

一种 QoS 保证的多跳动态资源分配协议

张华伟¹ 谢东风² 邹艳芳² 胡永辉²

1 中央军委装备发展部军事代表局驻天津地区军事代表室 天津 300100

2 天津七一二通信广播股份有限公司 天津 300100

(215113362@qq.com)

摘要 针对 Ad Hoc 网络无中心、拓扑易变、多跳节点共享信道资源、业务多样的特点,提出了一种 QoS 保证的多跳动态资源分配协议。设计帧结构包括引导时隙、广播/预留时隙、竞争时隙 3 个部分,同时满足多节点公平接入及实时业务的时延要求;采用三跳防冲突方法复用信道资源,提高资源利用率,降低接收端的噪声门限,最小化冲突的可能性;根据 QoS 需求抢占空闲广播/预留时隙,抢占标准包括业务优先级、时隙空闲概率以及空闲时隙连续概率;分别对引导时隙、广播/预留时隙、竞争时隙的时隙收敛过程进行说明。通过 MATLAB 仿真可知,提出的 QoS 保证的多跳动态资源分配协议可以提高数据传输的网络分组成功投递率,降低平均时延,且更适合负载较大、节点数量较多的网络。

关键词: Ad Hoc; QoS; 资源多跳复用; 动态资源分配; 分组投递率; 时延

中图分类号 TN929

Multi-hop Dynamic Resource Allocation Protocol with Guaranteed QoS

ZHANG Hua-wei¹, XIE Dong-feng², ZOU Yan-fang² and HU Yong-hui²

1 The Military Representative Office of the Military Representative Bureau of Equipment Development of the Center Military Commission in Tianjin, Tianjin 300100, China

2 Tianjin 712 Communication Broadcasting Company, Tianjin 300100, China

Abstract According to the characteristics of having no center, changeable network topology, multi-hop nodes sharing channel resources, and diverse service of Ad Hoc, a multi-hop dynamic resource allocation protocol with guaranteed QoS is proposed. The design frame structure is consisted of three parts: bootstrap timeslots, broadcast/standby timeslots and contention timeslots. Meanwhile, the structure could achieve fair access of multi-node as well as meet the requirements of real-time service delay by taking following methods: using three-hop conflict prevention method to reuse channel resources, reduce the noise threshold at the receiving node to minimize the possibility of conflicts; preempting idle broadcasts or reserved slots according to QoS requirements and preemption criteria which is composed of operation priorities, probability of slot free as well as continuous probability of free time slots; describing the convergence process of bootstrap timeslots, broadcast/standby timeslots and contention timeslots respectively. Based on MATLAB visible simulation results, it can be concluded that the proposed resource allocation method can improve the network packet delivery fraction, reduce the average delay. Furthermore, this method is more suitable for networks with heavy loads and large number of nodes.

Keywords Ad Hoc, QoS, Resource multi-hop reusing, Dynamic resource allocation, Packet delivery fraction, Delay

1 引言

Ad Hoc 网络由于具有自组织、无中心基础设施要求、容易搭建等优点^[1],较多的应用于车联网、野外施工、军事战场等场合^[2]。但也正是由于它没有中心节点、节点具有移动性等特点,数据碰撞率较高,性能低下,对介质访问控制(MAC)层提出了更高的要求。

现有的基于竞争的 MAC 协议在节点密度较大时存在性能恶化的问题^[3-4],基于调度的 MAC 协议在节点较少时会造成大的信道资源浪费^[5]。为了解决现有 MAC 协议在不同环境下应用受限的问题,混合接入策略应运而生^[6]。

文献[7]首次提出综合了竞争和调度两种机制的混合 MAC 协议。PTDMA 协议以 TDMA 为基础,为每个节点分

配一个时隙,然后根据网络节点个数决定如何使用分配时隙与未分配时隙。与 TDMA 相比,PTDMA 协议具有较高的信道利用率,但其并没有给出如何根据当前的网络状况来调节时隙分配的方法。

ADAPT 协议结合 TDMA 及 CSMA 协议^[8],提高了空闲时隙的利用率,是目前最为经典的混合类 MAC 协议。但是采用的调度机制无法较好地适应节点需求变化对分配时隙的要求。

改进的自适应广播协议^[9]在数据发送之前,节点竞争时隙。竞争过程中节点的控制分组只在自己的时隙中发送,不会产生冲突。但这类协议节点竞争失败的概率随着网络负载而增大,协议也没有对不同的业务实现差别服务。

