

# CCSDS 发送端包复用处理系统性能分析

别玉霞<sup>1,2</sup> 刘海燕<sup>2</sup> 潘成胜<sup>1,2</sup>

(南京理工大学自动化学院 南京 210094)<sup>1</sup> (大连大学通信与网络重点实验室 大连 116622)<sup>2</sup>

**摘要** 针对 CCSDS 数据包随机到达和包长可变的特点,建立了 CCSDS 发送端包复用处理系统的性能模型及处理界限;在设定包到达服从泊松过程的基础上,分析了缓存和处理速度与包长的关系,得出了包复用处理系统的溢出界限;通过仿真验证了包到达率和包长对处理系统处理能力的影响及对缓存容量的需求,从而为 CCSDS 发送端数据处理系统的设计提供了理论依据。

**关键词** 包复用,包到达率,包长,缓存容量

**中图分类号** V557+.3 **文献标识码** A

## Performance Analysis of CCSDS Sender Packet Multiplexing Processing System

BIE Yu-xia<sup>1,2</sup> LIU Hai-yan<sup>2</sup> PAN Cheng-sheng<sup>1,2</sup>

(School of Automatic, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)<sup>1</sup>

(Communication and Network Lab, Dalian University, Dalian 116622, China)<sup>2</sup>

**Abstract** For the characteristics of CCSDS, which are packet random arrival and variable packet length, the paper established the performance model and processing limit of multiplexing processing system that sends CCSDS packets. On the basis of packet arrival obeying Poisson process, the relationship of cache capacity and processing speed with packet length was analyzed. Then overflow threshold of packet multiplexing processing system was deduced. Simulation results show the impact of packet arrival rate and packet length on processing ability and the required cache capacity, which provides a theoretical basis for design of CCSDS sender data processing system.

**Keywords** Packet multiplexing, Packet arrival rate, Packet length, Cache capacity

## 1 引言

CCSDS(空间数据系统咨询委员会)是一个由多国空间组织共同组成的国际性标准化组织,主要为空间数据系统指定标准化的通信体系结构、通信协议与业务。CCSDS 标准不仅为实现开放互连的国际空间数据系统网奠定了基础,而且反映了世界空间数据系统的最新技术发展动态。由于空间数据系统为大量动态的用户提供服务,各信源或用户信息产生时是独立无关的,且数据量、数据率和实时性要求各不相同。为有效传输这些多信源、多用户且业务要求各不相同的信息,并提高空间数据信道的利用率,CCSDS 采用时分多路复用的机制实现多用户动态分享同一物理信道,这两级复用包括包多路复用和虚拟信道多路复用<sup>[1]</sup>。

包多路复用功能由发送端的包复用处理系统实现,各星载用户的遥测或应用数据由用户自己或星上数据管理系统打成包后,把具有相同 GVCID(全球虚拟信道标识符)的数据包封装在一个帧中,实现不同进程多用户数据包的复用<sup>[2]</sup>。包复用处理系统是发送端数据处理的核心。由于不同应用过程产生的包具有不同的发生率和包长度,这些包是自主发生的,具有随机性<sup>[3]</sup>。包的产生时间间隔不固定,根据用户工作的需要随时生成,包长度也可随机变化。当对这些包进行复用时,就会造成包复用处理系统的动态负荷变化范围很大,容易

使其发生溢出而丢失数据。因此,建立一个发送端包复用处理系统的性能模型并分析其处理界限,是设计发送端数据处理系统的关键。

## 2 包复用处理系统模型与性能分析

包复用处理系统的模型如图 1 所示,包括一个缓存单元和一个处理单元。处理单元由包预处理单元、包调度单元、包复用单元和成帧单元组成;缓存单元用于暂时存放输入包。包预处理单元用于检测包的 GVCID,包调度单元将具有相同 GVCID 的包按照一定的调度策略从缓存中取出,包复用单元将相同 GVCID 的包复用成 MPDU(复用协议数据单元),成帧单元负责产生帧头,并根据 GVCID 将 MPDU 放到相应虚拟信道的帧的数据域中。当输入端突发进入大量包,超过处理单元的处理能力且缓存单元也被存满时,就发生溢出,造成包丢失。

