

文章编号: 1000-6893(2001)S0-0S98-05

一种新的 S-TDMA 系统的时隙分配方案

张 军¹, 李忠孝¹, 胥 青²

(1. 北京航空航天大学 电子工程系, 北京 100083)

(2. 山东师范大学 物理系, 山东 济南 250014)

NEW SLOT ALLOCATION SCHEME IN SELF-ORGANIZED TDMA SYSTEMS

ZHANG Jun¹, LI Zhong-xiao¹, XU Qing²

(1. Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083, China)

(2. Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

摘 要: 在分析 S-TDMA 系统中典型时隙分配方案的基础上, 提出了一种新的时隙动态分配方案, 使地面站可以根据用户的需求实时地为其分配时隙。采用排队论的方法对时隙动态分配方案中优先级不同的用户请求的报文延时性能进行了分析对比。仿真结果表明, 这种时隙动态分配方案可以大大缩短优先级别高的用户请求的报文延时, 因而适用于用户有应急需求, 需要发送长报文的场合。

关键词: 甚高频数据链; 时分多址; 时隙分配; 时延

中图分类号: V355; V247.1⁺4 **文献标识码:** A

Abstract: Based on the analysis of the typical time-slot assignment scheme in a self-organized TDMA system, a new dynamic assignment scheme is proposed in this paper, aimed at allocating slots for users according to their requirements in real time. Using the queue theory, the time delay performance of the scheme is analyzed and compared between two kinds of users' requirements with different Priority. Simulation results show that the scheme can reduce the message delay of users' requirements with higher priority, and thus is applicable to the situation where the users have urgent requirements.

Key words: VHF datalink; time division multiple access; slot assignment; time delay

S-TDMA 是目前唯一一种既支持空空应用, 又支持空地应用的数据链系统^[1]。其自组织特性是通过周期性广播预约协议^[2]实现的, 主要应用于空空数据链。而空地数据链的应用是通过指令型请求预约协议^[2]实现的。

在终端区, 由于飞机用户分布密集, 时隙资源紧张, 若仍采用具有自组织特性的周期性广播预约协议, 当大量用户同时争用时隙进行通信时, 会产生用户找不到可用时隙的情况, 出现时隙的无序争用。另外, 在机场区应急情况较多, 会有应急实时通信的要求。因此需要采用指令型请求预约协议, 由地面主控站来为用户统一安排时隙。

地面站对用户的控制是通过采用一定的时隙分配方案为用户安排时隙来实现的。根据 S-TDMA 数据链系统的指令性请求预约协议中典型的时隙分配方案^[2], 用户的报文发送完全取决于地面站的控制, 用户按照地面站的预约指令持续若干超帧占用该时隙, 直到再次收到地面站发来的

受控预约指令。由于用户的时隙完全取决于地面站的指定, 用户没有权利选择时隙。当用户出现紧急业务, 需要发送报文时, 却不能立即接入信道, 不能满足应急情况下需要实时通信的场合。尤其是这种时隙分配方案下分配给用户的时隙是不连续的, 显然也不能满足用户需要连续占用多个时隙发送信息的应用场合。随着机场规模的扩大, 飞行密度的增加, 这种时隙分配方案越来越不能适应现代空中交通管理对实时性的要求。

本文提出一种新的时隙动态分配方案, 当用户有紧急业务需求时, 地面站可根据用户带有优先级的预约请求, 实时地为其分配时隙, 并支持用户需要连续占用多个时隙(又称时隙块)发送长报文的要求。文中采用排队论的方法对这种时隙动态分配方案中优先级不同的用户请求的报文延时的性能指标进行了分析对比。仿真结果表明, 这种支持带优先级预约请求的时隙动态分配方案改善了报文延时性能, 适合于用户有应急需求, 需要发送长报文的场合。

