

一种TDMA无线多跳网中新的传输调度算法

康凯, 郭伟, 刘仁婷

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

【摘要】针对TDMA无线多跳网中的时隙分配问题,提出了一种新的传输调度算法,称为“碰撞避免正确稳健调度”(CA-PRS)。CA-PRS算法与以往PRS算法的区别是可以根据网络的拓扑变化,自适应选择分组发送时隙,实现了分组传输中的碰撞避免。该算法实现简单,协议开销小,不需要对节点度数进行约束。仿真结果表明与simple-PRS算法相比,该算法提高了无线资源的利用率。

关键词 多址访问; 时分多址; 传输调度; 无线多跳网

中图分类号 TN912 文献标识码 A

A Novel Transmission Schedule Algorithm for TDMA Wireless Multihop Networks

KANG Kai, GUO Wei, LIU Ren-ting

(National Key Laboratory of Communication, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

Abstract Slot allocation is an important issue for Time Division Multiple Access (TDMA) wireless multihop networks. A novel transmission scheduling algorithm, referred as Collision Avoidance-Proper Robust Schedule (CA-PRS) algorithm is presented. The distinguished difference from the traditional Proper Robust Schedule (PRS) is that CA-PRS algorithm can adjust the slot assignments in response to topology changes, to avoid transmission contention. The proposed algorithm has some properties, such as low protocol overhead, easy to implement, and without the requirement of the nodal degree. Simulation results reveal that CA-PRS algorithm has the advantage over simple-PRS and therefore has much higher utilization of wireless resources.

Key words multiple access; time division multiple access; transmission schedules; wireless multihop networks

在无线多跳网中,基于时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)方式的传输调度是为节点分配传输时隙,实现相邻节点之间的分组无碰撞的传送,且获得尽可能高的系统吞吐量和时隙的空间重用性。本文对无线多跳网中的正确稳健调度的设计问题进行了研究,提出了一种新的传输调度算法,称为“碰撞避免的正确稳健调度”(Collision Avoidance-Proper Robust Schedule, CA-PRS)算法。

1 正确稳健调度

在TDMA多址方式中,对无线信道的访问时间划分为若干固定长度的时隙,将一定数量的时隙组成周期性的帧。一个帧 $F = \{s(0), s(1), \dots, s(L_{\text{Frame}} - 1)\}$ 为一组连续时隙的集合,其中, L_{Frame} 为帧长。一个

帧可划分为 S_F 个子帧,设子帧长为 L_s 。在无线多跳网中,节点 i 在时隙 s 向相邻节点 j 无碰撞发送分组,需要满足两个约束条件:(1)节点 j 在时隙 s 内不发送分组;(2)节点 j 的相邻节点在时隙 s 内都不发送分组。

传输调度是指为节点分配的传输时隙的集合。将节点 i 的传输调度记为 S_i 。

定义 1 如果一个传输调度同时满足正确性和稳健性,称为是一个正确稳健调度(Proper Robust Schedules, PRS)^[1]:

(1) **正确性**: 一个传输调度如果使一个节点与其任一相邻节点之间,在一个帧中至少存在一个时隙,可以无碰撞地发送分组,则称该传输调度具有正确性。

(2) **稳健性**: 一个传输调度如果在网络拓扑变化

收稿日期: 2005-03-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60472052、10577007); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目; 通信抗干扰国家级重点实验室基金项目(51434020105ZS04)

作者简介: 康凯(1973-),男,博士,主要从事通信网络技术方面的研究。

时,仍然能够保证正确性,则称该传输调度具有稳健性。

一种简单的 PRS 算法是 simple-PRS 传输调度,即设置帧长等于最大用户数量,为每个用户在一个帧中固定分配一个传输时隙。simple-PRS 算法保证了一定的系统吞吐量,但是没有利用无线多跳网中的空分复用特性,信道利用率不高。文献[2]提出了一种拓扑无关的 PRS 传输调度算法,却没有解决传输碰撞问题。另外,如果使系统的最小吞吐量优于 simple-PRS 算法,要求限制网络中节点的最大度数 $D_{\max} < n/4$ 。对网络连通性的限制,使在分组的传输中,对无线资源需要更多的占用。

本文提出了 CA-PRS 算法,可以实现在共享无线信道上分组传输中的碰撞避免,同时克服了文献[2]提出的算法中节点最大度的限制条件。

2 CA-PRS 传输调度算法

2.1 传输时隙的分配

设网络中的最大节点数为 n ,对每个节点分配了唯一的标识符,设为一个属于集合 $[0, n-1]$ 的序号。选择正整数 p 为满足 $2p-1 \leq n$ 的最小整数。在 CA-PRS 调度算法中,一个帧中包括了 $p(2p-1)$ 个时隙,因此可以划分为 $2p-1$ 个子帧,每个子帧中包括了 p 个时隙。