包复用处理系统的性能由包到达率、处理单元的处理速度、缓存容量、帧长和包长决定。包的到达是一个随机过程,不同时刻的包到达率决定了包突发的情况;处理单元各部分的工作实际上是分析包头和产生帧头,而处理单元对每个包头和每个帧头的处理时间是固定的<sup>[4,5]</sup>,因此处理单元的处理速度影响单位时间内处理的包头和帧头数;缓存单元用来暂时存储等待处理的包,缓存容量的大小决定了系统处理突

到稿日期:2009-11-30 返修日期:2010-01-20 本文受 863 国家重点基金项目(2008AAXX)资助。

别玉霞(1981-),女,博士生,主要研究方向为导航制导与控制,E-mail:flybird699@tom.com;刘海燕(1963-),女,博士,副教授,主要研究方向为卫星通信等;潘成胜(1962-),男,博士,教授,主要研究方向为导航制导与控制等。

发包的能力;帧长决定产生帧头的负荷,对于一个确定的任务,帧长通常是固定的,因此帧头的产生是一个稳定的负荷;包长的变化对处理系统的处理速度和所需缓存容量都产生很大的影响,因为星上各个数据源产生包的长度是不同的,而且同一个数据源不同时刻产生包的长度也可能不同<sup>[6,7]</sup>。对于给定的输入数据率,包长越小,需要处理的一个帧内的包头相对就越多,因此包复用处理系统的工作负荷与包长呈反比关系。

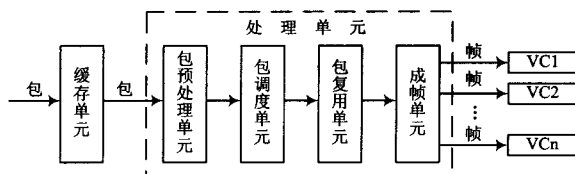


图1 包复用处理系统模型

### (1)包到达过程

包到达过程服从强度为  $\lambda_p(t)$  的泊松过程<sup>[8]</sup>,因此在  $(0, T)$  时间内到达  $n$  个包的概率为

$$P(n) = \frac{[\lambda_p(t) \cdot T]^n e^{-\lambda_p(t) \cdot T}}{n!} \quad (1)$$

可得在  $(0, T)$  时间内到达的包数为

$$N(T) = \sum_{n=0}^{\infty} nP(n) \quad (2)$$

### (2)包复用处理系统的缓存容量

缓存容量用缓存单元平均可容纳的包个数来衡量,设包长的均值为  $L_p$ ,则包复用处理系统的缓存容量为

$$N_{avg} = \frac{S_b}{L_p} \quad (3)$$

式中,  $S_b$  为缓存单元的大小(bits)。

### (3)处理单元的处理速度

处理速度以单位时间内处理的包数来表示。设  $V_{max}$  为处理单元的最大处理速度,即单位时间内能处理的最大包数(个),表示为

$$V_{max} = \frac{1}{T_p + T_f/N} \quad (4)$$

式中,  $T_p$  为处理一个包头的的时间,  $T_f$  为产生一个帧头的的时间,  $N$  为一个帧内封装的包个数。

则处理单元的处理速度可表示为

$$V(t) = \begin{cases} R(t), & \text{若 } R(t) < V_{max} \\ V_{max}, & \text{若 } R(t) \geq V_{max} \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $R(t)$  表示  $t$  时刻缓存器内剩余包数,为  $(0, t)$  时间内到达的包数与处理的包数之差。