1 典型的 S-TDMA 时隙分配方案

在 S-TDMA 数据链系统中, 时隙的分配是指

收稿日期: 2001-04-10; 修订日期: 2001-05-30

基金项目: 航空科学基金(98E51116)、航空预研基金资助项目

文章网址: <http://www.hkxb.net.cn/hkxb/2001/S0/0S98/>

© 1994-2006 by China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

在受控状态下主控站根据时隙的分布情况来为用户指定可用时隙的过程。受控状态下用户的时隙分配是由主控站(通常是地面站)采用一定的时隙分配方案实现的。

当用户进入地面站通信覆盖区后,首先进行系统登录,监听信道持续一超帧,接收系统其他用户的广播报,获取系统其他用户的信息。根据这些信息,用户向地面站发送预约请求,接收到地面站的应答后,用户立即转入受控状态,并成为地面站通信覆盖区的新用户。随后,用户接收到地面站发来的受控预约指令后,即可在地面站分配的时隙内广播数据报文,并且按照地面站的受控预约指令持续若干超帧占用该时隙,直到再次收到地面站发来的受控预约指令。

图 1 给出了在受控状态下 S-TDMA 数据链系统的典型时隙分配方案的示意图。

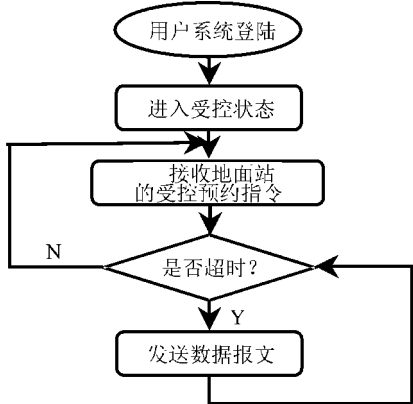


图 1 S-TDMA 典型时隙分配方案示意图

Fig.1 Typical slot assignment scheme in S-TDMA

当地面站需要获得或者需要让其他用户获知某用户的位置、状态等信息时,它向该用户发出指令性预约请求,要求该用户将这些信息传回地面站或广播给其他用户。此用户接收到指令后,将在地面站所指定的时隙内将这些信息发送出去。地面站的受控预约指令中包含有用户可持续占有该时隙的超帧数。如果用户发送的报文帧数超时,则报文发送截止。这种方案中,处于受控状态下的用户其报文发送完全取决于地面站的控制,用户自己不能主动发送报文请求,因而限制了它的许多实时的应用。

2 新的 S-TDMA 时隙动态分配方案

在 S-TDMA 数据链系统典型时隙分配方案中,由于用户的时隙预约占用完全取决于地面站的指定,用户没有权利选择时隙。当用户主动需要

发送报文时,地面站不能实时地为其分配时隙。尤其是用户需要连续占用多个时隙(又称时隙块)发送长报文时,在这种方案下几乎不可能的。

若能将用户对时隙的需求信息反映到地面站,由地面站根据用户对时隙的请求来实时动态分配时隙^{3~6},可有效地解决上述问题。基于以上考虑,我们提出一种新的时隙动态分配方案。图 2 给出了该方案的用户工作流程图。

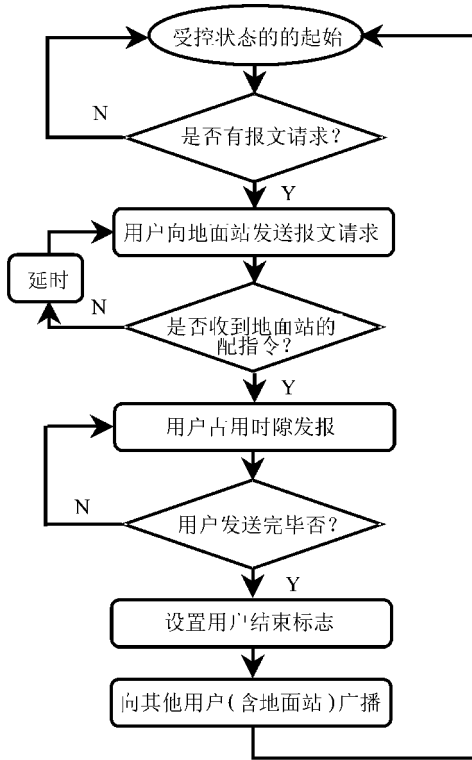


图 2 新的时隙动态分配方案下用户工作流程

Fig.2 Flow chart of subscriber in new scheme

当用户需要发送报文时,向地面站发送预约请求信息。根据紧急与否,此报文可以选择是否带有优先标志(带有优先标志的报文优先级别高),优先级别高的报文将首先获得服务。多个用户的预约请求将在同一时隙内送达地面站,经过排队处理后,地面站将依次满足各个预约请求。用户接收到地面站的分配指令后,将占用该时隙或时隙块发送报文。报文发送完毕之后,该用户重新转入空闲状态。在报文的尾部,用户会设置报文结束标志,广播给所有的用户(包括地面站),使其他有发报需求的用户可以向地面站发送预约请求信息。这样,地面站将分配给该用户的时隙(块)通过分配指令发送给用户,用户接收后,立即占用该时隙发报(可以是多个连续时隙)。发报完毕时,该用户会设置报文结束标志,并广播给所有的用户(包括地面站),通知其他用户可以继续使用该用户已使