文献[10]提出的多信道 MAC 协议,能够为并发通信提

供高的吞吐量。在此基础上,美军宽带组网波形(WNW)采用统一的资源指派协议(USAP)作为媒介访问控制(MAC)协议^[11-12]。协议支持多信道的动态分布式时分多址(TDMA)技术,支持 2 跳邻域内无冲突指派时隙的方法,但协议不能满足多种优先级业务的传输要求,且两跳节点进行数据传输时节点间可能产生较大的噪声干扰^[13]。

相比传统基于竞争和调度的资源分配方法,现有时隙分配协议已经有了较大的发展,但对于复杂的野外环境仍有需要解决的问题。包括如何提高网络吞吐;如何满足多业务时延需求,同时保证节点公平性;如何提高恶劣环境数据传输成功率。对于此,本文提出 QoS 保证的多跳动态资源分配协议来解决上述问题。

2 协议描述

分布式网络(Ad Hoc)由于具有拓扑易变、无线信道质量差的特点,使得无中心环境下信道资源分配问题成为重中之重,如何满足不同节点、不同优先级业务稳定接入网络、高效共享信道资源是本文需要解决的问题。

基于 QoS 保证的多跳动态资源分配协议首先提出了一种适用于动态资源分配的帧结构,同时满足多节点接入及实时业务对时延的要求;然后网内节点可以根据引导分组内容获取时隙使用情况,并根据三跳防冲突协议占用空闲引导时隙及广播/预留时隙,提高信道资源的利用率;空闲广播/预留时隙抢占采用优先级抢占原则,充分考虑网络吞吐、不同业务类型对时延的要求、时隙抢占开销等因素,对影响业务服务质量的不同因素分配不同权重,采用层次分析法进行归一化处理;业务传输要求仍不能得到满足时可抢占空闲竞争时隙。仿真表明,与传统动态时隙分配方法相比,本文协议在网络分组投递率、业务时延方面均有明显优势,适合负载较大、节点密度较大的网络。

2.1 基本帧格式

帧格式设计需满足节点公平性及多种业务时延要求,图 1 所示为协议采用的帧格式。物理层资源划分为 3 个单独的部分:一部分用于传输控制业务,一部分用于保证节点数据传输的公平性,另一部分用于数据竞争接入。基于此,帧结构设计由 3 种独立的循环周期组成,包括一个引导循环周期、一个广播/预留循环周期及一个竞争循环周期。考虑到实时业务能够容忍的最大时延,每帧 80ms 长。每个 80ms 长的帧包含了多个引导微时隙、广播/预留时隙或竞争时隙。此外,每帧包括了显示为信道的众多信道。其时隙类型如下:

(1)引导时隙,图 1 中信道 0 标注为引导时隙的部分。交换引导分组来发现邻居,分配时隙。节点之间根据引导分组内容协调广播/预留时隙的资源预留,以免发生碰撞,其中引导分组包含了自己检测到的三跳邻居范围内节点对引导时隙、广播/预留时隙的使用情况。

(2)广播/预留时隙,图 1 中信道 1 至信道 4 编号为 0 至 7 的时隙部分。作为预留时隙时,用于支持单播业务。没有分配为预留时隙时作为备用时隙按照对应的广播时隙顺序分配给各节点,用于支持广播业务。

(3)竞争时隙,图 1 中信道 0 标注为竞争时隙的部分。分

配的广播/预留时隙不够用时可根据优先级抢占竞争时隙。

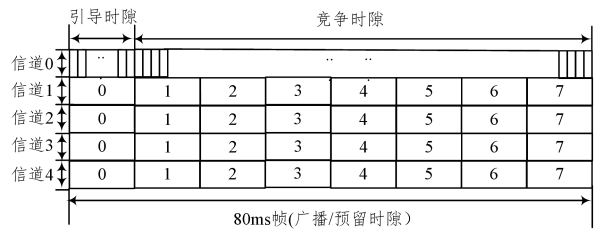


图 1 基本帧格式

Fig. 1 Basic frame structure

2.2 三跳防冲突机制

对于网络内的活动节点,如果能够检测和解决信道冲突,就能复用冲突范围外的信道资源,提高时隙利用率。因此,在动态资源分配机制中,精确且高效的冲突检测和解决办法尤为重要,下面对三跳防冲突机制进行具体描述。