在  $t$  时刻,若缓存器内剩余包数小于最大处理速度,则处理速度为缓存器内剩余包数;若缓存器内剩余包数大于等于最大处理速度,则以最大速度处理。这样综合考虑缓存内剩余包数与最大处理速度来确定当前的处理速度,既可以保证系统始终以允许的最大速度处理,又能避免由于处理速度过大而造成的下溢现象。

### (4)包复用处理系统的溢出门限

若在某一阶段,包长很大,即缓存单元能缓存的包个数很少,或包到达率很大,如果在此情况下处理速度跟不上包到达的速度,则将导致缓存溢出。因此,综合考虑缓存容量和处理速度,得出包处理系统的溢出门限为

$$N(t) > N_{avg} + \sum_{\Delta t=0}^t \Delta t \cdot V(\Delta t) \quad (6)$$

式中,  $N(t)$  为  $(0, t)$  时间内输入的总包数,式中右侧第二项为  $(0, t)$  时间内处理的总包数。在某时间段内,当输入的总包数大于平均能缓存的总包数与处理的总包数时,将发生溢出。

## 3 包复用处理系统性能仿真

### 3.1 仿真设计

#### (1)基本参数设置

仿真时,设帧长  $L_f$  为 1275byte,处理单元处理一个包头的的时间  $T_p$  为  $2.5\mu s$ ,产生一个帧头的的时间  $T_f$  为  $0.9\mu s$ 。

表1为在不同包长下的缓存容量、每帧中包的个数及最大处理速度。可以看出,包长越大,固定缓存单元中能容纳的包个数越少,一帧中能包含的包个数也越少,在相同时间内处理的帧头数越多,最大处理速度也越小。

表1 不同包长情况下的参数值(缓存16kbyte)

包长(byte)	200	600	1800
缓存容量(个)	81.92	27.31	9.1
每帧中包的个数(个)	6.375	2.125	0.708
最大处理速度(个/s)	$3.7862 \times 10^5$	$3.4205 \times 10^5$	$2.6521 \times 10^5$

#### (2)包到达过程设计

设包到达率  $\lambda_p(t)$  为周期 0.5ms 的正弦函数,  $\lambda_{p,avg}$  为平均包到达率,则

$$\lambda_p(t) = \lambda_{p,avg} + \lambda_{p,avg} \cdot \sin(2\pi \cdot 2000t)/2 \quad (7)$$

图2为不同  $\lambda_{p,avg}$  下的  $\lambda_p(t)$  随时间变化的关系曲线,图3为在  $\lambda_{p,avg}$  取 50000 个/s、150000 个/s、250000 个/s、350000 个/s 时,到达的包数随时间变化的关系曲线。

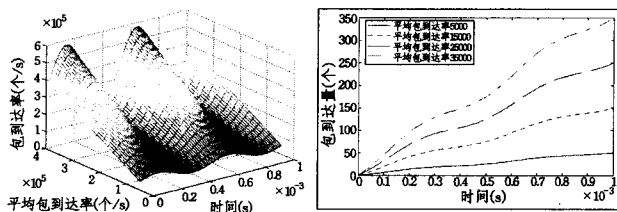


图2 包到达率变化曲线

图3 到达的包数随时间变化的关系

### 3.2 仿真结果及分析

#### (1)包到达率与包长对溢出的影响

表2列出了在缓存16kbyte下不同平均包到达率、不同包长情况下的溢出时间。可以看出,当包长取200byte时,在几种平均包到达率下均不发生溢出;当包长取600byte时,  $\lambda_{p,avg}$  小于330000个/s时不溢出,  $\lambda_{p,avg}$  达到350000个/s时发生溢出;当包长取1800byte时,  $\lambda_{p,avg}$  小于190000个/s时不溢出,  $\lambda_{p,avg}$  达到230000个/s时发生溢出。即平均包到达率越大,发生溢出的时间越早;包长越大,固定缓存中能缓存的包数越少,发生溢出的时间也越早。

