

无线网状网服务质量路由研究

徐震^{1,2} 黄传河²

(武汉工业学院电气信息工程系 武汉 430023)¹ (武汉大学计算机学院 武汉 430070)²

摘要 无线网状网允许系统同时使用多个正交信道,以达到提高网络性能的目的。但是干扰问题仍然存在。基于TDMA提出了一种没有干扰的系统模型。基于这种模型,一种启发式的路径带宽计算方法被提出。将这个算法和AODV路由协议相结合,可以建立一条满足服务质量的最短路由。通过仿真实验结果证明了该路由协议相比SPR能明显提高QoS路由的请求成功率。

关键词 无线网状网,时隙,服务质量,带宽计算

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Research on Wireless Mesh Network QoS Routing

XU Zhen^{1,2} HUANG Chuan-he²

(Department of Electric Information Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)¹

(School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430070, China)²

Abstract Wireless mesh networks allow multiple orthogonal channels to be used simultaneously in the system to improve the throughput, but interference still can't be avoided. The paper studied TDMA-based timeslot allocation to schedule links efficiently, and presented an effective heuristic algorithm for calculating end-to-end bandwidth on a path, which is used together with AODV to setup QoS routes. Simulation results show that compared with the shortest path routing, our interference-aware QoS routing algorithm always increases success ratio of finding a route with required bandwidth to destination node.

Keywords Wireless mesh network, Timeslot, QoS, Bandwidth calculation

1 引言

无线网状网作为一种发展的新兴技术,具有广泛的应用前景,因此正日益成为国内外的研究热点。无线网状网可以为用户提供宽带的无线接入服务,也可以用作无线路由器的网关。在无线网状网中,节点移动性很小,甚至几乎不移动,而且它们的网络拓扑很少发生变化。因此,无线网状网的研究重点是如何提供服务质量(Quality of Service)保证和如何优化整个网络性能。影响无线网状网提供QoS保证的一个主要因素是无线信道广播特性。这种广播特性使得在同一信道上物理位置相邻的并发传输之间会相互干扰。干扰的存在使得网络的总体性能下降。目前研究领域为解决干扰普遍采用网络中的节点配备多个信道多个收发器的方式。然而这种方式只是降低干扰,却不能排除干扰。为取得健壮灵活的无线网络通信,使用时分多址(Time Division Multiple Access)协议为网络中的节点分配时隙精心合理安排链路通信是较理想的方式。

无线网状网的带宽限制和信道访问的竞争性使得无线网状网中支持QoS较为困难。QoS通常是指带宽、延迟、延时抖动、丢包率等,将带宽作为QoS非常重要的指标,其具有重

要的研究意义和应用价值。

本文将带宽作为QoS的约束条件,研究了在无线网状网中提供有带宽保证QoS路由的问题。当一个带有QoS要求的连接请求进入网络时,路由协议不仅仅要求找到一条从源节点到宿节点的可行路径,而且要求路径上的资源能够满足端到端的QoS要求。如果无法找到这样的一条路径,连接请求将被拒绝,反之,只要存在这样的路径,路由协议则需要发现该路径,在路径上为连接请求预留资源,并在连接结束后释放预留资源。

2 系统模型

一个无线网状网抽象为无向图 $G=(V,E)$,其中 V 为节点的集合, E 为双向链路的集合。假设网络中可用的正交信道总数为 C 。每个节点配备有 Q 个全向收发器($Q \leq C$)。每个节点的所有收发器调制到 Q 个不同的信道。每个收发器都有相同的传输范围 R_t 和干扰范围 R_i , R_t 通常是 R_i 的两倍。如果节点 v_i 和 v_j 各有一个收发器分配在信道 k 上,并且节点 v_i 和 v_j 的欧氏距离不大于传输范围 R_t ,则 v_i 和 v_j 之间存在一条双向链路 $(v_i, v_j; k)$ 。