2.2.1 基本思想

传统上,节点至少要获取 2 跳之外的节点,才能检测和解决冲突,实现资源复用。如图 2、图 3 所示,节点有两种方法可以给邻节点发送数据。

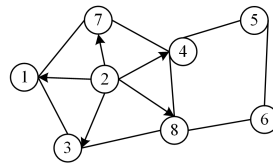


图 2 活动节点

Fig. 2 Activity nodes

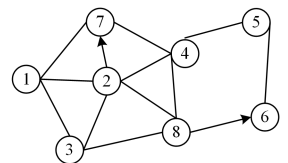


图 3 活动链路

Fig. 3 Activity link

图 2 中,“活动节点”描述了单个节点 2 给所有邻居节点同时发送广播的技术。当节点只有一个预期的接收节点(例如图 3 中描述的节点 2 具有单个接收节点 7)时被称为“活动链路”,此时节点 8 可以允许给节点 6 发送数据。前者在邻居中只允许一个活动节点发送数据,后者可能有几个。

对于节点 i 到节点 j 的单播业务时隙分配需满足:

- (1)时隙未分配给 i 发送或接收数据,也未分配给 j 发送或接收数据;
- (2)节点 i 的邻居节点未使用该时隙进行数据接收;
- (3)节点 j 的邻居节点未使用该时隙进行数据发送。

式(1)中当 $Blocked(i, j, s, f)$ 为 1 时表示 i 到 j 不能被分配的时隙:

$$Blocked(i, j, s, f) = B_i(s, f) \cup B_j(s, f) \cup NR_i(s, f) \cup NT_j(s, f) \quad (1)$$

其中, $B_i(s, f)$ 表示节点 i 已经在时隙 s 、频域 f 上发送或接收数据; $B_j(s, f)$ 表示节点 j 已经在时隙 s 、频域 f 上发送或接收数据; $NR_i(s, f)$ 表示节点 i 的邻居已经在时隙 s 、频域 f 上接收数据; $NT_j(s, f)$ 表示节点 j 的邻居已经在时隙 s 、频域 f 上发送数据。

对于节点 i 的广播业务时隙分配需满足:

- (1)节点 i 及其邻居节点未分配该时隙进行数据发送或接收;
- (2)节点 i 的两跳邻居节点未使用该时隙进行数据发送。

式(2)中,当 $Blocked(i, s, f)$ 为 1 时,表示节点 i 不能

被分配用于广播的时隙:

$$Blocked(i, s, f) = B_i(s, f) \bigcup_{\forall n \in (i^2s_nbrs)} B_n(s, f) \bigcup_{\forall n \in (i^2s_nbrs)} NT_n(s, f) \quad (2)$$

2.2.2 三跳防冲突

以上部分的数据结构用于避免相邻节点在同一时隙使用相同频域而带来的冲突。但在实际应用中,资源两跳复用会产生较大的信号噪音,图3所示的拓扑环境中,节点2给节点7发送单播数据时,会干扰同一时隙、频域内节点8发送的数据。因此,需要在两跳防冲突基础上通过增加额外的一跳来降低接收端的噪声门限,最小化冲突的可能性。如果节点有一个直接邻居使用2跳内的任何其他节点相同频域的某一时隙资源,它将在它的引导分组中将该时隙设置滞后标识,从而通告直接邻居可以选择另一个时隙。如果没有其他选择,则邻居会忽略该标识并继续使用这一时隙。

图4展示了3跳USAP约束。节点3在它的引导分组中报告,有一个或多个2跳节点使用某一时隙。由于它没有使用这一时隙的直接邻居,因此不违反3跳规则。但是如果节点3和节点5建立了连接,如图5所示,那么节点3在引导分组中标识有一个2跳邻居节点在使用该时隙,从而通知节点5可以优先选择其他时隙。

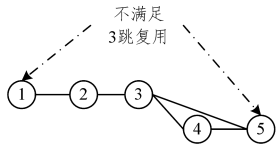
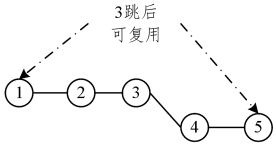