表2 不同平均包到达率、不同包长下的溢出时间  
(缓存16kbyte,溢出时间( $\mu s$ ))

包长 $\lambda_{p,avg}$	200 (byte)	600 (byte)	1800 (byte)
50000(个/s)	不溢出	不溢出	不溢出
150000(个/s)	不溢出	不溢出	不溢出
190000(个/s)	不溢出	不溢出	不溢出
230000(个/s)	不溢出	不溢出	140
250000(个/s)	不溢出	不溢出	110
270000(个/s)	不溢出	不溢出	90
290000(个/s)	不溢出	不溢出	70
330000(个/s)	不溢出	不溢出	60
350000(个/s)	不溢出	180	50
390000(个/s)	不溢出	140	40

图4(a)(b)(c)分别为在3种平均包到达率、3种包长下的处理界限,可以看出,当  $\lambda_{p,avg}$  为150000个/s时,3种门限下均未溢出;当  $\lambda_{p,avg}$  为250000个/s,包长1800byte时在0.11ms

处发生溢出,其他包长下均未溢出;当 $\lambda_{p,avg}$ 为350000个/s,包长1800byte时在0.05ms处发生溢出,包长600byte时在0.18ms处发生溢出,包长200byte时不溢出。

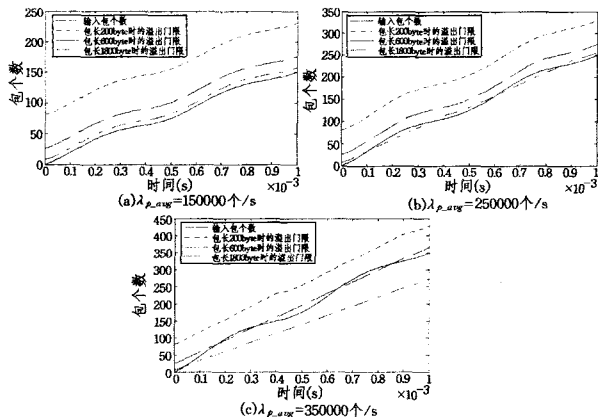


图4 溢出门限(缓存16kbyte)

综上所述,对于相同的缓存容量、相同的包长,平均包到达率越大,越容易溢出;对于相同的缓存容量、相同的平均包到达率,包长越大,越容易溢出。

### (2) 缓存容量要求

图5为在 $\lambda_{p,avg}$ 为350000个/s时,4种缓存容量下,发生溢出的时间随包长变化的关系曲线。可以看出,对于相同的平均包到达率、相同包长,缓存容量越小,越容易溢出,增大缓存容量能推迟发生溢出的时间,并能在一定程度上防止溢出。当包长超过一定值时,发生溢出的时间接近负指数分布。

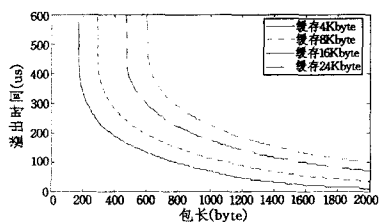


图5 溢出时间( $\lambda_{p,avg}$  = 350000个/s)