用完的时隙。

用户将自己的需求信息反应到地面站后,地面站将按照一定的规则来协调各用户的要求,并为之服务。图 3 给出了地面站的工作流程图。

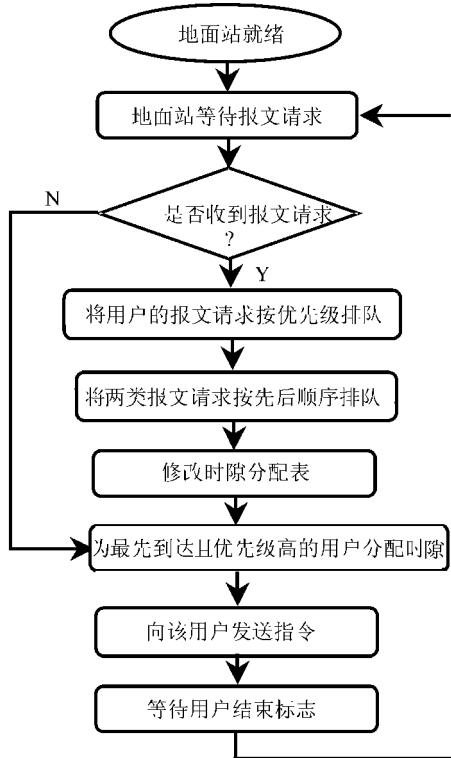


图 3 新的时隙动态分配方案下地面站流程

Fig. 3 Flow chart of ground station in new scheme

地面站收到多个用户预约请求后,将按照这些请求的到达顺序和优先级排队,地面站将按优先级的高低,对于同一优先级按到达的先后顺序来为之分配时隙,并形成时隙分配表。地面站根据时隙分配表为用户服务,选择表中排在最前面的用户作为第 1 个服务对象。向此用户发送报文时隙预约请求(支持多个连续时隙的情况),将其后的时隙或时隙块分配给该用户使用,并以发送受控预约指令的形式通知该用户,这样,该用户即可占用此块时隙发送报文。此用户的报文发送完毕后,将发送标志信息。此时,第 1 次服务周期结束。在其后的 1 个时隙内,有报文发送需求的用户向地面站发送预约请求,地面根据这些报文请求的顺序和优先级修改时隙分配表,并根据修改后的表为排在最前面的用户分配其所需的时隙,开始第 2 次服务。按照上述流程,地面站根据用户的请求来统一地安排时隙资源,实现了时隙的动态分配。

3 S-TDMA 时隙动态分配方案的分析

时分配时隙之前,需要获得用户的需求信息。当用户需要发送报文时,首先发送预约请求。各用户的预约请求按照优先级分别被安排在优先和非优先 2 个队列中排队。设终端区的用户数为 N ,用户的报文产生服从泊松分布,其中优先级高的报文产生率为 K_1 ,而优先级低的报文产生率为 K_2 ,则优先和非优先 2 个队列的顾客平均到达率分别为 NK_1 和 NK_2 。同一队列中的请求先到先服务,优先级高的用户首先获得服务。获得服务权的用户将占用其后的一段时隙(多个连续时隙)发送报文,则可将用户发送报文的过程视为系统为顾客服务的过程。设地面站对两种报文的处理速率相同,且服务时间服从定长分布,均值为 $1/L$, L 为地面站的报文平均处理速率。报文发送完毕,通知各用户,归还服务权。从而,用户和地面站组成的系统构成了 $M/D/1$ 排队模型。

系统采用非抢占优先服务模式,其服务规则是:(1)在没有报文被处理,即服务台空闲时,若 2 个队列中都有报文等待处理,则首先接纳优先级高的队列中的报文进行处理;(2)若优先级高的报文到达时,优先级低的报文正在被处理,则它只能等待优先级低的报文处理完后才能被处理。