图4 3跳后时隙复用示意图 图5 不满足3跳后时隙复用示意图

Fig. 4 Reuse of bootstrap positions after 3 hops

Fig. 5 Reuse of bootstrap positions dissatisfy 3 hops

因此,对于节点*i*到节点*j*的单播业务时隙分配需满足:

(1)时隙未分配给*i*发送或接收数据,也未分配给*j*发送或接收数据;

(2)节点*i*的邻居节点未使用该时隙进行数据接收;

(3)节点*j*的邻居节点未使用该时隙进行数据发送;

(4)节点*j*的2跳邻居节点未使用该时隙进行数据发送。

式(3)中当 $Blocked(i, j, s, f)$ 为1时表示为在时域*s*、频域*f*上不能分配节点*i*到节点*j*的时隙:

$$Blocked(i, j, s, f) = B_i(s, f) \cup B_j(s, f) \cup NR_i(s, f) \cup NT_j(s, f) \cup NNT_j(s, f) \quad (3)$$

其中, $B_i(s, f)$ 表示节点*i*已经在时隙*s*、频域*f*上发送或接收数据; $B_j(s, f)$ 表示节点*j*已经在时隙*s*、频域*f*上发送或接收数据; $NR_i(s, f)$ 表示节点*i*的邻居已经在时隙*s*、频域*f*上接收数据; $NT_j(s, f)$ 表示节点*j*的邻居已经在时隙*s*、频域*f*上发送数据; $NNT_j(s, f) = \bigcup_{\forall n \in (j^2s_nbrs)} NT_n(s, f)$ 表示*j*的所有邻居的邻居已经在时隙*s*、频域*f*上发送数据。

对于节点*i*的广播业务时隙分配需满足:

(1)节点*i*及其邻居节点未分配该时隙进行数据发送或接收;

(2)节点*i*的两跳邻居节点未使用该时隙进行数据发送;

(3)节点*i*的三跳邻居节点未使用该时隙进行数据发送。

式(4)中当 $Blocked(i, s, f)$ 为1时表示时隙*s*、频域*f*不

能分配为节点*i*的广播时隙:

$$Blocked(i, s, f) = B_i(s, f) \bigcup_{\forall n \in (i^2s_nbrs)} B_n(s, f) \bigcup_{\forall n \in (i^2s_nbrs)} NT_n(s, f) \bigcup_{\forall n \in (i^2s_nbrs)} NNT_n(s, f) \quad (4)$$

2.3 广播/预留时隙 QoS 抢占

当节点业务量大于自身广播/预留时隙最大传输能力时,可以抢占其他节点的空闲广播/预留时隙,用于传输自己的数据业务,提高信道资源利用率。节点检测到多个空闲时隙时,采用合理的时隙抢占原则有助于满足业务要求,提高网络吞吐量。时隙抢占原则的具体设计如下。

2.3.1 QoS 指标

随着 Ad Hoc 网络技术的不断发展,越来越多的应用类型可以满足用户的不同需求。用户的业务类型包括 IP 数据、广播数据、语音、视频、紧急数据和维护网络路由的勤务公告等,这些综合业务也对网络提出了更高的要求,具体可以量化为带宽、延迟等。因此,在设计广播/预留时隙 QoS 抢占原则时,需要综合考虑不同业务对时延的要求、被抢占节点信道资源使用情况及可利用的空闲时隙等多种因素,具体 QoS 指标包括业务优先级、时隙空闲概率及空闲时隙连续概率。

(1)业务优先级

协议支持多种优先级业务,由于不同优先级业务对时延要求不同,需要对不同业务的优先级进行划分,根据业务优先级设计不同的空闲时隙抢占策略。

表1列出了 Ad Hoc 网络中几种常用的业务类型及其在时延方面的优先级排序。

表1 业务优先级
Table 1 Service priorities

业务类型	优先级
紧急数据	0
勤务公告	1
语音、视频	2
IP 数据	3
广播数据	4

从发送方来讲,同一节点缓存中有多种业务类型时,高优先级业务抢占具有优势。从接收方来讲,其他节点收到引导分组,发现多个节点抢占自己同一空闲时隙时,也根据优先级判断将时隙分配给高优先级业务的节点。