在TDMA系统中,节点工作在同步方式下,信道带宽被

到稿日期:2008-10-24 返修日期:2009-07-06 本文受国家自然科学基金重点项目(60633020)资助。

徐震 男,博士,主要研究方向为无线网络通信,E-mail:albert_xu@tom.com;黄传河 教授,博士生导师,主要研究方向为计算机网络、网络安全。

分成一系列时隙。基于 TDMA 方式的资源分配问题,为网络中的节点分配传输时隙,实现相邻节点之间的分组无碰撞的传送,并且获得尽可能高的系统吞吐量和时隙的空间重用性。

在无线网状网中,无线信道是一个多跳共享的广播信道,使得一对节点之间的分组传输时隙不仅与其自身有关,而且还要受到其相邻节点分组传输时隙的影响。如果利用信道 k ,节点 u 向节点 v 进行无碰撞的发送,则需要满足下列两个条件:

(1) 对于节点 u 的发送和节点 v 的接收,时隙 t 是可以调用的;

(2) 在距离节点 v 干扰范围之内内的节点中,只有节点 u 在信道 k 上的时隙 t 向节点 v 进行发送。

本文研究的目的是,为了提供 QoS 保证,必须想方设法避免干扰的发生。将网络中的干扰分为两种,分别称为流间干扰(Inter-flow Interference)和流内干扰(Intra-flow Interference)。流间干扰是指分别位于网络中两个并发连接上的两条链路之间的干扰,即位于其中一个连接上某一链路中的传输会干扰另一连接上某一链路中的接收。而流内干扰是指位于同一个连接上两条链路中的并发传输之间的干扰。目前对干扰的研究更多是使用多信道多收发器的方式,所以都对流间干扰采取了回避。本节将探讨为节点上每条链路计算不会产生流间干扰的时隙集合,并在路径时隙分配中进一步讨论如何消除流内干扰,从而建立无干扰的时隙分配模型。

设 S 表示包含所有时隙的集合, $T_u(k)$ 表示节点 u 在信道 k 上已经被用于发送的时隙集合。 $R_u(k)$ 表示节点 u 在信道 k 上已经被用于接收的时隙集合。 $TS_u^i(k)$ 表示节点 u 在信道 k 上能够用于发送的时隙集合。 $TS_u^r(k)$ 表示节点 u 在信道 k 上能够用于接收的时隙集合。用 N_u 来表示在节点 u 干扰范围内的所有节点的集合。依据无碰撞的发送的约束条件,则有:

$$TS_u^i = S - T_u(k) - \sum_{i \in N_u} R_u(k) \quad 1 \leq k < C \quad (1)$$

$$TS_u^r = S - R_u(k) - \sum_{i \in N_u} T_u(k) \quad 1 \leq k < C \quad (2)$$

$TS_{i,j}(k)$ 表示节点 i 在信道 k 上通过链路 $(i \rightarrow j)$ 可以用来向邻居节点 j 发送数据的时隙集合。

$$TS_{i,j}(k) = TS_u^i(k) \cap TS_j^r(k) \quad 1 \leq k < C \quad (3)$$

如果节点 i 发送数据到节点 j ,若不和其他链路上的时隙发生冲突,则需要满足:

$$TS_{i,i+1}(k_i) \in TS_j^r(k_i) \quad 1 \leq i < N \quad (4)$$

如果对于同一条数据流,为避免流内干扰,仅满足式(4)是不够的。式(4)是避免流内干扰的必要条件。假如节点 i 和节点 j 是路径 P 相干扰的两个节点,如果两个节点都工作在同一信道上,则需要满足:

$$TS_{i,i+1}(k_i) \cap TS_{j,j+1}(k_j) = \emptyset \quad 1 \leq i < j < N \quad (5)$$

式(4)、式(5)给出了路径 P 上无干扰的时隙分配约束条件。其中式(4)保证了路径 P 上的时隙分配不会干扰网络中已有的传输,即避免流间干扰;式(5)保证了路径 P 上的时隙分配不会产生流内干扰。

3 路径带宽分配算法

基于时隙的网络中,可以将带宽定义成“空闲”时隙的个数。若提供一条带宽为 B 的路径,就需要路径上各条链路至

少有 B 个时隙,且这些时隙不能相互干扰。

基于时隙的无线网络中路径带宽分配问题已经被证明是一个 NP 完全的问题。现提出了一个启发式的多信道路径带宽分配算法来为一条给定的路径上的各条链路分配时隙资源,路径带宽取决于路径带宽分配后路径上各链路最小带宽。

