

基于优先级的 TDMA 动态时隙分配算法

李建勋, 樊晓光, 张 喆, 万 明

(空军工程大学工程学院, 西安 710038)

摘 要: 根据帧结构的不同对现有的时隙分配算法进行分类, 分析其特点及综合性能。根据二叉树块内均分法, 提出一种改进的时分多址动态时隙分配算法, 地面主控站可根据用户的紧急或优先级高低的预约请求进行实时分配, 能满足用户占用时隙块发送较长报文的需求。仿真结果表明, 该算法能减少报文的平均延误时间, 适合突发应急报文的传输需要。

关键词: 数据链; 时分多址; 时隙块; 二叉树; 时隙分配

TDMA Dynamic Slot Allocation Algorithm Based on Priority

LI Jian-xun, FAN Xiao-guang, ZHANG Zhe, WAN Ming

(Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

[Abstract] A description of the current dynamic slot allocation algorithms is provided from the perspective of difference in time frame construction. It analyzes the performance of algorithms based on each characteristic. Based on algorithm of bintree average allocation in the block, an improved dynamic slot allocation algorithm is proposed, which aims at allocating slot for users according to the urgency or priority of their requirements in real time and sustains the requirement of transmitting longer message in time-slot block. Simulation results show that the algorithm can reduce the message delay, and thus is applicable to the situation where the users have urgent requirements.

[Key words] data link; Time Division Multiple Access(TDMA); slot block; binary tree; slot allocation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.14.098

1 概述

在高技术作战中, 各指挥控制平台和武器平台只有彼此间实时传递战术数据信息, 才能有效发挥武器系统的作用。航空数据链是一种以一体化联合作战需求为牵引, 链接传感器平台、指挥平台和武器平台, 按照给定的通信协议传输格式化消息的通信系统。基于时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)技术的数据链系统, 以时隙^[1]为基本传输单位, 每个时隙是一个支持飞机、地面站间双向数据传输的独立信道, 具有较高的信息传输率, 系统容量也大大增加。本文在研究典型时隙分配算法的基础上, 根据二叉树块内均分法, 提出一种基于优先级的 TDMA 动态时隙分配算法。

2 典型时隙分配算法分析

通过对一些典型的 TDMA 方式的 MAC 协议的分析, 可以看出, 由于时隙分配思想不同, 形成了不同的帧结构和时隙分配算法, 不同的帧结构的使用使得协议的性能各有差异。根据帧结构的设计方式可以将时隙分配算法分为 3 类: 固定分配算法, 竞争分配算法和动态分配算法^[2]。

2.1 固定时隙分配算法

固定时隙分配的优点是系统设备预置了网络容量的大小, 并保证至少在单个子网环境下不会产生传送冲突。各成员分配时隙数的大小在网络设计阶段就已经确定, 以平台参数文件的形式存储于地面的服务器和机载 CMU 的磁盘上, 系统初始化进行加载, 形成时隙分配表。

TSMA(Time-Spread Multiple-Access)^[3]协议、T-TSMA 协议采用这种时隙分配算法。但随着网络规模增大, 网络容量增大, 网络的时延会很大, 影响系统的性能。

2.2 竞争时隙分配算法

竞争时隙分配算法中的一种是时隙分为竞争时隙部分和

数据时隙部分, 节点通过在竞争时隙部分交互控制报文从而在数据部分获得对应的数据时隙, 数据时隙的获得采用按需预留的方式。另一种是一帧分成 n 个时隙, 每个时隙分成竞争部分和数据部分, 节点通过在竞争部分获得的信息交互获得该时隙的数据段的使用权。这类算法允许网络内节点在一定范围内竞争时隙, 从而实现时隙的复用, 但这类算法完全基于随机竞争机制, 具有很大的弊端。

竞争时隙分配不能保证传送的信息能被接收到, 因为在竞争时隙模式下, 时隙不专用于某个成员, 允许同时传送信息, 不可避免地可能出现 2 个成员同时发送信息而产生的时隙复用现象, 这就存在有成员收不到消息的情况。

2.3 动态时隙分配算法

时隙动态分配算法将协议帧结构分为固定分配段和竞争段, 固定分配段为每个节点分配一个时隙, 使系统具有最低延迟保障, 保证数据发送的稳定性; 竞争段的使用可以多个节点并发, 提高时隙的利用率, 由于节点具有竞争功能, 节点能够按照一定的机制进行时隙的竞争, 从而达到实现优先级服务并服务质量(Quality of Service, QoS)机制的效果。这类算法综合了固定分配算法与竞争分配算法的优势, 在减少系统开销的基础上, 既能充分复用时隙, 又有最差性能保障, 是一种比较成熟的算法。

