

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2208981

数据择优合成在气象卫星路径分集中的应用

张 宝

(国家卫星气象中心北京气象卫星地面站 北京 100094)

摘要: 针对降雨对风云四号静止气象卫星 Ka 频段数传链路造成的影响和数据路径分集接收情况,对主站和分集站的数据进行择优合成,以减少降雨衰减对数据造成的损失,为用户分发“最佳”数据。本文采用国际电信联盟无线电通信部门 (ITU-R) 提供的雨天衰减预算模型对降雨衰减情况进行了充分计算,设计了数据择优合成系统,通过高级在轨系统 (AOS) 帧数据的填充及误码等情况对数据质量进行判别,并逐帧选取高质量数据进行合成,分发给用户。由于降雨对不同频段的信号衰减效果不同,在业务环境中利用 Ka 频段和 X 频段数据对本系统进行了模拟测试。经测试,数据择优合成系统能够对输入数据的质量进行有效判断并生成符合业务需求的分发数据,有效减少了降雨对 Ka 频段数据造成的影响。结果表明,数据择优合成系统能够在路径分集中充分发挥作用,保障气象卫星数据的高质量接收和 Ka 频率资源的使用。

关键词: 静止卫星;降雨衰减;路径分集;数据择优;数据合成

中图分类号: TN919.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

Application of data merit synthesis in meteorological satellite path diversity

Zhang Bao

(Beijing Meteorological Satellite Ground Station, National Satellite Meteorological Center, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to reduce the loss of data due to rainfall attenuation and to provide the "best" data for users, the master and diversity data in the path diversity reception mode are optimally synthesised to reduce the impact of rainfall on the Ka-band data transmission link of the Fengyun-4 geostationary meteorological satellite. In this paper, the rainfall fading budget model provided by the International Telecommunication Union's Radiocommunication Sector (ITU-R) is used to fully calculate the rainfall fading situation, and a data merit synthesis system is designed to discriminate the data quality by the fill and error codes of the Advanced Orbiting Systems (AOS) frame data, and to select high-quality data frame by frame for synthesis and distribution to users. Because of the different attenuation effects of rainfall on different frequency bands, the system was tested in a simulated operational environment using Ka-band and X-band data. The test showed that the data merit synthesis system was able to effectively judge the quality of the input data and generate distribution data that met the service requirements, effectively reducing the impact of rainfall on the Ka-band data. The results show that the data merit synthesis system can fully play its role in the path subset, ensuring the high-quality reception of meteorological satellite data and the use of Ka frequency resources.

Keywords: stationary satellite; rain fading; path diversity; data merit; data synthesis

0 引 言

风云四号静止气象卫星是我国新一代静止气象卫星,其主要任务是获取地球表面和云的多光谱、高精度定量观测数据及图像,为天气预报、灾害监测和预警提供高精度数据资料,是我国防灾减灾的基础支撑^[1]。风云四号 B 星作为新一代静止气象卫星的首颗业务星,在 A 星的基础上,空间分辨率提升到 250 m,区域观测能力提高到 1 min。随

着性能的提升,风云四号 B 星下传的遥感探测仪器原始数据量显著增加。X 频段的带宽和码速率已经不能满足 B 星的业务需求。因此,风云四号 B 星增加了 Ka 频段的数传链路^[2]。由于降雨对 Ka 频段信号具有极强的衰减作用,在数据接收系统中必须采用有效的方法克服雨衰带来的不利影响,对于静止气象卫星而言,路径分集是克服雨衰最有效且可行的分集策略。本文在分析了系统降雨衰减情况和路径分集策略的前提下,提出了一种对主站接收数据与分

集站接收数据的择优合成设计,并完成了业务环境下的系统试验,期望能够为应用系统提供优质的满足业务需求的 0 级数据。

1 雨衰对 Ka 频段数传链路影响分析

星链路指卫星与地面或其他卫星之间用于通信和数据交换的无线电波传播途径,主要分为地面站—卫星链路(或上行链路);卫星—卫星(或星际链路);卫星—地面站(或下行链路),如图 1 所示。本文仅讨论卫星到地面站的下行链路^[3]。