这个启发式带宽计算算法的基本思想是,一条给定路径 $P = \{(v_i, v_{i+1}; k_i) | 0 \leq i < n\}$, k_i 是分配在链路 $(v_i \rightarrow v_{i+1})$ 上的信道。由于干扰范围是传输范围的两倍,因此为避免链路间的干扰,需要保证路径 P 上连续 3 条链路不能存在相干扰的时隙。计算路径 P 上的可用带宽通过逐跳方式计算从源节点 v_0 到各个中间节点的带宽,直到目的节点为 v_{n+1} 。带宽的计算采用逐跳的方式进行。

如果 $n=1$,则表示路径 P 为一条链路,则路径的带宽为链路的带宽,两个节点 v_0 和 v_1 的公共时隙都可以用于该子路径的带宽。

如果 $n=2$,则表示路径 P 由两条链路组成。链路 $(v_0, v_1; k_0)$ 和 $(v_1, v_2; k_1)$ 上可用时隙集合分别为 $TS_{0,1}(k_0)$ 和 $TS_{1,2}(k_1)$ 。如果 $k_1 \neq k_0$,则这两条链路位于不同信道上,互不干扰。因此,两条链路的可用时隙 $TS_{0,1}(k_0)$, $TS_{1,2}(k_1)$,从源节点 v_0 到节点 v_2 的路径带宽为 $\min(TS_{0,1}(k_0), TS_{1,2}(k_1))$ 。如果 $k_1 = k_0$,则链路 $(v_0, v_1; k_0)$ 和 $(v_1, v_2; k_0)$ 可能存在相互干扰,时隙集合 $TS_{0,1}(k_0)$ 与 $TS_{1,2}(k_1)$ 需要重新分配。分配的原则是首先考虑两条链路的非共有时隙,然后再考虑两者的公共时隙。重新分配后的 $TS_{0,1}(k_0)$ 和 $TS_{1,2}(k_0)$ 必须满足 $TS_{0,1}(k_0) \cap TS_{1,2}(k_1) = \emptyset$ 。最后对两条链路可用的时隙 $TS_{0,1}(k_0)$, $TS_{1,2}(k_1)$ 进行调整,使它们的时隙个数为 $\min(TS_{0,1}(k_0), TS_{1,2}(k_1))$,其余的链路时隙让干扰范围内的其他链路使用。

如果 $n \geq 3$,则表示路径 P 由多条链路组成。中间节点 v_3 计算源节点 v_0 到节点 v_3 之间的路径带宽。如果发现当前链路 $(v_2, v_3; k_2)$ 和前两跳链路 $(v_0, v_1; k_0)$ 、 $(v_1, v_2; k_1)$ 存在相同的信道,并在该信道上存在相同的时隙,则从当前链路中去掉这些相同的时隙,剩余的时隙为链路 $(v_2, v_3; k_2)$ 可以使用的时隙,并比较 $\min(TS_{0,1}(k_0), TS_{1,2}(k_1))$ 和 $T_{2,3}(k_2)$ 。如果 $T_{2,3}(k_2)$ 为最小值,则 $T_{2,3}(k_2)$ 为链路 $(v_2, v_3; k_2)$ 可以使用的时隙,同时前两跳链路 $(v_0, v_1; k_0)$ 、 $(v_1, v_2; k_1)$ 将释放 $\min(TS_{0,1}(k_0), TS_{1,2}(k_1)) - T_{2,3}(k_2)$ 个时隙供干扰范围内其他链路使用。如果 $T_{2,3}(k_2) \geq \min(TS_{0,1}(k_0), TS_{1,2}(k_1))$,则在路径 P 上链路 $(v_2, v_3; k_2)$ 只需要使用 $\min(TS_{0,1}(k_0), TS_{1,2}(k_1))$ 个时隙,其余的时隙可以给干扰范围内的其他链路使用。从源节点 v_0 到 v_3 的带宽为 $\min(\min(TS_{0,1}(k_0), TS_{1,2}(k_1)), T_{2,3}(k_2))$ 。这个过程一直持续下去,直到目的节点。这样路径上的所有链路可以使用的时隙就可以确定了,选择最小链路的带宽作为路径 P 的带宽。