综上所述, 3 种时隙分配算法的综合性能比较如表 1 所示, 可见动态时隙分配算法具备了另外 2 种时隙分配算法优

基金项目: 国家部委基金资助项目

作者简介: 李建勋(1986—), 男, 博士研究生, 主研方向: 机载计算机, 航空数据链; 樊晓光, 教授、博士; 张 喆, 硕士研究生; 万 明, 讲师、博士

收稿日期: 2011-01-17 **E-mail:** jianxun-li@163.com

点,但在实际作战环境中,每种算法都有其适合的应用空间,对于负载较重、传输混合业务和实现复杂功能的网络,动态分配时隙算法是最好的选择。

表1 算法综合性能比较

算法	信道利用率	系统开销	优先级	网络规模	作战环境
固定分配算法	低	很小	无	小规模网络	小规模军事行动
竞争分配算法	较高	大	支持	小规模网络	小规模军事行动 或救援行动
动态分配算法	高	很大	支持	大规模网络	大规模作战行动

3 基于优先级的 TDMA 动态时隙分配算法

3.1 时隙资源分配模型

3.1.1 时隙块模型

为了使系统中的所有成员都能均衡有效地工作,要求在一个时元内,不但任意网络成员发送消息的间隔要均匀分布,而且整个网络发送消息的间隔要近似均匀分布,也就是说分配每个节点的时隙应具有周期性的等间隔。在时隙分配中,若按单个的时隙逐一分配给每个成员,实现起来很困难,而且很难达到要求。为此提出时隙块模型,将时隙“成块”地分配给各节点。

在资源分配中,将一个时元中一批周期的间隔的时隙定义为一个组,它正好是每个时帧包含一个时隙。时隙块就是将这个时隙组进行均匀划分的结果。每个时隙块都是 2^n 个周期间隔的时隙组成的,而且这些时隙都处在同一个组内。分配时隙资源就是将大小不同的时隙块按需要分配给网络中的移动用户,用户得到的将是一个或多个时隙块,这样不仅可以满足均匀性的要求,而且可以降低接入时延。

3.1.2 时隙块内均分法

为了使网络中的任一成员的信息发送能均匀分布,就必须使分给用户的时隙呈均匀分布,而时隙组的所有时隙已呈等间隔分布,这就要求在对某个组进行划分已得到时隙块时,要使所有被划分出的时隙块都具有周期性的间隔。

在进行资源分配时,时隙块是通过等分时隙组或较大的时隙块得到的,其等分方法采用二叉树块内均分法^[4]:

(1)对时隙块每划分一次,块大小减1;

(2)所分成的2块,一块进入左子树,标记为0,一块进入右子树,标记为1;

(3)二叉树的每个节点包含2个参数:块大小和标记号,划分后其叶结点就是时隙块;

(4)将标记号沿着叶结点到根节点的顺序组合起来就得到该叶节点的对应编码的二进制表示,也就是该叶节点的起始时帧号。将一组时隙(包含512个时隙)先利用二叉树的方法进行分解,直到最小分解块的大小为32个时隙时停止分解。其中,二叉树的每个非根节点都有其对应编码,该编码是由该非根节点到根节点的唯一路径上的一个反序二进制串组成的。

如果要分配的时隙数与若干个节点块之和的时隙数相等,并且这些节点块也无包含关系的话,那么将这若干个节点块的时隙分配给用户。如果要分配的时隙数不是2的幂次,即与若干个节点块之和的时隙数不可能相等的话,那么分解剩余的小于32的那一部分时隙数,将采用均分法在叶节点中进行分配。当某一用户的需求不能用一个时隙块满足时,可为其分配一个“时隙池”,即一组时隙块。时隙池中的时隙块可大可小,出现时间可任意分布,因此,其中的时隙可能不是均匀的,但这样可以节约时隙资源。一般对一个需要 n 个

时隙资源的用户可以这样分配,对任意 \forall 正整数 n 有:

$$n = 2^k + 2^l + 2^m + \dots + 2^z \quad (1)$$

其中, $k > l > m > \dots > z$, 且满足 $2^k < n < 2^{k+1}$, $2^l < n - 2^k < 2^{l+1}$, $2^m < n - 2^k - 2^l < 2^{m+1}$, z 取值为1(n 为奇数)或0(n 为偶数)。

采用该方法给用户分配时隙时,存在着这样一个问题值得注意:当用户所分配的时隙需要由若干个节点块内的时隙组成时,可以有若干种选择。但考虑到时隙的均匀性原则,在选择这些节点块组合时,须满足以下准则:

(1)对同一级节点块来说,块间间隔 BI 越大越好。

本文将同一级节点块的块间间隔 BI 定义为:2个不属于同一节点块的相邻时隙间隔的最小值。在同一 N 级的节点中,块间间隔 BI 为:

$$BI = |2^{N-1} - |2^{N-1} - |Value(Code_1) - Value(Code_2)|| \quad (2)$$

其中, $Code_1$ 和 $Code_2$ 分别表示2个节点块的编码, $Value(Code)$ 表示将二进制字符串编码 $Code$ 转换成十进制的数值。

可以看出, BI 的最小值为1,最大值为 2^{N-1} 。 BI 值越大,则由不属于同一节点块的时隙所组成的时隙块的时隙间隔也越均匀,因此,本文在选择节点块的组合时,应力求所选节点块间的 BI 越大越好。

(2)当2节点块不属于同一级别时,须要求其中级别较低节点块与级别较高节点块同属一级的祖先,同另一级别较高节点块的块间间隔 BI 越大越好。

当对时隙块进行多次划分和分配后,就会出现一些小的时隙碎块,而这些时隙碎块又不能单独分给用户时,就必须对其合并,使其成为较大的能分配的时隙块。但合并只能在相同的组内进行,并且2个块的时隙是连续均匀分布的。合并后的时隙块的大小就是2块之和,其起始时帧号与第1块的起始时帧号相同(其实就是划分的逆过程)。合并后要有时隙分配表作相应的修改。

3.2 改进型时隙分配算法

当用户有报文需要发送时,在同一预约时隙内向地面主控站发送预约请求信息(包括信息类型号、占用时隙数、用户ID码、数据长度等)。多个用户的预约请求将同时到达地面站,地面站根据信息类型对应的优先级别进行排队处理,依次满足各用户的预约请求。用户接收到主控站的分配指令后,就占用所分配的时隙块或时隙组进行数据发送,发送完后转入空闲状态,并广播给所有的用户(包含地面主控站),使其他有报文发送的用户向地面站发送预约请求信息。如该用户还有新的数据发送,就转入下一轮预约请求发送。这样,地面站将分配给该用户的时隙收回再分配给其他预约用户使用,提高了系统的时隙利用率。

时隙动态分配流程如图1所示。在地面主控站收到预约请求后,将报文按照到达顺序和优先级别进行排队处理。主控站将为同一时间到达的优先级高的用户分配时隙。首先将用户预约请求的业务类型、数据长度等参数传给时隙资源分配模块,根据参数进行确定所需时隙块的大小,然后寻找符合要求的时隙,如果没有找到,则分解大块或合并小块,直到找到为止。若找到可用块,则在时隙资源表中进行标记,并更新相应时隙资源表,同时向用户发送分配指令,用户结束时标记结束标志。然后进行下一用户的分配过程,直到处理完所有预约用户的请求,结束本轮周期,进行下一周期的时隙分配。按照上述流程,地面主控站根据用户的请求来统一分配时隙资源,实现了时隙的动态分配。

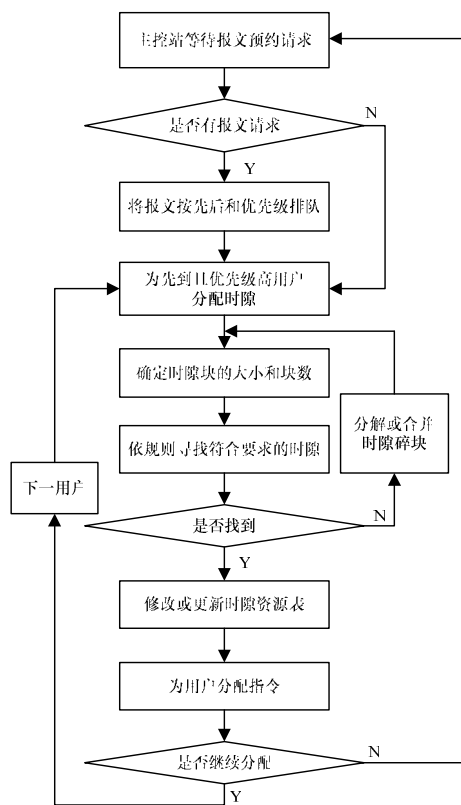


图1 时隙动态分配流程

在本文算法中,地面站处理报文请求应遵循2个规则:

(1)在没有报文被处理时,同时有不同优先级别的报文等待处理时,优先处理优先级别高的报文;(2)若优先级别低的报文正被处理,则优先级别高的到达时必须等待级别低的处理完毕后再次被处理。