定义 2 传输调度矢量(Transmission Scheduling Vector, TSV)是一个阶为 S_F 的矢量。节点 i 的传输调度矢量为:

$$TSV_i = \{TSV_i(0), TSV_i(1), \dots, TSV_i(S_F - 1)\} \\ 0 \leq TSV_i(k) < L_s, \quad 0 \leq k < S_F \quad (1)$$

在本文提出的 CA-PRS 调度算法中,节点的传输调度矢量为:

$$TSV_0(k) = \begin{cases} -k + (p-1) & 0 \leq k < p \\ k - p & p \leq k < 2p-1 \end{cases} \quad (2) \\ TSV_i = L^i(TSV_0) \quad 0 \leq k < S_F, \quad 0 \leq i < 2p-1$$

式中 $L(\cdot)$ 为循环左移操作。节点 i ($0 \leq i < n$) 的传输调度为:

$$S_i = \{S_i(k) \mid 0 \leq k < S_F\} = \\ \{kL_s + TSV_i(k) \mid 0 \leq k < S_F\} \quad (3)$$

式中 $S_i(k)$ 为第 k 个子帧中的传输时隙。

定理 1^[3] 对于任意两个节点 i, j 的传输时隙集合 S_i 与 S_j 之间,存在且存在唯一的公共传输时隙。

上述的传输时隙的集合 S_i ,可以划分为两个子集 S_i^1, S_i^2 。 S_i^1 是对 S_i 的一个 2-采样,采样初始相位为 $2p-1-i$; S_i^2 是 S_i^1 关于 S_i 的补集。

定理 2^[3] 对于任意两个节点 $i, j, S_i^1, S_j^1, i \neq j$ 中不存在任何相同的传输时隙。

结合定理 1 和定理 2,可以得到以下推论:

推论 对于任意两个节点 i, j ,存在且只存在一个传输时隙 $s, s \in S_i^1 \cap S_j^2, i \neq j$ 。

2.2 传输调度的计算

在 CA-PRS 传输调度算法中,节点 i 对每一条出向链路 $l(i, j), j \in N_i$ 分别定义一个传输调度,记为 $T_{i,j}$ 。节点 i 可以使用 $T_{i,j}$ 中的时隙,向节点 j 发送分组,实现碰撞避免。

对于相邻节点 i 和 k ,定义节点集合为:

$$C_{i,k} = \{u \mid u \in N_i, k \notin N_k \cup \{k\}\} \\ C_{k,i} = \{v \mid v \in N_k, v \notin N_i \cup \{i\}\}$$

式中 N_i 和 N_k 分别为节点 i 和 k 的相邻节点的集合。对于无线多跳网,基于最小跳数的表驱动路由协议在路由表中记录了到其他所有节点的跳数值,可以很容易地计算出上述节点集合。

制定如下的时隙使用规则,对于节点 i 中的时隙 $s, s \in S_i \cap S_k$:

1) 节点 i 和 k 相距两跳以上,则节点 i 可以使用 s 向其任何一个相邻节点发送分组。

2) 节点 i 和 k 相距两跳以内:

(1) 如果 $C_{i,k} = \emptyset, s \in S_i^1 \cap S_k^2$,节点 i 可以使用时隙 s 向任何一个相邻节点发送分组。

(2) 如果 $C_{k,i} = \emptyset, s \in S_i^2 \cap S_k^1$,节点 i 不使用时隙 s 发送分组。

(3) 否则,节点 i 可以使用时隙 s 向 $C_{i,k}$ 中的节点发送分组。

由此可得:

$$[S_i^1 - \bigcup_{u \in I_{i,j}} (S_i^1 \cap S_u^2)] \cup [\bigcup_{\substack{m_1 \in N_i^2 \\ C_{i,m_1} = \emptyset}} (S_i^1 \cap S_{m_1}^2)] \\ \cup [S_i^2 - \bigcup_{v \in I_{i,j}} (S_i^2 \cap S_v^1) - \bigcup_{\substack{m_2 \in N_i^1 \\ C_{m_2,i} = \emptyset}} (S_i^2 \cap S_{m_2}^1)] \quad (4)$$

由上述算法可知,节点 i 的 S_i^1 中的时隙始终可以用来发送分组,这样可提供与 simple-PRS 算法相当的最小吞吐量保证,同时克服了 Chlamatec 算法中节点最大度的限制条件,从而可以应用在一般化的网络结构中。