$$P_{Tra} = \frac{P_N - P_T}{P_N} \quad (5)$$

其中, P_N 为网络能够支持的不同优先级的数量,这里为5。 P_{Tra} 为业务优先级判决指标值, P_T 为实际的业务优先级,0为最高。

(2)时隙空闲概率

节点由于地理位置、节点角色等因素的不同,需要传输的业务流量不同,能够为其他节点提供空闲时隙的能力也不同。处于中心位置的节点没有业务需要传输时,时隙可供周围多个节点抢占,处于末端位置的节点业务空闲时,可能只能供较少的邻居节点抢占其空闲时隙,合理分配不同节点的空闲时隙,有助于协调网络内多节点的业务需求,提高网络容量,具体表示为:

$$P_{Free} = \frac{N_{Free} - N_{Re}}{N_{Free}} \quad (6)$$

其中, P_{Free} 为时隙空闲概率判决指标值, N_{Free} 为最近一段时间

内自己空闲时隙数, N_{Re} 为这段时间内被其他节点(需要抢占时隙的节点本身除外)抢占的时隙数。

(3) 空闲时隙连续概率

节点业务量较大时, 优先占用连续空闲的时隙, 数据级联可以减少单时隙传输时冗余的报文分组, 减少时延抖动。具体表示为:

$$P_{Free_con} = \frac{N_{Free_con}}{N_{Need}} \quad (7)$$

其中, P_{Free_con} 为空闲时隙连续概率判决指标值, N_{Free_con} 为检测到的此时隙后的连续空闲时隙数, N_{Need} 为节点完成业务传输需要抢占的时隙数。当连续空闲的时隙数大于等于节点业务传输需要的时隙数时, N_{Need} 就表示为需要的时隙数。

2.3.2 归一化处理

采用层次分析法来判断自己的最优抢占时隙, 按各类因素对目标到决策之间的影响关系分不同层次排列出来, 构成图 6 所示的递接层次结构。

按照 1-9 标度法, 根据不同准则对成为最佳抢占时隙影响的重要程度不同形成比较矩阵。

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{matrix} P_{Tra} & P_{Free} & P_{Free_con} \\ \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 \\ \frac{1}{2} & 1 & 4 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{4} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8)$$

经过列向量归一化及行和归一化, 得到:

$$\omega = \begin{bmatrix} 0.587 \\ 0.324 \\ 0.089 \end{bmatrix} \quad (9)$$

由 $A\omega = \lambda\omega$ 得到 $\lambda = 3.009$ 。最终得到抢占时隙的代价函数为:

$$f(x_a) = 0.587x_{a1} + 0.324x_{a2} + 0.089x_{a3} \quad (10)$$

其中, x_{a1}, x_{a2}, x_{a3} 为节点业务优先级、抢占时隙空闲概率、抢占空闲时隙连续概率的属性值, 代价函数 $f(x_a)$ 值越大表明本节点业务占用此时隙越好。

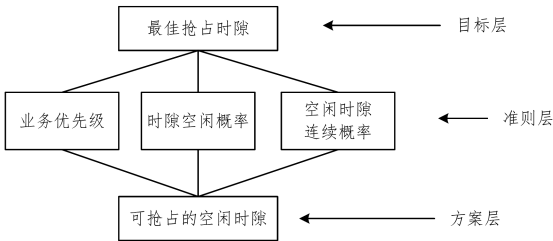


图 6 递接层次结构图

Fig. 6 Recursive hierarchy diagram

2.4 时隙收敛过程

协议帧结构包括引导时隙、广播/预留时隙、竞争时隙 3 个部分, 各时隙收敛过程的描述如下。

2.4.1 引导时隙

(1) 节点开机后侦听一周周期引导时隙的使用情况, 并根据收到的引导分组重新生成时隙分配记录表格;

(2) 根据三跳防冲突机制随机选取空闲引导时隙发送自己的引导分组;

(3) 若引导时隙占用冲突, 根据其他节点在引导分组中的提示重新随机占用空闲引导分组。

2.4.2 广播/预留时隙

(1) 通常, 节点选择了引导时隙 N , 那么号码为 N 的广播/预留时隙也是其发送机会;

(2) 若有单播预留业务则作为预留时隙优先发送单播业务;

(3) 若没有单播预留业务则作为备用广播时隙发送节点共享的广播业务;

(4) 时隙空闲时会在引导分组中标识, 其他节点可按照 QoS 抢占原则抢占并使用时隙。

2.4.3 竞争时隙

(1) 节点根据收到的引导分组可获得自己抢占广播/预留时隙的情况, 当抢占的时隙无法满足其业务传输需求时, 可继续抢占竞争时隙;