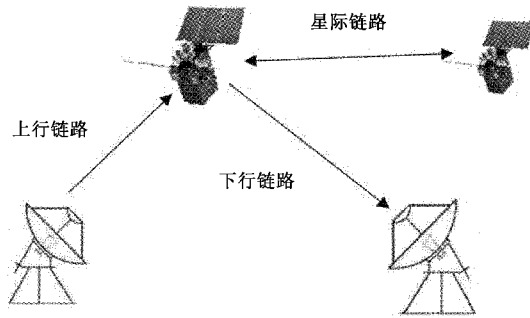


图 1 卫星通信链路示意图

评估一个卫星链路性能可以通过计算卫星通信链路接收天线所收到的信号功率来确定,由链路功率预算方程表示:

$$p_r(\text{dB}) = ERIP + G_r - L_{FS} \quad (1)$$

有效全向辐射功率(effective isotropic radiated power, EIRP),又称为品质因数,是卫星天线发送功率与天线增益的乘积,直观的体现了卫星下行天线辐射功率是否满足设计需求,决定了地面设备接收卫星数据的质量^[4]。

G_r 接收天线增益,因为物理天线并不是完美的接收器,一部分能量在接收过程中会被天线结构反射和链路器件损耗,与天线的材质、性能有关。

对于设计完成的卫星和地面接收系统,其 $EIRP$ 和 G_r 可以认为是固定常数^[5],影响链路性能的最大变量是无线电波在自由空间或其特征近似自由空间均匀性的地区中传播造成的自由空间路径损耗。

自由空间传播损耗反映了卫星信号在空气中传播时的能量损耗,能够用自由空间损耗公式表示,即:

$$L_{FS} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right) \quad (2)$$

卫星信号在空间传播的自由空间传播损耗与星地距离和信号波长相关,对于静止气象卫星而言,星地距离可以认为是固定常数。因此,自由空间传播损耗就与信号波长成反比。即:卫星信号波长越短,其自由空间传播损耗越大。对于 Ka 频段信号,因为其波长为毫米级别,与雨滴大小类似,所以,即使是小雨的情况下,因雨滴的吸收和散射所造成的能量损耗也是不可忽略的,因此,雨衰是降低 Ka 频段卫星数据传输性能和可靠性的最重要因素之一^[6]。

为了研究降雨对 10 GHz 以上的高频段无线电波衰减效应,国内外在统计数据的基础上,提出了多种预测降雨衰减的模型,其中最常用的是 ITU-R 降雨衰减模型^[7]。

ITU-R 降雨衰减模型能够准确的预测频率高达 55 GHz 的给定位置的路径衰减年度统计数据,其所需的输入参数较为简单,主要包括卫星工作频率,极化倾斜角,地面站接收天线仰角,地面站的纬度、海拔以及在 0.01% 时间百分比下的站区降雨率^[8]。根据北京市气候中心提供的北京近十年降雨情况的统计数据,如表 1 所示。以风云四号 B 星的 Ka 频段数传链路为例,采用 ITU-R 模型计算北京站在不同时间百分比下的雨衰值情况,计算结果如图 2 所示,其在 0.01% 时间百分比下的雨衰值远高于系统设计冗余,达到了 21.4~30.6 dB,即每年将有 53 min 的时间将因降雨造成链路中断。即便是在 0.1% 时间百分比(全年雨衰中断时间 8.76 h)的情况下,雨衰值依然达到了 7.8~11.5 dB。要保证数据的接收,必须采取有效的方法来降低雨衰给系统带来的影响,提升整个系统的“增益”,使数据传输链路性能满足系统设计条件和业务要求。

表 1 北京近十年降雨数据统计数据

年份	年降雨量/mm	年降雨天数/d
2011	720.6	61
2012	733.2	74
2013	578.7	71
2014	461.6	52
2015	458.6	77
2016	669.1	61
2017	576.4	52
2018	546.5	57
2019	406.2	75
2020	524.6	101

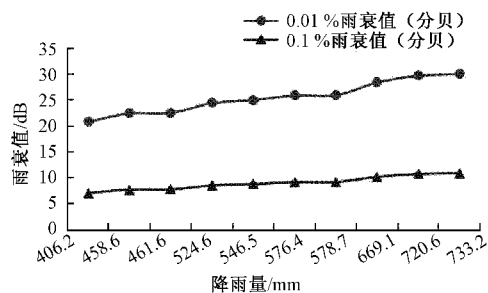


图 2 ITU-R 模型北京站在不同时间百分比下的雨衰值

2 路径分集接收策略

对于 Ka 频段的下行数据传输链路,雨衰带来的影响是必须考虑的主要问题,在新一代静止气象卫星和地面应用系统建设时,考虑到天线尺寸的合理性及功率限制、建设成本等因素,系统能够提供的信道冗余不能克服预期的雨