3 计算机仿真

本文采用了一个 17 个移动节点的网络模型进行仿真。每个节点按照泊松分布产生数据分组,目的地址以等概率分布到其余各节点。节点的缓存大小

设置为40个分组。对网络性能的评价测度,包括了分组递交率 R 和分组的平均端到端时延 D 。仿真结果如图1和图2所示。

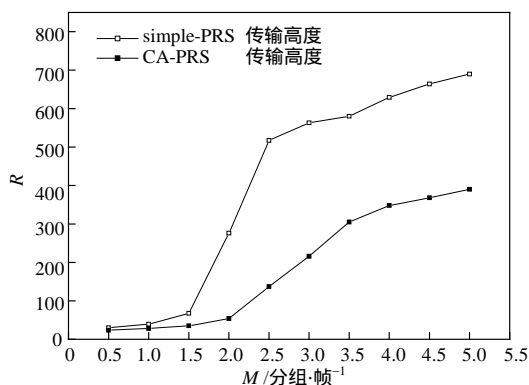


图1 不同分组到达率下的分组递交率

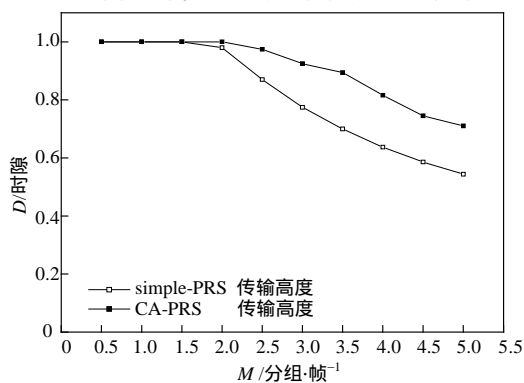


图2 不同分组到达率下的分组平均端到端时延

由图1可知, simple-PRS算法在分组到达率达到1.5(分组/帧)以上时, 分组递交率开始下降; 对于

A-PRS算法, 则出现在2.0(分组/帧)以上。分组到达率从2.5(分组/帧)变化到5(分组/帧)的过程中, A-PRS算法的分组递交率优于simple-PRS算法。由图2可知, 在所有业务量背景下, CA-PRS算法的平均端到端时延始终低于simple-PRS算法, 特别是对于分组到达率高于2(分组/帧)时尤为明显。由此可见, CA-PRS算法更好地利用了无线多跳网的空分复用特性, 明显地改进了传输性能。

4 结束语

本文提出了CA-PRS算法, 为每一条链路分别定义了一个传输调度, 根据网络拓扑的变化, 自适应选择发送分组的传输时隙, 可以实现分组传输中的碰撞避免。CA-PRS算法计算简单, 易于实现, 协议开销小, 适用于拓扑动态变化的无线多跳网。

参考文献

- [1] ZHANG H, CHLAMTAC I. Performance analysis of time-spread multiple access (TSMA) protocol in multihop wireless networks[C]//IPCCC'98, [地址不详]: IEEE, 1998.
- [2] CHLAMTAC I. Making transmission schedules immune to topology changes in multi-hop packet radio networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1994, 2(1): 23-29.
- [3] KANG Kai, GUO Wei, LIU Ren-ting. Topology-independent TDMA transmission scheduling algorithm in wireless multihop networks[C]//ICCCAS, New York: Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc., 2004.

编辑 黄莘

(上接第166页)

4 结论

本文针对无星际链路低轨卫星移动通信系统的馈电链路切换问题提出了两种切换方案。研究结果表明, 最长可视时间切换方案的馈电链路切换频率明显低于最短馈电链路切换方案。用户一次通话过程中切换信关站的次数也随之减少, 对于无星际链路低轨道卫星移动通信系统的设计具有较高的参考和实用价值。

参考文献

- [1] BOUKHATEM L, BEYLOT A L, Gaiti D, et al. TCRA: a

resource reservation scheme for handover issue in LEO satellite systems[C]//Proc. of IEEE WCNC2003. New Orleans, Louisiana USA: IEEE, 2003: 114-119.

- [2] HIROSHI T, KOHEI O, NEI K. et al. Supporting IP/LEO satellite networks by handover-independent IP mobility management[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(2): 300-307.
- [3] 刘刚, 苟定勇, 吴诗其. 低轨卫星星座网的切换研究[J]. 通信学报, 2004, 25(1): 151-159.
- [4] 凌翔, 胡剑浩, 吴诗其. 低轨卫星移动通信系统接入方案[J]. 电子学报, 2000, 28(7): 55-58.

编辑 刘文珍