(2) 节点检测竞争时隙空闲后, 进行随机退避, 然后发送 RTS 进行竞争时隙预约, RTS 中包含申请抢占的时隙数及需要回复 CTS 的节点 MAC 地址(对于单播业务来说, MAC 地址即为下一跳目的 MAC 地址, 对于广播业务来说, MAC 地址为具有最多邻居的邻居节点 MAC 地址);

(3) 收到 CTS 回复, 表示节点抢占竞争时隙成功, 可在相应竞争时隙发送数据;

(4) 没有收到 CTS 回复, 表示抢占时隙失败, 根据业务优先级退避一段时间后再根据时隙空闲状态判断是否抢占。

3 仿真分析

本文采用 MATLAB 对野外环境下采用基于 802.11^[14]、两跳防冲突^[15]、三跳防冲突及本文 QoS 保证的多跳动态资源分配协议, 在 3 种不同资源分配机制时的分组投递率和时延进行仿真对比。在长宽各 100 m 的野外环境中, 三跳防冲突机制下满足无线网络最低信噪比的节点通信半径为 5 m, 节点移动速度为 1 m/s, 网络仿真时间为 50 s。

仿真过程中采用节点分组成功投递率和平均时延等性能指标来衡量网络性能。

分组成功投递率指目的节点接收到的对应源节点的数据分组总数与源节点产生的对应目的节点数据分组总数之比。它反映了网络支持的吞吐量、数据处理能力。

时延指从网络中源节点开始产生数据业务到目的节点成功接收数据的时间差值, 通常包括发送时延、传输时延和处理时延。

仿真过程分别采用 802.11、两跳防冲突、三跳防冲突以及 QoS 保证的多跳动态资源分配 4 种不同的资源分配机制, 具体描述如表 2 所列。

表 2 资源分配机制对比

Table 2 Comparison of resource allocation mechanisms

对比资源分配机制	资源分配机制描述
802.11	有数据发送时采用竞争的方式获取信道资源
两跳防冲突	引导时隙和广播/预留时隙采用两跳防冲突机制, 可采用竞争的方式获取竞争时隙信道资源
三跳防冲突	引导时隙和广播/预留时隙采用三跳防冲突机制, 可采用竞争的方式获取竞争时隙信道资源
QoS 保证的多跳动态资源分配	引导时隙和广播/预留时隙采用三跳防冲突机制, 可采用竞争的方式获取竞争时隙信道资源, 根据 QoS 抢占原则进行广播/预留时隙抢占

3.1 不同业务负载下各协议仿真性能分析

本实验通过设置不同的业务负载来比较各个协议产生的分组投递率和平均时延, 分析仿真结果产生的原因。20 个节

点随机分布,随机产生业务分组,不同业务类型数据分组长度如表 3 所列。

表 3 不同业务数据的长度

Table 3 Data lengths of different services

业务类型	数据长度/byte
紧急数据	20
勤务公告	100
语音、视频	1200
IP 数据	500
广播数据	100

(1) 分组成功投递率

发包率反映了网络负载情况,图 7 显示了网络负载对分组成功投递率的影响。当网络负载很小时,各协议的分组成功投递率都比较高,网络负载逐渐增加,各协议分组成功投递率也逐渐下降,但是基于 QoS 保证的多跳动态资源分配协议下降得比较缓慢。

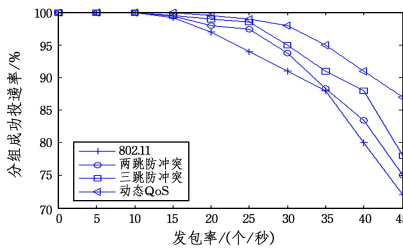


图 7 发包率增加时分组成功投递率的变化情况

Fig. 7 Variation of packet delivery fraction when sending packet rate increase

(2) 平均时延

图 8 显示了网络负载对成功接收数据包平均时延的影响。从图 8 中可以看出,网络负载逐渐增加,各协议数据接收平均时延也逐渐增加,但是基于三跳防冲突的动态 QoS 时隙分配协议下降得比较缓慢。

