

基于平滑轮询的 DVB-RCS 时隙调度

高鑫, 王祖林

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

摘要: 将平滑轮询调度算法(SRR)应用于 DVB-RCS 卫星网络的时隙调度中, 实现了回传信道卫星终端(RCST)用户获得的时隙位置在调度表中均匀分布。首先按权值降序对 RCST 用户排序, 采用向量来表示权值的二进制编码。以这些权值向量作为行向量来表示权值矩阵, 同时根据权值向量的维数来构造权值扩展序列。结合权值矩阵, 通过遍历权值扩展序列来确定 RCST 用户的调度顺序。仿真结果表明与轮询(RR)调度算法相比, 基于 SRR 的时隙调度算法缩小了业务包时延的变化范围, 降低了包时延标准差。

关键词: DVB-RCS; 轮询; 时隙调度; 时隙位置

中图分类号: TN915

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)10-3894-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.077

DVB-RCS timeslot scheduling research based on smoothed round robin

GAO Xin, WANG Zu-lin

(School of Electronics & Information Engineering, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Applying smoothed round robin (SRR) in timeslot scheduling within DVB-RCS (digital video broadcasting-return channel via satellite), makes timeslots obtained by the return channel satellite terminal (RCST) users evenly distributed in the scheduling table to decrease standard deviation of package delay. Firstly, it sorted RCST users by their weights in descending order. Then respectively coded the weights for these RCST users into binary code represented as the vectors. IT comprised the weight matrix by these weight vectors, while formed weight spread sequence according to the dimension of the weight vector. Combined with the weight matrix, set the scheduling order among RCST users by traversing weight spread sequence. The simulation results show that SRR scheduling algorithm can decrease changing range for package delay, and lower standard deviation of package delay comparing with round robin (RR) scheduling algorithm.

Key words: DVB-RCS; round robin; timeslot scheduling; timeslot position

0 引言

在宽带卫星通信网蓬勃发展的时代背景下, DVB-RCS^[1]将宽带多媒体业务接入其中, 使其具有全球覆盖性。DVB-RCS采用多频时分复用(MF-TDMA)多址方式, 支持按需分配的MAC协议。

时隙调度不仅要有效利用卫星带宽这一稀缺资源, 也成为保障卫星业务时延公平的重要手段。在卫星通信时隙调度方面, 传统的RR调度算法只能保证长期公平性^[2], 无法保证短时公平性^[3,4], 使得业务包时延抖动增大。因此, 改进短时公平性成为DVB-RCS时隙调度迫切需要解决的问题。

Guo^[5]提出的SRR调度算法实现了业务流在调度表中的位置均匀分布, 提高了业务流的短时公平性。将SRR调度算法应用于DVB-RCS时隙调度中, 实现了RCST用户的时隙位置均匀分布于调度表中^[6], 提高了短时公平性。

在基于SRR的DVB-RCS时隙调度算法中, 将RCST用户的时隙数量请求值表示为该用户的权值。首先按权值降序对RCST用户排序, 对这些权值进行二进制编码, 并采用向量来表示; 然后以这些权值向量作为行向量来表示权值矩阵, 同时根

据权值向量的维数来构造权值扩展序列; 结合权值矩阵, 通过遍历权值扩展序列来确定RCST用户的调度顺序。基于SRR的时隙调度减小业务包之间的时延差值, 减低了包时延方差, 减小了时延抖动。

1 DVB-RCS 时隙调度分析

目前关于DVB-RCS时隙调度的研究, 都是从时隙数量分配来展开的, 认为满足所请求的时隙数量即可满足业务的要求^[7~10]。DVB-RCS按需分配MAC协议支持基于速率的动态容量请求(RBDC)。RBDC以帧为周期来发送时隙请求, 将时隙请求值发送至网络控制中心(NCC)。由NCC执行时隙调度, 并将调度结果广播至网内RCST。由于帧时间较长, 同时通过GEO卫星转发的业务包往返时延(RTT)为240~280 ms, 因此需要考虑不同时隙位置对卫星网络业务的影响。