从服务规则上,可以得到,当优先级高的报文到达时,它的等待时间由 3 部分组成:(1)正在等候被处理的优先级高的所有处理时间的总和;(2)正在被处理的报文的处理时间;(3)预约请求信息、地面站的指令信息及报文发送完毕的标志信息的传送时间。

设时隙宽度为 S ,超帧时隙数为 M ,则到达的优先级高的报文平均等待时间为

$$d_1 = E \left\{ \sum_{i=1}^{M_1} S_i \right\} + Q E \{ S_0 \text{ 服务台被使用} \} + E \{ \text{其它信息的传送时间} \} \quad (1)$$

其中: M_1 表示等候服务的优先级高的报文数; S_0 表示剩余服务时间; S_i 表示报文的的服务时间; Q 表示服务台忙的概率。

由于报文的到达是泊松过程,所以 M_1 不随时间变化,由 Little 公式可得

$$E \{ M_1 \} = N K d_1 \quad (2)$$

由于报文的的服务时间服从定长分布,所以有

$$E \{ S_i \} = E \{ S_j \} = 1/L, \quad (i \neq j) \quad (3)$$

当服务台被使用时,剩余服务时间具有平稳分布,且均值为

$$E \{S_{e\hat{u}} \text{ 服务台被使用} \} = \frac{E \{S^2\}}{2E \{S\}} \quad (4)$$

其中: S 表示系统的服务时间。由于报文的服务时间服从定长分布, 则

$$E \{S\} = E \{S_i\} \quad (5)$$

系统的高优先级报文业务量为

$$Q = N K E \{S\} = N K / L \quad (6)$$

系统的低优先级报文业务量为

$$Q = N K E \{S\} = N K / L \quad (7)$$

则服务台忙的概率为

$$Q = Q + Q \quad (8)$$

在动态时隙分配方案中, 预约请求信息、地面站的指令信息及报文发送完毕的标志信息的长度短, 可以安排它们在 1 个时隙中传送。所以有

$$E \{ \text{其它信息的传送时间} \} = S \quad (9)$$

由于报文的长度是以时隙为单位, 且需要占用多个时隙, 所以可以忽略它对整个报文等待时间的影响。整理后, 有

$$d_1 = \frac{Q}{2L(1-Q)} \quad (10)$$

则优先级别高的报文处理的平均延误时间为

$$W_1 = d_1 + \frac{1}{L} = \frac{2+Q-2Q}{2L(1-Q)} \quad (11)$$

对于新到的优先级别低的报文, 其等候时间 D 包括: (1)正在等候被处理的所有报文(包括优先级别高和优先级别低)的处理时间的总和;(2)正在被处理的报文的处理时间;(3)预约请求信息、地面站的指令信息及报文发送完毕的标志信息的传送时间。

$$D = E \left\{ \sum_{i=1}^{M_1} S_i \right\} + E \left\{ \sum_{i=1}^{M_2} S_i \right\} + Q E \{S_{e\hat{u}} \text{ 服务台被使用} \} + E \{ \text{其它信息的传送时间} \} \quad (12)$$

其中: M₂ 表示等候服务的优先级别低的报文数。

设新到的优先级别低的报文的平均等待时间为 d₂, 在此期间内, 若有优先级别高的报文到达, 它将先于此报文被处理, 新到的优先级别低的报文需要继续等待。这段时间内到达的优先级别高的平均报文数量为 d₂K₁, 其需要的平均服务时间为 d₂Q, 则优先级别低的报文的平均等待时间满足

$$d_2 = D + d_2 Q \quad (13)$$

由 Little 公式可得

$$E \{M_2\} = N K d_2 \quad (14)$$

将式(2)、式(4)、式(13)和式(14)代入(12),

整理得

$$d_2 = \frac{Q}{2L(1-Q)(1-Q)} \quad (15)$$

则优先级别低的报文处理的平均延误时间为

$$W_2 = d_2 + \frac{1}{L} = \frac{2(1-Q)(1-Q) + Q}{2L(1-Q)(1-Q)} \quad (16)$$

4 仿真结果

取超帧时隙数 M= 2250, 用户数 N= 10, 报文产生率 K= 0.45, 到达的报文优先级别高的概率 p 分别为 0.3, 0.5 和 0.8。根据式(11)和式(16), 图 4 给出了报文的平均延误时间随报文平均处理速率 L 的变化曲线。