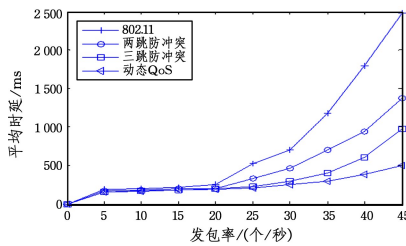


图 8 发包率增加时平均时延的变化情况

Fig. 8 Variation of average delay when sending packet rate increase

相比 802.11 协议,两跳防冲突协议给每个节点分配了广播/预留时隙,减少了由于竞争带来的信道资源的浪费及竞争时延,分组成功投递率更高、时延更低;三跳防冲突协议降低接收数据噪声门限,提高了分组成功投递率,同时减小了由于接收错误数据产生重传带来的时延;本文 QoS 机制提高了对时延要求较高业务的传输能力,从而提高了分组成功投递率,降低了平均时延。

3.2 不同网络规模下各协议仿真性能分析

本实验通过设置不同的网络节点数量来比较各个协议产生的分组投递率和平均时延,分析仿真结果产生的原因以及协议适合的网络环境。仿真参数的设置如下:

节点个数逐渐增多,发包率为 20 个/秒,节点随机产生业务分组。

(1) 分组投递率

图 9 显示了网络节点密度对分组成功投递率的影响。可以看出节点密度较小时,各个协议的分组成功投递率均能有较好的性能,随着节点密度逐渐增大,各协议分组成功投递率均减小,但是 QoS 保证的多跳动态资源分配协议下降得比较缓慢。

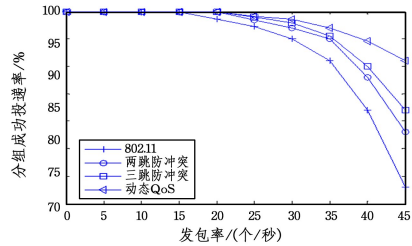


图 9 节点个数增加时分组成功投递率的变化情况

Fig. 9 Variation of packet delivery fraction when number of nodes increase

(2) 平均时延

图 10 显示了网络节点密度对平均时延的影响。从图 10 中可以看出,节点密度较小时,网络的平均时延较小,变化比较缓慢,节点密度逐渐增加,各协议平均时延逐渐增大,但是基于 QoS 保证的多跳动态资源分配协议增加得比较缓慢。

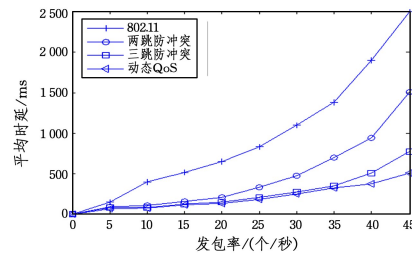


图 10 节点个数增加时平均时延的变化情况

Fig. 10 Variation of average delay when number of nodes increase

节点个数较多时,802.11 协议可能会产生较大的资源分配冲突,分组成功投递率和平均时延性能较差;两跳防冲突协议下每个节点可以较为公平地共享信道资源,提高信道利用率,相比 802.11 协议在分组成功投递率和平均时延方面有较好的性能;网络内节点数增加时,相互间的干扰也会增加,三跳防冲突协议可以减少节点间的干扰,从而获得更好的网络性能;网内节点数较多时,优先给优先级高的业务分配信道资源,满足不同业务的时延要求,得到更好的网络性能。

结束语 本文研究 QoS 保证的多跳动态资源分配协议。设计帧结构以满足多节点公平接入及实时业务对时延的要求;采用三跳防冲突方法复用信道资源,提高网络吞吐;设计 QoS 抢占原则兼顾业务优先级、不同节点时隙抢占率及连续时隙使用情况,以均衡网络负载,提高信道利用率。仿真可见,与传统 802.11、两跳防冲突、三跳防冲突这 3 种资源分配机制相比,本文提出的 QoS 保证的多跳动态资源分配协议在分组成功投递率和平均时延方面均有较好的性能,且更适合负载较大、节点数量较多的网络。