假设业务包到达RCST MAC队列的时间间隔服从指数分布^[11], 且MAC队列为先入先出队列, 包长度固定, 每个时隙传输一个业务包。NCC以帧作为调度周期^[1], 以帧的开始时间作为实际服务开始时间 t_{sf} , 业务包的端到端时延 t_d 表示为

$$t_d = t_{sf} + t_l + t_{td} - t_{pg} \quad (1)$$

收稿日期: 2012-02-06; 修回日期: 2012-03-19

作者简介: 高鑫(1982-), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 主要研究方向为卫星通信网(craig_gao@163.com); 王祖林(1965-), 男, 湖北潜江人, 教授, 博导, 主要研究方向为图像处理、卫星通信。

其中: t_{pg} 表示业务包产生时间; t_l 表示时隙时间相对于帧开始时间的时隙偏移量; t_{td} 表示业务包下行链路传播时延。由于 t_g 和 t_{td} 属于固有延, t_d 的大小仅取决于 t_l 。在一个调度周期中所有可调度时隙的 t_l 之和为定值, 因此平均端到端业务包时延与 NCC 的调度顺序无关。

如果 NCC 每执行一次调度都遍历所有 RCST 用户并从中找到生成时间最早的业务包来执行, 则可以实现最小时延抖动。但在实际调度过程中, NCC 无法获取业务包的生成时间。不同 RCST 用户业务包的到达间隔不同, 如果 NCC 可以将 RCST 用户获得时隙的位置在调度表中均匀分布, 就能从统计平均角度实现对最早包生成时间调度的逼近, 在一定程度上避免了业务包生成时间早而后被调度情况的出现, 降低了时延抖动。

2 SRR 时隙调度算法

基于 SRR 的时隙调度算法依赖于权值矩阵和权值扩展序列, 以实现 RCST 用户获得的时隙位置均匀分布。本章首先介绍权值矩阵和权值扩展序列的构建方法; 然后介绍 SRR 的调度流程, 并分析其空间复杂度与时间复杂度。

2.1 权值矩阵和权值扩展序列

在一个调度周期内, 对发送时隙请求的 N 个 RCST 用户按权值降序排序, 形成 RCST 用户序列 $U = \{u_0, u_1, \dots, u_{N-1}\}$, 对应的权值序列为 $W = \{w_0, w_1, \dots, w_{N-1}\}$, 其中 RCST 用户 u_n 的权值为 w_n 。

首先构造 U 的权值矩阵 WM 和权值扩展序列 $\text{seq}_L^{[5]}$ 。 WM 由权值向量 $WV_i (0 \leq i \leq N-1)$ 构成, 而 WV_i 由 w_i 的二进制编码来表示。 w_i 二进制编码表示为

$$w_i = \sum_{j=0}^{L_i-1} b_{i,j} 2^j \quad b_{i,j} \in \{0, 1\} \quad (2)$$

其中, L_i 表示 w_i 的二进制码长。

选择 $L = \max(L_i)$ 作为 WV_i 的维数。如果 $L_i < L$, 则在向量 WV_i 第 $0 \sim L - L_i - 1$ 分量中补零。 WM 表示为

$$WM_m = \begin{bmatrix} WV_0 \\ WV_1 \\ \vdots \\ WV_{p-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{0,0} & c_{0,1} & \cdots & c_{0,L-1} \\ c_{1,0} & c_{1,1} & \cdots & c_{1,L-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{p-1,0} & c_{p-1,1} & \cdots & c_{p-1,L-1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{其中, } c_{i,j} = \begin{cases} b_{i,L-1-j} & L - L_i \leq j < L \\ 0 & 0 \leq j < L - L_i \end{cases}。$$

U 的权值扩展序列 seq_L 表示为

$$\text{seq}_L = \begin{cases} 1 & L = 1 \\ \text{seq}_{L-1}, L, \text{seq}_{L-1} & L > 1 \end{cases} \quad (4)$$