图6(a)为在不溢出的前提下所需缓存容量与平均包到达率及包长变化的关系曲线,图6(b)为3种包长下所需缓存容量与平均包到达率的关系曲线。

可以看出,在处理速度一定时,系统所需缓存与包到达率和包长有关。当平均包到达率很小时,处理系统可实时处理,

所需缓存基本为0。随平均包到达率的增大,所需缓存不断增大。包长很小时,缓存增加幅度很小。随包长的增加,缓存增加幅度也随之变大,所需缓存基本接近指数分布。

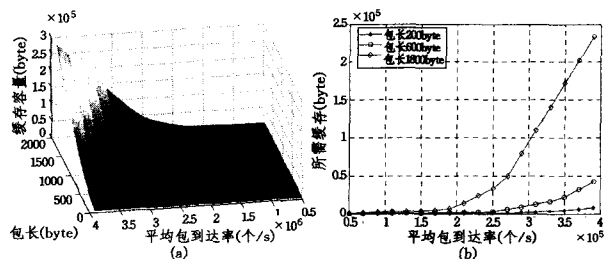


图6 缓存容量需求

**结束语** 本文通过分析包到达率、处理单元的处理速度、缓存容量、帧长和包长等影响系统性能的因素,建立了CCSDS发送端复用处理系统的性能模型及处理界限。仿真结果验证了包到达率和包长对系统性能的影响及对缓存容量的需求,可对CCSDS协议的包调度技术、包长、帧长及缓存的分析与设计提供理论依据,可为发送端数据处理系统的进一步研究提供理论和仿真验证基础。

### 参考文献

- [1] 巴勇. CCSDS协议及空间数据系统分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2000
- [2] CCSDS. CCSDS 732. 0-B-2. AOS Space Data Link Protocol[S]. Recommendation for Space Data System Standard. 2006, 7
- [3] 谭维焯, 顾莹琦. 空间数据系统[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004
- [4] Bruce B. CCSDS Compatible High-rate Telemetry Formatter for Space Application[C] // Proceedings of the 1995 International Telemetry Conference. Las Vegas, USA, 1995: 550-557
- [5] Alex N. Integrated CCSDS, SGLES and STDN Telemetry, Tracking and Command Processing System[C] // Proceedings of the 1995 International Telemetry Conference. Las Vegas, USA, 1995: 535-540
- [6] 杜国明, 陈逢田. CCSDS 遥测包处理分析[J]. 航天器工程, 2007, 16(5): 110-114
- [7] CCSDS. CCSDS 133. 0-B-1. Space Packet Protocol[S]. Recommendation for Space Data System Standard. 2003, 9
- [8] 顾莹琦, 谭维焯. 分包数据系统的星上数据源及其模型[J]. 航天器工程, 2000, 9(4): 16-21
- [9] 2008
- [7] Eunsung J, Janghoon Y, Dong Ku K. A Low Complexity Subcarrier Pairing Scheme for OFDM Based Multiple AF Relay Systems[C] // Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology (ICCIT '08). 2008
- [8] 周明宇, 李立华, 张平, 等. 两跳 OFDM-AF 接力系统中的子载波配对技术[J]. 北京邮电大学学报, 2008, 31(1)
- [9] Zhou M, et al. Sub-carrier Coupling for OFDM based AF Multi-relay Systems[C] // IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007). 2007
- [10] Gradshteyn I, Ryzhik I. Table of integrals, series, and products (6th ed)[M]. Jeffrey A, Zwillinger D, eds. Academic Press, 2000
- [11] Lizhong Z, Tse D N C. Diversity and multiplexing: a fundamental tradeoff in multiple-antenna channels[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2003, 49(5): 1073-1096

(上接第84页)

- [2] Nosratinia A, Hunter T E, Hedayat A. Cooperative communication in wireless networks[J]. Communications Magazine, IEEE, 2004, 42(10): 74-80
- [3] Kaneko M, et al. Amplify-and-forward cooperative diversity schemes for multi-carrier systems[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(5): 1845-1850
- [4] Hammerstrom I, Wittneben A. On the Optimal Power Allocation for Nonregenerative OFDM Relay Links[C] // IEEE International Conference on Communications (ICC '06). 2006
- [5] Herdin M. A Chunk Based OFDM Amplify-and-Forward Relaying Scheme for 4G Mobile Radio Systems[C] // IEEE International Conference on Communications (ICC '06). 2006
- [6] Athaudage C R N, Saito M, Evans J. Performance Analysis of Dual-Hop OFDM Relay Systems with Subcarrier Mapping[C] // IEEE International Conference on Communications (ICC '08).