参考文献

[1] SHENG Z, LEUNG K K, DING Z. Cooperative Wireless Net-

- works:from Radio to Network Protocol Designs[J]. IEEE Communications Magazine,2011,49(5):64-69.
- [2] ZULFIKER ALI M. An RSU controlled IEEE 802.11 ac based MAC protocol for Multi-vehicle uplink transmission in VANET [C]//2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall). IEEE,2017.
- [3] BIANCHI G, TINNIRELLO I. Kalman Filter Estimation of The Number of Competing Terminals in An IEEE 802.11 Network [C]// Proceedings of IEEE INFOCOM'03. San Francisco, CA, 2015:844-852.
- [4] SHUGONG X, TAREK S. Does the IEEE 802.11 MAC Protocol Works Well in Multihop Wireless Ad Hoc Networks? [J]. IEEE Communication Magazine,2015,39(6):130-137.
- [5] CAO S, LEE V C S. A Novel Adaptive TDMA Based MAC Protocol for VANETs [J]. IEEE Communications Letters, 2018, 22(3):614-617.
- [6] ARIFUZZAMAN M, MATSUMOTO M, SATO T. An Intelligent Hybrid MAC With Traffic-Differentiation-Based QoS for Wireless Sensor Networks [J]. Sensors Journal IEEE, 2013, 13(6):2391-2399.
- [7] EPHREMIDES A. Analysis of a Hybrid Access Scheme for Buffered Users-probabilistic Time Division [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1982, 8(1):52-61.
- [8] WANG F, KANG Y, TAN X B, et al. A Hybrid MAC Protocol for Data Transmission in Smart Grid [C]// Control Conference (CCC), 2014 33rd Chinese. Nanjing, China, 2014:8228-8233.
- [9] SALMANI V, CHOU P H. A Hybrid MAC for Ultra-compact Wireless Sensor Nodes in Distributed Computing in Sensor Systems(DCOSS) [C]// 2012 IEEE 8th International Conference on. New York; IEEE, 2012:158-165.
- [10] DANE D N M, HONG C S. H-MMAC: A Hybrid Multi-channel MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Networks [C]// 2012 IEEE International Conference IEEE Communications (ICC). New York; IEEE, 2012:6489-6493.
- [11] YOUNG D, STEVENS J A, et al. Method and Apparatus for Managing Communication Resources using an Adaptive Broadcast Cycle(ABC); U. S. Patent 6,574,206 [P]. 2001-11-13.
- [12] YOUNG D, STEVENS J A, et al. Method and Apparatus for Managing Communication Resources using Channelized Neighborhoods; U. S. Patent 6,504,829 [P]. 2003-01-07.
- [13] YOUNG D, JAMES A. STEVENS et al. Unifying Slot Assignment Protocol Multiple Access System; U. S. Patent 9,303,528 [P]. 1999-04-30.
- [14] IEEE Std. 802.11 Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications[S]. 2015.
- [15] YOUNG D, JAMES A. STEVENS, et al. Cliq-ue Activation Multiple Access (CAMA): A Distributed Heuristic for Building Wireless Datagram Networks [C]// IEEE Military Communications Conference. 1998(1).



ZHANG Hua-wei, born in 1983, master. His main research interests include wireless communication system and electro-optical countermeasure.



ZOU Yan-fang, born in 1990, master. Her main research interests include wireless communication system.

(上接第 309 页)

- [24] BOHLULI Z, SHAHRIARIH R. Detecting Privacy Leaks in Android Apps using Inter-Component Information Flow Control Analysis [C]// 15th International ISC (Iranian Society of Cryptology) Conference on Information Security and Cryptology (ISCISC). IEEE, 2018:1-6.
- [25] YANG K, ZHUGE J, WANG Y, et al. IntentFuzzer: detecting capability leaks of android applications [C]// Proceedings of the 9th ACM Symposium on Information, Computer and Communications Security. 2014:531-536.
- [26] LIU W. Research on a method of security detection for Android based on Intent [J]. Computer technology and development, 2019, 29(5):102-106.
- [27] WANG G Z, YANG H L. Research on test methods of exported Android activity [J]. Computer Systems & Applications, 2018, 27(9):262-267.
- [28] WANG K, LIU Q X, ZHANG Y Q. Android inter-application communication vulnerability mining technique based on Fuzzing [J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2014, 31(6):827-835.
- [29] ZHANG M, YANG L, ZHANG J W. FuzzerAPP: The robustness test of application component communication in Android [J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(2):338-347.
- [30] CHOI K, KO M, CHANG B M. A Practical Intent Fuzzing Tool for Robustness of Inter-Component Communication in Android Apps [J]. KSII Transactions on Internet & Information Systems, 2018, 12(9).



ZHAO Sai, born in 1994, postgraduate, is a member of China Computer Federation. Her main research interests include mobile application analysis and so on.