其中, 序列 seq_L 的长度为 $2^L - 1$ 。

2.2 SRR 时隙调度算法

SRR 时隙调度利用 WM 和 seq_L 来执行, 其步骤如下:

begin

a) 在一个调度周期中, 对发送时隙请求的 N 个 RCST 用户按权值降序排序, 形成 RCST 用户序列 $U = \{u_0, u_1, \dots, u_{N-1}\}$, 对应的权值序列 $W = \{w_0, w_1, \dots, w_{N-1}\}$;

b) 按式(2)和(3)来构造 U 的构造权值矩阵, 按式(4)来构造其权值扩展序列;

c) 遍历 seq_L , 如果 seq_L 中当前元素 $x_r = y$, 则选择 WM 中的 $y-1$ 列, 然后按权值向量编号升序顺序遍历该列, 将 $c_{i,y-1} = 1$ 所对应的 RCST 用户 ID 插入调度表的末尾。

end

SRR 空间复杂度为构建构造权值矩阵和权值扩展序列所需的附加存储空间, 表示为

$$2^{\lceil L/2 \rceil} + O(N \times L) \quad (5)$$

其中: 第一项为权值扩展序列的空间复杂度, 第二项为权值矩阵的空间复杂度。

在权值矩阵的列向量中, 如果只存在一个等于 1 的元素, 则需要遍历所有 RCST 用户才可分配该时隙, 因此最坏时间复杂度为 $O(N)$ 。最好时间复杂度与 RR 调度算法相同, 为 $O(1)$ 。因此基于 SRR 时隙调度算法的时间复杂度介于 $O(1) \sim O(N)$ 之间。

3 仿真结果及其分析

本文在 OPNET11.5A 中执行基于 SRR 和 RR 时隙调度算法的仿真, 并从平均时延和包时延标准差两方面来进行比较。假设业务包到达的时间间隔服从指数分布, RCST 用户以帧为周期, 根据 MAC 队列中的业务包数量来发送时隙请求。主要仿真参数如表 1 所示。

表 1 主要仿真参数

仿真参数	参数取值
RCST 用户数量	24
RTT/ms	250
帧时间/ms	250
每帧包括的时隙数量	400
时隙时间/ms	0.625
回传信道比特速率/kbps	800
网络负载率/%	10 ~ 80
仿真时间/s	2 000

表 2 给出了基于 SRR 和 RR 时隙调度算法所产生的包时延。从表 2 可见, 在相同网络负载率情况下, 不同时隙调度算法所产生的平均包时延是相同的, 表明了本文关于平均包时延分析的正确性。随着网络负载率上升, RCST 用户时隙偏移量逐渐增大, 导致平均包时延随着网络负载率上升而增大。

表 2 包时延比较

网络负载/%	平均包时延/ms	
	SRR	RR
10	888.482	888.482
20	901.149	901.149
30	913.559	913.559
40	926.086	926.086
50	938.719	938.719
60	951.150	951.150
70	963.643	963.643
80	976.210	976.210

图 1 给出了包时延与网络负载率之间的关系。在一个时隙请求周期中,因为 RCST 用户的 MAC 队列是先入先出队列,所以包到达 MAC 队列越早,与发出时隙请求的时间相差越大;而包到达越晚,则与发出时隙请求的时间相差越小。当业务负载率较小时,包平均到达间隔大于时隙时间,到达 MAC 队列较晚的包可以在帧中靠前位置的时间传输。因此,包到达 MAC 队列越晚,则包时延越小,导致包时延的差值较大。随着业务负载率的上升,包平均到达间隔逐渐接近时隙时间,包时延的差值逐渐减小,导致包时延标准差逐渐减小。

与只具备长期公平性的 RR 相比,基于 SRR 时隙调度实现了时隙位置均匀分布,从统计上逼近最早包生成时间调度。对于某个 RCST 用户来说,位置均匀分布的时隙调度缩小了业务包时延的变化范围,减小了时延抖动,从而降低了包时延标准差。