4 QoS 路由协议

具有带宽保证的 QoS 路由问题是指为网络连接请求寻找一条满足带宽要求的可行路径,并在该路径上预留所需要带宽资源。选择 AODV 作为路由协议,基于 AODV 是个按需路由,不需要周期性地交换路由信息,从而大大减少了路由维护开销。设一个新的带有带宽要求 B 的连接请求进入网络,源节点 s 如果发现没有去往宿节点 d 的路由,节点则向网

络泛洪一个 RREQ 的分组。将这个请求分组记为 $RREQ(s, d, Seq_Id, PacketType, Node_list, Chan_list, Slot_list, B, TTL)$, 其中, $Node_list$ 记录源节点到当前节点的节点列表, $Chan_list$ 和 $Slot_list$ 分别表示路径信道和时隙列表数组, 用来记录路径上的信道和时隙分配情况。

当一个邻居节点 v_i 收到来自源节点 s 的 RREQ 消息时, 它首先检查自己和上一跳节点是否存在相同的时隙, 如果没有则丢掉该 RREQ 消息。否则, 节点根据带宽计算方法计算从源节点到当前节点之间路径 P 的带宽 $BW(P)$ 。如果 $BW(P) < B$, 则该 RREQ 消息被丢弃。如果 $BW(P) \geq B$ 并且 v_i 不是宿节点, 节点 v_i 将修改分组的 TTL 值, 并将自己的地址加入到 $Node_list$ 中, 将自己的空闲时隙信息加入到路径时隙列表数组 $Slot_list_array$ 中, 最后将修改过的 RREQ 消息转发给下一跳邻居节点。

当节点 v_{m+1} 收到来自节点 v_m 的 RREQ 消息, 从 RREQ 消息头部中取出当前路径 $P_{m-1} = \{(v_i, v_{i+1}; k_i) | 0 \leq i < m\}$ 上时隙分配结果 $TS_{i,i+1}(k_i) (0 \leq i < m)$ 和节点 v_m 可用于发送的时隙集合 $TS_m(k_m)$ 。首先, 节点 v_{m+1} 检查自己和上一跳节点是否存在相同的时隙。如果没有则丢弃该 RREQ 消息。然后节点 v_{m+1} 检查自己是否已经在路径 P_{m-1} 上, 如果已经在上面, 该 RREQ 消息也被丢弃。否则, 节点 v_{m+1} 建立一条新路径 $P_m = P_{m-1} \cup \{(v_m, v_{m+1}; k_m)\}$, 并在新路径上运行路径带宽分配算法。如果新路径带宽 $BW(P_m) < B$, 该 RREQ 消息也被丢弃。如果新路径带宽 $BW(P_m) \geq B$ 并且节点 v_{m+1} 就是宿节点 d , 那么路径 P_m 就是一条满足 QoS 要求的路由, 并且路径 P_m 上各跳上时隙分配 $TS_{i,i+1}(k_i) (0 \leq i \leq m)$ 已经被确立。如果新路径带宽 $BW(P_m) \geq B$ 并且节点 v_{m+1} 不是宿节点 d , 则节点 v_{m+1} 需转发 RREQ 消息。转发 RREQ 消息时需要将自己的地址加入到 $Node_list$ 中, 将自己的空闲时隙信息加入到路径时隙列表数组 $Slot_list_array$ 中以及把当前链路使用的信道放入 RREQ 消息头部中的 $Chan_list$ 。

宿节点可能会收到多个 RREQ 消息, 每个 RREQ 消息代表一条满足端到端 QoS 要求的路径。宿节点在接收到第一条满足 QoS 要求的 RREQ 消息后, 设定一个时间定时器, 然后在这个定时期间接收所有满足 QoS 要求的 RREQ 消息, 在定时器超时后收到的 RREQ 消息将会被丢弃。最后, 在所有接收到的 RREQ 消息代表的可行路径中选择一条最短路径。