衰,必须在不改变基本信号格式的情况下,提供系统的整体增益,克服雨衰给 Ka 频段数传链路带来的不利影响^[9]。路径分集接收正是利用降雨时空分布的不均匀性,降低单条路径受到雨衰影响的概率,提高整个系统的“增益”来保证 Ka 频段数据的接收^[10]。路径分集又称为空间分集,指发送端将相同的信号通过若干条独立的无线衰落信道发送到接收端^[11]。接收两站相聚几十至一百多公里距离,超出对流降雨的影响范围,同时出现强降雨的几率极低,基本能够保证在任意时刻,单站能够正常接收 Ka 频段数据。对于单个站点,通过设计系统的信道冗余,保证其在给定的时间百分比(P)内能够应对一定的衰减(A_s)影响。联合两个站点进行分集接收,在相同时间百分比(P)下,共同能够应对的衰减(A_j)。两者之间的差值定义为路径分集的增益,如图 3 所示。

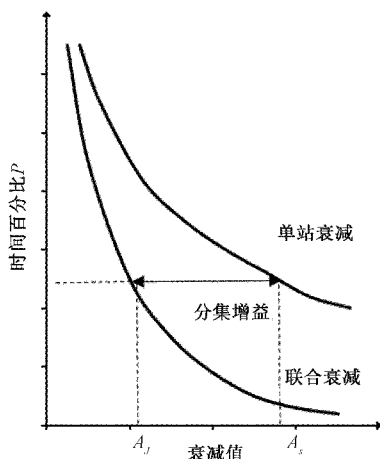


图 3 路径分集模式系统增益示意图

可见,每个站点都降低了克服衰减所需的功率冗余,相当于整个系统增加了系统“增益”,通常可以提供 5~10 dB 增益恢复^[12]。

3 数据实时择优合成设计

北京站作为风云四号静止气象卫星的数据接收主站,在接收卫星下行数据的同时,接收分集站通过地面网络回传的 0 级数据,经过处理后生成最佳的数据资料向“用户”分发,数据接收分发流程如图 4 所示。

根据路径分集接收策略,北京站和分集站同时接收卫星下传的 Ka 频段数据。由于两个地面站相隔较远,同时发生大降雨的概率极小,路径分集策略极大程度上保证了地面处理系统能够连续获得有效的 Ka 频段原始数据输入。北京站以科学源包为基本单位,实时对 Ka 频段的 0 级数据进行质量判定,选取质量最优的科学源包数据,按顺序合成最佳数据资料,进行分发^[13]。

3.1 数据质量判定

在原始数据的接收处理流程中,系统会对解析出的 AOS 帧以及科学源包数据中的误码个数和是否进行了填充进行判

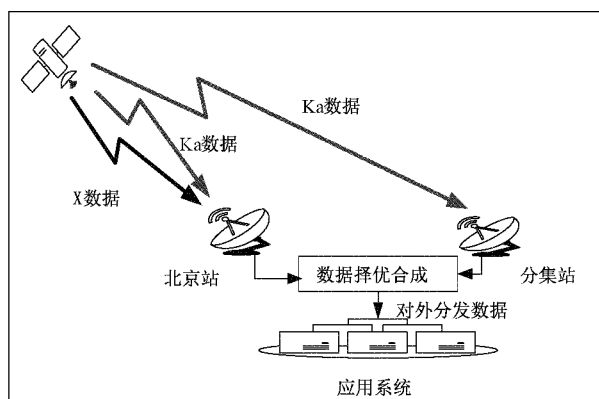


图 4 风云四号静止气象卫星数据接收分发流程

断,生成质量信息报告并添加在数据末端,用于标识该数据的质量情况^[14]。CCSDS 标准的 AOS 帧格式如表 2 所示。

表 2 AOS 帧格式

VCDU-ID		VCDU		信号域		VCDU
同步头	版本号	SCID	VCID	计数器	回放	数据域
				空闲	标识	有效数据帧或填充数据

当 VCID 字段为全“1”或全“0”时,表明该 AOS 帧为填充帧,数据域以固定值进行填充。由于填充帧始终穿插在其它虚拟信道帧中下传,填充帧是否出现误码能较为准确地说明原始数据的质量情况,因此将接收到的 AOS 填充帧取值与固定值进行逐位比对,能够统计出原始数据中误比特数^[15]。当系统在 AOS 帧中检测出误码后,将在解析出的科学源包中添加原始数据误码标记,说明该源包中可能存在误码,该标记直到填充帧中误码个数为 0 时解除。

科学源包是系统对 AOS 帧进一步处理得到的数据,在每个科学源包末尾增加质量信息,其主要内容包括:是否为填充数据,原始数据误码标记和本源包中的误码个数^[16]。表 3 给出了科学源包中质量信息标记格式。