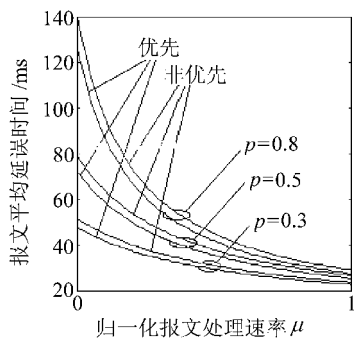


图 4 报文平均延误时间随报文处理速率的变化曲线

Fig. 4 Variation of message delay with processing velocity

从图 4 中可以看出, 报文的平均延误时间随着报文处理速率的增大而减小; 优先级别高的报文延误时延低; 优先级别高的报文产生速率越大, 报文的平均延误时间越长。仍取超帧时隙数 M= 2250, 用户数 N= 10, 另取报文平均处理速率 L 分别为 0.08, 0.1 和 0.15。由式(11)和(16), 报文平均延误时间随报文产生率 K 优先级别高的概率 p 取为 0.5 变化的曲线如图 5 所示。

从图中可以看出, 报文平均延误时间随报文

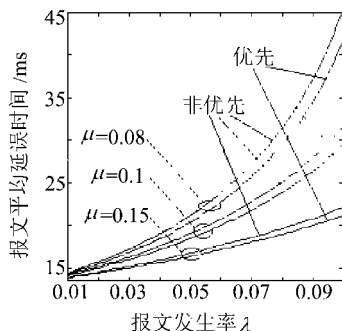


图 5 报文平均延误时间随报文产生率的变化曲线

Fig. 5 Variation of message delay with

产生率的增大而增加。报文产生率相同的情况下, 报文延误时间随报文处理速率的增大而减小。报文产生率和报文处理速率均相同的情况下, 优先级别高的报文延误时间比优先级别低的要少。

5 结 论

通过对 S-TDMA 数据链系统中指令型请求预约协议的典型时隙分配方案分析, 考虑现代空中交通管理对空地数据通信实时性的要求, 本文提出一种新的动态时隙分配方案, 它由地面站根据用户的时隙预约请求, 实时地分配时隙, 可以有效地利用有限的时隙资源, 并支持带有优先级的业务, 可以优先满足用户的紧急业务需求。特别是解决了典型时隙分配方案不能满足用户需要连续占用多个时隙发送信息的问题。文中采用排队论的方法对时隙动态分配方案的延时性能进行了分析, 从仿真结果可以看出, 优先级高的请求的报文延误时间明显小于优先级低的报文延误时间。这表明, 该方案十分适合于用户有应急需求, 需要连续占用多个时隙的应用场合。

参 考 文 献

[1] Johnsson L. The cellular CNS concept (CCC) operating

concept based on the VHF STDMA data link[J]. Navigation, 1996, 44(176): 432- 459.

- [2] ICAO AMCP WG-D. Draft VDL mode 4 standards and recommended practices (Version 5.4) [S]. VDL SARPs WG-D/6, 1997.
- [3] Yamanaka N, Shiomoto K. DTM: new dynamic transfer mode using dynamically assigned short-hold time-slot relay [A]. In: Conference Record/IEEE Global Telecommunications Conference 1[C]. 1998. 375- 380.
- [4] Umeuchi M, Ohta A, Umehira M. Dynamic time-slot assignment schemes for TDMA-based wireless ATM [J]. IEEE Trans on Commun. 1997, E80-B(8): 1182- 1191.
- [5] Bernhardt R C. Automatic time-slot reassignment in a frequency reuse TDMA portable radio system [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 1992, 41(3): 296- 304.
- [6] Pond Lawrence C, Victor L O K. Distributed time-slot assignment protocol for mobile multi-hop broadcast packet radio networks [A]. In: Proceedings-IEEE Military Communications Conference 1[C]. 1989. 70- 74.

作者简介:

张 军 见本期 66 页

李忠孝 见本期 66 页



胥 青 (1962-) 女, 1986年毕业于山东师范大学物理系, 现为山东师范大学物理系教师, 从事物理、计算机等专业的教学及科研工作。