netherlands; IEEE, 2010;602-609.
- [8] Guérin A, Lesthievent G. Evaluation of new technological concepts for high data rate payload telemetry [C]//Proceedings of 2010 5th ESA Workshop on Tracking, Telemetry and Command Systems for Space Applications. Noordwijk, The Netherlands: IEEE, 2010:397-404.
- [9] Calzolari G P, Vassallo E. New coding and modulation schemes for future CCSDS missions[C]//Proceedings of

2010 5th ESA Workshop on Tracking, Telemetry and Command Systems for Space Applications. Noordwijk, The Netherlands: IEEE, 2010:302–309.

[10] Pasternak N. Performance of SCCC receiver and simulator at very high rates (2 GBPS) [C]//Proceedings of 2010 5th ESA Workshop on Tracking, Telemetry and Command Systems for Space Applications. Noordwijk, The Netherlands:IEEE,2010:353-364.

#### 作者简介:



**张 旭**(1983—),女,四川双流人,2008 年获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为 飞行器测控与卫星应用总体技术。

ZHANG Xu was born in Shuangliu, Sichuan Province, in 1983. She received the M. S. degree in 2008. She is now an engineer. Her research

concerns aircraft TT&C and satellite application.

Email:xuzhang. z@gmail.com

序号	第一作者	题名	发表信息	被引频次
1	傲 丹	无线网格网关键技术及其应用	线网格网关键技术及其应用 2005,45(2):16-22	
2	赵亚红	正交多载波调制(OFDM) 技术及其应用	2001,41(1):92-95	23
3	李元忠	射频识别技术及其在交通领域的应用	2002,42(5):5-9	22
4	常军	机载雷达目标的大地坐标定位	2003,43(2):97-100	20
5	李祖鹏	一种语音段起止端点检测新方法	2000,40(3):68-70	19
6	汪井源	无线光通信中的 PPM 调制	2000,40(5):81-84	19
7	张士兵	超宽带无线通信及其关键技术	2004,44(5):1-6	18
8	韩 颖	FPGA 实现高速 FFT 处理器的设计	2003,43(2):74-78	17
9	赵军祥	高动态 GPS 卫星信号模拟器关键技术分析及应用	2003,43(4):49-54	17
10	肖汉波	一种基于 DDS 芯片 AD9850 的信号源	2003,43(2):47-50	17

## 本刊 2013 年度被引频次前 10 位论文

(数据来源:www.teleonline.cn,统计截止日期:2013年12月25日)