表 3 带质量标记的科学源包格式

包主	包副	用户	质量标记		
导头	导头	数据	是否填充	原始数据	误码
包标识	时间标识	有效数据	11:全填充 10:半填充 00:无填充	1:可能有误码 0:无误码	误码个数

3.2 数据择优准则设计

来自北京站和分集站的每个科学源包数据中都包含了质量信息。在北京站对两站的数据实时进行择优合成。数据择优的主要原则如表 4 所示,选择优先级依次为非填充

数据>无误码数据>误码少的数据。

表 4 数据择优主要原则

质量判定条件	选择条件	选择结果
填充状态不同	一个填充 一个未填充	未填充数据
填充状态相同	一个误码标记为 1 一个误码标记为 0	误码标记为 0 数据
填充状态相同 误码标记相同	误码个数	误码个数少的数据

3.3 数据择优合成流程

在风云四号 B 星的业务运行中,北京站的 0 级数据处理模式分为数据择优合成模式和非数据择优合成模式,系统根据各站的数据质量情况对模式进行选择。

两个站中只要有一个站的数据质量良好,即误码率低于设定阈值,满足数据应用的要求,系统就可以采用非数据择优合成模式,直接分发该站数据。

当北京站和分集站的数据误码率都高于系统设计阈值,单独任何一站的数据质量都不能满足应用的条件,系统将采用实时的数据择优合成模式,数据择优合成的流程如图 5 所示。

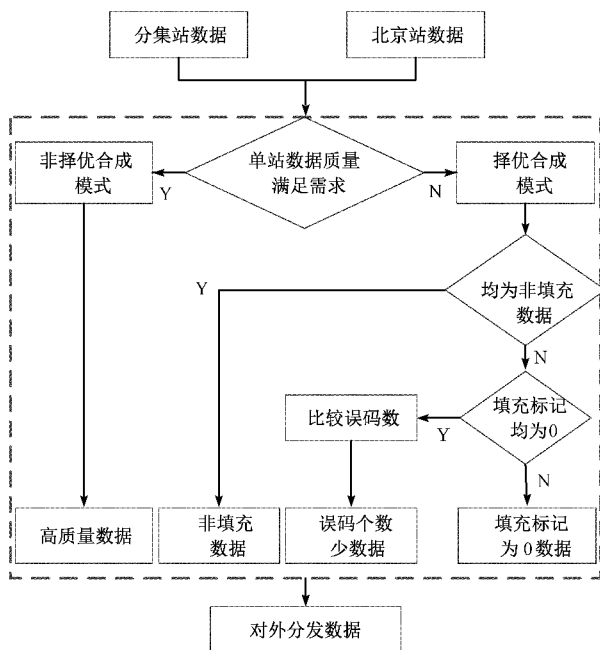


图 5 数据择优合成流程示意图

将北京站本地生成的 0 级数据与分集站传输来的 0 级数据以科学源包为处理单元,逐包进行质量比对,最大限度检出质量好的科学源包合成一路向后端系统分发。

通过数据择优合成的方法,解决了雨衰对 Ka 频段数据的影响,保证高质量的数据能够正常输出到后端应用系统。

4 数据择优合成试验分析

风云四号 B 星探测仪数据包含可见光数据(VIS)、红外原始数据(IRA)和红外处理数据(IRB),其中 IRB 数据在使用 Ka 频段下传的同时使用 X 频段下传。

北京站在业务环境中,利用风云四号 B 星探测仪 X 频段和 Ka 频段下传的 IRB 数据,测试数据择优合成设计在实际业务环境中的功能性和可用性。

2021 年 9 月 4 日,北京站出现降雨天气,导致天 Ka 频段数据链路性能下降,系统误码率超出告警阈值;X 频段未受到降雨影响,数据质量正常。在北京站数据处理系统中,VIS 和 IRA 数据采用非合成模式,直接输出 Ka 频段数据;IRB 采用数据择优合成模式对 X 频段、Ka 频段两路数据择优合成后输出。

以探测仪区域观测任务“GRS20210904000419”为例,任务预期接收数据量为 25,受雨衰影响,因为 Ka 频段未收到任何有效数据;X 频段未受到雨衰影响,数据接收正常。Ka 频段对应的 VIS、IRA 和 IRB 数据接收、合成、分发的数据量均为 0,对应目录下没有 0 级数据文件生成,而通过 X 频段接收的 IRB 数据,与 Ka 频段对应数据择优合成后的数据、系统向外分发的数据均为 25,符合任务预期,任务完成情况记录如图 6 所示。

```
taskID: GRS20210904000419; 预期: 25;
VS接收Ka_A: 0; VS接收Ka_B: 0; VS合成A: 0; VS合成B: 0; VS分发: 0;
IRA接收Ka_A: 0; IRA接收Ka_B: 0; IRA合成A: 0; IRA合成B: 0; IRA分发: 0;
IRB接收X_A: 25; IRB接收X_B: 25;
IRB接收Ka_A: 0; IRB接收Ka_B: 0; IRB合成A: 25; IRB合成B: 25; IRB分发: 25
```