4 仿真与分析

假设用户数为 N ,用户的报文产生服从泊松分布,其中优先级别高的报文产生率为 λ_1 ,优先级别低的报文产生率为 λ_2 。设地面站对2种报文的处理速率相同,且服务时间服从定长分布,均值为 $1/u$, u 为地面站处理报文的平均速率。同时假设时隙宽度为 τ ,时隙数为 M ,由遵循规则看出到达的优先级别高的报文平均等待时间为:

$$d_1 = E\left\{\sum_{i=1}^M S_i\right\} + \rho E\{S_e | \text{服务台被使用}\} + E\{\text{其他信息传送时间}\} \quad (3)$$

其中, M_1 表示等候服务的优先级别高的报文数; S_e 表示剩余服务时间; S_i 表示报文的的服务时间; ρ 表示服务忙的概率。

系统的高优先级别报文业务量为:

$$\rho_1 = N\lambda_1 E\{S\} \quad (4)$$

系统的低优先级别报文业务量为:

$$\rho_2 = N\lambda_2 E\{S\} \quad (5)$$

其中, S 表示系统的服务时间,由于报文的的服务时间服从定长分布,因此:

$$\rho_1 = N\lambda_1 / u, \rho_2 = N\lambda_2 / u$$

服务台忙的概率为:

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 \quad (6)$$

根据方案可知: $E\{\text{其他信息的传送时间}\} = \tau$,忽略报文长度对整个报文等待时间的影响,则优先级别高的报文处理的平均延误时间为:

$$W_1 = d_1 + \frac{1}{u} = \frac{2 + \rho - 2\rho_1}{2u(1 - \rho_1)} \quad (7)$$

对于优先级别低的报文,同样可得到其平均延误时间:

$$W_2 = d_2 + \frac{1}{u} = \frac{2(1 - \rho_1)(1 - \rho) + \rho}{2u(1 - \rho_1)(1 - \rho)} \quad (8)$$

针对本文方案,笔者建立了一个基于Windows平台的仿真系统,采用Winsock网络编程协议进行仿真。在仿真中,取超帧时隙数为2250,用户数为20,报文产生率为0.45。仿真结果显示,运行该方案后用户时隙选择比较均匀,没有产生时隙碰撞。同时,也仿真出报文的平均延误时间与报文平均处理速率和报文产生率间的关系,如图2、图3所示。

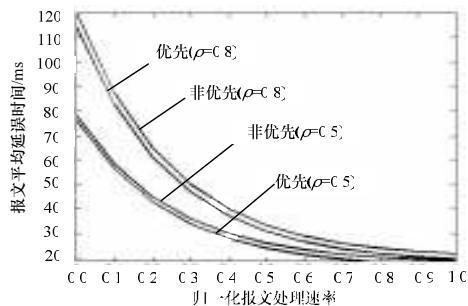


图2 报文平均延误时间随报文处理速率的变化曲线

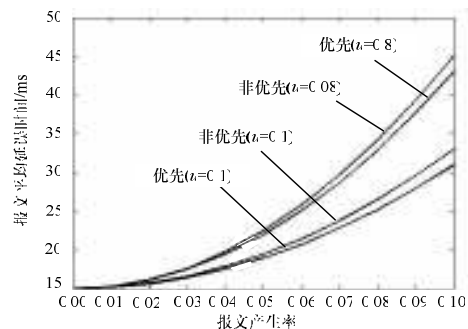


图3 报文平均延误时间随报文产生率的变化曲线

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,也随着报文产生率的增大而增大,而优先级别高的报文其平均延误时间比级别低的报文少。

5 结束语

本文采用二叉树块内均分法,提出一种改进的动态时隙分配算法,适合于用户有应急需要、发送较长报文、占用连续多时隙的场合。该策略采用预约时隙方式,根据信息类型对应的优先级别进行排队处理,依次满足各用户的预约请求。该算法时隙利用率高,能动态调整时隙分配,可有效避免信息的碰撞。本文算法为如何合理有效地利用时隙资源提供了参考,对航空数据链的建设具有一定的现实意义。改善延时性能,更有效地提高信息传输率是下一步研究的重点。

参考文献

- [1] 皮 扬,刘长江. 动态分配时隙 ALOHA 的抗碰撞算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(7): 270-272.
- [2] 朱灿彬,毛玉泉,李晓楠,等. 航空数据链系统 TDMA 时隙分配研究[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(6): 105-107.
- [3] Chlamtac I, Farago A, Zhang Hongbiao. Time-Spread Multiple-Access(TSMA) Protocols for Multihop Mobile Radio Networks[J]. IEEE/ACM Trans. on Networking, 1997, 5(6): 804-812.
- [4] 梁 爽,毛玉泉,赵伟光,等. 地空数据链中的时隙分配算法[J]. 空军工程大学学报, 2005, 6(3): 12-14.

编辑 顾姣健