在宿节点选择好一条从源节点到宿节点满足 QoS 要求的最短路径后, 接着为该连接请求预留带宽资源。在宿节点上, 首先, 它依据带宽分配结果, 为自己在分配结果中选择 B 个时隙, 并将这 B 个时隙预留留给该连接请求, 然后创建一个更新(update)消息把这次预留结果通知给 3 跳内所有邻居节点。同时, 路径上时隙分配结果被拷贝到 RREP 消息头部, 沿着选中最短路径反向发送该 RREP 直到源节点, 在进行 RREP 消息传送的同时进行相应的资源预留。

在数据发送完毕后, 源节点需要终止连接, 同时释放在网络中所预留的带宽资源。源节点在所建立的路径上发送一个路由释放消息给宿节点。而路径上每一节点在接收到该消息时, 则释放为该连接所预留的时隙, 然后发送一个 update 消息通知 3 跳内的所有邻居节点。

5 实验与分析

通过模拟试验来评估本文在多信道多收发器无线网状网环境下所提出的路由协议的性能。在模拟中采用自由空间模型, 25 个节点随机地分布在 $1000m \times 1000m$ 的矩形区域内, 每个节点的传输半径为 250m, 干扰半径是 550m。每个数据帧包含 32 个数据时隙, 请求的源节点和宿节点随机产生。

使用请求成功率作为性能评价参数。请求成功率 = 成功的 QoS 请求次数 / 总的 QoS 请求次数。图 1 和图 2 分别表示基于干扰的 QoS 路由和经典的最短路由的请求成功率。这两种方案分别表示为 BW-AODV 和 SPR。在 SPR 算法中它首先查找最短路径, 然后在上面进行带宽计算, 如果路径带宽满足 QoS 要求, 则接受, 否则拒绝。图 1 表明当带宽很低时, 两种算法几乎有相同的请求成功率。随着带宽的增加, BW-AODV 算法的优势越来越明显。主要是基于干扰的时隙分配和链路调度能够充分利用网络资源。从图 2 可看出随着会话数目的增加, BW-AODV 算法明显优于 SPR。其主要原因是会话的增加使干扰问题越来越突出, 而 BW-AODV 算法在时隙分配时考虑了干扰问题。

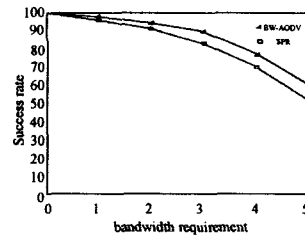


图 1 带宽需求

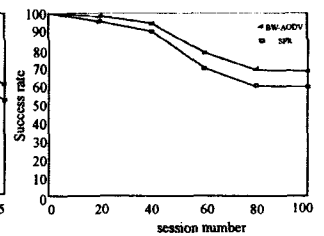


图 2 请求会话的数目

结束语 本文分析了基于 TDMA 无线网状网中的干扰, 通过将干扰分为流内干扰和流间干扰, 提出了相应的无干扰时隙分配约束条件。依据这些约束条件, 又提出一种启发式的路径带宽计算方法。将该算法和 AODV 路由协议相结合, 建立一条满足 QoS 的最短路由。通过仿真实验结果验证了本路由协议相比 SPR 能明显提高 QoS 路由的请求成功率。

参考文献

- [1] Y Tang J, Xue G, Chandler C. Interference-aware routing and bandwidth allocation for QoS provisioning in multihop wireless networks[J]. Wireless communications and mobile computing, 2005; 933-943
- [2] Zhu C, Corson S. QoS routing for mobile ad hoc networks[J]. InfoCom, 2002; 958-967
- [3] Alicherry M, Bhatia R. Joint channel assignment and routing for throughput optimization in multiradio wireless mesh networks [C]//Proceedings of the 11th annual international conference on mobile computing and networking. 2005
- [4] Li Y, Song WZ, Frieder O. Efficient interference-Aware TDMA link scheduling for static wireless networks[J]. Mobicom, 2006; 262-273
- [5] Ramachandran K, Belding E, Almeroth K. Interference-aware channel assignment in multi-radio wireless mesh networks[C]// Proceedings of IEEE InfoCom. Apr. 2006