当 RCST 业务包到达间隔服从 20 ms 的指数分布时,图 2 给出了包时延标准差与 RCST 数量之间的关系。由于 RCST 业务服从相同的分布,网络负载率随着 RCST 数量的增加而增大。故 RCST 业务用户所获得时隙的偏移量逐渐增大,相邻两个时隙之间的间隔逐渐接近包产生时间平均间隔,因此业务包时延标准差逐渐减小。对于某个 RCST 用户来说,位置均匀分布的时隙调度缩小了业务包时延的变化范围,因此基于 SRR 算法的包时延均方差始终低于 RR 算法所产生的均方差。

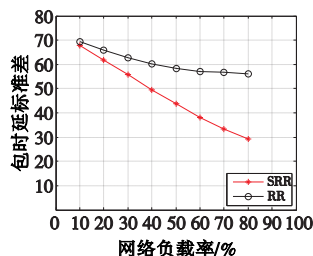


图1 包时延标准差比较

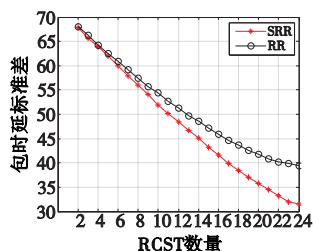


图2 包时延标准差比较

4 结束语

本文针对 DVB-RCS 的时隙调度进行了研究,将 SRR 算法应用于时隙调度中,实现了 RCST 用户的时隙位置在调度表中均匀分布,具有重要的实际应用价值。仿真分析表明:与传统

只保证长期公平性的 RR 算法相比,基于 SRR 的时隙调度算法通过实现时隙位置的均匀分布来减小时延抖动,降低了包时延标准差。如何将 SRR 调度算法与预约卫星网络捎带时隙分配协议相结合是今后需要进一步研究的内容。

参考文献:

- [1] ETSI. ETSI EN 301 790 V1.4.1, Digital video broadcasting (DVB); interaction channel for satellite distribution systems[S]. [S. l.]: ETSI, 2005.
- [2] HUNG A, MONTPETIT M J, KESIDIS G. ATM via satellite: a framework and implementation[J]. *Wireless Network*, 1998, 4(2): 141-153.
- [3] YUAN Xin, DUAN Zhen-hai. Fair round-robin: a low-complexity packet scheduler with proportional and worst-case fairness[J]. *IEEE Trans on Computers*, 2009, 58(3): 365-379.
- [4] 扈红超, 伊鹏, 郭云飞, 等. 一种公平服务的动态轮询调度算法[J]. *软件学报*, 2008, 19(7): 1856-1864.
- [5] GUO C X. SRR: an $O(1)$ time-complexity packet scheduler for flow in multiservice packet networks[J]. *IEEE/ACM Trans on Networking*, 2004, 12(6): 1144-1155.
- [6] 秦勇, 张军, 张涛. TDMA 时隙分配对业务时延性能的影响分析[J]. *电子学报*, 2009, 37(10): 2277-2283.
- [7] LEE K D, CHANG K N. A real-time algorithm for timeslot assignment in multirate return channels of interactive satellite multimedia networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2004, 22(3): 518-528.
- [8] 李斗, 姬冰辉, 王峰, 等. 基于混沌预测的宽带 DVB-RCS 卫星接入信道动态分配方案研究[J]. *电子与信息学报*, 2008, 30(3): 607-611.
- [9] MORELL A, SECO-GRANADOS Y, VAZQUESZ-CASTRO M. Cross-layer design of dynamic bandwidth allocation in DVB-RCS[J]. *IEEE Systems Journal*, 2008, 2(1): 62-73.
- [10] 高鑫, 王祖林. 基于效用最大化的 DVB-RCS 跨层动态带宽分配[J]. *宇航学报*, 2011, 32(4): 857-863.
- [11] JERUCHIM M C, BALABAN P, SHANMUGAN K S. Simulation of communication systems: modeling, methodology and techques[M]. New York: Plenum Press, 2003: 11-43.