图 6 任务完成情况记录

通过查看服务器上对应任务数据分发路径下生成的 IRB 文件情况,IRB 数据生成数量为 25,完成数据分发任务,数据文件生成情况如图 7 所示。

```
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00001.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00002.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00003.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00004.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00005.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00006.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00007.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00008.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00009.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00010.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00011.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00012.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00013.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00014.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00015.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00016.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00017.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00018.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00019.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00020.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00021.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00022.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00023.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00024.DAT
FY4B-GHRS-LO-IRB-20210904000419_20210904000918_00025.DAT
```

图 7 数据分发目录下文件生成情况

通过测试实验,系统能够有效对 X 频段和 Ka 频段两路数据进行择优合成,生成符合业务需求的数据。试验条件符合真实的业务运行情况,试验结果满足数据择优合成的预期目的。

5 结 论

本文首先以北京站近 10 年的降雨情况作为研究对象,利用 ITU-R 模型计算了在不同时间百分比下北京站 Ka 业务频段的降雨衰减值,分析了雨衰对北京站风云四号静止气象卫星 Ka 频段数传链路的影响。为解决雨衰带来的影响,在阐述了路径分集接收策略基本原理的前提下,提出了一种在路径分集情况下,分集站与主站的数据实时择优合成的设计方案,并在实际业务环境下,通过主站 X 频段与 Ka 频段的数据择优合成测试,充分证明该设计方案能够有效选出质量好的数据进行合成。在解决雨衰对 Ka 频段的不利影响中,从数据处理层面提出了一种解决思路,解决了路径分集中高效利用分集数据,提升数据利用率,提高系统整体“增益”的问题。

参考文献

- [1] 郭强,韩琦,冯小虎. 风云四号科研试验卫星星地一体化测控设计[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(2): 127-131.
- [2] 张志清,周毓荃,陆风,等. FY-4 卫星应用和发展[J]. 上海航天, 2017, (4): 8-19.
- [3] 徐挺,兰海,张宏江,等. 静止轨道卫星通信链路的预算与分析[J]. 中国空间科学技术, 2020, 40(3): 83-92.
- [4] 闫振宇,郎宏山,刘爱民,等. 一种卫星 EIRP 自动测试方法[J]. 气象科技, 2017, 45(3): 420-424.
- [5] 王强. X 频段极轨/Ka 频段高轨遥感卫星数据接收系统的设计与实现[D]. 北京:中国科学院大学, 2018.
- [6] 石硕,王瑞雪,李慧,等. LDPC 码的多路并行编码器实现[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(7): 83-89.
- [7] 朱杰. 极轨气象卫星数传链路雨衰影响[J]. 气象科技, 2014, 42(1): 54-61.
- [8] 赵振维,卢昌胜,林乐科,等. 地空链路雨衰减预测模式研究[J]. 电波科学学报, 2013, 28(3): 412-419.
- [9] 梅妍玘,傅荣. Ka 波段卫星通信雨衰问题的研究[J]. 舰船电子对抗, 2016, (3): 49-53.
- [10] 李利,郭佩丽. 空间分集技术在对流层散射通信中的应用研究[J]. 科技创新与应用, 2020(27): 148-150.
- [11] 高超垒,宋振宇,战勇杰. 一种用于卫星通信的空间分集信号合成方法[J]. 电子技术应用, 2013, 39(12): 111-113, 117.
- [12] 臧鹏. 无线通信中分集合并技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(6): 65-69.
- [13] 崔鹏,贾树泽,王素娟. 高级在轨系统在风云三号气象卫星中的应用[J]. 气象科技, 2011, 39(4): 473-476.
- [14] 中国科学院国家空间科学中心. 一种 CCSDS AOS 协议数据实时处理方法及系统:CN201910236698. X[P]. 2019.
- [15] 王铮. 高级在轨系统(AOS)关键技术研究[D]. 西安:西北工业大学, 2007.
- [16] 王雷,张海江,刘小鲲. AOS 协议遥测调度算法研究及实现[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(5): 52-55.

作者简介

张宝,硕士,工程师,主要研究方向气象卫星数据的接收与处理等。

E-mail:563308567@qq.com